

4. TALAJISMERET

4.1. A TALAJOK KELETKEZÉSE

Minden, a Föld felszínén s annak közelében található talaj és üledékes kőzet a szilárd kőzetek mállása révén jött létre. A *mállást* fizikai és kémiai hatások okozzák: a hőmérséklet változás, a növényi gyökök, a jég, a sókristályok feszítőereje, a víz, a jég és a levegőben mozgó szilárd részecskék koptató hatása, az oxidáció, a karbonizáció és egyéb kémiai folyamatok a szilárd kőzeteket részecskékre bontják, felaprózzák. E részecskéket azután a szél, a víz vagy a gleccserek eredeti helyükről elszállítják, s másutt rakják le. A szállítás során a *mállás* és az *aprózódás* folytatódik, a *lerakódás* helyén pedig különböző hatások – terhelés, hőhatás stb. – lépnek fel, melyek az üledék tulajdonságait tovább változtatják. A mállás jellege és mértéke a szilárd kőzet szerkezetétől, szilárdságától és kémiai összetételétől függ, erősen kihat rá a környezet, a klíma is. Ha a mállott kőzetek keletkezési helyükön maradnak, akkor *reziduális, maradék talajokról* beszélünk. Az ilyen talajokból álló szelvények jellemzője a felülről lefelé való fokozatos átmenet a mállott sziklarétegektől az ép sziklaalaprétegeig, az anyakőzetig. A keletkezési helyükről elszállított s másutt lerakott szemcsékből keletkeznek az *üledékes kőzetek*.

Az építés szempontjából szóba jövő legtöbb talaj *vízi lerakódás* eredménye. A sziklák mállása nyomán a hegységek lejtőin, tehát a folyók felső folyásánál szabálytalan szemcsézetű törmelék lerakódások keletkeznek. A víz erodáló hatására a finom szemcsék a folyókba jutnak, a durvább szemek pedig a változó felmelegedés hatására lassú, kúszó mozgással haladnak a völgy felé, majd a vízáramlás területére jutva, megindul a *hordalékmozgás*. A kőzetcsoportok mozgás közben kopnak, a finomabb részecskéket a víz jobban magával ragadja. Megindul a szemcsék nagyság szerinti különválása.

A folyók áramlási sebessége a tengerhez közeledve folytonosan csökken, ezzel együtt csökken a hordalékot mozgató erő nagysága is. Így először a durva, görgetett hordalék halmozódik fel, majd a lebegtetett hordalék is kezd leülepedni: először a durvább szemcsék, a *homok*, ezután az *iszap* és az *agyag*, úgyhogy végül csak a *kolloid részecskék* maradnak lebegésben, amelyek a vízmozgás következtében elektrokinetikai jelenségek miatt azonos értelmű töltést nyernek, tehát taszítják egymást. A töltések csak a tengervízzel való érintkezésor, az abban levő kémiai anyagok hatására változnak meg, s ekkor megindul a pelyhesedés, a koaguláció: a szemcsék összetapadnak és leülepednek. Ezért a folyók deltájánál változó rétegvastagságú, nagyon finom szemcsékből álló tömegeket találunk, melyek sejt- vagy pehelyszerűek.

4.2. A TALAJOK FELISMERÉSE, AZONOSÍTÁSA

4.2.1. A talaj alkotórészei

A talajok a fizikai, kémiai, biológiai mállás hatására jöttek létre, két vagy három különböző halmazállapotú anyag keverékei. Ezek a szilárd és cseppfolyós, a szilárd és légnemű, valamint a szilárd, cseppfolyós és légnemű részecskék keverékei, amelyek „diszperz” rendszert alkotnak. A talaj *háromfázisú diszperz rendszer*.

A diszperz rendszerben a részecskék nagysága, alakja, relatív mennyisége, eloszlása, a közöttük fellépő kölcsönhatások (terhelés, gravitációs erő, hő- és elektromos potenciál stb.) miatt bekövetkező relatív mozgások – fázismozgások – határozzák meg a tulajdonságaikat és változásait.

A diszperz rendszerben levő szilárd fázis a kőzetek felaprózódásából keletkezett, ezért ásványi összetétele, sűrűsége az eredeti kőzetanyag tulajdonságaitól függ. A durva szemcsék kőzetcsoportok, mindegyiket több ásvány is alkothatja, a kisebb szemcséket viszont rendszerint csak egy-egy.

A rendszerben a folyadék fázis rendszerint a víz, a gáz halmazállapotú fázist a levegő alkotja. De lehetnek kivételek is, pl. a folyadék fázis kőolaj, a légnemű fázis pedig földgáz. Ritkán előfordulhat, hogy a szilárd fázis pl. „kultúrlerakódás” (házi szemét vagy ipari hulladék, stb.), a folyadék fázis pedig a talajba került káros vegyi anyag.

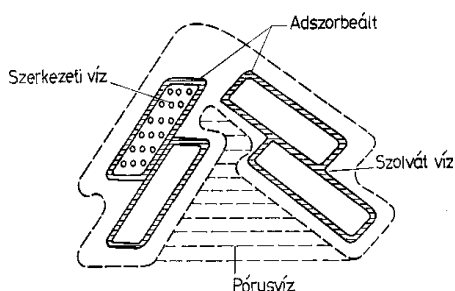
4.2.2. A víz megjelenési formái a talajban

Talajvíz: a hézagokat folytonosan kitölti, helyzetét a nehézségi erő, esetleg a hidrosztatikus nyomás határozza meg. Ezt a vízszintet észleljük a kutakban, fúrólukokban stb.

Kapilláris víz: amit a víz felületi feszültsége emel a talajvíz szintje fölé és tartja egyensúlyban a gravitációs erővel szemben. Általában két zónát szokás megkülönböztetni:

- zárt kapilláris víz vagy gyakorlatilag telített tartomány;
- nyílt kapilláris víz vagy csökkentő telítettségű tartomány.

Filmvíz: a felületi feszültség következménye és a szemcsék közötti érintkezéseknél, szegleteknél alakul ki.



4-1. ábra. A talajban levő víz osztályozása

A talajban levő víz osztályozása **szerkezeti szempontból** (4-1. ábra):

Higroszkopikus, vagy adszorbeált víz, ami igen vékony burok formájában veszi körül a szemcséket; tulajdonságai pedig lényegesen eltérnek a szabad víz tulajdonságaitól.

Szivárgó víz vagy függő víz a csapadékból jut a talajba, és a levegőt is tartalmazó rétegen át mozog lefelé a gravitációs és kapilláris erők hatására.

Pórusvíz: tulajdonságai a talajban áramló talajvíz tulajdonságaival azonosak; a hidrodinamikus és a kapilláris erők hatása alatt áll.

4.2.3. A talajok osztályozása

A talajok osztályozásánál általában két *talajfizikai jellemzőt* kell alapul venni:

- szemcsés talajoknál a szemeloszlási görbét,
- kötött talajoknál a plasztikus indexet.

Szilárd rész osztályozása a szemeloszlási görbe alapján

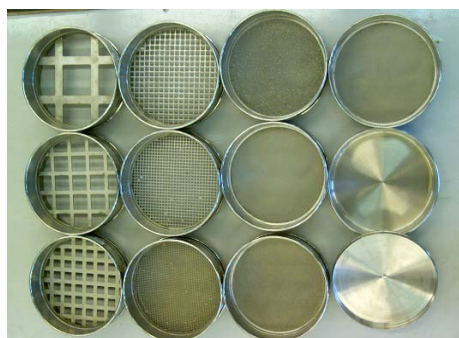
A talajt alkotó szemcsevázban nemcsak a szemcsék nagysága, de a szemcsék alakja is igen változatos. A talajt ugyanis teljesen szabálytalan alakú: gömbölyű, gömbölyded, poliéderez, lemezes, lapos pikkelyes, tű alakú szemcsék alkotják.

A szilárd szemcsék nagysága, alakja és a halmazon belüli aránya határozza meg a *talaj várható viselkedését*, pl. a tömöríthetőségét, összenyomhatóságát, nyírószilárdságát, vízzel szembeni viselkedését stb.

A talajok minősítése szempontjából ezért arra van szükség, hogy a szemcsés halmazt számszerűen is jellemezzük. A halmazból egy szemcsét kiemelve megfigyelhető, hogy annak van tömege, térfogata és felülete. E mennyiségekből a térfogat és a felület csak igen körülményesen mérhető és az is csak a nagyméretű szemcséknél. A talaj szemcsenagyságának a jellemzésére ezért a *szemcseátmérő* fogalmát vezették be. Ha egy szabálytalan alakú szemcsét vele azonos térfogatú gömb alakú szemcsének tételezzük fel, akkor ennek a nagysága egyetlen adattal, a szemcseátmérővel jellemezhető, amiből a szemcse felülete is kiszámítható.

A szemcsés talajokat a *szemeloszlási görbe* alapján osztályozzák. A szemcsés talaj annak a szemcsecsoportnak nevének kapja, amelyet a legnagyobb tömegben tartalmazza.

A szemeloszlási görbéket a talajmechanika célszerűségi okból szemilogaritmikus rendszerben (d – logaritmikus; áthullott tömegszázalék (S_i , %) – aritmetikus) ábrázolja. A szemeloszlási görbe egy pontja megadja, hogy a ponthoz tartozó átmérőnél (d_i , mm) kisebb vagy nagyobb szemcsék milyen tömegszázalékban találhatók.



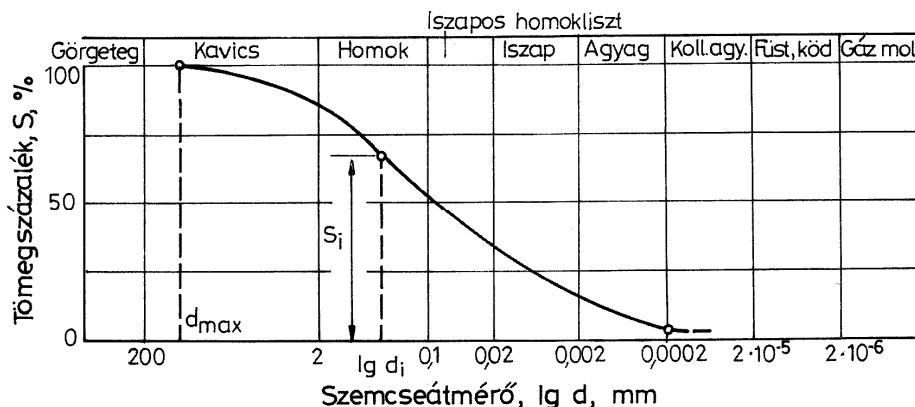
4-1. kép. Rosta sorozat a talajok szemeloszlásának meghatározására

A szemeloszlási görbét 0,1 mm-nél nagyobb szemcséjű talajok esetén rostálással-szitálással, a 0,1 mm-nél kisebb szemcsék esetén ún. *hidrometrálással*, vegyes összetételű talajok esetén a két módszer kombinálásával határozzák meg.

Rostáláskor, szitáláskor finom szemcseméretet ($d < 0,1$ mm) nem tartalmazó, 105 °C-on szárított, ismert tömegű talajmintát különböző lyukbőségű rostán, ill. szitán bocsátják át, majd az egyes szitákon (vagy rostákon) fennmaradt anyagot lemérik (4-1. kép). Az egyes lyukméretekhez (szemcseátmérő d , mm) tartozó ordinátát (az átesett tömegszázalékú anyagot) a mérési eredményekből kell meghatározni. A d szemcseátmérő rostálás (szitálás) esetében az a legkisebb lyukbőség, amelyen a szemcse még átesik.

A *hidrometrálás* a folyadékban levő szemcsék ülepedési sebességét kifejező *Stokes-törvényen* alapszik. Hidrometrálás esetében a szemcseátmérő annak az azonos fajsúlyú képzelgött gömbnek az átmérője, amely 20 °C-os vízben a szemcsével azonos sebességgel süllyed. Vagy más szavakkal: finom szemcsék esetén a szemcse átmérőjén annak a gömbnek az átmérőjét értjük, ami a folyadékban a szemcsé-

vel azonos sebességgel esik, feltételezve, hogy a szemcsék sűrűsége mindkét esetben azonos.



4–2. ábra. A szemcsés talajok megnevezése a szemeloszlási görbe alapján (d_i szemcseátmérőnél átesett S_i tömeg százalék)

A szemeloszlási görbe jellemzői: a *maximális szemcsenagyság* (d_{max}), a 60 tömegszázalékhoz tartozó szemcseátmérő d_{60} és a 10 tömegszázalékhoz tartozó átmérő d_{10} . Egyes tapasztalati képletek az ún. *hatékony szemcsenagyságot* (d_{eff}) – amely a görbe d_{13} - d_{17} felel meg – használják. A görbe lefutását, a talajban levő szemcseméreték közötti különbséget az egyenlőtlenégi mutató (C_U) jellemzi:

$$C_U = d_{60} / d_{10}.$$

Átlagos körülmények között $C_U < 5$ értékű egyenlőtlenégi mutató utal a folyósodási hajlamra és a rossz tömöríthetőségre.

A szemcsenagyság szerinti csoportosításra és elnevezésre a hazai és a nemzetközi szakirodalom – kisebb módosításokkal – az Atterberg norvég kutató által felállított egységes nomenklatúrát alkalmazza. A megnevezések még nem talaj, csak *talajfrakció nevek*, mivel a természetes talajok általában több frakciót is tartalmaznak. Egy ilyen szemcsehalmazt ábrázol az 5–2. ábrán a görbe. A frakcióhatárokat Atterberg nem önkényesen vette fel, hanem ezek kiválasztásánál főként a szemcsehalmazok vízzel szembeni viselkedését tartotta fontosnak:

- A kavics és a homok közötti határ ($d = 2$ mm) azon alapszik, hogy az ennél nagyobb szemcsékből álló halmazban a víz szinte késleltetés nélkül folyik keresztül.
- A homok és az iszap határánál levő szemcsék a vízmozgást már jelentősen befolyásolják. A $d = 0,1$ mm alatti szemcséknél a felületi erők szerepe az adszorpció miatt megnövekszik. A $d = 0,02$ mm-es szemcsék környékén a talajvíz kapilláris felemelkedése nagyon gyors és a hajszálgyökerek az ilyen méretű hézagokba még éppen be tudnak hatolni.
- A $d = 0,002$ mm-es hatás megállapítása bakteriológiai szempontok és fizikai tulajdonságok alapján történt. Ennél kisebb szemcsék közötti hézagokban a baktériumok már nem tudnak mozogni.
- A $d = 0,0002$ mm-nél kisebb szemcsék a kolloid részecskék, amelyek egészen különleges tulajdonságokat mutatnak, oldatban nem ülepednek le, hanem ún. Brown-féle mozgást végeznek.
- A teljesség érdekében az 4–2. ábra tartalmazza a füst, a köd és a gázmolekulák mérethatárait is.

Kötött talajok osztályozása a plasztikus index alapján

Kötött (sodorható) talajok osztályozása a *plaszticitási index* alapján történik. Értékéből – tapasztalatok alapján – több különféle talajjellemző megbecsülhető. A plaszticitási index a folyási határ és a sodrási határ különbsége. Jele: I_p , (%):

$$I_p = w_L - w_p.$$

ahol w_L – a talaj folyási határa,
 w_p – a talaj sodrási határa.

Folyási határ

A folyási határ az a víztartalom, amelyen a szabványos ún. *Casagrande-féle készülékbe* (4–2. kép) helyezett talajban kialakított árok 25 ütés hatására 10 mm hosszban összefolyik. Jele: w_L , (%).



4–2. kép. Casagrande készülék a folyási határ meghatározására

A vizsgálat alapja az a tapasztalat, hogy egyrészt a talajok annál inkább reagálnak dinamikus hatásra, minél nagyobb a víztartalmuk, másrészt azonos víztartalom esetében a kötöttebb talaj kevésbé, a soványabb erősebben deformálódik.

A definícióból láthatóan a folyási határ egy önkényes (de az egész világon elfogadott), mesterségesen előállított, különleges talajállapot víztartalma. A meghatározásban előírt állapot előállítása ritkán sikerül, ezért a 25 ütéshez tartozó víztartalmat több, a szükségesnél szárazabb, ill. nedvesebb minta vizsgálatával és szemilogaritmikus grafikus interpolálással határozzák meg. A folyási határ értékét általában 1% pontossággal adják meg.

Sodrás határ

A sodrás határ a talajnak az a legkisebb víztartalma, amelynél a talajból kisodort $\varnothing 3$ mm-es szálak éppen töredezni kezdenek. Jele: w_p , (%).

Tapasztalat szerint minél nedvesebb valamely kötött, finom szemcsés talaj, annál vékonyabb szálak sodorhatók belőle (5–3. kép). A sodrás határt a talajmechanika nemzetközi megállapodásszerűen, az előző önkényes meghatározáshoz kötötte. Valamennyi talajmechanikai vizsgálat közül ezt a vizsgálatot terheli a legnagyobb mértékben a vizsgálatot végző személy szubjektív hatása. A sodrás határt 1% pontossággal adják meg.



4–3. kép. A sodrás határ meghatározása

4.2.4. Talajfajták helyszíni felismerése

Az ismert osztályozási módszerek mindegyike önkényes és csak egy, vagy néhány szempontot elégít ki. Céljuk rendszerint az, hogy a főbb talajtípusoknak nevet adjanak és azokat egy-két *talajfizikai jellemző* alapján egymástól megkülönböztessék; vagy az, hogy a talajokat valamilyen gyakorlati felhasználás szempontjából csoportosítsák.

A mérnöki gyakorlatban nagyon sokszor szükség lehet arra, hogy a talajokat a helyszínen, egyszerű szemlélet alapján kell felismerni és legalább közelítő pontossággal megnevezni. Általában egy kis tapasztalattal és az alábbi egyszerű vizsgálatokkal a szükséges jártasság könnyen megszerezhető.

Kavics. Valamennyi talajféleség közül ez a legkönnyebben felismerhető. A szemcsék szabad szemmel jól láthatók, tapinthatók, nagyságuk megállapítható. A vizet jól áteresztik. Szárazon ömleszthetők. A szemlélet alapján megállapíthatók és feljegyezhetők még a következők is: szemcsék alakja, tömegeloszlása (közelítő graduáltsága), ásványi összetétele stb. Ezek az adatok a további felhasználáshoz hasznos útmutatást adhatnak.

Homok. Ez a talajféleség szabad szemmel jól felismerhető. A szemcsék alakja és anyaga azonban már inkább csak nagyítóval vagy mikroszkóppal figyelhető meg pontosabban. Érdemes feljegyezni a homok színét. A szürkés, kékes, zöldes árnyalatú színek inkább arról tanúskodnak, hogy a réteg állandóan víz alatt van. A sárgás, vöröses, „rozsdás” színárnyalatok a felszín közelében fordulnak elő, ahol a talajok váltakozva lehetnek szárazak vagy nedvesek. (Megjegyzendő, hogy ezek a színek a többi talajra is ugyanilyen értelemben jellemzőek.) Földnedves állapotban laza röggé formálható, enyhe nyomásra szétesik. A nedves homok kiszáradása után az esetleg szárazon összetapadt „csomók” könnyedén szétválaszthatók, szárazon ömleszthetők.

Iszapos finomhomok. Szemcséi szabad szemmel még éppen, vagy alig figyelhetők meg. Többnyire a parányi csillámok pikkelyei verik vissza a fényt. Az iszapos finomhomok még ömleszthető, lisztszerű. Ha a benne levő iszap szemcsék hatására kisebb-nagyobb rögökben összeáll is, azok enyhe nyomásra kisebb darabokra szétesnek. Ha megnedvesített iszapos finomhomokot ujjaink között sodorogatunk, akkor enyhe érdességet érzünk. A kezünkön megszáradt iszapos finomhomok szinte nyomtalanul lesöpörhető. Nedvesen alig, vagy éppen nem sodorható 3 mm-es szálakká. Az iszap- és agyagtalajoktól könnyen megkülönböztethető. Egy kevés talajt megnedvesítünk, késhegyre vagy tenyerünkre helyezzük, és könnyedén rázunk, vagy ütögetjük. Ha a talaj iszapos finomhomok, vagy iszap, akkor a szemcsék az ütések hatására tömörödnek és a talaj folyni kezd. Felszíne megfényesedik, mert a pórusokból a víz a tömörödés miatt a felszínre jut. Deformáció hatására a víz újra a szemcsék közé jut, a felszín fénye eltűnik.

Iszap. Száraz állapotban már keményebb rögöket alkot, de ezek még – esetleg kisebb nagyobb erőfeszítéssel – kézzel szétmorzsolhatók, vagy ujjak között széttörhetők. Az iszaprög vízben néhány perc alatt szétesik. Nedves iszapot kézzel sodorva már nincs érdesség-érzetünk, de ugyanakkor távol vagyunk attól a „szappan-szerű” síkosságtól, ami a kövér anyagokra jellemző. Ha a tenyerünkben az előzőek szerinti rázó kísérletet végzünk, akkor a felszíne nem, vagy csak kismértékben fényesedik meg. A kézen megszáradt iszap nem söpörhető le, csak mosással távolítható el. Ha az iszaprögöt éles szerszámmal (késsel, csákánnyal) átvágjuk, akkor jellegzetes, fénytelen vágási felületet látunk.

Agyag: a száraz rögöt pusztán kézzel nem lehet szétmorzsolni, vagy az ujjak között széttörni. Az agyagrög csak órák – esetleg napon, sőt hetek – alatt esik szét a vízben. A megnedvesített agyagot ujjaink között tökéletesen simának, szappanhoz hasonlóan érezzük. A kézhez tapadt részecskéi nehezen moshatók le. Víz hozzáadása után duzzad, kiszáradva összerepedezik. Késsel megvágva a felülete mind szárazon, mind nedvesen fényes.

A **szikes talaj** többnyire vízzáró kötött talajokból (közepes és kövér agyagból) különböző nátriumsók hatására keletkezett felső takaróréteg. Felszínén rendszerint fehéres, oldható sóból, szódából, kova-savból képződött lepedék található. Hazánk leggyengébb „termő”-talaja, amely az ország területének 8–10%-át borítja. Ez a terméketlen talaj egyben műszaki szempontból is kedvezőtlen tulajdonságú. Szárazon erősen összerepedezik, nedvesen pedig csakhamar puha, folyós péppé válik.

A **szerves talajokat** azonnal elárulja jellegzetes sötét színük és szaguk, esetleg felismerhetők bennük a korhadó növényi részek, illetve az elszenesedett, tözegesedett vagy kotusodott szerkezeti részek.

Az ismertetett talajtípusok mellett nagyon sok átmeneti alak fordul elő a természetben. Az ilyen keveréktalajok tulajdonságait szemlélet alapján megállapítani rendkívül nehéz, megbízható módon csak laboratóriumi kísérletek alapján tájékozódhatunk.

4.3. A TALAJOK ÁLLAPOTJELLEMZŐI

4.3.1. Víztartalom

A víztartalom a talajmechanika alapvető fogalma, egyes speciális értékei (természetes víztartalom, konzisztencia határok, zsugorodási határ) a talajosztályozás és az állapotjellemzés nélkülözhetetlen segéd-mennyiségei, ismeretük különösen kötött talajok esetében nélkülözhetetlen. A 105 °C-on tömegállandóságú szárított talajból elpárolgó víz tömegének és a kiszáritott talaj tömegének aránya. Jele: w (%).

$$w = m_v / m_s,$$

ahol m_n – a talaj tömege szárítás előtt;

m_s – a talaj tömege szárítás után;

$$m_v = m_n - m_s.$$

A vizsgálat pontossága megköveteli, hogy a vizsgálandó minta nedves súlyát vagy azonnal a mintavétel után mérjük le, vagy a minta a nedves súly méréséig jól zárható edényben vagy műanyag zacskóban legyen.

A meghatározásból láthatóan a víztartalom fogalma két lényeges feltételhez van kötve: a 105 °C-hoz és a *tömegállandóságig* való szárításhoz. A 105 °C hangsúlyozása azért fontos, mert a talajok nagy része (különösen a kötött talajok) olyan vizet is tartalmaz, amely csak a megadott hőmérsékletnél magasabb hőmérsékleten tud elpárologni (adszorbeált és kötött víz). A súlyállandóság eléréséhez elegendő lehet 6–7 óra, általában 8 óra szárítási időtartam ad megfelelő biztonságot.

4.3.2. Hézagterfogat és hézagtérfogató

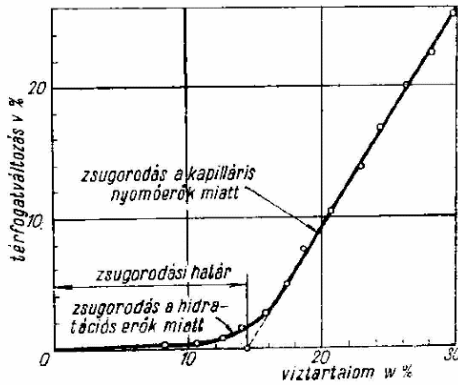
A *hézagterfogat* a talajok hézagainak térfogatát arányosítja a teljes térfogatához. Jele: n (térfogat %). A hézagterfogat nagysága jelentős befolyással bír egy talaj áteresztőképességére.

A *hézagtérfogató* a talajok hézagainak térfogatát arányosítja a szilárd rész térfogatához. Jele: e (dimenzió nélküli szám). A hézagtérfogató a talajok viselkedésével kapcsolatos több tapasztalati (empirikus) képletben is fontos szerepet játszik.

4.3.3. A zsugorodási határ

A talajnak azt a víztartalmát, amelyen túl szárítva térfogatát már nem változtatja (4–3. ábra), zsugorodási határnak nevezzük. Jele: w_s , (%). A talaj száradásakor a talajban *repedések* jelennek meg (4–4. kép).

A zsugorodási határ állapotában a talaj pórusaiban levő víz kapilláris húzófeszültsége a talajszemcsék között keletkező ellenkező irányú belső feszültséggel egyensúlyban van.



4–3. ábra. A zsugorodási határ meghatározása szárítási kísérlettel



4–4. kép. Felszíni száradási repedések

Laboratóriumi meghatározáskor tetszőleges alakú talajmintát 105 °C-on tömegállandóságig kiszárítanak, majd a száraz (a legkisebb térfogatára zsugorodott) minta tömegét és térfogatát megméri. Ismerve a talajminta anyagsűrűségét (ρ_s), ezekből az adatokból a zsugorodási határ számítható. (A talajmintának a talaj azonosítási jellemzői által meghatározott anyagsűrűségének értékét szabvány rögzíti.) A zsugorodási határ ily módon való megállapítására a víztartalom és a térfogatváltozás között *lineáris összefüggést* tételez fel (4–3. ábra). Kísérleti módon igazolható, hogy ez csak közelítés. A vizsgálati eredmény lényegesen függ a szárítás előtti kiinduló állapottól.

A zsugorodási határ értéke és a beépítési víztartalom nagyrészt meghatározza a talajok térfogatváltozását, az árvízvédelmi gátakban a *zsugorodási repedések* kialakulását.

4.3.4. A konzisztencia index

A kötött talaj állapotára, *átázottságára* utaló viszonyszám a *konzisztencia-index*. Jele: I_c , (dimenzió nélküli szám).

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p}$$

A talaj konzisztencia állapotának megnevezését az I_c értékének függvényében az 4–1. táblázat tartalmazza.

A konzisztencia-index értéke lehetővé teszi az egymást követő talajrétegek állapotának az összehasonlítását, tájékoztat az egyes rétegek teherbírásáról és összenyomhatóságáról. A konzisztencia-index és az osztályozó jellemzők felhasználásával számos közelítő tapasztalati (empirikus) képletet dolgoztak ki elsősorban a *nyírószilárdsági paraméterek* (Φ , c) és az *összenyomódási modulus* (E_s) értékének megállapítására.

4–1. táblázat. A talaj konzisztencia állapotának megnevezése a konzisztencia index értéke alapján

Az iszapok és agyagok konzisztenciája	Konzisztencia-index I_c
Nagyon puha	< 0,25
Puha	0,25 – 0,50
Gyúrható	0,50 – 0,75
Merev	0,75 – 1,00
Kemény	> 1,00

4.4. A TALAJOK SZERKEZETE

A talaj két illetve három különböző halmazállapotú anyag diszperz rendszere, ahol az alkotók helyzete és kapcsolataik száma végtelenül sok. Éppen ezért nincs is olyan egzakt módszer, amellyel a talaj szerkezetet számszerűen pontosan le lehet írni. Gyakorlatilag csak a vizuális leírásokra és néhány alapvető sajátosságukra szorítkozhatunk. Ismertetése azért fontos, hogy érthetőbbé váljon a talaj sokszor egészen különleges viselkedése.

A *talajszerkezet meghatározó tényezők* és *folyamatok* nagyon összetettek és bonyolultak. A szerkezet kialakulásában a következő tényezők játszanak szerepet:

- keletkezés körülményei,
- komponensek jellemzői,
- természeti tényezők.

E tényező-csoportok külön-külön is nagyon sok és nagyon különböző hatást foglalnak magukban. A szerkezet végső kialakulásában ezen túlmenően még egyéb *kémiai és fizikai folyamatok* is szerepet játszanak. A talajszerkezet kialakulását és változásait tekintve két alaptípust lehet megkülönböztetni:

- elsődleges talajszerkezet,
- másodlagos talajszerkezet.

Az elsődleges talajszerkezet jellegzetes formái:

- durvaszemcsés talajok „egyszemcsés” szerkezete,
- kötött talajok „sejt” és „pehelyszerkezete”,
- keverék talajok összetett vagy vegyes „szerkezete”.

A másodlagos talajszerkezet a szedimentáció után fellépő, fizikai és kémiai hatások következménye. A másodlagos szerkezetekhez lehet sorolni a makroporozus, morzsalékos és mozaikos repedésekkel átszőtt talajokat (4-4. ábra).

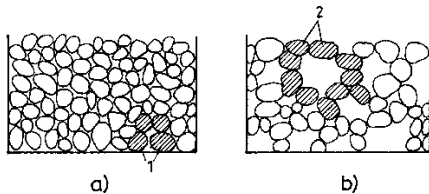
A tapasztalatok szerint a durvaszemcsés halmazokban a geotechnikai szempontból alapvetően fontos tulajdonságokat tekintve csaknem közömbös, hogy a szemcséket milyen ásványok építik fel. Legfeljebb a felületi tulajdonság, időtállóság stb. függ ettől. A finomszemcsés talajokban – iszapokban, anyagokban és kolloid részecskékből álló agyagokban – azonban az ásványi összetétel hatása lényeges, mert a felületi erők szerepe dominánssá válik.

A talajszerkezet kialakulásában, a makro- és mikrorészecskék kapcsolatában, a következő erőhatások játszanak fontos szerepet:

- gravitációs erő,
- felületi feszültség,
- felületi erőhatások illetve kötések.

A durvaszemcsés talajok szerkezete

A durvaszemcsés talajok – kavics, homok – ún. különálló egyszemcsés szerkezetet alkotnak, sem szárazon, sem víz alatt nem tapadnak össze. Az egyetlen erő, ami a szerkezet kialakulását megszabja, a gravitációs erő.



4-5. ábra. Talajok szerkezete: a) szemcsés talaj, b) kötött talaj, 1–szemcsék, 2–agyag rögök

Mivel minden szemcse több szomszédos szemcsével érintkezik, a halmaz stabil, jóllehet a szemcsék között kohézió nem működik (4-5/a. ábra). A halmazra jutó erő szemcséről szemcsére adódik át, ezért ezeknek a talajoknak az összenyomhatósága csekély. Ez összefügg azzal is, hogy a pórusok jellege hasonló, eloszlása egyenletes, mindegyiket az egyedül szemcsék fogják közre. A makro- és mikropórusok mérete a halmaz szemcséinek a tömörségének a függvénye.

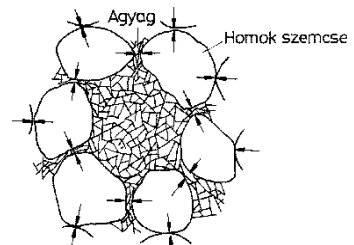
E szerkezetre jellemző az alkotók közötti nagy súrlódás, amely vibrálás hatására jelentősen lecsökken az érintkezési felületek "pillanatnyi" csökkenése miatt. Ezért ezek a talajok vibrációval igen jól tömöríthetők.

Ha a telítettség: $0 < S_r < 1$, akkor a víz felületi feszültsége is érvényesül. A halmaz szerkezete megváltozik, abban kis „boltozatok” alakulnak ki (4-5/b. ábra). A halmaz pórustérfogata megnövekszik, eloszlása nem lesz egyenletes, mert a makro- és mikropórusok mellett megjelennek a boltozatokkal határolt jóval nagyobb ún. „másodlagos” hézagok. Az előbbieket szemcsék közötti, az utóbbiakat boltozatokon belüli pórusoknak lehet nevezni. Másodlagos hézagok keletkeznek például a kötött talajok átgűrűsánál (töltésépítésnél).

A jól graduált talajok szerkezete

Vegyes szemcse összetételű, elnyújtott szemeloszlási görbéjű talajok szerkezete a mennyiségi összetevők arányától függ. Az üledékes és reziduális talajokban egyaránt előfordulhatnak olyan vegyes talajszerkezetek, ahol vagy a durva vázszerkezet hézagait az „agyag mátrix” tölti ki, vagy a finom agyagban „úsznak” a durva szemcsék. Az 4-6. ábra azt az esetet szemlélteti, ahol a durva homokvázat agyag tölti ki. A talajoknak ezt a két, alapvetően különböző viselkedését csak néhány % anyagi összetételi változás különböztet meg. E vázszerkezetek átmeneteinél a talaj tulajdonságai radikálisan megváltozhatnak kedvezően, vagy kedvezőtlenül.

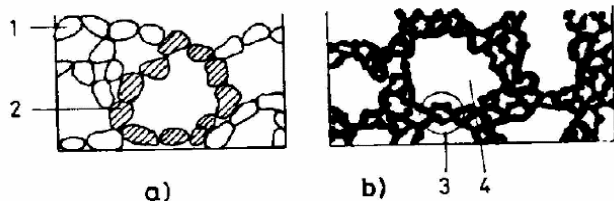
A jól graduált talajoknál külön meg kell említeni a lépcsős szemeloszlású talajokat amelyen a szemcsék mechanikai keveredéséből alakultak ki. Ugyanis vagy a homok, vagy az agyag tulajdonságai lesznek a dominánsak. Ilyen talaj viszonylag kevés van a tiszta árvízvédelmi töltésünk mentén, az első sorban a Duna völgyében található.



4-6. ábra. Az agyag (2) kitölti a homok szemcsék (1) közötti teret. Az erő szemcséről szemcsére adódik át

Másodlagos pórusok

Kötött talajokban a szedimentáció után fellépő erőhatások vagy mesterséges beavatkozások ún. másodlagos szerkezetet hoznak létre. Ilyen másodlagos szerkezet keletkezik töltés építésnél is, a tömörített talajban ún. *másodlagos pórusok* maradnak vissza (4–7. ábra). Kövér agyagtalajoknál gyakori az ún. *mozaikos szerkezet*. Az agyag apró, poliéderez darabkákból áll, az egyes darabok – mint egy fizikai aprózódás termékei – egymástól könnyen elválaszthatók.



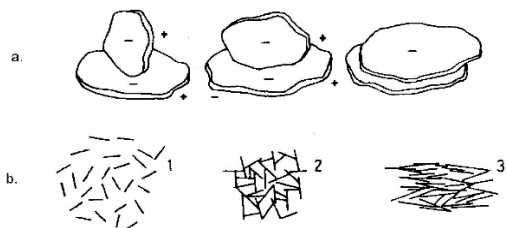
4–7. ábra. Másodlagos pórusok egy sejt szerkezetű (a) és egy pehelyszerkezetű (b) agyagban, 1–agyag szemcsék, 2–térbeli szerkezetet létrehozó agyagszemcsék, 3–agyag pelyhek, 4–pórus a pehelyszerkezetben

Agyagból épült és váltakozó nedvesítésnek illetve száradásnak kitett földművekben gyakran tapasztalható, hogy a talajban a térfogatváltozás miatt finom elváltozások, hajszálrepedések alakulnak ki. Többszöri és nagy víztartalom ingadozás hatására a repedések szétnyílnak és több cm nagyságot is elérhetnek. A repedésekbe a víz behatol, a talajt átáztatja, csúszások következhetnek be.

Hasonló repedezett szerkezetet hoznak létre különböző *erőhatások*: tektonikus mozgások, alábányászás miatti felszínsüllyedések, a földmunkánál alkalmazott robbantás, földrengés stb. Ezek hatására a talajban *hálós repedések*, *rejtett csúszólapok* alakulnak ki, s ezek a talaj fizikai tulajdonságait (pl. átteresztőképességét, kohézióját) igen kedvezőtlenül befolyásolják.

Diszperzitás

Bizonyos kötött talajok jelentős mennyiségű iont tartalmaznak és a kationokat is az aktívabb (Li, Na, Mg) elemek képviselik. Ezeknél az agyagoknál azt tapasztalták, hogy a vízzel szembeni ellenállásuk alacsony, könnyen *szétfolynak*, *erodálnak víz hatására*.



4–8. ábra. Diszpergált (1), flokkuált (2) és aggregált (3) szerkezetű agyag elemi részecskéi (a) és az elemi részecskék halmazai (b)

A vizsgálatok kimutatták, hogy az agyagszemcsék felületén jelentős mennyiségű töltés helyezkedik el (4–8. ábra), ezért a szemcsék taszítják egymást, könnyen elválaszthatók. Ezt a tulajdonságot használják ki vizsgálatukra. Az ún. *diszperzív* (más néven *járatos erózióra* hajlamos) talajokat *tűszűrés vizsgálat* alapján minősítik. A talajba mesterségesen előállított lyukon keresztül különböző nyomással vizet engednek. Amennyiben a kifolyó víz agyagszemcséket sodor magával, úgy egy megadott skála szerint a talajt diszperzívnek nevezik.

A fentieket más oldalról vizsgálva sok hasonlóság található a szikes talajok anyagi összetételével, azt azonban még senki nem vizsgálta és jelentette ki mérések alapján, hogy a két talajfajta egy és ugyanaz. Járatos erózióra hajlamos talajok vizsgálatát előírás tette kötelezővé az 1980. évi sebes-kőrösi gátszakadás után. Ilyen talajok elsősorban az Alföldön található és gyakorlatilag négy környezetvédelmi és vízügyi igazgatóság területét érintik.

Iszap-agyag tartalom

A vízépítési gyakorlat szempontjából rendkívül fontos a – semmilyen különlegességgel nem rendelkező – természetes talajoknál az iszap-agyag tartalom, a finom szemcsés és átmeneti talajok átteresztőképességi együtthatóját ugyanis ez határozza meg. Már 6–8% iszap-agyag tartalom is jelentős befolyással bír a talaj *átteresztőképességi együtthatójára*. Nagyon helytelen az a gyakorlat, amikor

- a szemcsés talajokból mintát iszapolással vesznek, ugyanis éppen ezt a frakciót mossák ki a talajból és változik meg a talaj összetétele,
- a laboratóriumban a szemeloszlási vizsgálatot 10 súlyszázalék elérésénél abbahagyják.

Kapilláris vízmozgás

Kötött talajok fontos tulajdonsága a *kapilláris vízmozgás* (lásd a 3.1.3. fejezetet). Az agyagszemcsék között a talaj számtalan hajszálcsövében a víz a talajvízszint felé emelkedik és ott tartósan megmarad. Az emelkedés magasságát a *felületi feszültség* hozza létre. A *hajszálcsövek* méret-eltérése miatt különböző helyeken eltérő lesz az emelkedés magassága, ezért eltérő vastagságú vizet jobban, vagy kevésbé megtartó réteg alakul ki a talajvízszint felett. Az emelkedés mértékét a kapilláris szívóerő okozza, a jelenséget *vízfelszívásnak* nevezik. A szívás értéke egy pontban függ attól, hogy ott emelkedő vagy süllyedő talajvízszint van-e? Az agyagtalajokban a kapilláris emelkedés kialakulásához időre van szükség, nagysága elérheti a több métert is.

4.5. TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK

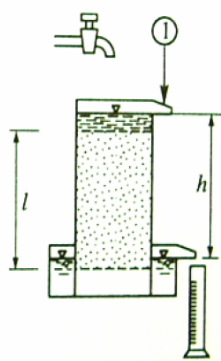
4.5.1. A vízáteresztő-képességi együttható

A vízáteresztő-képességi együttható vagy szivárgási tényező a talajra jellemző érték (4–2. táblázat). Jele: k , (m/s, m/nap). Egy talajtesten átszivárgó víz sebessége Darcy törvénye szerint (lásd a 3.7.1. fejezetet) az 4–9. ábrán értelmezett nyomáskülönbségből (h) és szivárgási hosszából (l) a következő képlettel számítható:

$$v = k \times i,$$

ahol k – a talajra jellemző áteresztőképességi együttható,

$i=h/l$ – a hidraulikus gradiens.



4–9. ábra. Talajminta át-eresztőképességi együtthatójának meghatározása állandó víznyomású készülékkel

Az áteresztőképességi együttható meghatározására több helyszíni, két közismert laboratóriumi és számtalan közvetett (pl. szemeloszlási görbe alapján) módszer van. Laboratóriumban a szemcsés, erősebben vízáteresztő talajokat az ún. *állandó víznyomásos*, a kevésbé vízáteresztő talajokat az ún. *változó víznyomásos eljárással* vizsgálják. Az *állandó víznyomású készülék* elvi vázlata a 4–9. ábrán látható.

Az állandó víznyomásos módszer esetében ismernünk kell a minta – áramlási irányra merőleges – keresztmetszeti területét (F), a minta magasságát, azaz az áramlási út hosszát (l), a víznyomás magasságát, azaz az alsó túlfolyó él és a felső túlfolyó él közötti szintkülönbséget (h), és mérni kell az alsó bukón, megállapított időtartam alatt (Δt), kifolyó vízmennyiséget (Q). Az adatokból az áteresztőképességi együttható számítható:

$$k = \frac{v}{i} = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot h}$$

Az állandó víznyomásos vizsgálat akkor használható, ha az átszivárgó vízmennyiség jól mérhető, a párolgási veszteség elenyésző. Ez a határ kb. a $k = 5 \cdot 10^{-5}$ m/s áteresztőképességi együtthatónak felel meg, tehát a finom homok és ennél finomabb szemcséjű talajok vizsgálatára nem ajánlatos. A leírt módszerrel vizsgálható talajokból rendszerint nincs lehetőség *zavartalan állapotú minták* vételére, ezért *zavart mintákat* használnak. Mivel az *áteresztőképességi együttható* a tömörségtől is függ, célszerű a mérést különböző tömörségnél elvégezni és így a valószínű szélső értékeket meghatározni. A természetes és a beépített állapothoz tartozó áteresztőképességi együtthatók közötti különbség a finomabb szemcséjű homok esetén kisebb, a durvább szemcséjű kavicsos anyagok esetében nagyobb. Ezért a valóság és a mérési eredmények közötti eltérés ez utóbbiaknál nagyobb. A kisebb áteresztőképességű talajokat ún. *változó víznyomású készülékkel* vizsgálják.

4–2. táblázat. Az áteresztőképességi együttható tájékoztató értékei különböző talajoknál

k (m/s)	1,0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
vízvezetés	nagyon jó		jó			rossz		gyakorlatilag vízzáró			
talaj	gőrgyeteg	kavics	kavicsos homok, homok	homok	iszapos homok	finomhomok	iszapos finom- homok	finomhomokos iszap, iszap	agyag		

Az áteresztőképességi együttható meghatározására gyakran alkalmaznak empirikus, közelítő képleteket. Finom szemcsés talajok (finomhomok, iszapos finomhomok, iszapos homok stb.) esetén jó közelítést mutatnak a szemeloszlási görbe 10 tömegszázalékához tartozó szemcseátmérő felhasználásán alapuló képletek. (PI. Hazen szerint $k = 100 d_{10}^2$, ahol, ha a d_{10} értékét cm-ben helyettesítjük be, akkor az áteresztőképességi együttható értéke cm/s-ban kerül meghatározásra.

4.5.2. A talajok nyírószilárdsága

A talajok mozgással szembeni belső ellenállása a talajok nyírószilárdsága. Ha a talajok nyírószilárdsága a statikus erők hatására kimerül *talajtörés* következik be (lásd a 13.3.6. fejezetet).

Szemcsés talajoknál a szemcsék közötti súrlódás jelenti a talaj ellenállását. Ha nincs terhelés, belső

ellenállás sem keletkezik. A terheléssel a *talaj ellenállása* lineárisan nő. Az ún. Coulomb-egyenes hajlásszöge a *talaj belső súrlódási szöge*. Kötött talajoknak terhelés nélkül is van összetartó ereje, ez a *kohézió*. Ezért nevezik a kötött talajokat *kohéziós talajoknak* is. Kohéziós talajoknak is van belső súrlódási szöge, azonban lényegesen kisebb, mint a szemcsés talajoké.

A talajok nyírószilárdságát a *nyírószilárdsági paraméterekkel* – *kohézióval* (c , kN/m²) és *belső súrlódási szöggel* (φ , °) – vizsgálják. Néhány talaj átlagosított jellemző belső súrlódási szögét és kohézióját az 4–3. táblázat tartalmazza.

4–3. táblázat. Néhány talaj átlagosított jellemző belső súrlódási szöge és kohéziója

Talaj megnevezése	Belső súrlódási szög (°)	Kohézió (kN/m ²)	Megjegyzés:
Kavics	32–34	0	A bemutatott értékek tájékoztató jellegűek, nem pótolják a talajok vizsgálatát, hivatkozási alapul nem szolgálhatnak!
Homok	30–32	0	
Iszapos finomhomok	26–28	0	
Iszap	20–25	5–25	
Sovány agyag	10–20	20–60	
Kövért agyag	4–8	50–150	

A súrlódási erő nagysága szemcsés talajoknál az

$$F_s = F_n \times \operatorname{tg}\varphi$$

képlet alapján határozható meg, ahol F_s a súrlódási erő nagysága, F_n a súrlódó felületre merőleges erő és $\operatorname{tg}\varphi$ a belső súrlódási szög (lásd a 13–34. ábrát). Kötött talajoknál az egyenlet jobb oldalához hozzá adódik a talaj kohéziójától függő kohéziós tag.

4.6. TALAJOK TÖMÖRSÉG VIZSGÁLATA

A talajmechanika a tömörséget a térfogategységben levő száraz anyag tömegével (ρ_d) fejezi ki. Ha a talaj száraz sűrűsége alacsony, akkor a talaj laza.

A tömörség meghatározásához ún. *Proctor-vizsgálatot* kell végezni. Ezt a laboratóriumba beküldött talajmintát szabványos készülékben (4–5. kép) előírt módon 5 rétegben döngöléssel kell tömöríteni. A tömörítési kísérletet legalább 5 különböző víztartalmú mintán kell elvégezni. A vizsgálat eredménye a tömörítési görbe (4–10. ábra) a maximális száraz térfogat sűrűség (ρ_{dmax}) és az optimális víztartalom (w_{opt}).

A maximális száraz térfogat sűrűség (ρ_{dmax}) és a helyszínen mért száraz térfogatsűrűség (ρ_d) alapján lehet meghatározni a tömörségi fokot (T_{rp} , %), amit százalékban adnak meg:

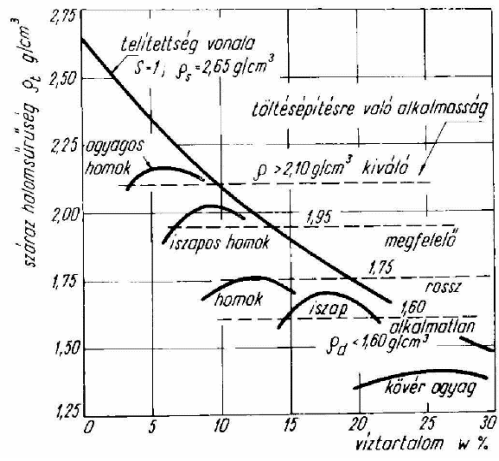
$$T_{rp} = \rho_d / \rho_{dmax} \quad (\%)$$

Minél magasabb a helyszínen meghatározott tömörségi fok, annál jobban tömörített a talaj. A tömörségi fok értékét előírások rögzítik, pl. autópályák burkolat alatti rétegében az elérendő tömörségi fok: $T_{rp} > 95\%$. Az árvízvédelmi gátaknál az előírt tömörségi fok $T_{rp} > 87$ és 90% között változik, a szerkezetes töltés jellegének függvényében. A $T_{rp} = 80\%$ tömörségű talaj már nagyon laza.

Szemcsés laza talaj tömörségi jellemzői csak helyszíni vizsgálattal határozhatók meg, mivel a szemcsés talajokból nem lehet magmintát venni. A helyszínen mért száraz térfogatsűrűség (ρ_d) értékét sokszor gyors, roncsolás-mentes izotópos módszerrel határozzák meg.



4–5. kép. Proctor tömörítő gép



4–10. ábra. Különböző talajok átlagos tömörítési görbéi