

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
Facultatea de constructii

ING. SMARANDA LYGIA CRISTESCU

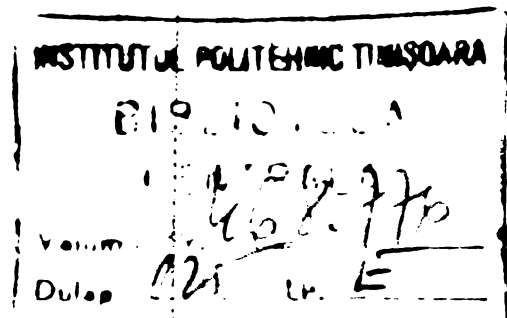
CONTRIBUTII LA CALCULUL DEFORMATIILOR MASIVELOR DIN
PAMINT TININD SEAMA DE PROPRIETATILE LOR VISCOELASTICE

Teza de doctorat

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific:

PROF. DR. ING. MARIN PAUNESCU



- Timișoara 1983 -

P R E F A T A

Reologia pământurilor este știința care se ocupă cu transformările în timp ale stărilor de tensiune și de deformare din masivele din pământ sub acțiunea încărcărilor și de legătura dintre ele sau, mai pe scurt, este știința curgerii și a deformației /67/.

Lucrarea de față încearcă să aducă o contribuție la activitatea de cercetare și proiectare a infrastructurii construcțiilor amplasate pe terenuri deformabile și a structurilor din pământ și alte materiale locale, la care se semnalează o mare diversitate de cazuri cu efecte reologice apreciabile.

Cercetările din ultimele trei decenii efectuate atât în țară, cât și în străinătate, au condus la ideea că procesul reologic de consolidare la pământuri se poate extinde, luând în considerare importanța proprietăților viscoelastice în timp.

Plecând de la aceste premize, corelate cu mobilitatea și caracterul viscoelastic al fazelor componente, s-a elaborat în cadrul prezentei lucrări o nouă teorie de consolidare a pământurilor, cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

În urma cercetărilor teoretice și experimentale de specialitate întreprinse s-a ajuns la studierea procesului de consolidare și curgere în masivele din pământ și s-au stabilit expresiile analitice ale tasărilor viscoelastice la pământuri.

Prin aceste rezultate cu care se stăpinesc mai bine masivele din pământ lucrarea elaborată se înscrie în efortul general de promovare a noilor direcții în cercetarea tehnico-științifică, inițiate și sprijinite de conducerea de Partid și de Stat. Pe linia indicată se ajunge prin extindere la utilizarea cu precădere a materialelor din resurse locale, prin evaluare exactă la sporirea gradului de siguranță în exploatare, prin cunoașterea aspectului fizic real la mărirea eficienței tehnico-economice și la reducerea duratei de execuție a construcțiilor.

Ținând seama de îndemnul tovarășului Nicolae Ceaușescu anume că "Inginerul constructor este chemat astăzi în primul rând să gândească profund, să conceapă, să proiecteze și să execute armonizând multitudinea de factori naturali, tehnici și economici și de altă natură, în-cît produsul muncii sale să reprezinte un optimum din punct de vedere

social ", autorul s-a străduit să asigure lucrării un caracter inovator privind domeniul construcțiilor din pământ și din alte materiale locale.

Cercetările teoretice și experimentale prezentate în lucrare au necesitat un sprijin larg și susținut din partea unor institute de învățământ superior, institute de cercetare și proiectare, dintre care se menționează: Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, Institutul de Construcții din București, Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor din București, Institutul de Cercetări Hidrotehnice, Centrul de Mecanica Solidelor, Centrul de Fizica Pământurilor și Seismologie, Institutul de Studii și Îmbunătățiri Funciare, Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice din București.

Pe această cale autorul ține să aducă cele mai sincere și mai calde mulțumiri institutelor și persoanelor care l-au ajutat și încurajat în realizarea lucrării de doctorat.

În încheiere autorul adresează gândurile sale cele mai bune, pline de recunoștință, conducătorului științific prof.dr.ing. Marin Păunescu, pentru îndrumarea de înaltă competență științifică, însoțită de exigența cuvenită și de permanenta dorință în promovarea ideilor noi.

I N T R O D U C E R E

Conținutul lucrării " Contribuții la calculul deformațiilor masivelor din pământ ținând seama de proprietățile lor viscoelastice " se înscrie ca tematică în domeniul de cercetare al reologiei pământurilor.

Sub acțiunea încărcărilor aplicate masivele din pământ își modifică în timp atât starea de tensiune, cât și starea de deformație. Dar în timp ce prima se efectuează aproape instantaneu, cea de-a doua are nevoie de o lungă perioadă de timp pentru stabilizare. Acest fapt arată că dacă în problemele de capacitate portantă parametrul timp poate fi neglijat, în problemele de deformație caracterul reologic este un factor determinant /91/.

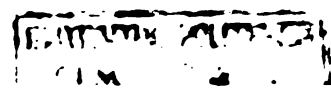
În acest cadru, elaborarea studiilor teoretice și experimentale inițiate prin această lucrare își justifică oportunitatea în domeniul de cercetare ales.

În privința eficienței tehnico-economice se urmărește de fapt siguranța și durabilitatea structurilor din pământ și din alte materiale locale, utilizarea unor cantități cât mai reduse de materiale la realizarea lor și reducerea la minimum necesar a rezervelor neutilizate de capacitate portantă și de deformare /94/.

Aceste deziderate conduc în general la stabilirea unui raționament riguros în alegerea soluției optime în raport cu evoluția structurilor în timp, la evitarea unor dimensionări exagerate prin necunoașterea comportării fizice reale și la înlăturarea unor dificultăți ulterioare în exploatare, cu posibilități de verificare a comportării structurilor și materialelor în timp. Studiile reologice devin tot mai necesare pentru că se constată că neglijarea lor, cel puțin pentru unele structuri și la anumite materiale, pot să ducă la soluții costisitoare și chiar la abandonarea unor lucrări în exploatare.

Anumite aspecte ale eficienței materialelor se referă și la creșterea gradului de cunoaștere a proprietăților fizico-mecanice ale acestora, precum și la posibilitatea adoptării unui model matematic riguros pentru procesele în timp.

Natura pământurilor ca materiale neomogene, disperse și anizotrope, ca și complexitatea comportării fizice reale care apare în timpul sollicitării, nu au permis elaborarea unor modele matematice specifice acestora.



tor tipuri de materiale, utilizând pe cele existente pentru medii continue, omogene și izotrope.

În această direcție s-a căutat de multe ori o rezolvare empirică totală sau parțială, care chiar dacă a dat pe moment rezultate satisfăcătoare, a dus la consolidări costisitoare, sau chiar la scoaterea construcției din exploatare.

Acest mod de rezolvare a problemelor nu poate fi acceptat decât pentru perioade limitate de timp, deoarece nu permite o dezvoltare și o generalizare pe linia mecanicii pământurilor și nici o proiectare mai rațională a infrastructurii construcțiilor sau a structurilor din pământ.

Prin lucrarea prezentată autorul se străduiește să analizeze, în măsura posibilităților, esența procesului de deformare în timp la masivele din pământ și din alte materiale locale. În acest scop se ia în considerare comportarea elastică și vîscoelastică a fazelor componente și caracterul de mobilitate al acestora.

Se adoptă un model fizic bifazic, alcătuit dintr-o fază solidă cvasistabilă, adică deformabilă și dintr-o fază fluidă mobilă, care se scurge prin golurile structurale.

Pentru a extinde modelul fizic inițial se consideră o anumită cantitate de incluziuni, cuprinse în faza cvasistabilă, care măresc vîscozitatea acesteia.

Se recurge la un model de calcul bifazic, considerînd comportarea elastică și vîscoelastică a masivelor din pământ și din alte materiale locale, care schematizează mult mai bine comportarea lor reală.

Noua teorie asupra comportării vîscoelastice a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, care trece printr-un stadiu de consolidare primară, urmat de un stadiu de consolidare secundară, se situează la limita dintre macrorologie și microrologie.

În vederea unei valorificări optime a studiilor și cercetărilor întreprinse, se elaborează relații analitice pentru evaluarea tasărilor parțiale și finale din consolidare la masivele din pământ și din alte materiale locale, precum și durata de timp necesară stabilizării acestora.

Rezultatele obținute au un caracter de noutate în literatura tehnică de specialitate, cu aplicabilitate în cercetarea și proiectarea maselor din pământ și din alte materiale locale, la care fenomenele reologice devin inerente.

Prin existența incluziunilor din faza cvasistabilă rezultatele se pot extinde și la masivele din anrocamente, condiționând cantitatea de fracțiuni în amestec.

La ora actuală când masivele din pământ și din alte materiale locale trec printr-o "criză de creștere" /6/, analiza comportării reale și rezultatele ei practice oferă largi posibilități omului să le stăpânească și să le pună în slujba progresului general.

CAPITOLUL I

CONSIDERATIILE PRELIMINARE ASUPRA PROCESULUI DE CONSOLIDARE IN TIMP A MASIVELOR DIN PAMINT

1.1. Aspecte caracteristice ale structurii pământurilor

Se admite că masivele din pământ reprezintă medii disperse bifazice sau trifazice, formate dintr-o fază dispersată compusă dintr-un ansamblu de particule solide și un mediu de dispersie, alcătuit dintr-un agent fluid, sub forma de apă fizic legată, liberă și în stare gazoasă /98/.

Se presupune că faza solidă este cvasistabilă și reprezintă ca structură un mediu poros, în timp ce faza mobilă este un fluid viscos, care circulă în spații delimitate de frontiere solide, dispuse aleator ca în fig. 1.1/35/.

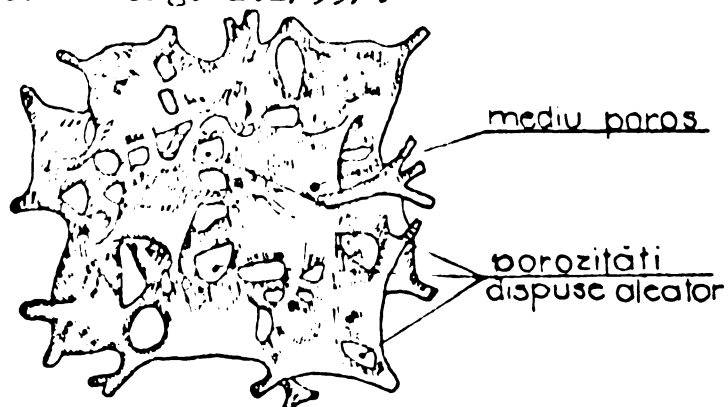


Fig.1.1. Tip de structură poroasă a unui masiv din pământ cu pori dispuși aleator.

După natura și alcătuirea scheletului, principalele tipuri de pământuri întâlnite în natură se pot grupa după criteriile din fig. 1.2 /1/.

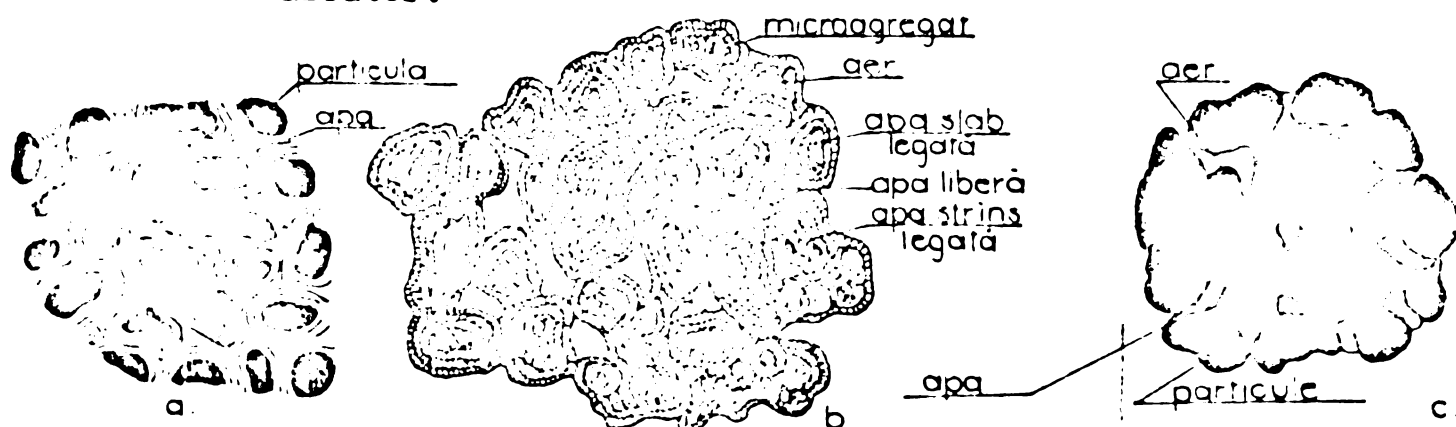


Fig.1.2. Reprezentarea schematică a modului de alcătuire a principalelor tipuri de pământuri: a - argilă grasă; b - argilă slabă; c - microagregate de particule (argilă, praf, nisip).

Sub aspect structural, masivele din pământ sînt alcătuite în general dintr-un schelet de particule minerale, dispuse într-o structură de tip floccular, în fagure sau granular, reprezentate în fig. 1.3/6/.

Reprezentarea schematică a unui tip de structură flocculară la pămînturi, în stare inițială și reorganizată, rezultă din fig. 1.4/69/.

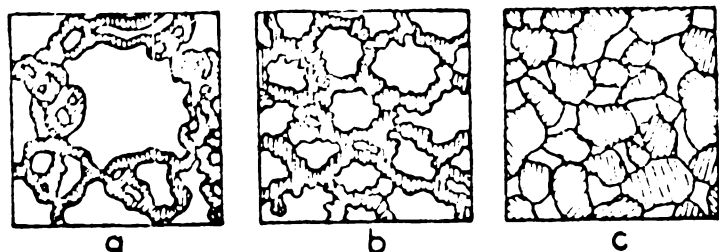


Fig.1.3. Tipuri de structură a masivelor din pământ :
a - flocculară; b - în fagure; c - granulară.

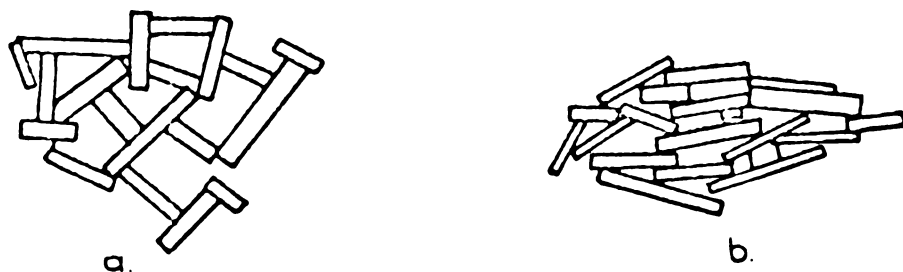


Fig.1.4. Tipuri de structură caracteristică masivelor din pământ:
a - inițială; b - reorganizată.

În masivele din pământ particulele minerale componente formează un sistem dispers de tip coloidal, condiționat de existența unei pelicule de apă legată fizic, ca element de legătură între

particulele solide, la care se adaugă coloizi coagulați și substanțe de cimentare/71/.

Din fig.1.5. rezultă configurația și ponderea elementelor constitutive ale miclei, care stă la baza alcătuirii masivelor din pământ /40/.

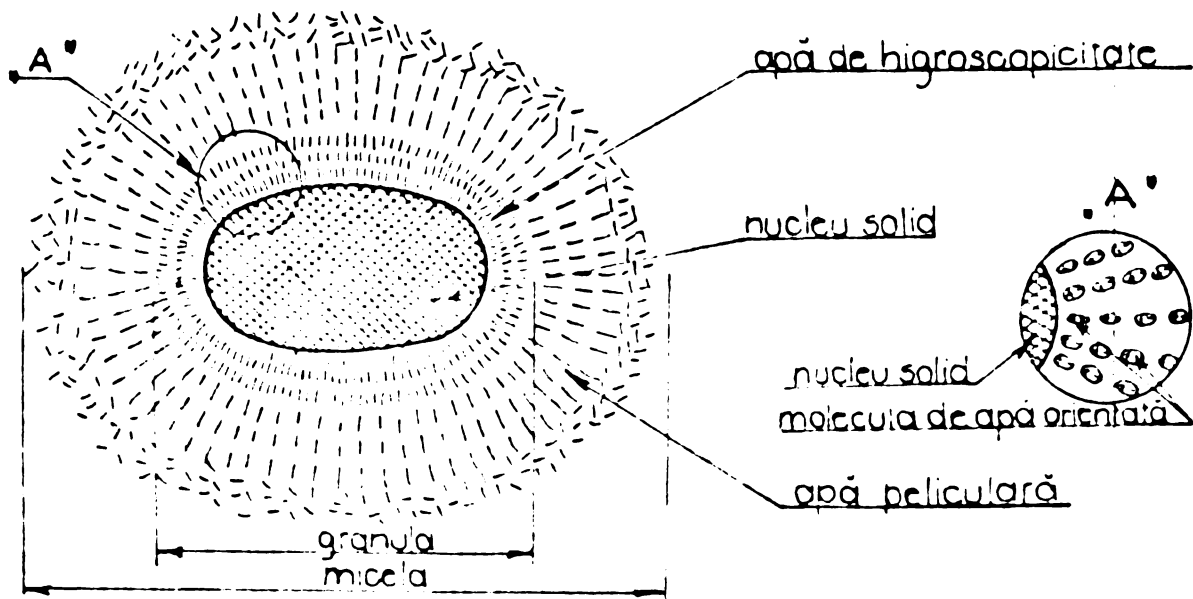


Fig.1.5. Reprezentarea unei micle constituită dintr-un nucleu solid și diverse forme ale apei de constituție.

După natura forțelor de interacțiune între particule sistemul caracteristic pentru tipul de structură floculară devine aleator, orientat și de adsorbție, ca în fig.1.6./71/.

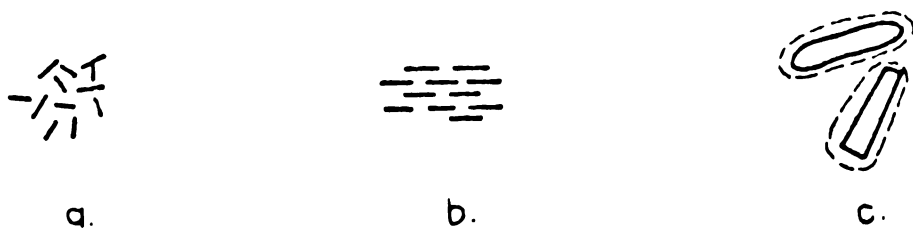


Fig.1.6. Sistem caracteristic pentru tipul de structură floculară: a - aleator; b - orientat; c - de adsorbție.

Consolidarea pământurilor este condiționată de permeabilitatea și porozitatea acestora, care variază în limite foarte largi și depinde nemijlocit de dimensiunile, forma și structura particulelor minerale din scheletul solid, de condițiile de sedimentarea pământurilor sub influența mediului ambiant, de apariția legăturilor coloidale și de cimentare în decursul timpului și de forțele de interacțiune între particule /77/, /86/. Sub acest aspect, procesul de consolidare constă inițial din faptul că, sub acțiunea încărcărilor, apa este evacuată din porii pământului și ulterior distanțele dintre particulele solide ale pământului se reduc, cauză din care volumul golurilor se micșorează și forma variază datorită alunecărilor dintre particule, iar pământul primește o structură mai compactă, într-o continuă tendință de echilibru /71/.

1.2. Aspecte generale ale procesului de consolidare în timp la pământuri

Analizând comportarea în timp a masivelor din pământ susceptibile de a răspunde efectelor reologice inerente, se dezvoltă o deformare caracteristică de curgere, reprezentată evolutiv în fig. 1.7 /89/.

Diagrama reologică caracteristică neamortizată a pământurilor cuprinde o deformare instantanee (0-1), urmată de o deformare de curgere nestabilizată (1-2) și o deformare de curgere stabilizată (2-3), terminându-se cu o deformare de curgere progresivă (3-4). În stadiul de curgere (2-3) viteza de deformare în raport cu timpul se menține constantă, pentru ca ulterior, în stadiul de curgere progresivă (3-4), să tindă spre infinit. În diagrama de curgere amortizată, viteza de deformare în raport cu timpul tinde spre zero.

Dacă se admite că procesul de consolidare a pământurilor este un proces unic și neîntrerupt și dacă se evaluează câmpul de tensiuni și de

deformații în stare inițială și stabilizată, se deduc valorile curen-
te ale tasărilor din consolidare, în orice moment și pentru fiecare
treaptă de încărcare /87/.

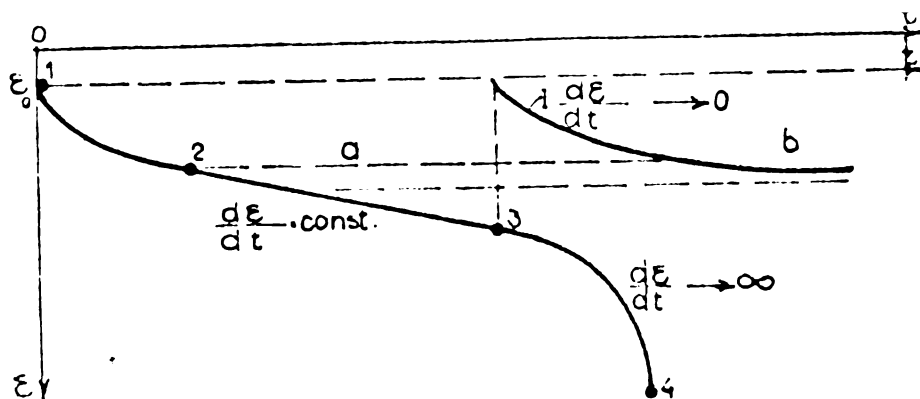


Fig.1.7. Diagrama reologică caracteristică a pământurilor:
a - neamortizată; b - amortizată

Prin aplicarea încărcării se produce inițial o stare de deforma-
ție instantanee. Dacă starea de solicitare se menține, apare o stare
de deformație viscoelastică în stadiul de consolidare primară caracte-
ristică masivelor din pământ. Consolidarea primară se datorește per-
turbării și saturării incomplete a pământurilor, prin rearanjarea par-
ticulelor structurale, prin expulzarea apei din porii pământului, cât
și prin reorientarea particulelor structurale. Procesul de consoli-
dare continuă chiar dacă starea de solicitare se menține constantă, prin
perpetuarea deformației viscoelastice într-un stadiu de consolidare
secundară. Aceasta caracterizează curgerea lentă care se dezvoltă în
scheletul pământului, după completa disipare a fluidului interstițial.
În consolidarea primară presiunea este preluată inițial de fluidul
din pori și transferată ulterior scheletului solid, în cadrul consoli-
dării secundare. Transferul de presiune se efectuează prin suprafețe-
le de contact dintre particulele care se deformează și migrează în
noi și mai stabile poziții de echilibru /81/.

Procesul de consolidare în timp a pământurilor începe de fapt cu
consolidarea primară care se continuă până la o eventuală disipare a
a fluidului interstițial. Concomitent cu consolidarea primară și suc-
cesiv acestea apare și consolidarea secundară, ca rezultat al redu-
cerii spațiului dintre particulele și a faptului că sistemul struc-
tural tinde spre o stare de echilibru./98/.

În concepția evolutivă a teoriilor de consolidare a pământurilor,
apare inițial un proces de consolidare, care corespunde consolidării
primare. Acesta se dezvoltă simultan cu procesul de comprimare a flu-
idului din pori și de curgere lentă a scheletului pământului, care

corespunde consolidării secundare. Raportul între ritmurile de dezvoltare ale acestor procese variază în timp și se condiționează reciproc /88/, /102/.

În mecanica mediilor continue, sub acțiunea în timp a unor încărcări finite, deformațiile masivelor din pământ cresc inițial continuu și reversibil, trecând printr-un stadiu elastic și se dezvoltă ulterior continuu și ireversibil, trecând într-un stadiu de curgere viscoelastică/65/.

Deformația de curgere viscoelastică se produce sub acțiunea unor încărcări relativ mici și cu o viteză de deformare relativ redusă /66/. Curgerea viscoelastică a mediilor continue se definește deci ca o evoluție lentă a deformației, sub o stare de eforturi constantă sau variabilă în timp /67/. În masivele din pământ care trec prin stadiul de curgere elastică și viscoelastică, pentru fiecare treaptă de încărcare, se menține starea de solicitare până la atingerea unor valori stabilizate, care marchează rezultatele procesului de consolidare într-un anumit timp /101/.

Analizând masivele din pământ susceptibile de a răspunde efectelor reologice se abordează în continuare unele aspecte legate de comportarea lor elastică și viscoelastică, în cadrul unei teorii de consolidare mai complete, ținând seama de mobilitatea fazelor și de complexitatea fazei mobile.

1.3. Principii și ipoteze care fundamentează procesul de consolidare în timp la pământuri

În mecanica mediilor deformabile masivele din pământ se pot asimila cu mediile viscoelastice liniare, caracterizate prin dubla lor capacitate de a înmagazina și de a disipa energia mecanică.

Se poate considera că deformația acestora reprezintă de fapt o mișcare relativă a particulelor componente, cu condiția valabilității ipotezei de continuitate, prin care se admite caracterul de indestructibilitate și de impenetrabilitate al materiei /24/.

Legile care guvernează mișcarea relativă a particulelor respective se bazează pe o serie de principii universal valabile, indiferent de natura constitutivă a materiei.

Dacă se consideră că masivele din pământ reprezintă medii viscoelastice liniare, ele se supun principiului suprapunerii efectelor introdus de Boltzmann și se situează într-un domeniu boltzmannian /94/.

Conform acestui principiu aplicarea simultană a două cauze materia-

lizate prin două încărcări măsurabile, produce două efecte aditive ale deformațiilor.

În limitele unor creșteri mici ale tensiunilor și ale deformațiilor, principiul lui Boltzmann se extinde la mai multe cauze și efecte corespunzătoare.

Dacă în masivele din pământ supuse acțiunii încărcărilor apare o stare de consolidare, aceasta se produce ca rezultat al apariției unei tensiuni efective, după principiul stabilit de Terzaghi /81/.

Acest principiu afirmă că presiunea apei din pori, însumată cu tensiunea efectivă din scheletul solid, egalează tensiunea totală aplicată.

Se înțelege că deformațiile care se dezvoltă în masivele din pământ se datoresc exclusiv tensiunii efective din scheletul solid, presiunea neutrală din pori având numai un rol întârziator.

Pentru o abordare vîscoelastică liniară a rețelei efort-deformație în masivele din pământ se poate recurge la mecanica mediilor continue și deformabile în timp, considerînd că natura legăturilor coloidale ale fluidului din pori are un caracter vîscos de deplasare a particulelor constitutive.

Se presupune că masivele din pământ se compun dintr-un schelet poros de particule practic incompresibile, complet saturat în cazul de față, cu un fluid la rîndul său incompresibil, astfel că într-o unitate de volum din orice regiune a scheletului solid, orice variație a golurilor este compensată de cantitatea de apă eliminată.

În consolidarea unidirecțională și unidimensională a masivelor din pământ se acceptă în mod obișnuit, o direcție unică de curgere a fluidului din pori și de deplasare a scheletului solid. Se admite și invarianța proprietăților caracteristice ale pămînturilor, în orice moment și pe orice plan normal cu direcția de mișcare, prin care se definește caracterul de izotropie structurală /85/.

Dacă masivele din pământ se consideră omogene, starea lor depinde nemijlocit de condițiile de permialitate, de indicele de porozitate, de distribuția și orientarea particulelor constitutive pe direcția de consolidare preferențială și de istoria consolidării mediului ambient /98/.

În concluzie, se consideră, de cele mai multe ori, că masivele din pământ sînt medii continue, izotrope și omogene, deoarece nu se dispune de un model matematic caracteristic pentru medii disperse

Se admite că presiunea exercitată pe aria limitativă a masivelor

din pământ produce un proces de curgere a fluidului interstițial admis după legea lui Darcy, pentru valori superioare gradientului de presiune inițial.

După evacuarea fluidului din pori se dezvoltă consolidarea secundară legată de compresibilitatea scheletului solid, care reprezintă o influență preponderată în procesul de consolidare a pământurilor și este condiționată intrinsec de proprietățile specifice ale peliculei de apă legată fizic /15/.

În afara ipotezelor cu caracter general intervin și ipoteze speciale referitoare la proprietățile specifice fiecărei faze materiale și la interacțiunea dintre acestea /89/.

Condițiile la limită impuse masivelor din pământ se referă la o serie de ipoteze specifice privind modul de încărcare pe suprafața mediului considerat, limitarea acestuia pe suprafața laterală, posibilitățile de presiune și de drenare pe fețele laterale și la baza masivului din pământ cercetat /89/.

1.4. Evoluția cronologică a teoriilor de consolidare la pământuri

1.4.1. Dezvoltarea teoriilor de consolidare de la Terzaghi K. la Biot M.A.

Procesul de consolidare a pământurilor a fost pentru prima dată încadrat într-o teorie de Terzaghi K. (1923), prin care s-a arătat procesul fizic de compresibilitate a pământurilor și modalitatea analitică de prognozare a intensității și vitezei de consolidare /85/.

După Terzaghi K. în procesul de consolidare a pământurilor saturate se consideră o fază solidă cvasistabilă și o fază fluidă mobilă, legată între ele printr-un mecanism de cuplaj bazat pe principiul efortului efectiv și aplicat liniar asupra elementelor de volum ale fazelor componente /85/.

În sistemul pământ-apă se presupune că fluidul incompresibil newtonian curge sub influența gradientilor de presiune, iar scheletul solid alcătuit din particule compresibile se menține într-o stare de echilibru stabil cu ajutorul forțelor electro-moleculare și din frecare /71/. Sub această formă s-a dezvoltat ulterior teoria consolidării primare a pământurilor de Terzaghi K și Fröhlich O.K. (1936) /69/.

Mai târziu Terzaghi K (1941) a postulat, iar Barden L. (1961) și Bjerrum L. (1973) au confirmat că procesul de consolidare prin curgerea pământurilor compresibile este condiționat de vâscozitatea structurală a peliculelor de apă legată fizic /36/.

Concomitent cu teoria consolidării primare, apare și teoria consolidării secundare inițiată de Gray și Buisman A.S.K. (1936) prin care cele două procese de consolidare se consideră independente și succesive, iar tasarea secundară variază proporțional cu logaritmul timpului /69/.

Ulterior, Taylor D.W. (1942) și Brinch Hansen T. (1961) consideră că procesul de consolidare primară și secundară apar concomitent în spațiu și timp. Taylor D.W. a arătat că întregul proces de consolidare a pământurilor constă dintr-un mecanism de curgere a fluidului printr-un mediu poros deformabil, stabilind o relație efort-deformație de natură viscoelastică /81/.

Bazându-se pe teoria consolidării pământurilor elaborată de Terzaghi K., Florin V.A. (1938) a dezvoltat teoria forțelor de volum, considerând pentru pământ un model de calcul bifazic și o deformare liniară a masivului din pământ. Procesul de consolidare a pământului este însoțit de apariția forțelor de interacțiune între cele două faze, scheletul pământului și apa din pori, sub forma de forțe de volum, condiționate de ponderea efectului produs de scheletul pământului /26/, /88/.

Un model de calcul asemănător pentru masivele din pământ a fost propus de Biot M.A. (1941).

Inițial Biot M.A. (1941) a elaborat teoria mediilor poroase care conțin un fluid viscos, pentru cazul solidului elastic și în 1955 a generalizat această teorie, luând în considerare proprietățile de anizotropie și viscoelasticitate liniară ale mediului /11/, /12/, /13/.

Teoria de consolidare a pământurilor Florin V.A. - Biot M.A. reprezintă de fapt o generalizare a teoriei de consolidare Terzaghi K., păstrându-se valabilitatea ipotezei de continuitate a fazei solide și fluide și legea de scurgere a fluidului printr-un schelet poros. În plus se introduc două legi de deformare și anume referitoare la schimbarea relațiilor dintre faze într-o unitate de volum și la interacțiunea între fazele componente /88/, /101/.

Semispațiul viscoelastic a fost cercetat de Freudenthal A.M. și Lorsch (1954), de Lee E.H. (1955) și de Freudenthal A.M. și Spillers W. (1962) /27/.

Cercetările teoretice ale acestor precursori au fost continuate și dezvoltate de Biot M.A. (1954, 1955, 1956), care introduce o formă generalizată a energiei libere, aplicabilă sistemelor multifazice poroase și legăturilor de natură termochimică. Natura ireversibilă a fenomenelor

viscoelastice termodinamice a fost formulată și pentru cazul perturbațiilor dependente de timp, aplicate oricărui sistem definit prin energia liberă generalizată, asociată cu o funcție de disipare /13/.

În continuare Biot M.A. (1957) a elaborat o serie de soluții pentru consolidarea unidimensională, bidimensională și tridimensională, utilizând o formă redusă a ecuațiilor sale generale /11/, /99/.

Mc.Namee J. și Gibson R.E. (1957, 1960) au propus soluții analitice pentru ecuațiile stabilite de Biot M.A., iar Paria (1958) a formulat semispațiul de consolidare elastic /28/, /29/.

Plecând de la teoria consolidării elastice și viscoelastice propusă de Biot M.A., Mișicu M. a elaborat o nouă teorie de consolidare bazată pe mobilitatea internă a mediilor elastice și viscoelastice, pe care a corelat-o cu mecanica duală a mediilor continue /54/, /55/.

1.4.2. Teoriile de consolidare bazate pe modele mecanice

Concomitent cu modelul pentru pământuri propus de Florin V.A. - Biot M.A. se abordează și un alt mod de a trata masivele din pământ. Lambe T.W. (1953) a arătat că procesul de consolidare secundară se datorează, în parte, variațiilor produse de forțele de legătură dintre particule, provocate de ruperea sau împrăștierea filmelor de apă legată fizic /70/.

Tan T.K. (1954) a considerat că forțele de legătură dintre particule sînt de natură mecanică, capabile să reprezinte proprietățile viscoelastice ale masivelor din pământ. S-au imaginat astfel modele mecanice viscoelastice, cu ajutorul cărora procesul de consolidare secundară se poate analiza prin ruperea și refacerea continuă a legăturilor, care transformă scheletul pământului într-o configurație mai densă și mai stabilă /81/.

De fapt în teoria modelelor mecanice liniare aplicată masivelor din pământ se ilustrează ambele faze ale procesului de consolidare după propunerile făcute de Ishii Y. (1951), Tan T.K. (1957), Gibson R.E. și Lo K.Y. (1961) și Florin V.A. (1961) /26/, /30/, /82/.

Pentru teoria consolidării propusă de Taylor D.W. se asociază un model mecanic tip Kelvin, reprezentînd o relație sferică efort-deformație /82/. Cuplînd la acesta un element elastic tip Hooke se reprezintă atît faza de consolidare primară, cît și faza de consolidare secundară.

Pentru teoria consolidării propusă de Tan T.A. se asociază un model mecanic tip Maxwell, reprezentînd o relație deviatorică efort-deformație /81/. Comportarea deviatorică a masivelor din pământ compresibile a fost

observată și de Bingham E.C. (1961), Taylor D.W. (1942), Geuze E.C.W.A. și Tan T.K. (1954), care au arătat că modelul mecanic tip Maxwell este prima aproximație rezonabilă pentru pământuri /19/.

Mai târziu, Anagnosti P.(1962) a generalizat modelul mecanic propus de Tan T.K. pentru pământuri prin adăugarea la acesta a unui corp tip Kelvin, reunind în acest mod comportarea deviatorică și sferică a masivelor din pământ /81/.

Diversele tipuri de modele mecanice liniare și neliniare asociate procesului de consolidare a pământurilor sînt prezentate cronologic în fig. 1. B /58/, /63/.

În cadrul unui studiu parametric, legat de procesul de consolidare în timp a masivelor din pământ, s-a ajuns la concluzia că este posibilă introducerea unor elemente neliniare, cuprinzînd un număr minim de parametri necesari la descrierea caracteristicilor fizico-mecanice esențiale și care să conducă la soluții numerice accesibile și suficient de exacte /4/, /21/, /22/, /34/.

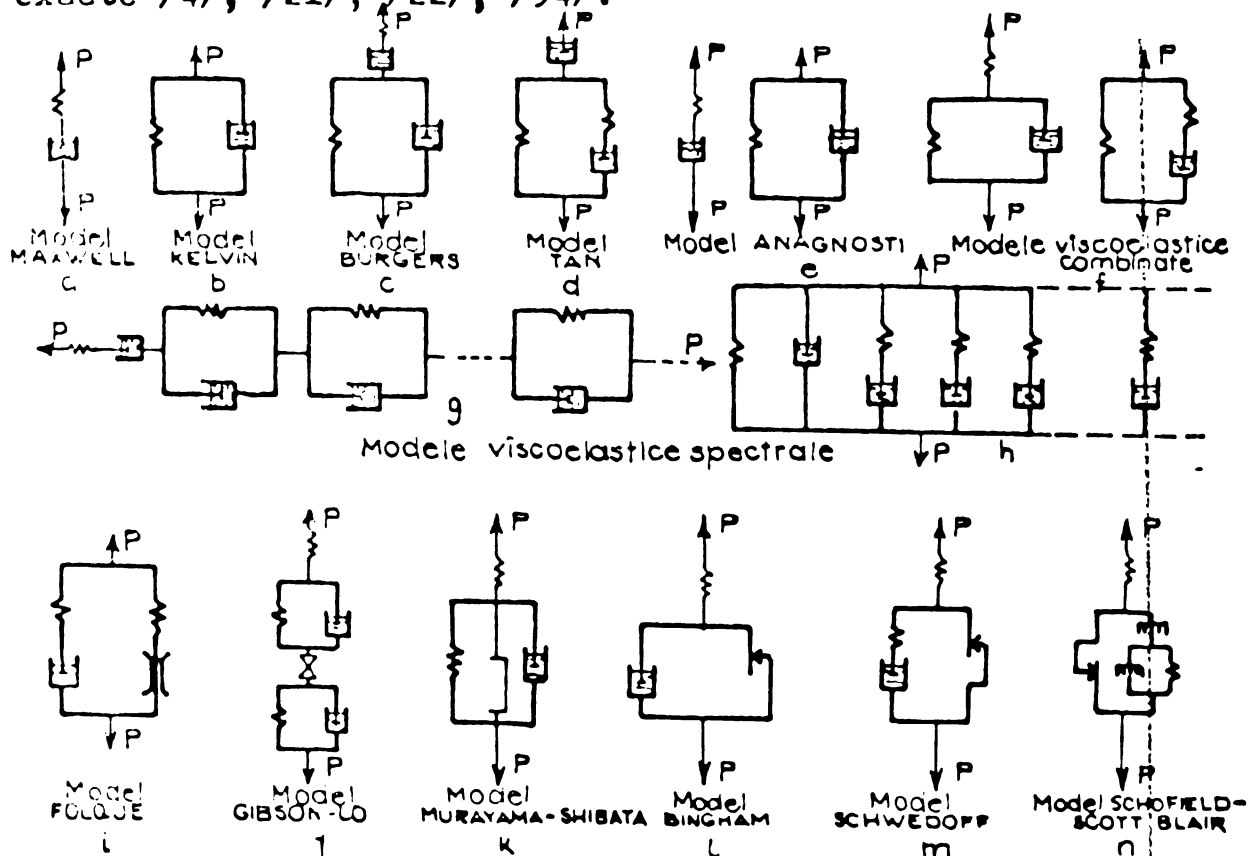


Fig.1.8. Modele mecanice liniare și neliniare asociate procesului de consolidare la pământuri: a - h modele mecanice liniare ; i - n modele mecanice neliniare.

Luînd în considerare rezultatele teoriilor de consolidare bazate pe modele mecanice liniare și neliniare se constată că acestea sînt depășite la ora actuală. Cauzele constau în imposibilitatea de modelare conformă cu realitatea a fenomenului fizic și în posibilitățile reduse

de determinare ale parametrilor caracteristici. Domeniul de aplicare a modelelor mecanice de consolidare este limitativ sau destul de restrictiv. Deși modelele mecanice simplifică mult modul de calcul și îl oferă într-o formă accesibilă, ele nu pot fi utilizate la elaborarea unei teorii generale sau a unei metode de calcul generalizate /15/.

La noi în țară s-au realizat de asemenea o serie de lucrări în domeniul modelelor mecanice pentru pământuri elaborate de Vaicum Al. prin care se trece la o nouă etapă de cercetare în domeniul modelelor mecanice mai avansată decât cele existente, în concordanță cu comportarea fizică reală /90/, /91/, /92/, /93/, /94/.

1.4.3. Dezvoltarea teoriilor de consolidare de la Biot M.A. și pînă în prezent

Ulterior teoriei de consolidare elaborată de Biot M.A. se adoptă o nouă linie în abordarea procesului de consolidare a masivelor din pământ, prin luarea în considerare a curgerii lente din scheletul pământurilor /72/.

Cercetările teoretice și experimentale întreprinse de Taylor D.W. (1942), Terzaghi K. (1953), Fang H.S. (1956) și Lo K.Y. (1961) au arătat că comportarea volumetrică a pământurilor prezintă o capacitate elastică mai adecvată a fazelor componente decât comportarea deviatorică a acestora /38/, /70/.

Bazată pe considerente de ordin fizic, forma relației volumetrice efort-deformație sub efort constant se apropie asimptotic de o limită finită în raport cu timpul, după cercetările elaborate de Schiffman R.L. (1959). Se impune în acest caz o asociere în paralel a elementelor liniare elastice și viscoase, care să concretizeze cât mai real comportarea masivelor din pământ /70/.

Schiffman R.L. (1959) a elaborat în continuare o teorie generală liniară viscoelastică pentru pământuri, în termenii operatorilor diferențiali și integrali. El a dezvoltat-o pentru reprezentări pe modele discrete ale relației efort-deformație, a cărei distribuție continuă a fost introdusă de Mandel J. /42/, încă din 1957. Este interesant de remarcat că, în urma unor anumite simplificări, relația logaritmică a timpului poate fi aproximată prin utilizarea primului termen dintr-o serie logaritmică a unei funcții de puteri în raport cu timpul /70/.

Concomitent Bjerrum L (1963) a desfășurat o activitate de cercetare extensivă a masivelor din pământ, cu care ocazie a arătat că în consolidarea secundară a pământurilor există două efecte caracteristice de-

plasare-timp, care se reliefează prin relații încărcare-timp. Dacă încărcarea este constantă în raport cu timpul, deformația este direct proporțională cu logaritmul timpului. Dacă încărcarea este oscilatorie, deplasarea este direct proporțională cu timpul, iar tasarea se produce cu o viteză constantă /70/.

Ținând seama de curgerea scheletului pământului și de variația câmpului de tensiuni și de deformații în masivele din pământ, Zeretski Y.K. (1967) recurge la o generalizare a modelului. Florin V.A. - Biot M.A. /94/, /95/, /100/, /101/.

Considerând curgerea lentă a scheletului pământului Titovici N.A. (1967) a elaborat pe aceste baze o teorie de consolidare a pământurilor a cărei rezolvare, în cazul unidimensional, a fost emisă de Ter - Martirosian Z.G. (1967).

Teoria de consolidare a pământurilor expusă de Titovici N.A. a fost confirmată de numeroase cercetări experimentale de laborator, cu ajutorul cărora s-au obținut practic valorile unor parametri reologici cuprinși în expresiile finale ale tasărilor în timp /87/, /88/, /89/.

S-a stabilit că starea de tensiune și de deformare a unui masiv din pământ considerat bifazic poate fi complet caracterizată prin variația fluidului din pori sub acțiunea presiunii hidrostatice și variațiile de volum și de formă ale scheletului pământului, sub acțiunea încălzirilor.

Procesul de consolidare a pământurilor marcat prin variația volumului și formei se produce concomitent în timp și se supune teoriei ereditare de curgere elaborată de Boltzmann - Volterra /25/.

Determinând caracteristicile masivelor din pământ, constantele și parametrii de consolidare, în stare inițială și stabilizată, se poate evalua întregul câmp de eforturi și de deformații pe toată durata procesului de consolidare a pământurilor /59/, /74/.

Freudenthal A.M. și Spillers W.R. (1962), Suklje L. (1963) (1969) Garlanger T.E. (1972), Berry și Poskitt T.I. (1972), Hawley I.G. și Borin L. (1973), Lowe T. (1974), Mesri G. și Rokhsar A. (1974), Murayama S.H., Sakai M. și Ueda T. (1974) au adoptat o serie de modele teoretice privind consolidarea unidimensională a pământurilor, asociind relația efort-deformație-timp cu proprietățile de relaxare și de curgere ale pământurilor și cu viteza de consolidare, în condiții de nedrenare și de deformare laterală împiedicată /8/, /9/, /17/, /27/, /28/, /56/, /57/, /60/, /61/, /75/, /80/, /81/, /103/, /104/.

Teoria reologică cu teoria "rate" și funcțională elaborată de Eringen A.C. (1968), Mitchell T.K., Singh A. și Campanella (1969) au adoptat

407 12

o teorie asemănătoare, care ilustrează proprietățile reologice ale pământurilor /24/, /68/, /73/.

În procesul de consolidare a pământurilor s-a stabilit inițial o relație efort-deformație viscoelastică liniară. Dar ținând seamă de complexitatea procesului de consolidare din masivele din pământ, începând cu anul 1963 s-a trecut la elaborarea unei relații efort-deformație viscoelastică neliniară inițiată de Bernatein B., Kearsaley E.A. și Zapas L.T. și continuată de Christansen R.W. și Wu T.H. (1964), Murayama S.H. și Shibata T. (1966) /17/, /18/, /20/, /34/, /56/.

În perioada actuală Mitchell T.K. (1976) privește procesul de consolidare a pământurilor mai ales ca un proces reologic /44/. Curgerea pământurilor, în condiții de drenare și de nedrenare, apare ca o deformație volumetrică care se dezvoltă sub o viteză controlată de rezistența viscoasă a structurii pământului /78/.

Curgerea drenată, specifică consolidării secundare a pământurilor argiloase, produce deformații volumetrice și deviatorice în condițiile efortului efectiv constant.

Curgerea nedrenată produce deformații de forfecare și variații ale efortului efectiv, în condițiile volumului constant /84/.

Meari G. și Godlevski (1976) au ajuns la concluzia că variațiile de volum prin deformare, alunecare și reorientare de particule, cît și distorsionarea filmelor de apă legată fizic se pot produce atît în timpul variației efortului efectiv de consolidare, cît și în timpul variației sub efort efectiv constant de curgere drenată.

După Ladd C.C. (1977) un model generalizat pentru comportarea masivelor din pământ în procesul de consolidare trebuie să ia în considerare contribuția unor factori variați, determinați de sistemul de încărcare, de istoria încărcării în timp, de anizotropie, de neliniaritate, de variațiile de volum, precum și de drumul de efort /36/.

1.5. Concluzii asupra teoriilor actuale de consolidare la pământuri

Studierea procesului de consolidare la pământuri a necesitat valorificarea unui bogat și variat material bibliografic din literatura tehnică de specialitate, relevată prin citarea autorilor de la /1/ pînă la /105/.

Analiza posibilităților de dezvoltare în cadrul acestei lucrări, a diverselor teorii de consolidare la pământuri, s-a început de către autor cu o largă acțiune de prospectare și selectare bibliografică și a con-

tinut cu sintetizarea și sistematizarea aspectelor caracteristice.

Urmărind evoluția cronologică a teoriilor de consolidare la pământuri s-au reliefat trei moduri distincte de abordare ale domeniului de cercetare ales /1.4.1 - 1.4.3/

Considerând succesiunea valorică a acestor moduri de abordare s-a recurs la adoptarea teoriei de consolidare pentru mediile elastice și viscoelastice elaborată de Biot M.A. /11/, /13/, după cum rezultă din 1.4.1.

Prin încadrarea procesului de consolidare a pământurilor în teoria generală a lui Biot M.A. s-a adoptat un model de consolidare bifazic, compus dintr-un schelet cvasistabil, prin care se scurge un fluid viscos, ambele faze ale mediului prezentînd atît un caracter elastic, cît și de curgere.

Transpunerea matematică în semispațiul viscoelastic a modelului bifazic de consolidare de tip Biot M.A. s-a realizat prin modelul de calcul al consolidării în stadiul elastic și viscoelastic, elaborat de Prandenthal A.M. și Spillers W.R. /27/, care urmează să se dezvolte în continuare.

Caracterul de mobilitate al fazei fluide a condus la ideea corelării teoriei de consolidare a pământurilor cu teoria de consolidare produsă de mobilitatea internă a mediilor elastice și viscoelastice, elaborată de Ligicu M. /54/, /55/.

Prin această asimilare masivele din pământ se supun legilor de mișcare mecanice, păstrînd totodată legile constitutive caracteristice de consolidare și de curgere /1.3/.

Plecînd de la aceste premize, s-a gîndit elaborarea unei noi teorii de consolidare a pământurilor concepută ca să dezvolte teoria de consolidare Biot M.A. prin complexitatea și mobilitatea fazei care se scurge.

Sub acest aspect faza fluidă mobilă se compune dintr-un fluid cu incluziuni de particule solide, animate la rîndul lor de o stare de mobilitate relativă, în raport cu mișcarea generală de scurgere a fluidului.

În aceste condiții apare o stare de consolidare adițională denumită consolidare terțiară produsă de consolidarea fazei complexe mobile.

Procesul de consolidare terțiară apare în masivele din pământ numai în anumite condiții de porozitate, permeabilitate și compresibilitate, generate de condițiile naturale la un moment dat. Aceste condiții survin în masivele din pământ, ca urmare a unor procese de dezagregare structu-

rală și de includere a fragmentelor rezultate din acțiunea de dizolvare, antrenare și scurgere, favorizate de agentul fluid. În această categorie se includ argilele nisipoase și nisipurile argiloase amestecate cu pietrișuri sau fragmente de roci, cu incluziuni de substanțe organice sau săruri minerale și cu ml sau turbă /5/.

Ca urmare se propune stabilirea unui model de consolidare cu fază complexă mobilă și se poate trece la transpunerea lui matematică, care trebuie să confere exactitate, accesibilitate și posibilități de generalizare.

Ideia de bază a autorului constă în preluarea teoriei de consolidare a mediilor elastice și viscoelastice elaborată de Biot M.A. /11/, /13/, /27/, asociată cu teoria mobilității interne a mediilor continue stabilită de Migicu M. /54/, /55/. Aceste două teorii de consolidare valabile pentru orice medii, se ilustrează ca mecanism al comportării fizice reale cu ajutorul modelelor mecanice structurale introduse de Valcum Al. /91/ și se particularizează, de către autor, pentru masivele din pământ, considerate ca medii bifazice cu mobilitate internă. În plus autorul dezvoltă modelul de calcul viscoelastic pentru consolidarea secundară și introduce ca noutate procesul de consolidare terțiară prin existența fazei complexe mobile.

Cercetările teoretice propuse de autor se leagă cu determinările experimentale prin intermediul unei metode corelative, datorită căreia modulii elastici și viscoelastici adoptați în lucrare se asociază cu parametrii clasici de consolidare și curgere.

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale privind consolidarea masivelor din pământ cu fază complexă mobilă au ca scop stabilirea expresiilor analitice ale tasărilor în raport cu timpul.

Ca urmare a studiului bibliografic prezentat autorul își propune să reprezinte soluția optimă pentru comportarea fizică reală în consolidarea masivelor din pământ, cu mobilitate internă și fază complexă mobilă și să o dezvolte teoretic și experimental, în măsura posibilităților.

CAPITOLUL II

STUDII SI CERCETARI TEORETICE PRIVIND CONSOLIDAREA
PRIMARA A MEDIILOR CU MOBILITATE INTERNA SI FAZA
COMPLEXA MOBILA

2.1. Efecte de mobilitate a mediilor continue particularizate
pentru medii bifazice

Se consideră că procesul de consolidare a mediilor continue bifazice se datorează pierderii stabilității interne a unei faze mobile care se scurge prin golurile unei faze solide cvasistabile.

Caracterul de cvasistabilitate al fazei solide reprezintă, de fapt, condiția de deformabilitate a acesteia, care îi imprimă mobilitate, printr-o perpetuă tendință de echilibru.

În consecință se desprinde imaginea unor medii complet saturate, cu structură complexă, în care se produc deplasări relative între fazele componente.

Interacțiunea între ambele faze se concretizează prin prezența unui tensor al eforturilor care în cazul cel mai simplu se reduce la o presiune și se transformă în tensorul utilizat în teoria de consolidare elaborată de Biot M.A. /11/, /12/.

Mediile structurale alcătuite dintr-o fază solidă cvasistabilă și altă fază complexă mobilă se bazează pe existența unui model fizic bifazic ca în fig.2.1, cu proprietăți caracteristice de deformare elastică și de curgere /45/, /46/, /47/, /48/, /49/.

În cazul masivelor din pământ, sub acțiunea încărcărilor aplicate, se dezvoltă un proces de consolidare prin dislocarea și scurgerea fazei mobile, imprimându-i acesteia un anumit grad de complexitate.

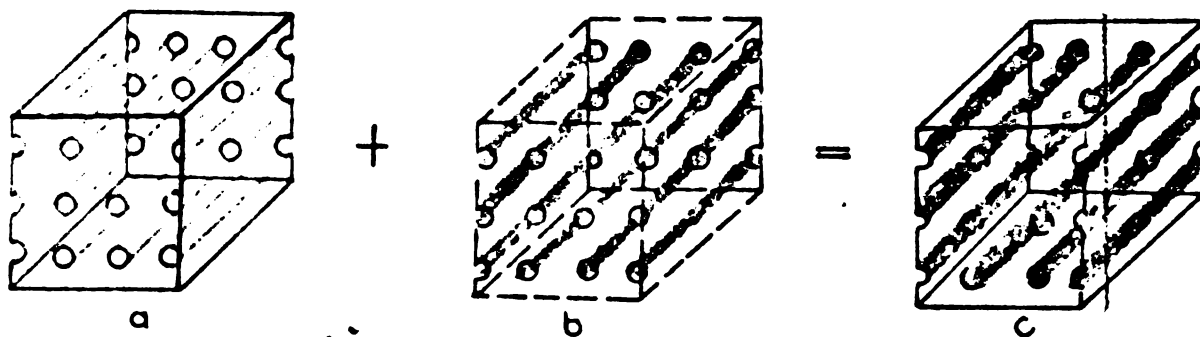


Fig.2.1. Reprezentarea schematică a unui element din modelul fizic bifazic : a - faza solidă cvasistabilă ; b - faza fluidă mobilă ; c - ambele faze (cvasistabilă + mobilă).

În aceste condiții se presupune că mișcarea fazei mobile prin faza cvasistabilă corespunde condiției de extindere directă a legii de curgere a lui Darcy /62/, care exprimă faptul că forțele de legătură dintre faza depind nemijlocit de viteza deplasării relative în timp, între fazele componente ale modelului bifazic.

Existența unei rețele de goluri în masivele din pământ influențează modul de curgere al fazei fluide determinând o interacțiune între faze, careia îi corespunde o stare de uensiuni și deformații.

Procesul de consolidare a pământurilor s-a dezvoltat sub forma unor teorii ale deformațiilor modelului bifazic, format dintr-o fază solidă cvasistabilă și o fază fluidă care se scurge prin golurile fazei solide /50/, /51/, /52/, /53/.

De fapt, modelul bifazic uzual adoptă o schemă de clacul simplificată, care aproximează structuri reale mult mai complexe. Gradul de aproximare se referă la forma și modul de distribuire a golurilor din scheletul solid, la proprietățile fizico-chimice ale fazelor cvasistabilă și mobilă, la caracteristicile contactului dintre fluid și pereții golurilor și la limitarea posibilităților de modelare în raport cu comportarea reală a pământurilor.

Pentru o gamă largă de pământuri se poate afirma că fluidul mobil interstițial poate fi asimilat cu un fluid perfect și anume cu apa, identificare destul de riguroasă.

Intr-adevăr, proprietățile unor fluide ca apa sînt influențate de forma și dimensiunile cavităților prin care se scurg, dezvoltîndu-se forțe de contact care, la scară moleculară, determină în faza fluidă o comportare similară cu a unor solide.

Caracterul care apropie fluidul interstițial de al fazei solide este accentuat și de existența peliculei de apă legată fizic, prin producerea unei stări locale de turbulență, datorită aderenței dintre fazele componente.

Pereții golurilor fazei cvasistabile pot primi proprietăți mecanice diferite, participînd într-o anumită măsură la scurgerea fluidului prin pori, prin acțiunea fizico-chimică a fazei mobile.

Fluidul mobil care circulă prin goluri poate include o anumită cantitate de particule solide în suspensie, fie datorită turbulenței sale, fie datorită acțiunii chimice prin dizolvare.

Aceste incluziuni, care inițial se antrenează în mișcarea fazei mobile, ulterior rămîin înglobate în faza cvasistabilă, mărindu-i vîscozi-

In acest mod fluidul mobil care circulă prin goluri are proprietați fizico-mecanice mai complexe, din care cauză se introduce, ca nou-tate, modelarea procesului de consolidare a pământurilor cu fază mobilă. Mediile structurale cu schelet rigid-elastic pot include în golurile acestuia un material de umplură alcătuit din particule fine argiloase și diferite substanțe organice, aflate parțial în stare de suspensie. După aplicarea încărcării, când apa începe să fie evacuată, apare o stare de tensiune, în materialul de umplură, concomitent cu cea din scheletul rigid-elastic. Pe măsură ce legăturile dintre particulele scheletului se distrug, materialul de umplură se consolidează. Chiar dacă valoarea încărcării rămâne constantă la un moment dat, starea de deformație, continuă să se dezvolte, până la găsirea unei poziții de echilibru stabil /91/.

2.2. Definirea elementelor și a modului de sollicitare pentru fazele componente ale modelului fizic bifazic

Pentru a defini elementele de suprafață, de volum și modul de sollicitare pentru modelul fizic bifazic se realizează fig.2.2. Pe aceasta se notează cu ds aria totală a elementului de suprafață, presupusă continuă și cu f raportul între aria golurilor și aria totală ds , presupus identic pentru orice directoare a normalei la suprafață (în ipoteza izotropiei golurilor)/27/. Rezultă elementul de arie $f ds$ pentru faza mobilă și $(1-f) ds$ pentru faza cvasistabilă.

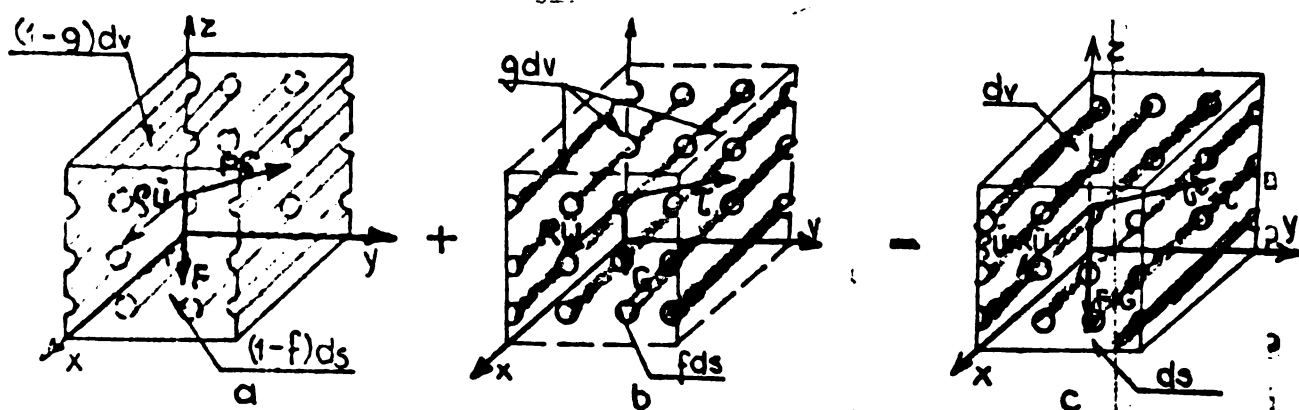


Fig.2.2. Reprezentarea schematică a elementelor de suprafață, de volum și a modului de sollicitare pentru modelul fizic bifazic :
 a - faza solidă cvasistabilă ; b - faza fluidă mobilă ; c - ambele faze (cvasistabilă + mobilă).

Pentru fundamentarea matematică a consolidării modelului fizic bifazic se poate recurge la explicitarea teoriei de consolidare produsă de mobilitatea internă a mediilor elastice /54/ și viscoelastice /55/ elaborată de Mișicu M, pe care autorul urmează să le dezvolte în continuare.

În procesul de consolidare a modelului fizic bifazic, sub acțiunea încărcărilor aplicate, se dezvoltă tensiuni atât în faza cvasistabilă cât și în faza mobilă, care se notează cu σ_s și respectiv σ_m , astfel că tensiunile totale în faza cvasistabilă și în faza mobilă se transcriu sub forma $(1-f) \sigma_s$ și respectiv $f \cdot \sigma_m$. În cazul prescurtat pentru $\sigma = (1-f) \sigma_s$ și $\tilde{\tau} = f \sigma_m$ se introduce expresia :

$$(1-f) \sigma_s + f \sigma_m = \sigma + \tilde{\tau}. \quad (2.1)$$

În particular, dacă faza mobilă este un fluid ideal, tensiunea σ_m se reduce la o presiune p , adică dispar alunecările, de unde rezultă relația :

$$\tilde{\tau} = - f \cdot \delta p \quad (2.2)$$

notînd cu δ simbolul lui Kronecker.

Dacă se notează cu g raportul între volumul golurilor dintr-un element de volum și volumul total, densitatea mediului în faza cvasistabilă ρ_s și respectiv în faza mobilă ρ_m se exprimă prin $(1-g) \rho_s$ și $g \rho_m$. În cazul prescurtat pentru $\rho = (1-g) \rho_s$ și $R = g \rho_m$, rezultă relația :

$$(1-g) \rho_s + g \rho_m = \rho + R. \quad (2.3)$$

Dacă se notează cu u și U deplasările în faza cvasistabilă și în faza mobilă, forțele de inerție totală pe unitatea de volum corespunzătoare fazei cvasistabile și fazei mobile se exprimă sub forma: $(1-g) \rho_s \ddot{u} + g \rho_m \ddot{U}$ și în cazul prescurtat pentru $\ddot{u} = (1-g) \rho_s \ddot{u}$ și $R \ddot{U} = g \rho_m \ddot{U}$, de unde :

$$(1-g) \rho_s \ddot{u} + g \rho_m \ddot{U} = \rho \ddot{u} + R \ddot{U}. \quad (2.4)$$

Forțele masice totale pe unitatea de volum F_s și F_m corespunzătoare fazei cvasistabile și fazei mobile generează expresia $(1-g) F_s + g F_m$ și în cazul prescurtat pentru $F = (1-g) F_s$ și $G = g F_m$ se ajunge la relația :

$$(1-g) F_s + g F_m = F + G. \quad (2.5)$$

Mărimile constitutive σ și $\tilde{\tau}$ sînt legate de forțele de volum caracteristice ale fazei cvasistabile și ale fazei mobile prin ecuațiile de echilibru :

$$\nabla \sigma = \rho \vec{u} + F - P, \nabla \tilde{\tau} = R \vec{U} + G + P \quad (2.6)$$

P reprezentind forța de legătură între faze.

In concluzie s-a trecut la definirea fazelor componente ale modelului de calcul bifazic pentru pământuri, legate între ele prin condițiile de echilibru corespunzătoare.

2.3. Modelul de calcul bifazic pentru consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă

Dacă se notează cu $\epsilon = (\nabla u)^S$ și $E = (\nabla U)^S$ tensorii simetrici ai deformației în faza cvasistabilă și respectiv în faza mobilă din modelul fizic bifazic, lucrul mecanic total al fazelor /41/ se exprimă sub forma :

$$W = \int_V [\sigma \epsilon + \tilde{\tau} E + P (U - u)] dv = \int_V (w + \Delta w) dv \quad (2.7)$$

In relația (2.7) se constată că $\sigma \epsilon$ și $\tilde{\tau} E$ corespund lucrului mecanic de deformare al fazei cvasistabile și respectiv al fazei mobile care în general se notează :

$$W = \tilde{\tau} \epsilon + \tau E \quad (2.8)$$

și în particular, dacă faza mobilă este un fluid ideal, se reduce la o presiune p, iar expresia (2.8) devine:

$$W = \sigma \epsilon - p E \quad (2.9)$$

Interpretind în continuare relația (2.7) rezultă că expresia:

$$\Delta W = P (U - u) \quad (2.10)$$

corespunde lucrului mecanic de legătură între faze, în care P reprezintă forța de legătură între cele două faze și U - u deplasarea relativă dintre acestea.

Dacă se admite că variația energiei este o diferențială totală exactă, pentru creșteri arbitrare ale deformațiilor, relația (2.9) se transcrie sub forma:

$$dW = \sigma d\epsilon - p dE \quad (2.11)$$

iar condițiile de reversibilitate pentru energia absorbită în timpul unui ciclu de deformare devin :

$$\sigma = \frac{\partial W}{\partial \epsilon}, \tau = -p = \frac{\partial W}{\partial E} \quad (2.12)$$

Dacă lucrul mecanic de deformare al fazelor W este o formă pătra-

tică :

$$W = \frac{1}{2} (\epsilon C \epsilon + 2 \epsilon B E + E A E) \quad (2.13)$$

se obțin ecuațiile constitutive pentru ambele faze:

$$\sigma = C \epsilon + B E, \quad \tau = -p = B E + A E \quad (2.14)$$

care se transcriu sub formă tensorială :

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl} + B_{ijkl} E_{kl} \quad (2.15)$$

$$\tau_{ij} = -p_{ij} = B_{ijkl} \epsilon_{kl} + A_{ijkl} E_{kl} \quad (2.16)$$

În ipoteza izotropiei mediului coeficienții din ecuațiile (2.15) și (2.16) se detaliază sub forma :

$$\begin{aligned} C_{ijkl} &= \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \\ B_{ijkl} &= L \delta_{ij} \delta_{kl} + M (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \\ A_{ijkl} &= \mathcal{L} \delta_{ij} \delta_{kl} + \mathcal{M} (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

unde s-au notat cu λ și μ constantele lui Lamé, L și M modulul elastic longitudinal și respectiv transversal pentru deformarea fazei cvasistabile și \mathcal{L} și \mathcal{M} modulul elastic longitudinal și respectiv transversal pentru deformarea fazei mobile.

Prin introducerea coeficienților (2.17) în ecuațiile constitutive (2.15) și (2.16) rezultă forma lor definitivă :

$$\sigma_{ij} = \delta_{ij} \lambda \theta + 2 \mu \epsilon_{ij} + \delta_{ij} L \theta + 2 M E_{ij} \quad (2.18)$$

$$\delta_{ij} = -p_{ij} = \delta_{ij} L \theta + 2 M \epsilon_{ij} + \delta_{ij} \mathcal{L} \theta + 2 \mathcal{M} E_{ij} \quad (2.19)$$

cu notațiile $\theta = \epsilon_{ii}$ pentru dilatarea fazei cvasistabile și $\theta = E_{ii}$ pentru dilatarea fazei mobile.

Prin extinderea legii lui Darcy /62/ se presupune că $U - u$ deplasarea relativă între faze intervine ca o condiție de curgere a mediului bifazic în ecuațiile de echilibru (2.6) :

$$b (U - u) = -\nabla \tau - R \bar{U} - G = P \quad (2.20)$$

unde s-a notat cu b constanta lui Darcy /27/.

Pentru câmpuri statice adică $\bar{U} = 0$ și în lipsa forțelor masice adică $G = 0$, condiția (2.20) pentru $\tau = -fp$ se transformă în legea de curgere a lui Darcy prin relația :

$$b (U - u) = -f \nabla p. \quad (2.21)$$

Dacă condiția (2.21) devine:

$$\rho(U - u)^* = -f \nabla p - R\ddot{U} - G \quad (2.22)$$

dar lucrul mecanic de legătură între faze, corespunzător acestei legi de curgere, are expresia :

$$\Delta W = \rho \int (U - u)^* (U - u) = b(U - u)^* (U - u) = \frac{b}{2} [(U - u)^*]^2 \quad (2.23)$$

din care rezultă că ΔW are un caracter disipativ /53/.

În soluție legea de curgere admisă prin condiția (2.22) conține un singur parametru b , fiind similară legii lui Darcy sub aspectul viscozității, dar diferă prin prezența tensorului \mathcal{L} din faza mobilă, în loc de tensorul sferic al presiunii $-\delta p$.

În ipoteza izotropiei mediului, sistemul de ecuații în deplasări rezultă prin substituția ecuațiilor constitutive (2.18) și (2.19), aștit în ecuațiile de echilibru (2.6), cît și în legea de curgere stabilită (2.22) :

$$(\lambda + \mu - M) \nabla \Theta + (\mu + M) \Delta u + (L + M + \mathcal{L} + \mathcal{M}) \nabla \Theta + (M + \mathcal{M}) \Delta U = \rho \ddot{u} + F + R\ddot{U} + G \quad (2.24)$$

$$b(U - u)^* = (L + M) \nabla \Theta + M \Delta u + (\mathcal{L} + \mathcal{M}) \nabla \Theta + \mathcal{M} \Delta U + R\ddot{U} + G \quad (2.25)$$

Pentru cazul static și în lipsa forțelor masice apar condițiile :

$$\rho \ddot{u} = F = R\ddot{U} = G = 0.$$

În ipoteza anizotropiei mediului sistemul de ecuații în deplasări se transformă sub forma :

$$(\mathcal{A}_{ijkl} + \mathcal{C}_{ijkl}) (u_{k,1} + u_{1,k}), j + (\mathcal{A}_{ijkl} + \mathcal{B}_{ijkl}) (U_{k,1} + U_{1,k}), j = \rho u + F + R\ddot{U} + G \quad (2.26)$$

$$b(U - u)^* = \mathcal{C}_{ijkl} (u_{k,1} + u_{1,k}), j + \frac{1}{2} \mathcal{A}_{ijkl} (u_{k,1} + u_{1,k}), j - R\ddot{U} - G. \quad (2.27)$$

Pentru extinderea modelului de calcul bifazic adoptat s-a recurs la legea lui Darcy sub forma (2.21) care introdusă în ecuațiile constitutive (2.18) și (2.19), și în ecuațiile de echilibru (2.6) a generat sistemele de ecuații în deplasări, (2.24) și (2.25) pentru medii izotrope, (2.26) și (2.27) pentru medii anizotrope.

2.4. Varianțele ecuațiilor fundamentale de consolidare, influența de presiune și complexitatea fazei mobile

În unele cazuri ecuațiile teoriei consolidării mediilor viscoelastice se deduc din ecuațiile teoriei consolidării mediilor elasti-

ce, prin care se ajunge la rezolvări mai simple, ca varianta indicată de Freudenthal A.M. și Spillers W.R. /27/.

Dacă în ecuațiile constitutive (2.18) și (2.19) se grupează convenabil termenii rezultă :

$$\sigma_{ij} = \delta_{ij} (\lambda \theta + L\theta) + 2(\mu E + ME)_{ij} \quad (2.28)$$

$$\tau_{ij} = \delta_{ij} (L\theta + \lambda \theta) + 2(ME + \mu E)_{ij} \quad (2.29)$$

și dacă se asociază cu condiția de curgere (2.20) sub forma:

$$(\sigma + \tau)_{ij,j} = \tau_{ij,j} - b(U-u) \quad (2.30)$$

se ajunge la forma tensorială a ecuațiilor constitutive în deplasări :

$$(\lambda + \mu + L + M)u_{j,jj} + (\mu + M)u_{i,jj} + (L + M + \lambda + \mu)U_{j,ji} + (M + \mu)U_{i,jj} = 0 \quad (2.31)$$

$$(L + M)u_{j,ji} + \mu u_{i,jj} + (\lambda + M)U_{j,ji} + \mu U_{i,jj} = b(U-u)_i \quad (2.32)$$

de la care se pleacă pentru variantele expuse în continuare.

Dacă se consideră dilatările și rotațiile din câmpul de deplasare U al fazei mobile :

$$\theta = U_{i,i}, \quad \Omega_{ij} = \frac{(U_{j,i} - U_{i,j})}{2} = \epsilon_{ijk} \Omega_k \quad (2.33)$$

și în baza identităților :

$$\Delta U_i = U_{i,jj} = \theta_i - 2\Omega_{ij,j} \quad (2.34)$$

prin înlocuire în (2.31) și (2.32) rezultă prima formulare a ecuațiilor fundamentale :

$$(\lambda + \mu + L + M)u_{j,jj} + (\mu + M)u_{i,jj} + (L + 2M + \lambda + 2\mu)\theta_{,i} - 2(\mu + M)\Omega_{ij,j} = 0 \quad (2.35)$$

$$(L + M)u_{j,ji} + \mu u_{i,jj} + (\lambda + 2M)\theta_{,i} - 2\mu\Omega_{ij,j} = b(U-u)_i \quad (2.36)$$

Pentru a elimina deplasările U și u din ecuația (2.36) se exprimă dilatările și rotațiile din câmpul de deplasare u al fazei cvasistabile, prin analogie cu relațiile similare (2.33) :

$$\theta = u_{i,i}, \quad \omega_{ij} = (u_{j,i} - u_{i,j})/2 = \epsilon_{ijk} \omega_k \quad (2.37)$$

În baza relațiilor (2.33) și (2.37), care se înlocuiesc în ecuațiile (2.35) și (2.36), rezultă a doua formulare a ecuațiilor fundamentale.

$$(L + 2M)\Delta \theta + (\lambda + 2M)\Delta \theta = b(\theta - \theta) \quad (2.38)$$

$$M\Delta \omega_{ij} + \mu\Delta \omega_{ij} = b(\Omega_{ij} - \omega_{ij}) \quad (2.39)$$

condiția adițională :

$$\Omega_i, i = 0 \quad (2.40)$$

adică vectorul rotației din faza mobilă are divergența nulă.

Dacă se consideră tensorul intrinsec de presiune din teoria lui Bredenthal A.M. și Spillers W.R. /27/, $P_{ij} = - \delta_{ij} p$, în care se notează cu \bar{p} constanta de consolidare, componenta sferică se transcrie sub forma :

$$P_{ij} = 3 p = - \tilde{\tau}_{ij} / \alpha. \quad (2.41)$$

Înlocuind relația (2.41) în ecuația (2.29) rezultă :

$$(3L + 2M) \theta + (3\lambda + 2\mu) \theta = - 3\alpha \bar{p} \quad (2.42)$$

de unde se deduc dilatările din faza mobilă :

$$\theta = - [3\alpha \bar{p} + (3L + 2M) \theta] / (3\lambda + 2\mu). \quad (2.43)$$

Introducând aceste relații în ecuațiile (2.30) și (2.31) se obține a treia formulare a ecuațiilor fundamentale :

$$(\lambda^* + \mu^*) u_{j,j} + \mu^* u_{i,jj} - \alpha^* \bar{p}_{,i} - 2M^* \Omega_{ij,i} = 0 \quad (2.44)$$

$$\Delta p = \frac{\bar{b}}{f^2} \left[\frac{p}{E} + \alpha \left(\bar{\theta} + \frac{b^2}{2} \Delta \theta \right) \right] \quad (2.45)$$

unde s-au utilizat notațiile :

$$\mu^* = \mu + M, \lambda^* = \lambda - (L + 2M + \lambda + 2\mu) (3L + 2M) / (3\lambda + 2\mu)$$

$$L^* = (L + 2M + \lambda + 2\mu) 3\alpha / (2\lambda + 2\mu), M^* = 2(M + \mu) \quad (2.46)$$

$$\bar{E} = 3(L + \lambda) + 2(M + \mu) / 3\alpha^2, f = (\lambda + 2\mu) / \alpha \bar{E} = (\lambda + 2\mu) 3\alpha / [3(L + \lambda) + 2(M + \mu)]$$

$$\bar{E} = b \bar{E} / \alpha, f^2 = f^2 4(\lambda M + L\mu) / \alpha b 3 (\lambda + 2\mu).$$

Dacă tensorul eforturilor din faza mobilă se consideră descompus într-o componentă sferică și una deviatorică, și dacă aceasta din urmă se descompune la rândul ei într-o componentă deviatorică antisimetrică și una deviatorică complementară există relația :

$$\tilde{\tau}_{ij} = \tilde{\tau}_{ij}^S + \tilde{\tau}_{ij}^{DA} + \tilde{\tau}_{ij}^{DC}. \quad (2.47)$$

Detaliind termenii din membrul al doilea al relației (2.47) se va avea :

$$\tilde{\tau}_{ij}^S = \delta_{ij} [(3L + 2M) \theta + (3\lambda + 2\mu) \theta] / 3 = - \delta_{ij} \alpha \bar{p} \quad (2.48)$$

$$\tilde{\tau}_{ij}^{DA} = - 2 M^* \Omega_{ij} - 2 K^* \Omega_{ij} \quad (2.49)$$

$$\tau_{ij}^{DC} = 2M(u_{j,i} - \delta_{ij} \theta / 3) + 2\mathcal{M}(U_{j,i} - \delta_{ij} \Theta / 3). \quad (2.50)$$

In baza identităților (2.34) se observă că $\tau^S + \tau^{DA}$ echilibrează în divergență tensorul τ , adică :

$$\begin{aligned} \int_S \tau_{ij} ds &= \int_V \tau_{ij,j} dv = \\ &= \int_V (\tau^S + \tau^{DA})_{ij,j} dv = \int_S (\tau^S + \tau^{DA})_{ij} ds \end{aligned} \quad (2.51)$$

deoarece :

$$\tau_{ij,j}^{DC} = 0. \quad (2.52)$$

Dacă se utilizează notațiile :

$$\tau_{ij}^{DA} = -\alpha \tilde{\Pi}_{ij}, \quad \tilde{\Pi}_{ij} = \epsilon_{ijk} \tilde{\Pi}_k \quad (2.53)$$

se ajunge la expresia rotației fazei mobile :

$$\Omega_i = \frac{1}{2M} (\alpha \tilde{\Pi}_i - 2M\omega_i) \quad (2.54)$$

prin care se ajunge la a patra formulare a ecuațiilor fundamentale. Rezultă deci, prin substituție în ecuațiile (2.38), (2.39) și în condiția (2.40) :

$$\Delta \tilde{\Pi}_i = \frac{\bar{b}}{f} \frac{1}{\bar{N}} (\tilde{\Pi}_i + 2\beta \omega_i), \quad \tilde{\Pi}_{i,i} = 0, \quad (2.55)$$

pentru notațiile :

$$\bar{N} = \mathcal{M} \bar{M} / (\mathcal{L} + 2M) = 3\alpha M / [3(L + \mathcal{L}) + 2(M + \mathcal{M})]$$

$$\begin{aligned} 2\beta &= -2(M + \mathcal{M}) / \mathcal{M} = -2f M^* / \mathcal{M} = 6\alpha M^* (\mathcal{L} + 2M) / \mathcal{M} [3(L + \mathcal{L}) + \\ &+ 2(M + \mathcal{M})]. \end{aligned} \quad (2.56)$$

Ecuația (2.44) se transcrie sub forma :

$$(\bar{\lambda} + \bar{\mu}) u_{j,ji} + u_{i,jj} - \alpha^* p_{,i} - \beta^* \tilde{\Pi}_{ij,j} = 0 \quad (2.57)$$

pentru notațiile:

$$\bar{\mu} = \mu - \mathcal{K}^* / \mathcal{M}$$

$$\bar{\lambda} = \lambda^* + \frac{2H}{M}(M+N) = \lambda - (L+2M + \alpha + 2N) (3L+2M) / (3\alpha + 2N) + 2(M+N) M/M \quad (2.58)$$

$$\beta^* = (M+N) \alpha / M.$$

Pseudotensorul $\tilde{\pi}_{ij}$ trebuie privit ca o combinație a rotațiilor Ω și ω . Practic, dacă $M = 0$, atunci $\tilde{\pi}_i = 2M\Omega_i$ devine proporțional cu rotația fazei mobile, care se introduce pentru a unifica formulările ecuațiilor fundamentale.

De asemenea, dacă pe conturul mediului apare o stare de dilatare (sau compresiune) și turbulență în faza mobilă, această stare este definită de tensorul $\tilde{\tau}^S + \tilde{\tau}^{DA}$, echivalent în divergență cu tensorul $\tilde{\tau}$, fiind respectate condițiile de echilibru și implicit condițiile la limită.

Condiția de echilibru pentru momentul de rotație trebuie să fie satisfăcută prin considerarea unor momente de turbulență de natură inerțială sau prin frecări care echilibrează momentul

$$(\tilde{\tau}_{ij}^{DA} - \tilde{\tau}_{ji}^{AD}) dv = 2\tilde{\tau}_{ij}^{DA} dv, \text{ aplicat elementului de volum al fazei}$$

mobile.

În anumite cazuri la limită, definirea presiunii și rotației pe contur nu constituie o problemă și corespunde realității fizice. În particular, pentru masivul axial simetric, se poate admite că presiunea fluidului la suprafață este nulă și rotația axială în planul vertical este nulă. Aceasta se datorește existenței unei zone rigide superficiale sau slabei rotații a fluidului la suprafață, unde vitezele de antrenare devin foarte mici.

În concluzie s-au dedus patru variante ale ecuațiilor fundamentale /55/, formulate prin ecuațiile (2.35) și (2.36); (2.38) și (2.39); (2.44) și (2.45); (2.54) și (2.55), necesare în consolidarea mediilor cu mobilitate internă, pentru trecerea de la consolidarea primară la consolidarea secundară.

2.5. Condiții la limită asociate formulării ecuațiilor fundamentale

Analizând procesul de consolidare a mediilor structurale cu mobilitate internă, se admit unele ipoteze simplificatoare privind starea de eforturi și deformații în faza cvasistabilă și în faza mobilă. Acestea se referă la limitarea, echivalarea și neglijarea unor efecte de presiune și mobilitate pe contur.

Pentru determinarea soluțiilor din ecuațiile (2.36), (2.38), (2.39) și

(2.40), deplasările fazei cvasistabile u_i și respectiv ale fazei mobile U_i , rezultă condițiile la limită :

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} n_j &= \sigma_i, & \tau_{ij} n_j &= \tau_i \\ u_i &= f_i, & U_i &= F_i \\ \sigma_{ij} n_j &= \sigma_i, & U_i &= F_i \\ u_i &= f_i, & \tau_{ij} n_j &= \tau_i. \end{aligned} \quad (2.59)$$

În condițiile (2.59) se admite că, pe contur, presiunea fluidului și rotațiile, atât în faza cvasistabilă, cât și în faza mobilă, se neglijează valoric.

Pentru determinarea soluțiilor din ecuațiile (2.39), (2.42), (2.44) și (2.45), deplasarea fazei cvasistabile u_i , presiunea fazei cvasistabile p și rotația fazei mobile Ω_i , rezultă condițiile la limită :

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} n_j &= \sigma_i, & p &= P, & \Omega_i &= R_i \\ u_i &= f_i, & p &= P, & \Omega_i &= R_i. \end{aligned} \quad (2.60)$$

În condițiile (2.60) se admite că, pe contur, presiunea fluidului și rotațiile fazei cvasistabile se neglijează valoric.

Pentru determinarea soluțiilor din ecuațiile (2.44), (2.45), (2.55) și (2.57), deplasarea fazei cvasistabile u_i , presiunea fazei cvasistabile p și pseudotensorul \mathcal{G}_i proporțional cu rotația fazei mobile, rezultă condițiile la limită :

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{ij} n_j &= u_i, & p &= P, & \mathcal{H}_i &= \mathcal{T}_i \\ u_i &= f_i, & p &= P, & \mathcal{H}_i &= \mathcal{T}_i \end{aligned} \quad (2.61)$$

În condițiile (2.61) se admite că, pe contur, presiunea fluidului și rotațiile fazei mobile se neglijează valoric.

Se formulează condiții la limită pentru diferite variante de ecuații deduse din ecuațiile fundamentale, în funcție de presiunea și mobilitatea fazei cvasistabile și fazei mobile, în cadrul teoriei consolidării primare a mediilor bifazice cu mobilitate internă.

2.6. Reprezentarea soluțiilor prin funcții potențiale de tip Heuber-Papkovitch-Darcy

Rezolvarea problemelor la limită necesită introducerea unor funcții potențiale scalar $\nabla\varphi$ și potențial vectorial $\nabla.\Psi$ care definesc deplasarea

relativă :

$$U - u = \nabla \varphi + \nabla \times \psi \quad (2.62)$$

în care s-a notat :

$$\nabla \varphi = e_i \varphi_i \quad \text{și} \quad \nabla \times \psi = e_i e_{ijk} \psi_{k,j}$$

Dacă se înlocuiesc valorile respective în sistemul de ecuații diferențiale pentru deplasări (2.24) și (2.25) rezultă :

$$[\lambda + \mu + 2(L+M) + \delta + \mathcal{M}] \nabla \varphi + (\mu + 2M + \mathcal{M}) \Delta u + (L + 2M + \delta + 2\mathcal{M}) \Delta \nabla \varphi + (M + \mathcal{M}) \Delta \nabla \times \psi = 0 \quad (2.63)$$

$$b(\nabla \varphi + \nabla \times \psi) = (L + M + \delta + \mathcal{M}) \nabla \varphi + (M + \mathcal{M}) \Delta u + (\delta + 2\mathcal{M}) \Delta \nabla \varphi + \mathcal{M} \Delta \nabla \times \psi \quad (2.64)$$

Pentru eliminarea funcției φ din ecuația (2.63), ca aceasta să devină similară ecuației lui Lamé, se efectuează substituțiile :

$$u = \bar{u} - k \nabla \varphi - \ell \times \psi \quad (2.65)$$

$$U = \bar{u} + K \nabla \varphi + L \times \psi$$

în care s-a notat :

$$K = 1 - k \quad \text{și} \quad L = 1 - \ell$$

$$k = (L + 2M + \delta + 2\mathcal{M}) / [\lambda + 2\mu + 2(L + 2M) + \delta + 2\mathcal{M}] \quad (2.66)$$

$$\ell = (M + \mathcal{M}) / (\mu + 2M + \mathcal{M})$$

se obține sistemul :

$$[\lambda + \mu + 2(L+M) + \delta + \mathcal{M}] \nabla \varphi + (\mu + 2M + \mathcal{M}) \Delta \bar{u} = 0 \quad (2.67)$$

$$b(\nabla \varphi + \nabla \times \psi) = (L + M + \delta + \mathcal{M}) \nabla \varphi + (M + \mathcal{M}) \nabla \bar{u} + \Delta \nabla \varphi + B \Delta \nabla \times \psi \quad (2.68)$$

pentru :

$$A = \delta + 2\mathcal{M} - k(L + 2M + \delta + 2\mathcal{M}) = \left\{ (\delta + 2\mathcal{M}) [\lambda + 2\mu - (L + 2M)^2] \right\} / [\lambda + 2\mu + 2(L + 2M) + \delta + 2\mathcal{M}] \quad (2.69)$$

$$B = \mathcal{M} - \ell(M + \mathcal{M}) = (\mathcal{M}\mu - M^2) / (\mu + 2M + \mathcal{M})$$

Dacă se presupune că în momentul inițial $t = 0$ deplasarea este cilogenă, adică identică cu deplasarea fazei solide, atunci rezultă că pentru $t = 0$, $\varphi = 0$, $\psi = 0$.

Se consideră funcțiile potențial în deplasări de tip Neuber-Popkovitch-Darcy :

$$U = -\nabla(\mathcal{F}_0 + \bar{r}\mathcal{F}) + 2Q\mathcal{F} \quad (2.70)$$

pentru :

$$\bar{r} = e_1 x + e_2 y + e_3 z, \quad \Delta \mathcal{F}_0 = \Delta \mathcal{F} = 0 \quad (2.71)$$

$$Q = [\lambda + 2\mu + 2(L+M) + \delta + 2\mathcal{M}] / [\lambda + \mu + 2(L+M) + \delta + \mathcal{M}]$$

Dacă se apelează la funcțiile armonice Θ și O de forma :

$$\Theta = \nabla U \text{ și } O = \frac{1}{2} \nabla \times U \quad (2.72)$$

legate prin identitatea :

$$\Delta U = \nabla \Theta - 2 \nabla \times O \quad (2.73)$$

corelarea cu funcțiile potențial ϕ și ψ devine :

$$\phi = \dot{\phi} + \frac{q}{b} \int_0^t \Theta dt \quad (2.74)$$

$$\psi = \dot{\psi} + \frac{2r}{b} \int_0^t O dt.$$

Introducând aceste funcții în ecuația (2.68) rezultă :

$$b(\nabla \dot{\phi} + \nabla \times \dot{\psi} + \frac{q}{b} \nabla \Theta + \frac{2r}{b} \nabla \times O) = (L+2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}) \nabla \Theta - 2(M+\mathcal{M}) \nabla \times O + A \Delta \nabla \phi + B \Delta \nabla \times \psi. \quad (2.75)$$

Se impune condiția că ecuația (2.75) se descompune în următoarele trei ecuații :

$$b \dot{\phi} = A \Delta \phi, \quad b \dot{\psi} = B \Delta \psi$$

$$(L+2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M} - q) \nabla \Theta - 2(M+\mathcal{M} + r) \nabla \times O = 0. \quad (2.76)$$

Această ultimă ecuație este identic satisfăcută dacă coincide cu ecuația (2.63) transcrisă echivalent sub forma :

$$[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}] \nabla \Theta - 2(\mu + 2M + \mathcal{M}) \nabla \times O = 0. \quad (2.77)$$

Dacă se notează :

$$q = (L+2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}) - c[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}] \quad (2.78)$$

$$r = (M+\mathcal{M}) + c(\mu + 2M + \mathcal{M})$$

de unde rezultă coeficientul c sub forma :

$$c = (M + \mathcal{M} + r) / (\mu + 2M + \mathcal{M}). \quad (2.79)$$

Pentru valoarea $c = 0$ se va avea :

$$q = L + 2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}, \quad r = M + \mathcal{M}. \quad (2.80)$$

Dacă $r = 0$ sau $\psi = 0$, câmpul relativ $\bar{u} = U - u$ devine irotațional.

În consecință cu reprezentarea deplasărilor prin funcții potențial există relațiile :

$$\begin{aligned} \bar{\theta} = \nabla \bar{u} &= -\Delta(\bar{\mathcal{F}}_0 + \bar{r}\bar{\mathcal{F}}) + 2Q\nabla\bar{\mathcal{F}} = 2(Q-1)\nabla\bar{\mathcal{F}} \\ \bar{O} = \nabla \times \bar{u} / 2 &= Q\nabla \times \bar{\mathcal{F}} \end{aligned} \quad (2.81)$$

din care rezultă expresiile finale pentru deplasări :

$$u = -\nabla(\mathcal{F}_0 + \bar{r}\mathcal{F}) + 2Q\mathcal{F} - k \left[(\nabla\phi + \frac{2}{b} q(Q-1)) \int_0^t dt \nabla(\nabla\mathcal{F}) - \right. \\ \left. - L \left[(\nabla \times \Psi + \frac{2r}{b} q Q \int_0^t dt \nabla(\nabla \times \mathcal{F})) \right] \right] \quad (2.82)$$

$$U = -\nabla(\mathcal{F}_0 + \bar{r}\mathcal{F}) + 2Q\mathcal{F} + K \left[(\nabla\phi + \frac{2}{b} q(Q-1)) \int_0^t dt \nabla(\nabla\mathcal{F}) \right] + \\ + L \left[(\nabla \times \Psi + \frac{2r}{b} q Q \int_0^t dt \nabla(\nabla \times \mathcal{F})) \right] \quad (2.83)$$

O formă mai explicită a acestor rezultate se poate formula cu ajutorul notațiilor :

$$\nu = \lambda / 2 (\lambda + \mu), \quad N = (L + \mathcal{L}) / 2 (L + M + \mathcal{L} + \mathcal{M}) \quad (2.84) \\ \mathcal{N} = \mathcal{L} / 2 (\mathcal{L} + \mathcal{M}), \quad n = (\lambda + 2L + \mathcal{L}) / 2 [\lambda + \mu + 2(L + M) + \mathcal{L} + \mathcal{M}]$$

în care s-au utilizat relațiile adiționale (2.85) pentru coeficienții elastici :

$$\lambda = \frac{2}{1-2\nu} \mu, \quad \lambda + \mu = \frac{\mu}{1-2\nu}, \quad \lambda + 2\mu = \frac{1-\nu}{1-2\nu} 2\mu, \dots \quad (2.85)$$

Notațiile anterioare se transcriu sub forma :

$$Q = 2(1-n), \quad q = L + 2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M} = (1-N) 2(M + \mathcal{M}) / (1-2N) \quad (2.85)$$

$$r = -(M + \mathcal{M}), \quad k = c / [\lambda + 2\mu + 2(L + 2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}] = \dots \quad (2.86)$$

$$= (1-N)(1-2n)(M + \mathcal{M}) / (1-2M)(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M}).$$

Se observă că prin aplicarea transformantei Laplace funcțiile potențial transformate ϕ^* și Ψ^* satisfac ecuațiile :

$$b p \phi^* = A \Delta \phi^*, \quad b p \Psi^* = B \Delta \Psi^* \quad (2.87)$$

p fiind parametrul transformării.

Deoarece numărul potențialilor ϕ și Ψ este patru, este necesară determinarea numai a trei funcții necunoscute ale deplasărilor, deci se impune condiția adițională :

$$\nabla \Psi = \Psi_{i,i} = 0. \quad (2.88)$$

Prin utilizarea funcțiilor potențial de tip Neuber-Papkovitch-Darcy se introduce o nouă metodologie de calcul, luând în considerare efectul de mobilitate în cadrul consolidării primare a mediilor bifazice.

Neuber-Papkovitch-Darcy
efectul
bifazice.

2.7. Soluția generalizată pentru consolidarea primară a semispațiului prin metoda funcțiilor potențial

Se consideră în fig.2.3. un strat de înălțime h dintr-un masiv din pământ cu originea $z = 0$ la bază și $z = h$ la suprafață, supus acțiunii încărcărilor. Se presupune că baza stratului este impermeabilă și deformația laterală împiedicată.

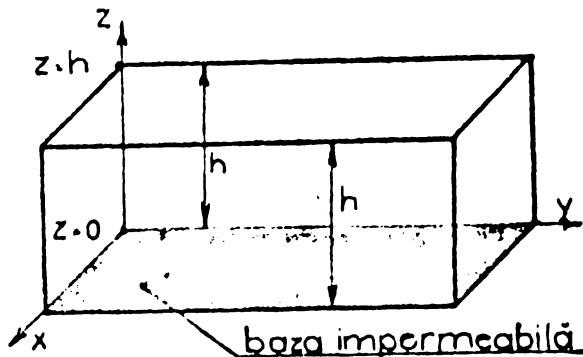


Fig.2.3. Strat de înălțime h dintr-un masiv din pământ supus acțiunii încărcărilor, cu baza impermeabilă și deformația laterală împiedicată.

Se admite că funcțiile de reprezentare sînt unidimensionale și de forma :

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi(z, t), \quad \mathcal{F} = \mathcal{F}(z, t), \quad \Psi = \\ &= \Psi(z, t), \quad \mathcal{F}_0 = \mathcal{F}_0(z, t) \end{aligned} \quad (2.89)$$

în care funcțiile \mathcal{F} și \mathcal{F}_0 sînt armonice și de forma :

$$\begin{aligned} \mathcal{F} &= [\bar{e}_1 r_1(t) + \bar{e}_2 r_2(t) + \\ &+ \bar{e}_3 c_1(t)] z, \quad \mathcal{F}_0 = r(t)z \end{aligned} \quad (2.90)$$

iar funcțiile potențial Φ și Ψ satisfac ecuațiile :

$$b\dot{\Phi} = A \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2}, \quad b\dot{\Psi} = B \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \quad (2.91)$$

Prin aplicarea transformatei Laplace ecuațiile (2.91) devin :

$$bp\Phi^* = A \frac{\partial^2 \Phi^*}{\partial z^2}, \quad bp\Psi^* = B \frac{\partial^2 \Psi^*}{\partial z^2} \quad (2.92)$$

de unde :

$$l = \sqrt{-\frac{bp}{A}}, \quad m = \sqrt{-\frac{bp}{B}}$$

Se aleg soluțiile de forma :

$$\begin{aligned} \Phi^* &= c_2(t) \cos lz + c_3(t) \sin lz \\ \Psi^* &= c_4(t) \cos mz + c_5(t) \sin mz \end{aligned} \quad (2.93)$$

în care : $c_4(t) = c_{41}(t) \bar{e}_1 + c_{42}(t) \bar{e}_2 + c_{43}(t) \bar{e}_3$

$$c_5(t) = c_{51}(t) \bar{e}_1 + c_{52}(t) \bar{e}_2 + c_{53}(t) \bar{e}_3.$$

Introducîndu-se funcțiile de reprezentare (2.89) în expresiile finale pentru deplasările din faza cvasistabilă de forma (2.82) și pentru de-

deplasările din faza mobilă de forma (2.83), rezultă deplasările din ambele faze. Acestea se notează cu u și respectiv U pe direcția x , cu v și respectiv V pe direcția y , cu w și respectiv W pe direcția z , ca în fig.2.4.

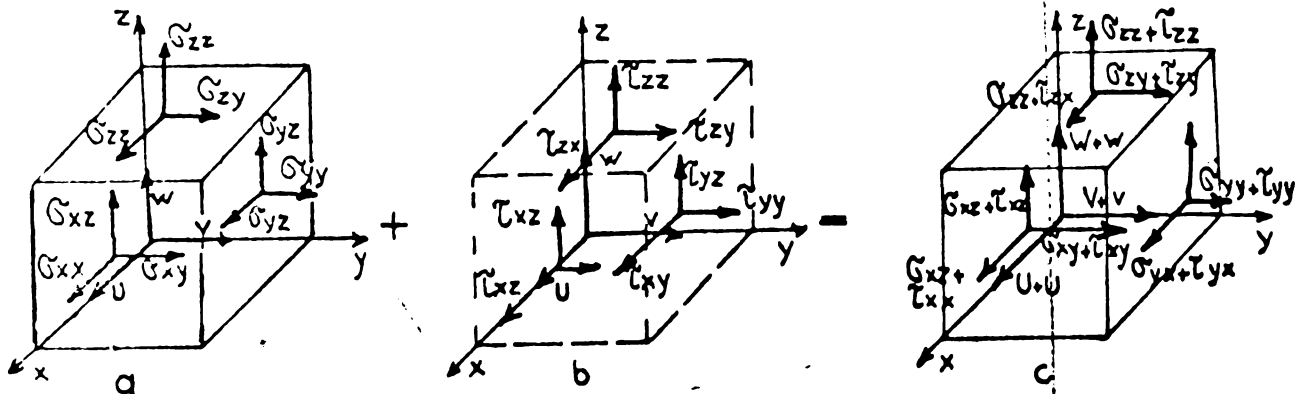


Fig.2.4. Starea spațială de tensiuni și de deplasări într-un element al modelului fizic bifazic: a - faza solidă cvasistabilă; b - faza fluidă mobilă; c - ambele faze (cvasistabilă + mobilă).

Se deduc relațiile pentru deplasările din faza cvasistabilă :

$$\begin{aligned}
 u &= -r_1(t) z^{4(1-n)} [x r_1(t) + y r_2(t) + z c_1(t)] + \\
 &\quad + \text{Im} [c_{42}(t) \sin mz - c_{52}(t) \cos mz] \\
 v &= -r_2(t) z^{4(1-n)} [x r_1(t) + y r_2(t) + z c_1(t)] - \\
 &\quad - \text{Im} [c_{41}(t) \sin mz - c_{51}(t) \cos mz] \\
 W &= -r(t) + (3-4n) [(x r_1(t) + y r_2(t) - 2(1-2n) z \cdot c_1(t))] + \\
 &\quad + k l [c_2(t) \sin lz - c_3(t) \cos lz] .
 \end{aligned} \tag{2.94}$$

Prin analogie cu (2.94) se deduc și deplasările din faza mobilă :

$$\begin{aligned}
 U &= -r_1(t) z^{4(1-n)} [x r_1(t) + y r_2(t) + z c_1(t)] + \\
 &\quad + \text{Im} [c_{42}(t) \sin mz - c_{52}(t) \cos mz] \\
 V &= -r_2(t) z^{4(1-n)} [x r_1(t) + y r_2(t) + z c_1(t)] - \\
 &\quad - \text{Im} [c_{41}(t) \sin mz - c_{51}(t) \cos mz] \\
 W &= -r(t) + (3-4n) [x r_1(t) + y r_2(t) - 2(1-2n) z c_1(t) + \\
 &\quad + K l c_2(t) \sin lz - c_3(t) \cos lz] .
 \end{aligned} \tag{2.95}$$

În expresiile pentru deplasările din ambele faze (2.94) și (2.95) se introduc condițiile de limită, de unde rezultă :

$$\begin{aligned}
 u(o) &= 4(1-n)xr_1(t) + yr_2(t) - lm c_{52}(t) \\
 v(o) &= 4(1-n)xr_1(t) + yr_2(t) + lm c_{51}(t) \\
 w(o) &= -r(t) + (3-4n)xr_1(t) + yr_2(t) - kl c_3(t) \\
 U(o) &= 4(1-n)xr_1(t) + yr_2(t) - Lm c_{52}(t) \\
 V(o) &= 4(1-n)xr_1(t) + yr_2(t) + Lm c_{51}(t) \\
 W(o) &= -r(t) + (3-4n)xr_1(t) + yr_2(t) - Kl c_3(t).
 \end{aligned} \tag{2.96}$$

Trinând seama de (2.71) rezultă în continuare :

$$\begin{aligned}
 u(h) &= u(o) - r_1(t)h + 4(1-n)c_1(t)h + lm [c_{42}(t) \sin mh - c_{52}(t)(\cos mh - 1)] \\
 v(h) &= v(o) - r_2(t)h + 4(1-n)c_1(t)h - lm [c_{41}(t) \sin mh - c_{51}(t)(\cos mh - 1)] \\
 w(h) &= w(o) - 2(1-2n)hc_1(t) + kl [c_2(t) \sin lh - c_3(t)(\cos lh - 1)] \\
 U(h) &= U(o) - r_1(t)h + 4(1-n)c_1(t)h + Lm [c_{42}(t) \sin mh - c_{52}(t)(\cos mh - 1)] \\
 V(h) &= V(o) - r_2(t)h + 4(1-n)c_1(t)h - Lm [c_{41}(t) \sin mh - c_{51}(t)(\cos mh - 1)] \\
 W(h) &= W(o) - 2(1-n)hc_1(t) + Kl [c_2(t) \sin lh - c_3(t)(\cos lh - 1)].
 \end{aligned} \tag{2.97}$$

Introducînd expresiile pentru deplasări (2.94) în ecuațiile constitutive (2.18) și (2.19) rezultă relațiile pentru tensiuni în faza cvasistabilă :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xx} &= (\lambda + 2\mu) (1-n)r_1(t) + \lambda \{ 4(1-n)r_2(t) + 2(1-2n)c_1(t) + \\
 &\quad + kl^2 [c_2(t) \cos lz + c_3(t) \sin lz] \} + 4(L+2M) (1-n)r_1(t) + \\
 &\quad + L \{ 4(1-n)r_2(t) + 2(1-2n)c_1(t) - kl^2 [c_2(t) \cos lz + c_3(t) \sin lz] \} \\
 \sigma_{yy} &= 4(\lambda + 2\mu) (1-n)r_2(t) + \lambda \{ 4(1-n)r_1(t) + 2(1-2n)c_1(t) + kl^2 [c_2 \cos lz + \\
 &\quad + c_3(t) \sin lz] \} + 4(L+2M) (1-n)r_2(t) + L \{ 4(1-n)r_1(t) + \\
 &\quad + 2(1-2n)c_1(t) - kl^2 [c_2(t) \cos lz - c_3(t) \sin lz] \} \\
 \sigma_{zz} &= (\lambda + 2\mu) \{ 2(1-2n)c_1(t) - kl [c_2(t) \cos lz + c_3(t) \sin lz] \} + \\
 &\quad + 4\lambda (1-n) [r_1(t) + r_2(t)] - (L+2M) \{ 2(1-2n)r_2(t) - kl [c_2(t) \cos lz + \\
 &\quad + c_3(t) \sin lz] \} + 4(1-n) [r_1(t) + r_2(t)] \\
 \sigma_{zx} &= \mu \{ -r_1(t) + 4(1-n)c_1(t) - lm [c_{42}(t) \cos mz - c_{52}(t) \sin mz] + \\
 &\quad + (3-4n)r_1(t) + M [-r_1(t) + 4(1-n)c_1(t) - Lm [c_{42}(t) \cos mz - \\
 &\quad - c_{52}(t) \sin mz] + (3-4n)r_1(t)] \} \\
 \sigma_{zy} &= \mu \{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) + lm [c_{41}(t) \cos mz + c_{51}(t) \sin mz] + \\
 &\quad + (3-4n)r_2(t) \} + M \{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) - Lm [c_{41}(t) \cos mz + \\
 &\quad + c_{51}(t) \sin mz] + (3-4n)r_2(t) \} .
 \end{aligned} \tag{2.98}$$

$$\sigma_{xy} = 4\mu(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] + 4M(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] .$$

Prin analogie cu (2.98) se stabilesc relațiile pentru tensiuni în faza mobilă :

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= (L+2M)4(1-n)r_1(t)+L \{ 4(1-n)r_2(t)-2(1-2n)c_1(t) + \\ &+ kl [c_2(t)\cos lz+c_3(t)\sin lz] \} + (\lambda+2M)4(1-n)r_1(t)+ \\ &+ 4(1-n)r_1(t)-2(1-2n)c_1(t)+ Kl c_2(t)\cos lz + \\ &+ c_3(t)\sin lz \} \\ \tau_{yy} &= L(L+2M)4(1-n)r_2(t)+L \{ 4(1-n)r_1(t)-2(1-2n)c_1(t) + \\ &+ kl [c_2(t)\cos lz+c_3(t)\sin lz] \} + (\lambda+2M)4(1-n)r_2(t)+ \\ &+ L \{ 4(1-n)r_1(t)-2(1-2n)c_1(t)+Kl [c_2(t)\cos lz+c_3(t)\sin lz] \} \\ \tau_{zz} &= (L+2M) \{ 2(1-2n)c_1(t)-kl [c_2(t)\cos lz+c_3(t)\sin lz] \} + \\ &+ 4L(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] - (\lambda+2M) \{ 2(1-2n)r_2(t)-Kl c_2(t)\cos lz+ \\ &+ c_3(t)\sin lz \} + 4(1-n) [r_1(t) + r_2(t)] \end{aligned} \quad (2.99)$$

$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= M \{ -r_1(t)+4(1-n)c_1(t)-lm [c_{42}(t)\cos mz-c_{52}(t)\sin mz] + \\ &+ (3-4n)r_1(t) \} + M \{ -r_1(t)+4(1-n)c_1(t)-lm [c_{42}(t)\cos mz - \\ &- c_{52}(t)\sin mz] + (3-4n)r_1(t) \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{zy} &= M \{ r_2(t)+4(1-n)c_1(t)+lm [c_{41}(t)\cos mz +c_{52}(t)\sin mz] + \\ &+ (3-4n)r_2(t) \} + M \{ -r_2(t)+4(1-n)c_1(t)-lm [c_{41}(t)\cos mz + \\ &+ c_{51}(t)\sin mz] + (3-4n)r_2(t) \} \end{aligned}$$

$$\tau_{ny} = 4M(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] + 4M(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] .$$

În expresiile tensiunilor din ambele faze (2.98) și (2.99) se introduce condiția la limită $z = h$, de unde rezultă pentru faza cvasistabilă :

$$\begin{aligned} \sigma_{zz}(h) &= (\lambda+2\mu) \{ 2(1-2n)c_1(t)-kl [c_2(t)\cos lh+c_3(t)\sin lh] \} + \\ &+ 4\lambda(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] - (L+2M) \{ 2(1-2n)r_2(t)-Kl [c_2(t)\cos lh+ \\ &+ c_3(t)\sin lh] + 4L(1-n) [r_1(t)+r_2(t)] \} \end{aligned} \quad (2.100)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{zx}(h) &= M \{ -r_1(t)+4(1-n)c_1(t)-lm [c_{42}(t)\cos mh-c_{52}(t)\sin mh] + \\ &+ (3-4n)r_1(t) \} + M \{ -r_1(t)+4(1-n)c_1(t)-lm [c_{42}(t)\cos mh-c_{52}(t) \\ &\sin mh] + (3-4n)r_1(t) \} . \end{aligned}$$

$$\sigma_{zy}(h) = \mu \left\{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) + \text{Im} [c_{41}(t) \cos mh + c_{51}(t) \sin mh] + (3-4n)r_2(t) \right\} + M \left\{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) - \text{Im} [c_{41}(t) \cos mh + c_{51}(t) \sin mh] + (3-4n)r_2(t) \right\} .$$

și pentru faza mobilă :

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_{zz}(h) = & (L+2M) \left\{ 2(1-2n)c_1(t) - k_1 [c_2(t) \cos lh + c_3(t) \sin lh] + \right. \\ & + 4L(1-n) [r_1(t) + r_2(t)] - (L+2M) \left\{ 2(1-2n)r_2(t) - \right. \\ & \left. \left. - k_1 [c_2(t) \cos lh + c_3(t) \sin lh] \right\} + 4L [(r_1(t) + r_2(t))] \right\} \end{aligned} \quad (2.101)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_{zx}(h) = & M [r_1(t) + 4(1-n)c_1(t) - \text{Im} [c_{42}(t) \cos mh - c_{52}(t) \sin mh] + \\ & + (3-4n)r_1(t)] + M \left\{ -r_1(t) + 4(1-n)c_1(t) - \text{Im} [c_{42}(t) \cos mh - \right. \\ & \left. - c_{52}(t) \sin mh] + (3-4n)r_1(t) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_{zy}(h) = & M \left\{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) + \text{Im} [c_{41}(t) \cos mh + c_{51}(t) \sin mh] + \right. \\ & + (3-4n)r_2(t) \left. \right\} + M \left\{ -r_2(t) + 4(1-n)c_1(t) - \text{Im} [c_{41}(t) \cos mh + \right. \\ & \left. + c_{51}(t) \sin mh] + (3-4n)r_2(t) \right\} . \end{aligned}$$

Dacă se consideră o stare de tensiune numai pe direcția axei z, deci $\sigma_{zz} = \sigma$ și $\tilde{\tau}_{zz} = \tilde{\tau}$ și dacă se consideră că variază numai anumii coeficienți ca $c_1(t)$, $c_2(t)$ și $c_3(t)$, rezultă condițiile la limită pentru $z = 0$:

$$w(0) = W(0) = 0 \quad (2.102)$$

și pentru $z = h$:

$$\sigma_{zy}(h) = \sigma_{zx}(h) = \tilde{\tau}_{zy}(h) = \tilde{\tau}_{zx}(h) = 0 \quad (2.103)$$

$$\sigma_{zz}(h) = \tilde{\tau}_{zz}(h) = 0 .$$

Din condițiile (2.102) se determină valoarea pentru $c_3(t)$:

$$c_3(t) = \frac{w(0) + r(t)}{lk} = \frac{W(0) + r(t)}{lK} = \frac{W(0) - w(0)}{l(k+K)} . \quad (2.104)$$

Din condițiile (2.103) se determină valorile pentru $c_1(t)$ și $c_2(t)$:

$$\begin{aligned} & (\lambda + 2\mu) [2(1-2n)c_1(t) - k_1 c_2(t) \cos lh] + \\ & + 4(1-n) (\lambda + L) [r_1(t) + r_2(t)] - \\ & - (L+2M) [2(1-2n)r_2(t) - k_1 c_2(t) \cos lh] = \sigma_{zz}(h) + \\ & + l(k+K)c_3(t) \sin lh = \sigma_{zz}(h) + \left(\frac{k+K}{kK} \right) [W(0) - w(0)] \sin lh \end{aligned} \quad (2.105)$$

$$\begin{aligned}
 & (L+2M) [2(1-2n)c_1(t) - kl c_2(t) \cos lh] + 4(1-n)(L+\mathcal{L}) r_1(t) + r_2(t) - \\
 & - (\mathcal{L}+2\mathcal{M}) [2(1-2n)r_2(t) - Kl c_2(t) \cos Lh] = \tilde{\tau}_{zz}(h) + \quad (2.106) \\
 & + 1(k+K)c_3(t) \sin lh = z_z(h) + \left(\frac{k+K}{kK}\right) W(o) - w(o) \sin Lh.
 \end{aligned}$$

Soluțiile sistemului (2.105) și (2.106) sînt de forma :

$$c_1(t) = \frac{\mathcal{G} + \tilde{\tau}}{4(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} \quad (2.107)$$

$$c_2(t) = \frac{kK(k\mathcal{G} - K\tilde{\tau})}{(k+K)l^2 \cos lh} + \frac{\operatorname{tg} lh [W(o) - w(o)]}{lkK} \quad (2.108)$$

Pentru tasarea stratului la suprafață rezultă expresia :

$$\begin{aligned}
 s(h) &= \frac{2(1-2n)h(\mathcal{G} + \tilde{\tau})}{4(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} + kl \sin lh \left\{ \frac{kK(k\mathcal{G} - K\tilde{\tau})}{(k+K)l^2 \cos lh} + \right. \\
 & \left. + \frac{\operatorname{tg} lh [W(o) - w(o)]}{lkK} \right\} - \frac{k}{K} (\cos lh - 1) [W(o) - w(o)] = \\
 &= \frac{(1-2n)h(\mathcal{G} + \tilde{\tau})}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} - \frac{lk^2\mathcal{G}}{bp} \operatorname{tg} lh + \frac{lkK\tilde{\tau}}{bp} \operatorname{tg} lh + \quad (2.109) \\
 & + \frac{k}{K} (\cos lh \operatorname{tg} lh + 1 - \cos lh) [W(o) - w(o)] = \\
 &= \mathcal{G} \left[\frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} - \frac{lh^2}{bp} \operatorname{tg} lh \right] + \tilde{\tau} \left[\frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} + \frac{lkK}{bp} \operatorname{tg} lh \right] + \\
 & + \frac{h^2 k}{K} (\sin lh \operatorname{tg} lh + 1 - \cos lh) [W(o) - w(o)] = \mathcal{G} \\
 &= \mathcal{G} s_{\mathcal{G}} + \tilde{\tau} s_{\tilde{\tau}} + \frac{[W(o) - w(o)]}{h^2} s_{\Delta w}
 \end{aligned}$$

utilizînd notațiile simbolice :

$$s_{\mathcal{G}} = \frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} - \frac{lh^2}{bp} \operatorname{tg} lh \quad (2.110)$$

$$s_{\tilde{\tau}} = \frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} + \frac{lkK}{bp} \operatorname{tg} lh \quad (2.111)$$

$$s_{\Delta w} = \frac{h^2 k}{K} (\sin lh \operatorname{tg} lh + 1 - \cos lh) . \quad (2.112)$$

Se consideră dezvoltarea în serie :

$$\begin{aligned} 1 \operatorname{tg} lh &= \frac{2}{h} \sum_0^{\infty} \frac{1^2 h^2}{k_n^2 - 1^2 h^2} = \frac{2}{h} \sum_0^{\infty} \frac{\left(\frac{bp}{2} h^2\right)}{\beta_n \frac{bh^2}{2} + \frac{bp}{2} h^2} = \\ &= -\frac{2}{h} \sum_0^{\infty} \frac{p}{\beta_n + p} \end{aligned} \quad (2.113)$$

în care pentru $k_n = (n+1/2)\tilde{\pi}$ și $\beta_n = Ak_n^2 / bh^2$. (2.114)

Se ajunge la o altă formulare a relațiilor (2.110) și (2.111):

$$s_G = \frac{(1-2n) h}{2(1-n)(\mu + 2M + M_0)} + hk^2 \sum_0^{\infty} \frac{1}{Ak_n^2 + bp h^2} \quad (2.115)$$

$$s_{\tilde{\tau}} = \frac{(1-2n) h}{2(1-n)(\mu + 2M + M_0)} - \frac{K}{k} 2hk^2 \sum_0^{\infty} \frac{1}{Ak_n^2 + bp h^2} . \quad (2.116)$$

Dacă deplasarea relativă este nulă adică $[W(o) - w(o)] = 0$, iar dacă $G = 1(t)$, G_0 și $\tilde{\tau} = 1(t)$, $\tilde{\tau}_0$ în care se notează cu $1(t)$ funcția lui Heaviside, expresia tasării stratului de suprafață devine :

$$s(h) = G_0 s_G + \tilde{\tau}_0 s_{\tilde{\tau}} . \quad (2.117)$$

Notațiile simbolice din relațiile (2.115) și (2.116) se dezvoltă sub forma :

$$s_G = 1(t) \frac{(1-2n) h}{2(1-n)(\mu + 2M + M_0)} + 1(t) \frac{2k^2}{bh} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\beta_n} (1 - e^{-\beta_n t}) \quad (2.118)$$

$$s_{\tilde{\tau}} = 1(t) \frac{(1-2n) h}{2(1-n)(\mu + 2M + M_0)} - 1(t) \frac{kK}{bh} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\beta_n} (1 - e^{-\beta_n t}) \quad (2.119)$$

care rezultă prin aplicarea transformatei Laplace /33/ :

$$\int_0^{\infty} \frac{1 - e^{-\beta_n t}}{\beta_n} e^{-\beta_n t} dt = \frac{1}{p(\beta_n + p)} . \quad (2.120)$$

În mod similar expresia $(\sin lh \operatorname{tg} lh + 1 - \cos lh)$ este egală cu $lh \operatorname{tg} lh$ și dacă se neglijează corespunzător se aproximează :

$$\ln \operatorname{tg} \ln = -2 \sum_0^{\infty} \frac{p}{n+p} = -2 \sum_0^{\infty} \left(1 - \frac{\beta_n}{\beta_n + p}\right) \quad (2.121)$$

cu originalul $2 \sum_0^{\infty} e^{-\beta_n t}$.

In consecință relația $s_{\Delta w}$ din (2.112) devine :

$$s_{\Delta w} = \frac{h^2 k}{K} 2 \sum_0^{\infty} e^{-\beta_n t} \quad (2.122)$$

Relațiile (2.118) și (2.119) se explicitiază sub forma :

$$s_{\sigma} = 1(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} + 1(t) \left\{ \frac{2h(L+2M + 2)^2}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M}] [(\delta + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-\beta_n t}) \right\} \quad (2.123)$$

$$s_{\tau} = \bar{1}(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} - 1(t) \frac{K}{k} \left\{ \frac{K}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M}] [(\delta + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-\beta_n t}) \right\} \quad (2.124)$$

in care se notează:

$$\beta_n = \frac{k_n^2}{bh^2} \left[\frac{(\delta + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M}} \right] \quad (2.125)$$

In formulele (2.123) și (2.124) se deduc expresiile analitice ale tasărilor totale din consolidarea primară s_{σ} pentru faza cvasistabilă și respectiv s_{τ} pentru faza mobilă. Acestea se compun dintr-o parte elastică numită tasare instantanee și o parte viscoelastică numită tasare în timp.

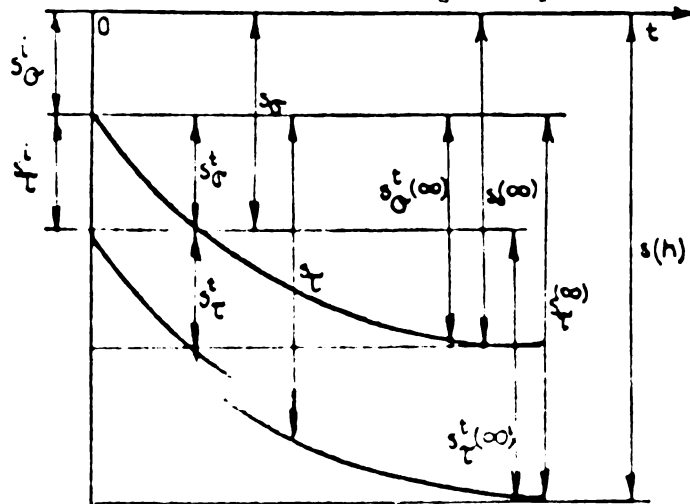


Fig.2.5. Diagramă de reprezentare schematică ale tasărilor în timp pentru faza cvasistabilă și mobilă.

Formularea expresiilor pentru tasările instantanee și în timp se poate sistematiza recurgând la notații diferite pentru faza cvasistabilă :

$$s_{\sigma}^i = \bar{l}(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} = \bar{l}(t) \frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} \quad (2.126)$$

$$s_{\sigma}^t = \bar{l}(t) \left\{ \frac{2h(L+2M + 2)^2}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}][(\mathcal{L} + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-\beta_n t}) \right\} =$$

$$= \bar{l}(t) \left\{ \frac{2h(L+2M + 2)^2}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}][(\mathcal{L} + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \frac{2k^2}{bh} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\beta_n} (1 - e^{-\beta_n t}) \right\} \quad (2.127)$$

și pentru faza mobilă :

$$s_{\tau}^i = \bar{l}(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} = \bar{l}(t) \frac{(1-2n)h}{2(1-n)(\mu + 2M + \mathcal{M})} \quad (2.128)$$

$$s_{\tau}^t = \bar{l}(t) - \frac{K}{k} \frac{2h(L+2M + 2)^2}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}][(\mathcal{L} + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-\beta_n t}) \left. \right\} =$$

$$= \bar{l}(t) \frac{K}{k} \frac{2h(L+2M + 2)^2}{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}][(\mathcal{L} + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \left. \frac{2k^2}{bh} (1 - e^{-\beta_n t}) \right\} \quad (2.129)$$

astfel că :

$$s_{\sigma} = s_{\sigma}^i + s_{\sigma}^t \quad (2.130)$$

$$s_{\tau} = s_{\tau}^i + s_{\tau}^t \quad (2.131)$$

Prin extinderea relațiilor (2.127) și (2.129) rezultă expresiile analitice ale tasărilor stabilizate :

$$s_{\sigma}^t(\infty) = \bar{l}(t) \frac{2k^2}{bh} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\beta_n} = \frac{2k^2}{bh} \frac{bh^2}{A} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} = \bar{l}(t) k_{\sigma} \sum_0^{\infty} \frac{\bar{l}}{k_n^2} \quad \text{pentru } k_{\sigma} =$$

$$= \frac{2k^2 h}{A} \quad (2.132)$$

$$s_{\tau}^t(\infty) = \bar{l}(t) k_{\tau} \sum_0^{\infty} \frac{1}{2} \text{ pentru } k_{\tau} = -\frac{K}{k} k_{\sigma} . \quad (2.133)$$

Expresiile tasărilor totale stabilizate $s_{\sigma}^t(\infty)$ pentru faza cvasistabilă și $s_{\tau}^t(\infty)$ pentru faza mobilă se transcriu sub forma:

$$s_{\sigma}(\infty) = s_{\sigma}^i + s_{\sigma}^t(\infty) \quad (2.134)$$

$$s_{\tau}(\infty) = s_{\tau}^i - \frac{K}{k} s_{\sigma}^t(\infty) \quad (2.135)$$

în care se notează :

$$k = \left(\frac{1-N}{1-2N} \right) \left(\frac{1-2n}{1-n} \right) \left(\frac{M+M}{\mu+2M+M} \right), \mu^* = \mu + 2M + M \quad (2.136)$$

$$A = \left(\frac{1-N}{1-2N} \right) 2M(1-k) - k \left(\frac{1-N}{1-2N} \right) (M + \mu). \quad (2.137)$$

Se observă că tasarea stabilizată a fazei mobile din relația (2.135) se exprimă în funcție de tasarea stabilizată a fazei cvasistabile din relația (2.134) sub forma :

$$\begin{aligned} s_{\tau}(\infty) &= s_{\sigma}(\infty) - \frac{1}{k} s_{\sigma}^t(\infty) = \\ &= s_{\sigma}(\infty) \left[1 - \frac{1}{k} \frac{s_{\sigma}^t(\infty)}{s_{\sigma}(\infty)} \right] \end{aligned} \quad (2.138)$$

Pentru a sistematiza determinarea valorilor de calcul stabilizate ale tasărilor se introduce schema de calcul din fig.2.6.

Dacă în relația (2.117) se consideră $\tau_0 = 0$, se obține cazul consolidării sub o încărcare aplicată pe fața superioară a semispațiului, presupusă permeabilă pentru faza mobilă, fapt care corespunde stării de tensiune zero la suprafața stratului.

În cazul $\tau_0 \neq 0$, adică a prezenței la suprafață a unui strat de apă de înălțime dată, sau prin existența unei impermeabilizări față de faza mobilă, poate să apară o stare de tensiune la fața superioară a stratului.

Mărima factorului de tasare τ_0 depinde deci de încărcarea transmisă de apă fazei mobile, sau de reacțiunea dintre faza mobilă și stratul impermeabilizator superficial, reacțiune echivalentă cu presiunea creată de o coloană de apă avînd înălțimea egală cu diferența dintre nivelul superior al stratului de apă și nivelul suprafeței semispațiului.

Analizînd expresiile (2.123) pentru s_{σ} și (2.124) pentru s_{τ} re-

zultă că între ele există o diferență dată de $s_{\sigma}^t - s_{\tau}^t$ determinată de un termen proporțional cu :

$$1 + \frac{K}{k} = \frac{1}{k} = \frac{\lambda + 2\mu + 2(L + 2M) + \delta + 2\mathcal{M}}{L + 2M + \delta + 2\mathcal{M}} \quad (2.139)$$

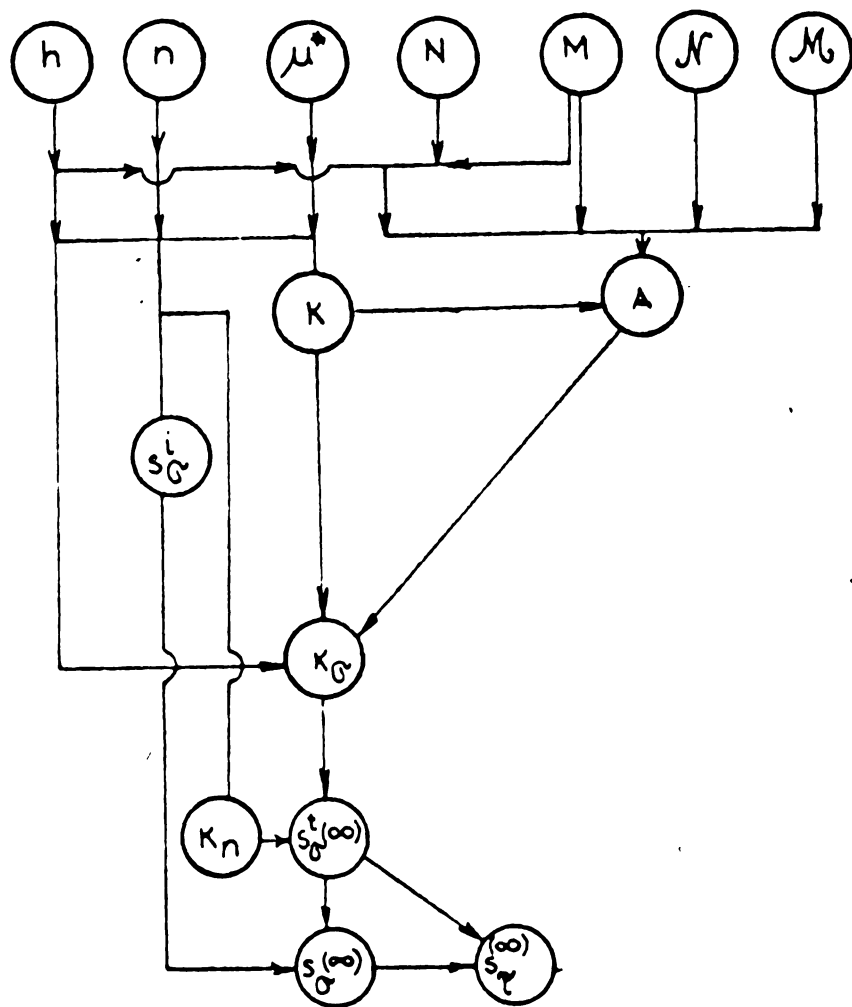


Fig.2.6. Schemă de calcul pentru determinarea valorilor stabilizate ale tasărilor.

2.8. Concluzii privind consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

Studiile și cercetările teoretice privind consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă se bazează pe analogia structurală între mediile continue deformabile și masivele din pământ cu fază complexă mobilă, analizate de către autor.

În acest cadru, s-a elaborat o nouă teorie de consolidare a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, având ca primă etapă consolidarea primară. Aceasta este fundamentată prin teoria consolidării mediilor elastice creată de Biot M.A. /11/, /12/ și extinsă de

Migicu M. /54/ pentru mediile elastice cu mobilitate internă.

În acest scop, autorul a considerat că modelul fizic bifazic, reprezentat schematic în fig.2.1., este aproximația cea mai rezonabilă în procesul de consolidare primară considerat. Acest model se compune dintr-o fază solidă cvasistabilă, adică deformabilă și o fază fluidă mobilă, care se scurge prin golurile structurale.

Analizând starea spațială de deplasări și de tensiuni într-un element al modelului bifazic, prezentată de autor în fig.2.4, s-au stabilit relații de calcul în ambele faze.

Pentru deplasări, rezultă expresiile analitice (2.94) în faza cvasistabilă și (2.95) în faza mobilă, cu condițiile la limită (2.96) și respectiv (2.97).

Pentru tensiuni rezultă expresiile analitice (2.98) în faza cvasistabilă și (2.99) în faza mobilă, cu condițiile la limită (2.100) și respectiv (2.101).

Prin aplicarea transformatei Laplace se deduc formulele de calcul complete (2.123) și (2.124), cuprinzând tasările totale din ambele faze pentru consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

Separat rezultă tasările elastice sau instantanee, în faza cvasistabilă (2.126) și în faza mobilă (2.128) ca și tasările viscoelastice sau în timp, în faza cvasistabilă (2.127) și în faza mobilă (2.129).

Prin analogie în relațiile de calcul curente se deduc și formule de calcul pentru valorile stabilizate ale tasărilor din faza cvasistabilă (2.132) și din faza mobilă (2.133). Evaluarea acestora se simplifică prin utilizarea schemei de calcul stabilită de autor în fig. 2.6.

Comparând expresiile analitice ale tasărilor viscoelastice din faza cvasistabilă (2.123) și din faza mobilă (2.124), se constată că între cele două faze există o diferență determinată numai de termenul l/k . Acesta este proporțional cu modulii elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}, \mathcal{M}$, prin relația (2.139), fapt care produce simplificări în calculul de evaluare a tasărilor în timp.

Prin noul mod de abordare a procesului de consolidare primară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă și prin adoptarea unei noi metodologii de calcul, autorul impune o nouă direcție în studierea comportării elastice și viscoelastice a mediilor bifazice. Aceasta constituie de fapt o primă etapă, premergătoare dezvoltărilor analitice de ansamblu, care va continua cu comportarea viscoelastică din cadrul consolidării secundare.

CAPITOLUL III

STUDII SI CERCETARI TEORETICE PRIVIND CONSOLIDAREA
SECUNDARA A MEDIILOR CU MOBILITATE INTERNA SI FAZA
COMPLEXA MOBILA

3.1. Modelul de calcul bifazic pentru consolidarea secundară
a mediilor cu mobilitate internă

Plecînd de la modelul fizic bifazic de consolidare exprimat detaliat în capitolul II și reprezentat schematic în fig.2.1, se continuă metodologia expusă în cadrul consolidării primare pentru modelul de calcul bifazic, după care se trece la consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, care include și consolidarea terțiară.

În acest scop, se consideră variantele ecuațiilor fundamentale de consolidare în funcție de presiunea și complexitatea fazei mobile și condițiile la limită asociate acestora, expuse anterior. La aceste rezultate se aplică teoria de consolidare a mediilor viscoelastice elaborată de Biot M.A. /10/, transpusă matematic de Freudenthal A.M. și Spillers W.R. /27/. și extinsă de Mișicu M. în cazul mediilor viscoelastice cu mobilitate internă /55/. De asemenea, se utilizează formalismul analitic din cadrul mai restrîns al teoriei viscoelasticității prezentat de Freudenthal A.M. și Geiringer H., de Gurtin M.E. și Sternberg E. /31/.

În acest mod se valorifică rezultatele din spațiul transformării Laplace, dezvoltate și preluate din capitolul II al lucrării.

În cadrul general al teoriei de consolidare a mediilor viscoelastice cu mobilitate internă se introduc componentele deviatorice și sferice ale tensorilor, care reprezintă de fapt variațiile de formă și de volum prin relațiile :

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^D &= \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma / 3, & \sigma_{ij}^S &= \delta_{ij} \sigma, & \sigma &= \sigma_{kk} \\ \tau_{ij}^D &= \tau_{ij} - \delta_{ij} \tau / 3, & \tau_{ij}^S &= \delta_{ij} \tau, & \tau &= \tau_{kk} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \vartheta / 3, \quad \varepsilon_{ij}^S = \delta_{ij} \vartheta, \quad \vartheta = \varepsilon_{ii} \quad (3.2)$$

$$E_{ij}^D = E_{ij} - \delta_{ij} \vartheta / 3, \quad E_{ij} = \delta_{ij} \vartheta, \quad \vartheta = E_{ii}.$$

In expresiile (3.1) și (3.2) se notează cu σ și τ tensorii eforturilor din faza cvasistabilă și din faza mobilă și respectiv cu ε și E tensorii deformațiilor din faza cvasistabilă și din faza mobilă.

Se consideră, de asemenea, funcțiile de câmp exprimate cu ajutorul modulilor elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}, \mathcal{M}$, variabili în raport cu timpul și legați prin forma :

$$\begin{aligned} \gamma_1(t) &= 2\mu(t), & \gamma_2(t) &= 3\lambda(t) + 2\mu(t) \\ G_1(t) &= 2M(t), & G_2(t) &= 3L(t) + 2M(t) \\ \mathcal{G}_1(t) &= 2\mathcal{M}(t), & \mathcal{G}_2(t) &= 3\mathcal{L}(t) + 2\mathcal{M}(t) \\ a(t) &= b(z) \partial / \partial t. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Relațiile (3.3) dispar în intervalul deschis de timp $(-\infty, 0)$ și au variații mărginite în orice subinterval închis $[0, \infty]$.

Prin acest mod de reprezentare se definesc proprietățile de curgere și de relaxare ale fazelor componente, caracteristice mediilor cu consolidare viscoelastică.

În consecință, ecuațiile constitutive extinse ale teoriei de consolidare viscoelastică pentru medii izotrope se transcriu în forma :

$$\sigma_{ij}^D = \varepsilon_{ij}^D * d\gamma_1 + E_{ij}^D * dG_1 = 2\varepsilon_{ij}^D * d\mu + 2E_{ij}^D * dM \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_{ii} = \vartheta * d\gamma_2 + \vartheta * dG_2 = \vartheta * d(3\lambda + 2\mu) + \vartheta * d(3L + 2M) \\ \tau_{ij}^D &= \varepsilon_{ij}^D * d\mathcal{G}_1 + E_{ij}^D * d\mathcal{G}_2 = 2\varepsilon_{ij}^D * d\mathcal{M} = 2E_{ij}^D * d\mathcal{M} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\tau = \tau_{ii} = \vartheta * d\mathcal{G}_2 + \vartheta * d\mathcal{G}_2 = \vartheta * d(3\lambda + 2\mu) + \vartheta * d(3\mathcal{L} + 2\mathcal{M})$$

$$P_i = U_i * da, \quad (U_i = U_i - u_i) \quad (3.6)$$

pentru faza cvasistabilă și pentru faza mobilă., în care s-a notat cu $*$ produsul de convoluție a două funcții reprezentând o integrală de tip Riemann - Stieltjes /55/.

Ecuatiile (3.4), (3.5) și (3.6) exprimă de fapt legile de relaxare specifice mediilor cu consolidare viscoelastică. Pentru a le transforma pe acestea în legi de curgere se recurge la anumite condiții stabilite de Gurtin M.E. și Sterberg E. /31/ și concretizate prin relațiile :

$$\sigma^1 = \sigma^D, \sigma^2 = \sigma^S, \tau^3 = \tau^D, \tau^4 = \tau^S, \varepsilon^1 = \varepsilon^D, \varepsilon^2 = \varepsilon^S,$$

$$\varepsilon^3 = \varepsilon^D, \varepsilon^4 = \varepsilon^S$$

$$\tilde{\sigma}_{11} = \tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_{12} = G_1, \tilde{\sigma}_{21} = \tilde{\sigma}_2, \tilde{\sigma}_{22} = G_2,$$

$$\tilde{\sigma}_{31} = G_1, \tilde{\sigma}_{32} = G_1, \tilde{\sigma}_{41} = G_2, \tilde{\sigma}_{42} = G_2.$$

Variantele care derivă din ecuațiile constitutive (3.4), (3.5) și (3.6) se grupează sub forma :

$$\sigma_{ij}^k = \sigma_{kl}^o \varepsilon_{ij}^l(t) + \int_0^t \varepsilon_{ij}^l(t-t_0) \frac{\partial}{\partial t_0} \sigma_{kl}^o(t_0) dt_0 \quad (3.7)$$

$$P_i = a^o u_i(t) + \int_0^t u_i(t-t_0) \frac{\partial}{\partial t_0} a(t_0) dt_0$$

$$\sigma_{ij}^k = \sigma_{kl}^o(t) \varepsilon_{ij}^{ol} + \int_0^t \sigma_{kl}^o(t-t_0) \frac{\partial}{\partial t_0} \varepsilon_{ij}^{ol}(t_0) dt \quad (3.8)$$

$$P_i = a(t) \mu_i^o + \int_0^t a(t-t_0) \frac{\partial}{\partial t_0} \mu_i^o(t_0) dt_0$$

$$\sigma_{ij}^{k*} = p \sigma_{kl}^o(p) \varepsilon_{ij}^k(p)$$

$$P_{ii}^* = p a^*(p) u_i^*(p) \quad (3.9)$$

$$\text{în care } \{ \}^* = \int_0^t e^{-pt} \{ \} dt$$

$$P_k \left(\frac{\partial}{\partial t} \right)^o \sigma_{ij}^k = Q_{kl} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \varepsilon_{ij}^k \quad (3.10)$$

$$A \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) P_i = B \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) Q_i.$$

In expresiile (3.7), (3.8), (3.9) și (3.10) se precizează că :

$$\varepsilon_{ij}^k \in H^{M_k}, \quad u_i \in H^{M_k}$$

$$P_k \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) = \sum_{m=0}^{M_k} p_m^k \frac{\partial^m}{\partial t^m}$$

$$Q_{kl} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) = \sum_{m=0}^{M_{kl}} q_m^{kl} \frac{\partial^m}{\partial t^m}$$

$$A, B \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) = \sum_{m=0}^M a, b \frac{\partial^m}{\partial t^m}$$

$$p_{M_k}^k, q_{M_{kl}}^{kl} \neq 0, \quad k=1,2,3,4, \quad \ell=1,2$$

dacă se notează $P_1 = P, Q_{11} = Q, P_2 = R, Q_{21} = S$, iar H^M este clasa funcțiilor Heaviside definite în intervalul $(-\infty, \infty)$, care se anulează în intervalul $(\infty, 0)$ și sînt o clasă C^N de continuitate, de N ori continuu derivabile în intervalul $(0, \infty)$.

In varianta (3.10) condițiile de reducere sînt numai suficiente și implică relațiile :

$$q_m^{kl} = \sum_{n=m}^{M_{kl}} p_n^k \left(\frac{\partial^{n-m}}{\partial t^{n-m}} \sigma_{kl} \right)^0$$

$$\sum_{n=m}^{M_{kl}} p_n^k \left(\frac{\partial^{n-m}}{\partial t^{n-m}} \sigma_{ij}^k \right) = \sum_{n=1}^{M_{kl}} q_m^{kl} \left(\frac{\partial^{n-m}}{\partial t^{n-m}} \varepsilon_{ij}^l \right)^0 \quad (3.11)$$

$$b_m = \sum_{n=m}^M a_n \left(\frac{\partial^{n-m}}{\partial t^{n-m}} \right)^0$$

$$\sum_{n=m}^M a_n \left(\frac{\partial^{n-m}}{\partial t^{n-m}} P_i \right) = \dots$$

ptru $k = 1, 2, 3, 4; \ell = 1, 2; m = 1, \dots, M_{kl}; n = 1, \dots, M$.

Condițiile care asigură reducerea legilor generală la cele variante sînt respectiv următoarele :

$$\sigma_{kl}, a \in H^1, \varepsilon_{ij}^1, u_i \in H^0, \quad t \in [0, \infty] \quad (3.12)$$

$$\sigma_{kl}, a \in H^1, \varepsilon_{ij}^l, u_i \in H, \quad t \in [0, \infty] \quad (3.13)$$

$$\rho_{ij}^k, \varepsilon_{ij}^k, p_i, u_i \rightarrow 0 \quad (t \rightarrow 0) \quad (3.14)$$

$$\sigma_{kl}, a \in H^1, \varepsilon_{ij}^l, u_i \in H^0$$

$$\sigma_{kl} \in H^{C_{kl}} \quad (C_{kl} \geq M_{kl}), \quad a \in H^C \quad (C \geq M) \quad (3.15)$$

$$P_{M_k} \neq 0, \quad Q_M \neq 0, \quad P_k \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \sigma_{kl} = q_{kl}^0$$

$$A \left(\frac{\partial}{\partial t} \right) a = b_0, \quad t \in (0, \infty)$$

și corespund în ordine succesivă formulărilor (3.7), (3.8), (3.9) și (3.10).

Se constată că varianta (3.9) corespunde posibilităților viscoelastice de exprimare în spațiul transformat Laplace prin polinoame dependente de parametrul p , care reprezintă proprietățile de curgere și de relaxare ale fazelor componente ale mediilor cu consolidare.

Se presupune în continuare că de fapt proprietățile mediilor cu consolidare corespund unei comportări elastice pentru deformațiile rapide instantanee și unei relaxări viscoase pentru deformații lente în timp.

Pe aceste considerente și aplicînd metoda utilizată de M.A. Biot se înlocuiesc modulii elastici $\lambda, \mu, L, M, \hat{\lambda}, \hat{\mu}$, cu alți termeni asociați proceselor rapide elastice și lente viscoase și anume :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{p}{p+r} \lambda_1 + \lambda_2, \quad \mu = \frac{p}{p+s} \mu_1 + \mu_2 \\ L &= \frac{p}{p+r} L_1 + L_2, \quad M = \frac{p}{p+s} M_1 + M_2 \\ \hat{\lambda} &= \frac{p}{p+r} \hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2, \quad \hat{\mu} = \frac{p}{p+s} \hat{\mu}_1 + \hat{\mu}_2. \end{aligned} \quad (3.16)$$

În expresiile (3.16) s-au admis numai doi timpi de relaxare $1/r$ $1/s$ drept caracteristici ale mediului viscoelastic.

În procesul de consolidare secundară și terțiară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, plecând de la modelul fizic bifazic reprezentat schematic în fig.2.1., apar următoarele aspecte caracteristice :

- După completa disipare a apei din pori și dacă deformația se menține constantă, se produce un efect de relaxare în faza cvasistabilă, care corespunde consolidării secundare ;

- Concomitent se produce un efect similar și în particulele solide aflate inițial în suspensie în apa din pori. Acestea nu se elimină odată cu apa, ci se adaugă sub forma de incluziuni la faza cvasistabilă, producând un efect adițional de consolidare, care corespunde consolidării terțiare .

Relaxarea mediilor viscoelastice în procesul de consolidare se definește prin descreșterea progresivă a tensiunii sub deformație constantă în timp .

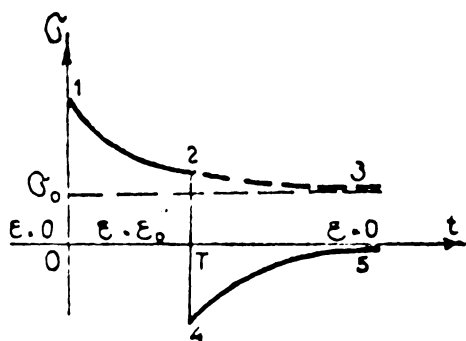


Fig. 3.1. Diagramă de relaxare a mediilor viscoelastice

Dacă deformația mediilor viscoelastice se menține constantă un timp mai îndelungat, tensiunea tinde asimptotic către o limită în raport cu timpul, ca în fig.3.1.

Relaxarea mediilor viscoelastice cu consolidare prezintă o evoluție de tip exponențial, caracterizată de două mărimi specifice, prin care este legată de proprietățile mediilor, definite

prin perioada de relaxare (T) și timpul de relaxare (τ).

Legat de perioada de relaxare practic se definește inițial o relaxare instantanee (0-1), corespunzătoare unei anumite viteze de deformare. Începând din punctul 2, după un anumit interval de timp considerat arbitrar (T), viteza de deformare se poate reduce la zero, sau poate să tindă asimptotic la o dreaptă paralelă cu axa absciselor (2-3).

În cazul în care viteza de deformare se reduce la zero, efectul de relaxare se stabilizează (4-5), și marchează un interval de timp numit perioadă de relaxare, notată cu T în fig. 3.1.

În acest context, procesul de consolidare a mediilor viscoelastice prin relaxare se poate urmări periodic, prin limitarea la unul sau mai mulți termeni din șirul natural al valorilor $T, 2T, 3T, \dots, nT$.

Cînd viteza de deformare tinde asimptotic la o dreaptă paralelă cu axa absciselor, efectul de relaxare se stabilizează (2-3) pentru o valoare ca în fig.3.1.

Timpu de relaxare (τ), a două mărime caracteristică a relaxării mediilor viscoelastice cu consolidare, reprezintă raportul între viscozitatea structurală a mediului (η) și modulul de deformare transversală a mediului (M). De unde rezultă :

$$\tau = \frac{\eta}{M} .$$

Valoarea timpului de relaxare (τ) corespunde numeric timpului la capătul căruia tensiunea se împarte prin numărul e .

În metodologia de calcul se poate admite un număr maxim de timpi de relaxare, corespunzător girului natural al valorilor $T, 2T, 3T, \dots, nT$

Pentru a stabili expresia analitică a tasării viscoelastice în faza cvasistabilă a mediilor cu mobilitate internă în consolidarea secundară, se pleacă de la relația (2.115) care exprimă tasarea elastică corespunzătoare din consolidarea primară.

În concordanță cu aceste rezultate, tasarea elastică la suprafața stratului $z = h$, produsă de o încărcare verticală $l(t)$ se poate scrie sub forma :

$$s(h) = \left(\frac{h}{H} + \frac{h}{H'} \right) l(t)$$

în care :

$$H = \lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}$$

$$1/H' = \frac{2k^2}{H} \sum_0^{\infty} \frac{1}{Ak^2 n + b h^2}$$

dacă :

$$k = (L+2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}) / [\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}]$$

$$A = [(\mathcal{L} + 2\mathcal{M})(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2] / [\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}] .$$

Considerînd o comportare elastică pentru deformații rapide instantanee și o comportare viscoasă pentru deformații lente în timp, prin extinderea metodei utilizate de Biot M.A., se înlocuiesc modulii elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}$ și \mathcal{M} cu alți termeni asociați procesului de consolidare și anume detațiați în relațiile (3.16).

Se consideră următoarele identități :

$$H = \lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M} = \frac{2p}{p+s}\mu_1 + \frac{p}{p+r}[\mu_1 + 2(L_1+2M_1) + \delta_1 + \mathcal{M}_1] + \lambda_2 + 2\mu_2 + 2(L_2+2M_2) + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2 = \frac{\Delta_2}{(p+r)(p+s)} \quad (3.17)$$

pentru :

$$\Delta_2 = [\lambda_2 + 2\mu_2 + 2(L_2+2M_2) + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2](p+s) [p+s+2\mu_1 \quad p(p+s)] + [\lambda_1 + 2(L_1+2M_1) + \delta_1 + 2\mathcal{M}_1] p(p+s) \quad (3.18)$$

$$H_n = \frac{AK_n^2 + bph^2}{2} = [\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M}]^2 [k_n^2 + \frac{ph^2}{bk^2} \frac{[\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \delta + 2\mathcal{M}]}{(L + 2M + \delta + 2\mathcal{M})^2}] = \Delta_2 \left\{ k_n^2 < \frac{p}{p+s} (\delta_2 + 2\mathcal{M}_2) + \delta_1 + 2\mathcal{M}_1 > < \frac{p}{p+s} 2\mu_1 + \lambda_2 + 2\mu_2 > \frac{p}{p+s} \cdot (L_1 + 2M_1) + L_2 + 2M_2 \right\} + pbh^2 \frac{\Delta_2 (p+r)(p+s)}{\frac{p}{p+r} (L_1 + 2M_1 + \delta_1 + 2\mathcal{M}_1 + L_2 + 2M_2 + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2)^2 (p+r)(p+s)} = \frac{\Delta_2 \Delta}{(p+r)(p+s) [p(L_1 + 2M_1 + \delta_1 + 2\mathcal{M}_1) + (p+s)(L_2 + 2M_2 + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2)]^2} \quad (3.19)$$

unde:

$$\Delta = pbh^2 \Delta_2 (p+r) + k_n^2 \Delta_1 \quad (3.20)$$

$$\Delta_1 = (p+s)(p+r)^2 \left[< \frac{p}{p+r} (\delta_1 + 2\mathcal{M}_1) + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2 > < \frac{p}{p+s} 2\mu_1 + \lambda_2 + 2\mu_2 + \frac{p}{p+r} \lambda_1 > < -\frac{p}{p+r} (L_1 + 2M_1) + L_2 + 2M_2 > \right] \cdot \quad (3.21)$$

Dacă se introduc notațiile :

$$P_1 = \lambda_1 + 2\mu_1, \quad p' = 2\mu_1 r + \lambda_1 s, \quad P_2 = \lambda_2 + 2\mu_2 \\ R' = \delta_1 + 2\mathcal{M}_1 + \delta_2 + 2\mathcal{M}_2, \quad R_2 = \delta_2 + 2\mathcal{M}_2 \quad (3.22)$$

$$Q' = L_1 + 2M_1 + L_2 + 2M_2, \quad Q_2 = L_2 + 2M_2$$

prin substituție în expresiile (3.18) și (3.21) vom avea :

$$\Delta_1 = [p(P_1 p+p') + P_2(p+s)(p+s)] (pR'+R_2r) - (pQ'+Q_2r)^2 (p+s) \quad (3.23)$$

$$\Delta_2 = p(P_1 p+p') + P_2(p+r)(p+s) + (pR'+R_2r)(p+s) + 2(pQ'+Q_2r)(p+s) \quad (3.24)$$

ie unde rezultă o nouă formă pentru relația (3.19) :

$$H'_n = \frac{\Delta_2 \Delta}{(p+r)(p+s)^2 [p(p'+Q') + r(R_2 + Q_2)]} \quad (3.25)$$

In expresia (3.19) Δ_2 este gradul doi în p , iar Δ de gradul patru în p .

Fie $-\lambda_1, -\lambda_2$ rădăcinile ecuației $\Delta_2 = 0$ și $-\lambda_{3n}, -\lambda_{4n}, -\lambda_{5n}, -\lambda_{6n}$ rădăcinile ecuației $\Delta = 0$.

Aceste rădăcini sînt negative și reale în baza unei teoreme aplicată de Biot M.A. în cazul teoriei clasice de consolidare.

In aceste condiții se admit dezvoltările :

$$\frac{1}{H} = \frac{(p+r)(p+s)}{\Delta} = \frac{T_1}{p+\lambda_1} + \frac{T_2}{p+\lambda_2} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{H'_n} &= \frac{(p+r)(p+s)^2 [p(p'+Q') + r(R_2 + Q_2)]}{\Delta_2 \Delta} = \frac{T_{1n}}{p+\lambda_{1n}} + \\ &+ \frac{T_{2n}}{p+\lambda_{2n}} + \sum_{n=3}^6 \frac{T_{3n}}{p+\lambda_{3n}} \end{aligned} \quad (3.27)$$

Expresiile transformate ale tasărilor din faza cvasistabilă și din faza mobilă au deci forma echivalentă :

$$E_G = \frac{h}{H} + 2h \sum_0^{\infty} \frac{1}{H_n} \quad (3.28)$$

$$E = \frac{h}{H} - 2h \frac{k}{k} \sum_0^{\infty} \frac{1}{H'_n} \quad (3.29)$$

în care :

$$k = \frac{L+2M + \mathcal{L} + 2 \mathcal{M}}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + \mathcal{L} + 2 \mathcal{M}} = \frac{(p+s) [p(R'+Q') + r(R_2 + Q_2)]}{2} \quad (3.30)$$

Se exprimă tasarea din faza mobilă prin relația :

$$E_m = E_G - 2h \sum_0^{\infty} \frac{1}{H'_n} \quad (3.31)$$

dacă se notează :

$$\frac{1}{H'_n} = \frac{1}{H'_n} = \frac{(p+r)(p+s)}{\Delta_2} = \frac{\Delta_{1n}}{p+\lambda_1} + \frac{\Delta_{2n}}{p+\lambda_2} \quad (3.32)$$

Originalele expresiilor pentru tasarea din faza cvasistabilă și din faza mobilă rezultă sub forma :

$$s_{\sigma} = \frac{h}{\lambda_1} (\Gamma_{1+2} \sum_0^{\infty} \Gamma_{1n}) (1 - e^{-\lambda_1 t}) + \frac{h}{\lambda_2} (\Gamma_{2+2} \sum_0^{\infty} \Gamma_{2n}) (1 - e^{-\lambda_2 t}) + bh \sum_{s=0}^6 \frac{\Gamma_{sn}}{\lambda_{sn}} (1 - e^{-\lambda_{sn} t}) \quad (3.33)$$

$$s_{\tau} = s_{\sigma} \frac{2h}{\lambda_1} \sum_0^{\infty} \Delta_{1n} (1 - e^{-\lambda_1 t}) - \frac{2h}{\lambda_2} \sum_0^{\infty} \Delta_{2n} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (3.34)$$

Metoda expusă precizează structura soluțiilor, dar are dezavantajul efectuării unor calcule suplimentare pentru determinarea rădăcinilor λ și a coeficienților Γ respectiv Δ . Pentru acest motiv se indică în continuare un procedeu de rezolvare utilizat în teoria clasică de consolidare de Freundenthal. A.M. și Spillers W.R./27/.

Pentru modelul de calcul bifazic al mediilor cu mobilitate internă, în cadrul consolidării secundare, s-au dedus ecuațiile constitutive sub formă funcțională și s-au rezolvat cu ajutorul transformatei Laplace.

3.2. Soluția viscoelastică pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un singur timp de relaxare

Se presupune că proprietățile mediilor viscoelastice corespund unei comportări elastice pentru deformații rapide și unei relaxări viscoase pentru deformații lente.

În cadrul metodei propuse de Biot.M.A. se urmăresc modificările care apar în expresiile transformate ale tasărilor, prin caracteristicile asociate proceselor rapide elastice și lente viscoase.

Pentru modulii viscoelastici se admit dezvoltările :

$$\lambda = \frac{p}{p+r} \lambda_r + \lambda_0, \mu = \frac{p}{p+r} \mu_r + \mu_0$$

$$L = \frac{p}{p+r} L_r + L_0, M = \frac{p}{p+r} M_r + M_0 \quad (3.35)$$

$$\mathcal{L} = \frac{p}{p+r} \mathcal{L}_r + \mathcal{L}_0, \mathcal{M} = \frac{p}{p+r} \mathcal{M}_r + \mathcal{M}_0$$

Se consideră deci un singur timp de relaxare $1/r$ valabil pentru toți modulii viscoelastici din expresiile (3.35).

În vederea concentrării notațiilor se introduc relațiile :

$$\lambda + 2\mu = X, L + 2M = K, \delta_0 + 2M_0 = K$$

$$\lambda_0 + 2\mu_0 = X_0, L_0 + 2M_0 = K_0, \delta_0 + 2M_0 = K_0 \quad (3.36)$$

$$\lambda_r + 2\mu_r = X_r, L_r + 2M_r = K_r, \delta_r + 2M_r = K_r.$$

Rezultă următoarele identități :

$$H = X + 2K + K = \frac{p}{p+r} H_r + H_0 \quad (3.37)$$

pentru :

$$H_r = X_r + 2K_r + K_r \quad (3.38)$$

$$H_0 = X_0 + 2K_0 + K_0. \quad (3.39)$$

Dar pentru expresia (3.37) există și relația echivalentă :

$$H = \frac{\Delta_2}{p+r} \quad (3.40)$$

în care :

$$\Delta_2 = pH_r + (p+r) H_0 = p(H_r + H_0) + rH_0. \quad (3.41)$$

Rădăcinile ecuației $\Delta_2 = 0$ sînt de forma :

$$p = -\tilde{\pi}_0 = -r \frac{H_0}{(H_r + H_0)} = -\frac{r}{(1 + \frac{K_r}{H_0})} \quad (3.42)$$

și dacă se notează :

$$\pi_0 = \frac{\tilde{\pi}_0}{r} = \frac{1}{(1 + \frac{H_r}{H_0})}, \quad \bar{p} = \frac{p}{r}$$

expresia $1/H$ devine :

$$\frac{1}{H} = \frac{(p+r)}{(H_r + H_0)(p + \tilde{\pi}_0)} = \frac{\Gamma_1}{(p + \tilde{\pi}_0)} + \Gamma_0. \quad (2.43)$$

Pentru a determina coeficienții Γ_1 și Γ_0 se dezvoltă cîntul :

$$\frac{p+r}{p + \tilde{\pi}_0} = 1 + \frac{(r - \tilde{\pi}_0)}{(p + \tilde{\pi}_0)}$$

de unde rezultă :

$$\Gamma_0 = \frac{1}{H_r + H_0} \quad (3.44)$$

$$\Gamma_1 = \frac{(r - \tilde{H}_0)}{(H_r + H_0)} = \frac{r}{H_0} \frac{(1 - \tilde{H}_0)}{(1 + \frac{H_r}{H_0})} = \frac{1}{H_0} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{H_r}{H_0})}$$

Plecînd de la relațiile (2.115) și (2.116) rezultă expresiile transformate ale tasărilor instantanee pentru faza cvasistabilă și pentru faza mobilă :

$$s_{\tilde{Q}}^i = \bar{I}(t) \frac{(1 - 2n)}{2(1-n) (\mu + 2M + \mathcal{M})} h = \bar{I}(t) \frac{h}{H} \quad (3.45)$$

$$s_{\tilde{Q}}^i = \bar{I}(t) \frac{h}{H} = s_{\tilde{Q}}^i \quad (3.46)$$

și respectiv ale tasărilor în timp pentru faza cvasistabilă și mobilă:

$$s_{\tilde{Q}}^t = \bar{I}(t) 2 h r^2 \sum_0^{\infty} \frac{1}{(A k_n^2 + b p h^2)} = \bar{I}(t) 2 h \sum_0^{\infty} \frac{1}{H'_n} \quad (3.47)$$

$$s_{\tilde{Q}}^t = \bar{I}(t) 2 h \frac{k}{k} \sum_0^{\infty} \frac{1}{H''_n} = s^t - \bar{I}(t) 2 \sum_0^{\infty} \frac{1}{H''_n} \quad (3.48)$$

În relațiile (3.45), (3.46) și (3.47), (3.48) s-au introdus notațiile :

$$H''_n = k H'_n \quad (3.49)$$

$$A = \frac{(\lambda + 2\mu) (\mathcal{L} + 2\mathcal{M}) - (L + 2M)^2}{H} \quad (3.50)$$

$$k = \frac{L + 2M + \mathcal{L} + 2\mathcal{M}}{H} \quad (3.51)$$

Ținînd seama de identitatea (3.37), A și k se pot exprima sub forma :

$$A = \frac{xK - K^2}{H} = \frac{(\frac{p}{p+r} x_r + x_0) (\frac{p}{p+r} K_r + K_0) - (\frac{p}{p+r} K_r + K_0)^2}{H_0 (\frac{p}{p+r} \cdot \frac{H_r}{H_0} + 1)} =$$

$$= p^2 [(x_r + x_0) (K_r + K_0) - (K_r + K_0)^2] + pr [(x_r + x_0) K_0 + (K_r + K_0) x_0 - 2(K_r + K_0)^2] + r(x_0 K_0 + K_0) / H_0 [p (+ \frac{H_r}{H_0} r) (p+r)] \quad (3.52)$$

$$k = \frac{K + \mathcal{K}}{H} = p \frac{(K_0 + K_0 + K_r + \mathcal{K}_r) + r(K_0 + \mathcal{K}_0)}{H_0 (p (1 - \frac{H_r}{H_0}) + r)} \quad (3.53)$$

Se notează în continuare :

$$A_0 = \tilde{\Pi}_0 \frac{X_0 K_0 - K_0^2}{H_0}$$

$$A_1 = \tilde{\Pi}_0 \frac{(X_r + X_0) K_0 + (K_r + K_0) X_0 - 2(K_r + K_0) K_0}{H_0} =$$

$$= 2 A_0 + \frac{\tilde{\Pi}_0}{H_0} (X_r K_0 + X_0 K_r - 2 K_r K_0) \quad (3.54)$$

$$A_2 = \frac{(X_r + X_0)(K_r + K_0) - (K_r + K_0)^2}{H_0} = A_0 +$$

$$+ \frac{\tilde{\Pi}_0}{H_0} [(X_r + X_0) K_r + X_r K_0 - 2 K_r K_0 - K_r^2] = A_1 - A_0 +$$

$$+ \frac{\tilde{\Pi}_0}{H_0} (X_r K_r - K_r^2)$$

$$a_1 = \frac{A_1}{A_0} = 2 + \frac{X_r K_0 + X_0 K_r - 2 K_r K_0}{X_0 K_0 - K_0^2} \quad (3.55)$$

$$a_2 = \frac{A_2}{A_0} = 1 + \frac{(X_r + X_0) K_r + X_r K_0 - K_r^2 - 2 K_r K_0}{X_0 K_0 - K_0^2}$$

$$k_0 = \tilde{\Pi}_0 \frac{K_0 + K_0}{H_0}, \quad k_r = \tilde{\Pi}_0 \frac{(K_0 + K_0 + K_r + K_r)}{H_0} \quad (3.56)$$

$$K_r = \frac{k_r}{k_0} = 1 + \frac{(K_r + K_r)}{(K_0 + K_0)}$$

De unde A și k se mai pot exprima și sub forma :

$$A = \frac{A_2 \bar{p}^2 + A_1 \bar{p} + A_0}{(\bar{p} + \tilde{\Pi}_0)(\bar{p} + 1)} = A_0 \frac{a_2 \bar{p} + a_1 \bar{p} + 1}{(\bar{p} + \tilde{\Pi}_0)(\bar{p} + 1)} \quad (3.57)$$

$$k = \frac{\bar{p} k_1 + k_0}{\bar{p} + \tilde{\Pi}_0} = k_0 \frac{\bar{p} K_r + 1}{\bar{p} + \tilde{\Pi}_0} \quad (3.58)$$

Dacă se notează prin $-\tilde{\Pi}_1$ și $-\tilde{\Pi}_2$ rădăcinile ecuației :

$$a_2 \bar{p}^2 + a_1 \bar{p} + 1 = 0 \quad (3.59)$$

se determină soluțiile :

$$-\tilde{\pi}'_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4 a_2}}{2 a_2}, \quad \tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2 = \frac{1}{a_2} \quad (3.60)$$

și deci :

$$A = A_0 \frac{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_1) (\bar{p} + \tilde{\pi}'_2)}{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_0) (\bar{p} + 1) \tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2} \quad (3.61)$$

Pentru H'_n rezultă expresia :

$$H'_n = \frac{k_n^2 A_0 \frac{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_1) (\bar{p} + \tilde{\pi}'_2)}{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_0) (\bar{p} + 1) \tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2} + bh^2 r \bar{p}}{k_0^2 \frac{(\bar{p} K_r + 1)^2}{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_0)^2}} =$$

$$= \frac{bh^2}{K_0^2} \frac{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_0)^2}{(\bar{p} K_r + 1)^2} \left[\frac{r(\bar{p} + \tilde{\pi}'_1) (\bar{p} + \tilde{\pi}'_2)}{\tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2 (\bar{p} + \tilde{\pi}'_0) (\bar{p} + 1)} + r \bar{p} \right] \quad (3.62)$$

și dacă se notează :

$$\beta_n = \frac{k_n^2 A_0}{bh^2} \quad (3.63)$$

$$\Delta = \beta_n \frac{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_1) (\bar{p} + \tilde{\pi}'_2)}{\tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2} + r \bar{p} (\bar{p} + \tilde{\pi}'_0) (\bar{p} + 1) = \bar{p}^3 r + \bar{p}^2 \left[r(1 + \tilde{\pi}'_0) + \right.$$

$$\left. + \frac{\beta_n}{\tilde{\pi}'_1 \tilde{\pi}'_2} + \bar{p} \left[r \tilde{\pi}'_0 + \beta_n \left(\frac{1}{\tilde{\pi}'_1} + \frac{1}{\tilde{\pi}'_2} \right) \right] + \beta_n \right] \quad (3.64)$$

$$\text{și } \Delta_2 = \bar{p} + \tilde{\pi}'_0. \quad (3.65)$$

Atunci se obține pentru H'_n expresia :

$$H'_n = \frac{bh^2}{k_0^2} \frac{\Delta_2 \Delta}{(\bar{p} K_r + 1)^2 (\bar{p} + 1)} \quad (3.66)$$

iar pentru H se admite dezvoltarea :

$$H = \tilde{\pi}'_0 + \frac{\tilde{\pi}'_0 \tilde{\pi}'_r}{(\bar{p} + \tilde{\pi}'_0)} \quad (3.67)$$

$$\text{dacă } \tilde{\pi}'_0 = \frac{\tilde{\pi}'_r}{H_0} \quad \text{și } \frac{\tilde{\pi}'_r}{r} = \frac{\tilde{\pi}'_0 (1 - \tilde{\pi}'_0)}{H_0} \quad (3.68)$$

Soluția prezentată extinde soluția dată de Biot M.A. care a considerat numai parametrii λ, μ și modulul de consolidare L.

3.3 Studiul similitudinii viscoelastice omogene pentru consolidarea secundară a semispațiului

Se consideră rapoartele :

$$\frac{X_r}{X_o} = \gamma, \quad \frac{K_r}{K_o} = C, \quad \frac{K_r}{K_o} = \mathcal{C} \quad (3.69)$$

care prin asamblare (γ, C, \mathcal{C}) definesc clasa de similitudine viscoelastică a mediului cu consolidare.

Se introduc parametri viscoelastici γ, C și \mathcal{C} în expresiile pentru a_1, a_2, K_r și H_r de unde rezultă formele :

$$a_1 = 2 \left[1 + \frac{\left(\frac{\gamma + \mathcal{C}}{2} X_o K_o - C K_o^2 \right)}{\left(X_o K_o - K_o^2 \right)} \right], \quad a_2 = a_1 - 1 + \frac{\left(\gamma \mathcal{C} X_o K_o - C^2 K_o^2 \right)}{\left(X_o K_o - K_o^2 \right)} \quad (3.70)$$

$$K_r = 1 + \frac{C K_o + \mathcal{C} K_o}{K_o + K_o}, \quad H_r = \frac{\gamma \gamma_o + 2C K_o + \mathcal{C} K_o}{X_o + 2K_o + K_o} \quad (3.71)$$

Se definește clasa de similitudine omogenă prin condițiile $\gamma = C = \mathcal{C}$ astfel ca $H_r/H_o \mathcal{C} = C, a_1 = 2(1+C)$

$$a_2 = (1+C)^2 = \frac{1}{\tilde{\pi}_o^2}, \quad K_r = 1 + C = \frac{1}{\tilde{\pi}_o} \quad (3.72)$$

Deci pentru o clasă de similitudine omogenă rezultă expresiile:

$$A = \frac{A_o}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_o)(\bar{p} + 1)} \left[1 + (1+C)\bar{p} \right]^2 = \frac{A_o}{(\bar{p} + 1) \tilde{\pi}_o^2} (\bar{p} + \tilde{\pi}_o), \quad K = \frac{k_o}{\tilde{\pi}_o} \quad (3.73)$$

Pentru H'_n rezultă expresia :

$$\begin{aligned} H'_n &= \frac{\tilde{\pi}_o^2}{k_o^2} \left[\frac{k_n^2 A_o (\bar{p} + \tilde{\pi}_o)}{\tilde{\pi}_o^2 (\bar{p} + 1)} + b h^2 r \bar{p} \right] = \frac{b h^2 \tilde{\pi}_o^{-2}}{k_o^2} \left[\frac{\beta_n (\bar{p} + \tilde{\pi}_o)}{\tilde{\pi}_o^2 (\bar{p} + 1)} + r \bar{p} \right] = \\ &= \frac{b h^2 \tilde{\pi}_o^{-2}}{k_o^2 (\bar{p} + 1)} \left[\frac{\bar{p} \beta_n}{\tilde{\pi}_o^{-2}} + \frac{\beta_n}{\tilde{\pi}_o} + r \bar{p} (\bar{p} + 1) \right] = \frac{b h^2}{k_o^2} \cdot \frac{\tilde{\pi}_o^2}{(\bar{p} + 1)} \left[\bar{p}^2 r + \bar{p} \left(1 + \frac{\beta_n}{\tilde{\pi}_o^{-2}} \right) + \frac{\beta_n}{\tilde{\pi}_o} \right] \end{aligned} \quad (3.74)$$

Se constată că ecuația :

$$\bar{p}^2 + \bar{p} \left(1 + \frac{\beta_n}{r \tilde{\pi}_0^{-2}}\right) + \frac{\beta_n}{r \tilde{\pi}_0} = 0 \quad (3.75)$$

admite rădăcinile de forma :

$$-\bar{p} = -\tilde{\pi}_1, \quad -\tilde{\pi}_2 = -\frac{1}{2} \left[1 + \frac{\beta_n}{r \tilde{\pi}_0^{-2}} \pm \sqrt{\left(1 + \frac{\beta_n}{r \tilde{\pi}_0^{-2}}\right)^2 - \frac{4 \beta_n}{r \tilde{\pi}_0}} \right]. \quad (3.76)$$

Pentru $\tilde{\pi}_0 = 1$ se obține cazul elastic când :

$$\tilde{\pi}_1 = \tilde{\pi}_2 = \frac{1}{2} \left[1 + \bar{\beta}_n \pm (1 - \bar{\beta}_n) \right] = 1 \quad (3.77)$$

și dacă $\bar{\beta}_n = \frac{\beta_n}{r}$.

Eliminând rădăcina $\tilde{\pi}_2 = 1$ se reține numai valoarea

$\tilde{\pi}_1 = \bar{\beta}_n$ și se notează :

$$\tilde{\pi}_1, \tilde{\pi}_2 = \bar{\beta}_n a_{n1}, \bar{\beta}_n a_{n2}$$

și rezultă soluțiile :

$$a_{n1} / a_{n2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tilde{\pi}_0^2} + \frac{1}{\beta_n} \mp \sqrt{\left(\frac{1}{\tilde{\pi}_0^2} + \frac{1}{\beta_n}\right)^2 - \frac{4}{\tilde{\pi}_0 \beta_n}} \right]. \quad (3.78)$$

Pentru sistematizarea calculului se utilizează dezvoltările :

$$\begin{aligned} \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1)(\bar{p} + \tilde{\pi}_2)} &= \left(\frac{1}{\bar{p} + \tilde{\pi}_1} - \frac{1}{\bar{p} + \tilde{\pi}_2} \right) \frac{1}{(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1)} = \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1)} \frac{1}{(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1)} + \\ &+ \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_2)} \frac{1}{(\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_2)} = \frac{\bar{p} + 1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1)(\bar{p} + \tilde{\pi}_2)} \left(1 + \frac{1 - \tilde{\pi}_1}{\bar{p} + \tilde{\pi}_1} \right) \frac{1}{(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1)} = \\ &= \left(\frac{1 - \tilde{\pi}_1}{\bar{p} + \tilde{\pi}_1} \right) \frac{1}{(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1)} + \frac{1 - \tilde{\pi}_2}{\bar{p} + \tilde{\pi}_2} \frac{1}{(\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_2)} \end{aligned} \quad (3.79)$$

de unde :

$$\begin{aligned} \frac{1}{H'_n} &= \frac{k^2}{bh^2 \tilde{\pi}_0^2 r} \frac{(\bar{p} + 1)}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1)(\bar{p} + \tilde{\pi}_2)} = \frac{k_0^2}{bh^2 \tilde{\pi}_0^{-2}} \frac{1}{r} \left(\frac{1 - \tilde{\pi}_1}{\bar{p} + \tilde{\pi}_1} \right) + \\ &+ \left(\frac{1 - \tilde{\pi}_2}{\bar{p} + \tilde{\pi}_2} \right) \frac{1}{(\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_2)}. \end{aligned} \quad (3.80)$$

Pentru trecerea necesară la funcția originală care intervine în calculul tasărilor din consolidarea secundară se utilizează transfor-

mărire :

$$\int_0^{\infty} e^{-pt}(1 - e^{-st}) dt = \left[-\frac{1}{p} e^{-pt} + \frac{1}{p+s} e^{-(p+s)t} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p+s} =$$

$$= \frac{s}{p(p+s)} \int_0^{\infty} e^{-pt} dt = \left[-\frac{1}{p} e^{-pt} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{p} \quad (3.81)$$

Notînd transformata Laplace $\mathcal{L} = p \int_0^{\infty} e^{-pt} dt$

$$\text{rezultă : } \left[\frac{1 - e^{-st}}{s} \right] = \frac{1}{p+s} \text{ și } \bar{I}(t) = 1(t). \quad (3.82)$$

Se ajunge deci la exprimările :

$$\frac{1}{H} = \frac{\bar{\pi}_0}{H_0} 1(t) + \frac{1 - \bar{\pi}_0}{H_0} (1 - e^{-\bar{\pi}_0 t}) \quad (3.83)$$

în care :

$$H_0 = \chi_0 + 2K_0 + K_0 = \frac{(2(1-n_0))}{(1-2n_0)} (\mu_0 + 2M_0 + \mathcal{M}_0) \quad (3.84)$$

$$n_0 = \frac{\lambda_0 + 2L_0 + \mathcal{L}_0}{2[\lambda_0 + \mu_0 + 2(L_0 + M_0) + \mathcal{L}_0 + \mathcal{M}_0]}$$

și respectiv :

$$\frac{1}{H'_n} = \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_0^{-2} \bar{\beta}_n} \left[\frac{(1 - \bar{\beta}_n q_{n1}) (1 - e^{-\bar{\beta}_n q_{n1} t})}{(q_{n2} - q_{n1}) q_{n1}} + \frac{(1 - e^{-\bar{\beta}_n q_{n2} t}) (1 - e^{-\bar{\beta}_n q_{n2} t})}{(q_{n1} - q_{n2}) q_{n2}} \right] \quad (3.85)$$

Introducînd aceste relații în expresiile pentru tasările din faza cvasistabilă și din faza mobilă (2.126), (2.127) și (2.128), (2.129) se ajunge la relațiile :

$$s_{\sigma}^i = \bar{I}(t) \frac{h(1-2n_0)}{2(1-n_0)} \frac{1}{(\mu_0 + 2M_0 + \mathcal{M}_0)} \left[\bar{\pi}_0 I(t) + (1 - \bar{\pi}_0) (1 - e^{-\bar{\pi}_0 t}) \right] = s_{\tau}^i \quad (3.86)$$

$$s_{\sigma}^t = \bar{I}(t) \frac{2k_0^2}{bh \bar{\pi}_0^2} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\bar{\beta}_n} \left[\frac{(1 - \bar{\beta}_n q_{n1}) (1 - e^{-\bar{\beta}_n q_{n1} t})}{(q_{n2} - q_{n1}) \bar{\beta}_n q_{n1}} + \frac{(1 - \bar{\beta}_n q_{n2}) (1 - e^{-\bar{\beta}_n q_{n2} t})}{(q_{n1} - q_{n2}) \bar{\beta}_n q_{n2}} \right] \quad (3.87)$$

$$s_{\sigma}^t = s_{\sigma}^t - \bar{I}(t) \frac{2k_2}{bh \bar{\pi}_0} \sum_0^{\infty} \frac{1}{\beta_n} \left[\frac{(1 - \beta_n^{q_{n_1}}) (-e^{-\beta_n^{q_{n_1}} t})}{(q_{n_2} - q_{n_1}) \beta_n q_{n_1}} + \frac{(1 - \beta_n^{q_{n_2}}) (1 - e^{\beta_n^{q_{n_2}} t})}{(q_{n_1} - q_{n_2}) \beta_n q_{n_2}} \right] \quad (3.88)$$

Dacă se utilizează formulele stabilite pentru consolidarea primară (2.130) și (2.131) rezultă prin analogie :

$$s_{\sigma}^i = s_{\sigma}^{ii} + s_{\sigma}^{it} \quad (3.89)$$

în care :

$$s_{\sigma}^{ii} = \bar{I}(t) \frac{(1 - 2n_0) h}{2(1 - n_0)(\mu_0 + 2M_0 + M_0)} \bar{\pi}_0 = s_{\sigma}^{ie} \bar{\pi}_0 \quad (3.90)$$

pentru :

$$s_{\sigma}^{ie} = s_{\sigma}^i(0) k_{\sigma}^0 \quad \text{cu } k_{\sigma}^0 = \frac{1}{1 + \frac{\mu_0}{\mu_0^*}} \quad (3.91)$$

dacă $\mu_0^* = 2M_0 + M_0$

și respectiv :

$$s_{\sigma}^{it} = s_{\sigma}^i(0) k_{\sigma}^0 (1 - \bar{\pi}_0) (1 - e^{-\bar{\pi}_0 t}) \quad (3.92)$$

Valorile stabilizate ale tasărilor se determină cu relațiile :

$$s_{\sigma}^{it}(\infty) = s_{\sigma}^{ie} (1 - \bar{\pi}_0) \quad (3.93)$$

$$s_{\sigma}^t(\infty) = \bar{I}(t) \frac{2k_0^2 h}{A_0} \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} \frac{1}{q_{n_1} q_{n_2} \beta_n} = s_{\sigma}^{tt}(\infty) k_{\sigma}^0 \quad (3.94)$$

în care :

$$s_{\sigma}^{tt} = \bar{I}(t) k_{\sigma}^0 \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} \quad (3.95)$$

$$\text{pentru } k_{\sigma}^0 = \frac{2k_0^2 h}{A_0}, \quad k_{\sigma}^0 = \frac{\sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} \frac{1}{q_{n_1} q_{n_2} \beta_n}}{\sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2}} \quad (3.96)$$

In calculul tasării instantanee s_{σ}^{ii} utilizăm deci tasarea instan-
tante dedusă din cazul consolidării primare $s_{\sigma}^{ie} = s_{\sigma}^i(o) k_{\sigma}^o$ și o
corectăm cu factorul $\bar{\pi}_o = \frac{1}{1+C}$ pentru $C > 0$, operațiune suficientă, în
cazul clasei de similitudine omogenă, prin cunoașterea factorului C.

Expresia tasării finale revine la forma :

$$s_{\sigma}^{it}(\infty) + s_{\sigma}^t(\infty) = s_{\sigma}^{ie} (1 - \bar{\pi}_o) + s_{\sigma}^{tt}(\infty) k_{\sigma}^o \quad (3.97)$$

în care s_{σ}^{ie} este tasarea instantanee cunoscută din cazul consolidării
primare $1 - \bar{\pi}_o = \frac{C}{1+C}$, $s_{\sigma}^{tt}(\infty)$ este tasarea stabilizată din ca-
zul consolidării primare și k_{σ}^o un factor de corecție pe care ne
propunem să-l determinăm.

In acest caz se calculează produsele :

$$q_{n_1} q_{n_2} \bar{\beta}_n = \frac{\bar{\beta}_n}{4} \left[\left(\frac{1}{\bar{\pi}_o^2} + \frac{1}{\bar{\beta}_n} \right)^2 - \left(\frac{1}{\bar{\pi}_o^2} - \frac{1}{\bar{\beta}_n} \right) \frac{4}{\bar{\pi}_o \bar{\beta}_n} \right] = \frac{1}{\bar{\pi}_o} \quad (3.98)$$

și deci :

$$k_{\sigma}^o = \bar{\pi}_o = \frac{1}{1+C} \quad (3.99)$$

De unde rezultă relația :

$$s_{\sigma}^{it}(\infty) = s_{\sigma}^{ie} \frac{C}{1+C} + s_{\sigma}^{tt}(\infty) \frac{1}{1+C} \quad (3.100)$$

și aplicînd rezultatele obținute în cazul consolidării primare re-
zultă :

$$\begin{aligned} s_{\sigma}^{it}(\infty) &= \frac{C}{1+C} + \frac{k_t}{k'_{\sigma}} s_{\sigma}^{ie} = \frac{\left(1 + \frac{1}{C} \frac{k_t}{k'_{\sigma}}\right)}{1 + \frac{k_t}{k'_{\sigma}}} \left(\frac{C}{1+C}\right) s_{\sigma}^{ie} \left(1 + \frac{k_t}{k'_{\sigma}}\right) = \\ &= \frac{\left(1 + \frac{1}{C} \frac{k_t}{k'_{\sigma}}\right)}{\left(1 + \frac{k_t}{k'_{\sigma}}\right)} - \left(\frac{C}{1+C}\right) s_{\sigma}^{te} \quad (3.101) \end{aligned}$$

Prin urmare tasarea în consolidarea secundară, rezultă din tasarea
produsă în consolidarea primară, multiplicată cu coeficienți cunoscuți,
iar valorile stabilizate se deduc sub forma :

$$s_{\sigma}^{it}(\infty) = s_{\sigma}^{ie} \frac{k_t}{k'_{\sigma}} = s_{\sigma}^{te} \frac{\frac{k_t}{k'_{\sigma}}}{1 + \frac{k_t}{k'_{\sigma}}} = s_{\sigma}^t(\infty) \text{ pentru } C \rightarrow 0 \quad (3.102)$$

$$s_G^{\dagger}(\infty) = s_G^{ie} \text{ pentru } C \rightarrow \infty. \quad (3.103)$$

In aceste condiții s-a studiat pentru prima dată o metodologie de calcul pentru un caz de consolidare secundară prin similitudine omogenă, care poate fi aplicat la o gamă largă de medii viscoelastice.

3.4. Studiul similitudinii viscoelastice slab neomogene pentru consolidarea secundară a semispațiului

Pentru a defini clasa de similitudine slab neomogenă se pleacă de la parametrii viscoelastici reprezentați prin rapoartele (3.69), dacă se admit aproximațiile :

$$\delta = C + \epsilon \delta' \text{ și } \ell = C + \epsilon \ell' \text{ pentru } \epsilon \ll 1.$$

Caracterul de slabă neomogenitate a mediului viscoelastic este reprezentat prin termenii $\epsilon \delta'$ și $\epsilon \ell'$ adăugați la parametrul viscoelastic C al fazei cvasistabile.

Prin înlocuire în relațiile (3.70) și (3.72) rezultă : (3.104)

$$a_1 = 2 \left[1 + C + \frac{\delta' + \ell'}{2} \frac{1}{1 - \frac{K_0^2}{X_0 K_0}} \right] \quad (3.105)$$

$$a_2 = (1 + C)^2 + \epsilon (\delta' + \ell') \frac{1}{1 - \frac{K_0^2}{X_0 K_0}} + C \frac{(\delta' + \ell')}{\frac{K_0^2}{1 - \frac{K_0^2}{X_0 K_0}}}$$

$$K_r = 1 + C + \epsilon \left(\frac{\ell'}{1 + \frac{K_0}{K_0}} \right) \quad (3.106)$$

$$\frac{H_r}{H_0} = \frac{C(X_0 + 2K_0 + K_0) + \epsilon(\delta'X_0 + \ell'K_0)}{X_0 + 2K_0 + K_0} = C + \epsilon \frac{\delta'X_0 + \ell'K_0}{X_0 + 2K_0 + K_0} \quad (3.107)$$

Atunci se deduc pentru A și $\bar{\pi}_0$ expresiile :

$$A = A_0 \frac{\left[1 + (1+C)\bar{p} \right]^2 + \frac{\epsilon(\delta'+\ell')}{K_0^2} \left[\bar{p} + \bar{p}^2(1+C)^2 \right] \left(1 - \frac{K_0^2}{X_0 K_0} \right)}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0) (\bar{p} + 1)} =$$

$$(1+C)^2 \left(\bar{p} + \frac{1}{1+C} \right) \left[\frac{1}{1+C} + \epsilon \frac{(\delta'+\ell')}{K_0^2} \bar{p} \right] \left(1 - \frac{K_0^2}{X_0 K_0} \right)$$

$$\bar{\pi}_0 = \frac{1}{1+C + \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right)} = \frac{1}{1+C} \left[1 - \left(\frac{\epsilon}{1+C} \right) \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right) \right] \quad (3.109)$$

După efectuarea calculelor A se mai poate exprima sub forma :

$$A = \frac{A_0 (1+C)^2}{(\bar{p}+1)(\bar{p}+\bar{\pi}_0)} \left[\bar{p} + \bar{\pi}_0 + \frac{\epsilon (\delta' x_0 + \varrho' K_0)}{(1+C)^2 (x_0 + 2K_0 + K_0)} \right] \left\{ \bar{p} + \bar{\pi}_0 + \frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{(1+C)^2 (x_0 + 2K_0 + K_0)} + \frac{\delta' + \varrho'}{1 - \frac{K_0^2}{x_0 K_0}} \bar{p} \right\} = \frac{A_0 (1+C)^2}{\bar{p} + 1} \left[1 + \epsilon \frac{\delta' + \varrho'}{K_0^2} \right] (\bar{p} + \bar{\pi}_0) = \frac{A_0}{\bar{\pi}_0^2} \left(\frac{\bar{p} + \bar{\pi}_0}{\bar{p} + 1} \right) \quad (3.110)$$

în care se notează :

$$\bar{\pi}_0 = \frac{\bar{\pi}_0 + \epsilon \frac{2}{(1+C)^2} \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right)}{1 + \epsilon \left(\frac{\delta' + \varrho'}{K_0^2} \right)} \approx \bar{\pi}_0 + \left[\frac{2}{(1+C)^2} \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right) - \left(\frac{\delta' + \varrho'}{K_0^2} \right) \bar{\pi}_0 \right] \quad (3.111)$$

$$A_0 = A_0 \bar{\pi}_0^{-2} \left[1 + \epsilon \left(\frac{\delta' + \varrho'}{K_0^2} \right) \right] = A_0 \left\{ 1 + \frac{\delta' + \varrho'}{K_0^2} - 2 \bar{\pi}_0 \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right) \right\} \quad (3.112)$$

În mod analog se prezintă dezvoltările :

$$k = \frac{k_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \left\{ 1 + \bar{p} \left[\frac{1}{\bar{\pi}_0} - \epsilon \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right) + \epsilon \frac{\varrho'}{K_0} \right] \right\} \frac{k_0}{\bar{\pi}_0} \left(\frac{\bar{p} + \bar{\pi}_0}{\bar{p} - \bar{\pi}_0} \right) \quad (3.113)$$

în care :

$$K_0 = \bar{p} \left\{ 1 + \epsilon \bar{\pi}_0 \left[\frac{\varrho'}{K_0} - \left(\frac{\delta' x_0 + \varrho' K_0}{x_0 + 2K_0 + K_0} \right) \right] \right\} \quad (3.114)$$

$$\bar{\pi}'_0 = \bar{\pi}_0 \left\{ 1 - \epsilon \bar{\pi}_0 \left[\frac{\bar{b}'}{1 + \frac{\bar{k}_0}{\bar{\pi}_0}} - \left(\frac{\bar{x}'_0 + \bar{b}'_0 \bar{k}_0}{\bar{x}_0 + 2\bar{k}_0 + \bar{k}_0} \right) \right] \right\}. \quad (3.115)$$

Atunci H'_n are expresia :

$$\begin{aligned} H'_n &= \frac{K_n^2 \frac{\bar{A}_0 (\bar{p} + \bar{\pi}'_0)}{-2} bh^2 \bar{r} \bar{p}}{\bar{\pi}_0^2 \left(\frac{\bar{p} + \bar{\pi}'_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \right)^2} = \\ &= \frac{bh^2 \bar{\pi}_0^{-2} \left(\frac{\bar{p} + \bar{\pi}'_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \right)^2 \left[\bar{p}^2 r + \bar{p} \left(r + \frac{\beta_n}{\bar{\pi}_0^2} \right) + \beta_n \frac{\bar{\pi}'_0}{\bar{\pi}_0^2} \right]}{\bar{k}_0^{-2} (\bar{p} + \bar{\pi}_0)} \end{aligned} \quad (3.116)$$

Ecuatia :

$$\bar{p}^2 + \bar{p} \left(+ \frac{\bar{\beta}_n}{\bar{\pi}_0^2} \right) + \bar{\beta}_n \frac{\bar{\pi}'_0}{\bar{\pi}_0^2} = 0 \quad (3.117)$$

are rădăcinile de forma :

$$\bar{\pi}_1, \bar{\pi}_2 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{n}{\bar{\pi}_0^2} \mp \sqrt{\left(1 + \frac{\bar{\beta}_n}{\bar{\pi}_0^2} \right) - 4 \beta_n \frac{\bar{\pi}'_0}{\bar{\pi}_0^2}} \right) \right] = \bar{\beta}_n q_1, \bar{\beta}_n q_2 \quad (3.118)$$

in care :

$$q_{1,2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\bar{\pi}_0^2} + \frac{1}{\bar{\beta}_n} \mp \sqrt{\left(\frac{1}{\bar{\pi}_0^2} + \frac{1}{\bar{\beta}_n} \right)^2 - \frac{4}{\bar{\pi}_0 \bar{\beta}_n}} \right]. \quad (3.119)$$

Pe baza acestor rezultate deducem formula :

$$\frac{1}{H'_n} = \frac{k_0^2 (\bar{p} + \bar{\pi}'_0)^2}{bh^2 \bar{\pi}_0^2 (\bar{p} + \bar{\pi}'_0)^2} \frac{(\bar{p} + 1)}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)}. \quad (3.120)$$

Deoarece :

$$\begin{aligned} \frac{\bar{p} + \bar{\pi}'_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} &= 1 + \frac{(\bar{\pi}'_0 - \bar{\pi}_0)}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)} \frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} = \frac{\bar{p} + 1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} = \\ &= \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)} \left[\left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1} \right) + \left(\frac{1 - \bar{\pi}_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2} \right) \right] = \\ &= \left(\frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} - \frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} \right) \frac{(1 - \bar{\pi}_1)}{(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)} + \left(\frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} - \frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} \right) \frac{(1 - \bar{\pi}_2)}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2)} \end{aligned} \quad (3.121)$$

și pentru că :

$$\bar{\pi}_0 - \pi_0 = -\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q$$

$$Q = \frac{b'}{\left(1 + \frac{k_0}{K_0}\right)} - \frac{(\delta x_0 + bK_0)}{(x_0 + 2K_0 + K_0)} \quad (3.122)$$

rezultă în continuare :

$$\begin{aligned} \frac{1}{H'_n} = & \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_0^{-2} r} \left\{ \left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1} \right) + \left(\frac{1 - \bar{\pi}_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2} \right) - \right. \\ & - 2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q \left[\frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{-\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1} \right) + \left(\frac{1 - \bar{\pi}_2}{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0} \right) \left(\frac{1}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2} \right) - \right. \\ & - \left. \left. \frac{(1 - \bar{\pi}_1)}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0)} - \frac{(1 - \bar{\pi}_2)}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)} \right] \right\} = \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_0^{-2} r} \left\{ \left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{2 - \bar{\pi}_1} \right) \left(1 + \right. \right. \\ & + \left. \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0} \right) + \left(\frac{1}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} \right) \left(\frac{1 - \bar{\pi}_2}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2} \right) \left(1 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0} - \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \left[\frac{(1 - \bar{\pi}_1)}{(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{(1 - \bar{\pi}_2)}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2)} \right] \right\} \quad (3.123) \end{aligned}$$

În aceste condiții vor avea loc transformările :

$$\frac{1}{H} = \frac{\bar{\pi}_0}{H_0} l(t) + \frac{1 - \bar{\pi}_0}{H_0} (1 - e^{-\bar{\pi}_0 t}) \quad (3.124)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{H'_n} = & \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_0^{-2}} \sum_0^\infty \left\{ \frac{1}{\bar{\beta}_n} \left[\frac{(1 - \beta_n a_{n_1}) (1 - e^{-\beta_n a_{n_1} t})}{(a_{n_2} - a_{n_1}) \beta_n a_{n_1}} \left(1 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{a_{n_1} \beta_n \bar{\pi}_0} \right) + \right. \right. \\ & + \frac{(1 - \beta_n a_{n_2}) (1 - e^{-\beta_n a_{n_2} t})}{(a_{n_1} - a_{n_2}) \beta_n a_{n_2}} \left(1 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{a_{n_2} \beta_n \bar{\pi}_0} \right) \left. \right] + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^{-2} Q}{(a_{n_1} - a_{n_2}) \beta_n} \left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{a_{n_1} \beta_n \bar{\pi}_0} - \right. \\ & \left. - \frac{1 - \bar{\pi}_2}{a_{n_2} \beta_n \bar{\pi}_0} \right) \frac{(1 - e^{-\bar{\pi}_0 t})}{\bar{\pi}_0} \left. \right\} \quad (3.125) \end{aligned}$$

Prin analogie cu formulările din cazul similitudinii viscoelastice omogene rezultă pentru s_Q^i un mod de exprimare asemănător. Dar tasarea în timp se prezintă sub o formă modificată :

$$\begin{aligned}
 e_Q^t = \bar{I}(t) & \left\{ \frac{2k_n^2}{bh\bar{\pi}_0^2} \sum_0^\infty \frac{1}{\beta_n} \left[\frac{(1-\beta_n a_{n1})(1-e^{-\beta_n a_{n1} t})}{(a_{n2}-a_{n1}) \beta_n a_{n1}} \left(1 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 Q}{a_{n1} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right) + \right. \right. \\
 & + \frac{(1-\beta_n a_{n2})(1-e^{-\beta_n a_{n2} t})}{(a_{n1}-a_{n2}) \beta_n a_{n2}} \left. \left(1 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 Q}{a_{n2} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right) \right] + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 Q}{(a_{n1}-a_{n2})} \\
 & \left. \left(\frac{1-\bar{\pi}_1}{a_{n1} \beta_n - \bar{\pi}_0} - \frac{1-\bar{\pi}_2}{a_{n2} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right) \frac{(1-e^{-\bar{\pi}_0 t})}{\beta_n} \right\} \quad (3.126)
 \end{aligned}$$

Tasarea stabilizată se exprimă prin relația :

$$\begin{aligned}
 s_Q^t(\infty) = \bar{I}(t) \frac{2k_n^2 h}{A_0} \sum_0^\infty \frac{1}{k_n^2} & \left\{ \frac{1}{(a_{n1}-a_{n2}) \beta_n} + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 Q}{(a_{n2}-a_{n1}) \beta_n} \right. \\
 & \left. \left[\frac{\left(\frac{1}{a_{n1} \beta_n} - 1 - \frac{1-\bar{\pi}_1}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n1} \beta_n - \bar{\pi}_0} - \frac{\left(\frac{1}{a_{n2} \beta_n} - 1 - \frac{1-\bar{\pi}_1}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n2} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right] \right\} = s_Q^{tt}(\infty) k_Q^o \quad (3.127)
 \end{aligned}$$

în care :

$$k_Q^o = \frac{\sum_0^\infty \frac{1}{k_n^2} \left\{ \frac{1}{a_{n1} a_{n2} \beta_n} + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 Q}{a_{n2}-a_{n1}} \left[\frac{\left(\frac{1}{a_{n1} \beta_n} - 1 - \frac{1-\bar{\pi}_1}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n1} \beta_n - \bar{\pi}_0} - \frac{\left(\frac{1}{a_{n2} \beta_n} - 1 - \frac{1-\bar{\pi}_1}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n2} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right] \right\}}{\sum_0^\infty \frac{1}{k_n^2}} \quad (3.128)$$

În calculul tasării instantanee utilizăm relația dedusă în consolidarea primară și o corectăm cu factorul :

$$1 - \bar{\pi}_0 = \frac{1}{1+c} \left[c + \frac{\epsilon}{1+c} \left(\frac{\gamma' x_0 + \epsilon' k_0}{x_0 + 2k_0 + k_0} \right) \right] \quad (3.129)$$

Pentru evaluarea tasării stabilizate factorul de corecție este de forma :

$$k_{\sigma}^{\infty} = \bar{\pi}_0 + \frac{2\epsilon \bar{\pi}_0^2 q}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{k_n^2}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{k_n^2 (a_{n_2} - a_{n_1})} \left[\frac{\left(\frac{1}{a_{n_1} \beta_n} - 1 - \frac{1 - a_{n_1} \beta_n}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n_1} \beta_n - \bar{\pi}_0} - \frac{\left(\frac{1}{a_{n_2} \beta_n} - 1 - \frac{1 - a_{n_2} \beta_n}{\bar{\pi}_0} \right)}{a_{n_2} \beta_n - \bar{\pi}_0} \right] \quad (3.130)$$

Rezultatele prezentate extind cazul similitudinii omogene și permit un calcul analog în cazul consolidării secundare slab neomogene, aplicat la mediile viscoelastice.

3.5. Soluția generalizată pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un singur timp de relaxare

Se consideră expresia :

$$\frac{1}{H_n'} = \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_4^{-2}} \frac{(\bar{p} + 1)(p + \bar{\pi}_4)^2}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)r (\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} \quad (3.131)$$

cu notația $\bar{\pi}_4 = \frac{1}{K_r}$ și forma dezvoltată a produsului :

$$(\bar{p}+1) (\bar{p} + \bar{\pi}_4)^2 = \bar{p}^3 + \bar{p}^2 (1+2 \bar{\pi}_4) + \bar{p}(\bar{\pi}_4^2 + 2 \bar{\pi}_4) + \bar{\pi}_4^2 \quad (3.132)$$

Se utilizează dezvoltările :

$$\frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} = \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)} \frac{1}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)} + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} \frac{1}{(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2)}$$

$$\frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} = \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)} \frac{1}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_1)} +$$

$$\frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} \frac{1}{(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2)(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_2)} + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} \frac{1}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_3)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3)} \quad (3.133)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\Delta} &= \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} = \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)} \frac{1}{(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_0)} + \\
 &+ \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)} \frac{1}{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)} + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} \frac{1}{(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_2)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_2)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2)} + \\
 &+ \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} \frac{1}{(\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)} = \frac{\Delta_0}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)} + \frac{\Delta_1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)} + \\
 &+ \frac{\Delta_2}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} + \frac{\Delta_3}{(\bar{p} + \bar{\pi}_3)} \quad (3.134)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\Delta} &= \frac{\Delta_0 (\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{p} + \bar{\pi}_3) + \Delta_1 (\bar{p} + \bar{\pi}_0)(\bar{p} + \bar{\pi}_2)(\bar{p} + \bar{\pi}_3) + \dots}{\Delta} = \\
 &= \frac{1}{\Delta} \left\{ \bar{p}^3 (\Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) + \bar{p}^2 [\Delta_0 (\bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_1) + \Delta_1 (\bar{\pi}_0 + \bar{\pi}_2 + \right. \\
 &+ \bar{\pi}_3) + \dots] + \bar{p} [\Delta_0 (\bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_1) + \Delta_1 (\bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \\
 &+ \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_0 + \bar{\pi}_0 \bar{\pi}_2 + \dots)] + \Delta_0 \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \Delta_1 \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_0 + \dots \}. \quad (3.135)
 \end{aligned}$$

De unde rezultă relațiile între rădăcini și coeficienții caracteristici :

$$\Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0$$

$$\Delta_0 (\bar{\pi}_1 + \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_3) + \Delta_1 (\bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_0) + \Delta_2 (\bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_0 + \bar{\pi}_1) +$$

$$+ \Delta_3 (\bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_1 + \bar{\pi}_0) = 0$$

$$\Delta_0 (\bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_1) + \Delta_1 (\bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_0 + \bar{\pi}_0 \bar{\pi}_2) +$$

$$\Delta_2 (\bar{\pi}_3 \bar{\pi}_1 + \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3) + \Delta_3 (\bar{\pi}_3 \bar{\pi}_1 + \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 + \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_0) = 0 \quad (3.136)$$

$$\Delta_0 \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 + \Delta_1 \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_0 + \Delta_2 \bar{\pi}_3 \bar{\pi}_0 \bar{\pi}_1 + \Delta_3 \bar{\pi}_0 \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 = 1.$$

Atunci vor avea loc dezvoltările :

$$\begin{aligned} \frac{p}{s} &= \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \frac{\bar{\pi}_0 \Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} - \dots = \\ &= \frac{\bar{\pi}_0 \Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} - \frac{\bar{\pi}_1 \Delta_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} - \frac{\bar{\pi}_2 \Delta_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} - \frac{\bar{\pi}_3 \Delta_3}{\bar{p} + \bar{\pi}_3} \end{aligned} \quad (3.137)$$

$$\frac{p^2}{s^2} = \frac{\bar{\pi}_0^2 \Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} + \frac{\bar{\pi}_1^2 \Delta_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} + \frac{\bar{\pi}_2^2 \Delta_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} + \frac{\bar{\pi}_3^2 \Delta_3}{\bar{p} + \bar{\pi}_3}$$

$$\frac{p^3}{s^3} = \frac{\bar{\pi}_0^3 \Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} - \frac{\bar{\pi}_1^3 \Delta_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} + \frac{\bar{\pi}_2^3 \Delta_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} + \frac{\bar{\pi}_3^3 \Delta_3}{\bar{p} + \bar{\pi}_3}$$

Din relațiile stabilite decurge dezvoltarea citului :

$$\begin{aligned} \frac{(\bar{p}+1)(\bar{p}+\bar{\pi}_4)^2}{s} &= \frac{\Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} \left[-\bar{\pi}_0^{-3} + (1+2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_0^{-2} - (\bar{\pi}_4^{-2} + \right. \\ &+ 2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_0^{-1} + \bar{\pi}_4^2 \left. \right] + \frac{\Delta_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} \left[-\bar{\pi}_1^{-3} + (1+2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_1^{-2} - \bar{\pi}_4^{-2} + \right. \\ &+ 2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_1^{-1} + \bar{\pi}_4^2 \left. \right] + \frac{\Delta_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} \left[-\bar{\pi}_2^{-3} + (1+2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_2^{-2} - (\bar{\pi}_4^{-2} + \right. \\ &+ 2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_2^{-1} + \bar{\pi}_4^2 \left. \right] + \frac{\Delta_3}{\bar{p} + \bar{\pi}_3} \left[-\bar{\pi}_3^{-3} + (1+2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_3^{-2} - (\bar{\pi}_4^{-2} + 2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_3^{-1} + \right. \\ &+ \bar{\pi}_4^2 \left. \right] = \frac{\Delta_0}{\bar{p} + \bar{\pi}_0} + \frac{\Delta_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} + \frac{\Delta_2}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} + \frac{\Delta_3}{\bar{p} + \bar{\pi}_3} \end{aligned} \quad (3.138)$$

și în general :

$$\Delta_i = -\bar{\pi}_i^{-3} + (1+2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_i^{-2} - (\bar{\pi}_4^{-2} + 2\bar{\pi}_4) \bar{\pi}_i^{-1} + \bar{\pi}_4^2 \quad (3.139)$$

pentru $i = 0, 1, 2, 3$.

În aceste condiții vor avea loc transformările :

$$\frac{1}{H} = \frac{\bar{\pi}_0}{H_0} l(p) + \frac{1-\bar{\pi}_0}{H_0} (1 - e^{-\bar{\pi}_0 t}) \quad (3.140)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{H'_n} &= \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_4^2} \sum_0^\infty \frac{\Delta_{on}}{\bar{\pi}_{on}} (1 - e^{-\bar{\pi}_{on}t}) + \frac{\Delta_{1n}}{\bar{\pi}_{1n}} (1 - e^{-\bar{\pi}_{1n}t}) + \\ &+ \frac{\Delta_{2n}}{\bar{\pi}_{2n}} (1 - e^{-\bar{\pi}_{2n}t}) + \frac{\Delta_{3n}}{\bar{\pi}_{3n}} (1 - e^{-\bar{\pi}_{3n}t}) = \frac{k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_4^2} \sum_0^\infty \left[\frac{\Delta_{on}}{\bar{\pi}_o} \frac{1 - e^{-\bar{\pi}_o t}}{\bar{\pi}_o} + \right. \\ &\left. + \frac{\Delta_{1n}}{\beta_{n^q1n}} (1 - e^{-\beta_{n^q1n}t}) + \frac{\Delta_{2n}}{\beta_{n^q2n}} (1 - e^{-\beta_{n^q2n}t}) + \frac{\Delta_{3n}}{\beta_{n^q3n}} (1 - e^{-\beta_{n^q3n}t}) \right]. \end{aligned} \quad (3.141)$$

Introducînd aceste expresii în relațiile (2.126) și (2.127) rezultă tasarea instantanee și în timp pentru faza cvasistabilă :

$$s_{\sigma}^i = \bar{I}(t) \frac{h(1-2n_o)}{2(1-n_o) (\mu_o + 2M_o + \mathcal{M}_o)} \left[\bar{\pi}_o l(p) + (1 - \bar{\pi}_o) (1 - e^{-\bar{\pi}_o t}) \right] \quad (3.142)$$

$$\begin{aligned} s_{\sigma}^t = \bar{I}(t) \frac{2k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_4^2} \sum_0^\infty \left[\frac{\Delta_{on}}{\bar{\pi}_o} (1 - e^{-\bar{\pi}_o t}) + \frac{\Delta_{1n}}{\beta_{n^q1n}} (1 - e^{-\beta_{n^q1n}t}) + \right. \\ \left. + \frac{\Delta_{2n}}{\beta_{n^q2n}} (1 - e^{-\beta_{n^q2n}t}) + \frac{\Delta_{3n}}{\beta_{n^q3n}} (1 - e^{-\beta_{n^q3n}t}) \right]. \end{aligned} \quad (3.143)$$

Tasările stabilizate se deduc sub forma :

$$s_{\sigma}^i(\infty) = \bar{I}(t) \frac{h(1-2n_o)}{2(1-n_o) (\mu_o + 2M_o + \mathcal{M}_o)} \quad (3.144)$$

$$s_{\sigma}^t(\infty) = \bar{I}(t) \frac{2k_0^2}{bh^2 \bar{\pi}_4^2} \sum_0^\infty \left[\frac{\Delta_{on}}{\bar{\pi}_o} + \frac{1}{\beta_n} \left(\frac{\Delta_{1n}}{q_{1n}} + \frac{\Delta_{2n}}{q_{2n}} + \frac{\Delta_{3n}}{q_{3n}} + \frac{\Delta_{4n}}{q_{4n}} \right) \right]. \quad (3.145)$$

Se stabilește deci soluția generalizată pentru consolidarea secundară a semispajului cu un singur timp de relaxare.

3.6. Soluția viscoelastică pentru consolidarea secundară a semispajului cu doi timpi de relaxare

În cadrul teoriei consolidării mediilor cu fază fluidă Biot M.A. a

prezentat și o soluție cu doi timpi de relaxare. În cele ce urmează se extinde această soluție pentru cazul fazei complexe mobile cu următoarele expresii ale modurilor transformate :

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{p}{p+r} \lambda_r + \frac{p}{p+s} \lambda_s + \lambda_o \\
 \mu &= \frac{p}{p+r} \mu_r + \frac{p}{p+s} \mu_s + \mu_o \\
 L &= \frac{p}{p+r} L_r + \frac{p}{p+s} L_s + L_o \\
 M &= \frac{p}{p+r} M_r + \frac{p}{p+s} M_s + M_o \\
 \delta &= \frac{p}{p+r} \delta_r + \frac{p}{p+s} \delta_s + \delta_o \\
 \mathcal{M} &= \frac{p}{p+r} \mathcal{M}_r + \frac{p}{p+s} \mathcal{M}_s + \mathcal{M}_o
 \end{aligned}
 \tag{3.146}$$

în care r și s reprezintă cei doi timpi de relaxare.

În acest caz expresiile asociate devin :

$$\begin{aligned}
 \lambda_r + 2\mu_r &= X_r, L_r + 2M_r = K_r, \delta_r + 2\mathcal{M}_r = \mathcal{K}_r \\
 \lambda_s + 2\mu_s &= X_s, L_s + 2M_s = K_s, \delta_s + 2\mathcal{M}_s = \mathcal{K}_s \\
 \lambda_o + 2\mu_o &= X_o, L_o + 2M_o = K_o, \delta_o + 2\mathcal{M}_o = \mathcal{K}_o
 \end{aligned}
 \tag{3.147}$$

de unde :

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{p}{p+r} X_r + \frac{p}{p+s} X_s + X_o, \\
 K &= \frac{p}{p+r} K_r + \frac{p}{p+s} K_s + K_o \\
 \mathcal{K} &= \frac{p}{p+r} \mathcal{K}_r + \frac{p}{p+s} \mathcal{K}_s + \mathcal{K}_o \\
 H_r &= X_s + 2K_r + X_r \\
 H_s &= X_s + 2K_s + \mathcal{K}_s \\
 H_o &= X_o + 2K_o + \mathcal{K}_o
 \end{aligned}
 \tag{3.149}$$

Cu aceste notații rezultă :

$$H = \frac{p}{p+r} H_r + \frac{p}{p+s} H_s + H_o = \frac{\Delta_2}{(p+r)(p+s)} \quad (3.150)$$

in care :

$$\Delta_2 = p(p+s)H_r + p(p+r)H_s + (p+r)(p+s)H_o = p^2(H_r+H_s+H_o) + p[s(H_r+H_o) + r(H_s+H_o)] + rsH_o. \quad (3.151)$$

Dacă se notează în continuare : $\bar{p} = \frac{p}{\sqrt{rs}}$

rezultă pentru Δ_2 expresia :

$$\Delta_2 = rsH_o \left\{ 1 + \bar{p} \left[\left(1 + \frac{H_r}{H_o}\right) \sqrt{\frac{s}{r}} + \left(1 + \frac{H_s}{H_o}\right) \sqrt{\frac{r}{s}} \right] + p^{-2} \left(1 + \frac{H_r+H_s}{H_o}\right) \right\} \quad (3.152)$$

Din ecuația provenită prin egalarea cu zero a relației (3.152) se deduc rădăcinile de forma :

$$\bar{p} = -\tilde{\pi}_0, \quad -\tilde{\pi}_1 = \frac{-s(H_r+H_o) + r(H_s+H_o) \pm \sqrt{s(H_r+H_o) + r(H_s+H_o)}^2 - 4rsH_o(H_r+H_s+H_o)}{2(H_r+H_s+H_o)}. \quad (3.153)$$

In acest caz expresia 1/H devine :

$$\begin{aligned} \frac{1}{H} &= \frac{(p+r)(p+s)}{\Delta_2} = \frac{(\bar{p} + \sqrt{\frac{r}{s}}) (\bar{p} + \sqrt{\frac{s}{r}})}{H_o \left(1 + \frac{H_r+H_s}{H_o}\right) (\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\bar{p} + \tilde{\pi}_1)} = \\ &= \tilde{\pi}_0 + \frac{\tilde{\pi}_1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0)} + \frac{\tilde{\pi}_2}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1)} \quad (3.154) \end{aligned}$$

Coeficienții din expresia (3.154) se determină din dezvoltarea cîtului:

$$\begin{aligned} \frac{(\bar{p} + \sqrt{\frac{r}{s}}) (\bar{p} + \sqrt{\frac{s}{r}})}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\bar{p} + \tilde{\pi}_1)} &= \left[p^2 + \bar{p} \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) + 1 \right] \left[\frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0)} + \right. \\ &+ \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1) (\tilde{\pi}_0 - \tilde{\pi}_1)} \left. \right] = \frac{1}{\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0} + \frac{1}{\tilde{\pi}_0 - \tilde{\pi}_1} - \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0)} - \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1) (\tilde{\pi}_0 - \tilde{\pi}_1)} \\ &(\bar{p} + \sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}}) + \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0)} + \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_1) (\tilde{\pi}_0 - \tilde{\pi}_1)} = \frac{1}{(\bar{p} + \tilde{\pi}_0) (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left[1 - \bar{\pi}_0 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) \right] + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)} \left[1 - \bar{\pi}_1 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) - \frac{\bar{\pi}_0}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0} \right. \\
 & \left. - \frac{\bar{\pi}_1}{\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1} \right] + \frac{\bar{\pi}_0^2}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)} + \frac{\bar{\pi}_0^2}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)} = 1 + \\
 & + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_0)(\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0)} \left[1 - \bar{\pi}_0 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) + \bar{\pi}_0^{-2} \right] + \frac{1}{(\bar{p} + \bar{\pi}_1)(\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1)} \\
 & \left[1 - \bar{\pi}_1 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) + \bar{\pi}_1^{-2} \right] \quad (3.155)
 \end{aligned}$$

de unde rezultă :

$$\bar{\pi}_0 = \frac{1}{H_r + H_s + H_o}, \quad \bar{\pi}_1 = \frac{\bar{\pi}_0}{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0} \left[1 - \bar{\pi}_0 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) + \bar{\pi}_0^{-2} \right] \quad (3.156)$$

$$\bar{\pi}_2 = \frac{\bar{\pi}_0}{\bar{\pi}_0 - \bar{\pi}_1} \left[1 - \bar{\pi}_1 \left(\sqrt{\frac{s}{r}} + \sqrt{\frac{r}{s}} \right) + \bar{\pi}_1^{-2} \right]. \quad (3.157)$$

Ca și în cazul soluției pentru un singur timp de relaxare, dacă se consideră :

$$H'_n = \frac{Ak_n^2 + bph^2}{k^2}$$

$$A = \frac{(\lambda + 2\mu)(L + 2M) - (L + 2M)^2}{H}$$

$$k = \frac{L + 2M + L_o + 2M_o}{H}$$

decurg dezvoltările :

$$\begin{aligned}
 A = \frac{xK^-K^2}{H} &= \frac{1}{H} \left(x_o + x_r \frac{p}{p+r} + x_s \frac{p}{p+s} \right) \left(K_o + K_r \frac{p}{p+r} + K_s \frac{p}{p+s} \right) - \\
 & - \left(K_o + K_r \frac{p}{p+r} + K_s \frac{p}{p+s} \right)^2 \Big] = \frac{1}{(p+r)^2 (p+s)^2 H} \left\{ (x_o + x_r + x_s) p^2 + \left[\right. \right. \\
 & + \left[x_o(r+s) + x_r s + x_s r \right] p + x_o r s \Big\} \left\{ (K_o + K_r + K_s) p^2 + \left[K_o(r+s) + K_r s + K_s r \right] - \right. \\
 & - \left. \left. (K_o + K_r + K_s) p^2 + \left[K_o(r+s) + K_r s + K_s r \right] p + K_o r s \right\}^2 = \frac{1}{(p+r)^2 (p+s)^2} \left\{ p^4 \left[(x_o + \right. \right. \right. \\
 & + x_r + x_s) (K_o + K_r + K_s) - (K_o + K_r + K_s)^2 \Big] + p^3 \left[(x_o + x_r + x_s) (K_o r + K_o s + K_r s + \right. \\
 & + K_s r) + (K_o + K_r + K_s) (K_o r + K_o s + K_r s + K_s r) - 2(K_o + K_r + K_s) (K_o r + K_o s + K_r s + K_s r) \Big] \Big\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + p^2 [(X_0 + X_r + X_s) K_0 r s - (K_0 + K_r + K_s) X_0 r s + (X_0 r + X_0 s + X_r s + X_s r) \\
 & (K_0 r + K_0 s + K_r s + K_s r) - 2 (K_0 + K_r + K_s) K_0 r s - (K_0 r + K_0 s + K_r s + K_s r)^2] + p [(X_0 r + \\
 & + X_0 s + X_r s + X_s r) K_0 r s - (K_0 r + K_0 s + K_r s + K_s r) X_0 r s - 2 (K_0 r + K_0 s + K_r s + K_s r) K_0 r s] + \\
 & \quad \quad \quad (\bar{p} + \sqrt{\frac{r}{s}}) (\bar{p} + \sqrt{\frac{s}{r}}) \\
 & + \frac{[(X_0 K_0 - K_0^2) r^2 s^2]}{(H_0 + H_r + H_s) (\bar{p} + \bar{q}_0) (\bar{p} + \bar{q}_1)} \tag{3.158}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k = \frac{X - K}{H} &= \frac{X_0 - K_0 + p \left(\frac{K_r K_r}{p+r} + \frac{K_s K_s}{p+s} \right)}{H_0 + p \frac{H_r}{p+r} + \frac{H_s}{p+s}} = \left\{ p^2 (X_0 + K_0 + K_r + K_r + \right. \\
 & \quad \quad \quad \left. + K_s + K_s) + p [(r+s) (X_0 + K_0) + s(K_r + K_r) + r(K_s + K_s)] + \right. \\
 & \quad \quad \quad \left. + rs(K_0 + K_0) \right\} / p^2 (H_0 + H_r + H_s) + p [(r+s) H_0 + s H_r + r H_s] + r s H_0. \tag{3.159}
 \end{aligned}$$

In acest caz expresia 1/H devine:

$$\frac{1}{H} = \frac{(p+r) (p+s)}{p^2 (H_0 + H_r + H_s) + p (r H_0 + s H_r + r H_s) + r s H_0} \tag{3.160}$$

și rădăcinile ecuației provenită prin egalarea cu zero a numitorului din expresia (3.160) rezultă sub forma :

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{-[(r+s)H_0 + sH_r + rH_s] \pm \sqrt{[(r+s)H_0 + sH_r + rH_s]^2 - 4rsH_0(H_0 + H_r + H_s)}}{2(H_0 + H_r + H_s)} = \\
 &= \frac{(r+s) + \frac{(sH_r + rH_s)}{H_0}}{2 \left(1 + \frac{H_r + H_s}{H_0} \right)} \left\{ -1 \pm \frac{\sqrt{1 - 4rs \left(1 + \frac{H_r + H_s}{H_0} \right)}}{\left[(r+s) + \frac{sH_r + rH_s}{H_0} \right]^2} \right\} = p_0^+, p_0^- \tag{3.161}
 \end{aligned}$$

sau :

$$\begin{aligned}
 \bar{p} = \frac{p}{r} &= \frac{\frac{s}{r} \left[1 + \frac{H_r}{H_0} + rs \left(1 + \frac{H_s}{H_0} \right) \right]}{1 + \frac{H_r + H_s}{H_0}} \left\{ -1 \pm \frac{\sqrt{1 - 4 \frac{r}{s} \left(1 + \frac{H_r + H_s}{H_0} \right)}}{\left[1 + \frac{H_r}{H_0} + \frac{r}{s} \left(1 + \frac{H_s}{H_0} \right) \right]^2} \right\} = \\
 &= \frac{p_0^+}{r}, \frac{p_0^-}{r}. \tag{3.162}
 \end{aligned}$$

Dacă se notează $\bar{\pi}_o^{-r} = -\frac{p_o^-}{r}$, $\bar{\pi}_o^{-s} = -\frac{p_o^+}{s}$ expresia (3.160)

devine :

$$\begin{aligned} & (\bar{p} + 1) \left(\bar{p} \frac{r}{s} + 1\right) \\ \frac{1}{H} &= \frac{(\bar{p} + 1) \left(\bar{p} \frac{r}{s} + 1\right)}{(H_o + H_r + H_s) (\bar{p} + \bar{\pi}_o^{-r}) \left(\bar{p} \frac{r}{s} + \bar{\pi}_o^{-s}\right)} = \\ &= \frac{1}{(H_o + H_r + H_s)} \left(\frac{1 + \bar{\pi}_o^{-r}}{\bar{p} + \bar{\pi}_o^{-r}} + 1\right) \left(\frac{1 - \bar{\pi}_o^{-s}}{\bar{p} \frac{r}{s} + \bar{\pi}_o^{-s}} + 1\right) = \\ &= \frac{1}{(H_o + H_r + H_s)} \left\{ 1 + r \left[\frac{1 - \bar{\pi}_o^{-r} \left(\frac{1}{\bar{\pi}_o^{-s} - \bar{\pi}_o^{-r}} \frac{r}{s}\right)}{p + r \bar{\pi}_o^{-r}} \right] + s \left[\frac{1 - \bar{\pi}_o^{-s} \left(\frac{r}{\bar{\pi}_o^{-s} - \bar{\pi}_o^{-r}} \frac{r}{s}\right)}{p + s \bar{\pi}_o^{-s}} \right] \right\} \quad (3.163) \end{aligned}$$

Se extinde deci soluția dată de Biot M.A. pentru consolidarea secundară cu doi timpi de relaxare, prin intervenția modurilor M , ξ și \mathcal{M} .

3.7. Studiul similitudinii viscoelastice omogene pentru consolidarea secundară a semispațiului cu doi timpi de relaxare

Dacă se consideră doi timpi de relaxare r și s , rapoartele (3.69) care stabilesc proporția dintre suma modurilor viscoelastici longitudinal și transversal ai fazelor componente, în raport cu suma modurilor instantanee corespunzător, se scriu sub forma :

$$\begin{aligned} X_r / X_o &= \delta_r, \quad K_r / K_o = C_r, \quad \mathcal{K}_r / K_o = \mathcal{C}_r \\ X_s / X_o &= \delta_s, \quad K_s / K_o = C_s, \quad \mathcal{K}_s / K_o = \mathcal{C}_s. \end{aligned} \quad (3.164)$$

În acest mod se urmărește stabilirea unei soluții mai exacte în exprimarea tasărilor viscoelastice din cadrul consolidării secundare.

Intrucât metodologia de calcul pentru doi timpi de relaxare r și s , implică un grad de complexitate mai mare decât pentru un singur timp de relaxare, studiul se rezumă numai la similitudinea viscoelastică omogenă.

Pornind de la relațiile (3.164) și considerând egalitățile :

$$\delta_r = C_r = \mathcal{C}_r, \quad \delta_s = C_s = \mathcal{C}_s \quad (3.165)$$

rezultă :

$$H_r / H_o = C_r, \quad H_s / H_o = C_s, \quad H_o (1 + C_r + C_s). \quad (3.166)$$

Se determină și relațiile caracteristice :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{(p+r)^2 (p+s)^2 H_0 (1+C_r+C_s)} (X_0 K_0 + K_0^2) \left[(1+C_r+C_s) p^2 + (r+s+sC_r+rC_s)p + \right. \\
 &\quad \left. +rs \right]^2 = \frac{(X_0 K_0 - K_0^2) \left[1 + (r+s+sC_r+rC_s) \frac{p}{rs} + (1+C_r+C_s) \frac{p^2}{rs} \right]^{-2}}{H_0 \left(\frac{p}{r} + 1 \right) \left(\frac{p}{s} + 1 \right) \left[1 + (r+s+sC_r+rC_s) \frac{p}{rs} + (1+C_r+C_s) \frac{p^2}{rs} \right]} \\
 &= \frac{(X_0 K_0 - K_0^2) \left[1 + (r+s+sC_r+rC_s) \frac{p}{rs} + (1+C_r+C_s) \frac{p^2}{rs} \right]}{H_0 \left(\frac{p}{r} + 1 \right) \left(\frac{p}{s} + 1 \right)} \quad (3.167)
 \end{aligned}$$

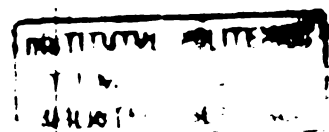
$$k = \frac{(X_0 + K_0) \left[1 + p \left(\frac{C_r}{p+r} + \frac{C_s}{p+s} \right) \right]}{H_0 \left[1 + p \left(\frac{C_r}{p+r} + \frac{C_s}{p+s} \right) \right]} = \frac{X_0 + K_0}{H_0} \quad (3.168)$$

De unde pentru H'_n rezultă expresia :

$$\begin{aligned}
 H'_n &= \left(\frac{H_0}{K_0 + K_0} \right)^2 \left\{ k_n^2 \frac{(X_0 K_0 - K_0^2) \left[1 + (r+s+sC_r+rC_s) \frac{p}{rs} + (1+C_r+C_s) \right]}{H_0 \left(\frac{p}{r} + 1 \right) \left(\frac{p}{s} + 1 \right)} + bh^2 rp \right\} = \\
 &= \left(\frac{H_0}{K_0 + K_0} \right)^2 \frac{bh^2}{\left(\frac{p}{r} + 1 \right) \left(\frac{p}{s} + 1 \right)} \left\{ \frac{p^3}{rs} + p^2 \left[\frac{1}{r} + \frac{1}{s} + \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2) (1+C_r+C_s)}{bh^2 H_0 rs} \right] \right\} + \\
 &+ p \left[1 + \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2)}{bh^2 H_0} (r+s+sC_r+rC_s) \right] + \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2)}{bh^2 H_0} \quad (3.169)
 \end{aligned}$$

Dacă se notează cu p_1, p_2, p_3 , rădăcinile ecuației :

$$\begin{aligned}
 \frac{p^3}{rs} + p^2 \left[\frac{1}{r} + \frac{1}{s} + \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2) (1+C_r+C_s)}{bh^2 H_0 rs} \right] + p \left[1 + \right. \\
 \left. \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2)}{bh^2 H_0} (r+s+sC_r+rC_s) \right] + \frac{k_n^2 (X_0 K_0 - K_0^2)}{bh^2 H_0} = 0 \quad (3.170)
 \end{aligned}$$



expresia (3.169) devine :

$$\frac{1}{H_n'} = \left(\frac{K_o + K_o}{H_o} \right)^2 \frac{(p+r)(p+s)}{bh^2} \frac{1}{(p-p_1)(p-p_2)(p-p_3)} =$$

$$= \left(\frac{K_o + K_o}{H_o} \right)^2 \frac{(p+r)(p+s)}{bh^2} \left[\frac{h_1}{(p-p_1)} + \frac{h_2}{(p-p_2)} + \frac{h_3}{(p-p_3)} \right]. \quad (3.171)$$

Coeficienții h_1, h_2, h_3 se deduc din condițiile :

$$h_1 + h_2 + h_3 = 0, \quad h_1 p_2 p_3 + h_2 p_1 p_3 + h_3 p_1 p_2 = 1 \quad (3.172)$$

$$h_1 (p_2 + p_3) + h_2 (p_3 + p_1) + h_3 (p_1 + p_2) = 0$$

și dacă se notează :

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ p_2+p_3 & p_3+p_1 & p_1+p_2 \\ p_2p_3 & p_3p_1 & p_1p_2 \end{vmatrix} = p_1p_2 (p_1-p_2) + p_2p_3 (p_2-p_3) +$$

$$+ p_3p_1 (p_3-p_1) \quad (3.173)$$

de unde rezultă :

$$h_1 = \frac{1}{p} \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & p_3+p_1 & p_1+p_2 \\ 1 & p_3p_1 & p_1p_2 \end{vmatrix} = \frac{1}{D} (p_2-p_3)$$

$$h_2 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ p_2+p_3 & 0 & p_1+p_2 \\ p_2p_3 & 1 & p_1p_2 \end{vmatrix} = \frac{1}{D} (p_3-p_1) \quad (3.174)$$

$$h_3 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ p_2+p_3 & p_3+p_1 & 0 \\ p_2p_3 & p_3p_1 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{D} (p_1-p_2).$$

Se constată că pentru $D \rightarrow \infty$ ecuația (3.170) devine :

$$\frac{n^2}{r^2} + \frac{p}{r} \left[1 + \frac{k_n^2}{bh^2} \frac{(x_0 K_0 - K_0^2)}{H_0 r} (1 + c_2) \right] + \frac{k_n^2}{bh^2} \frac{(x_0 K_0 - K_0^2)}{H_0} = 0 \quad (3.175)$$

astfel că $p_1 \rightarrow p_1'$ și $p_2 \rightarrow p_2'$

Dacă se notează $\bar{\pi}_1 = \frac{p_1}{r}$, $\bar{\pi}_2 = \frac{p_2}{r}$, $\bar{\pi}_3 = -\frac{p_3}{s}$, rezultă că:

$$D = \left(\frac{s}{r}\right)^2 r^3 \Delta = rs^2 \Delta \quad (3.176)$$

în care :

$$\Delta = \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 \left(\frac{r}{s}\right)^2 (\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1) + \bar{\pi}_2 \bar{\pi}_3 \left(\bar{\pi}_3 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2\right) + \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_3 \left(\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3\right) \quad (3.177)$$

de unde :

$$h_1 = \frac{\bar{\pi}_3 \frac{r}{s} \bar{\pi}_2}{rs \Delta} \quad h_2 = \frac{\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3}{rs \Delta} \quad h_3 = \frac{\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1}{s^2 \Delta} \quad (3.178)$$

Pentru $1/H_n'$ se deduce expresia :

$$\frac{1}{H_n'} = \left(\frac{K_0 - K_0'}{H_0}\right)^2 \frac{(\bar{p} + 1)}{bh^2} \left[\frac{(\bar{p} \frac{r}{s} + 1) (\bar{\pi}_3 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2)}{r (\bar{p} + \bar{\pi}_2)} + \frac{\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3}{(\bar{p} + \bar{\pi}_2)} + \left(\frac{r}{s}\right)^2 \frac{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)}{(\bar{p} \frac{r}{s} + \bar{\pi}_3)} \right] \quad (3.179)$$

Valorile Δ se pot exprima în raport cu puterile r/s adică :

$$\Delta = \bar{\pi}_3 (\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1) + \frac{r}{s} (\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_2) + \left(\frac{r}{s}\right)^2 \bar{\pi}_1 \bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1 \quad (3.180)$$

deci rezultă :

$$\begin{aligned} \frac{1}{H_n'} &= \left(\frac{K_0 + K_0'}{H_2}\right)^2 \frac{1}{bh^2 \Delta r} (\bar{\pi}_3 \frac{r}{s} \bar{\pi}_2) (\bar{p} \frac{r}{s} + 1) \left(\frac{1 - \bar{\pi}_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_1}\right) + \\ &+ \left(\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3\right) (\bar{p} \frac{r}{s} + 1) \left(1 + \frac{1 - \bar{\pi}_1}{\bar{p} + \bar{\pi}_2}\right) + \left(\frac{r}{s}\right)^2 (\bar{p} + 1) (\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1) \left(1 + \frac{1 - \bar{\pi}_3}{\bar{p} \frac{r}{s} + \bar{\pi}_3}\right) = \\ &= \left(\frac{K_0 + K_0'}{H_0}\right)^2 \frac{1}{bh^2 \Delta r} \left[\bar{\pi}_3 - \bar{\pi}_1 + \frac{\bar{\pi}_3 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2 (1 - \bar{\pi}_1) (1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_1)}{\bar{p} + \bar{\pi}_1} + \right. \\ &\left. + \frac{(\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3) (1 - \bar{\pi}_2) (1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2)}{\bar{p} + \bar{\pi}_2} + \left(\frac{r}{s}\right)^2 \frac{(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1) (1 - \bar{\pi}_3) (1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2)}{\bar{p} \frac{r}{s} + \bar{\pi}_3} \right] \quad (3.181) \end{aligned}$$

Pentru $1/H$ rezultă expresia :

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{H_0(1+C_r+C_s)} \left\{ 1+r \left[\frac{(1 - \tilde{\pi}_0^{-r}) + \frac{1}{(\tilde{\pi}_0^{-s} - \tilde{\pi}_0^{-r} \frac{r}{s})}}{(p + \tilde{\pi}_0^{-r} r)} \right] + \right. \\ \left. + s \left[\frac{1(\tilde{\pi}_0^{-s}) - \frac{r}{s}}{(\tilde{\pi}_0^{-s} - \tilde{\pi}_0^{-r} \frac{r}{s})} \right] \right\}. \quad (3.182)$$

În aceste condiții se obțin transformările :

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{H_0(1+C_r+C_s)} \left[\bar{I}(t) + \left(1 - \tilde{\pi}_0^r + \frac{1}{\tilde{\pi}_0^{-s} - \tilde{\pi}_0^{-r} \frac{r}{s}} \right) \frac{(1 - e^{\tilde{\pi}_0^r rt})}{\tilde{\pi}_0^{-r}} + \right. \\ \left. + 1 - \tilde{\pi}_0^{-s} + \frac{r}{\tilde{\pi}_0^{-s} - \tilde{\pi}_0^{-r} \frac{r}{s}} \right) \frac{(1 - e^{\tilde{\pi}_0^{-s} st})}{\tilde{\pi}_0^{-s}} \right] \quad (3.183)$$

$$\frac{1}{H'_n} = \left(\frac{K_0 + K'_0}{H_0} \right)^2 \frac{1}{bh^2 \Delta_r} \left[(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1) \bar{I}(t) + \right. \\ \left. + \frac{(\tilde{\pi}_3 - \frac{r}{s} \tilde{\pi}_2)(1 - \tilde{\pi}_1)(1 - \frac{r}{s} \tilde{\pi}_1)}{\tilde{\pi}_1} (1 - e^{-\tilde{\pi}_1 rt}) + \frac{r(\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_3)(1 - \tilde{\pi}_2)(1 - \frac{r}{s} \tilde{\pi}_2)}{\tilde{\pi}_2} (1 - e^{-\tilde{\pi}_2 rt}) \right. \\ \left. + \left(\frac{r}{s} \right)^2 \frac{(\tilde{\pi}_2 - \tilde{\pi}_1)(1 - \tilde{\pi}_3)(1 - \frac{s}{r} \tilde{\pi}_3)}{\tilde{\pi}_2} (1 - e^{-\tilde{\pi}_3 st}) \right] \quad (3.184)$$

Prin înlocuire în relațiile (2.130), (3.45) și (3.47), care exprimă usura instantanee și teserea în timp, se deduc expresiile caracteris-

tice în cazul similitudinii viscoelastice omogene pentru faza cvasistabilă și anume :

$$s_{\sigma}^i = \bar{I}(t) \left\{ \frac{(1 - 2n_0)}{2(1-n_0)(\mu_0 + 2M_0 + M_0)(1+C_r+C_s)} \left[\bar{I}(t) + \left(1 - \bar{\pi}_0^{-r} + \frac{\bar{\pi}_0^{-s} - \bar{\pi}_0^{-r}}{\bar{\pi}_0^{-s} - \bar{\pi}_0^{-r}} \frac{r}{s}\right) \frac{(1 - e^{-\bar{\pi}_0^{-r} rt})}{\bar{\pi}_0^{-r}} + \left(1 - \bar{\pi}_0^{-s} - \frac{\bar{\pi}_0^{-s} - \bar{\pi}_0^{-r}}{\bar{\pi}_0^{-s} - \bar{\pi}_0^{-r}} \frac{r}{s}\right) \frac{(1 - e^{-\bar{\pi}_0^{-s} st})}{\bar{\pi}_0^{-s}} \right] \right\} \quad (3.185)$$

$$s_{\sigma}^t = \bar{I}(t) \left\{ \frac{2}{bhr\Delta} \left[\frac{(K_0 + K_0)(1 - 2n_0)}{2(1-n_0)(\mu_0 + 2M_0 + M_0)} \right]^2 \left[(\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1) \bar{I}(t) + \frac{(\bar{\pi}_3 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2)(1 - \bar{\pi}_1)(1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_1)}{\bar{\pi}_1} (1 - e^{-\bar{\pi}_1^{-r} rt}) + \frac{(\frac{r}{s} \bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_3)(1 - \bar{\pi}_2)(1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_2)}{\bar{\pi}_2} (1 - e^{-\bar{\pi}_2^{-s} st}) + \frac{(\frac{r}{s})^2 (\bar{\pi}_2 - \bar{\pi}_1)(1 - \bar{\pi}_3)(1 - \frac{r}{s} \bar{\pi}_3)}{\bar{\pi}_3} (1 - e^{-\bar{\pi}_3^{-s} st}) \right] \right\} \quad (3.186)$$

Tășările fazii cvasistabile, din cadrul similitudinii viscoelastice omogene, (3.185) , (3.186) reprezintă soluții analitice mai exacte, prin luarea în considerare a doi timpi de relaxare r și s , comparativ cu acelea prezentate pentru un singur timp de relaxare r .

3.8. Concluzii privind consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

Studiile și cercetările teoretice privind consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă se bazează pe analogia structurală între mediile mecanice continue și masivele din pământ.

Plecând de la teoria consolidării mediilor viscoelastice, elaborată de Biot.M.A. /10/, /13/, se trece la generalizarea acesteia, în cadrul unei noi teorii de consolidare a mediilor prin mobilitate viscoelastică, propusă de Mișicu M. /55/.

În acest cadru autorul a considerat că modelul fizic bifazic din fig. 2.1. rămîne reprezentativ și pentru consolidarea masivelor din pământ cu fază complexă mobilă în cazul viscoelastic.

În condițiile arătate se recurge la un nou model de calcul pentru consolidarea mediilor viscoelastice cu mobilitate internă și se introduce o nouă metodologie de calcul.

Pentru ilustrare se apelează la descompunerea tensorilor și deformațiilor în componentele lor sferice și deviatorice.

În continuare se transcriu ecuațiile constitutive sub formă funcțională (3.4), (3.5) și se stabilesc variantele caracteristice (3.7), (3.8), (3.9) și (3.10).

Se presupune că proprietățile mediilor cu mobilitate internă corespund unei comportări elastice pentru deformații rapide instantanee și unei relaxări viscoase pentru deformații lente în timp.

Pe aceste considerente, se înlocuiesc modulii elastici $\lambda, \mu, L, M, \lambda, \mu$ din relațiile (2.17) cu alți termeni asociați proceselor rapide elastice și lente viscoase (3.16).

După aceste studii inspirate din literatura tehnică de specialitate /55/ se întreprind ample cercetări teoretice pentru determinarea unor soluții ale tasărilor din consolidarea secundară în semispațiul viscoelastic.

În vederea simplificării metodologiei de calcul se admite un singur timp de relaxare (3.35) și cel mult doi timpi de relaxare (3.146). Se înțelege că se pot admite în general un număr maxim de timpi de relaxare, dar acest fapt deși mărește exactitatea soluției complică mult metodologia de calcul.

Pentru determinarea soluției de consolidare secundară a mediilor cu mobilitate internă în semispațiul viscoelastic, cu un singur timp de relaxare, se recurge la extinderea soluției dată de Biot M.A., transpusă matematic de Freundenthal A.M. și Spillers W.R. /27/. În acest caz se extinde soluția inițială, în care s-au introdus ca parametri necunoscuți numai constantele lui Lamé λ, μ și un singur modul de consolidare de tipul L.

În acest mod , se stabilesc expresiile analitice ale tasărilor viscoelastice instantanee (3.86) și în timp (3.87) din ambele faze, pentru studiul similitudinii omogene.

Se procedează similar pentru formularea expresiilor analitice ale tasărilor viscoelastice în timp din faza cvasistabilă (3.126) și cu valoare stabilizată (3.127), pentru studiul similitudinii slab omogene.

Se trece la generalizarea soluției pentru consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă în semispațiul viscoelastic. Rezultă expresiile analitice generalizate ale tasărilor din consolidarea secundară în faza cvasistabilă (3.142), (3.143) și cu valoare stabilizată (3.144), (3.145).

Se abordează în continuare și soluția de consolidare secundară a mediilor cu mobilitate internă în semispațiul viscoelastic cu doi timpi de relaxare, care corespunde cu introducerea unor parametri necunoscuți prin modulii de consolidare de tipul M, λ și M_0 .

Prin acest procedeu se deduc expresiile analitice ale tasărilor din consolidarea secundară (3.185) și (3.186) în faza cvasistabilă, pentru cazul similitudinii omogene.

Studiul aspectelor teoretice privind consolidarea primară și secundară a mediilor cu mobilitate internă, impune necesitatea unor verificări experimentale, atât pentru determinarea parametrilor necunoscuți, cât și pentru verificarea practică a relațiilor de calcul stabilite.

C_A_P_I_T_O_L_U_L_IV

CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA CONSOLIDARII MASIVELOR DIN PAMINT CU MOBILITATE INTERNA SI FAZA COMPLEXA MOBILA

În cadrul teoriei de consolidare a masivelor din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, propusă de autor, se introduc expresiile analitice ale tasărilor în raport cu timpul.

Prin dezvoltarea modelului de calcul pentru consolidarea primară rezultă tasările fazei cvasistabile (2.126), (2.127) și ale fazei complexe mobile (2.128), (2.129).

Prin analogie, din dezvoltarea modelului de calcul pentru consolidarea secundară și terțiară rezultă tasările fazei cvasistabile și ale particulelor solide din faza complexă mobilă, considerând un singur timp de relaxare (3.142), (3.143) și respectiv doi timpi de relaxare (3.185), (3.186).

În relațiile stabilite apar explicit λ și μ constantele lui Lamé, L și M modulii elastici longitudinal și respectiv transversal pentru deformația fazei cvasistabile, \mathcal{L} și \mathcal{M} modulii elastici longitudinal și respectiv transversal pentru deformația fazei complexe mobile.

Prin intermediul modulilor elastici menționați se exprimă și modulii viscoelastici care intră în componența unor termeni asociați proceselor rapide elastice și lente viscoase (3.16), particularizați pentru un singur timp de relaxare (3.35) și pentru doi timpi de relaxare (3.146).

Prezența modulilor elastici necunoscuți $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}$ și \mathcal{M} în formulele tasărilor elastice și viscoelastice ale masivelor din pământ impune elaborarea unor cercetări experimentale adecvate, prin care să se determine valorile acestora, în funcție de parametrii clasici de consolidare a_v, m_v, C_v și k_c , ca și verificarea pe teren a valorilor teoretice rezultate din calcul.

În acest scop se trece la efectuarea unui program experimental de laborator și de teren, care cuprinde atât încercări în consolidometru și aparatul triaxial, cât și experimentări "in situ" cu placa de probă.

4.1. Cercetări experimentale de laborator

Cercetările experimentale de laborator se bazează pe o serie de

ipoteze care decurg din teoria de consolidare a pământurilor elaborată de Terzaghi K.

Prin aceste ipoteze se consideră că :

- pământurile sînt medii omogene și izotrope ;
- porii scheletului solid sînt plini cu apă, adică sînt complet saturați ;
- particulele solide care alcătuiesc scheletul și apa din pori sînt practic incompresibile ;
- încărcările aplicate acționează numai pe verticală ;
- drenarea apei din pori se produce numai pe verticală ;
- deformațiile măsurate au valori relativ mici în raport cu înălțimea inițială a probelor.

Sub acțiunea încărcărilor, procesul fizic de consolidare a masivelor din pământ comportă două stadii de consolidare principale și un stadiu de consolidare adițională, adică terțiară.

Inițial, încărcările sînt preluate de fluidul din pori, fapt care provoacă apariția unor suprapresiuni locale.

Ca urmare, se stabilește un gradient de presiune prin care fluidul este dirijat către zonele cu presiuni mai reduse.

Pe măsura efectuării acestui drenaj, încărcările se transferă treptat scheletului solid, fapt care produce o variație de volum aproximativ egală cu volumul fluidului drenat.

Concomitent cu transferul de sarcină către scheletul solid se înglobează în acesta și particulele solide rezultate din faza complexă mobilă, în urma disipării apei din pori.

4.1.1. Încercări experimentale în consolidometru

În scopul cercetărilor experimentale a procesului de consolidare în timp la pământuri s-a asimilat la INCERC București un anumit tip de consolidometru.

Consolidometrul se compune dintr-o casetă edometrică mare, la care se racordează instalația de măsurare a presiunii apei din pori de la aparatul triaxial.

În condițiile menționate se realizează un dispozitiv de măsurare a deformațiilor de consolidare în timp, sub trepte de încărcare constante pînă la stabilizare.

Încercările în consolidometru se desfășoară în timp, sub diferite trepte de încărcare progresive, pentru probe de pământ cu deformație laterală împiedicată și cu drenare pe ambele fețe, numai

pe direcția verticală.

4.1.1.1. Aparatura de laborator

Aparatura de laborator se compune în principal dintr-o casetă edometrică $\varnothing 100 \times 40$, o instalație de măsurare a presiunii apei din pori și un dispozitiv de încărcare în trepte.

Schema funcțională a consolidometrului pentru consolidarea pământurilor este reprezentată în fig.4.1.

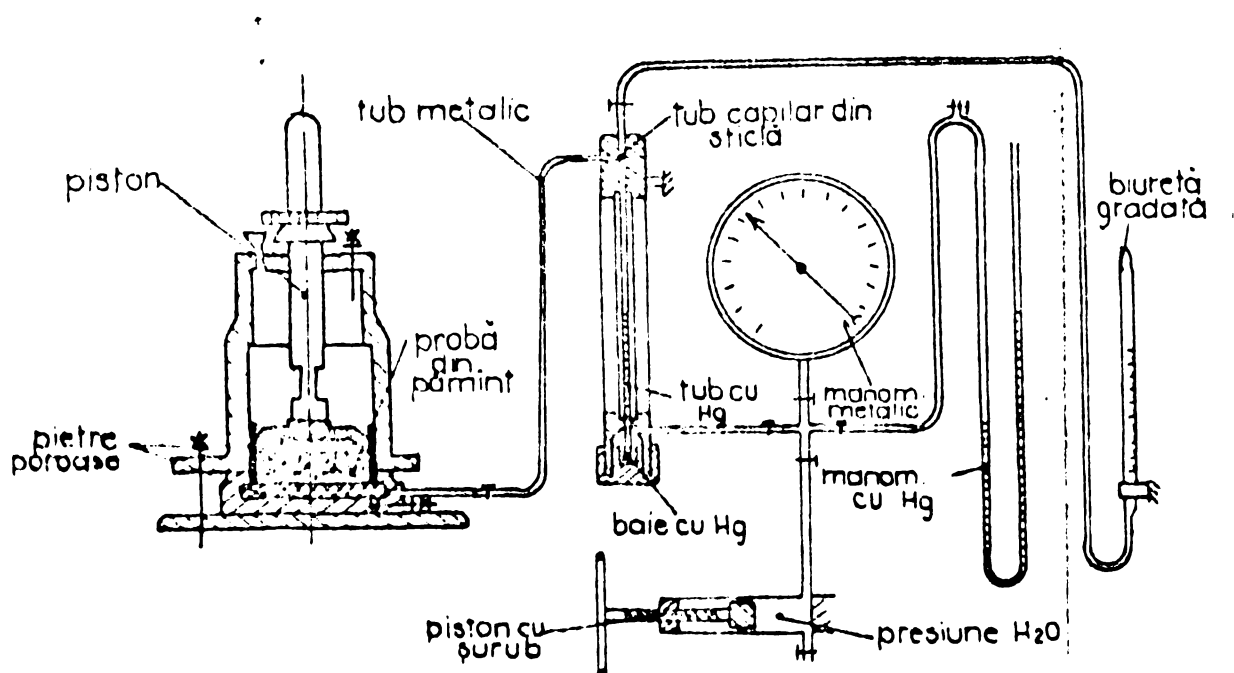


Fig.4.1. Consolidometrul pentru consolidarea pământurilor:
a - caseta edometrică mare ; b - instalație de măsurare a presiunii apei din pori.

Caseta edometrică $\varnothing 100 \times 40$ constă dintr-o placă de bază prevăzută cu o placă poroasă filtrantă și un locaș în care se introduce ștanța cilindrică cu proba de încercat. Aceasta se închide etanș cu ajutorul unui cilindru clopot de ghidare în care culisează un piston de încărcare, prevăzut și el cu o placă poroasă filtrantă.

Instalația de măsurare a presiunii apei din pori se compune dintr-o succesiune de tuburi dintre care unele se umplu cu mercur și altele cu apă, cu ajutorul cărora se măsoară presiunea apei din pori.

Dispozitivul de încărcare conține o pârghie de multiplicare a încărcării și un jug de încărcare a probei. Sarcina se realizează prin intermediul unui set de discuri metalice care asigură aplicarea progresivă a treptelor de încărcare.

Pe toată durata experimentării se asigură un regim de consoli-

dare nedrenat (CU).

4.1.1.2. Metoda de lucru

Inercarea de consolidare constă din introducerea în caseta edometrică, cu deformare laterală împiedicată, a unei probe de pământ recoltată cu ajutorul unei stanțe.

La partea inferioară și superioară a probei se află câte o piatră poroasă, cu care se asigură drenarea pe ambele fețe.

După instalarea probei de pământ în caseta edometrică se procedează la etanșarea, inundarea și dezaerarea acesteia.

Cu ajutorul dispozitivului de încărcare se trece la aplicarea sarcinii în 5 până la 7 trepte, de la zero și până la 8 daN/cm². Succesiunea între două trepte de încărcare este condiționată de stabilizarea treptei precedente.

Durata de stabilizare a unei trepte de încărcare variază între 1 zi și 7 zile, iar durata totală a unei determinări variază între 11 zile și 25 zile.

Determinările experimentale cu consolidometrul se efectuează pe probe de pământ tulburate cu granulație fină și sensibil compresibile din argile prăfoase sau din prafuri argiloase.

Pentru a se asigura o gamă de variație cât mai largă s-au realizat determinări experimentale pe probe tulburate cvasiomogene la INCERC București și pe probe netulburate cvasiomogene și cu incluțiuni, la ISPIF București.

Compoziția granulometrică a probelor de pământ indică pentru probele de la INCERC, un praf argilos nisipos cvasiomogen denumit și lut de București și pentru probele de la ISPIF argile prăfoase nisipoase, sau prafuri argiloase de la Turnu Măgurele și Dragomirva. Incluziunile din probele de pământ constau din cantități reduse de humus 3% ÷ 9,5% și cărbune 1% ÷ 5,5%.

Din procesul de consolidare de lungă durată rezultă valorile inițiale, intermediare, maxime și stabilizate ale tasărilor specifice și ale presiunii apei din pori. Acestea se urmăresc la anumite momente de timp, pe parcursul duratei de evoluție a fiecărei trepte de consolidare.

4.1.1.3. Interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale în consolidometru

Rezultatele încercărilor experimentale în consolidometru se prezintă grafic la scară semilogaritmică, prin intermediul diagrame-

lor de consolidare, pe trepte de încărcare. Acestea înscriu în abscisă, timpul în minute la scară logaritmică și în ordonată, tasările relative procentuale.

Pentru lutul de București, pe probe de pământ tulburate cvasiomogene, rezultă diagramele de consolidare reprezentate în fig.4.2., pentru cinci trepte de încărcare (I ÷ V), de la 1 daN/cm² până la 5 daN/cm².

Dacă se urmăresc aceste diagrame de consolidare se remarcă inițial tasări relative instantanee de (0 ÷ 0,017) la prima treaptă de încărcare și (0 ÷ 0,166) la a cincea treaptă de încărcare; simultan

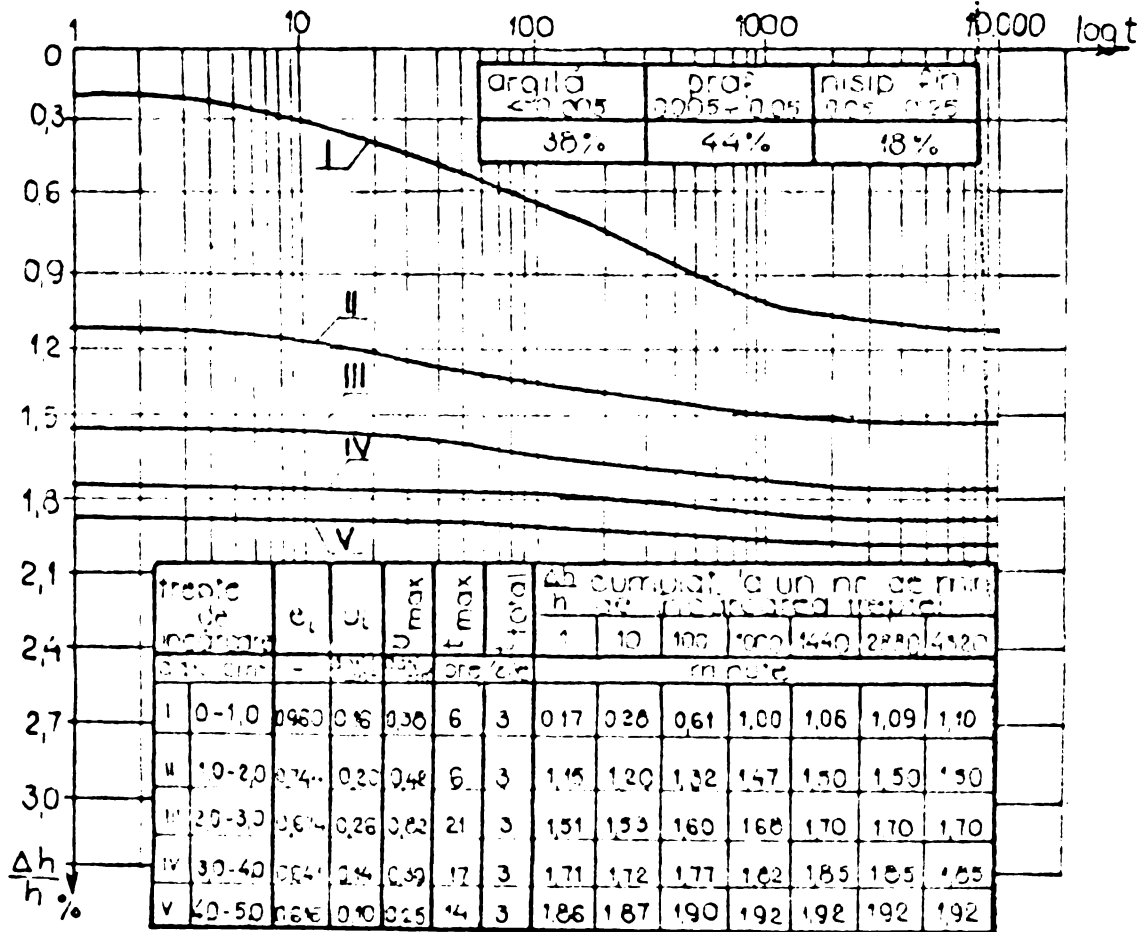


Fig.4.2. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ tulburate cvasiomogene din lut de București.

se produce și o creștere instantanee a presiunii apei din pori de la 0,16 daN/cm² respectiv de 0,10 daN/cm².

Presiunea apei din pori este sensibil mai mică decât treapta de încărcare și în scurt timp atinge un maximum pe treaptă de 0,38 daN/cm² respectiv de 0,25 daN/cm², după care tinde să se disipeze.

Analizând rezultatele experimentale de laborator cu consolidometrul pe probele de pământ tulburate cvasiomogene din lut de București-

ti se constată că, după apariția tasării relative instantanee de $(0 \div 0,17)\%$ și respectiv de $(0 \div 1,86)\%$, se dezvoltă un proces filtrațional de consolidare. Tasarea relativă din acest stadiu de consolidare primară este comparativ mai mare decât aceea furnizată de teoria filtrațională clasică și în ciclul evolutiv de consolidare are o perioadă de stabilizare mai scurtă.

Dacă se urmăresc diagramele de consolidare din fig.4.2. se remarcă, pentru toate treptele de încărcare, un interval de timp aproximativ identic de evoluție a consolidării primare, evaluat la cca. 16 ore și 40 minute de la aplicarea treptei de încărcare.

În acest timp tasările relative variază cu $(0,17 \div 1,00)\%$ la prima treaptă de încărcare și cu $(1,86 \div 1,92)\%$ la a cincea treaptă de încărcare.

După terminarea stadiului de consolidare primară, când presiunea apei din pori se consideră complet disipată, se dezvoltă procesul de consolidare secundară, caracterizat prin curgerea lentă a scheletului solid, cu tasări relative de $(1,10 \div 1,92)\%$.

Pe diagramele din fig.4.2. stadiul de consolidare secundară se marchează printr-o dreaptă orizontală, paralelă cu axa $\log t$, denumită palier de curgere.

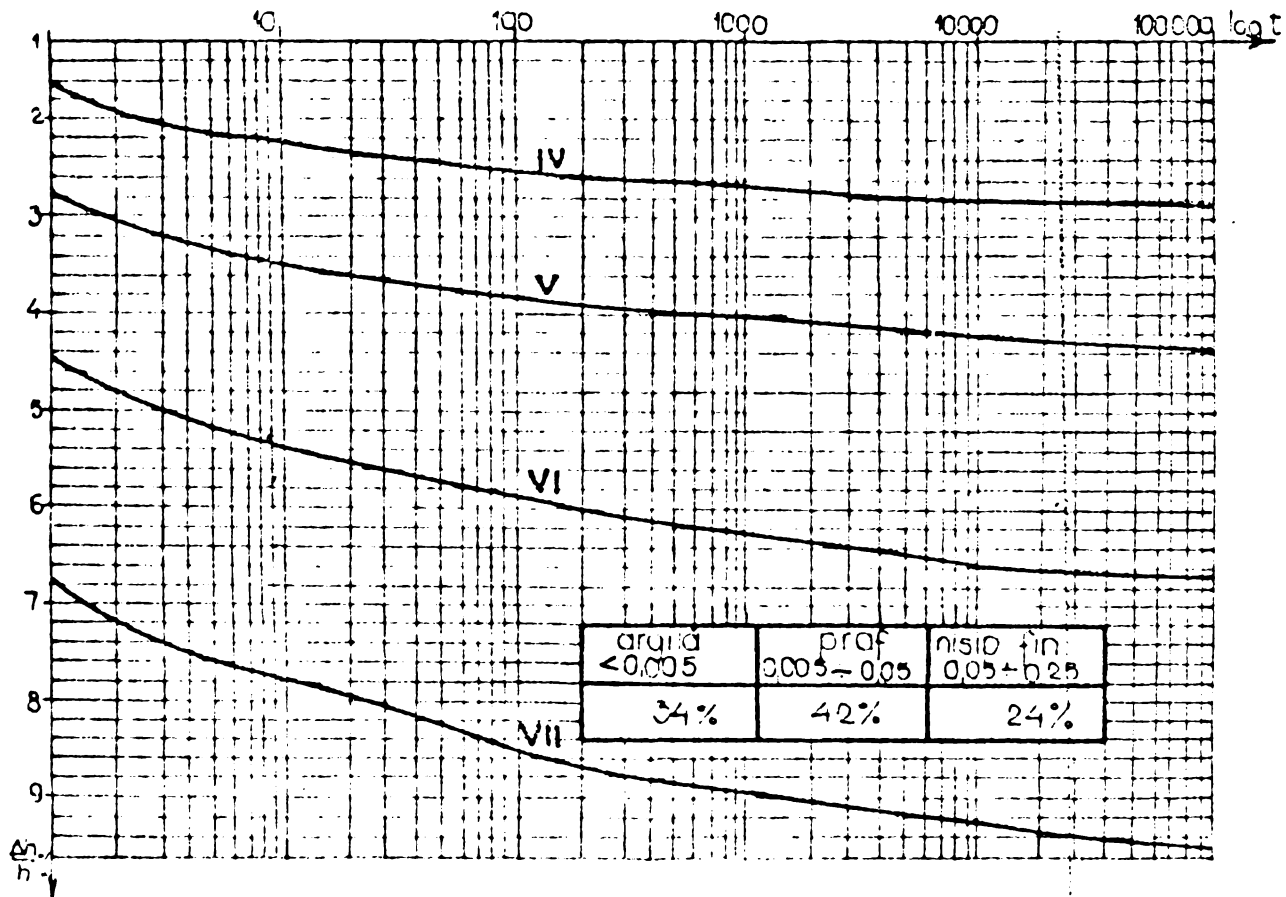
Raportul între ritmurile de evoluție ale celor două stadii de consolidare primară și secundară variază în timp și cu treapta de încărcare și se condiționează reciproc.

Pentru prașurile argiloase nisipoase, pe probe de pământ netulburate cvasiomogene, rezultă diagramele de consolidare reprezentate de la fig.4.3. până la fig.4.5.

Dacă se urmăresc aceste diagrame de consolidare se constată tasări relative instantanee de $(1,28 \div 8,05)\%$.

Urmează un stadiu de consolidare primară care durează de la încărcarea treptei și până la aproximativ 24 ore de consolidare.

Tasările relative devin semnificative de la a patra treaptă de încărcare, adică de la $1,0 \text{ daN/cm}^2$, cu valori inițiale de $(2,88 \div 5,42)\%$ - până la valori finale de $(9,40 \div 10,77)\%$.

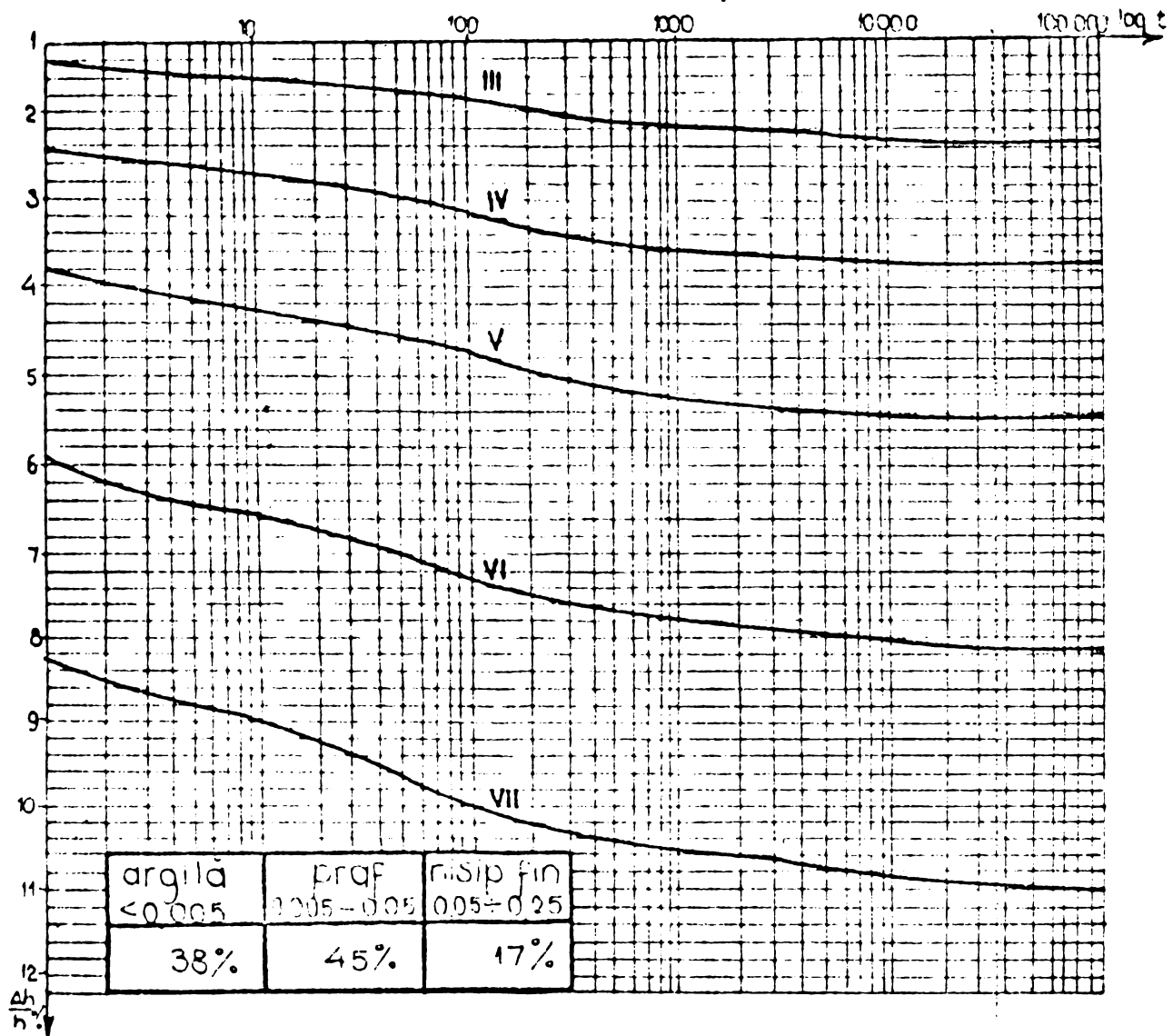


| tr. de incarc. | e_1 | u_1 | U min. | suma puncte | nr. puncte | s_h - cumulat la un nr. de minute de la incarcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|-------|----------|----------------|---------------|--|------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 | 7200 | | |
| I | 0-0,1 | 0,69 | 0,05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0070 | - | - | - | - | |
| II | 0,1-0,25 | - | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0670 | - | - | |
| III | 0,25-0,5 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1430 | - | - | - | - | |
| IV | 0,5-1,0 | - | - | - | 1 | 1430 | - | - | - | 2000 | 2050 | 2120 | 2190 | 2250 | 2320 | 2390 | 2460 | 2530 | 2600 | - | - | - | - |
| V | 1,0-2,0 | - | - | - | 2 | 2680 | - | - | - | 3410 | 3460 | 3530 | 3600 | 3670 | 3740 | 3810 | 3880 | 3950 | 4020 | 4090 | 4160 | 4230 | 4300 |
| VI | 2,0-4,0 | - | - | 2,75 | 2,15 | 3 | 4400 | - | - | 5320 | 5430 | 5540 | 5650 | 5760 | 5870 | 5980 | 6090 | 6200 | 6310 | 6420 | 6530 | 6640 | 6750 |
| VII | 4,0-8,0 | 0,53 | - | - | 3 | 6740 | - | - | - | 7720 | 7820 | 7920 | 8020 | 8120 | 8220 | 8320 | 8420 | 8520 | 8620 | 8720 | 8820 | 8920 | 9020 |

Fig.4.3. Diagrame de consolidare in consolidometru pe probe de pământ netulburate evasiomogene din praf argilos nisipos.

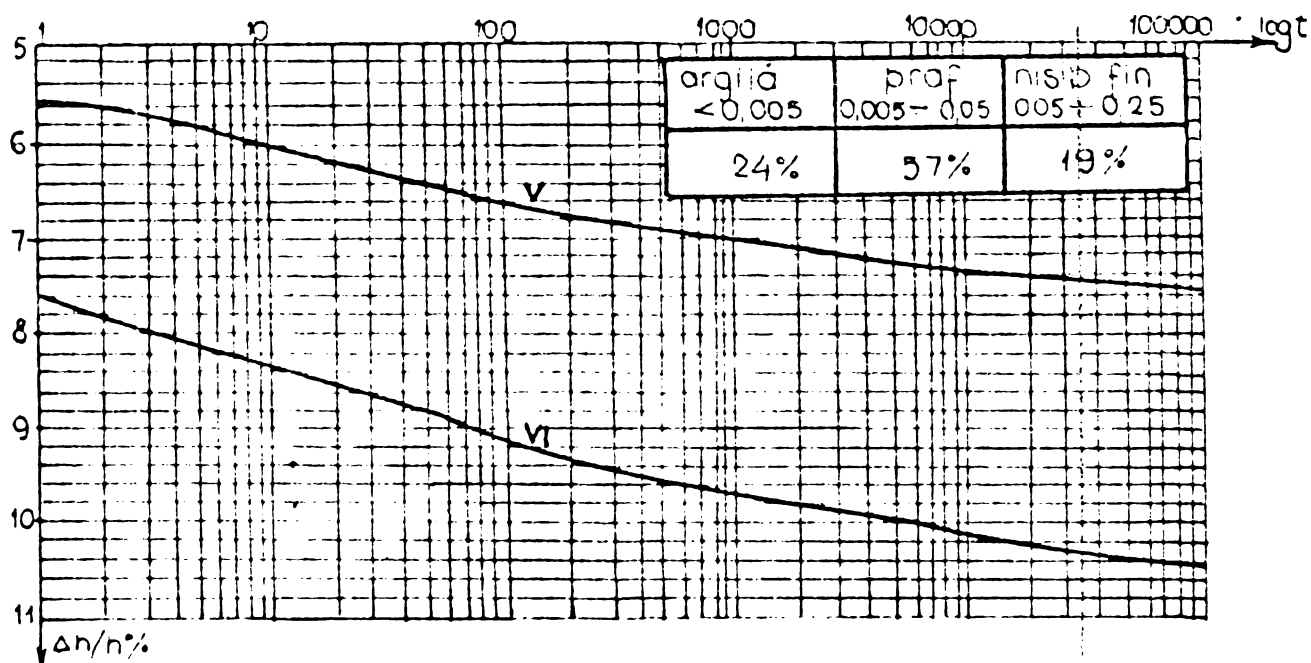
După aproximativ 24 ore se intră în palierul de curgere specific stadiului de consolidare secundară, cu valori ale tasărilor relative de (3,50 ÷ 10,05) %.

Pentru argilele prăfoase nisipoase, pe probe de pământ netulburate evasiomogene rezultă diagramele de consolidare reprezentate de la fig.4.3. până la fig.4.11.



| Încăleț de încăleț | e_1 | U_c | U_{max} | U_{min} | F_{or} | $\frac{\Delta h}{h}$ cumulat la un număr de minute de la încălețarea trepilor | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-----------|-----------|----------|---|---|---|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 440 | 2880 | 4320 | 5760 |
| 204.0 cm ³ | - | 0.73 | 0.75 | - | - | minute | | | | | | | | | | | | | | |
| I 0-0.1 | 0.73 | 0.75 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.41 | - | - | - | - | - | - | - |
| II 0.1-0.25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.280 | - | - | - | - |
| III 0.25-0.5 | - | - | - | - | 3 | 1280 | - | - | - | 1510 | 1530 | 1590 | 2140 | 2180 | 2220 | 2290 | 2320 | - | 2360 | - |
| IV 0.5-1.0 | - | - | 502 | 105 | 3 | 2360 | - | - | - | 2680 | 2720 | 2820 | 3540 | 3580 | 3640 | 3670 | 3730 | 3780 | 3800 | - |
| V 1.0-2.0 | - | - | - | - | 4 | 3800 | - | - | - | 4230 | 4280 | 4400 | 5320 | 5400 | 5450 | 5510 | 5540 | 5630 | - | 5660 |
| VI 2.0-4.0 | - | - | - | - | 3 | 5660 | - | - | - | 6250 | 6340 | 6500 | 7610 | 7700 | 7790 | 7890 | 7950 | 8000 | 8050 | - |
| VII 4.0-30 | 0.53 | - | - | - | 4 | 8050 | - | - | - | 8750 | 8820 | 9120 | 10400 | 10490 | 10570 | 10630 | 10710 | 10800 | - | 10850 |

Fig. 4.4. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiogene din praf argilos nisipos.



| treapta de încărcare | e_i | t_{total} | $\Delta h/n$ cumulat la un număr de minute de la încărcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 | 7680 | 10080 | |
| 0-0,1 | 0,91 | — | — | — | — | 0,165 | 0,219 | 0,251 | 0,274 | 0,274 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| II 0,1-0,25 | — | — | 1,260 | 1,478 | 1,562 | 1,690 | 1,170 | — | 1,840 | 1,881 | 1,920 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| III 0,25-0,5 | — | — | 1,720 | 3,110 | — | 3,410 | 3,610 | — | 3,720 | 3,810 | — | — | — | 3,970 | 4,010 | — | — | — | — | |
| IV 0,5-1,0 | — | 4 | 4,210 | 4,700 | 4,810 | — | — | 5,100 | 5,200 | 5,220 | 5,250 | 5,332 | 5,337 | 5,420 | — | 5,500 | 5,520 | — | — | |
| V 1,0-2,0 | — | 7 | 5,520 | — | — | — | — | 6,040 | 6,100 | 6,220 | 7,210 | 7,270 | 7,330 | 7,400 | 7,440 | 7,543 | 7,583 | — | 7,661 | 7,693 |
| VI 2,0-4,0 | 0,72 | 3 | 7,693 | — | — | — | — | 8,321 | 8,379 | 8,635 | 10,030 | 10,900 | 10,189 | 10,259 | 10,385 | 10,479 | 10,519 | — | — | — |

Fig.4.5. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din praf argilos nisipos.

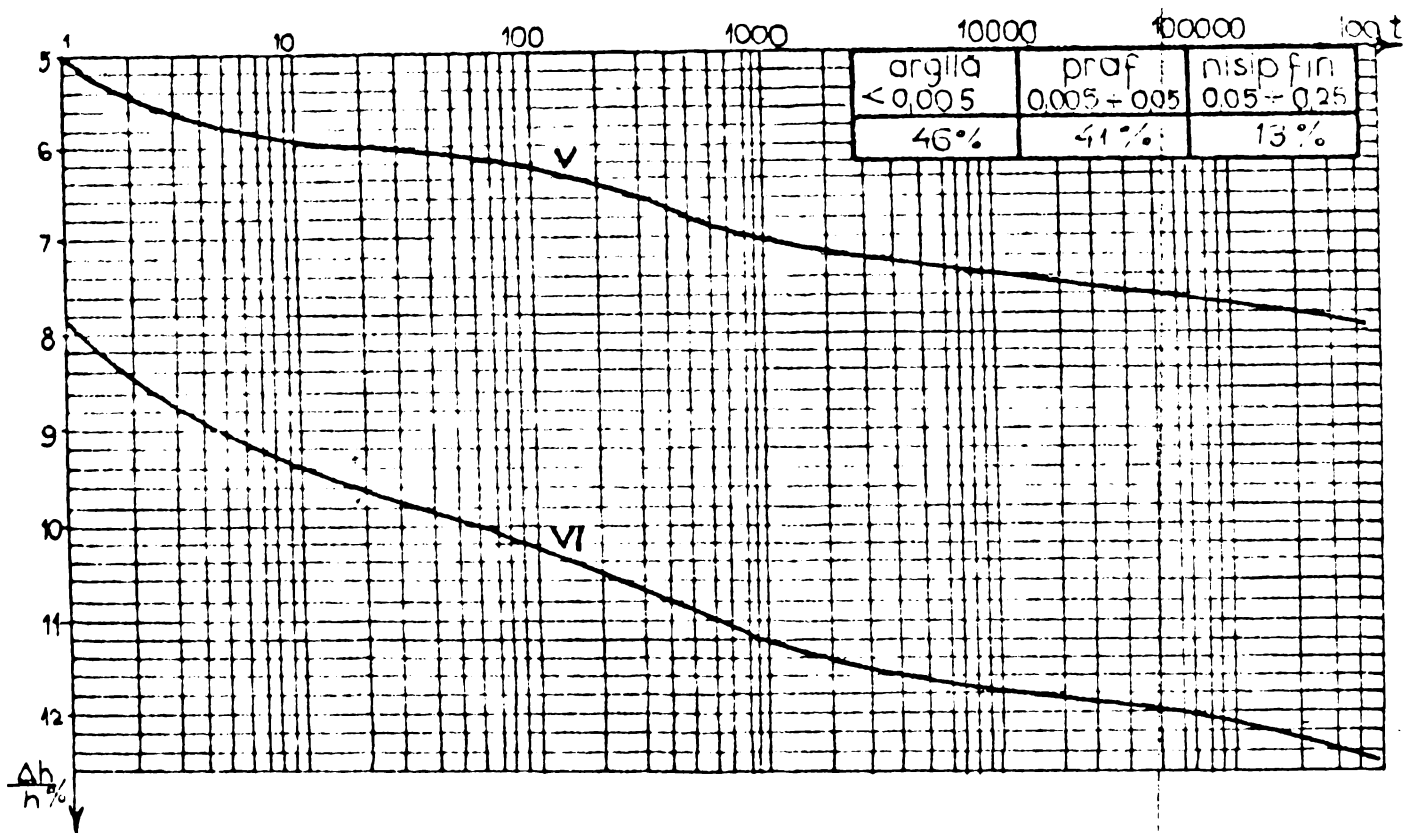
Dacă se urmăresc aceste diagrame de consolidare se constată tasări relative instantanee de (0,440 ÷ 6,470) %.

Urmează un stadiu de consolidare primară care durează de la încărcarea treptei și până la aproximativ 24 ore de consolidare.

Tasările relative devin semnificative de la a IV-a treaptă de încărcare, adică de la 1 daN/cm², cu valori inițiale de (1,38 ÷ 2,95)% până la valori finale de (4,20 ÷ 9,99)%.

După aproximativ 24 ore se intră în palierul de curgere specific stadiului de consolidare secundară, cu valori ale tasărilor relative de (4,40 ÷ 10,30)%.

Comparând diagramele de consolidare pe probe de pământ netul-

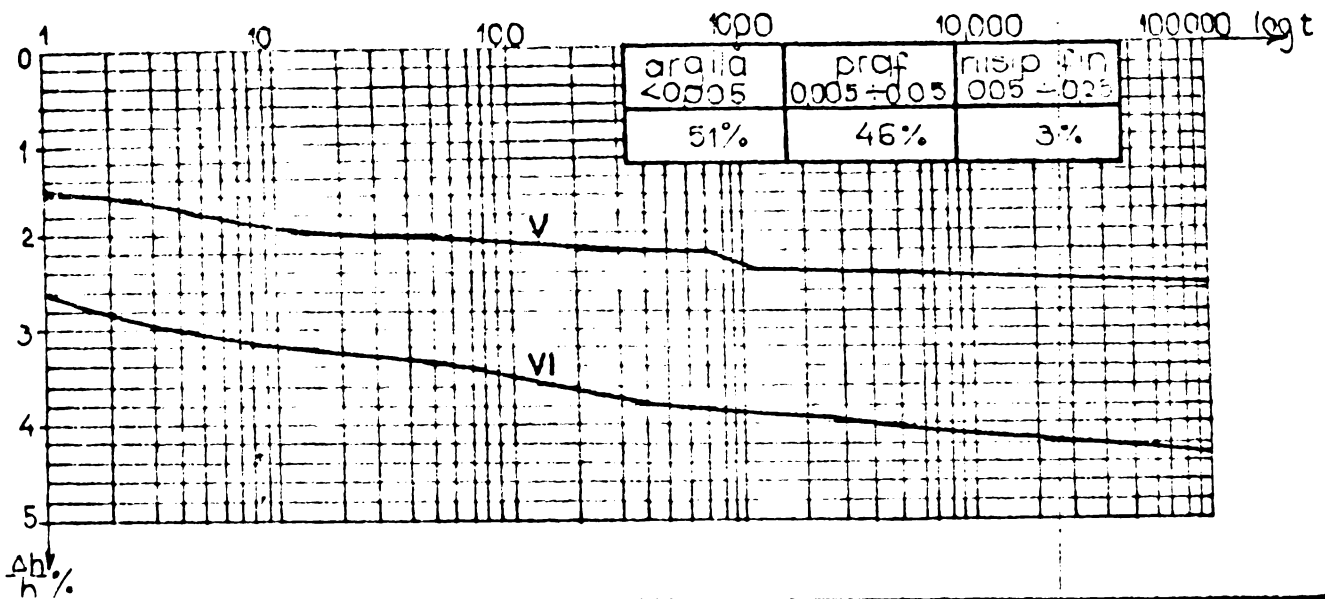


| treapta de încărcare | e_i | t_{tot} zile | A_h cumulat la un număr de minute de la încărcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|-------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 | 8670 | 10080 |
| | | | minute | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0-0,1 | 0,22 | - | - | - | 0,023 | 0,023 | - | 0,034 | 0,047 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| II | 0,1-0,25 | - | 0,314 | 0,439 | 0,478 | 0,502 | 0,533 | - | 0,565 | 0,596 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| III | 0,25-0,5 | - | 0,596 | 1,216 | 1,287 | 1,365 | 1,405 | - | 1,452 | 1,491 | 1,522 | - | - | 1,632 | 1,664 | - | - | - | |
| IV | 0,5-1,0 | 4 | 1,664 | 2,441 | 2,574 | - | - | 2,629 | 2,731 | 2,755 | 2,794 | 2,841 | 2,888 | 2,951 | 3,014 | 3,030 | - | - | |
| V | 1,0-2,0 | 7 | 3,030 | - | - | - | 3,060 | 3,925 | 4,034 | 5,141 | 5,267 | 5,369 | 5,455 | 5,597 | 5,675 | 5,730 | - | 5,856 | 5,887 |
| VI | 2,0-4,0 | 0,72 | 5,887 | - | - | - | 7,379 | 7,457 | 7,653 | 9,467 | 9,616 | 9,734 | 9,836 | 9,993 | 10,057 | 10,142 | 10,189 | 10,267 | 10,307 |

Fig.4.6. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din argilă prăfoasă nisipoasă.

burate cvasiomogene din fig.4.3. pînă la 4.11, cu diagramele de consolidare pe probe de pământ tulburate cvasiomogene din fig.4.2. se observă o diferență de alătură a curbei de consolidare, mai ales la prima treaptă de încărcare, cu valori apreciabile mai mari pentru tasarea relativă în timp.

Procesul de consolidare primară și secundară pe probele de pământ netulburate se intensifică în raport cu determinările pe probe de pământ tulburate și marchează o întârziere în apariția palie-



| treapta de incarc | e_c | t_{tot} | $\frac{\Delta h}{h}$ cumulat la un numar de minute de la incarcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 | 8640 | 10080 | |
| cm/cm ² | - | zile | minute | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0-0,1 | 0,75 | - | - | - | 0,008 | 0,014 | 0,021 | 0,027 | 0,034 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| II | 0,1-0,25 | - | - | 0,198 | 0,211 | 0,219 | 0,227 | 0,235 | - | 0,251 | 0,251 | - | - | - | - | - | - | - | | |
| III | 0,25-0,5 | - | 1 | 0,251 | 0,518 | 0,557 | 0,604 | 0,628 | - | 0,659 | 0,690 | 0,706 | - | - | 0,745 | - | - | - | | |
| IV | 0,5-1,0 | - | 1 | 0,745 | 1,095 | 1,177 | 1,309 | 1,256 | - | 1,316 | 1,341 | 1,373 | 1,405 | 1,419 | 1,467 | - | - | - | | |
| V | 1,0-2,0 | - | 4 | 1,467 | - | - | - | 1,982 | 1,993 | 2,041 | 2,402 | 2,440 | 2,470 | 2,486 | 2,535 | 2,562 | - | 2,600 | | |
| VI | 2,0-4,0 | 0,67 | 7 | 2,600 | - | - | - | 3,171 | 3,216 | 3,297 | 3,917 | 3,995 | 4,066 | 4,121 | 4,199 | 4,254 | 4,293 | - | 4,372 | 4,396 |

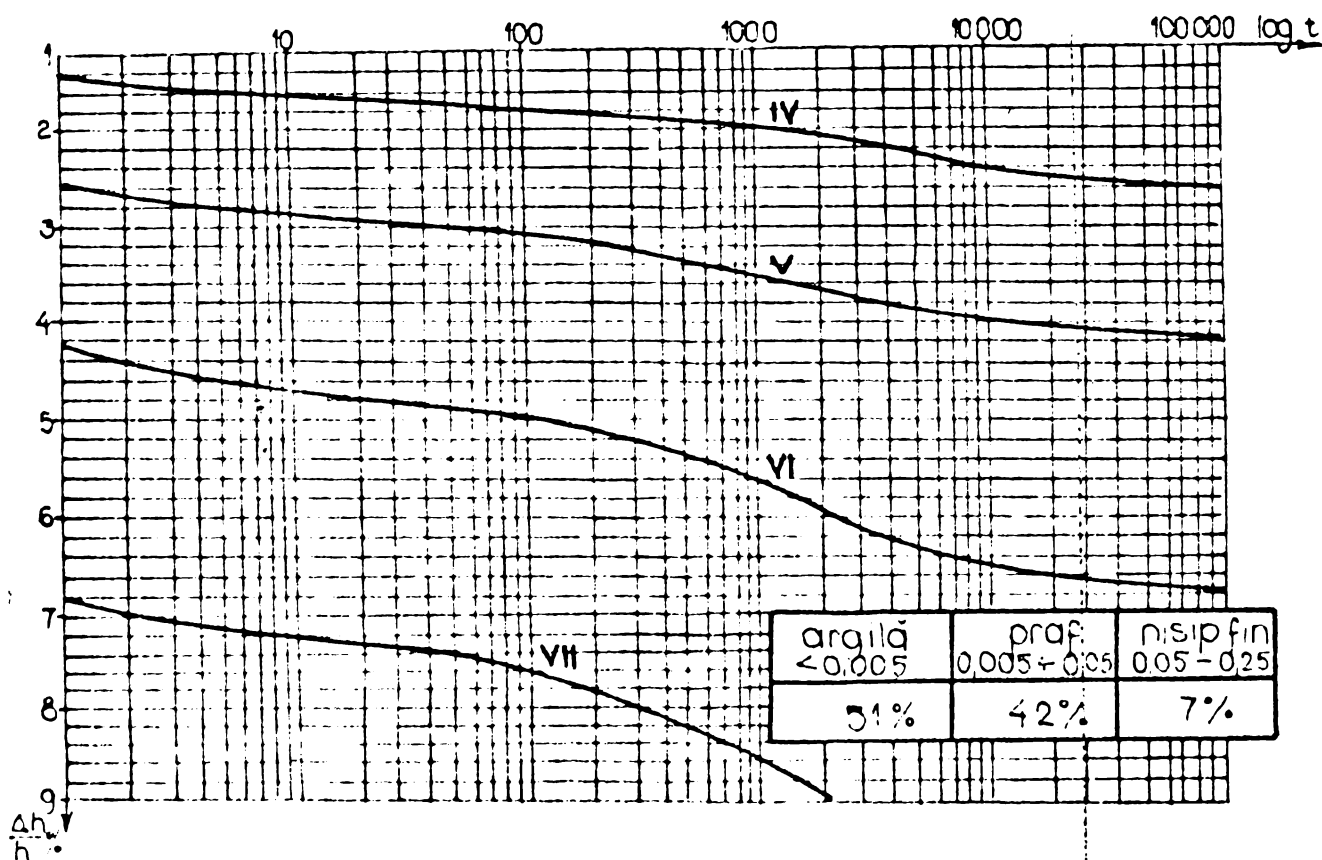
Fig.4.7. Diagrame de consolidare in consolidometru pe probe de pamint netulburate cvasiomogene din argila prafoasa nisipoasa.

rului de curgere, cu un decalaj de cca 8 ore si 20 minute.

In general, determinarile de consolidare in consolidometru pe probe de pamint netulburate cvasiomogene comparativ cu acelea pe probe de pamint tulburate cvasiomogene se considera de un interes practic mai mare, desi in majoritatea cazurilor valorile rezultate sint mult prea acoperitoare.

Pentru prafurile argiloase nisipoase si argila prafoasa nisipoasa pe probe de pamint netulburate cu incluziuni rezultă diagramele de consolidare reprezentate de la fig.4.12 pînă la fig.4.14.

Dacă se urmăresc aceste diagrame de consolidare se constată tășiri relative instantanee de (0,314 ÷ 6,170)%, deci comparabile ca ordin de mărime cu acelea pe probe fără incluziuni.

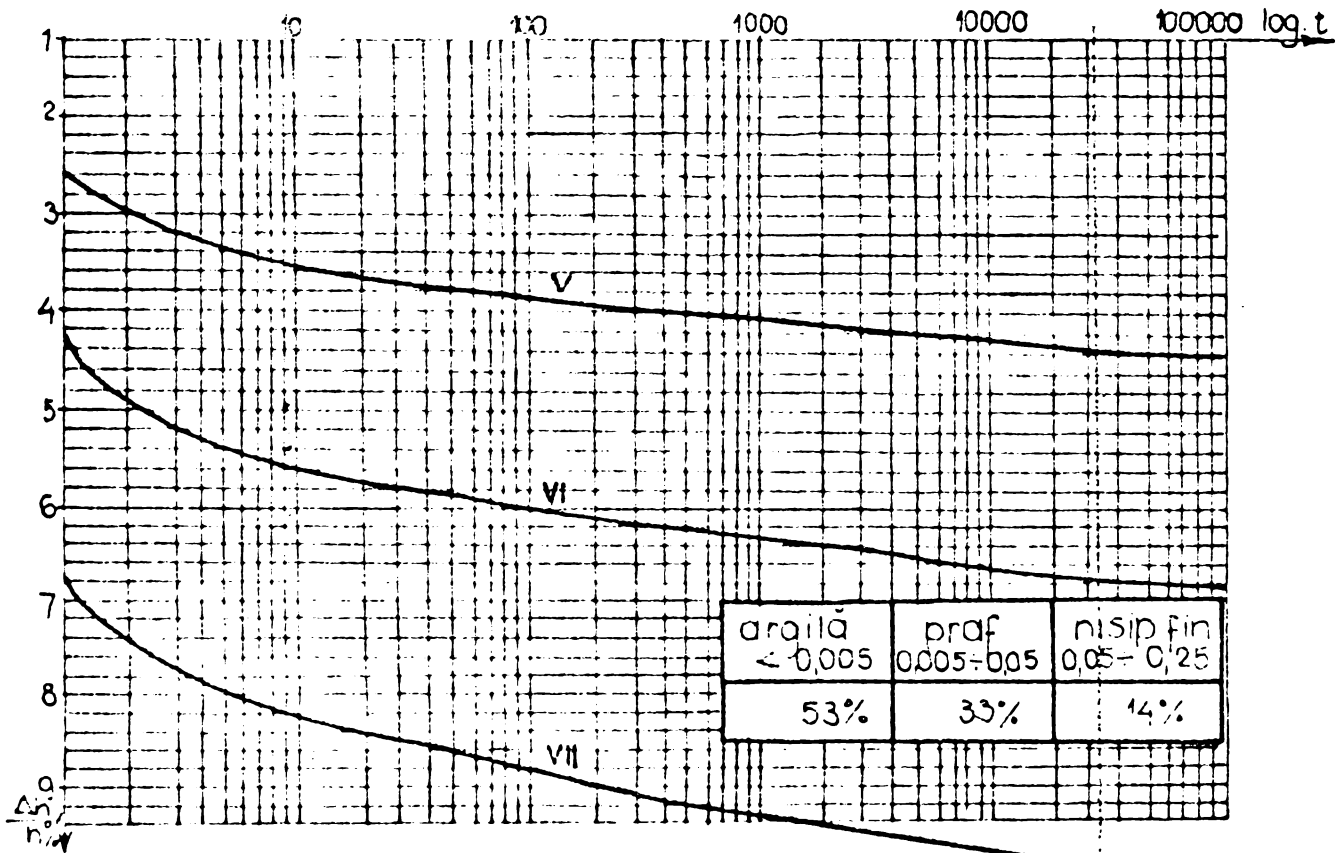


| Treapta de încărcare | e _l | U _{max} | D _{max} | e _{max} | e _{min} | Δh/h cumulat la un număr de minute de la încărcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 |
| I | 0-0,1 | 0,96 | 1,47 | - | - | - | - | - | - | - | 0,23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| II | 0,1-0,25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,18 | - | - | - | - | - | - |
| III | 0,25-0,5 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,33 | - | - | - | - | - |
| IV | 0,5-1,0 | - | - | - | 2 | 0,330 | - | - | - | 0,590 | 0,620 | 0,660 | 1,120 | 1,290 | 1,400 | 1,510 | 1,530 | - | - | - |
| V | 1,0-2,0 | - | - | - | 3 | 1,530 | - | - | - | 1,840 | 1,880 | 1,940 | 2,760 | 2,920 | 3,020 | 3,080 | 3,140 | - | 3,200 | - |
| VI | 2,0-4,0 | - | - | 2,67 | 2,05 | 3,200 | - | - | - | 3,690 | 3,720 | 3,780 | 5,080 | 5,320 | 5,470 | 5,570 | 5,670 | 5,720 | 5,750 | - |
| VII | 4,0-8,0 | 0,49 | - | - | 4 | 5,750 | - | - | - | 6,220 | 6,260 | 6,340 | 8,020 | 8,360 | 8,660 | 8,680 | 8,810 | 8,890 | - | 8,930 |

Fig.4.8. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din argilă prăfoasă nisipoasă.

Urmează un stadiu de consolidare primară care durează de la încărcarea treptei și până la aproximativ 16 ore și 40 minute de consolidare, interval de timp diferențiat pe trepte de încărcare.

Tasările relative devin semnificative de la a III-a treaptă de încărcare, adică de 0,5 daN/cm², cu valori inițiale de (0,96 ÷ 1,38)%, până la valori finale de (0,20 ÷ 14,63)%, sensibil mai

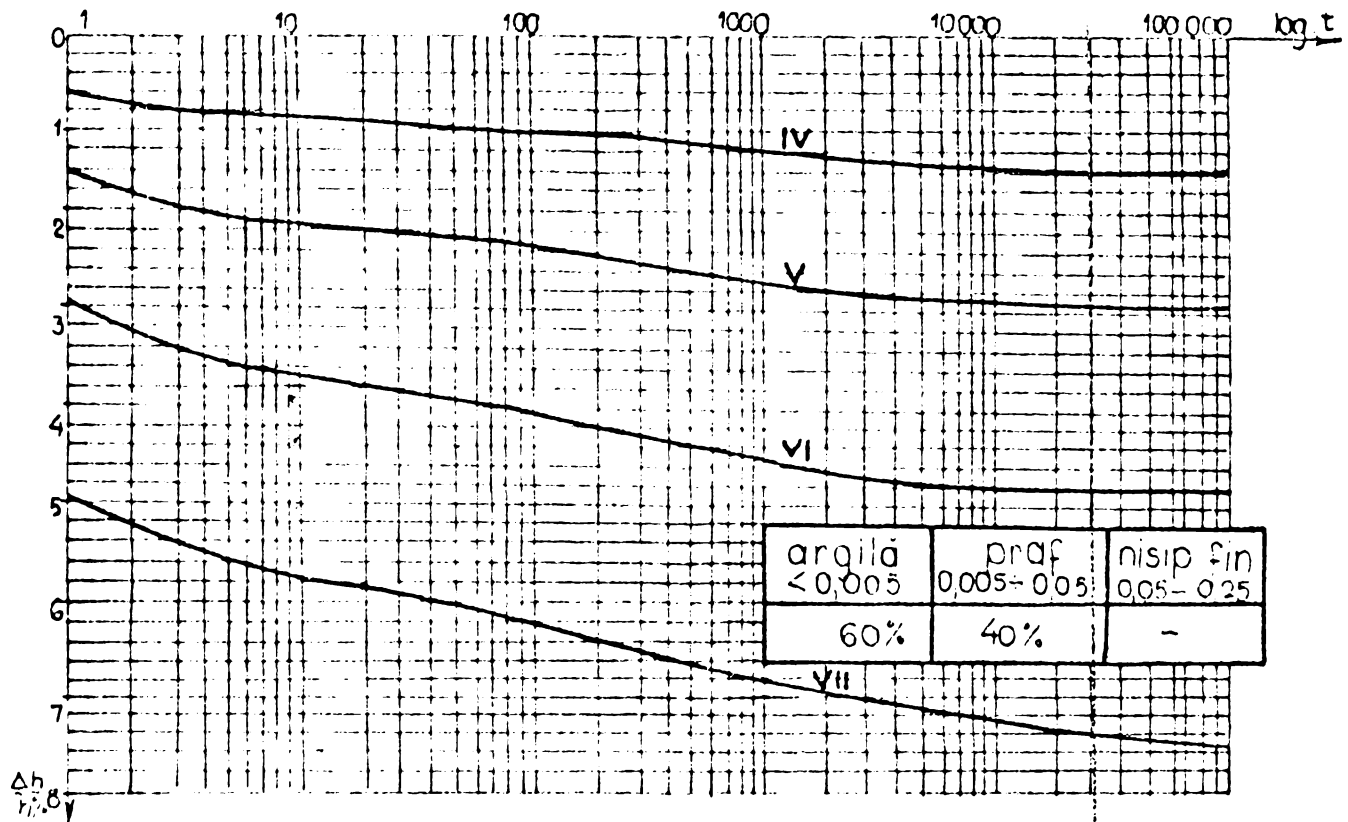


| treapta de incalzire | e ₀ | u | u _{max} | t _{max} | t _{total} | $\frac{\Delta h}{h}$ cumulat la un număr de minute de la încălzirea treptei | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|------|------------------|------------------|--------------------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 6760 |
| OKN 100 | - | 0,65 | - | - | - | m i n u t e | | | | | | | | | | | | | | |
| I 0-0,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,03 | - | - | - | - | - |
| II 0,1-0,25 | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,40 | - | - | - | - |
| III 0,25-0,5 | - | - | - | - | 1 | 0,40 | - | - | 0,770 | 0,780 | 0,820 | 1,050 | 1,080 | 1,110 | 1,140 | 1,170 | - | - | - | - |
| IV 0,5-1,0 | - | - | - | - | 3 | 1,170 | - | - | 1,810 | 1,840 | 1,900 | 2,240 | 2,290 | 2,330 | 2,350 | 2,380 | 2,40 | - | - | - |
| V 1,0-2,0 | - | - | - | - | 1 | 2,40 | - | - | 3,32 | 3,370 | 3,430 | 3,900 | 3,960 | 4,020 | 4,060 | 4,100 | - | - | - | - |
| VI 2,0-4,0 | - | - | 245 | 177 | 2 | 4,100 | - | - | 5,400 | 5,450 | 5,550 | 6,170 | 6,240 | 6,300 | 6,370 | 6,430 | 6,470 | - | - | - |
| VII 4,0-8,0 | 0,48 | - | - | - | 4 | 6,470 | - | - | 7,960 | 8,050 | 8,150 | 9,100 | 9,200 | 9,280 | 9,350 | 9,450 | 9,500 | - | 9,550 | - |

Fig.4.9. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din argilă prăfoasă nisipoasă.

mari decât la probele tulburate fără incluziuni.

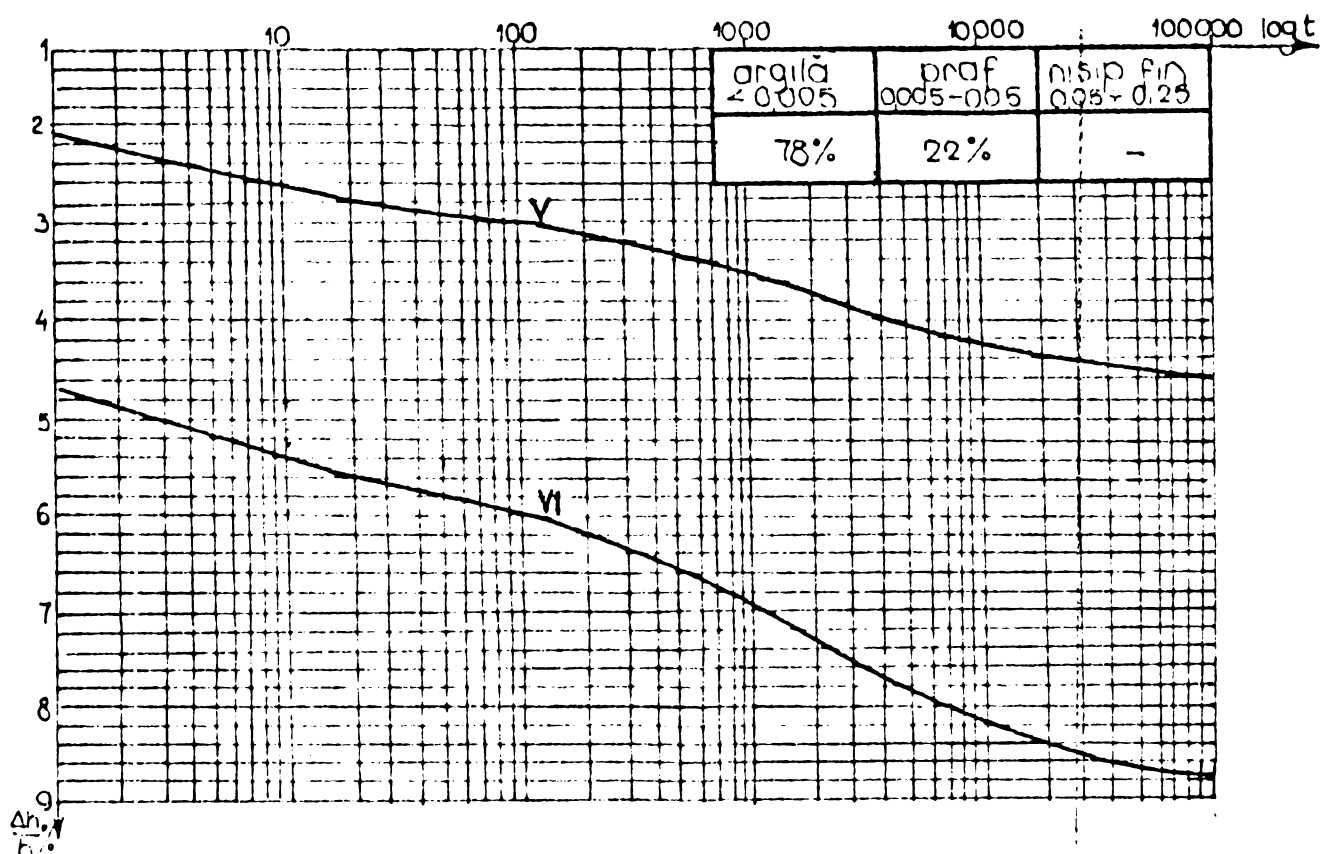
După intervalul de timp, diferențiat de 16 ore și 40 minute pînă la 40 ore se trece în stadiul de consolidare secundară cu valori ale tasărilor relative de (9,28 ÷ 14,97)%, sensibil mai mari decât la probele netulburate fără incluziuni.



| Treceri incalzire | e_u | U_t | D mm | β mm | γ_{100} | Δh cumular la un număr de minute de la încălzirea trept. | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|--------|------------|----------------|--|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|
| | | | | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 440 | 2880 | 4320 |
| I 0-0,1 | 0,55 | 0,28 | - | - | - | - | - | - | 0,25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| II 0,1-0,5 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| III 0,5-1,0 | - | - | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,510 | - |
| IV 0,5-1,0 | - | - | - | - | 1 | 0,510 | - | - | 0,820 | 0,850 | 0,900 | 1,270 | 1,300 | 1,320 | 1,350 | 1,380 | - | - | - |
| V 1,0-2,0 | - | - | - | - | 1 | 1,380 | - | - | 1,890 | 1,930 | 2,000 | 2,580 | 2,620 | 2,660 | 2,700 | 2,730 | - | - | - |
| VI 2,0-4,0 | - | - | 297 | 190 | 2 | 2,730 | - | - | 3,460 | 3,500 | 3,600 | 4,450 | 4,500 | 4,570 | 4,600 | - | - | - | - |
| VII 4,0-8,0 | 0,45 | - | - | - | 3 | - | - | - | 5,500 | 5,580 | 5,680 | 6,760 | 6,870 | 6,940 | 7,000 | 7,070 | - | 7,140 | - |

Fig.4.10. Diagrame de consolidare in consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din argilă prăfoasă.

In general, se constată că procesul de consolidare ne probele de pământ netulburate cu incluziuni comparativ cu acelea netulburate cvasiomogene se intensifică direct proporțional cu cantitatea de incluziuni organice și trecerea de la un stadiu de consolidare la următorul se produce mai rapid și mai brusc.



| treapta de încărcare | e_i | t total zile | Δh_n cumulat la un număr de minute de încărcarea treptei | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|-------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 4320 | 5760 | 8640 | 10080 |
| I | 0-0,1 | 120 | - | - | - | 0,012 | 0,064 | 0,235 | 0,235 | 0,243 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| II | 0,1-0,25 | - | 0,662 | - | 0,024 | 0 | 0,016 | - | 0,055 | 0,079 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| III | 0,25-0,5 | - | 0,079 | 0,533 | 0,612 | 0,682 | 0,739 | - | 0,824 | 0,926 | 1,004 | - | - | 1,169 | 1,208 | - | - | - | - |
| IV | 0,5-1,0 | 4 | 1,208 | 1,836 | 2,025 | - | - | 2,119 | 2,409 | 2,464 | 2,574 | 2,692 | 2,779 | 2,873 | 2,967 | 2,990 | - | - | - |
| V | 1,0-2,0 | 7 | 2,990 | - | - | - | 3,611 | 3,650 | 3,728 | 4,788 | 4,969 | 5,126 | 5,235 | 5,385 | 5,455 | 5,502 | - | 5,604 | 5,636 |
| VI | 2,0-4,0 | 4 | 5,636 | - | - | - | 6,352 | 6,460 | 6,633 | 8,360 | 8,744 | 9,068 | 9,294 | 9,529 | 9,624 | 9,679 | 9,686 | - | - |

Fig.4.11. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din argilă prăfoasă.

4.1.2. Incercări experimentale în aparatul triaxial

În scopul diversificării cercetărilor experimentale de consolidare în laborator la pământuri s-a utilizat la C.F.P.S. București aparatul triaxial static, adaptat la procesul de consolidare în timp.

Principiul metodei de consolidare în aparatul triaxial constă

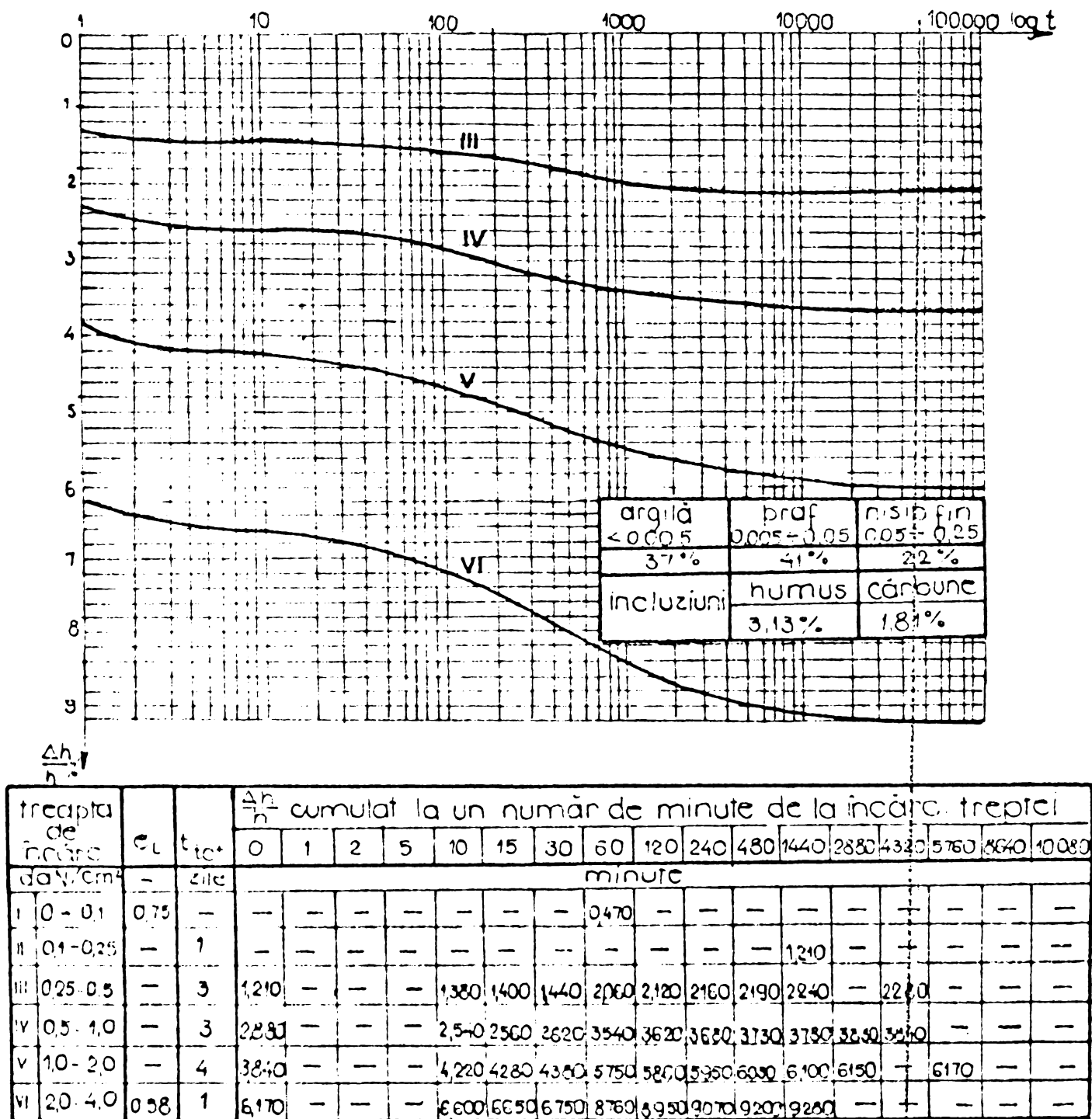
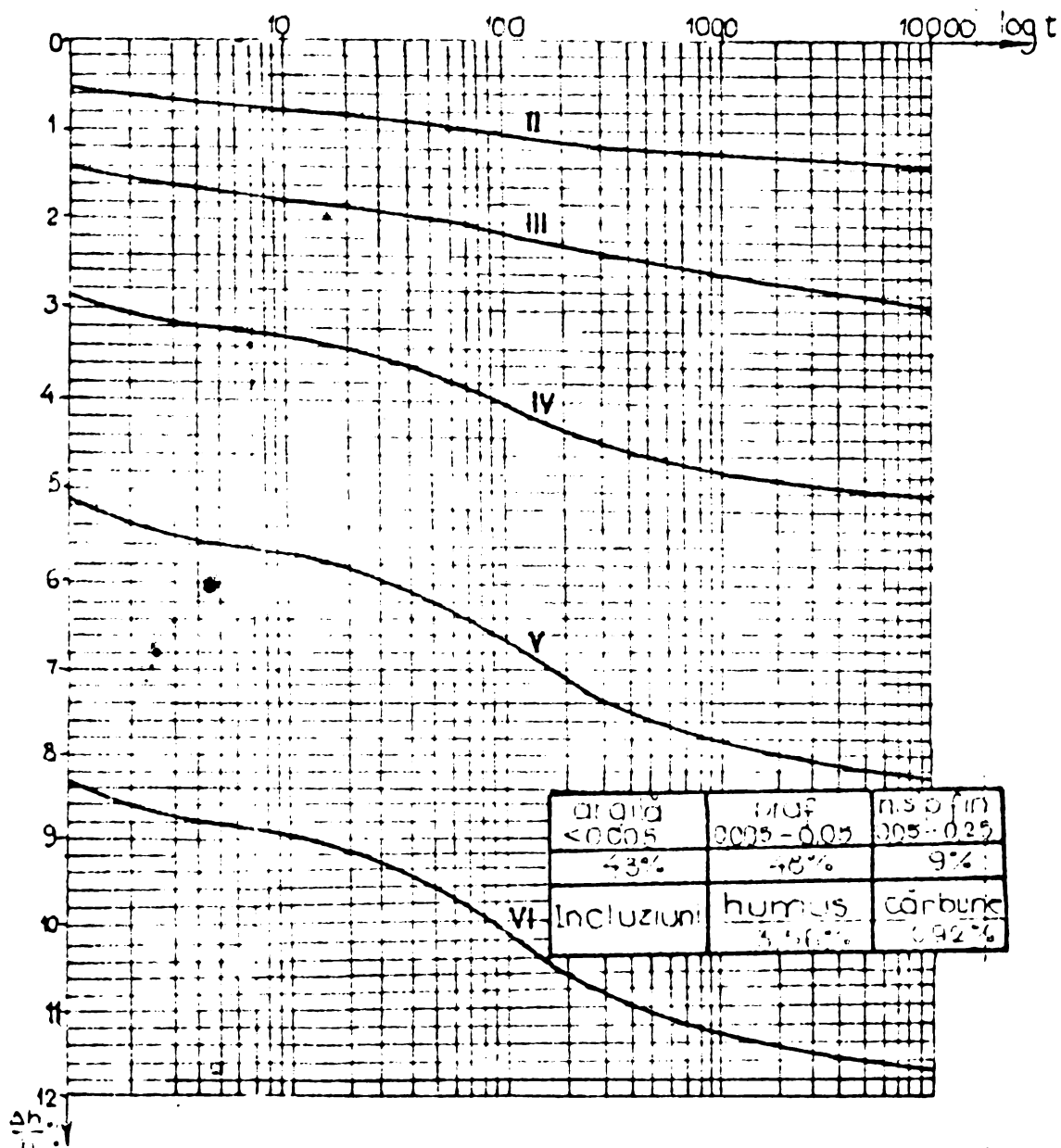


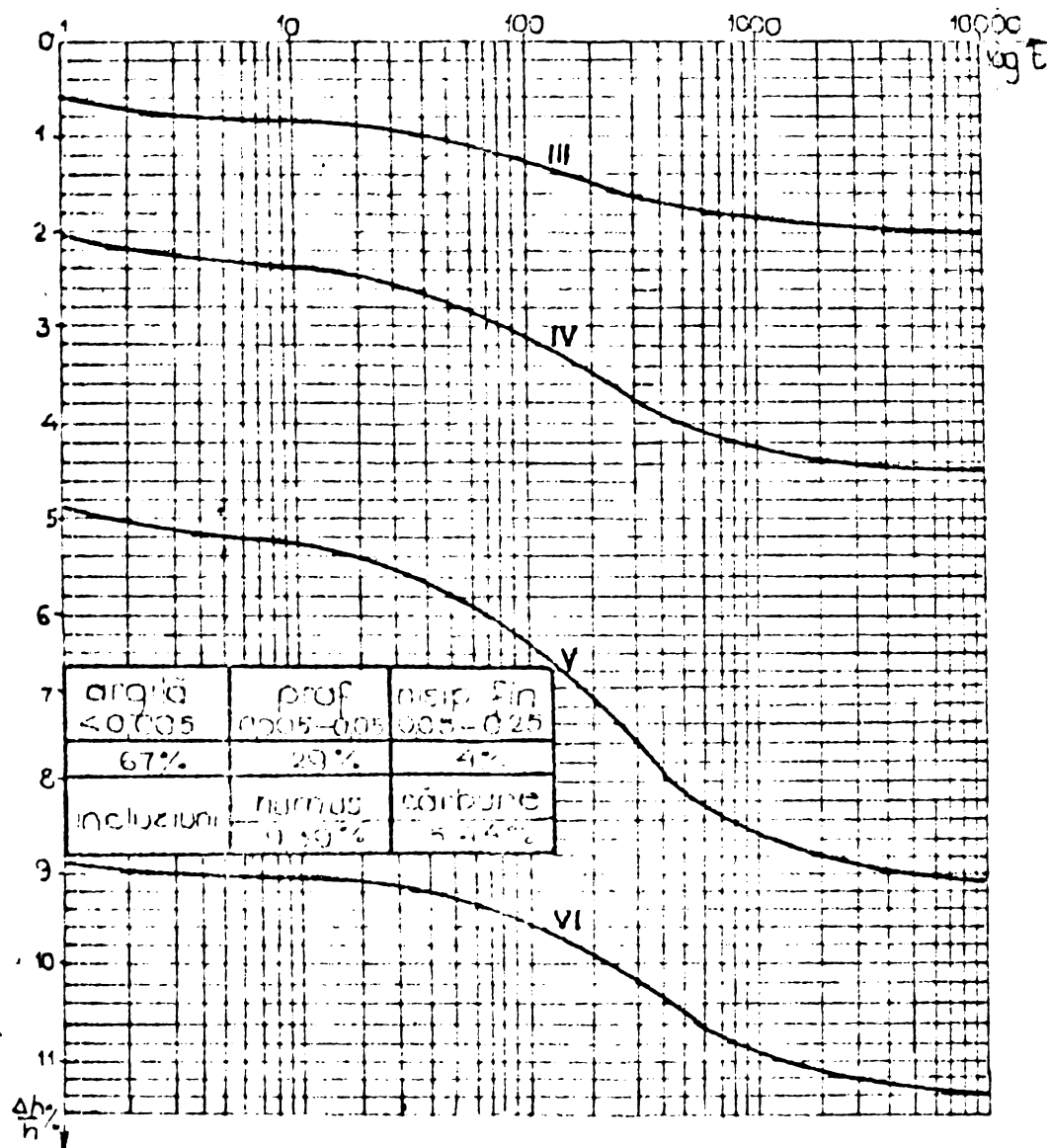
Fig.4.12. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cu incluziuni din praf argilos nisipos.

În aplicarea unui cîmp uniform de eforturi asupra probei de pământ. Acesta se descompune în două componente și anume o presiune hidrostatică σ_3 aplicată prin intermediul unui lichid care umple celula triaxială și un efort deviator $\sigma_1 - \sigma_3$ aplicat prin intermediul unui piston.



| treapta incalz | e _l | n ₀ | Δh h ₀ cumulat la un număr de minute de la încălzire treptată | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|---|-------|---|---|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 960 | 1920 | 3840 | 7680 | 15360 | | | | |
| I | 0-0.1 | 0.90 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.20 | - | - | - | - | - |
| II | 0.1-0.25 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.60 | - | - | - | - | - |
| III | 0.25-0.5 | - | 3 | 0.50 | - | - | - | 0.960 | 0.980 | 1.00 | 1.550 | 1.610 | 1.660 | 1.710 | 1.770 | 1.850 | - | - | - | - | - | - |
| IV | 0.5-1.0 | - | 3 | 1.350 | - | - | - | 2.200 | 2.440 | 2.700 | 3.200 | 3.500 | 3.800 | 4.100 | 4.400 | 4.700 | - | - | - | - | - | - |
| V | 1.0-2.0 | - | 5 | 2.650 | - | - | - | 4.230 | 4.800 | 5.300 | 6.800 | 7.800 | 8.800 | 9.800 | 10.800 | 11.800 | - | - | - | - | - | - |
| VI | 2.0-4.0 | - | 7 | 6.600 | - | - | - | 7.250 | 7.300 | 7.400 | 9.700 | 9.900 | 10.000 | 10.200 | 10.400 | 10.600 | 10.800 | 11.000 | 11.200 | 11.400 | 11.600 | 11.800 |
| 4.0-8.0 | 0.61 | 6 | 0.700 | - | - | - | - | 1.250 | 1.300 | 1.400 | 1.900 | 2.000 | 2.100 | 2.200 | 2.300 | 2.400 | 2.500 | 2.600 | 2.700 | 2.800 | 2.900 | 3.000 |

Fig. 4.13. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cu incluziuni din praf argilos nisipos.



| treapta încărc. | e ₁ | t _{inc} | Δh cumulat la un număr de minute de la încărcare, treapta | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------|------------------|---|---|---|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 1440 | 2880 | 5760 | 11520 | |
| I 0-0.3 | 1.00 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| II 0.3-0.6 | — | 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| III 0.6-1.2 | — | 3 | 0.20 | — | — | — | 1.00 | 1.00 | 1.15 | 2.20 | 3.40 | 4.50 | 5.50 | 6.50 | 7.50 | 8.50 | 9.50 | |
| IV 1.2-2.4 | — | 4 | 0.20 | — | — | — | 2.10 | 4.20 | 6.30 | 8.40 | 10.50 | 12.60 | 14.70 | 16.80 | 18.90 | 21.00 | 23.10 | |
| V 2.4-4.8 | — | 4 | 0.20 | — | — | — | 3.70 | 7.40 | 11.10 | 14.80 | 18.50 | 22.20 | 25.90 | 29.60 | 33.30 | 37.00 | 40.70 | |
| VI 4.8-7.2 | — | 5 | 0.20 | — | — | — | 5.60 | 11.20 | 16.80 | 22.40 | 28.00 | 33.60 | 39.20 | 44.80 | 50.40 | 56.00 | 61.60 | |

Fig.4.14. Diagrame de consolidare în consolidometru pe probe de pământ netulburate cu incluziuni din argilă prăfoasă nisipoasă.

Pentru a menține constantă presiunea verticală pe o anumită treaptă de încărcare se adaptează la celula triaxială un dispozitiv metalic intermediar de tip jug.

Încercările în aparatul triaxial se desfășoară în timp sub diferite trepte de încărcare progresive, pentru probe de pământ cvasi-omogene și cu incluziuni, în regim de consolidare nedrenat (CU).

4.1.2.1. Aparatura de laborator

Aparatura de laborator constă din aparatul triaxial static curent utilizat care se compune în principal dintr-o celulă triaxială obișnuită, o instalație de măsurare a presiunii apei din pori și un dispozitiv de măsurare a deformației de volum.

Pentru a realiza o presiune constantă pe o perioadă de timp mai îndelungată se recurge la dispozitivul de tip jug. Acesta se aplică pe proba de pământ $\varnothing 35 \times 60$ după așezarea ei în celula triaxială. Montajul se efectuează cu ajutorul unui reazem semiarticulat și se

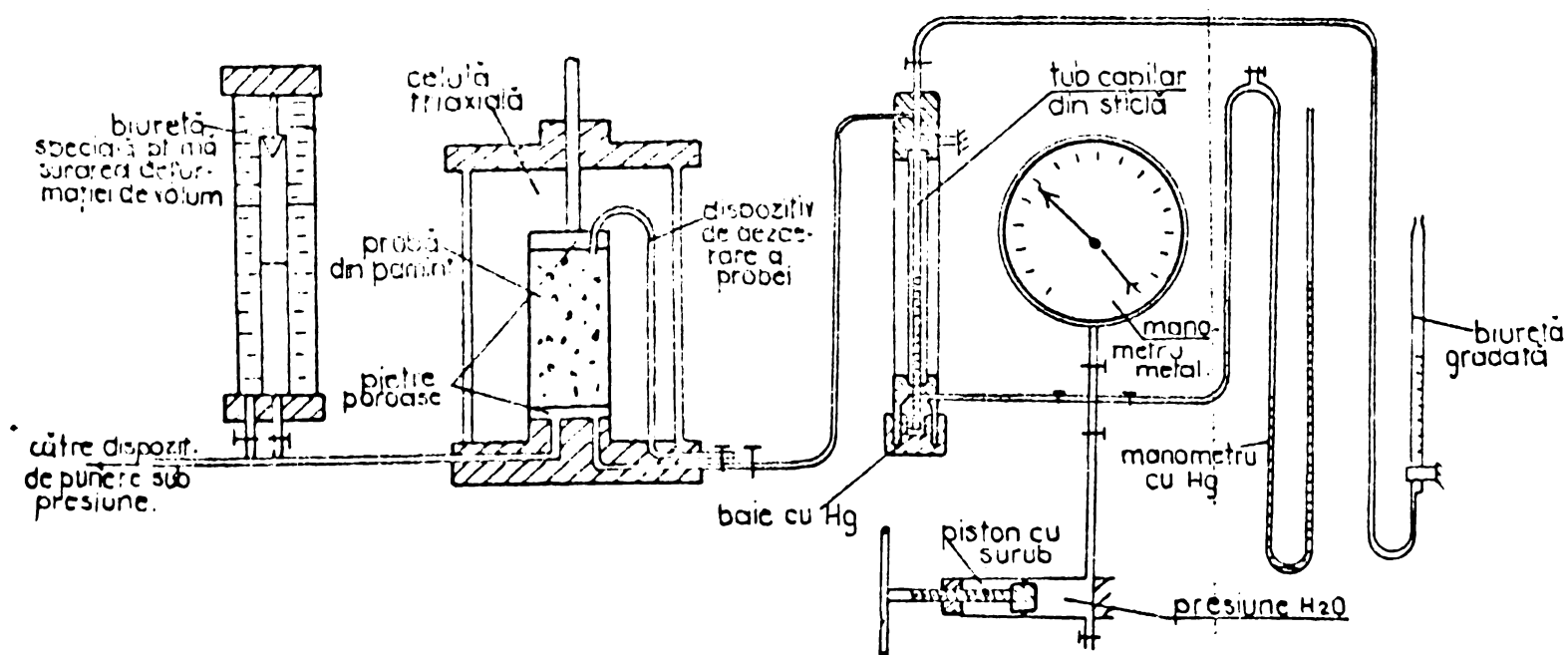


Fig.4.15. Aparatul triaxial pentru consolidarea pământurilor:
a - celula triaxială ; b - instalație de măsurare a presiunii apei din pori ; c - dispozitiv de măsurare a deformației de volum.

menține în funcțiune pe toată durata procesului de consolidare.

Schema funcțională a aparatului triaxial static pentru consolidarea pământurilor este reprezentată în fig.4.15.

Celula triaxială este prevăzută în interior cu un postament pe care se așează proba de pământ, prin intermediul unei plăci poroase filtrante. Deasupra probei de pământ se așează pistonul de încărcare prin intermediul altei plăci poroase filtrante. După așezarea probei de pământ celula se umple cu apă sub presiune.

Instalația de măsurare a presiunii apei din pori este identică celeia utilizată în cazul consolidometrului.

Dispozitivul de măsurare a deformației de volum se compune dintr-o biuretă specială, concepută pe principiul vaselor comunicante, plină cu apă și ulci de parafină colorată. În timpul procesului de consolidare se urmăresc

4.1.2.2. Metoda de lucru

Inercarea de consolidare constă din introducerea în celula triaxială, a unei probe de pământ gata preparată, asupra căreia se aplică o presiune uniformă prin intermediul apei sub presiune introdusă în celulă.

La partea inferioară și superioară a probei se află câte o placă poroasă, cu care se asigură drenarea pe ambele fețe.

Determinările experimentale în aparatul triaxial se efectuează pe probe de pământ tulburate cvasiomogene din praf argilos nisipos și cu incluziuni tari sau moi.

Incluziunile tari se compun din granule de piatră fracțiunea (3 ÷ 7) mm în proporție de 15 % și se amestecă uniform în praful argilos nisipos cvasiomogen.

Incluziunile moi se compun din două sorturi de granule moi cu diametrul $d = 4,0$ mm și respectiv $D = 7,5$ mm. Incluziunile moi se intercalează uniform între straturile de praf argilos nisipos cvasiomogen, astfel încât pentru o probă rezultă 5 straturi a câte 8 granule $d = 4,0$ mm și respectiv 5 straturi a câte 3 granule $D = 7,5$ mm.

Compactarea probelor de pământ se realizează după metoda standardizată (măcină metalică cu greutatea de 503 gr. și cursa de 152 mm).

Probele de pământ confecționate în acest mod se introduc în aparatul triaxial cu jug, unde se procedează la aplicarea unei presiuni uniforme $\sigma_3 = 2,0$ daN/cm². În continuare se aplică o presiune verticală σ_a crescătoare în trepte până la 1,0 daN/cm².

Se trece la înregistrarea valorilor pentru tasările specifice și ale variației de volum pe trepte de consolidare σ_a urmărind până la stabilizare.

După consolidarea fiecărei probe de pământ pe ultima treaptă de încărcare se procedează la descărcarea de σ_a și la dezafectarea jugului metalic.

Determinările se continuă până la rupere, cu metodologia curentă și sub o viteză de 0,5 mm/min, până la semnalarea unei deformări finale de cca. 20 % din înălțimea probei.

Determinările experimentale de consolidare cu aparatul triaxial s-au efectuat la INCERC București și pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din praf argilos nisipos, supuse la o presiune uniformă $\sigma_3 = 2,0$ daN/cm².

În continuare se aplică o presiune verticală σ_a crescătoare în

trepte de $1,0 \text{ daN/cm}^2$, $2,0 \text{ daN/cm}^2$ și $3,0 \text{ daN/cm}^2$.

Rezultă valorile pentru tasările specifice și variații de volum.

4.1.2.3. Interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale în aparatul triaxial

Rezultatele încercărilor experimentale în aparatul triaxial se reprezintă grafic la scară semilogaritmică, prin intermediul diagramelor de consolidare, pe trepte de încărcare. Acestea înscriu în abscisă, timpul în minute la scară logaritmică și în ordonată, tasările relative procentuale.

Pentru praful argilos nisipos, pe probe de pământ tulburate cvasiomogene, rezultă diagramele de consolidare reprezentate în fig.4.16, pentru cinci trepte de încărcare (I ÷ V), cu o presiune uniformă $\sigma_3 = 2,0 \text{ daN/cm}^2$ și o presiune verticală σ_a în cinci trepte de încărcare (I ÷ V), de la zero până la $0,959 \text{ daN/cm}^2$.

Dacă se urmăresc aceste diagrame de consolidare se remarcă inițial tasări relative instantanee de $(0,01 \div 0,41) \%$ la treapta de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

Se constată că după apariția tasării relative instantanee se dezvoltă un proces de consolidare primară, cu valori ale tasării relative de $(0,28 \div 0,44) \%$.

Simultan se produc și variații de volum de ordinul a $(0,16 \div 0,77) \%$.

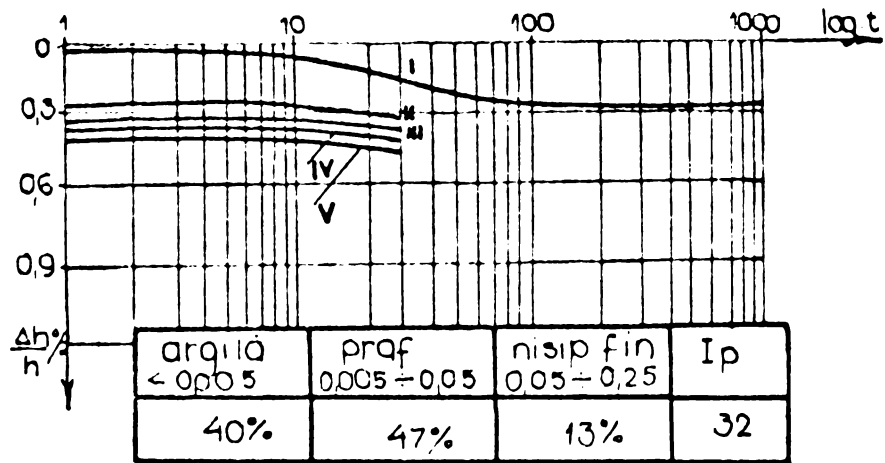
La un interval de timp de cca. 1 oră și 40 minute de la aplicarea primei trepte de încărcare se constată apariția procesului de consolidare secundară caracterizat prin palierul de curgere cu o tasare relativă de $0,29 \%$.

Pentru praful argilos nisipos, pe probe de pământ tulburate cu incluziuni tari, rezultă diagramele de consolidare reprezentate în fig.4.17, în condiții de încărcare identice cu acelea de la probele tulburate cvasiomogene.

Se remarcă inițial tasări relative instantanee de $(0,19 \div 0,66) \%$ la I-a treaptă de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

Urmează procesul de consolidare primară, în care curbele de consolidare au o alătură identică pentru cele cinci trepte de încărcare, cu valori ale tasărilor relative de $(0,31 \div 0,74) \%$.

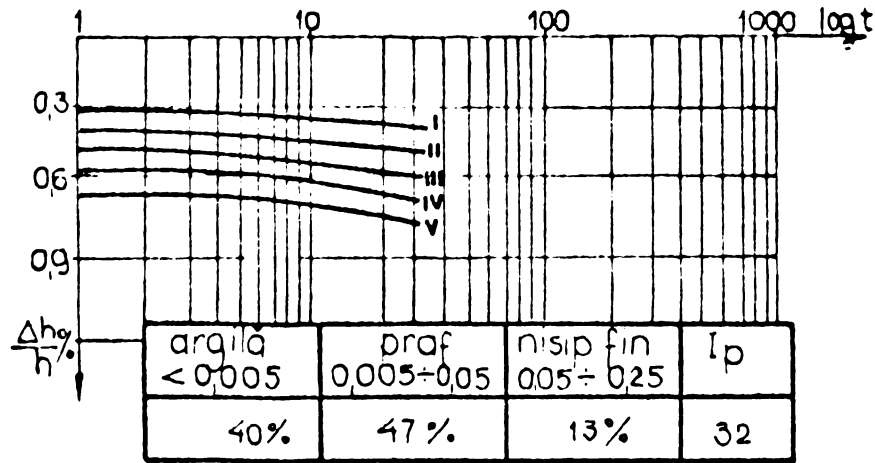
Simultan se produc și variații de volum de ordinul a $(0,03 \div 0,21) \%$.



| încărc | t_c | σ_3 | σ_a | $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_a$ | $\frac{\Delta h}{100}$ | $\frac{\Delta h}{h} 100$ | $\frac{\Delta v}{100}$ | $\frac{\Delta v}{v} 100$ |
|-------------|-------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| | min | daN/cm ² | daN/cm ² | daN/cm ² | mm | % | mm | % |
| treapta I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 2 | 0,573 | 2,573 | 0,1 | 0,01 | — | — |
| | 1 | 2 | 0,573 | 2,573 | 0,2 | 0,03 | — | — |
| | 5 | 2 | 0,573 | 2,573 | 0,5 | 0,06 | — | — |
| | 10 | 2 | 0,573 | 2,573 | 0,7 | 0,09 | — | — |
| | 15 | 2 | 0,573 | 2,573 | 0,9 | 0,11 | — | — |
| | 30 | 2 | 0,573 | 2,573 | 1,3 | 0,16 | — | — |
| | 45 | 2 | 0,573 | 2,573 | 1,6 | 0,20 | — | — |
| | 60 | 2 | 0,573 | 2,573 | 1,8 | 0,23 | — | — |
| | 75 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,0 | 0,25 | — | — |
| | 90 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,1 | 0,26 | — | — |
| | 105 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,2 | 0,28 | — | — |
| | 120 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,3 | 0,29 | 1,7 | 0,22 |
| 1200 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,3 | 0,29 | 5,8 | 0,75 | |
| treapta II | 1200 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,3 | 0,29 | — | — |
| | 1201 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,3 | 0,29 | — | — |
| | 1205 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,4 | 0,30 | — | — |
| | 1210 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,4 | 0,30 | — | — |
| | 1215 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,4 | 0,30 | — | — |
| | 1230 | 2 | 0,677 | 2,677 | 2,5 | 0,31 | 5,9 | 0,77 |
| treapta III | 1230 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,6 | 0,33 | — | — |
| | 1231 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,6 | 0,33 | — | — |
| | 1235 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,7 | 0,34 | — | — |
| | 1240 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,8 | 0,35 | — | — |
| | 1245 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,8 | 0,35 | — | — |
| | 1260 | 2 | 0,781 | 2,781 | 2,9 | 0,36 | 5,9 | 0,77 |
| treapta IV | 1260 | 2 | 0,885 | 2,885 | 3,0 | 0,38 | — | — |
| | 1261 | 2 | 0,886 | 2,885 | 3,0 | 0,38 | — | — |
| | 1265 | 2 | 0,886 | 2,885 | 3,0 | 0,38 | — | — |
| | 1270 | 2 | 0,886 | 2,885 | 3,1 | 0,39 | — | — |
| | 1275 | 2 | 0,886 | 2,885 | 3,1 | 0,39 | — | — |
| | 1290 | 2 | 0,886 | 2,885 | 3,2 | 0,40 | 5,9 | 0,77 |
| treapta V | 1290 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,3 | 0,41 | — | — |
| | 1291 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,3 | 0,41 | — | — |
| | 1295 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,3 | 0,41 | — | — |
| | 1300 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,4 | 0,43 | — | — |
| | 1305 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,4 | 0,43 | — | — |
| | 1320 | 2 | 0,989 | 2,989 | 3,5 | 0,44 | 6,0 | 0,77 |

Fig.4.16. Diagrame de consolidare triaxială pe probe de pământ tulburate cvasiomogene din praf argilos nisipos.

Pentru praful argilos nisipos, pe probe de pământ tulburate cu incluziuni moi $D = 7,5$ mm, rezultă diagramele de consolidare reпреzer



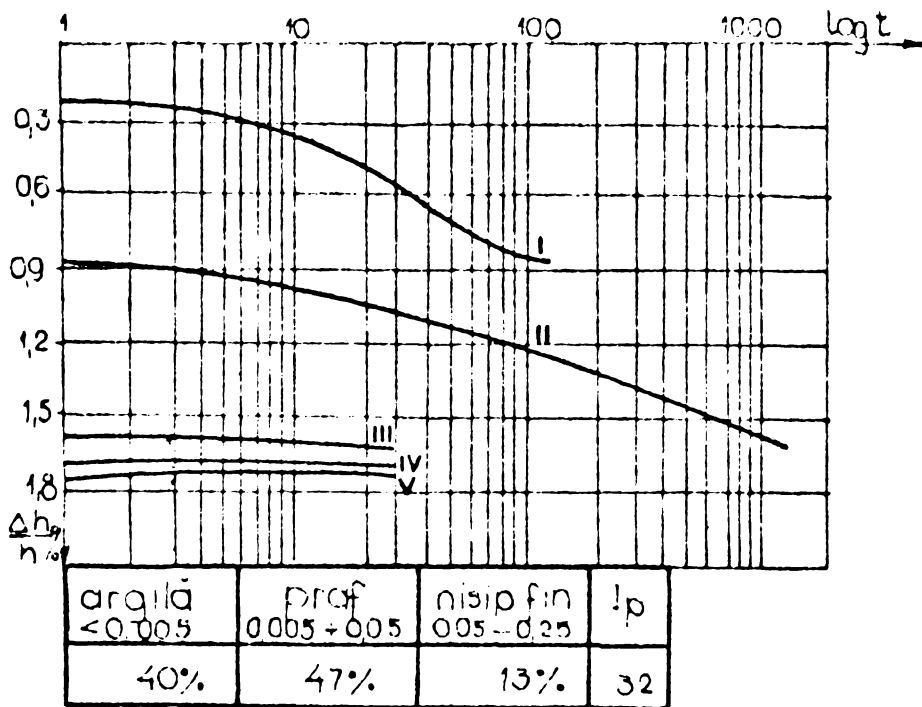
| incarc. | t_c | σ_3 | σ_a | $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_a$ | $\frac{\Delta h}{100}$ | $\frac{\Delta h}{h} 100$ | $\frac{\Delta v}{100}$ | $\frac{\Delta v}{v} 100$ |
|-------------|-------|---------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| | min. | daN/cm ² | daN/cm ² | daN/cm ² | mm | % | mm | % |
| treapta I | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 2 | 0,573 | 2,573 | 1,5 | 0,19 | 0,2 | 0,03 |
| | 5 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,5 | 0,31 | - | - |
| | 10 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,7 | 0,34 | - | - |
| | 15 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,8 | 0,35 | - | - |
| | 30 | 2 | 0,573 | 2,573 | 2,9 | 0,36 | - | - |
| treapta II | 30 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,1 | 0,39 | 0,7 | 0,09 |
| | 31 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,2 | 0,40 | - | - |
| | 35 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,3 | 0,41 | - | - |
| | 40 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,4 | 0,43 | - | - |
| | 45 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,5 | 0,44 | - | - |
| | 60 | 2 | 0,677 | 2,677 | 3,8 | 0,45 | - | - |
| treapta III | 60 | 2 | 0,781 | 2,781 | 3,9 | 0,49 | 0,9 | 0,12 |
| | 61 | 2 | 0,781 | 2,781 | 4,0 | 0,50 | - | - |
| | 65 | 2 | 0,781 | 2,781 | - | - | - | - |
| | 70 | 2 | 0,781 | 2,781 | 4,1 | 0,51 | - | - |
| | 75 | 2 | 0,781 | 2,781 | 4,2 | 0,53 | - | - |
| | 90 | 2 | 0,781 | 2,781 | 4,3 | 0,54 | - | - |
| treapta IV | 90 | 2 | 0,885 | 2,885 | 4,5 | 0,56 | 1,2 | 0,15 |
| | 91 | 2 | 0,885 | 2,885 | 4,6 | 0,58 | - | - |
| | 95 | 2 | 0,885 | 2,885 | - | - | - | - |
| | 100 | 2 | 0,885 | 2,885 | 4,7 | 0,59 | - | - |
| | 105 | 2 | 0,885 | 2,885 | 4,8 | 0,60 | - | - |
| | 130 | 2 | 0,885 | 2,885 | 4,9 | 0,61 | - | - |
| treapta V | 120 | 2 | 0,989 | 2,989 | 5,2 | 0,65 | 1,5 | 0,19 |
| | 121 | 2 | 0,989 | 2,989 | 5,3 | 0,66 | - | - |
| | 125 | 2 | 0,989 | 2,989 | - | - | - | - |
| | 130 | 2 | 0,989 | 2,989 | 5,4 | 0,68 | - | - |
| | 135 | 2 | 0,989 | 2,989 | 5,5 | 0,69 | - | - |
| | 150 | 2 | 0,989 | 2,989 | 5,6 | 0,70 | - | - |

Fig.4.17. Diagrame de consolidare triaxială pe probe de pământ tulburate cu incluziuni tari din nisip în praf argilos nisipos.

tate în fig.4.18, în condiții de încărcare identice cu acelea de la probele tulburate evanescențiale și cu incluziuni tari.

Se remarcă inițial tasări relative instantanee de (0,10 ÷ 1,73) % la I-a treaptă de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

Urmează procesul de consolidare primară cu valori ale tasărilor



| incarc. | τ_c min | σ_3 kg/cm ² | σ_1 kg/cm ² | $\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ² | Δh mm | $\frac{\Delta h}{h} \cdot 100$ % | $\frac{\Delta v}{v} \cdot 100$ mm | $\frac{\Delta v}{v} \cdot 100$ % |
|-------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|---|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| tracțiã I | 0 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 5 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 10 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 15 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 30 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 45 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 60 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 75 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 90 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 105 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| 120 | 2 | 0.573 | 2.573 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 0.54 | |
| tracțiã II | 121 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 135 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 150 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 165 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 180 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 195 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 210 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 225 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 240 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 255 | 2 | 0.677 | 2.677 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| tracțiã III | 256 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 270 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 285 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 300 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 315 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 330 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 345 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 360 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 375 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 390 | 2 | 0.781 | 2.781 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| tracțiã IV | 391 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 405 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 420 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 435 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 450 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 465 | 2 | 0.885 | 2.885 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| tracțiã V | 466 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 480 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 495 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 510 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 525 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 540 | 2 | 0.989 | 2.989 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |

Fig.4.18. Diagrame de consolidare triaxială pe probe de pământ tulburate cu incluziuni moi de 1,5 mm în praf argilos nisipos.

relative de $(0,26 \div 1,79)\%$ la I-a treaptă de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

La un interval de timp de cca. 1 oră și 40 minute de la aplicarea primei trepte de încărcare și respectiv de 16 ore și 40 minute de la aplicarea celei de-a doua trepte de încărcare, se constată apariția procesului de consolidare secundară, caracterizat prin palierul de curgere, cu valori ale tasării relative de $0,85\%$ și respectiv de $1,60\%$.

Simultan se produc și variații de volum de ordinul a $(0,12 \div 1,04)\%$.

Pentru praful argilos nisipos, pe probe de pământ tulburate cu incluziuni moi $d = 4,8$ mm, rezultă diagramele de consolidare reprezentate în fig. 4.19, în condiții de încărcare identice cu acelea de la probele tulburate evasiomogene, cu incluziuni tari și cu incluziuni moi $D = 7,5$ mm.

Se remarcă inițial tasări relative instantanee de $(0,46 \div 2,05)$ la I-a treaptă de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

Urmază procesul de consolidare primară cu valori ale tasărilor relative de $(0,53 \div 2,0)$ % la a II-a treaptă de încărcare și la a V-a treaptă de încărcare.

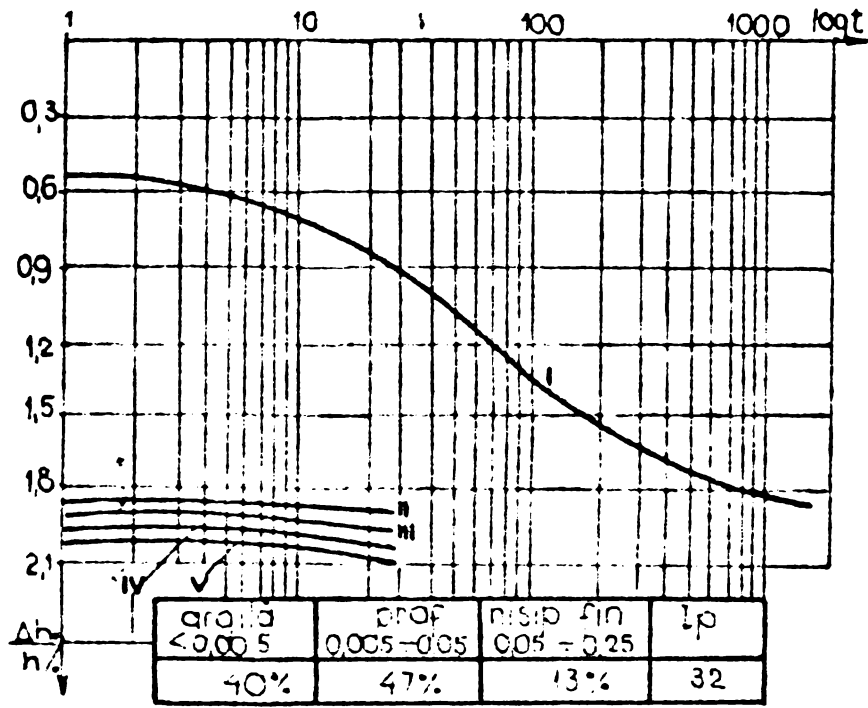
La un interval de timp de cca. 16 ore și 40 minute de la aplicarea primei trepte de încărcare se constată apariția procesului de consolidare secundară, caracterizat prin palierul de curgere, cu valoarea tasării relative de $2,10\%$.

Simultan se produc și variații de volum de ordinul a $(0,21 \div 1,12)\%$.

Pentru praful argilos nisipos, pe probe de pământ netulburate evasiomogene, efectuate la INCERC București, rezultă diagramele de consolidare reprezentate în fig.4.20.

După tasări relative instantanee sub $0,35\%$ se dezvoltă procesul de consolidare primară pe trei trepte de încărcare cu valori maxime de $0,25\%$ pentru I-a treaptă de încărcare, de $0,50\%$ pentru a V-a treaptă de încărcare și de $2,50\%$ pentru a III-a treaptă de încărcare. Aceste valori marchează de fapt și punctul de intrare în palierul de curgere specific procesului de consolidare secundară.

Simultan se urmărește și variația presiunii apei din pori cu valori maxime de $0,17$ daN/cm² pentru I-a treaptă de încărcare, $0,22$ daN/cm² pentru a II-a treaptă de încărcare și de $0,25$ daN/cm² pentru a III-a treaptă de încărcare.



| nr. c. | t_c | G_3 | G_0 | G_1, G_2, G_3 | Δh_{100} | $\frac{\Delta h}{H} 100$ | $\frac{\Delta V}{V} 100$ | $\frac{\Delta V}{V} 100$ |
|-------------|-------|-------|-------|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | min | % | % | % | mm | % | mm | % |
| treapla I | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1,6 | 0,21 |
| | 5 | 0,575 | 2,575 | 3 | 0,46 | — | — | — |
| | 10 | 0,375 | 2,575 | 4,2 | 0,38 | — | — | — |
| | 20 | 0,575 | 2,575 | 5,0 | 0,62 | — | — | — |
| | 30 | 0,575 | 2,575 | 5,4 | 0,68 | — | — | — |
| | 40 | 0,575 | 2,575 | 6,1 | 0,75 | — | — | — |
| | 50 | 0,575 | 2,575 | 7,5 | 0,92 | — | — | — |
| | 60 | 0,575 | 2,575 | 8,4 | 1,05 | — | — | — |
| | 80 | 0,575 | 2,575 | 9,2 | 1,15 | — | — | — |
| treapla II | 120 | 0,575 | 2,575 | 9,6 | 1,25 | — | — | — |
| | 150 | 0,575 | 2,575 | 10,4 | 1,30 | — | — | — |
| | 200 | 0,575 | 2,575 | 10,9 | 1,36 | — | — | — |
| | 300 | 0,575 | 2,575 | 11,5 | 1,41 | 3,9 | 0,31 | — |
| | 400 | 0,575 | 2,575 | 12,0 | 1,47 | 8,4 | 1,09 | — |
| | 500 | 0,575 | 2,575 | 12,6 | 1,53 | — | — | — |
| treapla III | 120 | 0,677 | 2,677 | 12,9 | 1,52 | — | — | — |
| | 150 | 0,677 | 2,677 | 13,9 | 1,60 | — | — | — |
| | 200 | 0,677 | 2,677 | 14,9 | 1,68 | — | — | — |
| | 300 | 0,677 | 2,677 | 15,9 | 1,76 | — | — | — |
| | 400 | 0,677 | 2,677 | 16,1 | 1,80 | — | — | — |
| treapla IV | 120 | 0,781 | 2,781 | 15,2 | 1,90 | — | — | — |
| | 150 | 0,781 | 2,781 | 15,7 | 1,95 | — | — | — |
| | 200 | 0,781 | 2,781 | 16,3 | 1,91 | — | — | — |
| | 300 | 0,781 | 2,781 | 16,4 | 1,93 | — | — | — |
| | 400 | 0,781 | 2,781 | 16,5 | 1,94 | — | — | — |
| treapla V | 120 | 0,885 | 2,885 | 15,8 | 1,98 | 8,6 | 1,12 | — |
| | 150 | 0,885 | 2,885 | 15,8 | 1,98 | — | — | — |
| | 200 | 0,885 | 2,885 | 15,9 | 1,99 | — | — | — |
| | 300 | 0,885 | 2,885 | 16,0 | 2,00 | — | — | — |
| | 400 | 0,885 | 2,885 | 16,1 | 2,01 | — | — | — |
| treapla VI | 120 | 0,989 | 2,989 | 16,3 | 2,04 | 8,6 | 1,12 | — |
| | 150 | 0,989 | 2,989 | 16,3 | 2,06 | — | — | — |
| | 200 | 0,989 | 2,989 | 16,5 | 2,06 | — | — | — |
| | 300 | 0,989 | 2,989 | 16,6 | 2,08 | — | — | — |
| | 400 | 0,989 | 2,989 | 16,7 | 2,09 | — | — | — |
| 1302 | 0,989 | 2,989 | 16,8 | 2,10 | 8,6 | 1,12 | — | |

Fig. 1.13. Diagrama de consolidare triaxială pe probe de pământ tulburate cu incluziuni moi $d = 4,0$ mm în praș argilos nisipos.

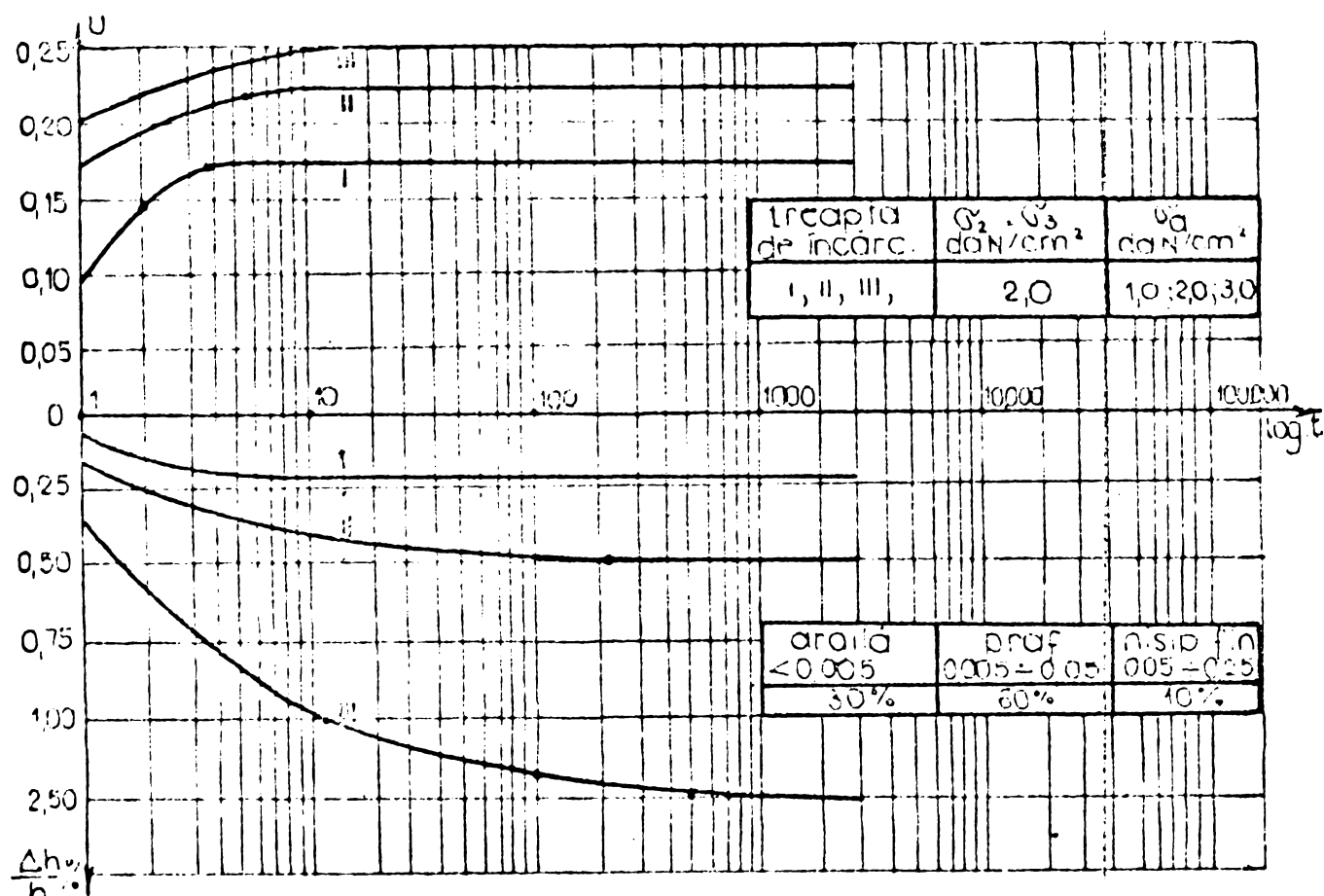


Fig.4.20. Diagrame de consolidare triaxială pe probe de pământ netulburate cvasiomogene din praf argilos nisipos.

Se constată în general valori mai mari pentru tasările relative pe probe de pământ netulburate, comparativ cu probele de pământ tulburate.

Prezența incluziunilor, mai ales a incluziunilor moi, produce o intensificare a procesului de consolidare primară și secundară cu cca. 20% și o întârziere maximă în stabilizarea procesului de consolidare de cca. 15 ore. Aceste constatări corespund cu scurgerea incluziunilor printre particulele scheletului solid și cu înșeși curgerea lentă a materialului constitutiv al incluziunilor.

4.2. Determinări experimentale " in situ "

În cercetările experimentale de laborator pentru consolidarea pământurilor cu consolidometrul și aparatul triaxial se înscriu ca avantaje posibilitatea modelării unor stări variate de eforturi și deformații și rezultate suficient de precise în determinarea parametrilor caracteristici. Ca dezavantaje se menționează caracterul restrâns al modului de reprezentare a masivelor din pământ și deranja-

rea structurii naturale prin recoltarea probelor de pământ.

Deficiențele semnalate au condus la promovarea determinărilor " in situ " în care încercările se fac direct pe teren, excluzând parțial și caracterul local al încercărilor, prin sollicitarea unui volum important din masivele din pământ . De asemenea gradul de precizie al rezultatelor este satisfăcător.

Determinările experimentale " in situ " furnizează valori ale tasărilor care constituie o bază de plecare pentru verificările practice necesare în confruntarea valorilor teoretice cu valorile reale din teren.

În acest scop se inițiază determinări experimentale " in situ " cu placa de probă.

4.2.1. Aparatura de teren

Aparatura de teren constă dintr-o placă de probă cu un diametru $d_p = 500$ mm.

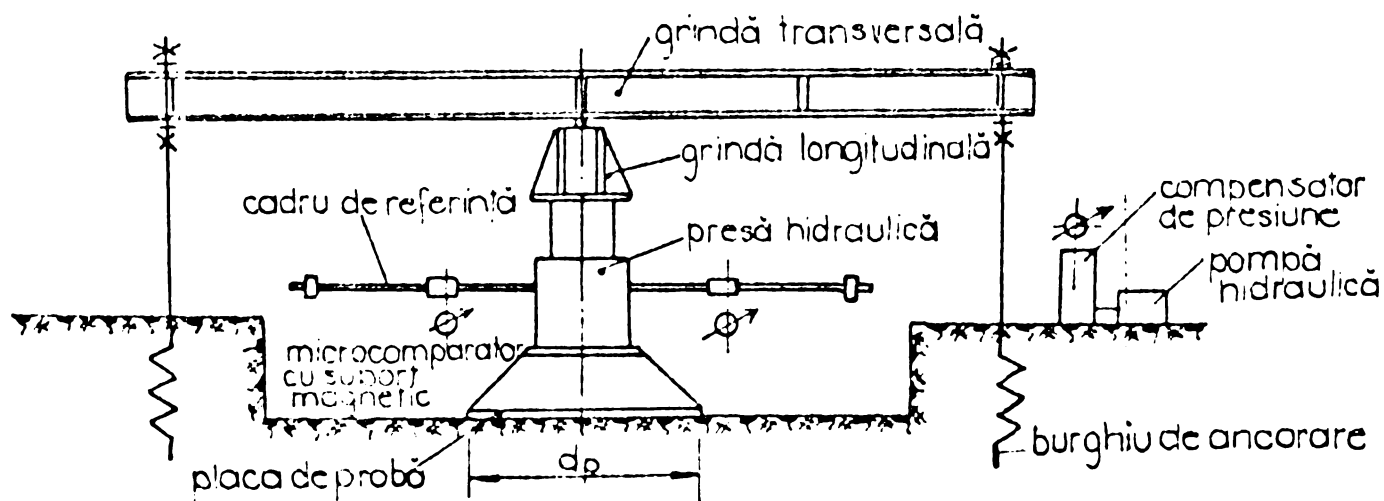


Fig.4.21. Placa de probă pentru consolidarea pământurilor.

Placa se așează pe teren și se încarcă cu ajutorul unei prese hidraulice, prin sistemul indicat în schema de principiu din fig.4.21

Inregistrarea tasărilor se realizează prin intermediul unor microcomparatoare cu suport magnetic.

Determinările cu placa de probă sînt încercări de compresibilitate care se efectuează prin aplicarea la suprafața terenului (considerat ca un semispațiu viscoelastic) a unei încărcări distribuite uniform pe suprafața respectivă. În acest mod se stabilește o depen-

dentă directă, între deformațiile rezultate, caracteristicile terenului, încărcarea aplicată și dimensiunile suprafeței încărcate .

Rezolvarea riguroasă a acestei probleme a devenit posibilă numai pentru câteva cazuri : particulare, referitoare la forma suprafeței și distribuția încărcării.

4.2.2. Metoda de lucru

Determinarea experimentală cu placa de probă constă din așezarea pe teren a unei plăci circulare pe care se aplică o încărcare uniformă, prin intermediul unui sistem de încărcare cu presa hidraulică.

Încărcarea se aplică în șase trepte crescătoare care se mențin constante până la stabilizarea deformației corespunzătoare înregistrate la microcomparatoarele cu suport magnetic.

Cu ajutorul datelor respective se poate stabili o interdependență între presiunea aplicată, deformația înregistrată și modul de evoluție al acesteia în timp.

Deoarece încercarea de consolidare cu placa de probă solicită masive din pământ cu o placă rigidă, se produc unele perturbări legate de plastifierea masivului din pământ solicitat de conturul plăcii.

Masivul din pământ ales pentru determinarea de consolidare cu placa se definește ca praf argilos nisipos, cu caracteristici granulometrice comparabile cu ordin de mărime cu praful argilos nisipos din probele tulburate în aparatul triaxial și cu praful argilos nisipos din probele tulburate în consolidometru.

4.2.3. Interpretarea rezultatelor determinărilor experimentale " in situ "

Rezultatele determinărilor experimentale " in situ " cu placa de probă se reprezintă grafic la scară semilogaritmică, cu ajutorul diagramelor de consolidare din fig.4.22. De data aceasta se înscrie în abscisă timpul în minute la scară logaritmică, și în ordonată, apoi deosebire de reprezentările anterioare, se înscriu tășările efectiv înregistrate.

Rezultă șase diagrame de consolidare corespunzătoare celor șase trepte de consolidare, care urmează etapele cunoscute ale procesului de consolidare la pământuri.

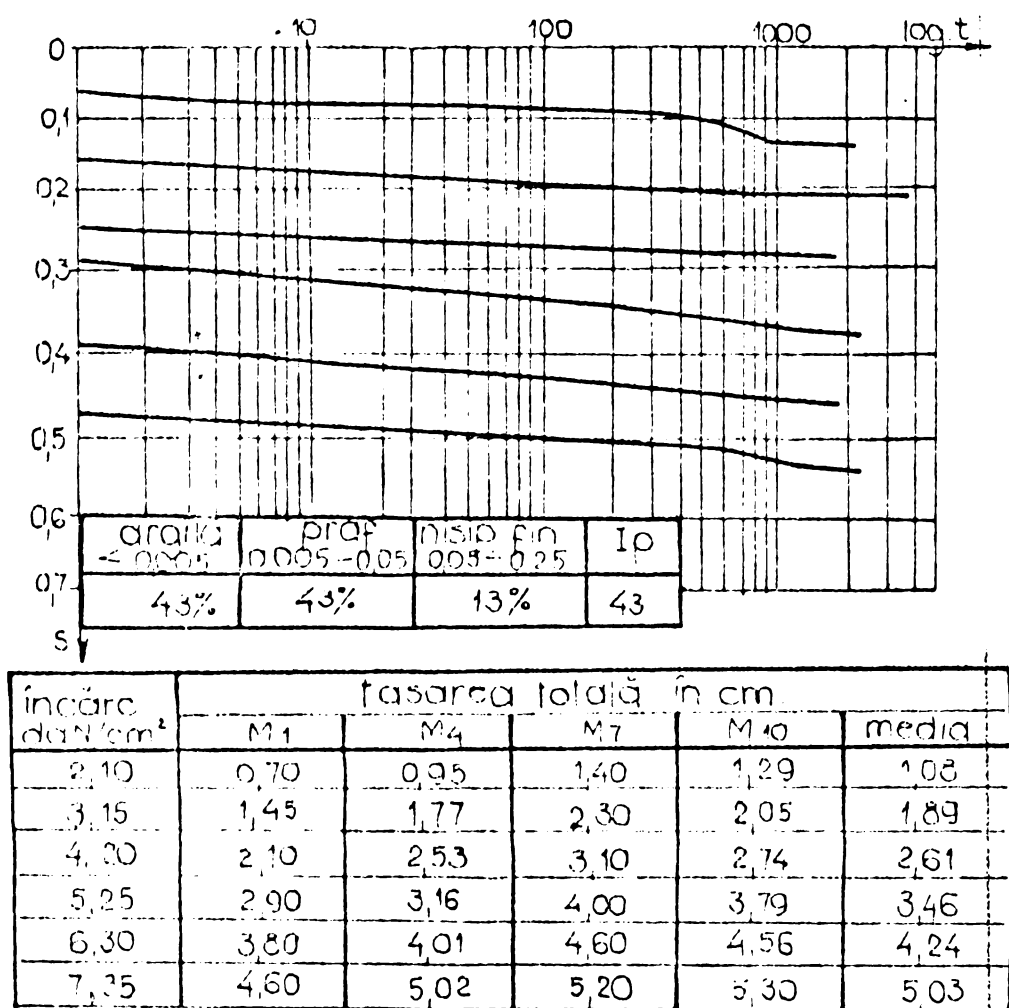


Fig.4.22. Diagrame de consolidare " in situ " cu placa de probă pe un masiv din pământ prăfos argilos nisipos.

Se constată inițial o tasare instantanee sub 1 mm, o tasare din consolidarea primară până la 0,5 cm și o tasare din consolidarea secundară stabilizată pe palierul de curgere la un interval de timp de cca. 16 ore și 40 minute de la aplicarea treptei de încărcare respective.

Se remarcă în general o alătură asemănătoare a celor șase curbe de consolidare pe trepte de încărcare și o evoluție destul de lentă în timp a întregului proces de consolidare.

Comparativ cu încercările de laborator în consolidometru și aparatul triaxial, determinarea de consolidare a pământurilor cu placa de probă produce impresia unei evoluții uniforme a tasărilor în timp, care tind în ritm lent către valorile lor stabilizate.

4.3. Concluzii asupra cercetărilor experimentale de laborator și de teren

Prin analiza comparativă a diagramelor de consolidare pentru pământuri, rezultată din cercetările experimentale de laborator și " in situ ", se desprind o serie de concluzii utile pentru cercetare și practică.

4.3.1. Din determinările experimentale de laborator în consolidometru

Se constată că în procesul de consolidare a pământurilor tasările urmărite pe probe de pământ tulburate sînt apreciabil mai mici decît tasările pe probe netulburate similar efectuate, adică de cca cinci ori mai mici.

Procesul de consolidare secundară marcat prin palierul de curgere se instalează mai lent la probele de pământ netulburate, cu un decalaj de cca 8 ore și 20 minute.

Probele de pământ netulburate cu incluziuni prezintă în consolidare o intensificare a procesului respectiv, cu cca 20%, care crește odată cu mărirea treptei de încărcare. Intervalul de timp care marchează consolidarea secundară se mărește cu un decalaj de 16 ore și 40 minute pînă la 48 ore, deci o întîrziere mult mai mare.

Concluziile referitoare la consolidarea probelor de pământ în consolidometru întăresc convingerea că în cazul probelor cu incluziuni se evidențiază practic și un proces de consolidare terțiară adițional, care se suprapune peste procesul de consolidare secundară curent.

Mărirea decalajului de timp indică creșterea efectului de interacțiune între fazele componente ale pământului, cu pondere ridicată pentru faza evasistabilă. Procesul filtrațional de scurgere a fluidului din pori (apă + particule solide) se desfășoară mult mai lent.

4.3.2. Din determinările experimentale de laborator în aparatul triaxial se constată diferențe valorice sensibil apropiate ca ordin de mărime între tasările probelor de pământ tulburate și netulburate.

Analiza comparativă a diagramelor de consolidare pe probe de pământ tulburate evasimogene și cu incluziuni oferă o imagine interesantă prezentată pe cele cinci trepte de încărcare, de la fig.4.23, și pînă la fig.4.27 inclusiv.

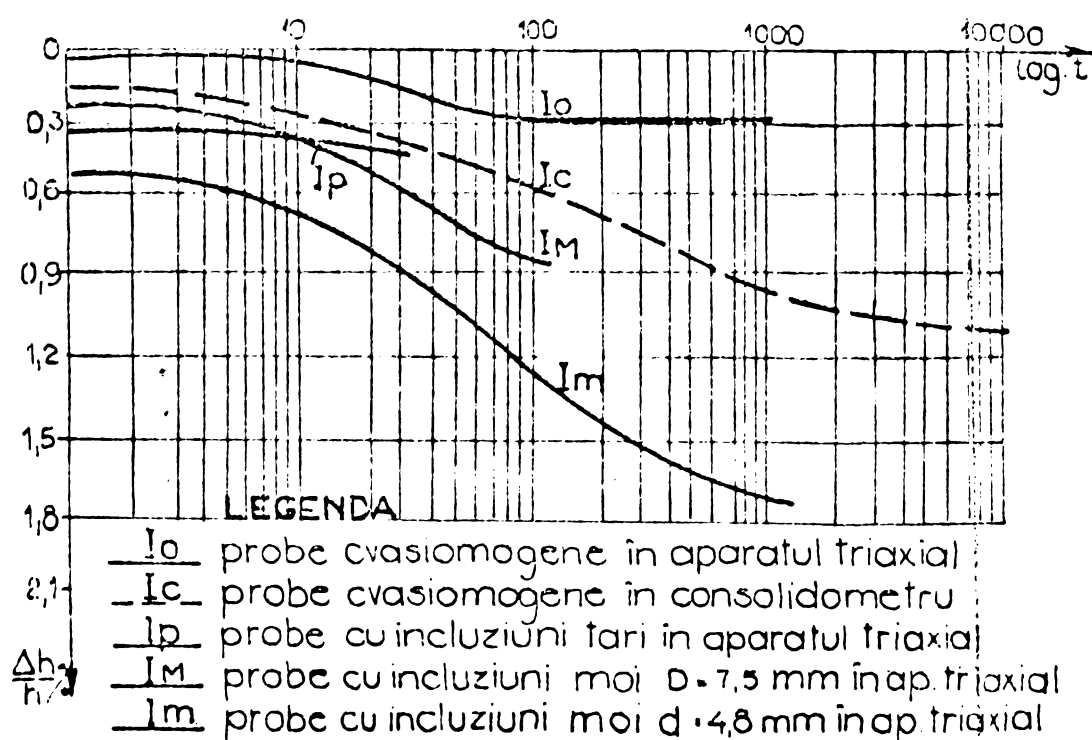


Fig.4.23. Diagramme comparative de consolidare în consolidometru și aparatul triaxial pe probe de pământ tulburate cvasiomogene și cu incluziuni pentru I-a treaptă de încărcare.

Se remarcă o diferență sensibilă între tasările pe probe cvasiomogene în consolidometru și aparatul triaxial. De asemenea intrarea în palierul de curgere specific consolidării secundare prezintă un decalaj cu cca 16 ore și 40 minute mai lent la probele cvasiomogene din consolidometru.

Se observă evident că probele de pământ cu incluziuni moi din aparatul triaxial evoluează vizibil mai intens în procesul de consolidare la toate cele cinci trepte de încărcare și cu tasări procentual mai mari cu cca 20%.

4.3.3. Din determinările experimentale de consolidare în laborator, în consolidometru și aparatul triaxial, rezultă valorile relative ale tasărilor în timp și parametrii clasici de consolidare a_v , m_v , e_v și k_c . Aceste valori servesc în continuare la determinarea modurilor elastici necunoscuți λ, μ, L, M, ξ și \mathcal{M} , legați de parametrii elastici de consolidare prin intermediul unei metode corelative. Aceasta admite ipoteze simplificatoare și condiții restrictive echivalente.

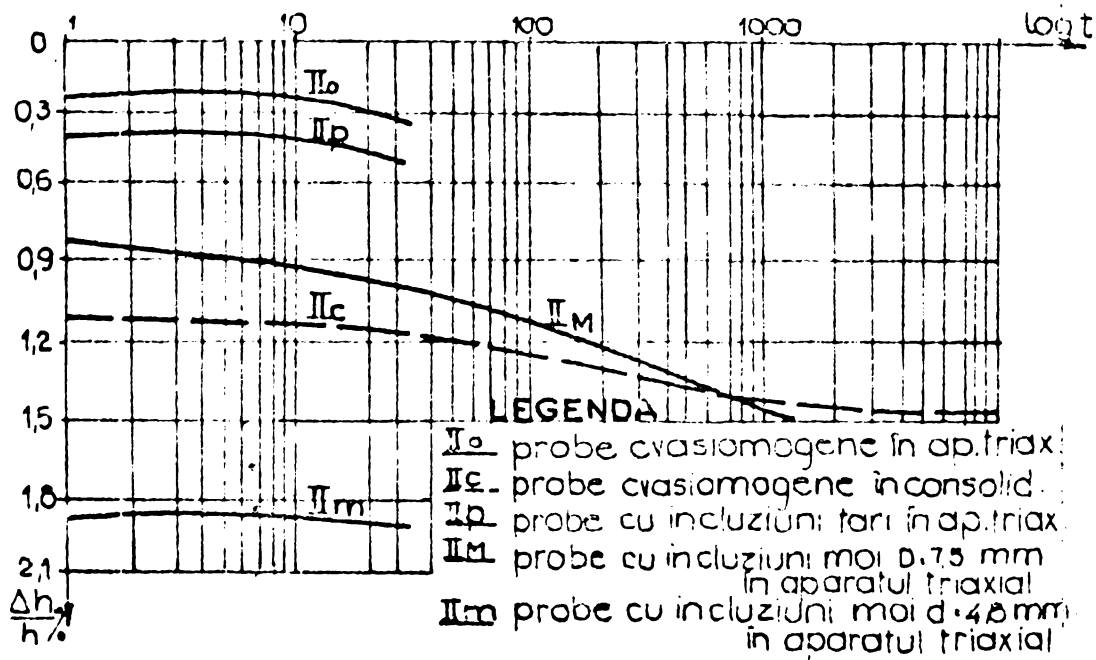


Fig.4.24. Diagramme comparative de consolidare în consolidometru și aparatul triaxial pe probe de pământ tulburate cvasiomogene și cu incluziuni pentru a II-a treaptă de încărcare.

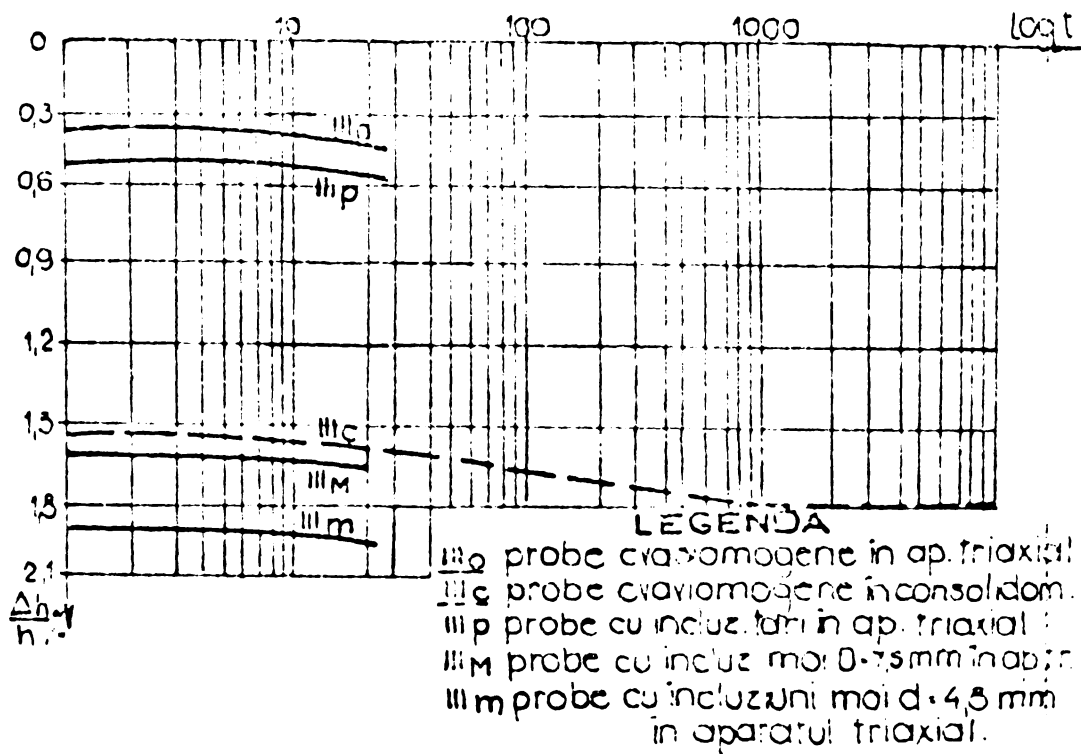


Fig.4.25. Diagramme comparative de consolidare în consolidometru și aparatul triaxial pe probe de pământ tulburate cvasiomogene și cu incluziuni pentru a III-a treaptă de încărcare.

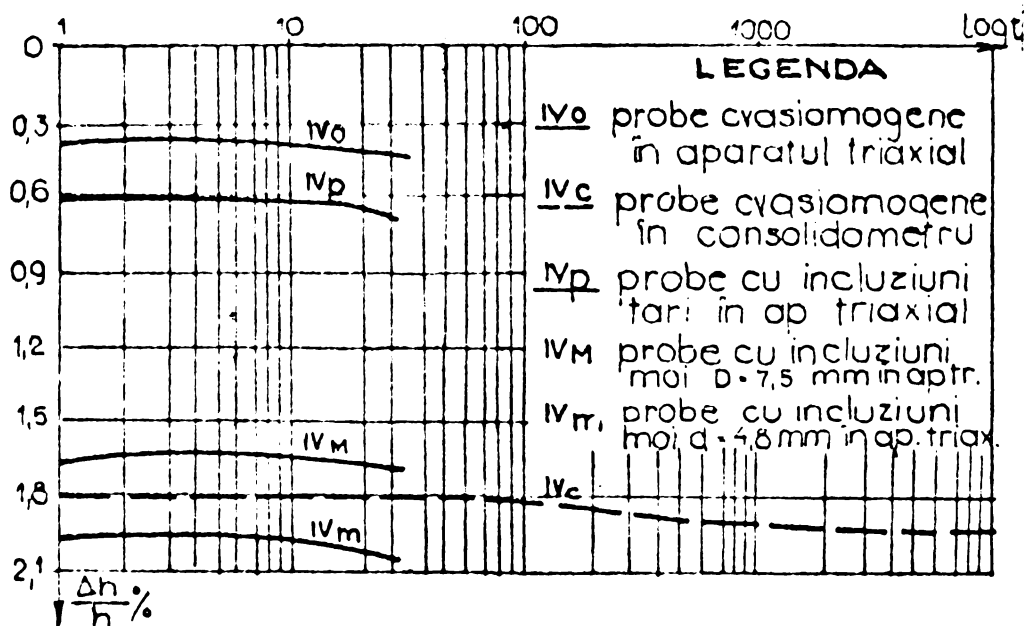


Fig.4.26. Diagrame comparative de consolidare în consolidometru și aparatul triaxial pe probe de pământ tulburate cvasiomogene și cu incluziuni pentru a IV-a treaptă de încărcare.

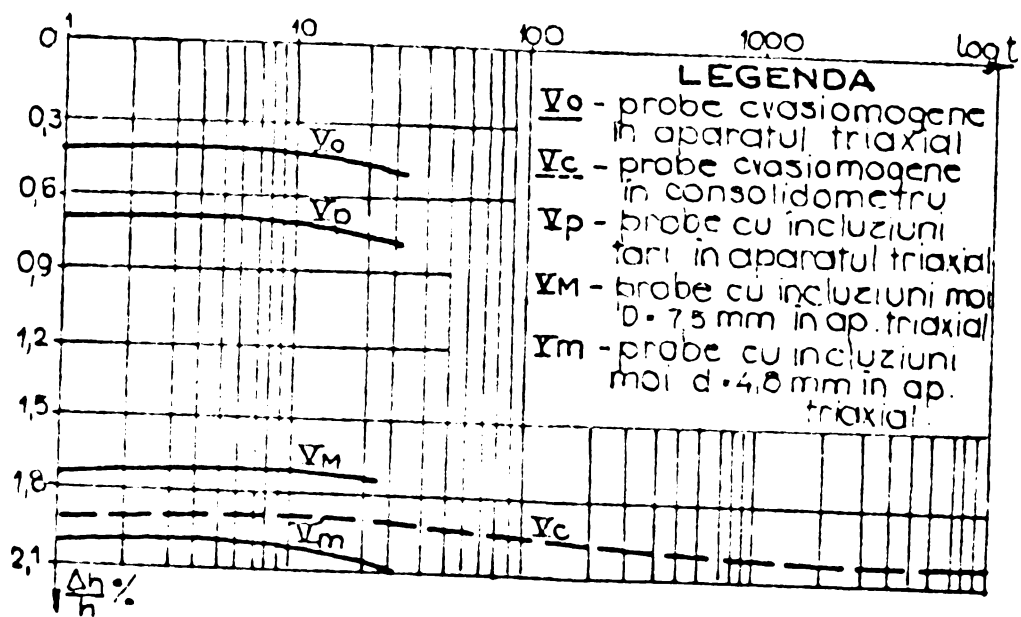


Fig.4.27. Diagrame comparative de consolidare în consolidometru și aparatul triaxial pe probe de pământ tulburate cvasiomogene și cu incluziuni pentru a V-a treaptă de încărcare.

4.3.4. În vederea ilustrării concrete a eficienței metodei de calcul propuse de autor și deci a aplicabilității ei în practică, se va aborda în continuare un exemplu de calcul concret. În acest scop se vor lua în considerare determinările experimentale de laborator cu aparatul triaxial, deoarece rezultatele privind tasările din consolidare au un grad de împrăștiere mai mic și deci o gamă de variație mai restrânsă.

4.3.5. Determinările experimentale " in situ " cu placa de probă servesc atât la corelarea cu rezultatele de laborator, cât și la verificarea tasărilor determinate pe teren cu aceleași rezultate din calcul.

C A P I T O L U L V

=====

VALORIFICAREA CERCETĂRILOR PRIVIND CONSOLIDAREA MĂSIVELOR
DIN PĂMÎNT CU MOBILITATE INTERNĂ ȘI FAZĂ COMPLEXĂ MOBILĂ

Pentru a ilustra valabilitatea și aplicabilitatea noii teorii de consolidare a pământurilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă se introduce valorificarea teoretică și practică a rezultatelor din domeniul reologiei pământurilor.

In acest scop se recurge la adoptarea unei metode corelative, cu ajutorul căreia se leagă formulele stabilite pentru consolidarea primară, secundară și terțiară a pământurilor cu parametrii clasici de consolidare determinați experimental.

Cu aceste premize se trece la calculul efectiv al tasărilor elastice într-un masiv din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

Deoarece modul de rezolvare practică este indirect și recurge la o serie de ipoteze simplificatoare și condiții restrictive, se impune fie adaptarea aparaturii existente, fie crearea unei aparaturi adecvate cercetărilor reologice.

5.1. Indicații de proiectare

In vederea aplicării practice a formulelor de calcul pentru tasările elastice și viscoelastice din consolidarea primară, secundară și terțiară a pământurilor se trece la corelarea modulilor elastici cu parametrii clasici de consolidare.

In acest mod se stabilesc soluții particulare pentru modulii λ , μ , L , M , ξ și caracteristici consolidării primare a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

In aceste condiții se trece la calculul tasărilor unui masiv din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, în stadiul de consolidare primară.

După evaluarea datelor de intrare din programul de calcul pentru consolidarea primară se rulează programul de consolidare cu schema logică care indică valorile parțiale și finale ale tasărilor la o serie de pași de timp.

Valorificarea noii teorii de consolidare a pământurilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă se axează pe criterii comparative. Aceasta se realizează prin reprezentarea grafică a evoluției în timp a procesului de consolidare la pământuri în diverse forme clasice, alături de noua versiune modernă

5.1.1. Corelarea modurilor elastici de consolidare primară cu parametrii clasici ai consolidării masivelor din pământ

În cadrul unei metodologii generale de determinare experimentală a modurilor elastice $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}$ și \mathcal{M}_0 , incluși în valorile finale ale tensiunilor elastice din relațiile (2.90) și (2.91), se poate recurge la texte de consolidare izotropă și anizotropă.

Dacă se admite o stare de deformare sferică realizată într-o incintă închisă, prin aplicarea unei presiuni uniforme asupra unei probe din modelul bifazic adaptat, rezultă condițiile :

$$\varepsilon_{ij} = \delta_{ij} \frac{\vartheta}{3}, \quad \tau_{ij} = \delta_{ij} \frac{\vartheta}{3}. \quad (5.1)$$

Prin introducerea condițiilor (5.1) în ecuațiile constitutive (2.18) se ajunge la relațiile :

$$\sigma_{ij} = \delta_{ij} \left[\left(\lambda + \frac{2\mu}{3} \right) \vartheta + L + \frac{2M}{3} \vartheta \right] \quad (5.2)$$

$$\tau_{ij} = \delta_{ij} \left[\left(L + \frac{2M}{3} \vartheta + \left(\mathcal{L} + \frac{2\mathcal{M}_0}{3} \right) \vartheta \right) \right] \quad (5.3)$$

de unde :

$$\sigma = \sigma_{ii} = (3\lambda + 2\mu) \vartheta + (3L + 2M) \vartheta \quad (5.4)$$

$$\tau = \tau_{ii} = (3L + 2M) \vartheta + (3\mathcal{L} + 2\mathcal{M}_0) \vartheta. \quad (5.5)$$

Se presupune că apar aceleași dilatări atât în faza cvasistabilă cât și în faza mobilă, fapt care se poate asigura experimentul prin etanșizarea conturului probei, de unde rezultă condiția de constrângere a mobilității:

$$\vartheta = 0. \quad (5.6)$$

Relațiile (5.4) și (5.5) se exprimă sub forma :

$$\frac{\sigma_1}{\vartheta_1} = 3\lambda + 2\mu + 3L + 2M \quad (5.7)$$

$$\frac{\tau_1}{\vartheta_1} = 3L + 2M + 3\mathcal{L} + 2\mathcal{M}_0 \quad (5.8)$$

și permit determinarea sumei $3L + 2M$, în funcție de $\lambda, \mu, \mathcal{L}, \mathcal{M}_0$ și de valorile măsurate ale presiunilor σ_1 din faza stabilă și respec-

tiv $\tilde{\tau}_1$ din faza mobilă.

Dacă se admite o stare de deformare deviatorică realizată asupra unei probe din modelul bifazic adoptat care este supusă la forfecare, rezultă condițiile :

$$\varepsilon_{ij}^D = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \frac{\theta}{3}, \quad \theta \approx 0 \quad (5.9)$$

$$E_{ij}^D = E_{ij} - \delta_{ij} \frac{\theta}{3}, \quad \theta \approx 0. \quad (5.10)$$

Prin introducerea condițiilor (5.9) și (5.10) în ecuațiile constitutive (2.18) se ajunge la relațiile :

$$\sigma_{ij}^D = 2\mu \varepsilon_{ij}^D + 2M E_{ij}^D \quad (5.11)$$

$$\tau_{ij}^D = 2M \varepsilon_{ij}^D + 2M E_{ij}^D. \quad (5.12)$$

Se presupune că atât faza cvasistabilă cât și faza mobilă sînt constrînse la aceeași deformare de lunecare pe contur de unde rezultă condiția de constrîngere a deformabilității :

$$\varepsilon_{ij}^D = E_{ij}^D \quad (5.13)$$

Relațiile (5.11) și (5.12) se exprimă sub forma :

$$\frac{\sigma_2^D}{2\varepsilon_2^D} = \mu + M \quad (5.14)$$

$$\frac{\tau_2^D}{2\varepsilon_2^D} = M + M_0 \quad (5.15)$$

și permit determinarea modulului M în funcție de μ , M_0 și de valorile măsurate ale eforturilor unitare σ_2^D din faza cvasistabilă și respectiv τ_2^D din faza mobilă.

În aceste condiții, după determinarea modulului M din relațiile (5.14) și (5.15) se deduce și modulul L din relațiile (5.7) și (5.8).

Pentru compatibilitate este necesar ca toate relațiile pentru $\sigma_1, \tilde{\tau}_1, \sigma_2$ și τ_2 să fie verificate.

Se presupune în continuare pentru faza cvasistabilă o stare indeformabilă ($\varepsilon_{ij} = 0$), fapt care se poate realiza cu ajutorul unui contur rigid în care se introduce proba, dar care permite filtrarea fazei mobile. Acest test poate fi realizat în măsura în care este posibilă filtrarea fazei mobile.

Pentru același test se consideră o stare de deformare deviatorică a unei probe supuse la forfecare.

Prin înlocuire în ecuațiile constitutive (2.18) se ajunge la relația :

$$\frac{\sigma_3^D}{2 E_2^D} = M \quad (5.16)$$

în care σ_3^D reprezintă valoarea măsurată a efortului unitar.

Se consideră un ultim test pentru o stare de deformare sferică și o fază cvasistabilă indeformabilă ($\epsilon_{ij} = 0$).

Prin înlocuire în ecuațiile constitutive (2.18) rezultă relația :

$$\frac{\sigma_4}{\theta_4} = 3L + 2M \quad (5.17)$$

în care σ_4 reprezintă valoarea măsurată a efortului unitar.

Din relațiile (5.7), (5.8), (5.15), (5.16) și (5.17) se pot determina modulii $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}, \mathcal{M}$ sub formă explicită :

$$\lambda = \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_1}{\theta_1} - 2\mu - 3L - 2M \right), \quad L = \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_4}{\theta_4} - 2M \right), \quad M = \frac{\sigma_3^D}{2E_3^D} \quad (5.18)$$

$$\mu = \frac{\sigma_2^D}{2E_2^D} - \frac{\sigma_3^D}{2E_3^D}, \quad \mathcal{L} = \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_1}{\theta_1} - 3L - 2M - 2\mathcal{M} \right), \quad \mathcal{M} = \frac{\tau_2^D}{2E_2^D} - \frac{\sigma_3^D}{2E_3^D}.$$

Pentru a se ajunge la elaborarea unor rezultate practice în proiectare se trece la corelarea modurilor elastici de consolidare primară cu parametrii curenți de consolidare ai masivelor din pământ.

În cadrul unei metodologii speciale de determinare prin corelare a modurilor elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}, \mathcal{M}$, se consideră legea de curgere a lui Darcy sub forma :

$$V_i = k_c h_w, i \quad (5.19)$$

în care V_i reprezintă viteza fluidului, k_c este coeficientul de permeabilitate clasic și h_w este nivelul fluidului, înțelegând prin fluid apa cu particule solide în suspensie.

Dacă se notează cu p presiunea fluidului și cu γ_w densitatea acestuia, corelarea între presiune și nivelul fluidului devine :

$$p = \gamma_w h_w. \quad (5.20)$$

Ecuatia de conservare a masei fluidului rezultă sub forma :

$$V_{i,i} = \frac{e}{1+e} \quad (5.21)$$

in care e reprezintă porozitatea mediului.

Corelarea între porozitate și presiune se stabilește prin coeficientul de compresibilitate a_v din relația :

$$\dot{e} = a_v \dot{p} . \quad (5.22)$$

Dacă se notează cu U_i deplasările în fluid, rezultă relațiile :

$$U_i = V_i = \Theta , \quad U_{i,i} = V_{i,i} = \dot{\Theta} . \quad (5.23)$$

Din relațiile (5.19) și (5.20) se elimină nivelul fluidului h_w și rezultă :

$$\frac{\delta_w^v}{k_c} V_i = p_{,i} \quad (5.24)$$

După (5.23) ecuația de conservare a masei fluidului devine :

$$\dot{\Theta} = \frac{e}{1+e} \quad (5.25)$$

și ținând seama de (5.22) se scriu relațiile:

$$\dot{e} = (1+e) \dot{\Theta} = a_v \dot{p} . \quad (5.26)$$

După (5.23) relația (5.24) devine :

$$\frac{\delta_w^v}{k} \Theta = p_{,i} = \frac{1+e}{a_v} \dot{\Theta} . \quad (5.27)$$

de unde :

$$\Theta = \frac{k_c}{\delta_w^v} \frac{1+e}{a_v} \dot{\Theta} = \frac{k}{\delta_w^v m_v} \dot{\Theta} \quad (5.28)$$

și dacă :

$$C_v = \frac{k_c}{\delta_w^v m_v} \quad \text{pentru } m_v = \frac{a_v}{1+e}$$

se ajunge la corelarea :

$$\Theta = C_v \dot{\Theta} . \quad (5.29)$$

Se consideră relația (2.19) care exprimă extinderea legii de curgere a lui Darcy la mediul bifazic sub forma :

$$b(U-U)_{,i} = \tilde{\tau}_{ij,j} - R\ddot{U}_i - G_i \quad (5.30)$$

unde pentru faza solidă stabilă rezultă $u_i = 0$, iar în cazul static și fără forțe de masă $R\ddot{U}_i = 0$ și $G_i = 0$.

Dacă $\tilde{\tau}_{ij}$ se reduce la o presiune atunci $\tilde{\tau}_{ij} = \delta_{ij} p$ și deci ecuația (5.30) devine pentru $U_i = V_i$:

$$b V_i = p, i \quad (5.31)$$

care prin comparare cu (5.24) leagă pe b coeficientul lui Darcy, de δ_w și k prin relația :

$$b = \frac{\delta_w}{k} \cdot \quad (5.32)$$

Se consideră a doua ecuație din sistemul în deplasări pentru medii izotrope (5.23) transcrisă sub forma :

$$b(U-u)_i = (L+M)\theta_{,i} + M u_{,i} + (\mathcal{L}+2\mathcal{M})\theta_{,i} + U_{,i} + R\ddot{U}_i - G_i \quad (5.33)$$

în care se admite o stare de deformare sferică și rămân valabile ipotezele de la (5.30). Cu notațiile din (5.23) se ajunge la corelația :

$$b\theta = (\mathcal{L} + 2\mathcal{M}) \dot{\theta} \quad (5.34)$$

care prin comparare cu (5.29) leagă pe \mathcal{L} și \mathcal{M} modulii fazei mobile, de m_v coeficientul de compresibilitate volumică prin relația :

$$\mathcal{L} + 2\mathcal{M} = bC_v = \frac{\delta_w}{k} \frac{k}{\delta_w m_v} = \frac{1}{m_v} \cdot \quad (5.35)$$

Se consideră a doua ecuație din sistemul de ecuații constitutive (2.18) în care se admite o stare de deformare sferică de unde :

$$\tilde{\tau}_{ii} = -p_{ii} = -3p = (3\mathcal{L} + 2\mathcal{M}) \theta. \quad (5.36)$$

Dacă se admite un proces de consolidare caracterizat printr-o lege de forma :

$$p = p_0(x, y, z) e^{-t/r} \quad (5.37)$$

și se introduce în (5.26) se va avea :

$$(1+e) \dot{\theta} = -\frac{p_0}{r} a_v e^{-t/r}. \quad (5.38)$$

Rezultă analog din (5.30) prin derivare în raport cu timpul :

$$\frac{3 p_0}{r} e^{-t/r} = (3\mathcal{L} + 2\mathcal{M}) \dot{\theta}. \quad (5.39)$$

Comparând relațiile (5.38) și (5.39) se deduce corelația între \mathcal{L} și \mathcal{M} modulii fazei mobile și coeficienții e și a_v sub forma :

$$3\mathcal{L} + 2\mathcal{M} = -\frac{3(1+e)}{a_v}. \quad (5.40)$$

Din relațiile de echivalență (5.35) și (5.40) rezultă modulii

L și M , prin corelarea cu parametrii de consolidare clasici pentru pământuri :

$$L = \frac{3(1+e)}{2 a_v} + \frac{1}{2 m_v} \quad (5.41)$$

$$M = \frac{3(1+e)}{2 a_v} - \frac{3}{2 m_v} \quad (5.42)$$

În concluzie teoriile existente de consolidare pentru pământuri permit numai o determinare parțială a modurilor din teoria generală a consolidării mediilor continue cu mobilitate internă și fază complexă mobilă, caracterizată de un timp de relaxare τ . În general teoriile existente de consolidare sînt foarte restrictive și nu pot conduce la o echivalență mai completă.

În măsura în care efectele de interacțiune între faza cvasistabilă și faza mobilă nu pot fi neglijate se renunță la corelarea cu parametrii clasici de consolidare, considerată ca necorespunzătoare și se recurge la teste suplimentare pentru stări de deformare de tip sferic și deviatoric.

5.1.2. Calculul tasărilor unui masiv din pământ pe baza relațiilor de calcul stabilite și a caracteristicilor experimentale determinate

Din procesul de consolidare primară a masivelor din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă rezultă expresiile analitice ale tasărilor instantanee și în timp pentru faza cvasistabilă (2.123) și pentru faza mobilă (2.124).

Pentru a ilustra forma explicită și gradul de complexitate al acestor relații le reproducem în întregime :

$$s_{\infty} = \bar{1}(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} + \bar{1}(t) \left\{ \frac{2h(L+2M + L + 2M)^2}{(\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + L + 2M)[(L+2M)(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \cdot \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-B_n t}) \right\}$$

$$s_{\infty} = \bar{1}(t) \frac{h}{\lambda + 2\mu + 2(L+2M)} - \bar{1}(t) \frac{K}{E} \left\{ \frac{2h(L+2M + L + 2M)^2}{(\lambda + 2\mu + 2(L+2M) + L + 2M)[(L+2M)(\lambda + 2\mu) - (L+2M)^2]} \cdot \sum_0^{\infty} \frac{1}{k_n^2} (1 - e^{-A_n t}) \right\}$$

în care se introduc notațiile :

$$\beta_n = \frac{k_n^2 [(\lambda+2\mu)(L+2M) - (L+2M)^2]}{bh^2 [\lambda+2\mu+2(L+2M)+L_0+2M_0]} \text{ pentru } k_n = (n+1/2)\pi$$

$$\frac{1}{k} = \frac{\lambda+2\mu+2(L+2M)+L_0+2M_0}{L+2M+L_0+2M_0}$$

$$K = 1-k.$$

În aceste expresii analitice apar modulii elastici prin λ și μ constantele lui Lamé, L și M modulul elastic longitudinal și respectiv transversal pentru deformația fazei cvasistabile, L_0 și M_0 modulul elastic longitudinal și respectiv transversal al fazei mobile.

Prin corelare cu parametrii clasici de consolidare rezultă relațiile :

$$b = \frac{\gamma_w}{k_c}$$

$$L_0 = \frac{3(1+e)}{2a_v} + \frac{1}{2m_v}$$

$$M_0 = \frac{3(1+e)}{2a_v} - \frac{3}{2m_v}$$

în care se notează : γ_w - greutatea volumetrică a fazei mobile ; k_c - coeficientul de permeabilitate clasic ; e - indicele de porozitate ; a_v - coeficientul de compresibilitate ; m_v - modulul de compresibilitate volumică.

Analizînd diagramele de consolidare triaxială pe probe tulburate de argilă omogenă (fig.4.16) și cu incluziuni moi (fig.4.18), prima treaptă de încărcare de $2,573 \text{ daN/cm}^2$, rezultă valorile experimentale ale tasărilor relative de $(\frac{\Delta h}{h})\% = 0,029$ și respectiv de $(\frac{\Delta h}{h})\% = 0,185$, considerate în palierul de curgere.

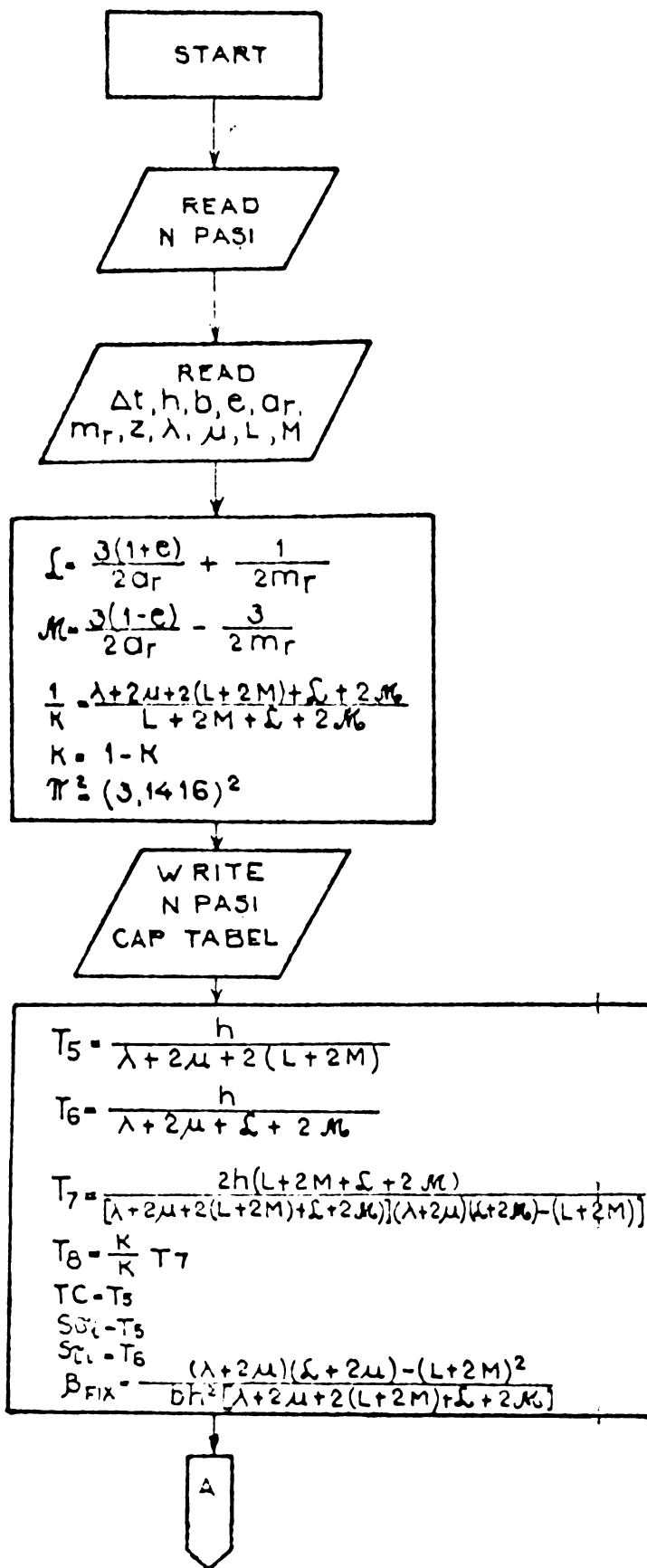
Pentru probele omogene se consideră valorile caracteristice $h = 1,00\text{m}$, $\gamma_w = 1000 \text{ daN/m}^3$, $k = 6,6 \cdot 10^{-3}$, $\mu = 0,4$, $w = 20\%$, $n=48,4\%$ și $e_0 = 0,94$.

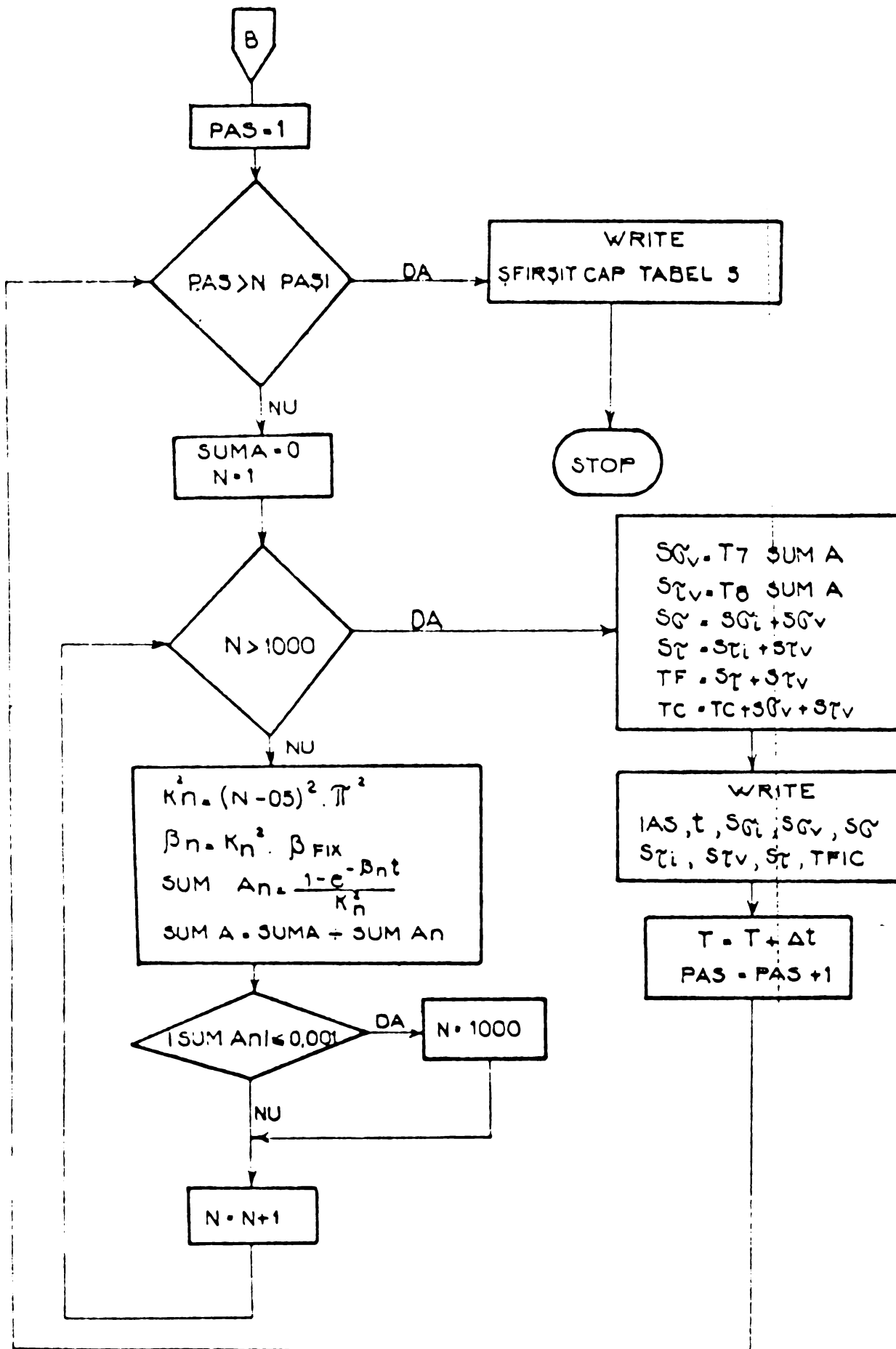
În vederea elaborării unui program de calcul pentru tasările din consolidarea primară se estimează următoarele date de intrare :

$$\Delta e = \Delta \left(\frac{\Delta h}{h} \right) (1+e_0) = 0,185(1+0,940) = 0,359$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{0,359}{2,573} = 0,139 \text{ cm}^2/\text{daN}$$

SCHEMA LOGICĂ A PROGRAMULUI PENTRU
TASĂRILE DIN CONSOLIDAREA PRIMARĂ





$$m_v^i = \frac{\Delta\left(\frac{\Delta h}{h}\right)}{\Delta p} = \frac{0,185}{2,573} = 0,072 \text{ cm}^2/\text{daN}$$

$$m_v^o = \frac{\Delta\left(\frac{\Delta h}{h}\right)}{\Delta p} = \frac{0,029}{2,573} = 0,011 \text{ cm}^2/\text{daN}$$

$$M^o = \frac{1}{m_v^o} = \frac{1}{0,011} = 90,909 \text{ daN/cm}^2$$

$$= \frac{M(1+)(1-2)}{1-} = \frac{90,909(1+0,4)(1-2,04)}{1-0,4} = 42,424 \text{ daN/cm}^2$$

$$b = \frac{1000 \text{ daN/m}^3}{6,6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = \frac{1}{1,1 \cdot 10^{-6}} \text{ daN min/cm}^3.$$

Se notează cu $\bar{1}(t)$ funcția lui Heaviside variabilă în intervalul de la zero la unu, t fiind timpul și Δt pasul de timp.

Din schema logică a programului de calcul pentru tasările din consolidarea primară rezultă datele de intrare, algoritmul de calcul și etapele importante în succesiunea lor logică. Programul de calcul utilizat afișează treapta de încărcare, numărul pașilor de timp, tasările instantanee, variabile și finale, atât pentru faza cvasistabilă cât și pentru faza mobilă, tasările totale și cumulate la o serie de pași de timp.

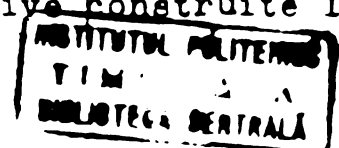
Din programul de calcul pentru tasările din consolidarea primară a exemplului de calcul prezentat, rezultă că pentru încărcarea unitară, la al 800-lea pas de timp, se produce o tasare cumulată de 2,73978 cm.

5.2. Aparatura de laborator adecvată cercetărilor reologice privind masivele din pământ

Cercetările reologice privind comportarea masivelor din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă crează un nou domeniu important în mecanica pământurilor.

În vederea unei valorificări cât mai complete pentru practică s-a recurs la o serie de asamblări, adaptări și asimilări ale aparaturii de specialitate.

Deoarece se consideră necesară realizarea unei aparaturi de laborator de strictă specialitate se propun pentru început testări de probă, în vederea omologării cu cele două dispozitive construite la



INCERC București în acest scop.

Dispozitivul pentru măsurarea relaxării la pământuri argilose, (fig.5.1) este compus dintr-un cadru metalic cu o grîndă superioară, o grîndă inferioară și două coloane laterale. Pe cele două coloane se montează traductoare electrorezistive care se pot lega la o punte tensometrică. Coloanele sînt solidarizate la partea inferioară cu suportul aparatului care este un schelet metalic din țevi de profil dreptunghiular, pe care se sudează o placă.

Numărul ales de traductoare active este de patru, pentru măsurarea eforturilor pe cele trei direcții, iar în total va fi de opt traductoare, incluzînd și traductoarele de compensare.

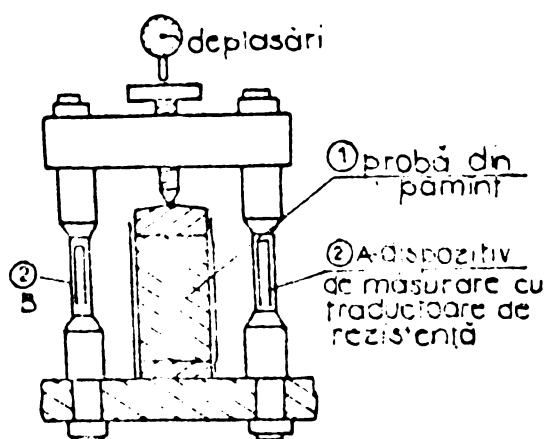


Fig.5.1. Dispozitiv pentru măsurarea tensiunilor de relaxare la pământuri argilose.

Dispozitivul este dotat cu un microcomparator care urmărește deplasarea capului superior al unui șurub și măsoară deformarea probei datorită forței de încărcare.

Proba de pământ se montează între două plăci și este închisă într-un înveliș elastic, deci avînd deformația laterală liberă.

Cu ajutorul unui șurub se aplică o anumită forță de încărcare, după care se ci-

tește la puntea tensometrică scăderea progresivă a efortului, la o valoare constantă a deformației probei.

Dispozitivul pentru determinarea fluajului la pământuri argiloase din fig.5.2. este compus din următoarele subansamble : cilindrul hidraulic, dispozitivul de măsurare și acumulatorul gravitațional.

Cadrul dispozitivului este alcătuit din două grîndi, una inferioară și alta superioară, distanțate între ele prin două coloane.

Cilindrul hidraulic este susținut de patru tiranți, fiind legat cu acumulatorul prin intermediul unui furtun flexibil.

Legătura dintre dispozitivul de măsurare și pistonul cilindrului hidraulic se face printr-un sistem de platane cu centrare pe bilă.

Supportul dispozitivului de care se solidarizează tiranții și coloanele se realizează dintr-un cadru metalic alcătuit din țevi cu

profil dreptunghiular și o placă metalică, sudate între ele.

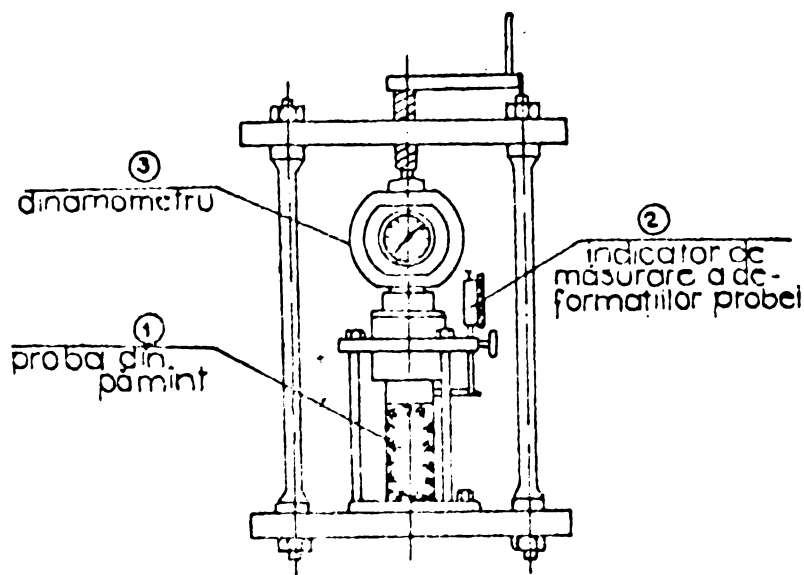


Fig.5.2. Dispozitiv pentru măsurarea rezistenței de lungă durată la pământuri argiloase.

Pentru măsurarea tasării în trepte dispozitivul este dotat cu un micro-comparator cu cadran, a cărui tijă palpează un suport fixat pe tija pistonului inferior.

Schema hidraulică este compusă din următoarele elemente: acumulatorul gravitațional, cilindrul hidraulic și robinetul pe circuitul de legătură.

Principiul schemei hidraulice este de a alimenta cilindrul hidraulic în

cursa activă cu o presiune constantă.

Acumulatorul gravitațional este realizat dintr-un cilindru vertical așezat pe o talpă, cu racord de legătură la partea inferioară și un piston plonjor pe al cărui teler se așează setul de greutăți etalonate pentru obținerea presiunii propuse.

Cilindrul hidraulic este alcătuit dintr-un cilindru cămasă de care este sudată plauza de susținere centrală, racordurile pentru legătură și două pistoane. Pistonul inferior urmărește tasarea probei de pământ și pistonul superior transmite forța dispozitivului de înregistrare. Între cele două pistoane se menține o presiune constantă prin legătura la acumulatorul gravitațional.

Proba de pământ se introduce între platou și corpul pistonului inferior, fiind închisă într-un înveliș elastic, deci având deformația laterală liberă.

Se încarcă dispozitivul prin rotirea șurubului și se menține forța de încărcare constantă, prin blocare cu o piuliță.

Cilindrul hidraulic, având presiunea constantă între cele două pistoane, are posibilitatea să urmărească, cu pistonul inferior, variația tasării probei de pământ, care se citește cu ajutorul micro-comparatorului.

Acumulatorul gravitațional este astfel dimensionat încât permite

menținerea unei presiuni constante de $5,2 \text{ daN/cm}^2$ în tot timpul încercării, prin coborîrea sistemului sub acțiunea greutății de pe tuler.

La sfîrșitul determinării se ridică greutatea acumulatorului și pistonul se readuce normal în poziția inițială golind cilindrul de ulei, după care se închide robinetul de legătură între cei doi recipiente.

5.3. Concluzii asupra valorificării cercetărilor privind consolidarea masivelor din pămînt

Preocuparea autorului pentru valorificarea cercetărilor privind consolidarea masivelor din pămînt cu mobilitate internă și fază complexă mobilă a condus la evaluarea tasărilor în timp, exprimată prin relații de calcul și aparatură specializată pentru relaxarea și curgerea lentă a pămînturilor argiloase.

5.3.1. O problemă esențială în proiectarea masivelor din pămînt depinde în mare măsură de calculul tasărilor în timp.

În acest context, autorul a elaborat pentru prima dată în literatura tehnică de specialitate relații de calcul pentru tasările în timp din consolidarea primară (2.127) și (2.129) și din consolidarea secundară și terțiară (3.186).

Pentru a determina tasările din consolidare ale masivelor din pămînt s-a adoptat o metodă corelativă, care leagă modulii elastici λ, μ, L, M, S și cu parametrii elastici de consolidare a_v, C_v, m_v și k_c .

Aceste noi relații s-au asociat cu expresiile analitice ale tasărilor în funcție de factorul timp și de caracteristicile experimentale rezultate din încercările de laborator și de teren.

5.3.2. În vederea determinării experimentale a tasărilor în timp s-a recurs la asimilarea și realizarea unor dispozitive, pentru relaxarea și curgerea lentă a pămînturilor argiloase (fig.5.1 și fig. 5.2).

În acest sens s-au executat la INCERC București două asemenea dispozitive care pot fi utilizate în cercetările experimentale privind consolidarea în timp.

5.3.3. Comparativ cu teoriile de consolidare clasice, noua teorie de consolidare a masivelor din pămînt încearcă să modeleze cît mai fidel fenomenul fizic real și să evalueze cît mai exact tasările

din consolidarea primară, secundară și terțiară, aducând ca noutate mobilitatea fazelor și complexitatea fazei mobile.

În concluzie rezultatele experimentale de laborator și de teren au confirmat astfel modelul fizic și de calcul adoptat de autor în noua teorie de consolidare a masivelor din pământ.

CAPITOLUL VI

CONTRIBUTII ASUPRA STUDIILOR SI CERCEȚĂRILOR EFECTUATE

Cercetările teoretice și experimentale privind comportarea reologică a masivelor din pământ se întrepătrund cu preocupările proiectantului. Acesta prin activitatea sa de concepție caută să garanteze că deformațiile care vor apare, vor avea o mărime și o evoluție în timp compatibilă cu o funcționare normală a construcției, în condiții de exploatare optime. Din aspectele prezentate anterior rezultă că dacă asupra masivelor din pământ acționează un sistem de încărcări, efectele produse ca răspuns la acțiunea acestuia pot produce deformații limitate, curgere viscoasă sau chiar rupere. În aceste condiții apare ca necesară formularea unei teorii de curgere lentă la pământuri, care completată cu cercetările experimentale corespunzătoare poate să asigure integritatea structurală a construcțiilor respective în decursul timpului. În acest scop s-au întreprins studiile și cercetările prezentate în lucrare și din care se desprind unele concluzii utile pentru practică.

În acest cadru se expun o serie de contribuții grupate cronologic, pe probleme specifice unui anumit domeniu de activitate.

6.1. Contribuții referitoare la stabilirea unei noi direcții de cercetare a procesului de consolidare a pământurilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

6.1.1. În scopul stabilirii unei direcții de cercetare în consolidarea pământurilor se recurge la prospectarea unui număr de 105 titluri bibliografice de specialitate ale unora dintre cei mai cunoscuți autori. Se analizează conținutul lucrărilor din literatura tehnică de specialitate, menționate în bibliografie, pentru a se ajunge la selectarea materialelor parcurse. Se trece la sistematizarea sintetică a acestora pe probleme specifice, pentru a pune în evidență unele aspecte nestudiate sau mai puțin studiate din domeniul reologiei pământurilor. Se propune alegerea procesului de consolidare a pământ-

turilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă /1.5/.

6.1.2. Studiile și cercetările teoretice și experimentale privind procesul de consolidare a masivelor din pământ necesită prezentarea unor aspecte caracteristice. Acestea se leagă de structura pământurilor /1.1/ și de comportarea lor fizico-mecanică /1.2/, /1.3/. Deși procesul de consolidare a pământurilor este mult dezbătut în literatura tehnică de specialitate, totuși nu se consideră integral rezolvat. În acest sens se abordează procesul de consolidare terțiară, pentru medii cu mobilitate internă și fază complexă mobilă /1.5/.

6.1.3. Prin încadrarea cercetărilor teoretice și experimentale în cronologia istorică, se crează o imagine utilă pentru procesul de consolidare la pământuri. Datele istorice prezentate critic și comparativ elucidează situația reală și conturează fidel direcția pe care trebuie să se axeze cercetările de specialitate /1.4/.

6.1.4. Se consideră că alegerea unui model fizic (fig.2.1) și matematic bifazic /2.3/, /3.1/ reprezintă aproximația cea mai rezonabilă în cazul cercetat. Pe lângă faptul că aceasta este destul de apropiată de situația reală, prezintă și un grad de aproximare suficient de exact.

6.1.5. Se justifică alegerea metodei și metodologiei de calcul prin considerarea caracterului elastic și viscoelastic al procesului de consolidare în masivele din pământ, corelat cu efectele de mobilitate ale fazelor componente /2.1/.

6.2. Contribuții și completări a teoriei referitoare la studierea aspectului fundamental al consolidării pământurilor

6.2.1. Se adoptă modelul fizic bifazic din fig.2.1 cu caracter complex, fapt care se apreciază ca o condiție de aproximare necesară și suficientă, în procesul de consolidare a masivelor din pământ. Aceasta permite studierea mai aprofundată a consolidării pământurilor și dezvoltarea unor aspecte mai variate, spre deosebire de teoriile clasice existente. În acest caz se analizează comportarea viscoelastică a fazei complexe mobile, în cadrul general al comportării viscoelastice a mediilor cu consolidare. Acest fapt reprezintă o apropiere apreciabilă de modul real de comportare a masivelor din pământ /2.1/.

6.2.2. Se adaptează în cadrul lucrării un model matematic complex, pentru medii cu mobilitate internă și fază complexă mobilă /2.3/, /3.1/ care conferă posibilități de generalizare și perspective de extindere în viitor. În privința mobilității elastice și viscoelastice, masivele din pământ se asimilează cu mediile mecanice duale /2.1 - 2.6/ și /3.1/, fapt care contribuie la elucidarea teoretică a fenomenului fizic real.

6.2.3. Pentru explicitarea formulelor teoretice se introduc modulii elastici din expresiile (2.17) având rolul de a cuprinde atât aspectul global prin λ, μ cât și aspectul de interacțiune între faze prin L, M, \mathcal{L} și M_0 .

6.2.4. Se presupune că proprietățile masivelor din pământ care se consolidează corespund unei comportări elastice pentru deformații rapide instantanee și unei comportări viscoase pentru deformații lente în timp. În acest caz, modulii elastici se înlocuiesc prin polinoame dependente de parametrul p , în spațiul transformat Laplace. În acest mod se reprezintă de fapt proprietățile de curgere și de relaxare ale fazelor componente în procesul de consolidare a pământurilor /3.1/, /3.5/, /3.6/. De aici decurg soluțiile pentru consolidarea unidimensională a semispațiului viscoelastic cu un timp de relaxare (3.35) și cu doi timpi de relaxare (3.146).

6.2.5. Se evaluează modulii elastici necunoscuți care rezultă din cercetările teoretice /4.3/, /4.4/ și experimentale /4.1/, prin intermediul unei metode de corelare a parametrilor caracteristici stabiliți, cu parametrii clasici din teoriile de consolidare existente la pământuri.

6.3. Contribuții referitoare la punerea în evidență a unor fenomene specifice în procesul de consolidare a pământurilor

6.3.1. Se consideră caracterul viscoelastic al fazei complexe mobile la pământuri, concomitent cu comportarea viscoelastică de ansamblu. Acest aspect condiționează dezvoltarea procesului de consolidare terțiară la pământuri, ca efect al consolidării fazei complexe mobile. Cercetările întreprinse în această direcție se bazează pe a-

nalogia dintre mediile viscoelastice cu mobilitate internă și masivele din pământ cu fază complexă mobilă. În realitate, pământurile sînt cvasiomogene, adică conțin o anumită cantitate de material de umplură sub formă de incluziuni, fapt care confirmă valabilitatea practică a consolidării adiționale /1.5/, /2.1/.

6.4. Contribuții referitoare la elaborarea unei noi teorii de consolidare la pământuri

6.4.1. Se asimilează teoria de consolidare a masivelor din pământ cu mobilitate modernă și fază complexă mobilă, cu teoria de consolidare Biot M.A. pentru medii poroase solide elastice și viscoelastice /11/, /13/, transpusă matematic de Freudenthal A.M. și Spillers W.R. /27/. Se asociază teoria de consolidare Mișicu M. pentru medii elastice și viscoelastice cu mobilitate internă, corelată cu mecanica duală a mediilor continue /54/, /55/. Se recurge la aceste adaptări pentru a ilustra comportarea reală a pământurilor, considerate ca medii bifazice /2.1/, /2.3/, /3.1/, analoge mediilor cu consolidare din teoriile clasice și moderne.

6.4.2. În cadrul studiilor teoretice se preia metoda funcțiilor potențial de tip Neuger-Papkovitch-Darcy /2.6/, care se generalizează în /2.7/ pentru tasarea din consolidarea primară a semispațiului. Aceasta permite formularea analitică a tasărilor din consolidarea primară (2.130), (2.131) pentru faza cvasistabilă și (2.126), (2.127) pentru faza mobilă (2.128), (2.129).

6.4.3. În continuarea studiilor teoretice privind consolidarea secundară a semispațiului se preiau ecuațiile constitutive sub formă funcțională (3.5) și se stabilesc legile variante caracteristice (3.7), (3.8), (3.9) și (3.10). Se alege varianta (3.9) care exprimă proprietățile viscoelastice ale mediilor cu consolidare, în spațiul transformat Laplace. Acest fapt permite determinarea soluțiilor pentru consolidarea secundară cu un timp de relaxare /3.5/ și cu doi timpi de relaxare /3.7/.

6.4.4. În cadrul cercetărilor teoretice, se extinde soluția dată de Biot M.A. pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un timp de relaxare. Se analizează în continuare cazul similitudinii viscoelastice omogene și cazul similitudinii viscoelastice slab neomogene. În

aceste condiții se trece la determinarea soluției generalizate pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un timp de relaxare.

6.4.5. În continuarea cercetărilor teoretice privind consolidarea secundară a semispațiului cu doi timpi de relaxare și se analizează cazul similitudinii viscoelastice omogene, de unde rezultă expresiile (3.185) și (3.186).

6.5. Contribuții referitoare la evaluarea analitică a tasărilor elastice și viscoelastice în raport cu timpul

6.5.1. Ca urmare a studiilor și cercetărilor teoretice privind consolidarea masivelor din pământ cu mobilitate internă și fază completă mobilă, rezultă expresiile analitice ale tasărilor din ambele faze în raport cu timpul, în stadiul elastic (2.90), (2.91) și în stadiul viscoelastic (3.20), (3.21).

Aceste relații matematice permit evaluarea practică și suficient de exactă a tasărilor în timp, la structurile de pământ sau din materiale locale și în general la fundațiile construcțiilor.

6.5.2. Se determină analitic tasările viscoelastice din consolidarea masivelor din pământ în cazul similitudinii viscoelastice omogene a semispațiului (3.35), (3.36) și în cazul similitudinii viscoelastice slab neomogene a semispațiului (3.51), (3.52). Se recurge la determinarea prin generalizare a formulelor pentru tasările viscoelastice din consolidare ale semispațiului, cu un timp de relaxare (3.56), (3.57).

Prin dezvoltarea acestor cazuri particulare și prin generalizarea lor se extinde sfera de aplicabilitate practică a evaluării tasărilor din consolidare, în raport cu timpul.

6.5.3. În continuare se determină analitic tasările viscoelastice de consolidare, pentru cazul similitudinii viscoelastice omogene a semispațiului, cu doi timpi de relaxare (3.74), (3.75).

Prin extinderea numărului de relaxare soluțiile pentru tasările viscoelastice ale semispațiului se evaluează cu o precizie sporită, deși calculul devine mai complicat.

6.6. Contribuții referitoare la valorificarea în prezent
a teoriei de consolidare la pământuri cu mobilitate
internă și fază complexă mobilă

6.6.1. Pentru rezolvarea integrală a valorilor analitice ale tasărilor elastice din consolidare la pământuri în raport cu timpul, se introduce o metodă particulară /4.3/ de determinare a modulilor elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}$ și \mathcal{M} (4.18). Aceasta permite evaluarea modulilor elastici necunoscuți, incluși în formulele finale ale tasărilor elastice (2.90), (2.91).

6.6.2. În vederea rezolvării imediate a valorilor analitice ale tasărilor elastice din consolidare la pământuri în raport cu timpul, se introduce o metodă de corelare /4.4/ pentru determinarea modulilor elastici $\lambda, \mu, L, M, \mathcal{L}$ și \mathcal{M} (4.29), (4.32), (4.41). Aceasta permite evaluarea imediată a modulilor elastici necunoscuți cu ajutorul parametrilor caracteristici existenți la pământuri.

6.6.3. În scopul determinării practice a tasărilor din consolidare pentru evaluarea lor pe criterii comparative în raport cu tasările calculate, se recurge la teste experimentale realizate sau asimilate. Acestea se efectuează în laborator și "în situ", cu aparatura specifică existentă sau adaptată la pământuri și cu o metodologie adecvată /4.1.1/, /4.1.2/, /4.2/.

6.6.4. Pentru a evalua practic tasările din consolidare pentru masivele din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă se recurge la elaborarea unui program de calcul. Acesta s-a pus la punct numai pentru stadiul elastic de consolidare la pământuri și figurează în cadrul lucrării prin schema logică anexată. Cu ajutorul programului de calcul proiectantul de specialitate poate obține exact și rapid valorile tasărilor din consolidare. Efortul proiectantului se reduce la simpla introducere a datelor de intrare pentru calculator și la extragerea din program a valorilor pentru tasările care îl interesează în final sau la un moment dat.

6.6.5. Pentru a ilustra eficacitatea practică a teoriei de consolidare propuse, se consideră un exemplu de calcul, testat experimental cu noua metodă și metodologia /4.5/. Rezultă valori concludente pentru

tasările de consolidare *primară* la pământuri.

6.7. Orientări privind valorificarea în viitor a teoriei de consolidare la pământuri cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

6.7.1. Pentru cercetările viitoare se sugerează adoptarea unui model fizic și matematic în completarea modelului bifazic tratat în lucrare trifazic pentru consolidarea masivelor din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă. Acesta ar conduce la o evaluare mai exactă a tasărilor în domeniul elastic și viscoelastic calculate și la o apropiere mai intimă de fenomenul fizic real.

6.7.2. Se propune în viitor adoptarea unui model de consolidare viscoelastoplastic, care poate să abordeze mai fidel și mai amplu procesul de consolidare la pământuri.

6.7.3. În funcție de gradul de complexitate a mediilor structurale analizate și de posibilitățile de memoriu ale calculatorului, se recurge la considerarea unui număr mai mare de timpi de relaxare. Acest fapt conduce la rezultate mai exacte și mai apropiate de realitatea fizică.

6.7.4. Se consideră necesară stabilirea unor diagrame de variație ale modulilor elastici și viscoelastici, după legi liniare sau neliniare, în funcție de caracteristicile fizico-mecanice ale pământurilor. Aceasta conduce la evaluarea reală a modulilor elastici și viscoelastici, utilizați în expresiile analitice ale tasărilor din masivele din pământ.

6.7.5. Se consideră oportună realizarea unui program de calcul pentru evaluarea tasărilor viscoelastice din consolidare pentru pământuri. Programele de calcul pentru consolidare în stadiul elastic și în stadiul viscoelastic pot fi legate cu elementele geometrice ale structurilor de pământ, pentru diverse tipuri de încărcări curente.

6.7.6. În vederea inițierii unui amplu program de cercetări și determinări experimentale de laborator și de teren pentru evaluarea tasărilor din consolidare la pământuri, este necesară procurarea unei aparaturi de specialitate. Prin acțiunea de adoptare prin asimilare și realizarea unei aparaturi pentru consolidarea pământurilor, s-ar putea

stabili date mai exacte în evaluarea tasărilor, pe baza unor orientări comparative concludente.

6.7.7. Pentru tasările din consolidare la pământuri se pot stabili criterii de selecție comparative pe bază teoretică și experimentală. Acestea se pot corela cu rezultatele existente, preluate din băncile de date. Pe această cale se pot prognoza, eficient și rapid, valorile reale ale tasărilor din consolidare pentru masivele din pământ cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

B I B L I O G R A F I E

=====

1. Andrei S. - " Apa în pământurile nesaturate ", București 1967.
2. Andrei S., Antonescu I. - " Geotehnica și Fundații ", București 1980
3. Antonescu I. - " Manual de laborator geotehnic ", București 1978.
4. Barden L. - " Primary and secondary consolidation of clay and peat ", Geotechnique no. 8, 1968
5. Băncilă I., Florea M.N., Potă D.I., Georgescu M., Lazăr L.F., Mocanu Gh., Moldoveanu T., Munteanu Ala, Privighetoriță C., Văduva C., Zamfirescu F., " Geologie inginerească ", București 1980.
6. Bălă M. - " Baraje din materiale locale ", București 1977.
7. Boles A., Mihăilescu C., Mihăilescu St. - " Calculul construcțiilor amplasate pe terenuri deformabile. Interacțiunea - structură - fundație - teren ", București 1977.
8. Biarez T., Pierrard J.M. et Wiendieck K. - " Quelques aspects de la loi rhéologique des sols ", IUTAM Symposium Grenoble, 1964.
9. Biarez T., Pierrard J.M., Wiendieck K. et Absi E. - " Rhéologie des sols ", Proceedings of the Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Montreal, 1965.
10. Biot M.A. - " Theory of stress - strain, relations in anisotropic viscoelasticity and relaxation phenomena ", no. 25, 1965.
11. Biot M.A. - " Theory of elasticity and consolidation for a porous anisotropic solid ", Journal of Applied Physics no. 26, 1955.
- 11.a Eotea E., - " Geotehnică și fundații ", București 1959

12. Biot M.A. - " General solutions of the equations of elasticity and consolidation for a porous material ", Journal of Applied Mechanics no. 23, 1956.
13. Biot M.A. - " Theory of deformation of a porous viscoelastic anisotropic solid ", Journal of Applied Physica no. 27, 1956.
14. Bishop A.W. and Henkel D.T. - " The measurement of soil properties in the triaxial test ", London, 1962.
15. Cambefort H. - " Eléments de rhéologie en Mécanique des Sols ", Annales de l'I.T.B.T.P. no. 337, Paris, 1976.
16. Caquot A. și Kerisel T. - " Tratat de Mecanica Pământurilor ", București, 1968.
17. Christensen R.W. and Wu T.H. - " Analysis of clay deformation as a rate process ", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. ASCE vol.90, S M 6, 1964.
18. Christensen R.M. - " Theory of viscoelasticity ", London, 1977.
19. Christie I.F. - " Secondary compression effects during one dimensional consolidation test ", Proceedings 6 th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Montreal, 1965.
20. Cristescu N., Suliciu T. - " Viscoplasticitate ", București, 1976.
21. Davies E.H. and Raymond G.P. - " A non - linear theory of consolidation " Géotechnique no. 2, 1965.
22. Davies E.H. and Raymond G.P. - " A non - linear theory of consolidation " Géotechnique no. 15, 1965.
23. Derski W. - " A method of solving of the system of equations of consolidation theory ", Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences no. 10, 1964.
24. Eringen A.C. - " Mechanics of continua " , London, 1968.

25. Félix B. - " Le fluage des sols argileux. Etude bibliographique ", Paris, 1980.
26. Florin V.A. - " Fundamentals of soil mechanics ", Gestrizdat, vol. 2, 1961.
27. Freudenthal A.M. and Spillers W.R. - " Solutions for the infinite layer and the half - space for quasi - static consolidating elastic and viscoelastic media ", Journal of Applied Physica no. 9, 1962.
28. Garlanger T.E. - " The consolidation of soils exhibiting creep under constant effective stress ", Geotechnique no. 1, 1972.
29. Gibson R.E. - " The analytical method in soil mechanics " Géotechnique no. 2, 1974.
30. Goldstein M.N. - " Proprietățile mecanice ale pământurilor " Moscova , 1971.
31. Gurtin M.E., and Sternberg E. - " On the linear theory of viscoelasticity " Archiva for Rational Mechanics and Analysis, no. 4, 1962.
32. Hawley T.G., and Borin D.L. - " A unified theory for the consolidation of clays ", Proceedings 8 - th.Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1973.
33. Jaeger J.C., Neustead G.H. - " Introducere în teoria transformării Laplace cu aplicații în tehnică ", București, 1971.
34. Janbu N. - " Consolidation of clay layers based on nonlinear stress - strain ", Proceedings 6 - th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Montreal, 1965.
35. Josselin de Jong - " Consolidation models consisting of an assembly of viscous elements of a cavity channel network ", Géotechnique no.18, 1968.

36. Ladd C.C., Foott R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G.
- " Stress deformation and strength characteristics ", Proceedings Int.Conf.Soil Me-
chanics Found. Eng., Tokyo, 1977.
37. Lambe T.W.
- " Stress path method ", ASCE vol. 93, S M6,
1967.
38. Lo K.Y.
- " Secondary compression of clays ", ASCE
vol. 87, S M 4, 1961.
39. Lowe J.
- " New concepts in consolidation and settle-
ment analysis ", ASCE vol. 100 G T E,
1974.
40. Lăilor Nicolae, Păunescu Marin.
- " Geotehnică și Fundații ", București, 1973
41. Malvern L.E.
- "Introduction to the mechanics of a conti-
nuous medium ", New Jersey, 1965.
42. Mandel J.
- " Consolidation des Sols " (Etude mathé-
matique), Géotechnique no.3, 1953.
43. Mc Nabb A.
- " A mathematical treatment of one - dimen-
sional soil consolidation ", Quarterly
of Applied Mathematics, no. 4, 1960.
44. Mitchell J.K.
- " Fundamentals of soil behaviour ", New
York, 1976.
45. Mișicu M.
- " Derivation of a continuum theory of dis-
locations on the basis of an estimative
analysis of crystal lattices ", Int.Conf.
on Th.of.Dislocations, N.B. Washington,
1960.
46. Mișicu M.
- " Mecanica mediilor deformabile ", Bucureș-
ti, 1967.
47. Mișicu M.
- " Rheo - mobility and structural creep ",
Rev. Roum. Sci. Techn. - Méc. Appl. no.
16, 1971.
48. Mișicu M.
- " Reduction of the analysis of structural
nonhomogenous bodies to the theory of
continuum spectral models ", Rev. Roum.
Sci.Tchn. Sér. Méc. appl.no.16, 1971.

49. Mişicu M. - " Teoria mobilităţii elastice ", Bucureşti, 1972.
50. Mişicu M. - " Dual elastic media in the mechanics of reticular crystalline lattices ", Rev. Roum.Sci Tehn. Méc. Appl. no.17, 1972.
51. Mişicu M. - " The dual continuum with internal mobility effects associated to distributions of quasicracks ", Rev. Roum. Sci. Techn. Méc. Appl. no. 29, 1974.
52. Mişicu M. - " Dual elastic continuum as a direct reduction on form tensional medium with mobility effects associated to regular distributions of quasicracks ", Rev. Roum.Sci.Tech. - Méc. Appl. no.22, 1977.
53. Mişicu M. - " Dual theory of elasticity for media with fission regions ", Rev. Roum. Sci.Tech. Méc. Appl. no.22, 1977.
54. Mişicu M. - " Consolidation induced by internal mobility of elastic media and correlation with dual mechanics of continua ", Revue de Mécanique Appliquée no.2, 1978.
55. Mişicu M. - " Consolidation induced by internal mobility of viscoelastic media and correlations with dual mechanics of continua ", Revue de Mécanique Appliquée no. 3, 1978.
56. Murayama S., and. Shibata T. - " Flow and stress relaxation of clays ", IUTAM Symposium Grenoble, 1964.
57. Murayama S., Sekiguchi H., and Ueda T. - " A study of the stress + strain - time behaviour of saturated clays based on a nonlinear viscoelasticity " Soils and Foundations vol. 14, no.2, 1974.
58. Nowacki W. - " Théorie du fluage " Eyrolles, Paris, 1965.

59. Ohnaki S. - " Determination of consolidation constants of saturated clays ", Soils and Foundations no. 12, 1972.
60. Olson R.E., and Ladd C.C. - " Analysis of one - dimensional consolidation problema ", ASCE , 1976.
61. Olszak W., and Parzyna P." On elastic visco-plastic soils ", IUTAM Symposium Grenoble, 1964.
62. Oroveanu T. - " Scurgerea fluidelor prin medii poroase Bucuresti, 1966.
63. Persoz E. et. al - " Introduction à l'étude de la rhéologie ", Paris, 1960.
64. Pop V. - " Curs de geotehnică ", Institutul Politehnic Cluj, 1965.
65. Reiner M. - " Twelve lectures on theoretical rheology ", Amsterdam, 1949.
66. Reiner M. - " Rheology ", Handbuch der Physik, S. Flügge, Band VI, 1958.
67. Reiner M. - " Déformation , strain and flow ", London, 1960.
68. Roscoe K.H. - " The influence of strains in soil mechanics " , Geotechnique no. 20, 1970.
69. Schiffman R.L. - " The use of viscoelastic stress-strain laws in soil testing ", ASTM 254, 1959.
70. Schiffman R.L., C.C.Ledd and A.T.F.Chen - " The secondary consolidation of clay " IUTUM Congress of Soils, 1964.
71. Schiffman R.L. - " The viscoelastic compression of soil - water systems ", Proceedings Fourth International Congress on Rheology, 1964.
72. Schiffman R.L., Chen A.T.F and Jordan F.C. - " An analysis of consolidation theories ", ASCE vol. 95, S M 1, 1969.
73. Schofield A.N., and Wroth P. -"Critical state soil mechanics ", New York, 1969.
74. Scott R.F. - " New method of consolidation - coefficient evaluation ", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc.ASCE

75. Sekiguchi H. and Tariihara M.
- " Theory of one - dimensional consolidation of clays with consideration of their rheological properties ", soils and Foundations vol.16, no. 1, 1976.
76. Sillion T., Ciobotaru R., Apostolescu R.
- " Geotehnică și fundații " București Editura didactică și pedagogică, 1967.
77. Sillion T.
- " Geologie geotehnică și fundații, vol.III I.P.Iași, 1973.
78. Singh A. and Mitchell J.K.
- " General stress-strain time function for soils ", ASCE vol. 94, S M 1, 1968.
79. Stănculescu I.
- " Geotehnică și fundații ", București, 1968.
80. Stroganov A.S.
- " Sur certaines problèmes rhéologiques de la mécanique des sold ", IUTAM Symposium Grenoble, 1964.
81. Suklje L.
- " Rheological aspects of Soil Mechanics ", London, 1968.
82. Tan Tjong-Kie
- " Secondary time effects and consolidation of clays ", Academia Sinca, China, 1957.
83. Teodosiu Cr.
- " Thérmodynamique, viscoélasticité et elasto-viscoplasticité", Cours la Inst. de Mec. Teoretică și Aplicată la Universitatea din Paris, 1973-1974.
84. Ter.Stepanian G., Meschian S.R., and Galstian R.R.
- " Investigation of creep of clay soils at shear ", Moscova, 1973.
85. Terzaghi K.
- " Méchanique théorique des sols ", Paris, 1951.
86. Tomescu N.
- " Preconsolidarea argilelor și tasarea construcțiilor ", A 3-a Conferință de Geotehnică și Fundații, Timișoara, 1975.
87. Titovici N.A.
- " Mecanica pământurilor ", Moscova, 1961.
88. Titovici N.A., Zărečki Y.K. și alții.
- " Prognoza vitezei de tasare a fundațiilor "

89. Titovici N.A. - " Mecanica pământurilor ", Moscova, 1968.
90. Vaicum Al. - " Contributions à l'établissement des fonctions rhéologiques pour les sols non-saturés fortement compressibles", Rev. Mec. Appl. no, 6, Bucaresti, 1968.
91. Vaicum Al. - " Modèles rheologiques pour le calcul des deformations des sols saturés ", Rev. Mec. Appl. no. 2, Bucarest, 1969.
92. Vaicum Al. - " Solutions structurales concernant les sols saturés fortement compressibles ", Rev. Mec. Appl. no. 1, Bucarest, 1971.
93. Vaicum Al. - " Determinarea deformațiilor în masivele din pământ cu proprietăți relogice și ereditare ", a IV-a Conferință de Mecanică Bucaresti, 1975.
94. Vaicum Al. - " Studiul reologic al corpurilor solide", Bucaresti, 1978.
95. Vyalov S.S. - " Plasticity and creep of cohesive medium IUTAM Symposium Grenoble, 1964.
96. Vyalov S.S. - " Plasticity and creep of cohesive medium Proceedinge 6 - th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Montreal, 1965.
97. Yamanouchi T., and. Yasuhara K. - " Secondary compresion of organic soils "; Soils and Foundations vol. 15, no. 1, 1975.
98. Yong and Warketin - " Introduction to soil behaviour ", New York, 1966.
99. Yoshikuni H. - " A new development of the equation of the equation of consolidation expressed in terms of pore water pressure ", Proc of JSCE, 1973.
100. Zarečki Y.K. - " On the genralization of the theory of N.H. Arttyunian for the media subjected to non linear creep " Reologicheskie voprosy mekhaniki, Alma-Ata, 1964.
101. Zarečki Y.K. - " Teoria consolidării pământurilor ", Moscova, 1967.

102. Wahls H.E. - " Analysis of primary and secondary consolidations ", ASCE vol. 88, S M 6, 1962.
103. Wissa A.E.Z., Christian J.T., Davis L.H. and Heiberg S.
- " Consolidation at constant rate of strain ", ASCE vol. 97, S M 10, 1971.
104. Wu T.H., Resendiz D., and Neukirchner R.J .
- " Analysis of consolidation by rate process theory ", ASCE vol. 92, S M 6, 1966.
105. x x
 x x
Simpozion " Urmărirea tasării construcțiilor ", INCERC, București, 1964.

C U P R I N S

=====

Profată

CAPITOLUL 1. CONSIDERATII PRELIMINARE ASUPRA PROCESULUI DE CONSOLIDARE IN TIMP A MASIVELOR DIN PAMINT

- 1.1. Aspecte caracteristice ale structurii pământurilor
- 1.2. Aspecte generale ale procesului de consolidare în timp la pământuri
- 1.3. Principii și ipoteze care fundamentează procesul de consolidare la pământuri.
- 1.4. Evoluția cronologică a teoriilor de consolidare la pământuri
 - 1.4.1. Dezvoltarea teoriilor de consolidare de la Terzaghi K. la Biot M.A.
 - 1.4.2. Teoriile de consolidare bazate pe modele mecanice.
 - 1.4.3. Dezvoltarea teoriilor de consolidare de la Biot M.A. până în prezent.
- 1.5. Concluzii asupra teoriilor actuale de consolidare la pământuri.

CAPITOLUL 2. STUDII SI CERCETARI TEORETICE PRIVIND CONSOLIDAREA MEDIILOR CU MOBILITATE INTERNA SI FAZA COMPLEXA MOBILA

- 2.1. Efecte de mobilitate a mediilor continue particularizate pentru medii bifazice.
- 2.2. Definierea elementelor și a modului de solicitare pentru fazele componente ale modelului fizic bifazic.
- 2.3. Modelul de calcul bifazic pentru consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă.
- 2.4. Variante ale ecuațiilor fundamentale de consolidare, funcție de presiunea și complexitatea fazei mobile.
- 2.5. Condiții la limită asociate formulării ecuațiilor fundamentale
- 2.6. Reprezentarea soluțiilor prin funcții potențial de tip Neuber - Papkovitch - Darcy

2.7. Soluția generalizată pentru consolidarea primară a semispațiului prin metoda funcțiilor potențial.

2.8. Concluzii privind consolidarea primară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă.

CAPITOLUL 3. STUDII SI CERCETARI TEORETICE PRIVIND CONSOLIDAREA SECUNDARA A MEDIILOR CU MOBILITATE INTERNA LA FAZA COMPLEXA MOBILA

3.1. Modelul de calcul bifazic pentru consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă.

3.2. Soluția viscoelastică pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un singur timp de relaxare

3.3. Studiul similitudinii viscoelastice omogene pentru consolidarea secundară a semispațiului

3.4. Studiul similitudinii viscoelastice slab neomogene pentru consolidarea secundară a semispațiului

3.5. Soluția generalizată pentru consolidarea secundară a semispațiului cu un singur timp de relaxare

3.6. Soluția viscoelastică pentru consolidarea secundară a semispațiului cu doi timpi de relaxare

3.7. Studiul similitudinii viscoelastice omogene pentru consolidarea secundară a semispațiului cu doi timpi de relaxare

3.8. Concluzii privind consolidarea secundară a mediilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

CAPITOLUL 4. CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA CONSOLIDARII MASIVELOR DIN PALINT CU MOBILITATE INTERNA SI FAZA COMPLEXA MOBILA

4.1. Cercetări experimentale de laborator.

4.1.1. Incercări experimentale în consolidometru

4.1.1.1. Aparatura de laborator

4.1.1.2. Metoda de lucru

4.1.1.3. Interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale în consolidometru

4.1.2. Incercări experimentale în aparatul triaxial

4.1.2.1. Aparatura de laborator

4.1.2.2. Metoda de lucru

4.1.2.3. Interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale în aparatul triaxial

4.2. Determinări experimentale " in situ "

4.2.1. Aparatura de teren

4.2.2. Metoda de lucru

4.2.3. Interpretarea rezultatelor determinărilor experimentale " in situ "

4.3. Concluzii asupra cercetărilor experimentale de laborator și de teren

CAPITOLUL 5. VALORIFICAREA CERCETĂRILOR PRIVIND CONSOLIDAREA MASIVELOR DIN PĂMÎNT CU MOBILITATE INTERNĂ ȘI FAZĂ COMPLEXĂ MOBILĂ

5.1. Indicații de proiectare

5.1.1. Corelarea modurilor elastici de consolidare primară cu parametrii clasici ai consolidării masivelor din pământ

5.1.2. Calculul tasărilor unui masiv din pământ pe baza relațiilor de calcul stabilite și a caracteristicilor experimentale determinate

5.2. Aparatura de laborator adecvată cercetărilor reologice privind masivele din pământ

5.3. Concluzii asupra valorificării cercetărilor privind consolidarea masivelor din pământ

CAPITOLUL 6. CONTRIBUȚII ASUPRA STUDIILOR ȘI CERCETĂRILOR EFECTUATE

6.1. Contribuții și completări a teoriei referitoare la stabilirea unei noi direcții de cercetare a procesului de consolidare a pământurilor cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

6.2. Contribuții referitoare la studierea aspectului fundamental al consolidării pământurilor

6.3. Contribuții referitoare la punerea în evidență a unor fenomene specifice în procesul de consolidare a pământurilor

6.4. Contribuții referitoare la elaborarea unei noi teorii de consolidare la pământuri

- 6.5. Contribuții referitoare la evaluarea analitică a tasărilor elastice și viscoelastice în raport cu timpul
- 6.6. Contribuții referitoare la valorificarea în prezent a teoriei de consolidare la pământuri cu mobilitate internă și fază complexă mobilă
- 6.7. Orientări privind valorificarea în viitor a teoriei de consolidare la pământuri cu mobilitate internă și fază complexă mobilă

BIBLIOGRAFIE