

Talajmechanika a mezőgazdaságban

A talajmechanika a talajfizika egy részét képezi. Feladata a fizikai viszonyokon belül csupán a mechanikai tulajdonságok vizsgálata.

A talajmechanika tágabb értelemben egyaránt foglalkozik más építetek közeleivel, a tengerfenék viszonyaival, a távolabb fekvő alsóbb földrétegekkel és a közvetlen közeli felső talajrétegekkel. Ez utóbbinál célszerű megkülönböztetni a néhány 10 méterig terjedő és a néhány 10 cm-ig elterülő réteget. Hangsúlyozni kell azonban, hogy a tágabb értelemben vett talajok felépítésük és viselkedésük tekintetében jelentősen különböznek egymástól.

A gyakorlatban való alkalmazást illetően elsősorban meg kell említeni a földfelszíntől távol levő talajokkal foglalkozó kőzetmechanikát, amelyet a bányaművelés használ fel sokrétű termelési feladatkörében. Megjegyezzük, hogy a geológiában és a talajtanban a kőzet általános fogalmat takar. Alatta olyan különböző szilárdságú ásványtársulásokat értenek, amelyek geológiai egységként vesznek részt a földkéreg felépítésében. A talajmechanikában ezzel szemben csak nagy szilárdság esetén beszélnek kőzetről. Nemkülönböztetve jelentős szerepe van a felső rétegeket tárgyaló talajmechanikának, amelyet általában az építő mérnökök alkalmaznak épületek, vízművek, utak, stb. létesítésével kapcsolatos munkálatoknál. Külön kell azonban választani a legfelső rétegek viszonyait tisztázó szűkebb értelemben vett mezőgazdasági talajmechanikát, amely kifejezetten a mezőgazdasági termelés szempontjából lényeges vékony talajréteggel foglalkozik.

A mezőgazdasági talajmechanika feladata megadni egyrészt azokat a jellemzőket, amelyek a mezőgazdasági tevékenység mechanikai alapjaihoz szükségesek; másrészt kifejleszteni olyan számítási módszereket, amelyekkel mechanikai állapotokat, ill. folyamatokat követni lehet mennyiségileg, (vagy legalábbis minőségi ítéletre alkalmas módon). Hangsúlyozni kell, hogy csak a kifejezetten talajműveléssel összefüggő mechanikai problémák megoldása a feladat, tehát nem tartozik ide

például a mezőgazdasági építésekkel, utakkal, járművekkel kapcsolatos témakör.

A talaj szerkezete lényegesen bonyolultabb, mint a műszaki gyakorlatban felhasznált fémeké, műanyagoké, épületanyagoké. Oka az, hogy a szilárd, víz és levegő alkotóelemek igen sokféle minőségben, mennyiségben, elrendeződésben és kapcsolatban lehetnek egymással. Egy-egy vizsgált térfogaton belül is nagy az inhomogenitás, anizotropia. Természetes, kémiai, biológiai, hő, atmoszférikus hatások folytán állandó változás jön létre, nemkülönböztetve a víztartalom ingadozása miatt. Ezt még fokozza a mesterséges beavatkozás, mint a gépi művelés, műtrágyázás, öntözés, stb. Igen jelentős éppen emiatt az idő szerepe, hogy mikor vizsgáljuk a kérdéses talajtömeget, milyen állapotban, milyen körülmények között.

További nehézséget jelent mezőgazdasági talajmechanikai vizsgálatokban az, hogy a folyamatok általában határhelyzetekkel kapcsolódnak. A talajművelés mindenkor nagyméretű alakváltozással, csúszással, töréssel jár és a feladat leginkább az ehhez tartozó erőhatásokat, technológiát, gépteljesítményt megállapítani. Egyúttal hangsúlyozni kell, hogy ezeknél a feladatoknál többnyire dinamikus hatásokkal kell számolni. Szembeállítva az építőmérnök feladatát, nagy vonalakban azt az jellemzi, hogy a fellépő erőhatások leggyakrabban statikusak, másrészt a terhelési állapotokat a kérdéses talajtérfogatnak biztonságga kell hordania, azaz a határhelyzettől távol állnak. A méretezésben rejlő biztonsági tartalék viszont a számítási bizonytalanságokat kellő mértékben fedezi. E miatt is indokolt különválasztani a klasszikus talajmechanikától a mezőgazdasági talajmechanikát.

Bár az ember ösidők óta közvetlen kapcsolatban áll a legfelsőbb talajrétegekkel, felhasználja azt természetes állapotában vagy beavatkozással, sőt a történelem tanúsága szerint évezredek óta céltudatos tevékenység kapcsán mai szemmel nézve is bámulatra méltó alkotások kapcsolódnak a talajjal, mégis tudományos eredményeket csak mintegy két-

száz éve tartanak nyilván [5]. De kifejezett tudományágként mindössze századunk 20-as évei óta beszélhetünk talajmechanikáról [14]. Hazánk igen hamar felzárkózott ehhez a tudományághoz és ma több intézmény foglalkozik vele az építőmérnöki igényeknek megfelelően [9, 11].

A talajmechanikai elmélet a természet-tudományokhoz hasonlóan egyszerűsítő feltevésekkel állítja elő a matematikai eszközökkel kezelhető modellt. Ezt követően a feladat megoldása jórészt matematikai az úgynevezett határfeltételek, kezdeti feltételek figyelembevételével. Mivel azonban a modell közelítés, a végeredmények ellenőrzése indokolt mérések révén. Csak kellő egyezés után mondható, hogy a modell, illetve a megoldás alkalmazható a gyakorlatban is.

Alapvető feladat, mint egyéb szilárdítási kérdéseknél is, az alakváltozás és a feszültségi viszonyok tisztázása. Egyik legegyszerűbb feltevés szerint a terhelés és a deformáció közti kapcsolat lineáris. Ilyenkor a rugalmasságtan rendelkezésre álló jól kidolgozott eredményeit át lehet venni [8]. Ez a közelítés sok méretezési kérdésnél ma is jól használható. A tényleges folyamatok és határállapotok követésére azonban alkalmatlan. Ezért bonyolultabb modellekkel próbálkoznak az utóbbi évtizedekben, ún. reológiai modellekkel, amelyek az idő szerepét is figyelembe veszik. Igen sokféle elmélet született meg a talaj sokfélesége következtében, melyek ugyan jobb közelítést jelentenek, mint az egyszerű rugalmas modell, de felhasználásuk korlátozott. Különböző elméletekkel nyert eredmények igen eltérő eredményeket nyújtanak, sokszor csupán minőségi ítéletekre alkalmasak. A 60-as évek óta megfigyelhető bizonyos törekvés egységes elmélet kidolgozására, de mind ez ideig nem kellő eredménnyel [12].

Az elmondottak szerint feltétlen szükség van mérésekre. Egyrészt a talaj mechanikai jellemzőinek meghatározására, hogy azokat a modelltörvény alakjának és állandóinak megállapítására felhasználjuk, másrészt a számítások ellenőrzésére, azaz a számított és a tényleges feszültségek, deformációk stb. összehasonlítására.

A mérések egy tekintélyes része laboratóriumi körülmények közt hajtható végre. Sokféle módszert dolgoztak ki e területen [10]. Feltehetően előbb-utóbb egységes módszer szerint fogják az egész világon a legfontosabb méréseket elvégezni, ami az azonos szempontok szerinti megítélés alapja. Tekintettel a talajmintákban mindig jelentkező eltérésekre,

általában jelentős szórással kell számolni. Ezért indokolt sok adat feldolgozása, statisztikus adatok meghatározása.

A mérések másik csoportja a helyszínen folyik le, azaz a talajt természetes, zavartalan állapotában vizsgálja. Ezek közelebb állnak a tényleges problémákhoz az előbbi miatt és azért is, mert elegendő nagy kiterjedésű talajtömeget vizsgálva kiküszöbölődik a kis próbatestek következtében felmerülő bizonytalanság.

Végül meg kell említeni, hogy az elméletek alkalmazásának nehézsége és nem utolsósorban bizonytalansága miatt a gyakorlat sokszor félempirikus, ill. empirikus módszereket használ. Ekkor a kérdéses mennyiségekre bizonyos számú mérésből közvetlen állítanak fel egyszerűen kezelhető összefüggéseket, melyeket csak bizonyos korlátok között használhatnak fel. Sajnos ezekből az összefüggésekből legtöbbször nem lehet az optimális megoldást előállítani, csak szükségmegoldásokat.

Az előbbieken a talajmechanika általános módszereit vázoltuk röviden. Nyilván értelemszerűen alkalmazhatók ezek a mezőgazdasági talajmechanikában is, figyelembe véve az itt felmerülő speciális igényeket. Sajnos e területen igen kevés a publikációk száma, konferenciákon is elvétve szerepel témaként, szervezeten kívűl intézetben foglalkoznak vele. Hazai szerzők tollából alig néhány cikk jelent meg [6, 13]. Igen indokolt a kérdéskomplexummal foglalkozni, átvenni kidolgozott eredményeket és azokat továbbfejleszteni. Ezt a hosszabb távú célt tűzte ki az ATE Mechanika Tanszéke.

Bevezetőnk értelmében a talajmechanika tudományos felhasználása csak akkor lehetséges, ha előzőleg a talaj szükséges mechanikai jellemzőit meghatároztuk. Éppen ezért első lépésként célunk rámutatni arra, hogy milyen mennyiségeket kell megmérni és hogyan lehet a mérést végrehajtani. Meggondolásainkban következetesen alkalmazzuk a műszaki gyakorlatban kikristályosodott szilárdságtan elveit, módszereit.

Mechanikai jellemzők

Közismert a gyakorlatból, hogy talajműveléskor tompa szerszám esetén a a nyomással szembeni ellenállás, éles szerszámnál a szúrási ellenállás, lazításnál a szakítószilárdság szerepe mérvadó. Vizsgáljuk meg ezeket a mechanika általános elvei szerint kissé részletesebben.

A talaj egyik igen lényeges határállapotát a megcsúszás illetve törés jelenti [11]. Ennek bemutatására ragadjuk ki a vizsgált talajtömeget P pontot (1a. áb-

ra). A fellépő erők — külső terhelés, önsúly — hatására itt feszültségek lépnek fel, amelyek összessége a feszültségi állapotot alkotja. Feltételezzük, hogy a talaj homogén és izotróp kontinuum. Bár a talaj szerkezete kis térfogaton belül nem tekinthető ilyennek, de nagyobb térfogatban statisztikusan már igen. Ekkor pedig a feszültségállapot megadására elegendő az egymásra merőleges három főirányban a főfeszültségek azaz $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ismerete (1b. ábra). Ugyanakkor tetszőleges \bar{n} irányban σ normál és rá merőleges \bar{m} irányban τ csúsztató feszültség lép fel (1c. ábra). Grafikusan a feszültségállapotot a Mohr kördiagram ábrázolja (1d. ábra).

A határállapot megkeresése csak kísérleti úton történhet. Képzelnünk el a terhelést úgy növelni, hogy a feszültségállapot fokozatosan közeledjék a töréshez. Ezt elérhetjük például azzal, ha σ_2 feszültséget állandónak tartva csak a σ_1 és σ_3 feszültségeket növeljük. Ez utóbbit viszont megvalósíthatjuk úgy, hogy az 1, 3 főirány síkjába eső \bar{n} -hez tartozó σ feszültséget rögzítjük, majd τ feszültséget növeljük

fokozatosan. Jelentse τ_{\max} a töréshez tartozó csúsztató feszültséget. Ha így minden σ értékhez tartozó τ_{\max} pontot ábrázoljuk, ezek a törésre jellemző határgörbét adják meg Mohr elmélete szerint. Természetesen a görbe felrajzolásához több mérés kell, de néhány mérés már eléggé megadja a határgörbét.

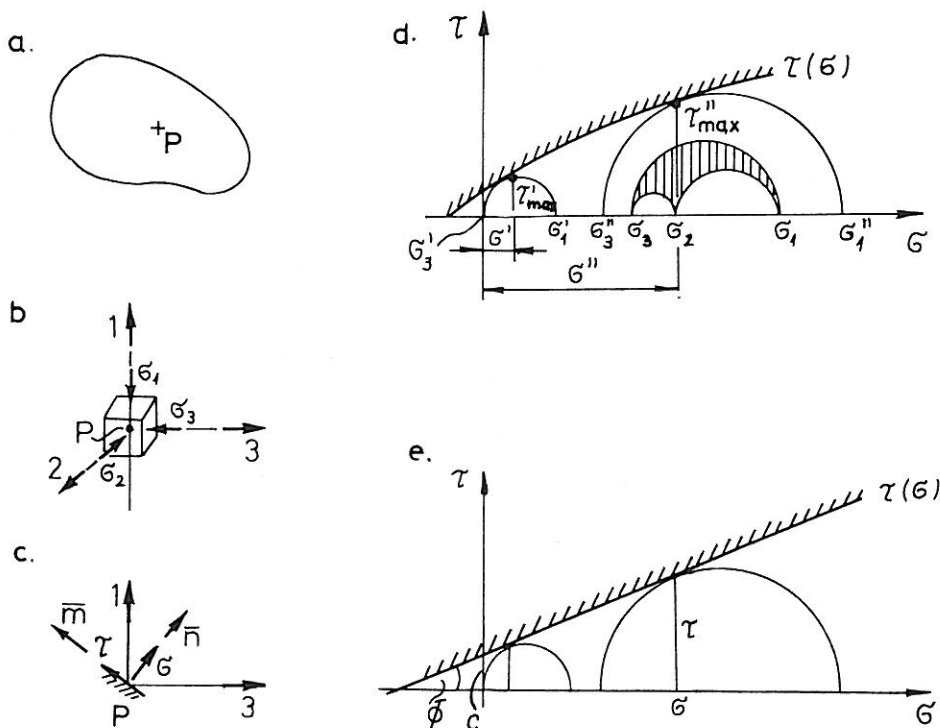
Tapasztalat szerint a határgörbét jól meg lehet közelíteni egy egyenessel (1e. ábra). Ez a felismerés Coulomb nevéhez fűződik. Ilyen feltételezéssel viszont a határgörbe két adattal jellemezhető. Ábránk alapján belátható, hogy

$$\tau = c + \operatorname{tg} \Phi \cdot \sigma$$

a kérdéses egyenes egyenlete. Itt c állandó a kohéziót jelenti, Φ pedig a belső súrlódás szögét.

A törési határállapotra, tehát a talaj szilárdságára jellemző két alapvető mennyiség ezek szerint c és Φ .

Teljesség kedvéért meg kell említeni még azt is, hogy a talaj hosszabb ideig működő terhelésre időtől is függő szilárd



1. ábra
Szilárdsági határgörbe

sági jellemzőkkel válaszol. Mégpedig Φ és c is függ a terhelés időtartamától, a törési határgörbe attól függően lejjebb kerül. Ha pedig váltakozó a terhelés, akkor külön mérésekkel kell meghatározni a megfelelő terhelési határgörbét.

A talaj viselkedését terhelés hatására a bekövetkező deformáció jellemzi. Legegyszerűbb ezt követni egytengelyű feszültségi állapotban, azaz pl. akkor, ha a vizsgált talajpróbatestet mindössze tengelyirányú feszültség terheli (2a. ábra). Ilyekor a deformációt meghatározza

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

tengelyirányú fajlagos nyúlás.

Ha a talaj anyaga fémekhez hasonlóan rugalmas volna, akkor egyszerű lineáris kapcsolat

$$\sigma = E\varepsilon$$

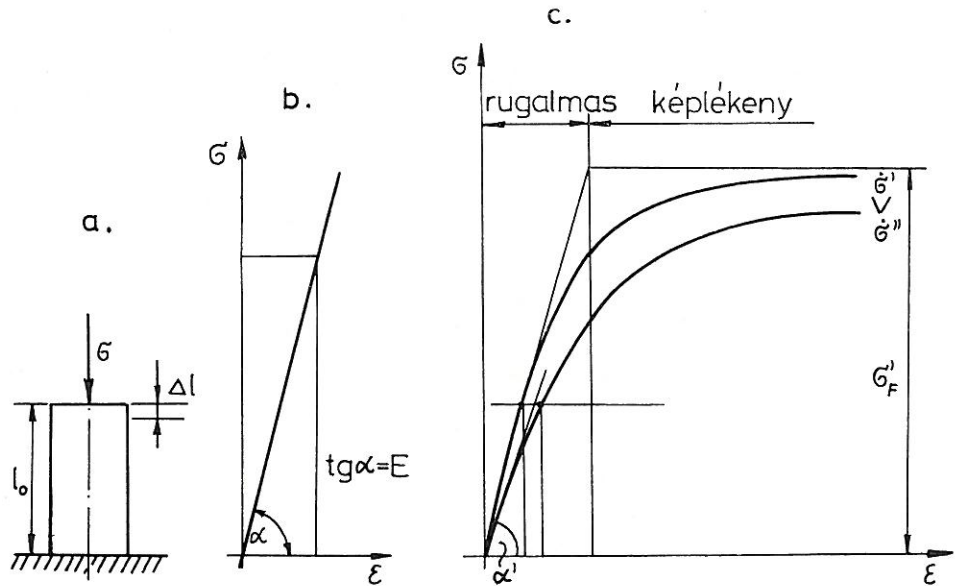
alapján lehetne megállapítani a terheléssel egyidejűleg fellépő deformáció mértékét (2b. ábra). Az összefüggés értelmében az időnek nincs szerepe az alakváltozásban, minden feszültséghez időtől függetlenül az E rugalmassági tényezővel kifejezett deformáció tartozik.

Tapasztalat szerint azonban a talaj nem követi a fenti törvényt. Növeljük a terhelést zérus értékről kiindulva fokoza-

tosan és mérjük a megfelelő deformációt. Mérések alapján a 2c. ábra szerinti görbét kapjuk. Mégpedig a nagyobb terhelési sebesség esetén a feljebb fekvőt. További terhelés növelésével végül bekövetkezik a törés, amikor is a talajminta megreped, majd szétesik darabokra.

Ha a görbe kezdő szakaszát vesszük, azt meg lehet közelíteni ferde érintővel, a végső szakaszát tekintve pedig vízszintessel. Ezzel a fémes anyagok mintájára rugalmas és képlékeny szakasszal jellemezhetjük a talajt. Az első szakaszra jellemző az E rugalmassági tényező, a másodikra pedig a σ_F folyáshatár. Mint a diagramokból látjuk, ez a közelítés igen durva, ezért a tényleges állapotok követésére nem alkalmas, mégha statikus méretezésre megfelelőnek bizonyul is.

Az is kiderül a diagramból, hogy lényeges szerepe van a terheléssz sebességnek, vagyis az időnek. Így viszont a talaj nem tekinthető ideális rugalmas testnek. Ugyancsak a diagram mutat arra rá, hogy a talaj szilárdságát is befolyásolja a terhelés felvitelének módja. Más szóval, indokolt feltenni a kérdést, milyen módon változnak az eddig tárgyalt mechanikai jellemzők az idő függvényében, illetve milyen további jellemzők bevezetése szükséges. Erre a kérdésre választ a reológia nyújt.



2. ábra

Feszültség és deformáció egytengelyű állapotban

Mivel a talaj szerkezeti felépítése miatt szilárd és folyadék közti halmazállapotnak tekinthető, vagy nagy belső súrlódású folyadéknak, ennek megfelelő modelltörvényt kell keresni.

Tételezzük fel, hogy a talaj homogén, izotróp kontinuum, azaz tekintünk el szerkezeti felépítésétől, mikrostruktúrájától. A modelltörvényt valamely függvény fogja megadni, amelyben kapcsolat fejeződik ki σ és ϵ között. Az időt úgy kívánjuk figyelembe venni, hogy az a 2c. ábrán bemutatott görbének megfelelően, azaz szerepeljen benne $\dot{\sigma}$, illetve kissé általánosítva $\dot{\epsilon}$ is:

$$\psi(\sigma, \dot{\sigma}, \epsilon, \dot{\epsilon}) = 0.$$

Legegyszerűbb ezt a függvényt lineárisnak feltételezni, mégpedig

$$\sigma = E\epsilon + V\dot{\epsilon} - R\ddot{\sigma}$$

alakban, amely megfelel az ún. Poynting-Thomson-féle reológiai testnek. Itt E , V , R állandók.

Abban a speciális esetben, ha csak E különbözik zérustól, akkor a Hooke-féle rugalmas (elasztikus) testtel állunk szemben. E az ún. rugalmassági tényező.

Ha csupán V nem zérus, akkor pedig a Newton-féle viszkózus folyadékról van szó, V a viszkozitási tényező.

Végül — mint az későbbiekben kiderül — R az anyag ernyedésére jellemző relaxációs tényező.

Modelltörvényünk ugyan első pillanatra önkényesen választottnak látszik, de az azonnal megállapítható, hogy jobb közelítés, mintha csak az első tagot vennénk figyelembe, azaz csupán rugalmasnak tekintenénk az anyagot. Valóban kifejezésre jut benne a nyúlás és a feszültség sebességének befolyása is. A tapasztalat oldaláról nézve ugyanakkor megállapítható, hogy a talaj felmutat viszkózus jellegű kúszást és relaxációs tulajdonságokat is. Mindenesetre kísérletek döntik el, hogy egyáltalán tekinthető-e a felírt összefüggés modelltörvénynek és milyen közelítéssel. Eddigi tapasztalataink szerint bizonyos talajfélésekre jó közelítéssel tekinthető modelltörvénynek. Ezekre nézve ekkor E , V , R állandók anyagállandókat jelentenek.

Ilyen megfogalmazással azt mondhatjuk, hogy a modelltörvényvel definiált reológiai állandók meghatározása alapvető talajmechanikai feladat.

A modelltörvénynek megfelelő fizikai modellt egyszerűen elő lehet állítani rugalmas és csillapító elemek összekapcsolásával a 3. ábra szerint. Ha erre F erő működik, a rendszer összenyomódása x .

Az erő a két egyenesbe vezetett oldalon megoszlik úgy, hogy

$$F = F_1 + F_2.$$

Az egyes elemek összenyomódását az ábra feltünteti. Az egyenesbevezetés miatt mindkét oldal megnyúlása azonos:

$$x_1 = x = x_2 + x_r.$$

Ebből a két alapösszefüggésből állíthatjuk elő a rendszer differenciálegyenletét. A rugóállandók ismeretében

$$x_1 = c_1 F_1 = x,$$

másrészt

$$x_2 = c_2 F_2 \text{ illetve } \dot{x}_2 = c_2 \dot{F}_2.$$

A csillapítási tényező birtokában pedig

$$\dot{x}_r = \frac{1}{r} F_2.$$

Ezzel

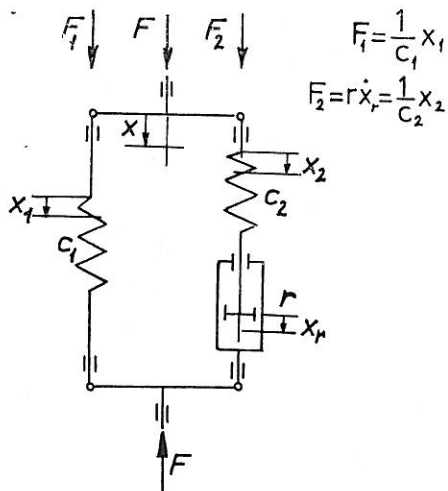
$$\dot{x}_1 = \dot{x}_2 + \dot{x}_r = c_2 \dot{F}_2 + \frac{1}{r} F_2 = \dot{x}.$$

Az erőket kifejezve az egyes összefüggésből

$$F_1 = \frac{1}{c_1} x \text{ illetve } \dot{F}_1 = \frac{1}{c_1} \dot{x},$$

másrészt

$$\begin{aligned} F_2 = r\dot{x} - rc_2\dot{F}_2 = r\dot{x} - rc_2(\dot{F} - \dot{F}_1) = \\ = r\dot{x} + rc_2\frac{1}{c_1}\dot{x} - rc_2 F, \end{aligned}$$



3. ábra Reológiai modell felépítése

felhasználva az erők összegére érvényes összefüggést, majd betéve \dot{F}_1 kifejezését. Összegezés után pedig

$$F_1 + F_2 = F = \frac{l}{c_1} x + r \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \right) \dot{x} - rc_2 \dot{F}.$$

A fajlagos mennyiségekre áttérhetünk egyszerű átalakítással

$$\frac{F}{A} = \frac{l}{Ac_1} \frac{x}{l} + \frac{rl}{A} \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \right) \frac{\dot{x}}{l} - rc_2 \frac{\dot{F}}{A},$$

vagy másként írva

$$\sigma = E\varepsilon + V\dot{\varepsilon} - R\dot{\sigma},$$

amely valóban a kiindulási modell törvény. Itt

$$E = \frac{l}{Ac_1}; \quad V = \frac{rl}{A} \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \right); \quad R = rc_2.$$

Ezekután rendelkezésre áll a modell törvény matematikai úton való megoldása mellett a fizikai modellen közvetlen méréssel nyerhető megoldás is tetszőleges időbeli terhelésre.

Hozzuk létre a próbatestenen ε_0 fajlagos nyúlást alkalmas módon σ feszültségig terhelve azt. Ettől a pillanattól keressük a deformációt a feszültséget változatlanul tartva. Ilyenkor a kezdeti feltételek

$$t = 0, \quad \varepsilon = \varepsilon_0, \quad \sigma = \sigma_0.$$

A differenciálegyenlet megoldása

terhelésre $\sigma = \sigma_0 = \text{konst}$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \left(\varepsilon_0 - \frac{\sigma_0}{E} \right) e^{-\frac{E}{V}t}$$

A 4a. ábra mutatja a megoldást. Magát a jelenséget, azaz az állandó feszültség hatására bekövetkező deformációnövekedést kúszásnak nevezzük. Az idő növelésével határértékhez tart az alakváltozás:

$$\varepsilon \rightarrow \varepsilon_\infty = \frac{\sigma_0}{E},$$

amely megfelel az ideálisan rugalmas testnél a σ_0 -val egyidejűleg beálló deformációnak.

Tartsuk az előbbi kezdeti értékek után a nyúlást állandónak, azaz legyen

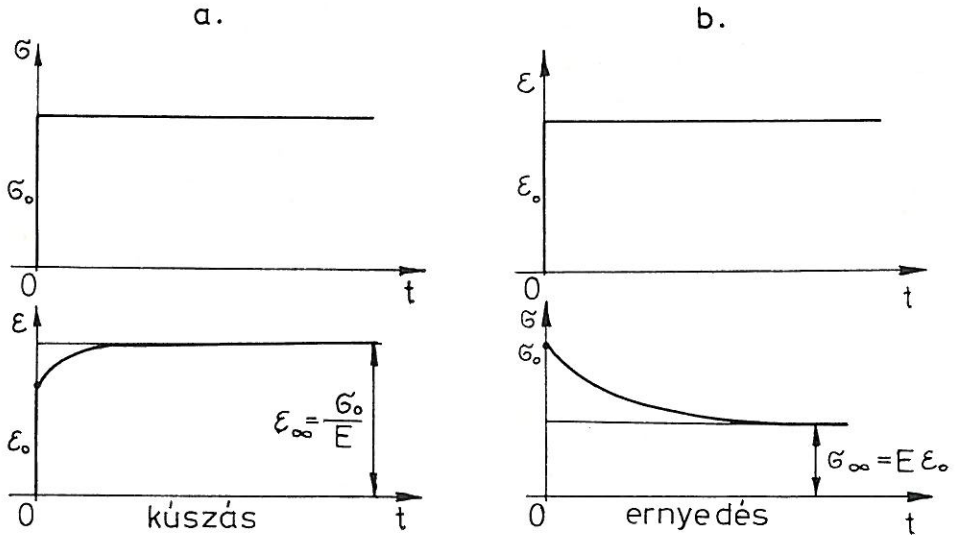
$$\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{konst}.$$

Ekkor a differenciálegyenlet megoldása

$$\sigma' = E\varepsilon_0 (\sigma_0 - E\varepsilon_0) e^{-\frac{t}{R}}.$$

A 4b. ábra tünteti fel a viszonyokat. Az állandó deformáció kapcsán bekövetkező feszültségcsökkenést ernyedésnek nevezik. Határértékben

$$\sigma \rightarrow \sigma_\infty = E\varepsilon_0,$$



4. ábra
Kúszás és ernyedés

amely ismét megfelel a rugalmas testben a létrehozott deformációval egyidejűleg beálló feszültségnek.

Meg kell jegyezni, hogy a kezdeti állapot előidézése függ a terhelés felvitelétől, azaz közvetve az időtől. Például nagyobb sebességgel növelve a terhelést a terheletlen állapottól kiindulva, kisebb ϵ_0 deformáció áll elő, ez pedig képleteink szerint befolyásolja mind a kúszási, mind az ernyedési görbét. Másrészt mindkét eredmény feltételezi, hogy a próbatest a törési határállapotba nem jut.

Vizsgálatainknál feltételeztük, hogy a jelenségek lefolyására elegendő idő áll rendelkezésre. Sokszor azonban, különösen talajművelésnél, igen gyorsan zajlanak le a jelenségek. Ekkor ugyan kisebb — esetleg elhanyagolható — szerepe van a kúszásnak, relaxációnak, de ugyanúgy felhasználható az alapösszefüggés. Ilyenkor természetesen további vizsgálatok célszerűek.

Mérési módszerek

Mint az az előzőkből kiderült, feltétlenül méréseket kell végezni a mechanikai jellemzők meghatározására.

A szilárdsági adatokat az irodalom alapján és a gyakorlatból jól ismert módon lehet nyerni [10]. Ezzel részletesen nem kell itt foglalkozni. Legfeljebb megemlítem, hogy egységes nemzetközileg elfogadott eljárás még nem áll rendelkezésre, amiért az irodalomban közölt adatok nem mindig hasonlíthatók össze. Különösen vonatkozik ez az időt is figyelembe vevő (hosszas terhelés, ismételt igénybevétel) feladatokra. De egy-egy feladat megítélésére valamely mérőeljárás mindig sikerrel felhasználható.

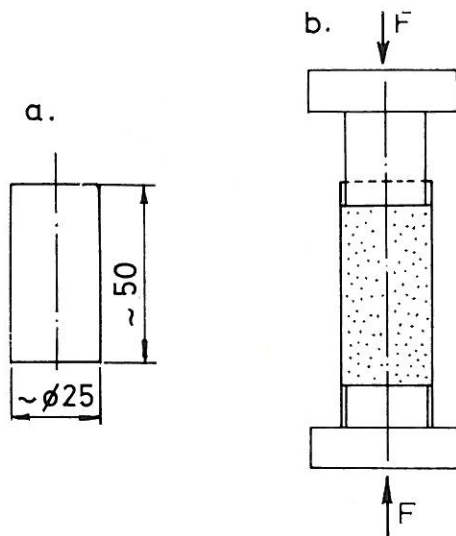
A reológiai állandók mérése még kevésbé kiforrott. Célkitűzésünknek megfelelően ezzel itt részletesen foglalkozunk. A legegyszerűbbnek látszó, egytengelyű vizsgálati módszert mutatjuk be részletesen. Ezzel természetesen korlátozunk a feladatot olyan talajokra, amelyekből egyáltalán készíthető az egytengelyű vizsgálatra alkalmas próbatest.

A felhasznált próbatest alakját körhengernek választottuk meg (5a. ábra). Elkészítésére a talajmintát előzőleg szárítva megőröltük, majd hengeres szerkezetben néhány atmoszférai nyomással préseltük (5b. ábra) [6].

Az így készített próbatest természetesen nem felel meg az eredeti talajmintának, mert szerkezete lényegesen megváltozott az őrlés, szárítás és préselés kapcsán. Viszont homogénnek, izotrópnak,

kontinuumnak fogható fel, ami a modell-törvény felállításánál is alapvető kikötésünk volt. Tekintettel arra, hogy elsősorban a mérési módszer kialakítására irányult munkának, igen lényeges volt a mérések összehasonlíthatóságának, reprodukálhatóságának szempontja. Ezt a mesterséges próbatest jól teljesíti.

A terhelő berendezést a 6a. ábra mutatja [1]. Az 1 merev kerethez csatlakozik a nyomólapok között elhelyezett 2 próbatest. A terhelő erőt a 3 nyomóhenger adja át, melyet a 4 hüvely egyenesbe vezet. Közvetlen ide csatlakozik az 5 hite-



5. ábra
Próbatest nyomásra

lesített erőmérő, amely mérőórával ellátott rugalmas ív. Felső végén a csavarmenettel állítható 6 terhelő fej közvetíti az erőt a 7 terhelő rudazaton át, melyet 8 egyenesbe-vezető támaszt oldalirányban. Az erőt a 9 kétkarú emelő szolgálja a 10 támaszon csuklósan ágyazva. Másik végével csatlakozik 11 rudazaton keresztül a 12 kétkarú emelőhöz. Ez viszont a 13 támasszal van csuklósan megfogva. Jobboldali végén csavarmenettel állítható 14 tárasúly helyezkedik el, baloldali végén pedig a 15 mérlegrúd. A 16 mérlegtányérra kerül a 17 kalibrált üveg-edény. Ebbe jut a 18 csővezetékén át a szabályozható 19 csap megnyitásával a 20 tartályban tárolt víz.

A 6b. ábra részletezi a próbatest viszonyait. Az 1 alap mereven csatlakozik

a keretre. Felső lapján bekarcolt koordináta-rendszerben helyezkedik el centrikusan a 2 próbatest. Felső lapjához csatlakozik a 3 terhelő lap, melyet 4 tájoló csapok mindig azonos helyzetbe állítanak az alap-hoz képest, biztosítva a párhuzamosságot és a centrikusságot is. A terhelő lap felső részén centrikusan elhelyezett golyófészek van kialakítva. Ide ér a terhelést átadó 5 golyó. Így a próbatest terhelésének centrikusságát a terhelő berendezés nagy pontossággal biztosítja. 6 csavarmenttel függőlegesen beállítható mérő bázisfelületekhez érnek a 7 mérőórák, melyeket 8 csavar rögzít a terhelő laphoz 120°-os szögben elhelyezve.

Az áttétel segítségével viszonylag kis súlyterhelés biztosítja a próbatest elegendő nagyságú nyomó terhelését. A mozgó karokon fellépő esetleges súrlódást, illetve az áttételi hibát figyelmen kívül lehet hagyni, mivel az erőmérő közvetlen a teherátadás helyén van beiktatva. A berendezés nyomó terhelés felvitelére alkalmas. Segítségével mind a kúszásmérést, mind az ernyedésmérést végre lehet hajtani.

Kúszásmérésnél a kívánt ϵ_0 , σ_0 kiindulási értékeket állandó terheléssel valószínűsítjük meg. A terhelést $\dot{\sigma} = \text{konstans}$ feltétellel úgy visszük fel, hogy 19 csap megnyitásával vizet engedünk a 17 üvegedénybe. A 20 tartályban a nívómagasságot állandónak tartva, a kifolyás sebessége állandó, tehát az állandó feszültségsebességet valóban megvalósítja a berendezés. A 19 csap állításával többféle sebesség szabályozható. Az előírt σ_0 kezdő terhelés elérésével a csapot zárjuk, a súlyerő állandósága biztosítja az állandó terhelést a próbatesten.

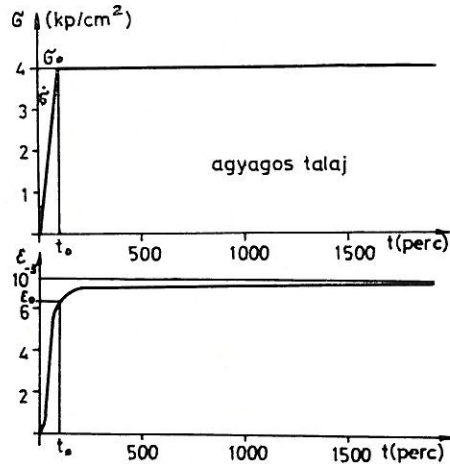
A mérés lényegében hosszváltozásmérés, amely a mérőórák időnkénti leolvasásával oldható meg. A három mérőóra biztosítja egyrészt annak ellenőrzését, hogy a terhelőlapok párhuzamosan mozdulnak-e el, tehát egyenletes az alakváltozás a nyomó erő irányára nézve; másrészt leolvasási kontrollt is szolgáltatnak, mivel rendelkezésre áll három mérési adat esetenként. A mérést a terhelés kezdeti szakaszában, az állandó terhelés beálltáig igen sűrűn végezzük (szükség szerint 10-30 mp-ként). Majd a kisebb alakváltozási sebességek szakaszán nagyobb időközökben (anyagtól függően 1/4 ~ 1 óránként). Egyidejűleg 5 mérőberendezés van üzemben, hogy az igen nagyszámú mérést végre lehessen hajtani.

A 7. ábra bemutat egy mérési görbét agyagos talajra.

Ernyedésmérésnél az ϵ_0 , σ_0 beállítása egyezik az előzőekben mondottakkal. Lé-

nyeges különbséget jelent a mérésnél az, hogy a nyúlás állandóságának tartására külön elektromos szabályozóberendezést iktattunk be [3]. A 8. ábra feltünteteti ennek vázlatát.

A próbatest hosszváltozásának érzékelését egy közbeiktatott 21 keret segít-



7. ábra
Agyagos talaj kúszási görbéje

ségével a próbatest középvonalában valószínűsítettük meg, azaz a próbatest valódi hosszváltozását méri (9. ábra). A 22 mérőóra a 23 előre beállítható érintkezővel a 24 vezérlőegység segítségével a 25 folyadékmennyiséget szabályozó mágnesszelepet működteti, gondoskodik előírt pontossággal a folyadék mennyiség szabályozásáról, azaz az alakváltozás állandóságáról. A fellépő terhelés időbeli változását az erőmérő kengyelre felragasztott nyúlásmérő ellenállások segítségével vonalíró berendezéssel rögzítettük (10. ábra). A 11. ábra bemutat egy mérési görbét agyagos talajra.

Megjegyezzük, hogy sokféle kúszás és ernyedésvizsgáló berendezés ismeretes irodalmi adatok szerint [2]. Az általunk kifejlesztett az igényesebbek közé tartozik, mind az ideális állapot előállításában, mind a mérésben.

A mérési adatok feldolgozásához legelőször ismerni kell a kezdeti értékek beállítására szolgáló első szakaszt. Ezt jellemzi

$$0 \leq t \leq t_0, \dot{\sigma} = \text{konst.}$$

vagyis ilyenkor a feszültség lineárisan nő:

$$\sigma = \dot{\sigma} t$$

összefüggés szerint. Ennek megfelelő deformáció a differenciálegyenlet megoldásaként

$$\varepsilon = \frac{\dot{\sigma}'}{E} t - \frac{1}{E} \left(\frac{V}{E} - R \right) \dot{\sigma} \left(1 - e^{-\frac{E}{V} t} \right).$$

Érdemes megjegyezni, hogy igen kis terhelési sebességnél azaz $\dot{\sigma} \rightarrow 0$ esetén

$$\varepsilon \rightarrow \sigma/E,$$

azaz mint rugalmas test viselkedik az anyag. Ugyanez a helyzet igen nagy sebességnél, tehát ha $\dot{\sigma} \rightarrow \infty$, de most

$$\varepsilon \rightarrow \sigma R/V.$$

A második szakaszra érvényesek közvetlen bemutatott összefüggéseink, csak az idő helyébe $t - t_0$ teendő; tekintettel arra, hogy az origó t_0 -val eltolódott.

Kúszásnál

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \left(\varepsilon_0 - \frac{\sigma_0}{E} \right) e^{-\frac{E}{V} (t-t_0)}.$$

Ernyedésnél

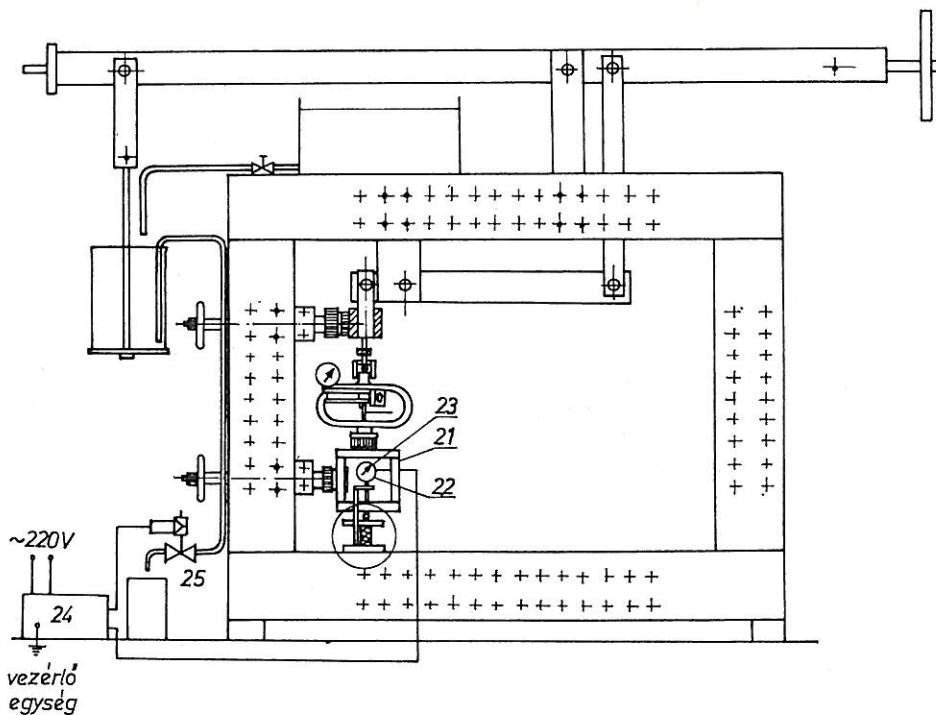
$$\sigma = E\varepsilon_0 + (\sigma_0 - E\varepsilon_0) e^{-\frac{1}{R} (t-t_0)}.$$

Az anyagállandók meghatározhatók akár a kúszásmérésből, akár az ernyedésmérésből. Erre a célra közvetlen felhasználhatjuk a mért görbe három pontját. Például a két szakasz határpontját a jellemző t_0 , σ_0 , ε_0 adatokkal; azután egy közbülső pontot a második szakaszon: t , σ , ε (kúszás) ill. t , σ , ε_0 (ernyedés); végül elegendő idő elteltével: t_∞ , σ_∞ , ε_∞ ill. t_∞ , σ_∞ , ε_0 [6]. Lehet az értékelést pontosabbá tenni ha hibakiegyenlítő számítással végezzük el azt [1].

A 7. és 11. ábrán egy-egy mérés eredményeit megadtuk. További mintákon végzett mérések tapasztalata alapján a mérési módszer kielégítőnek látszik. Egyúttal azt is igazolja, hogy a feltételezett modelltörvényt jó közelítéssel lehet alkalmazni a vizsgált anyagokra [1].

Talajmechanikai mérések továbbfejlesztése

Az előzőekben ismertetett mérési módszer segítségével igen sokféle talajmintát lehet megvizsgálni, zavartalan, természetes állapotában, különféle körülmények között. Segítségükkel lehet tisztázni az egyes



8. ábra
Terhelő berendezés ernyedés mérésére.

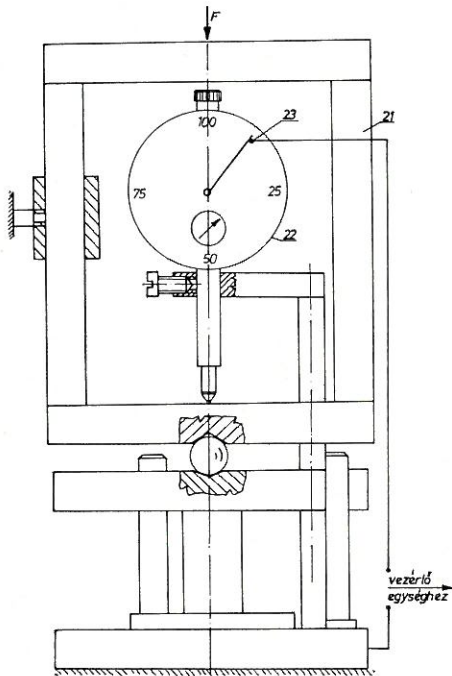
jelentősebb tényezők befolyását a talaj mechanikai jellemzőire.

A mindenkor fennálló inhomogenitás, anizotrópia, nem kontinuum-felépítés miatt csak igen nagy számú mérés átlagától vár-

hatjuk, hogy jól megadja a vizsgált talajféleség tulajdonságait. Statisztikus adatok minden bizonnyal igen jó alapot szolgáltatnak az alkalmazás számára. Ha azonban arra is tekintettel vagyunk, hogy a talajművelésben gyakran a határállapotok ismerete a legfontosabb, akkor feltétlen ismerni kell még a statisztikai átlagok mellett a fellépő szélső értékeket, a mért adatok gyakoriságát, szórását. Az egységes értékelés miatt célszerű volna egységes próbatestméret kialakítása, egységes mérési eljárás kidolgozása.

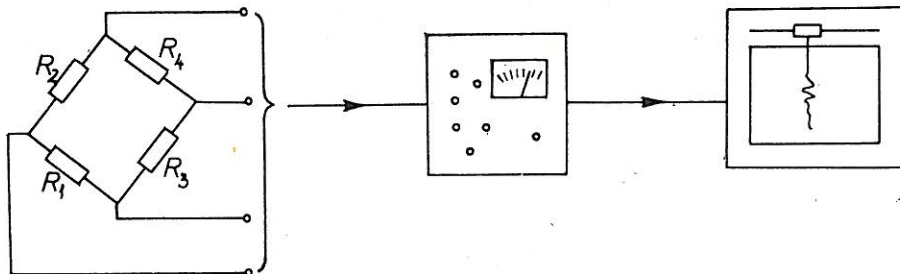
Érdeemes a reológiai méréseket kiterjeszteni többtengelyű vizsgálatok bevezetésével. Legalkalmasabbnak látszik a háromtengelyű vizsgálat, ahol hengeres — esetleg cső — alakú próbatestet köpenyén folyadéknyomással terhelnek, axiálisan pedig nyomóerővel [4]. Ez a módszer megfelel olyan talajok vizsgálatára is, melyek egyedül nyomóterheléssel való mérésre alkalmatlanok igen kis teherbírásuk folytán. Másrészt a fellépő feszültségi állapot jól követhető számítással is, szemben például a hagyományos nyírókísérlettel, amelynek szilárdságtani viszonyai nem tisztáztak. A statikus mérésekhez képest igen sok nehézséget jelent, hogy a reológiai vizsgálatoknál nagy pontossággal kell mérni a nyúlás, illetve feszültség változását az idő függvényében. A mérési adatok értékelése meglehetősen fáradságos. Háromtengelyű vizsgálatok szükségességét alátámasztja még az a körülmény is, hogy általában a természetben fellépő viszonyok háromtengelyűek, tehát az így mért adatok lesznek elsősorban jó közelítések az alkalmazást illetően.

Nagy próbatesteken végzett mérések jelentenek egy további fejlesztési lehetőséget. Ezek révén ugyanis nagyobb talaj-



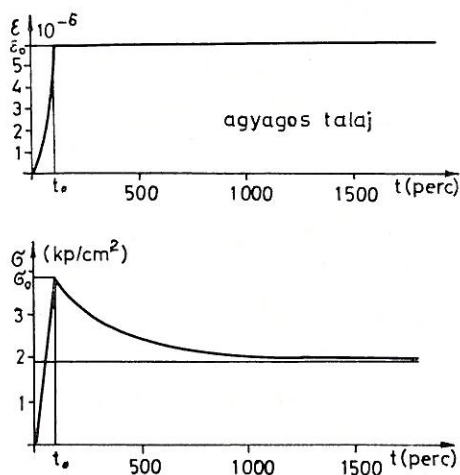
9. ábra

A próbatest hosszváltozásának érzékelésére szolgáló közbeiktatott keret



10. ábra

A fellépő terhelés időbeli változásának rögzítése



II. ábra

Agyagos talaj relaxációs görbéje. $E' = 2710 \text{ kp/cm}^2$; $V = 2348 \text{ kpó/cm}^2$; $R = 0,24 \text{ óra}$

tömegre vonatkozó átlag-jellemzőket nyerrünk, amelyek a valósághoz közelebb álló megoldásokra nyújtanak módot. Hasonló előnye van a helyszínen nagyobb térfogatra kiterjedő — kellő gondossággal végzett — méréseknek is [7].

Összefoglalás

A talajmechanika a talajfizika egy részét képezi. Ezen belül a mezőgazdasági talajmechanika csupán a legfelsőbb talajrétegekkel foglalkozik, kifejezetten a mezőgazdasági termelés szempontjai szerint. Alapfeladata megadni az ehhez szükséges mechanikai jellemzőket, másrészt a mechanikai folyamatok követésére megfelelő számítási módszereket.

A tanulmány rámutat a talaj szilárdságára jellemző kohézió és belső súrlódás meghatározásának fontosságára. Hang-

súlyozva, hogy az időtől függő folyamatok miatt a talajt reológiai közegnek kell tekinteni, amelyre megfelelő matematikai modellt lehet felépíteni. A Poynting—Thomson-féle modellel alapítva, a rugalmassági tényező mellett a viszkozitási és a relaxációs tényező jellemzi a talajt.

A cikk foglalkozik a szilárdsági jellemzők mérésének módjával. Berendezést ismertet, amellyel kúszási és ernyedési vizsgálat hajtható végre. Részletezi a méréseket és ezek alapján az anyagállandók meghatározását. Végül néhány eredményről számol be.

Irodalom

- [1] ASSZONYI, Cs., HUSZÁR, I. & KAPÓLYI, L.: Kőzetállandók laboratóriumi meghatározása kúszás vizsgálattal. Tatabányai Szénbányák Közlem. 11. 177—182. 1971.
- [2] ASSZONYI, Cs., KAPÓLYI, L. & RICHTER, R.: Kőzetek mechanikai jellemzőinek laboratóriumi meghatározása. Tatabányai Szénbányák Közlem. 12. 16—23. 1972.
- [3] ASSZONYI, Cs. et al.: Kőzetállandók laboratóriumi meghatározása relaxációs vizsgálattal. Tatabányai Szénbányák Közlem. 14. 1974. (sajtó alatt)
- [4] BISHOP, A. W. & HENKEL, D. J.: The measurement of soils properties in the triaxial test. E. Arnold, London. 1962.
- [5] COULOMB, C. A.: Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mém. Acad. Roy. prés. divers savants. 7. 1776.
- [6] CSORBA, L.: Talajok reológiai vizsgálata. Doktori disszertáció. Gödöllő. 1973.
- [7] ČITROVICS, N. A.: Mechanika gruntov. Moszkva. 1973.
- [8] HUSZÁR, I.: Szilárdságtan. I—II. Agrártud. Egyetem. Gödöllő 1972—73.
- [9] JÁKY, J.: Talajmechanika. Egyetemi nyomda. Budapest. 1944.
- [10] KÉZDI, Á.: Talajmechanikai praktikum. Tankönyvkiadó. Budapest. 1964.
- [11] KÉZDI, Á.: Talajmechanika. I—II. Tankönyvkiadó. Budapest. 1969—70.
- [12] KISIEL, L.: Zarys reologii gruntów. Warszawa. 1966.
- [13] SITKEI, Gy.: A mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1967.
- [14] TERZAGHI, K.: Erdtaummechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Leipzig. 1925.

HUSZÁR ISTVÁN

Érkezett: 1974. február 28.