

JEGYZET  
TALAJMECHANIKA  
(kézirat szerkesztés alatt)

Összeállította:

Dr. Mecsi József  
egyetemi tanár

2009. március-május

# TARTALOMJEGYZÉK

## Geológia- Műszaki Földtan –Mérnökgeológia

- Föld kialakulása
  - Földtörténeti korok
- Ásványok
- Közetek
- Földfelszín állandó változása,
  - Felszínmozgások
- Magyarország földtörténeti áttekintése
- Magyarország a kárpát medencében
  - Hazai tavaink
    - Balaton
  - Hazai folyóink

## Mi is a Geotechnika?

### Talajok alapvető műszaki tulajdonságai

- Talajok keletkezése, összetétele, szerkezete
  - Talajok alkotórészei
  - A talajalkotók tulajdonságai
  - A szemcsék tulajdonságai
  - A víz fizikai tulajdonságai
  - A víztartalom
  - Hézagtényező
  - Hézagterfogat
  - A telítettség
  - Sűrűség és a térfogastsúly fogalma
- A talajok szerkezete
- A talajok szabványos osztályozása

### Vízmozgás a talajokban

- A talajok mechanikai jellemzői
  - Hatékony és semleges feszültségek
  - Talajok nyírószilárdságának meghatározása
  - A talajok deformációi
  - Makroporozus talajok roskadása

## Ellenőrző kérdések:

### Földmegtámasztó szerkezetek

- Súlytámfal
- Gabion falak
- Máglya- és szekrényfalak
- Dúcolások
- Szádfalás megtámasztás
- Berlini dúcolat

### Szabad rézsűk állékonysága

### Földművek építése

### Földművek tömörsége

## FÖLD KIALAKULÁSA,

Bolygónk, a Föld körülbelül 4,6 milliárd éves (Skinner és Porter 1999). A Föld belső szerkezetéről azt tudjuk, hogy öves felépítésű, különböző, lefelé fokozatosan növekvő sűrűségű, de eltérő halmazállapotú övek alkotják.

A Föld felszíne kőzetlemezekből áll, amelyek folyamatos mozgásban vannak — kontinensvándorlás —, ezért bolygónk mai felszíne egy folyamatosan változó világ egyetlen pillanatának tekinthető, amely jelentősen eltér a múltbeli, úgynevezett ősföldrajzi képtől.

A világegyetemünk kialakulását 15 milliárd évvel ezelőtti időszakra teszik, amikor egy hatalmas erejű, ún. ősrobbanás hatására a sűrű kozmikus anyag széthullott. Körülbelül 5 milliárd évvel ezelőtt a kozmikus felhő (solar nebula) elkezdett gravitációsan összehúzódni és ezzel párhuzamosan forogni (Hamblin 1989). Az anyagbesűrűsödés és a forgás következtében nukleáris fúziós folyamatok indultak be, amelyek jelentős hőmérsékletemelkedéshez vezettek. Így alakult ki az ős-Nap, amely körül a forgó anyag először gyűrűkké állt össze, majd a gyűrűkben összecsomósodott, azaz „bolygó csírák”, planetezimálok alakultak ki. A forgó gyűrűkben a bolygókezdemények összeforrásával kialakult a kilenc bolygó, köztük a Föld.

A Föld és a belső bolygók összetételét meghatározta, hogy a Naphoz közeli helyzetüknél fogva a magas olvadáspontú anyagokból, vasból és szilikátokból álltak. Kezdetben még nem volt öves felépítésük, de a folyamatos meteoritbecsapódások és a radioaktív bomlás miatt a bolygók anyaga, köztük a Föld anyaga is megolvadt. Az olvadást követően a fokozatos lehűlés miatt a nehezebb vegyületek és fémek, a vas- és nikkeltözetek a bolygó központi részébe, míg a könnyebb komponensek a felsőbb zónákba kerültek. Ez a folyamat vezetett a Föld öves felépítéséhez.

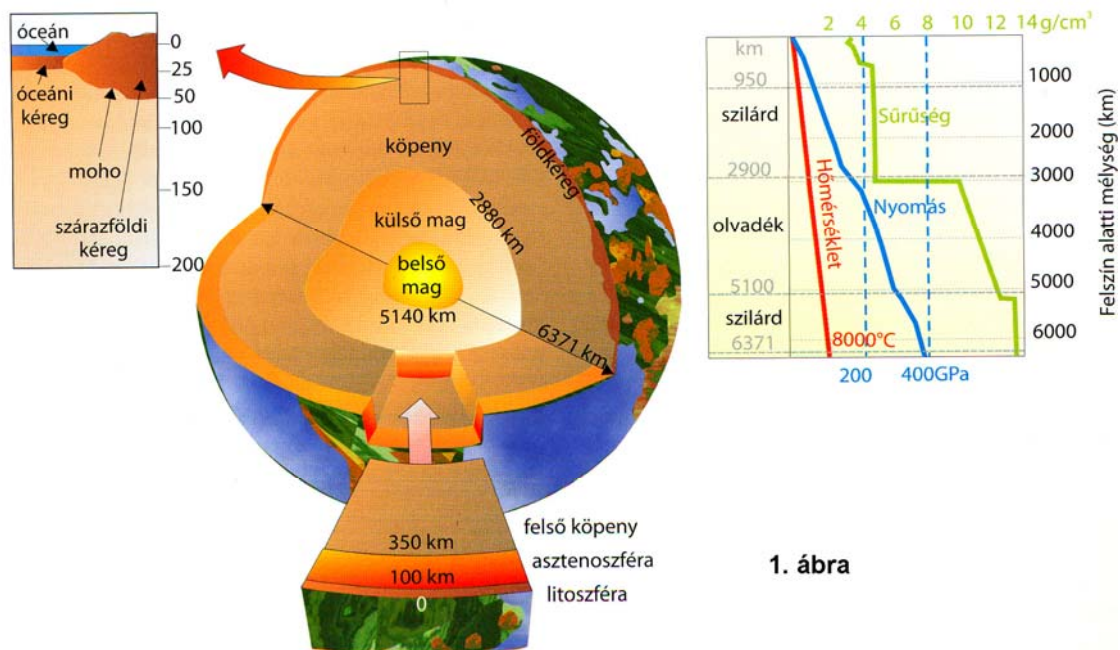
A Föld szerkezetére és felépítésére több adatból következtethetünk, melyek vagy analógiákon, vagy méréseken alapulnak. A három legfontosabb információs forrásunk:

- a mélyfúrások,
- a magmás kőzetekben látható felső köpeny eredetű zárványok,
- a meteoritok,
- a földrengés-hullámok.

A mélyfúrások igazából csak a földkéreg legfelső, maximum 12-13 km-es mélységéig hatolnak be, és így a Föld mélységének csak egy nagyon kis szakasza ismerhető meg ezekből. A meteoritokról feltételezzük, hogy anyaguk részben megegyezik a Föld mélyének anyagával, így közvetve következtethetünk a Föld belsejének ásványos összetételére.

A Föld belső szerkezetét, öves felépítését leginkább a földrengéshullámok terjedése alapján lehet tanulmányozni. A rengéshullámok terjedési sebessége közegenként változik, sűrűbb anyagban felgyorsulnak. A két rengéshullám közül a longitudinális vagy primer (P) hullámok mind folyadék-, mind szilárd fázisban terjednek, míg a transzverzális vagy szekunder (S) hullámok csak szilárd fázisú kőzetekben terjednek, a folyadékok elnyelik ezeket. A P hullámok átlagos terjedési sebessége 6 km/s, míg a lassabb S hullámok átlagosan 3,5 km/s sebességgel terjednek a kőzetekben (Hamblin 1989).

A rengéshullámok terjedési sebessége és visszaverődése alapján megállapítható volt, hogy a Föld belseje öves felépítésű. A Föld legkülső része szilárd anyagból áll, amit földkéregnek nevezünk. A földkéreg vastagsága szélsőségesen változó, hiszen az óceánok alatt csak 4-5 km vastag, míg a kontinenseknél kivastagodik, elérheti akár a 70 km-t is.



A Föld belső öves felépítése és főbb fizikai tulajdonságai

1. ábra

A Föld belső melege a földi hőáram formájában jut a felszínre. Az, hogy a hőáram milyen mértékben melegíti egy adott területet, attól is függ, hogy milyen vastag az

adott régióban a földkéreg, milyen a kőzet összetétele, továbbá hogy milyen áramlási cellák találhatóak a mélyben.

A Föld felszínén a külső időjárás okozta hőmérsékletváltozás csak a felszín közeli zónát érinti.

Azt a mélységet és zónát, ahol már a felszíni hőmérséklet-ingadozás nem érvényesül és a felszín alatti vizek az évi átlag középhőmérsékletet mutatják, neutrális vagy semleges zónának nevezzük. A neutrális zóna mélysége területenként változik, de átlagosan 17-20 m-es mélységben helyezkedik el.

Az itt mérhető hőmérséklet az ország átlagát tekintve  $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ettől lefelé haladva a hőmérséklet emelkedésével kell számolni. A hőmérséklet-emelkedés mértékét a geotermikus gradiens adja meg. Ez azt jelenti, hogy méterenként hány fokkal nő a hőmérséklet. Jobban használható a geotermikus gradiens reciproka, amely azt a távolságot fejezi ki, hogy a Föld belseje felé haladva hány méterenként nő  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal a hőmérséklet.

A hazai mérések alapján az országos átlag  $18\text{ m/C}^{\circ}$  értékre adódott (Kleb 1977), ami a  $33\text{ m/C}^{\circ}$  –os világtátlaghoz képest jelentős eltérésnek mondható. Az eltérést az okozza, hogy hazánkban a földkéreg a világtátlaghoz képest vékony (22-35 km). Ez azt eredményezi, hogy az ország nagyon gazdag hévizekben.

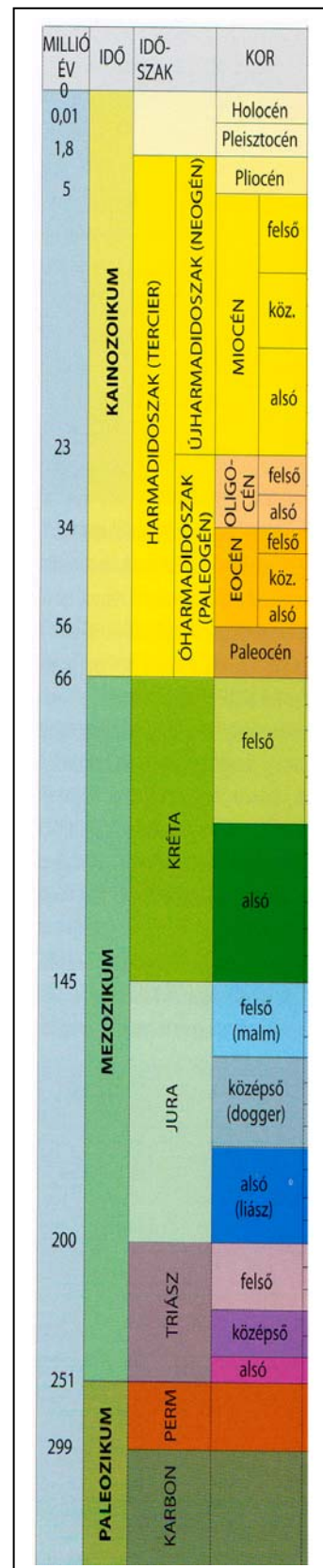
## FÖLDTÖRTÉNETI KOROK

A kőzetek pontos évmilliókra lebontható korának meghatározásához a radioaktív bomlás felfedezésére és a radioaktív elemek felezési idejének meghatározására volt szükség. A kőzetekben található elemek közül jó néhány radioaktív elem található, de ezek közül kormeghatározásra csak a szén, az urán, a kálium, a rubídium izotópjait szokták használni. Az adott izotóp felezési idejét ismerve és feltételezve azt, hogy az izotóp a kőzetalkotó ásványba a kőzet képződésekor lépett be, vagy egy már kialakult kőzetben az ásvány átkristályosodásakor (pl. metamorfózis) keletkezett, megmérhetjük a kőzetben/ásványban ma található stabil izotópok mennyiségét. A stabil izotópok a radioaktív bomlás során keletkező, tovább már nem bomló alkotók, amelyek mennyisége a radioaktív izotóp bomlásával fokozatosan nő. A szén 14-es tömegszámú izotópját fiatal, néhány ezer éves (maximum 75 ezer év) kőzeteknél lehet alkalmazni, ezért pl. régészeti kormeghatározásnál, vagy klímaváltozások kutatásánál használhatják.

Az urán-ólom módszer alkalmazásakor azt használjuk ki, hogy az urán tömegbomlásával ólom keletkezik. Hátránya, hogy a nagy felezési idő miatt csak 100-200 millió évesnél idősebb kőzetek kormeghatározására alkalmas. Ismert még az ún. kálium-argon és a rubídium-stroncium módszer is.

A földtörténet eseményeinek egymásutánosságát egyre inkább megismerve célszerűnek látszott, hogy az egyes fontosabb eseményeket és az azokhoz kapcsolódó periódusokat elnevezzék. Az egyes időszakok nevüket vagy egy földrajzi névről, vagy egy adott földtani korra jellegzetes képződményről kapták (pl. karbon az abban az időszakban gyakori szénről kapta nevét, a jura időszakot a svájci-francia határnál található Jura-hegységről nevezték el).

A Föld történetét legszemléletesebben úgy képzelhetjük el leginkább, hogy egy 9 könyvből álló könyv-sorozatnak gondoljuk, amelynek minden egyes tagja kb. 500 lapból áll. Minden egyes lap egymillió év történetét meséli el. A képzeletbeli könyvsorozat első 8 kötete, amely összesen közel 4000 lapból áll, írná le a Föld történetének elejét. Itt az adatok és az információink elég hiányosak, és sok lapon üres részek találhatók. Minél közelebb jutunk a jelenhez, annál több információt találunk a lapokon és egyre sűrűbbek az oldalak. A földtani „ókor”, „középkor” és „újkor”, paleozoikum, mezozoikum és kainozoikum. Hazánkban felszínen elsősorban a földtani középkor és újkor kőzetei fordulnak elő (2. ábra).



2. ábra

Magyarországi földtani időtagoltsága

Az egyes harmadidőszaki korok neve egyre fiatalodó sorrendben paleocén, eocén, oligocén, miocén és pliocén. A miocén egy részére hazánkban a pannóniai kifejezést is alkalmazzák, de a pannon üledékek már részben átnyúlhatnak a pliocénbe is. A negyedkori képződmények az utolsó 1,8 millió év földtörténeti eseményeit foglalják magukba.

A mai kort, amiben élünk, a geológia holocén kornak nevezi, és kezdetét 10 000 évvel ezelőtre teszi. A holocén során alakultak ki folyóteraszaink és a legtöbb lejtőüledék, valamint a talajtakaró is.

## **ÁSVÁNYOK:**

Az ásványok a természetben előforduló, a földkéreg felépítésében részt vevő olyan anyagok, amelyek meghatározott kémiai összetétellel és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Az ásványok túlnyomó többségükben szilárd halmazállapotúak, kis részben folyadékok (pl. természetes eredetű higany).

A szilárd ásványok két csoportra oszthatók, a kristályos és az amorf ásványok csoportjára. Az amorf ásványoknak nincs határozott belső szerkezetük, és fizikai tulajdonságuk is változó lehet, ezekből jóval kevesebb ismert, mint a kristályos ásványokból.

Azonos vagy hasonló kémiai összetétel mellett előfordulhatnak olyan ásványok, amelyek egyike rendezett belső szerkezettel rendelkezik, és így kristályos, míg más változataik ugyanilyen összetétel mellett rendezetlen, ún. amorf belső szerkezetet mutatnak. A legszebb példákat a  $\text{SiO}_2$  módosulatai mutatják. A kristályos kvarc mellett a szabályos belső szerkezet nélküli, „szilárd gél” jellegű  $\text{SiO}_2$  módosulatok közül legismertebbek az achát vagy az opál

## **KÖZETEK**

A kőzet egy vagy több ásvány természetes keletkezésű, tömeges megjelenésű társulása. Kőzetek találhatóak a Holdon, a Marson és más bolygón is.

A kőzetek többsége szilárd, de tágabb értelemben vett kőzetként értelmezzük a folyékony szénhidrogéneket és a gáznemű földgázt is (szerves eredetű üledékes kőzetek). Keletkezésük alapján a kőzeteket három nagy csoportba lehet osztani:

magmás, üledékes és átalakult vagy metamorf kőzetek csoportjába.

A magmás kőzetek alapvetően izzó szilikátos kőzet-olvadék (a magma) megszilárdulásával jönnek létre.

Az üledékes kőzetek már korábban kialakult kőzetek lepusztulásából létrejövő szemcsékből képződnek (törmelékes üledékek, pl. homok vagy homokkő) vagy kémiai-biológiai folyamatok hatására válnak ki, vagy kristályosodnak (vegyi vagy biogén üledékek, pl. mészkő), de képződhetnek szerves állati növényi maradványok bomlásából, átalakulásából is (szerves üledékek, pl. kőszén).

A metamorf vagy átalakult kőzetek már korábban létező kőzetből nyomás és hőmérséklet hatására átkristályosodással jönnek létre (pl. mészkőből a márvány).

A kőzetek, bár a közhiedelemben a szilárdság, változatlanság, állandóság szimbólumai, a valóságban folyamatosan változnak, átalakulnak. Így a fent felsorolt mindhárom kőzettípus: magmás-üledékes-metamorf a geológiai folyamatok révén egymásba átalakulhat.

A 3. ábra mutatja be a kőzettípusok gyakoriságát a földkéregben, az őskorban és jelenkorban, továbbá a hazánk felszínén %-ban.

Kőzettípus	Földkéreg 0–15 km-es mélységig	Felszíni elterjedés a földtani térképek alapján		
		A Föld felszínének egészét tekintve		Magyarországon jelenkori
		Őskori keletkezésű	Jelenkori képződésű	
magmás	64,7	78	24	2,3
üledékes	7,9	20	75	97,3
átalakult	27,4	2	1	0,4

3. ábra A kőzettípusok gyakorisága a földkéregben, és a hazánk felszínén.

## FÖLDFELSZÍN ÁLLANDÓ VÁLTOZÁSA

A Föld felszíne állandó változásban van. A változások mozgatórugója részben a Föld belső melege részben külső hatásokra vezethető vissza, pl. időjárás. A változások egy része emberi időléptékkel is látható, más részük hosszabb földtani időt igényel. A változások lehetnek gyorsak, pl. vulkánkitörés, vagy hosszan elnyúló folyamatok, pl. folyóvíz beágódása. A mérnöki tevékenység során sok esetben mindezekkel a kevésbé megfogható eseményekkel számolni kell, és tervezés során például földrengésekre méretezni kell a nagyobb mérnöki szerkezeteket.



## FELSZÍNMOZGÁSOK

A természetes lejtők és felszínek általában a legkisebb energiaszintjük elérésére törekednek, azaz legstabilabb formájukra próbálnak alakulni.

Felszínmozgásoknak nevezzük mindazon folyamatok összességét, amelyek az irányban hatnak, hogy ez a természetes állapot megteremtődjön.

A természetes mozgásfolyamatok mellett az emberi tevékenység is kiválthat felszínmozgásokat, például útbevágások készítésénél a lejtő formájának megbontása egy új forma kialakítására kényszerítheti a lejtőt, azaz mozgásokat iniciál.

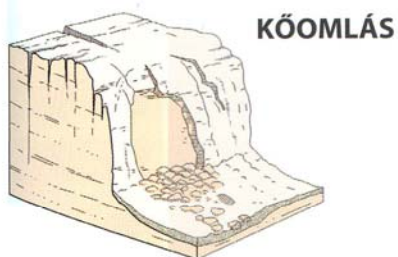
A felszínmozgásokat az is megkülönbözteti a természetes üledékképződési folyamatoktól, hogy itt nem beszélhetünk szállítóközegekről (pl. víz, szél), hanem a mozgásban részt vevő anyag gravitáció hatására mozdul el. A felszínmozgásokat osztályozhatjuk sebességük alapján, a mozgásforma, a mozgásban részt vevő közettípus alapján és aszerint, hogy milyen nagy területre terjednek ki.

A mozgás sebessége szerint a nagyon gyorstól (m/sec), a nagyon lassúig terjedő (mm/év) felszínmozgásokat különböztethetünk meg

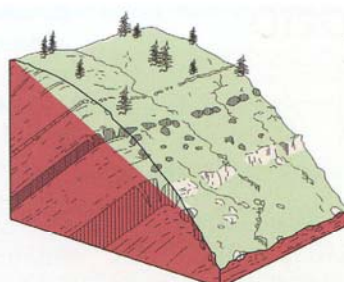
A főbb mozgásformákat a különböző szakmák képviselői, a geológusok, a geotechnikusok, a geomorfológusok másképpen jellemzik, és időnként eltérően értelmezik.

A mozgásformák alapján a hazai gyakorlatban megkülönböztetünk:

- omlást,
- csuszamlást,
- folyást,
- beszakadást,
- egyéb mozgásformát.



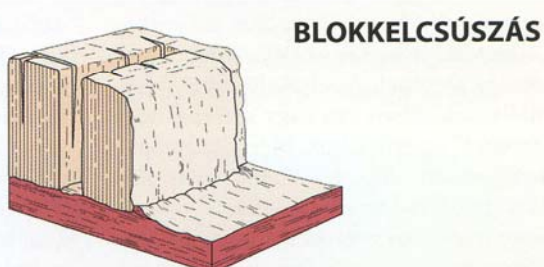
**KŐOMLÁS**  
Kőzetdarabok közvetlen omlása sziklás meredélyekről.



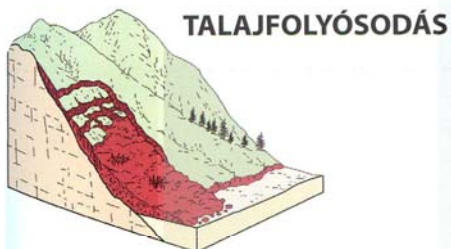
**KÚSZÁS**  
A talaj és a laza kőzetretegek lassú lejtőirányú elmozdulása. Többféle folyamat okozza, pl. talajfagyás-olvadás.



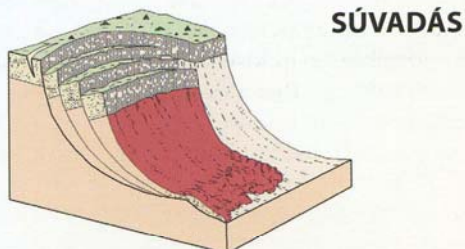
**KŐCSUZAMLÁS**  
Kőzetdarabok gyors lecsúszása egy rétegzési vagy tektonikai síknak megfelelően.



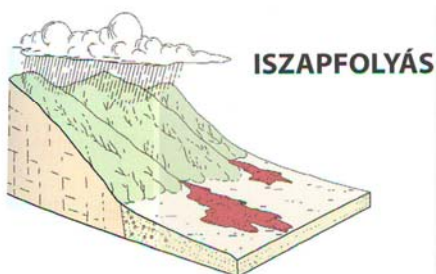
**BLOKKELCÚSZÁS**  
Nagyobb kőzetblokkok lassú elcsúszása egy alsó képlékeny rétegen (pl. agyagon).



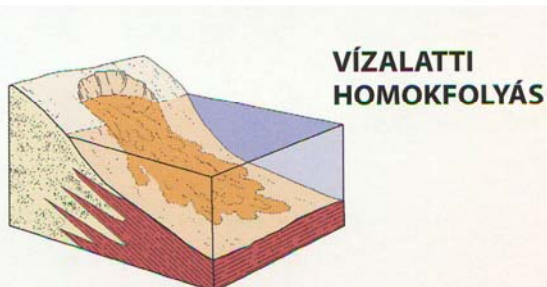
**TALAJFOLYÓSODÁS**  
A talaj és a laza kőzet vagy regolit együttes lefolyása kevésbé nedves állapotban.



**SÚVADÁS**  
Egy eredetileg egységes kőzetestnek görbe síkok mentén történő, általában nem túl gyors lejtőirányú kimozdulás. Az ISZAPFOLYÁSOK általában a súvadások végeinél történnek.



**ISZAPFOLYÁS**  
Kőzetdarabkák, talaj, sár és víz keverékének együttes, gyors lefolyása. Általában nagy mennyiségű vizet és sárt tartalmaz, gyakori.



**VÍZALATTI HOMOKFOLYÁS**  
Vízzel átjárt (szaturált) homok vagy homoklisztnak a mélyebb tengerrészekbe történő gyors lefolyása. (A mélymedence iszapos üledékei közé ülepedő homoklencsék az ún. turbidek.)

## MAGYARORSZÁG FÖLDTÖRTÉNETÉNEK ÁTTEKINTÉSE

**Az ókorból** (235 millió évnél régebről) csak lepusztult hegység részek maradtak fenn, s az alaphegység kb. felét képezik. A devonból és a karbonból tömör mészkő és dolomit található felszínközeli szinten (Vashegy, Polgárdi, Észak-Borsod). A **perm** időszakban keletkezett a Balaton-felvidéken és a Mecsekben az ókor legjelentősebb hazai képződménye, az építési célra is használt **vörös homokkő**.

**A középkorban** (a 235 és 67 millió évvel ezelőtti időközben) hazánk területét a Thetisz-tenger fedte, s meg is található valamennyi rétegsora, s az alaphegység mintegy felét adja. A felszínen a hegységekben fellelhető

- a triász mészkő, dolomit és márga (Bakony, Bükk, Mecsek, Aggtelek),
- a jura mészkő, kőszén (Bakony, Gerecse, Mecsek),
- a kréta mészkő, agyag, márga, bauxit (Dunántúli-középhegység, Mecsek).

**A harmadkorban** (kb. 2 és 67 millió évvel ezelőtti időközben) általában sekély tenger borította az ország területét, a hegységek szigeteket alkotva emelkedtek ki, s ezek partjain vastag üledékek képződtek. A miocénban és a pliocénban aktív vulkánosság is volt. Az egyes korszakokból az alábbi jellemző képződmények lelhetők fel:

- eocén: agyag, breccsa, márga, mészkő (Vértesszőlős, Nógrád), barnaszén (Tatabánya),
- oligocén: hasonló az eocénhez, továbbá hárshegyi homokkő és kiscelli agyag (Bp.),
- miocén: agyag, mészkő, kőszén (Nógrád, Fertőrákos, Budapest), andezit (Mátra, Zempléni hg.)
- pliocén: Pannon-tengeri vastag homokos agyag és lignitüledék (hegységeink pereme), bazalt vulkánok (Balaton-felvidék, Nógrád).

**A negyedkort** (a 2 millió éve tartó időszakot) szárazföldi viszonyok, szélhordta és folyami üledékképződés jellemezte:

- a pleisztocénban jégkorszaki lösz rakódott le a Dunántúli-medencére és az Alföldre, ill. futó homok az Alföldre és durva folyami hordalékok homokos kavics) a Kisalföldre,
- a holocénban is a futó homokok és a folyami hordalékok a jellemzők, míg a kisebb folyók mentén öntéstalajok és tőzegek képződtek.

Hazánk területének túlnyomó részén a mérnöki szempontból lényeges zónában harmad- vagy negyedkori laza üledékes kőzetek találhatóak. Ezeket nevezzük mérnöki értelemben talajnak. Építményeink nagyobb része erre kerül, ezen anyagokban, ill. ezekből alakítjuk ki a földműveinket. Ezek tulajdonságait kell tehát részletesebben megismernünk.

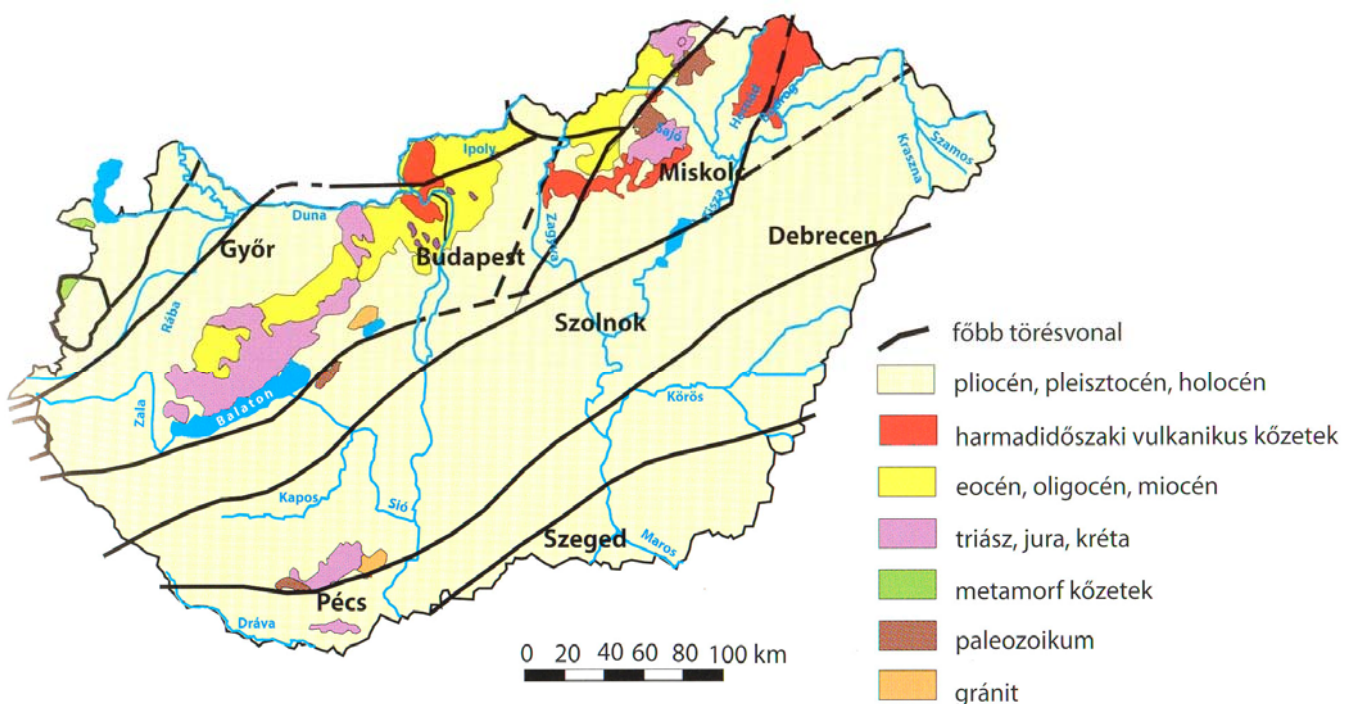
## MAGYARORSZÁG A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

A földrajzi-földtani adottságok meghatározóak a kőzet előfordulások eloszlásában és elhelyezkedésében. Az ország területének 69%-a síkvidék, 15%-a alacsony (200 m-ig), 14%-a közepes (200-400 m), és csak 2%-nyi a viszonylag kiemeltebb helyzetű (400 m feletti) régió.

Az 500 m feletti hegységek csak mintegy 0,7%-át teszik ki az ország területének.

Ennek megfelelően a fiatal (holocén-pleisztocén), laza üledékekkel borított terület aránya kb. 86%! Ezenfelül még 7%-nyi a laza tengeri üledékekkel borított (neogén, paleogén korú) területek aránya, így mindössze kb. 7%-nyi az a felszín, ahol szilárd kőzeteket találunk 4. ábra.

Az ország területének nagyszerkezeti fejlődését az jellemzi, hogy az afrikai és európai lemez ütközési zónájában kialakult és felgyűrt Alp-Kárpáti hegyvonulat egy belső medencéjét, a Pannon-medencét alkotja. A szerkezeti mozgások következtében tehát egymástól nagyon különböző ősföldrajzi helyzetben kialakult kőzetblokkok alkotják (5. ábra).



5. ábra

Magyarország földtani térképe

## HAZAI TAVAINK

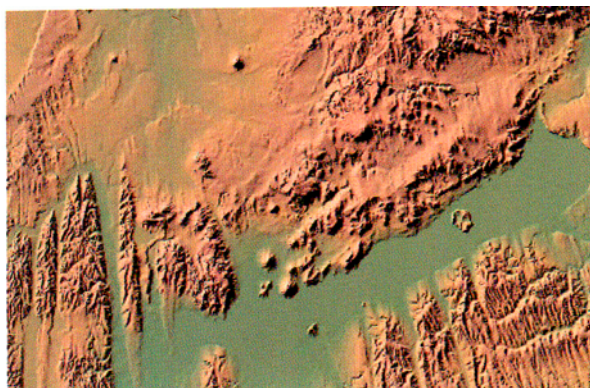
Magyarország területén 3 nagyobb tó (Balaton, Velencei-tó, Fertő-tó) és további több mint 1200 természetes és mesterséges tó van. A három nagy tavunk 700 km<sup>2</sup>-es vízfelületével az ország területének csak 0,75% -át foglalja el. A mesterséges tavak közül a legnagyobbak a Markazi-, Rakacai- és Lázbérci-tározók, de ide sorolható a legnagyobb vízfelületű Kiskörei-Tisza-víztározó (Tisza-tó) is.

Tó	Közepes víztükör [km <sup>2</sup> ]	Átlagos vízmélység [m]	Maximális vízmélység [m]	Vízgyűjtő terület [km <sup>2</sup> ]
Balaton	596	3,36	12,2	5180
Fertő tó	280 ebből 82 magyarországi	0,90	1,5	1019
Velencei tó	26	1,10	5,2 (kotort)	615

A tavak vízszintje változó, és erősen függ az éves csapadék mennyiségétől.

### BALATON

A Balaton törések által határolt fiatal árkos süllyedésben található. Történelmileg nagyobb területet is elfoglalt, de a krónikák szerint többször is kiszáradt.

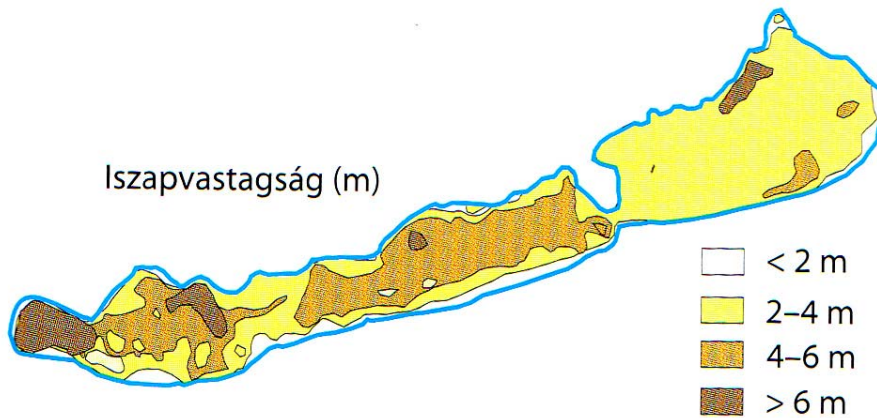


6. ábra A Balaton medencéjének domborzati térképe



7. ábra A Balaton 1732-es térképe (Mikovinyi Sámuel)

A tó medrének átlagos évezredes feliszapolódási üteme 0,2–0,8 mm/év. A Balatonban jelenleg is képződik üledék. Az iszap változó vastagságú (1–8 m), keletről nyugatra növekedő mértékű, a tó nyugati végén már 0,3-0,4 mm. A legvastagabb iszapréteget, amely meghaladja a 10 m-t, a Keszthelyi-öbölben mérték.



8. ábra A Balaton iszapvastagság térképe

A Balaton partvonala szélsőségesen változó. A meredek erózióra hajlamos partok (pl. Zamárdi, Balatonkenese) mellett feltöltődő, feliszapolódó részek is elő-fordulnak. A partvédelmi művek megépítése előtt a hullámverés miatti parterózió mértéke elérte a 1,5 m/évet is (Zamárdi).

## HAZAI FOLYÓINK

Magyarország a Kárpát-medencei elhelyezkedése miatt különleges vízföldtani adottságokkal rendelkezik, hiszen a Föld egyik legzártabb medencéjének tekinthető, amely szerencsére lefolyással bír. Földrajzi értelemben véve csak egyetlen főbb folyója van, a Duna, amely el is hagyja a medence területét. Az ország felszíni vízrendszerét jellemezve azt írhatjuk, hogy olyan alvizi ország vagyunk, amelynek lapos térszínén meanderező folyók folynak és gyakoriak az árvizek.

A felszíni folyóhálózatot áttekintve azt látjuk, hogy az ország területére 18 helyen folyik be folyó, de csak 3 folyó hagyja el területét. A beérkező vizek vízhozama 3602 m<sup>3</sup>/s, a távozó vízhozam 3782 m<sup>3</sup>/s, amely különbség kiadja az ország területén keletkező 180 m<sup>3</sup>/s vízmennyiséget

Azaz összességében felszíni vizeink közül a folyók csak „átrohannak” vagy „átsétálnak” az ország területén.

Ennek komoly környezetvédelmi következményei is vannak, hiszen felszíni vizeink minősége nagymértékben függ a környező országoktól. Erre jó példa a 2000. évi tiszai ciánszennyezés. A szennyeződés eredete az erdélyi aranybányászathoz (Nagybánya környéke) köthető, hiszen a kőzetből az ércet cianidos technológiával nyerik ki, és a visszamaradó meddőhányóban és zagytározóban magas cianid tartalmú iszap marad vissza. A heves esőzések miatt és a nem megfelelő kialakítás következtében egy ilyen zagytározó gátja szakadt át 2000 januárjában, és közel százezer m<sup>3</sup>-nyi cianid- és réztartalmú szennyvíz szabadult el. A cián, bemosódva a helyi vízfolyásokba (Zazar és Lápos folyók), a Szamoson keresztül beérkezett a Tiszába, az élővilág és azon belül is a halállomány jelentős pusztulását okozva. A mért ciánkoncentrációk a Szamoson háromezreszoroson, a Felső-Tiszánál pedig mintegy százszoroson haladták meg a hazai határértékeket.

A két legnagyobb folyónk a *Duna* és a *Tisza*, amelyek közül a Duna a teljes hosszának csak **14%-ában folyik az ország területén**, míg a **Tisza közel 60%-a Magyar-országra esik**.

A folyóhálózat mai képe geológiai értelemben csak egy pillanatképnek tekinthető, hiszen a földtörténeti közelmúltban is folyóink máshol folytak. Az ősz-Duna és az ősz-Tisza is jelen medréhez képest keletebbre folyt még a negyedidőszak elején is.

Az alacsony fekvésű térszínnek, a szélsőséges időjárási viszonyoknak köszönhetően viszonylag gyakoriak az árvizek. Korábban, a folyószabályozások előtt az ország területének egy részét, az Alföld 1/3-át időszakos árvizek árasztották el.

A nagyobb árvizek leginkább a téli félév csapadék-többletéből erednek, azaz a téli félév során a Kárpáti medencét övező hegyvonulatokban felhalmozódó hó és ennek elolvadásával a talajba beszivárgó víz együttes hatása okozza ezeket. Az árhullám mértékét és levonulásának gyorsaságát a vízgyűjtő mérete is jelentősen befolyásolja, hiszen a kisebb patakokon, folyókon a csapadékhullás után közvetlenül (patakok), vagy azt 10-20 órával követően (kisebb folyók) megjelenik az árhullám. Ilyen néhány órás felhőszakadásokhoz köthető árhullám tarolta le Kemence települését a Börzsönyben 1999-ben, vagy a mátrai Hasznos és Mátraszentimre térségét 2005-ben.

Nagyobb folyókon, mint a Duna vagy a Tisza, többnapos csapadékos időszak vagy néhány kedvezőtlen tényező együttese, pl. nagy mennyiségű hóban tárolt víz, hirtelen felmelegedés és meleg csapadék szükséges az árhullám kialakulásához, amelynek levonulása jóval lassabb, több napra kiterjedő elnyúló árhullám-görbét okoz.

A hazai pusztító árvizek egy példájaként a 2001-es tiszai árvíz esetét mutatjuk be. A Kárpátokban 2001. február 28-án a hóban tárolt vízkészlet  $2,1 \text{ km}^3$  volt, amely viszonylag kis mennyiségnek mondható. Az enyhülés következtében a hóra meleg eső hullott, amely hirtelen hóolvadást okozott. Ennek következtében árhullám indult meg, amely csak Ukrajnában 50 gátszakadást okozott.

Hazánkban kezdetekben a gátak állták a nagy víznyomást. A magyarországi védekezés során összesen 42 km hosszan nyúlgátat építettek, de gátszakadás történt és  $209 \text{ km}^2$  területet öntött el a víz Magyarországon.

Magyarországon az árvízvédelmi gátak hossza 4200 km, és a gátakkal védett területen 646 település van, melyben közel mintegy 2,3 millió ember él.

A termőterület 40%-a, a vasúti nyomvonalak 32 %-a van a védett területeken.

## TALAJVÍZ

Az ország területének több mint fele síkság és csak mintegy ötöde emelkedik 200-300 m magasság fölé. Ráadásul az ország területének legnagyobb részét fiatal negyedkori üledéktakaró borítja, amely alapvetően a talajvíz kialakulásának kedvez. A vízellátásban korábban az alföldi területeken döntő szerepe volt, amit a XX.sz. elején még több mint egymillió ásott kút is jelzett (Alföldi 2002).

Mára már a talajvizek nagy része az ivóvíz-ellátásra alkalmatlan, mert magas nitrát- és egyéb szennyező-anyag tartalmúvá vált részben a mezőgazdasági termelés, részben a korábbi csatornázatlanság és szennyvíz-tisztítás hiánya miatt. Ezért a talajvíz kutak aránya a vízellátásban pár százalék alá esett.

A talajvíz szintje az utolsó negyven-ötven évet tekintve szélsőséges változást mutat. Az egyre növekvő rétegvíz kitermelés és ennek talajvízleszívó hatásának következményeként a Duna-Tisza közeli régióban a terület nagy részén jelentős mértékben csökkent a talajvíz



szintje, ami a talajrétegek fokozatos kiszáradását eredményezte. Itt vannak olyan területek, ahol a hatvanas évekhez képest 3 m-rel is alacsonyabb talajvízszintet regisztráltak (Liebe P. 2002).

Az ilyen mértékű csökkenéshez a kilencvenes évek végének csapadékszegény időszaka is hozzájárult. Ezzel szemben a Tiszántúl nagy részén 50 cm–100 cm közötti talajvízszint-emelkedést észleltek, amely megnöveli a belvizekkel potenciálisan sújtott területek nagyságát.

Ellentétes tendenciát mutatott a Tiszántúlon a Maros-völgye, ahol jelentős talajvízszint-esést mértek, ami annak is a következménye, hogy a víznek több, mint 50%-a az élővízfolyásokból származik.

A nagyobb városok vízellátását a fő folyóink mentén, a folyóparti vízbázisokon létesített csápos kutak biztosítják. Ezek az aknajellegű kutak a folyó mederüledékein átszűrődő, a folyókhoz köthető talajvizet, azaz a parti szűrésű vizet termelik ki.

Vízminőségük részben a vízbázis-védelmi törvényeknek is köszönhetően jónak mondható. Vizük általában külön tisztítást nem igényel (néha vastalanítani kell), de a vízhálózatba juttatás előtt azért kis mennyiségben klórt adagolnak hozzájuk. Budapest vízellátását is a mintegy 1 millió m<sup>3</sup>/nap mennyiségű vízkivittelt biztosító szentendrei, észak-pesti és Csepel környéki, Duna-hordalékra telepített ilyen vízbázisok biztosítják.

A rétegvizeket ma már az ország nagy területén használják, amit a közel 60 000 mélyfúrású kút tárt fel. A kutak jó része eredetileg a múlt században még artézi kút volt, szabad kifolyással rendelkezett. A vízkészletek fokozatos használata miatt egyre csökkent a nyomásszintjük, így az artézi kutak aránya csökkenő tendenciát mutat. A fokozódó vízhasználat és szennyeződések miatt egyre mélyebb rétegekből származó rétegvizet használunk. A medencék területén a rétegvizek egy része még ivóvíz minőségű, de gyakoriak a magas sótartalmú, fogyasztásra nem alkalmas vizek is.

Az Alföldön nagy területen problémát okoz a rétegvizek magas arzéntartalma. A rétegvizek fő vízáadó rétegeit a nagy vastagságú negyedkori és a harmadkori pannon üledékekben találhatjuk meg. Ezek az alföldi, kistáplási mély süllyedő medencék mellett az alacsonyabb dombvidékeinknek is jellemző képződményei.

A karsztvíz, mivel hegységeink többsége karsztosodó kőzetből áll, kiemelt szerepet játszik a hazai felszín alatti vizek között. Több városunk vízellátását biztosítják. (Eger, Pécs (Tettye vízbázisa), Veszprém, Ajka, Várpalota, Székesfehérvár.

## MI IS A GEOTECHNIKA?

Ha egyszerűen akarnánk erre a kérdésre felelni, akkor a föld**ben**, a földre és a föld**ből** való építés: földben-talajban épül például az alagút, talajra kerülnek az épületek-építmények alapjai, de talajból is építünk, hiszen az utak töltései, gátak, nagy feltöltések talajból készülnek.

R.Floss, G.Gudehus és R.Katzenbach :„A geotechnika helyzete az építőmérnöki tudományok központjában” című cikke, (megjelent a Geotechnik 23/2000 Nr1. számában) szemléletes képet ad a geotechnika gyűjtőfogalom széles köréről.

A geotechnika alapvető tudományos megalapozását az alaptudományok adják, ezekre épül az alkalmazott szakmai területek széles köre, úgymint a földművek, alapozások, földrengéses területeken való építés. Külön szempontok érvényesülnek a környezetvédelmi geotechnika területén.



9. ábra A geotechnika területei

A Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai tagozatának megfogalmazása, és értelmezése szerint a legfontosabb geotechnikai fogalmak a következők:

A **geotechnika** azon tudományok és módszerek összessége, melyek az építmények és/vagy az **építési tevékenységek, illetve a talajkörnyezet közötti kölcsönhatások elemzésével**, ezek, illetve az ezekből **eredő problémák értékelésével és megoldásával foglalkozik**. Kiterjed az ezekhez szükséges talajvizsgálatokra, a szükséges kölcsönhatásokat biztosító, illetve az új építményt és/vagy a természeti, valamint az épített környezetet e kölcsönhatásokkal veszélyeztető jelenségekkel szemben alkalmazandó megoldások és szerkezetek tervezésére, kivitelezésére, műszaki felügyeletére, megfigyelésére és fenntartására.

"**Geotechnikai szolgáltatáson** az előbbieken értelmezett kölcsönhatás következtében felmerülő geotechnikai **feladatok** megoldásához, a vélelmezhető veszélyek elhárításához szükséges szakszerű geotechnikai **tevékenységek** (talajvizsgálatok, tervezés, kivitelezés, ellenőrzés stb.) eredményeképpen készített és a megrendelőnek átadott geotechnikai **dokumentumokat** (jelentések, szakvélemények, tervek stb.) és esetleg a szóbeli tanácsadást értjük.

Ezek célja a kölcsönhatásokat biztosító, illetve ezek következtében felmerülő problémák kiküszöbölését biztosító geotechnikai **szerkezetek** (alapok, támszerkezetek, földművek, víztelenítő berendezések stb.) és geotechnikai **építési eljárások, technológiák** (alapozás, talajjavítás, földmunka stb.) szakszerű megvalósítása."

Meg kell jegyeznünk, hogy a bányászat és az alkalmazott földtan területén a geotechnika fogalmát szélesebb értelemben használják.

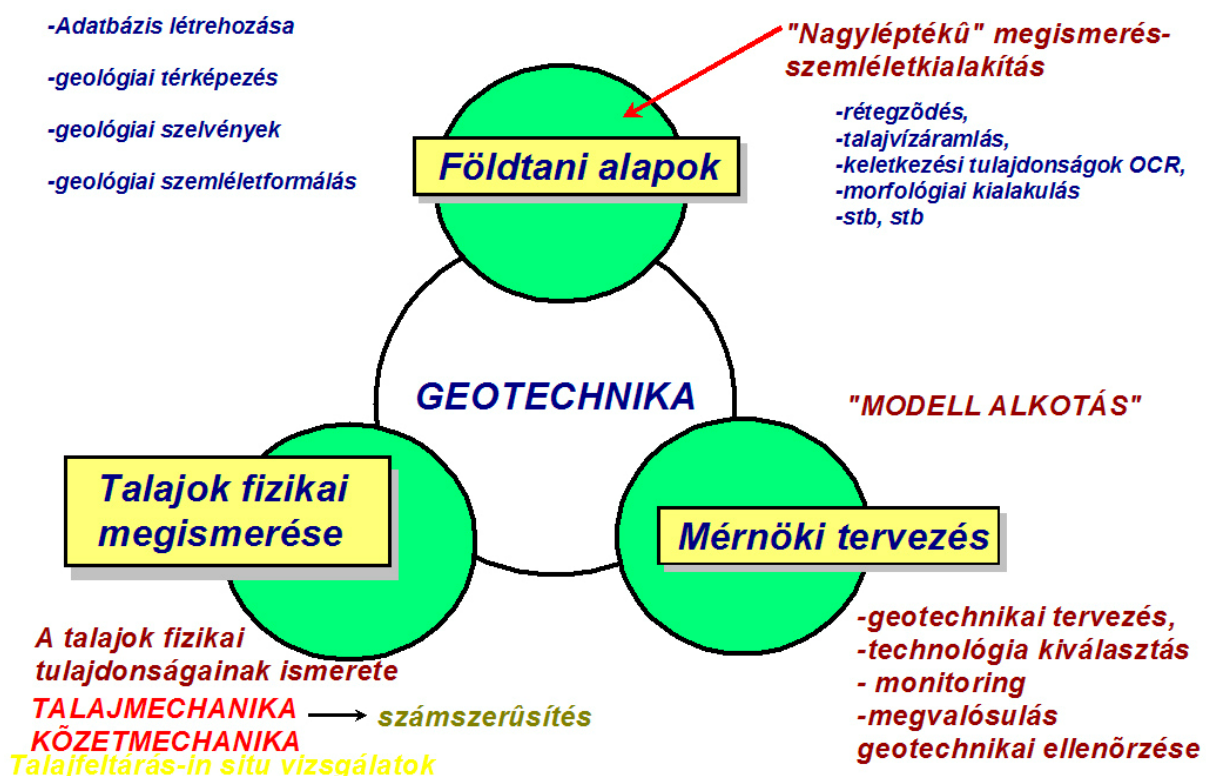
**Talajkörnyezeten** az építmény, illetve az építési tevékenység által közvetlenül vagy közvetve befolyásolt, már a beavatkozás előtt a helyszínen lévő talaj- vagy kőzetzónát értjük (földkéregtartomány), függetlenül annak az építményhez viszonyított geometriai helyzetétől, valamint természetes vagy mesterséges eredetétől. A fogalom magába foglalja e zóna felépítését és anyagát, továbbá a talajvizet is, s mindezek tulajdonságainak összességét.

**Geotechnikai szerkezeten** általában az építmények kölcsönhatásait biztosító, illetve az ezen kölcsönhatások következtében felmerülő problémák kiküszöbölését biztosító szerkezetek, melyek közé soroljuk az **alapokat, a támszerkezeteket, a földműveket, a**

víztelenítő berendezéseket és a speciális építési eljárásokkal, technológiákkal létrehozott javított talajzónákat.

A geotechnikai mérnöki ismeret alapjait több tudományterület komplex szemléletű egymásra épülése adja. A megbízható biztos lábakon álló geotechnikai ismeretanyag három alapvető jelentőségű „lába” van, és úgy is érzékeltethetjük mint egy stabil „háromlábú szék” lábai. Bármelyik láb hibája a szék stabilitását veszélyeztetheti.

- Földtani alapok. (nagy léptékű földtani szemlélet- Ezen a területen kapcsolódik erőteljesebben a geológia szakterületéhez);
- Talajok fizikai megismerése (számszerűsített talajfizikai tulajdonságok ismerete, azaz a talajmechanika és kőzetmechanika);
- Mérnöki tervezés (modell alkotás, technológia kiválasztás, monitoring).



10. ábra A geotechnika ismereti alapjai

A geotechnikai mérnöki tevékenység összetett, sok szakterülettel van kapcsolatban, ezért kooperációs együttműködésre van szükség a kapcsolódó területek szakembereivel. A geotechnikai tevékenységet jól képzett szakemberek végezhetik.

Mivel széles körű a geotechnikai tevékenység, ezért sok esetben a rokon szakterületek mérnökei is geotechnikai jellegű munkákat végeznek, például a statikus mérnökök is végezhetnek geotechnikai tervezést, támfal tervezést, alapozás tervezést tartószerkezeti kamarai jogosítvánnyal.

Magyarországon a Magyar Mérnöki Kamara ad jogosítványt a geotechnikai tervezői illetve szakértői tevékenység folytatásához, etikai felügyeletet gyakorol a mérnökök körében, megfogalmazza az elvárható szakmai teljesítmény alapkritériumait, ajánlásokat ad a geotechnikai tervezési díjak mértékére, részt vesz a hatósági előírások kidolgozásában stb.

Az egyértelmű fogalmi meghatározások és szabályozások érdekében munkacsoportja kidolgozta a „Geotechnikai szolgáltatások tartalmi követelményei” című dokumentumot, amely az Eurocode 7 megfontolásait követi, de figyelemmel van a korábbi geotechnikai szabályozásokra is.

Az ajánlás **irányelveket és általános követelményeket** fogalmaz meg, hogy a szokásos körülmények, eljárások, célok esetére segítséget nyújtson

- a geotechnikai tevékenységekre adandó ajánlatokhoz, illetve azok értékeléséhez,
- a geotechnikai szolgáltatásokra kötendő szerződésekhez,
- a díjak megállapításához, illetve
- a geotechnikai szolgáltatások elfogadásához.

A Geotechnikai szolgáltatások tartalmi követelményei (GSZTK) a Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának honlapjáról letölthetők: <http://www.geot.ini.hu/dokumentumok>

# A TALAJOK ALAPVETŐ MŰSZAKI TULAJDONSÁGAI, TALAJOSZTÁLYOZÁS

## Talajok keletkezése, összetétele, szerkezete

Mérnöki szempontból talajnak nevezzük a földkéregnek azt a legkülső takaró-rétegét, amely a szilárd kőzetek mállása következtében jött létre, s amely a mérnöki építmények állékonyságára, tartósságára és rendeltetészerű használatára kihat.

Minden talaj és üledékes kőzet, mely a föld kérgén megtalálható, magmatikus kőzetekből keletkezett. E kőzetek a föld felszínén mállásnak vannak kitéve, felaprózódnak és vegyi hatások miatt átalakulnak. A mállást a hőmérsékletváltozás, a víz, a jég és a szél koptató hatása, a víz oldó, a jég repesztő hatása, vegyi folyamatok /pl. oxidáció/ és mikroorganizmusok okozzák. A mállás folyamatát a külső körülményeken /pl. klímán/ kívül a kőzetek vegyi összetétele befolyásolja döntően.

## TALAJOK ALKOTÓRÉSZEI

A talajok három fő alkotórészből, a szilárd halmazállapotú szemcsékből, a folyékony vízből a légnemű levegőből állnak. Ezekhez még egyéb alkotók is társulhatnak.

A talaj tulajdonságait

- az alkotóinak (saját) tulajdonságai,
- az alkotók arányai, valamint
- az alkotórészek elrendeződése és kölcsönhatása (szerkezete) alapján lehet megismerni.

A talajok várható viselkedése függ azoktól a hatásoktól is, amelyek a talajt keletkezése után érték, amit tömören talajtörténetnek nevezünk.

A talaj „emlékező” tulajdonságú.

### A talajalkotók tulajdonságai

A fő alkotók mellett a szervességet és a mésztartalmat is vizsgálhatjuk.

A szervességet az izzítási veszteség alapján, a mésztartalmat a sósavval való reakció intenzitását megítélve minősítjük.

## A szemcsék tulajdonságai

A szemcsék jellemzésére a méretüket használjuk. A szemcse méretet a névleges átmérővel adjuk meg.

Ez annak a rostának (kör alakú) vagy szitának (négyzetes) a lyukbőségével azonosítjuk, amelyen a szemcse még átesik. A kisebb szemcsék névleges átmérőjének annak (a szemcsével azonos anyagú) gömbnek az átmérőjét tekintjük, amellyel a szemcse egy folyadékban azonos sebességgel ülepedik.

A névleges átmérő széles határok között változó tartományát frakciókra osztjuk.

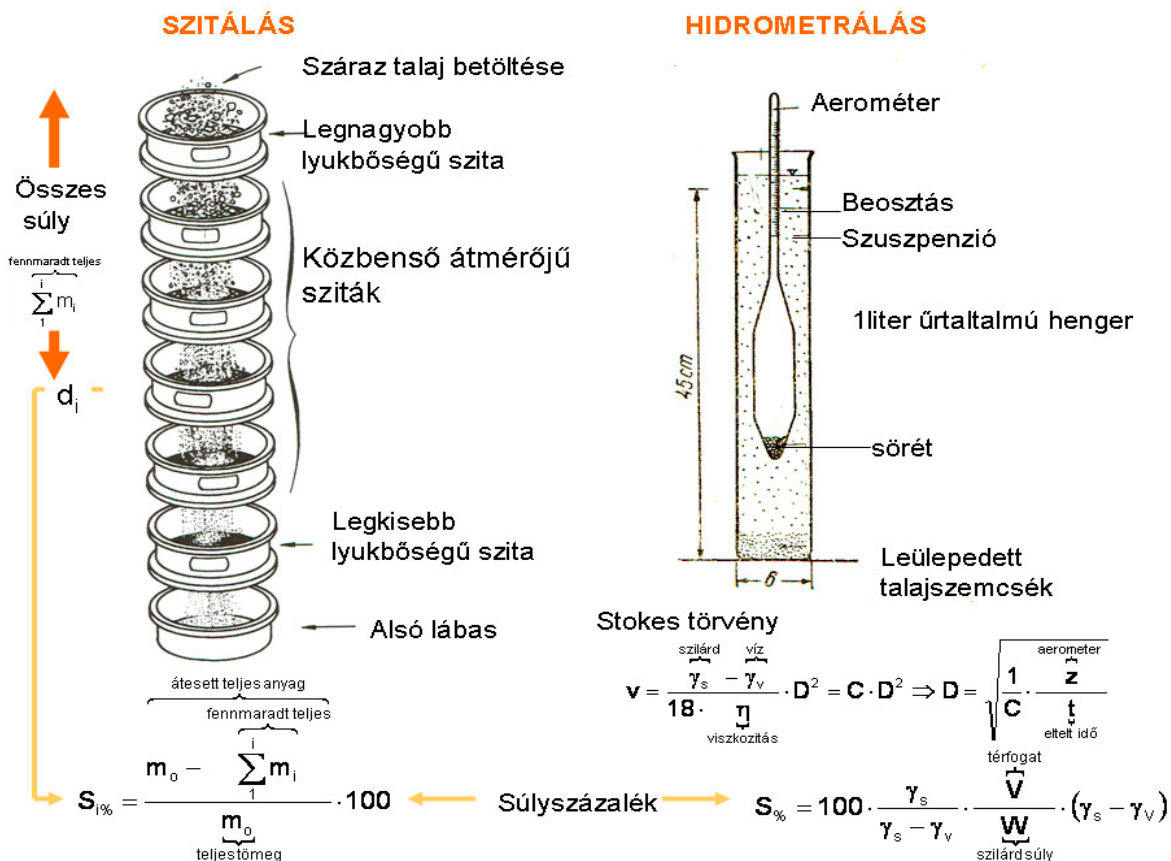
Ezekre az új európai talajosztályozási szabvány nyomán a 12. ábrán látható megnevezéseket használjuk. (A korábbi hazai osztályozási rendszerben a 0,1 és 0,02 mm közötti szemcse-tartományt homoklisztnek neveztük.) A frakciók nevének rövidítésére az angol szavak első betűit kell használni.

Egy természetes talajt sokféle méretű szemcse, sőt általában még frakcióból is több alkotja. A szemcsemérete ezért csak a szemcsék előfordulásának valószínűségét mutató szemeloszlással jellemezhető. Ennek meghatározására a szitálás és/vagy a hidrometrálás (ülepítés) szolgál. A szitálás során - összhangban a névleges átmérő definíciójával - azt mérjük meg, hogy valamely átmérőjű szitán a halmaz tömegének hányad része hullik át.

A hidrometrálással úgy határozzuk meg az egyes szemcseméreteket gyakoriságát, hogy a talaj vizes szuszpenziójának sűrűségváltozását mérjük, ami a szemcsék ülepedésének sebességéről ad képet.

A fizikából ismert Stokes - törvény szerint az ülepedés sebessége arányos a szemcseátmérő négyzetével. A talaj - folyadékelegy sűrűsége pedig arányos a még le nem ülepedett szemcsék mennyiségével.

Ülepedés közben mérve a sűrűséget, meghatározható az összetartozó átmérő és súlyszázalék.



11. ábra Szitálás és hidrometrálás

A szemeloszlást legkifejezőbben a szemeloszlási görbével adhatjuk meg. Ez azt mutatja meg, hogy valamely átmérőnél kisebb átmérőjű szemcsék a halmaz tömegének hányad részét képezik.

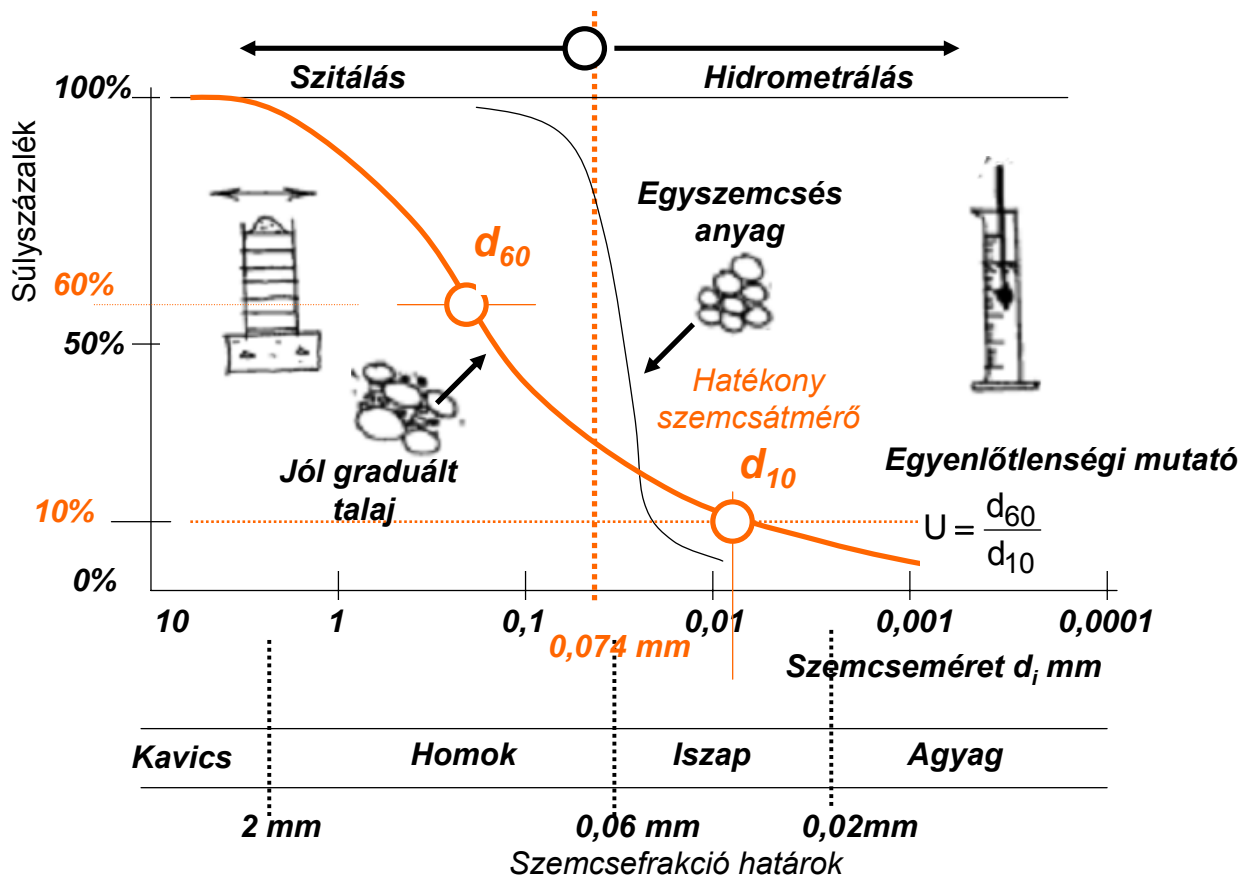
Mivel a szemcseméret tág határok között változik, ezért logaritmikus léptékben ábrázoljuk. (A kavicsfrakció 4 mm-es mérete és az iszapfrakció 0,02 mm mérete között  $4/0,02=200$  szoros az arány!)

A talajnemek elhatárolása, a szemcsefrakciók határa többé-kevésbé önkényes megállapodás eredménye, de az új európai szabvány meghatározza a szemcsefrakció határokat, melyek különböznek a korábbi magyar szabvány előírásaitól. Korábban a magyar szabvány a homokliszt megnevezést használta, az EU szabvány ezt a korábbi frakciót részben a finomhomok, nagyobb részben pedig az iszap frakciókba sorolta.

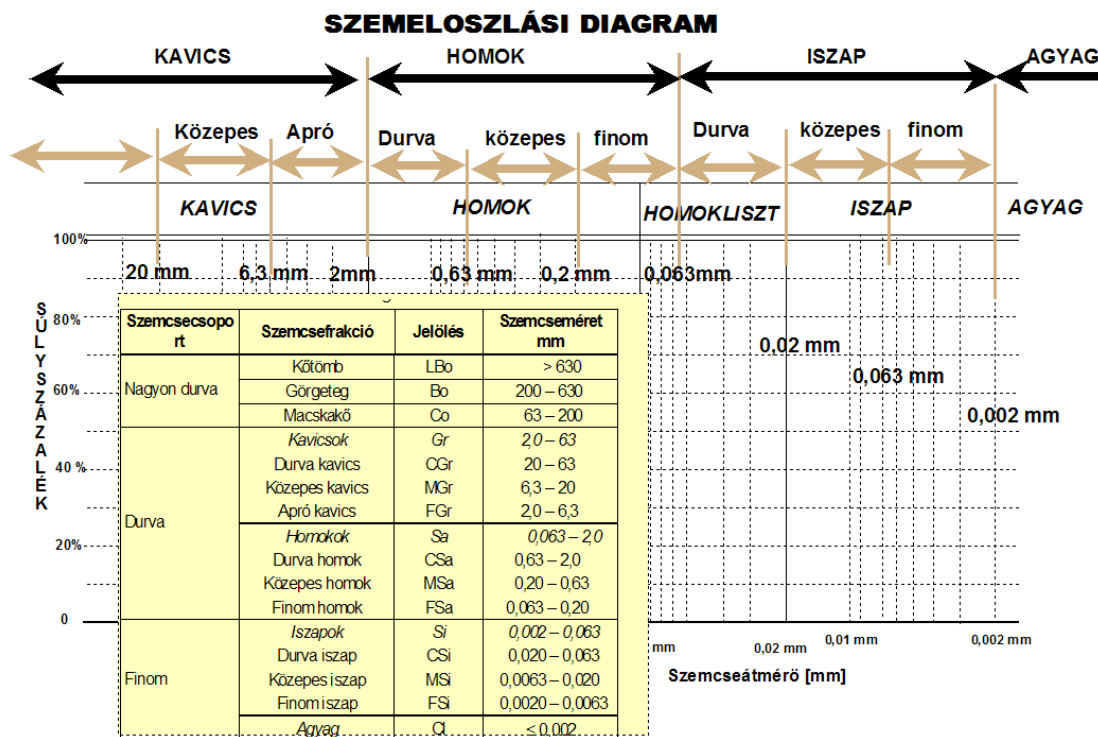
A szemcsefrakció határok EU szabvány alapján:

Ha D átmérő nagyobb 2 mm-nél	kavics
D átmérő 2 és 0,063 mm között	homok
D átmérő 0,063 és 0,002 mm között	iszap
D átmérő kisebb 0,002- mm-nél	agyag.





12. ábra Szemeloszlási diagram és vizsgálat



13. ábra A szemcsefrakció határok és megnevezések az új MSZ EN és a régebbi MSZ szabványok alapján

A 12. sz. ábra mutatja a szokásos szemilogaritmikus ábrázolási módot, a frakcióhatárokat.

A szemeloszlást gyakran csak az egyes **frakciók részarányával** adják meg.

Sokféle számszerű paraméterrel is jellemzik a szemeloszlást, melyek közül a

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{korábban } U \text{ betűvel jelölték})$$

képlettel számítható **egyenlőtlenségi mutató** a leglényegesebb. Ez a szemeloszlás folytonosságát jellemzi és különösen a talajok tömöríthetőségének elbírálására ad jó információt. Könnyen belátható, hogy az egyszemcsés, kb.  $C_U=1,9$  jellemzőjű talaj alig tömöríthető, szemben a vegyes összetételű talajjal, s ezt a  $C_U$  értékek különbsége jól érzékelteti.

Elsősorban a szemcsék vízzel kapcsolatos viselkedésének jellemzésére használatos a  $D_h$  **hatékony szemcsenagyság**, mely annak a gömbnek az átmérőjével azonos, melynek fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) felülete a vizsgált talajéval azonos.

Jó közelítéssel  $d_h = d_{10}$ ,

ami abból következik, hogy a finomszemcsék adják a felület túlnyomó részét.

### **A szemcsék anyaga**

A nagyobb kavicszemcsék még kőzettörmelékből, a kisebbek, ill. a homokok és homoklisztek túlnyomórészt kvarcból állnak, míg az iszapokban és az agyagokban feldúsulnak az agyagásványok. A kvarc előfordulása azért számottevő a talajokban, mert az kevésbé mállik, mivel kemény, vegyileg semleges ásvány. Az agyagásványok viszont már vegyi mállással keletkeztek, tömegükhöz képest jelentős elektromos töltéssel rendelkezhetnek, ami miatt a vízhez és egymáshoz is elsősorban elektrosztatikus erőkkel kapcsolódnak.

**A szemcsealak** kétféle tulajdonságot jelent. A geometriai forma lehet zömök, lemezes, túszerű. Az első inkább a homokokra, finom homokokra (homok-lisztekre), az utóbbi az agyagokra jellemző. A felületi a (víz- vagy levegőbeli) szállítási távolságtól függ, és éles, érdes, legömbölyödött, sima jelzőkkel jellemezhetjük.

**A szemcsék sűrűsége** viszont kevésbé változik, ezért mérésére (az ún. piknométeres eljárásra) ritkán van szükség. A szemcsefajtától függően lehet felvenni, a kavicsok és a homokok esetében  $\rho_s=2,65\text{g/cm}^3$  érték, az iszapokra  $\rho_s =2,70$ , az agyagokra  $2,75\text{g/cm}^3$  ajánlható.

## **A VÍZ FIZIKAI TULAJDONSÁGAI**

- Gyakorlatilag összenyomhatatlan;
- Viskozitása miatt sebességkülönbség esetén súrlódás lép fel benne;
- Vékony csövecskékben kapillárisan felemelkedik, mégpedig a vékonyabb átmérőjűekben magasabbra;
- Halmazállapota a nyomástól és a hőmérséklettől függően változik.

A víz a talajban a **következő formákban** jelenik meg:

### **A szabad talajvíz**

a szemcsék hézagait összefüggően kitölti, nyugalomban van, vagy külső hatásokra - elsősorban a gravitáció okán - folyadékszerűen áramlik.

### **A kapillárisan kötött víz**

a talaj alkotta vékony csövecskékben az összefüggő talajvíz fölé emelkedik. Egy bizonyos magasságig a hézagokat még teljesen kitölti (zárt tartomány), majd - ahogy egyre több hézag emelőképessége merül ki - egyre több lesz a levegő, kevesebb a víz (nyílt tartomány).

### **A kémiaailag kötött víz**

elsősorban az agyagszemcsék és a víz közötti elektrosztatikus erők hatására alakul ki. A hidratburokban levő vízmolekulák a szemcsefelülettől való távolságtól függően kötődnek a szemcsékhez. Távolodva fokozatos átmenettel válnak szabad vízzé, ill. a felülethez közeledve már gyakorlatilag elmozdíthatatlanná, szinte a szemcse részévé, szolvátvízzé. Bizonyos körülmények között pedig a víz be is épülhet a szemcsék kristályrácsába (szerkezeti víz).

### **Páráként**

lehet jelen, illetve mozoghat a víz egy része a talaj legfelső 1-2 m-nyi zónájában a külső hőmérséklet hatására.

## A VÍZTARTALOM

a talaj nedvességének mérőszáma. Jele  $w$  %

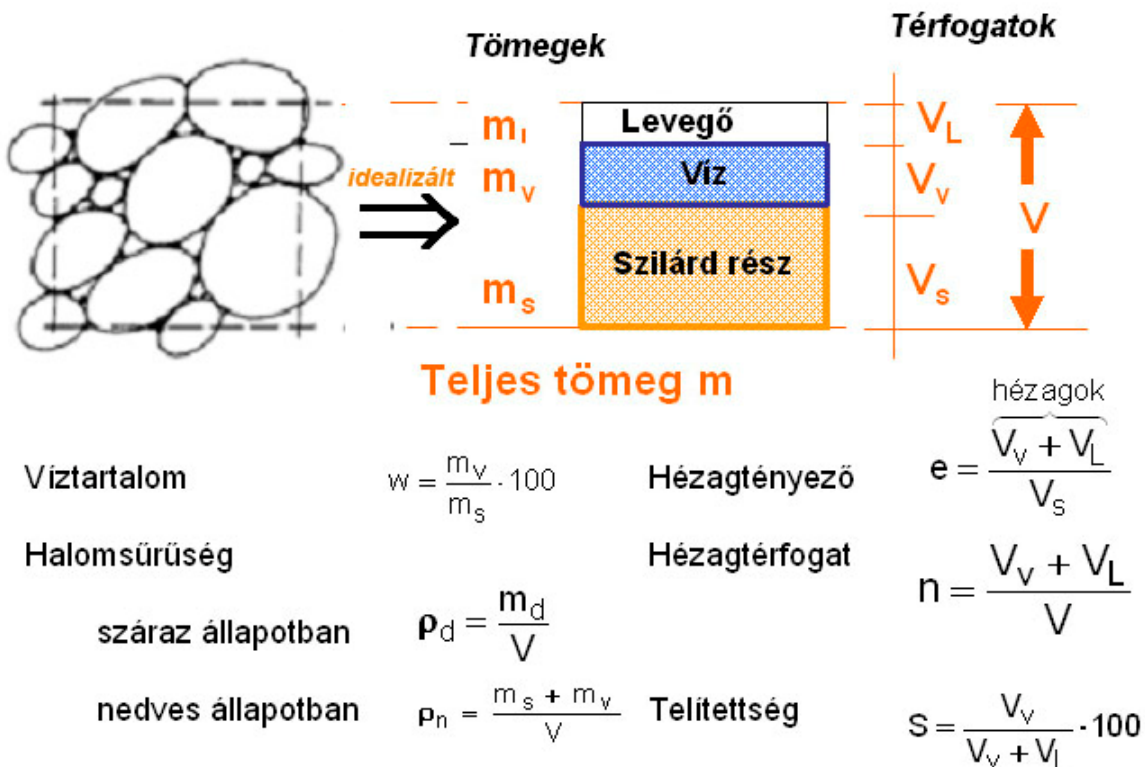
A víz tömegének ( $m_v$ ) valamint a szemcsék tömegének ( $m_s$ ) hányadosa, azaz azt mutatja meg, hogy a talaj szilárd részének mennyi tömegszázalékában van a talajban víz. A víz mennyiségét úgy értelmezzük, hogy a talajt  $105\text{ }^\circ\text{C}$ -on súlyállandóságig szárítva eltávozik a talajból

$W = 100$  %: azt jelenti, hogy a víz és a szilárd anyag azonos tömegű, de ugyanakkor

homokok esetében a víz és a szilárd rész térfogataránya  $\frac{\rho_s}{\rho_v} \approx \frac{2,65}{1,0} = 2,65$  (homok

esetében), azaz 2,65-szor több térfogatú víz van a talajban, mint szilárd rész.

Tömegarányt fejez ki, a talaj lazulása és tömörödése nem befolyásolja az értékét, s ezért zavart mintából is meghatározható. A homokok víztartalma - ha nincsenek a talajvíz alatt - csak 5 % körül van, mert a szemcsék nem tudnak több vizet megkötni. Az agyagok víztartalma viszont természetes állapotban 20-30 %, a szerves talajoké pedig akár 100-300 % is lehet.



14. ábra A talaj tömeg és térfogatarányainak értelmezése

## Hézagtényező

a talaj tömörségének a jellemzője. Jele  $e$ , és a talajban levő hézagok (a víz és a levegő együttes) térfogatának ( $V_h$ ), illetve a szemcsék szilárd térfogatának ( $V_s$ ) hányadosa:

$$e = \frac{\overbrace{V_v + V_L}^{\text{hézagok}}}{V_s}$$

Értéke egy talajzóna térfogatváltozása (tömörödése vagy lazulása) esetén változhat, meghatározásához zavartalan minta szükséges. Egy tömör homokos kavics hézagtényezője 0,3 körül lehet, laza homokra kb. 0,6 jellemző, míg egy természetes agyag esetében értéke 0,5-1,0 között változhat, s a mélységgel általában csökken.

## Hézagtérfogat

Hézagtérfogat alatt értjük az egységnyi térfogatban kimutatható hézagok össztérfogatát. Százalékosan szokás számítani, jele  $n\%$ .

A különböző talajok hézagtérfogata igen tág határok között változhat. A leglazább állapotban a hézagtérfogat  $n = 50\%$ , a legtömörebb állapotban  $n = 30\%$  körül van. Vegyes nagyságú szemcsék esetén az apróbb szemcsék jól ki tudják tölteni a durva szemcsék közötti hézagokat. Agyaggal keveredett szemcsés talajok esetében a hézagtérfogat az elméleti értéknél kisebb  $n = 20\%$  is lehet.

Kötött talajok hézagtérfogata általában nagyobb, sok esetben az  $n = 50-70\%$ -ot is elérheti.

Különösen laza szerkezetűek a szerves talajok. Rostos, szálás szerkezetű tözegek hézagtérfogata  $n = 80-90\%$  is lehet.

## A telítettség

A talaj hézagaiban elhelyezkedő víz és levegő viszonyáról tájékoztat.

A felszín alatt mindenütt található bizonyos mélységben olyan tartomány, ahol a szemcsék közeit összefüggő víztömeg tölti ki. Ez a talajvíz.

A talajvíz felső szintjét furás segítségével lehet észlelni. E szint felett a hézagokban kapilláris úton felszívódó, illetve a vízszint esetleges változásai során behatolt és megkötött víz található, de már nem összefüggő tömegben, hanem levegővel keveredve. Az alsó kapilláris tartomány közel telített.

A telítettség fok azt fejezi ki, hogy mennyire tölti ki a víz a talaj hézagait.

Jele  $S_r$ , és a víz térfogatának ( $V_v$ ) és hézagok térfogatának ( $V_h$ ) arányával számítjuk:

$$S = \frac{V_v}{V_v + V_L} \cdot 100$$

Értéke vízfelvétel, illetve leadás, valamint lazulás-tömörödés esetén is változik. Csak zavartalan minta adataiból számítható. Értéke elvileg 0 és 1 között lehet. A talajvíz alatt természetesen  $S_r=1,0$ , a homokok egyébként 0,2-0,4 körüli telítettségűek, az agyagok viszont még a talajvíz felett is közel telítettek ( $S_r=0,8-0,9$ ) lehetnek.

Két paraméter, pl. az  $e$  és az  $S_r$ , már egyértelműen leírja a talaj állapotát, ami másként azt jelenti, hogy  $w$ ,  $e$  és  $S_r$  között kapcsolat van.

## SŰRŰSÉG ÉS TÉRFOGATSŰRŰSÉG FOGALMA

Sűrűség (anyagsűrűség vagy testsűrűség) fogalma alatt valamely  $V$  térfogatban lévő, teret folytonosan kitöltő anyag tömegének ( $m$ ) és a térfogatának hányadosát értjük.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{dimenziója } t/m^3 \text{ vagy } g/cm^3$$

A gyakorlati számításokhoz ismernünk kell a szilárd szemcséknek a víznek és a levegőnek a sűrűségét.

A víz sűrűségét  $\rho_v = 1 t/m^3$ , vagy  $1 g/cm^3$  értékűre vesszük fel, a levegő sűrűségét pedig zérusnak.

A talaj szilárd anyagát különböző ásványi összetételű részecskék alkotják, és azok sűrűsége is változatos lehet.

Kavics és homok talajok főleg kvarc- és szilikátszemcsékből állnak, míg az agyagokban nagyobb sűrűségűek az ásványi részecskék.

Tapasztalatok alapján a talajok szilárd alkotórészeinek anyagsűrűsége viszonylag szűk határok között változik, ezért elegendő átlagos értékkel, táblázatból számítottan figyelembe venni.

Kavics homok	$\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$
Homokos iszap, lösz	$\rho_s = 2,67 \text{ g/cm}^3$
Iszap	$\rho_s = 2,70 \text{ g/cm}^3$
Sovány agyag	$\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$
Kövérs agyag	$\rho_s = 2,80 \text{ g/cm}^3$

## TÉRFOGATSÚRÚSÉG (halom vagy halmazsűrűség)

Térfogatsűrűség fogalma alatt valamely  $V$  térfogatban lévő talaj alkotórészek (talajszemcse, víz, levegő) teljes tömegének és teljes térfogatának hányadosát értjük.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ dimenziója } t/m^3 \text{ vagy } g/cm^3$$

Lehet nedves térfogatsűrűség, ( $\rho_n$ )

Száraz térfogatsűrűség ( $\rho_d$ )

Telített térfogatsűrűség ( $\rho_t$ )

## TÉRFOGATSÚLYOK

Meg kell különböztetni a sűrűség és a térfogatsúly fogalmát.

A térfogatsúlyokat a térfogatsűrűséggel összhangban kell értelmezni, és figyelembe kell venni a nehézségi gyorsulás értékét is:

Száraz térfogatsúly  $\gamma_d = \rho_d \cdot g$  (erő = tömeg · gyorsulás)

Nedves térfogatsúly  $\gamma_n = \rho_n \cdot g$

Telített térfogatsúly  $\gamma_t = \rho_t \cdot g$

Víz alatti térfogatsúly  $\gamma_t' = (\rho_t - \rho_v) \cdot g$  (felhajtóerővel csökkentett érték)

A  $g$  a nehézségi gyorsulás értéke. Számításunkban közelítőleg  $g=10 \text{ m/s}^2$  értékkel számolunk.

A térfogatsúly dimenziója  $kN/m^3$ .

Például ha egy homok térfogatsűrűsége  $\rho_n = 1,90 \text{ g/cm}^3$ , testsűrűsége  $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ , akkor a nedves térfogatsúlya  $\gamma_n \approx 19,0 \text{ kN/m}^3$ .

## SZÁMPÉLDA

Egy homokból ( $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ) kiszúrt,  $4 \text{ cm}$  átmérőjű,  $6 \text{ cm}$  magas henger tömege nedves állapotban  $m_n = 136,2 \text{ g}$ , kiszáritás után  $m_d = 122,9 \text{ g}$ . Számítsuk ki a talaj víztartalmát, hézagtéveszőjét, telítettségét és térfogatsúlyát.

A kivett minta térfogata 
$$V = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{4 \cdot 3,14}{4} \cdot 6 = 75,4 \text{ cm}^3$$

A víztartalom értéke  $w\% = \frac{m_n - m_d}{m_d} \cdot 100 = \frac{136,2 - 122,9}{122,9} \cdot 100 = 8,0\%$

A tömör rész térfogata  $V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{122,9}{2,65} = 46,3 \text{ cm}^3$

A pórusok(hézagok) térfogata  $V_p = V - V_s = 75,4 - 46,3 = 29,1 \text{ cm}^3$

Hézagtényező  $e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{29,1}{46,3} = 0,628$

Hézagterfogat  $n\% = \frac{V_p}{V} \cdot 100 = \frac{29,1}{75,4} \cdot 100 = 38,6\%$

Telítettség  $S\% = \frac{w \cdot \rho_s}{e} \cdot 100 = \frac{0,08 \cdot 2,65}{0,628} \cdot 100 = 33,8\%$

Nedves halomsűrűség  $\rho_n = \frac{m_n}{V} = \frac{136,2}{75,4} = 1,81 \text{ g/cm}^3$

Nedves térfogatsúly  $\gamma_n = \frac{\overbrace{m_n}^{m_n \cdot g}}{\overbrace{G_n}^{\overbrace{G_n}}}}{V} = \frac{136,2 \cdot 10}{75,4} = 18,1 \text{ N/cm}^3 = 18,1 \text{ kN/m}^3$

**FELADAT:** Egy agyagból vett hengeres minta méretei  $D_1=10 \text{ cm}$ ,  $H_1=20 \text{ cm}$ , tömege 3242..  
Vízfelvétel hatására duzzad,  $D_2=10,5 \text{ cm}$  és  $H_2=20,6 \text{ cm}$  lesz, tömege 3517 g-ra nő.  
Kiszáritás után a tömege 2748 g lett. Mennyivel változott a víztartalma, hézagtényezője és telítettsége?

Súlyváltozás a vízfelvételeből  $\Delta G_v = G_{\text{duzzadt}} - G_{\text{kezdeti}} = 3417 - 3242 = 275 \text{ g}$

A víztartalom változása  $\Delta w = \frac{\Delta G_v}{G_d} \cdot 100 = \frac{275}{2748} \cdot 100 = 10,0\%$

A hézagtényező változása  $\Delta e = \frac{\frac{\Delta G_v}{G_d}}{\rho_s} = \frac{275}{2748} \cdot 2,8 = 0,28$

A telítettség változása:

$$\Delta S = \frac{\overbrace{V_v}^{V_v}}{\overbrace{w_2 \cdot G_d}^{w_2 \cdot G_d}} \cdot 100 - \frac{\overbrace{V_v}^{V_v}}{\overbrace{w_1 \cdot G_d}^{w_1 \cdot G_d}} \cdot 100 = \frac{\overbrace{3417 - 2748}^{669}}{\underbrace{10,5^2 \cdot 3,14}_{4} \cdot \underbrace{20,6}_{2,8} - \frac{2748}{1000}} - \frac{\overbrace{3242 - 2748}^{494}}{\underbrace{10^2 \cdot 3,14}_{4} \cdot \underbrace{20}_{2,8} - \frac{2748}{1000}} \cdot 100 = -1,2\%$$



## A TALAJOK SZERKEZETE

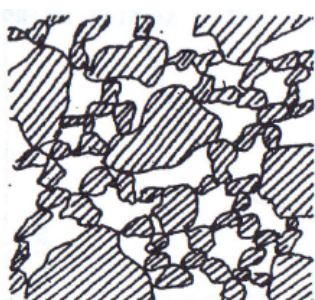
### *Durva törmelék és homok*

A durva törmelék és homok egyszemcsés szerkezetű, ami azt jelenti, hogy az egyes szemek – statisztikai átlagban – 4-12 ponton fekszenek fel, azaz különböző térfogatú (hézagtérfogatú) térben szilárd szerkezetet alkotnak. E szerkezetre – amit *egyszemcsés szerkezetnek* nevezünk – jellemző, hogy kisebb terhelés mellett rugalmasan viselkedik.

### *Finom törmelék*

A finom törmelékes üledék – iszapos kőzetliszt, iszap – *sejt szerkezetű*. A szemcsék vízben ülepedés közben hidrátburkokkal érintkeznek egymással, és kis tömegük miatt úgy is képesek helyben maradni, ha statisztikai átlagban szemcsénként három pontnál kevesebb ponton érintkeznek egymással. Ennek a szerkezetnek tehát a szilárdságát nem a szemcsék térben megfelelő számú érintkezése, hanem a hidrátburkok relatíve nagy nyomó és nyírószilárdsága adja. Ennek megfelelően ezek az anyagok már sokkal kevésbé rugalmasak, és ugyanakkor a hidrátburkok elmozdulási képessége miatt lényegesen nagyobb alakváltozásra képesek terhelés esetén.

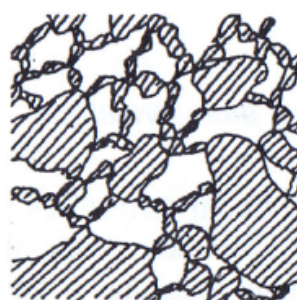
*Agyagnak* nevezzük és agyagként viselkedik már az olyan üledék is, amelyikben mindössze 12-15% agyagásvány található a finom törmelék között. Az, ilyen üledék kialakulásakor a relatíve nagyobb törmelékszemcsék körüli agyagszemek már olyan laza, nagy hézagtérfogatú formát vesznek fel, ahol egy-egy szemcse még kevesebb helyen érintkezik — statisztikai átlagban — egymással, mint a finom törmelékes üledékekben. Ezt a szerkezetet *pehely szerkezetnek* nevezzük



Sejtszerkezet



Lemezváz szerkezet



Pehelyszerkezet

15. ábra A talajok szerkezetei

Ha az agyagásványok aránya növekszik a kőzetben, a sejtszerkezet fokozatosan átmegy *lemezváz szerkezetbe*. Ezeknél a kolloid agyagoknál az agyagszemcsék háromféle kapcsolatban lehetnek a tömörség fokozódásával:

- él-él kapcsolódás
- lap-él kapcsolódás, az úgynevezett heterokoagulált állapot, ami igen gyakori
- lap-lap kapcsolódás, mely a három közül a legstabilabb; ekkor kialakulnak már a „*lamella csomagok*”.

Az agyagszemcsék kis méretükhöz képest vastag hidrátburkot tartanak maguk körül. A szemcsék a hidrátburkokkal kapcsolódnak egymáshoz. Ez a szerkezet képes mind közül nyomás hatására — esetenként igen lassan — a legnagyobb alakváltozásra.

## Futóhomok

A szárazon történő geológiai kőzetté válásnak két fajtáját ismerjük, a *futóhomok kialakulását* és a *lőszképződést* aszerint, hogy a szélben szállított és száraz felszínre ülepített anyag durvább – görgetett – vagy finomabb – főleg lebegtetett – szemekből áll-e?

A *durvább, szemcsés anyagok* leülepedésük után futóhomokréteggé válnak. A kőzetté válási folyamat sok esetben víz vagy növényzet jelenlétében indul meg. A kőzetben jelenlévő *vízfilm* a csapadékból történő időszakos átnedvesedés utáni kiszáradás közben *látszólagos kohéziót* ad az anyagnak, ami „megkötí” a futóhomokot. Ezek a molekuláris feszültségek a laza szemcsés kőzetekben nem adnak tartós kohéziót. Így azok továbbra is laza szemcsés halmazok maradnak. A másik „megkötési” lehetőség a *növényzet*. A csapadékból történő átnedvesedés természetesen ilyenkor is jelentkezik, mint időleges segítség.

A szél állandó mozgató hatása alól való kivonásra végül a *szélárnyékos helyekre* való bejutás is lehetőséget ad. A futóhomok ebben az esetben is megtartja laza szemcsés halmaz-jellegét.

A laza halmaz, egyszemcsés szerkezetű, viszonylag legömbölyített alakú, csiszolt, döntő többségében kvarc szemekből áll. A gravitáció hatására önsúlya alatt tömörödni kezd. A tömörödés gyorsan megtörténik a kialakult réteg alsóbb szintjeiben. A tömörödés azonban igen kis mértékű, mert a szemcsék csak a légszáraz állapotnak megfelelő nedvességtartalommal rendelkeznek (1-1,5 tömeg-%), ami még a higroszkópos víz maximális értékénél is kevesebb, ezért a szemcsék mozgása a gravitációs erő hatására igen korlátozott. Ez az oka annak, hogy a szárazon leülepe-

dett futóhomokot aránylag könnyen lehet ismét mobilizálni nagyobb vastagságban is. Magyarország területén a *Duna-Tisza közén, Szabolcs megyében, Somogy megyében* vannak nagyobb futóhomokvidékek. A hazai nagy homokterületeken a futóhomokszemcsék 2 mm-nél kisebbek; a legtöbb szemcse átmérője 0,2 és 1 mm közé esik.

## LÖSZ

A szélhordta ásványszemek mindenütt kihullanak, de csak ott maradnak meg, ahonnan a szél nem fújhatja tovább más területre. A szél továbbszállítása elől az ásványszemeket legeredményesebben a *pusztai növényfal* védi meg, elsősorban a szélvédett lejtőkön, a homorú területeken. A szél hatásának kitett hegytetők és lejtők növényzete csak keveset tud megkötni a szélhordta üledékből.

A mezősi pusztai éghajlat alatt (sztyeppe) fűnemű növényzettel borított területeken a hulló por a völgyekben vastagabban, a hegyeken vékonyabban halmozódik fel, a hegytetőkön esetleg nem is marad meg. A 30°-nál meredekebb lejtőn a lösz nem áll meg.

A füves területek növényeinek, főként a fűféléknek merev szárai körül lehullott por felhalmozódik. Az elhalt növények gyökerei és szárai megmaradnak a porban addig, amíg el nem bomlanak.

Elpusztulásuk után helyük üres marad, s ily módon függőleges, hosszú, vékony üregek keletkeznek a fűszálak, ill. gyökerek helyén. Ezek az üregek diagenetikus utólag bevonódnak kalcittal, esetleg azzal meg is telnek. Ez a „mikroporozusos” szerkezet adja azt, hogy az üledék függőleges irányban könnyen elváló, s meredek falakban megálló talajkörnyezetté válik. Általában minden egyes löszszemcsét is CaCO<sub>3</sub>-ból álló vékony hártya vesz körül, ez okozza a lösz savval leöntve hirtelen pezsgését, és egyúttal a meredek falban lehetséges megállását.

Jellemzője, hogy szabad szemmel jól látható, finom, elágazó, néha növénymaradványokat és sólerakódásokat tartalmazó csövecskékben és csatornácskákban mutatkozó

- *porozitása van*
- *nincs benne finom rétegződés*
- *oszlopos elválást mutat a természetes mélyedésekben*
- *mész tartalma nagy mértékű (10-15%)*
- *vízben gyorsan átnedvesedik.*

Szemcséinek átmérője 0,2-0,02 mm között van. Jellemző szemcseátmérője 0,045-0,055 mm. Egyenlőtlenségi mutatója  $U=10$ , de előfordul 15-ös érték is.

A szemcsék zöme *kvarc* (50-75%), a többi *földpát* (10-25%), *kalcit* (10-30%), stb. Lényegileg a homok ásványai alkotják, de a finomabb szemcseméret miatt a kvarc kevésbé domináns..

Ha a száraz éghajlatot nedvesebb éghajlat váltja fel, megszakad a lösz képződése. A felső szakaszon beszivárgó bőséges víz részben oldja a kivált kalciumkarbonátot, és lejjebb szállítja, majd a  $CO_2$  csökkenése után újra kiválik a kalcit. Ekkor jönnek létre azok a konkréciók, amelyeket „löszbabának” neveznek. A mésztelenedett lösz sötétebb színű, a csöves járatok a mésztelenedés következtében megszűntek, talajjá alakul át (általában vályogtalajjá). Ezek a fosszilis talajok a löszben az *éghajlatváltozás* jelei. Magyarországon négy fosszilis talajszintet tudunk megkülönböztetni. Az egyes löszterületeken a fosszilis talajszintből nem mindegyik található meg.

A lösz *makroporózus* szerkezeténél fogva mind a levegőt, mind a vizet könnyen áttereszt. A beszivárgó víz csak a lösz alján gyűlik össze. A löszbe vájt üregek ezért szárazak, akár folyamatos tartózkodásra is alkalmasak (pl. a *szomolyai* löszlakások, nyaralók).

A lösz laza szerkezete közvetlen dinamikus terhelésre érzékeny. Minden olyan erőhatás, ami a szemcsecsoportokat összetartó vékony kalcit burkot támadja, a löszszerkezetet tönkreteszi. Ezért, ha például sokat járunk rajta, a kalcit hártványok szétzúzódhatnak, szárazon „porrá” válik, csapadék hatására „sárrá” válik. Nagy dinamikus terhelések átvételére úgy lehet alkalmassá tenni, hogy előre tervszerűen szétromboljuk a makroporózus szerkezetét, mint például a Dunai Vasmű építésekor fúrásokon keresztül robbantással való tömörítéskor. Ugyanakkor, ha csak statikusan terheljük, körülbelül a közepes agyag teherbírását mutatja.

A lösz súrlódási szöge  $30-34^\circ$ , folyási határa 25-30%, plasztikus határa 4-12%, plasztikus indexe 13-26%.

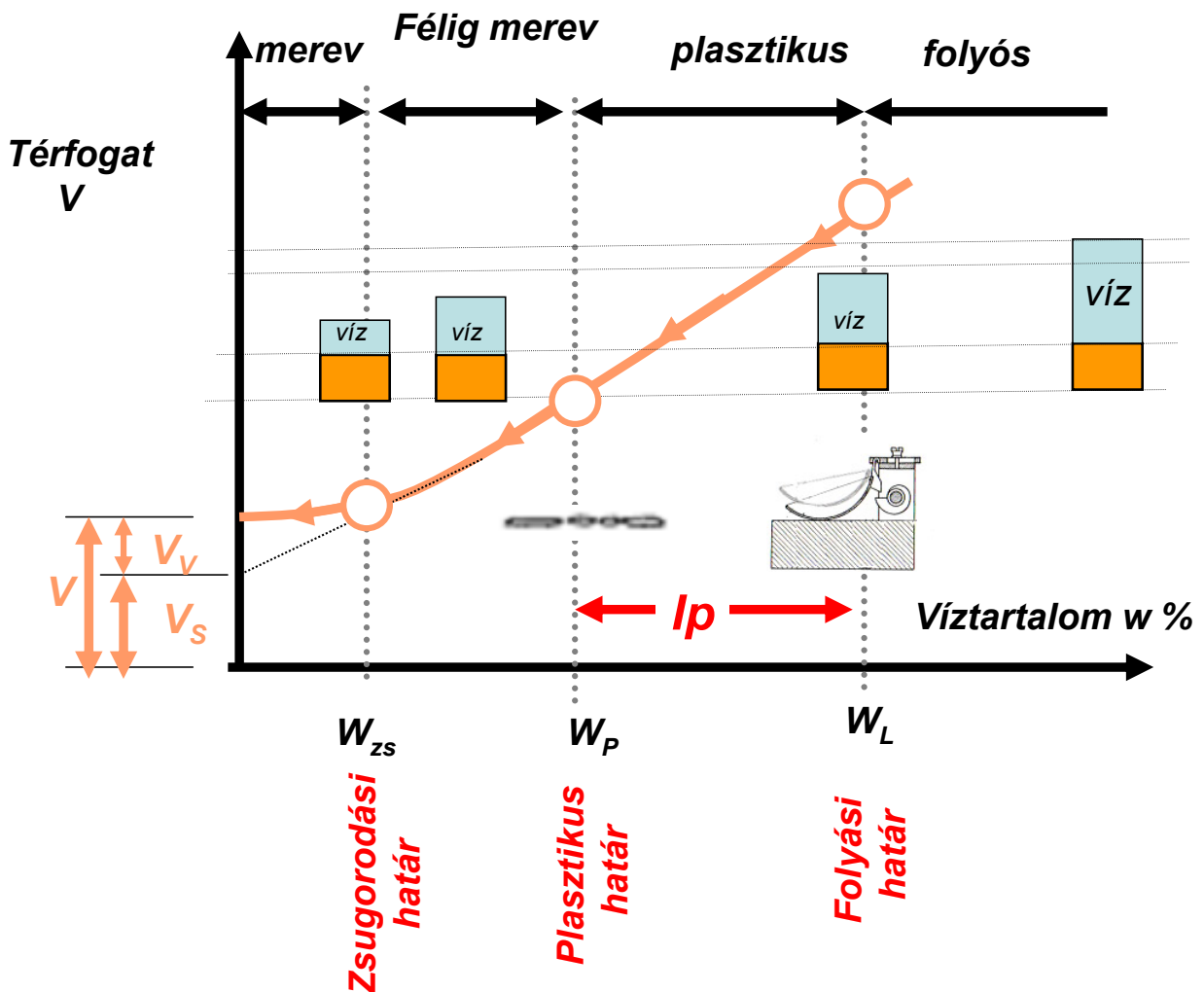
A lösz a felszínén sokszor talajosodik, így ott kis átteresztőképességű lösz, iszap képződik, ami a mélyebb rétegeket megvédi a roszakaszt okozó víztől.

## KONZISZTENCIA HATÁROK

A talajok vízzel érintkezve megváltoztatják eredeti állapotukat. Nagyobb vízmennyiség a talajt folyóssá teszi, amely lassan száradva gyúrhatóvá alakul, és végül kemény, térfogat állandóságú lesz. Ezek az átmenetek folyamatosak.

Konzisztencia határoknak nevezzük azokat a víztartalmi állapotokat (víztartalmakat), aminél a talaj meghatározott tulajdonságot mutat. A konzisztencia határokat átglyúrt állapotú, zavart mintával határozzuk meg.

A konzisztencia határok meghatározását nemzetközi szabványban rögzített kísérleti eszközökkel és módszerrel végezzük, minden esetben telített állapotú mintával.



15. ábra A konzisztencia határok értelmezése

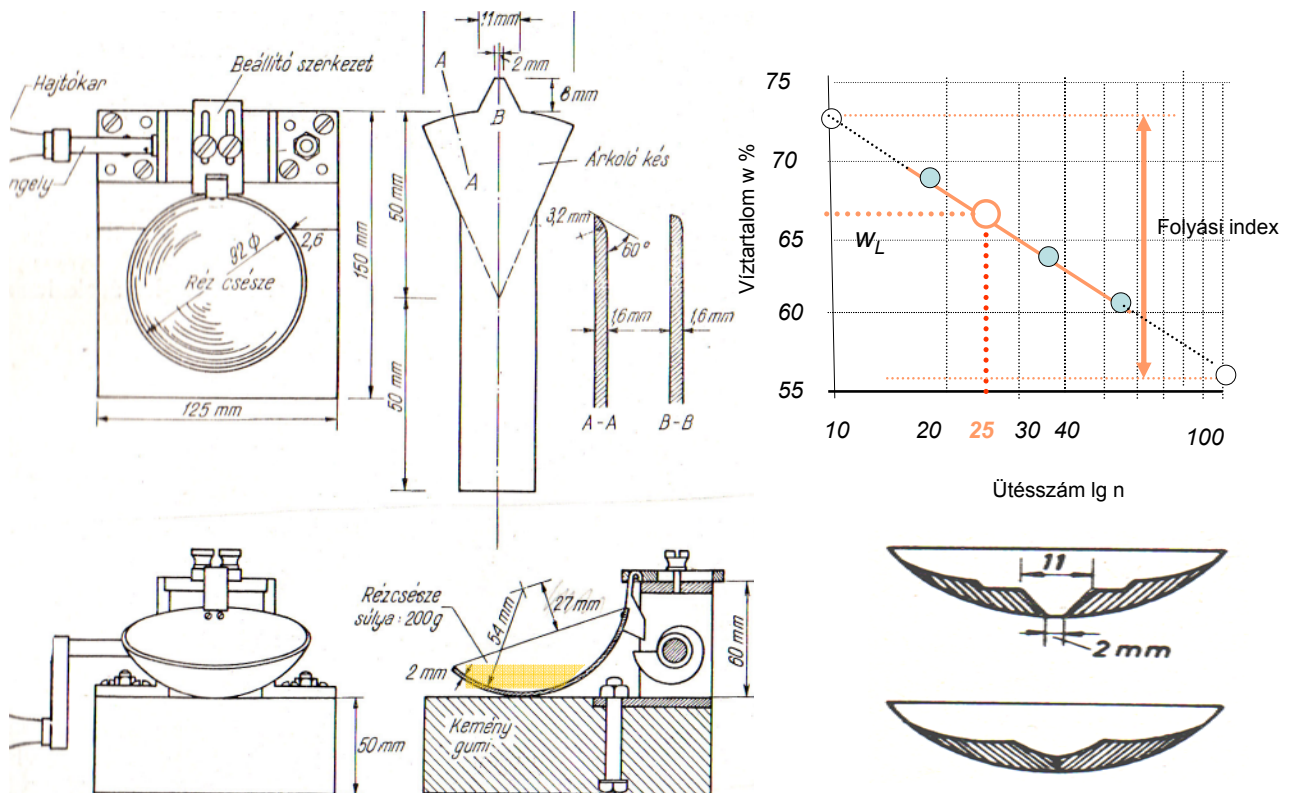
## FOLYÁSI HATÁR

Ha a talajhoz bizonyos mennyiségű vizet keverünk, akkor elérünk egy olyan állapotot, amikor a talajban az összetartó erők megszűnnek, a talaj viszkózus folyadékként viselkedik. A talaj megfolyik, lejtőn a saját súlya alatt is lecsúszik. A folyási határon a talajok a szilárdságukat gyakorlatilag elveszítik. Azt a víztartalmat, ami ennek az állapotnak az eléréséhez szükséges, a folyási határ víztartalmának mondjuk.

A kísérleti meghatározást a Casagrande-féle készülékben történik. A készülék csészéjébe buborékmentesen terítjük szét a talajpépet, majd a kihúzókéssel a csésze közepén trapéz alakú árkot húzunk. Ezután a csészét ejtegetjük, mind-addig, amíg a pépbe húzott árok 10 mm hosszban összefolyik. Az összefolyt pépből, az összefolyás helyéről vesszük ki a víztartalmi mintát.

A folyási határ jele:  $W_L$ , értékét %-ban adjuk meg.

A folyási határt egy olyan koordináta rendszerben ábrázoljuk, amelynek mind a vízszintes tengelyére felrakott ütések száma, mind a függőleges tengelyére felrakott víztartalmi százalék, logaritmusos léptékben van megadva /kettős logaritmusos beosztás. A kettős logaritmusos skála felvételénél a különböző talajoknál a folyási egyenesek egymással párhuzamosak lesznek, így ez a vizsgálati pontosságot növeli. (Hámory Z.)



17. ábra A Casagrande féle folyási határ meghatározása

## PLASZTIKUS HATÁR

A talaj képlékeny állapotból merev állapotba megy át, vagyis gyúrható állapotból töredezőbe. Meghatározási módja alapján a plasztikus határ az a víztartalom, amely mellett a talaj 3 mm vastag szálakká sodorható.

A meghatározás lényege tehát: a talajt ujjainkkal szálakká sodorjuk. Igyekszünk 3 mm vastag szálakat előállítani. Ha éppen ebben az állapotban töredezni kezd a talaj, elértük a sodrási határt. A szálacsákák víztartalmát meghatározva kapjuk a plasztikus vagy sodrási határ értékét.

A sodrási határnak mérnöki vonatkozásban nagy jelentősége van. A talaj megmunkálása, földmunka végzése ilyen állapotban levő talaj esetén a leggazdaságosabb, a legkönnyebb, mind a kézi, mind a gépi fejtés a legkisebb erőt igényli, földutak ilyen talajállapot mellett jól járhatók, töltések tömörítése a sodrási határ közelében lévő víztartalomnál a legkönnyebb, így döngölhető be a legkisebb hézagtérfogatra.

## PLASZTIKUS INDEX

Mivel a folyási és plasztikus határ talajfajtánként lehatárolható, kézenfekvő, hogy ezt a két értéket használjuk fel a talajok azonosítására, osztályozására. Az osztályozás alapjául a plasztikus indexet használjuk, értéke

$$I_p\% = w_L - w_p$$

A folyási határ és a plasztikus határ víztartalmi különbsége a plasztikus index.

A plasztikus index a talajok kohézióképességének mértéke: minél nagyobb a plasztikus index, annál nagyobb lehet a kohézió.

A plasztikus index értékének, mind a talajosztályozás terén, mind empirikus szabályok formájában fontos szerepe van.

## FOLYÁSI INDEX

A folyási egyenes hajlása a 10 és 100 ütéshez tartozó víztartalmak különbsége.

## ZSUGORODÁSI HATÁR

Ha egy folyós vagy képlékeny talajtömeget szárítunk, a térfogata abban a mértékben csökken, ahogy a víz eltávozik belőle. A zsugorodást a talajrög felszínére működő

kapilláris erők idézik elő. Bizonyos víztartalomnál ezek az erők elérik legnagyobb értéküket, a térfogatváltozás megszűnik, a továbbá a szárítás során a víz a talaj belsejébe húzódik vissza s színe sötétből világosra változik. A talaj felszínén jellegzetes zsugorodási repedések keletkeznek. A zsugorodás mértéke annál nagyobb, minél finomabb szemcséjű a talaj.

**Azt a víztartalmat, amelyen túl szárítva a talajt, az a térfogatát már nem változtatja, zsugorodási határnak nevezzük.**

A talajrögöt teljesen kiszárítjuk, ilyen állapotban megmérjük a tömegét és a térfogatát. Ez a térfogat egyúttal egyenlő a zsugorodási határ állapotában lévő térfogattal is. Számítással feltételezzük, hogy a talaj telített állapotú és meghatározzuk ezek alapján a víztartalmát, ami a zsugorodási határ víztartalma lesz.

## **A TALAJOK SZABVÁNYOS OSZTÁLYOZÁSA**

A talajosztályozásnak az a célja, hogy egy vizsgált talaj főbb tulajdonságait már az osztályba sorolásával feltérképezhessük, felhasználva az egyes csoportokról összegyűlt korábbi tapasztalatokat. Ehhez az osztályozásnak természetesen az előbbieken tárgyalt legjellemzőbb tulajdonságokon, paramétereken kell alapulnia. A következőkben az új hazai talajosztályozási rendszert mutatjuk be, mely 2006-ban az új európai osztályozási szabványok alapján lépett életbe. Röviden utalunk a régi osztályozás módszereire is.

## **A TALAJOK MEGNEVEZÉSE (AZONOSÍTÁSA)**

A megnevezés a talaj szemcseösszetételére, illetve a szemcse-víz kapcsolat jelentőségére utal, ill. azon alapszik. A talaj nevét állandó jellemzőjének tekintjük, amely legfeljebb különleges hatásokra (pl. aprózódást okozó nagy erők, a vegyi környezet átalakulása miatti mállás) változhat, amit ilyen esetben külön tisztázni kell.

**A szemcsés talajokat a szemeloszlás alapján** nevezzük meg, mivel - mint láttuk - ezek viselkedését a szemcseösszetétel determinálja. **A kötött talajokat a plasztikus index alapján** osztályozzuk, mivel ezek viselkedésében az ezzel jól kifejezhető szemcse-víz kapcsolat dominál.



**A megnevezést** az új MSZ 14043-2 szabvány szerint pontosan a következők szerint kell megállapítani:

- a szemeloszlás alapján, ha  $S_{0,063} < 40\%$  és  $I_P < 10\%$
- a plasztikus index alapján, ha  $S_{0,063} > 40\%$  és  $I_P > 10\%$
- a szemeloszlás és plasztikus index együttes értékelése alapján,
- ha az  $S_{0,063}$  és az  $I_P$  előbbi kritériumai szerint ellentmondás lenne, s ekkor a szomszédos rétegek osztályozása és a geológiai eredet segíthet a döntésben.

A szemeloszlás alapján a 18. ábrán látható diagram segítségével kell a talajnak nevet adni. Meg kell állapítani a talajnak a háromszögdiagram tengelyein ábrázolt adatait, s azokból megszerkeszthető a talajt jellemző pont. A talaj annak a tartománynak a nevét kapja, melybe a pontja esett. Az alsó rész az iszap- és az agyagfrakciók elválasztására szolgál, s annak alapján lehet az iszapos vagy agyagos jelzők közül választani. (Az ábrán látható példában az iszapos agyag megnevezés dukálna, de az ilyen talajt már a plasztikus index alapján kell osztályozni.)

A régi hazai osztályozásban a szemcsés talaj annak a frakciónak a nevét kapta, melyből a legtöbb volt benne. Jelzőként ehhez hozzá kellett tenni annak a frakciónak a nevét, melyből "elég sok" volt benne. Pontosán: a kavics, a homok és a homokliszt 20, az iszap és az agyag 10% felett volt nevesítendő.

A kötött talajok nevét a **plasztikus indextől függően az 1. sz. táblázat** alapján kell megállapítani. A középső oszlopban szereplő jelzőket ajánlja az európai szabvány, de megengedi, hogy az első oszlopban levő határokat minden nemzet maga rögzítse. A kiegészítő magyar szabvány ezt tette meg, és hozzákapcsolta ehhez a harmadik oszlopban látható régi hazai megnevezéseket.

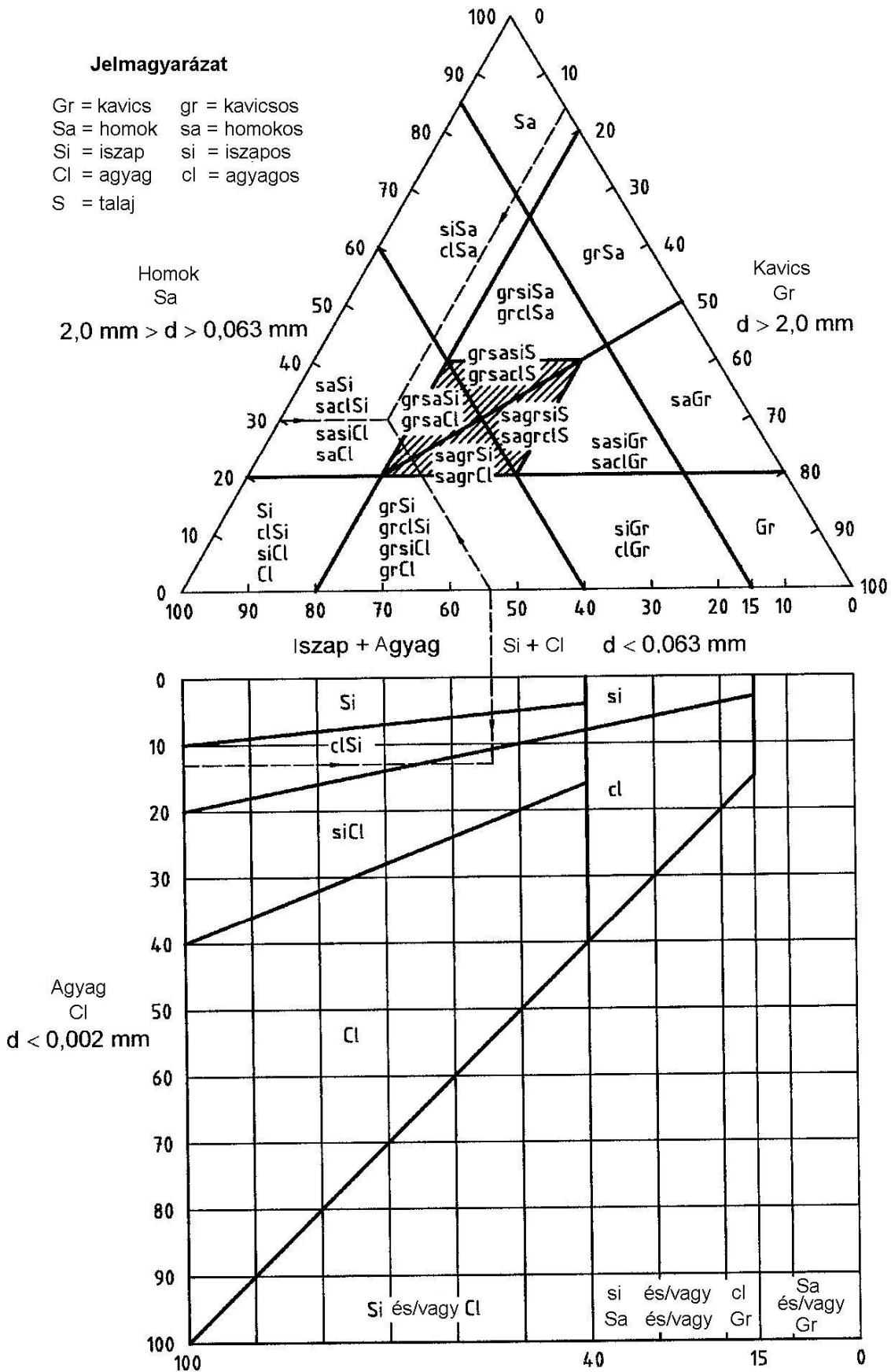
A talajmegnevezésben utalni kell a **szervességre**. **Az új rendszerben** kissé szervesnek nevezzük azokat a talajokat, melyek szervesanyag tartalma 2-6 %, közepesen szervesnek 6-20 % esetén, és nagyon szervesnek 20% felett. Korábban ennél szigorúbb volt a minősítés, a kötött talajokat 5 %-nál nagyobb, míg szemcsés talajokat már 3 % felett szervesnek minősítettük.

Az új európai-magyar szabvány külön értelmezi a szerves talajokat, s a küllemük és alkotóik alapján ad megnevezéseket rájuk (különböző tőzegek, mocsári üledék, humusz).

A talajok megnevezésének ki kell terjednie a **szín** megjelölésére is, mert az a munkahelyeken segíti a talajazonosítást és más információkat is adhat.

**Jelmagyarázat**

- Gr = kavics      gr = kavicsos
- Sa = homok      sa = homokos
- Si = iszap      si = iszapos
- Cl = agyag      cl = agyagos
- S = talaj



18. ábra A szemcsés talajok megnevezése

A kötött talajok osztályozása		
Plasztikus index I <sub>p</sub> %	Csoportnév MSZ EN ISO 14688-2 szerint	Név az MSZ 14043-2 szerint
10	nem plasztikus	szemeloszlás alapján
10...15	kis plaszticitású	iszap
15....20	közepes plaszticitású	sovány agyag
20....30		közepes agyag
30 –	nagy plaszticitású	kövér agyag

1. sz. táblázat Kötött talajok megnevezése

## A TALAJOK ÁLLAPOTÁNAK MINŐSÍTÉSE

### TÖMÖRSÉGI INDEX

**A szemcsés talajok esetében a tömörség** ismerete fontos, ezért azt kell minősíteni. Az új magyar szabvány szerint a **tömörségi indexet** kell a

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

képlettel meghatározni, vagyis az aktuális  $e$  hézag-tényezőt a vizsgált talaj leglazább állapotát jellemző  $e_{\max}$  és a legtömörebb állapotra jellemző  $e_{\min}$  hézag-tényezőhöz kell viszonyítani. Ennek segítségével a tömörséget a **táblázat** szerint kell minősíteni.

A korábbi magyar szabványban is megvolt ez a fogalom, csak a neve relatív tömörség volt, a jele  $T_{re}$ , valamint három egyenletesen elosztott kategóriát nevesítettek (laza-közepesen tömör –tömör)

A leglazább állapot úgy állítható elő, hogy a száraz talajt egy tölcsér segítségével a legkisebb tömörítő hatást is kizárva egy edénybe folytatjuk. A legtömörebb állapotot - mivel szemcsés talajról van szó - vibrációs hatással lehet elérni. A tömörséget azonban így nagyon sokszor nem lehet számítani, mivel a szemcsés anyagokból nehéz zavartalan mintát venni a hézag-tényező méréséhez. Általában közvetett adatokból (pl. a fúrás ellenállásból vagy szondázásból), vagy korábbi tapasztalatokból (pl. munkagödörből vett nagyminta) lehet becslést adni.

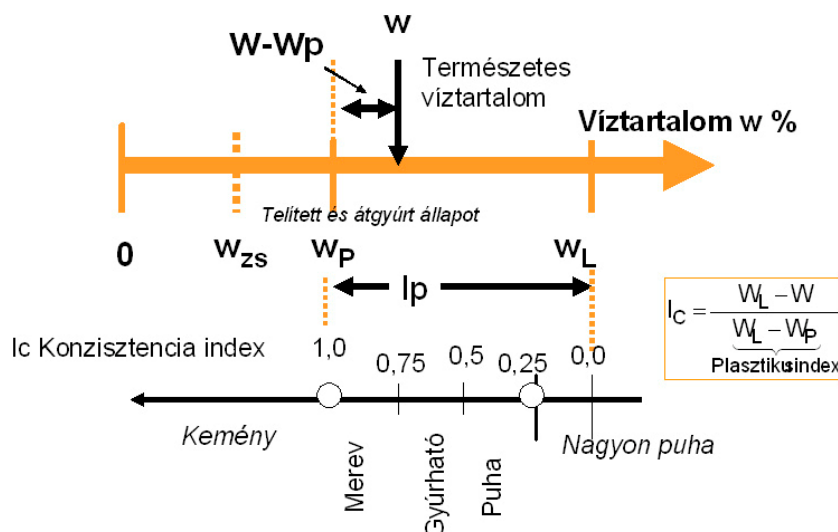
2. sz. Táblázat: szemcsés talajok tömörsége. 3. sz. Táblázat kötött talajok konzisztencia indexe

A tömörség osztályozása	
Megnevezés	Tömörégi index $\rho_D / \rho_0$
Nagyon laza	0 – 15
Laza	15 — 35
Közepesen tömör	35 – 65
Tömör	65-85
Nagyon tömör	85-100

Konzisztencia	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

### KONZISZTENCIA INDEX

Ha tudjuk a talajokat a konzisztencia határok alapján csoportba sorolni, könnyen találhatunk olyan mérőszámot, amely az azonos csoportba kerülő talajok között is különbséget tud tenni állapot szerint. Ha pl. a természetes víztartalmat a folyási és sodrási határokhoz viszonyítjuk valamilyen formában, képet alkothatunk a talaj képlékenységről. Így jött használatba a relatív konzisztencia index



19. ábra A konzisztencia index értelmezése és a kötött talaj állapotának megnevezései

**A kötött talajok állapotát** a víztartalom határozza meg, ezért a konzisztenciát kell jellemezni. Erre mind a régi, mind az új európai és magyar szabványban az

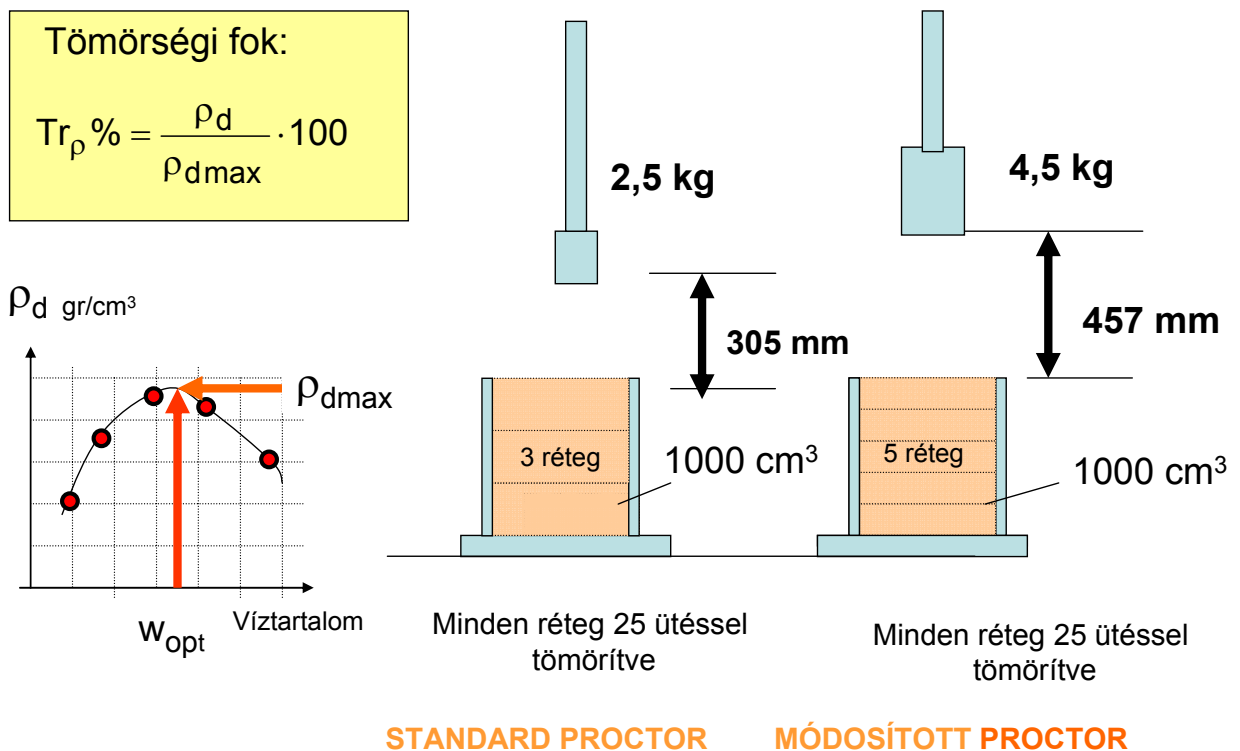
$I_c = \frac{W_L - w}{\underbrace{W_L - W_p}_p}$  képlettel számítandó (relatív) **konzisztenciaindex** (volt) használatos.

Az új szabvány szerint a **táblázatban** szereplő jelzőket adják. (A magyar régi szabványban a gyúrható helyett a könnyen sodorható, a merev helyett a sodorható jelzőket, valamint az 1,5 feletti érték esetén a nagyon kemény jelzőt alkalmazták.)

## TÖMÖRSÉGI FOK

A tömörségi fokot a földművek tömörségének ellenőrzésére használják. Azt fejezi ki, hogy egy szabványban rögzített módszer szerint nagyintenzitású döngöléssel optimális víztartalom mellett meghatározott száraz térfogatsúlyhoz viszonyítva a vizsgált földműnél ennek hány százalékos értékét tudtuk biztosítani.

**Nem abszolút értékű mérőszám**, hiszen az adott talajtípus (adott szemeloszlási jellemzőjű, egyenlőtlenégi mutatójű, plaszticitású stb.) talajnak a lehetséges tömörítéséhez képest relatív összehasonlítást adjuk meg. **A legnagyobb száraz halomsűrűség** (térfogatsúly) meghatározását, **ami a 100 %-os tömörséget reprezentálja a Proctor vizsgálattal határozzuk meg**. Proctor vizsgálatnál különböző víztartalom mellett elvégzett kísérleteknél, a víztartalom és száraz halomsűrűség diagram a maximális halomsűrűségnél adja az optimális víztartalmat.



20. ábra Proctor vizsgálatok és az eredmények feldolgozása

## VÍZMOZGÁS A TALAJOKBAN

Sok műszaki kérdéshez kapcsolódik az a körülmény, hogy a víz könnyen vagy nehezen tud-e mozogni a pórusokban? A talajnak ez a tulajdonsága, melyet áteresztőképességnek nevezünk, az egyik legfontosabb talajjellemző.

A talajban a víz különböző hatások következtében mozoghat. Legfontosabb a gravitáció, azaz amikor a víz a pórusokban a nehézségi erő hatására mozog.

A vízmozgás kétféle lehet. **Lamináris** mozgás esetén minden vízrészecske meghatározott pályán mozog, mely nem metszi a többi részecske pályáját. **Turbulens** mozgásnál a pályák szabálytalanok, egymást keresztezik és átmetszik.

Darcy (1856)–ban egy keresztmetszeten átfolyó vízmennyiségre gyakorlati összefüggést állított fel:

Az áramlásra merőleges irányú felületen átfolyt vízmennyiség egyenesen arányos az áramlásra merőleges irányú felület nagyságával, és a hidraulikus gradienssel. Az arányosságot kifejezi a **talaj vízáteresztő képességi együtthatója (k)**.

A Darcy törvény eredeti alakja:

$$q = A \cdot k \cdot i$$

ahol  $A$  az áramlási felület,  $i$  a hidraulikus gradiens

Mivel a  $q/A$  hányados az átlagos áramlási sebességnek felel meg, így a Darcy törvényt gyakran a következő formában írják fel:

$$v = k \cdot i$$

ahol  $v$  az átlagos áramlási sebesség.

A talajban áramló víz tényleges sebessége ennél nagyobb, mert belátható, hogy a víz csak a pórusokban mozog.

A tényleges áramlási sebesség (szivárgási sebesség) összefüggése az átlagos sebességgel a következő:

$$v = v_s \cdot n \quad \text{a képletben } n \text{ a hézagterefogatot jelöli.}$$

A hidraulikus gradiens értéke:  $i = \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{\Delta h}{L}$ , azaz az áramlást előidéző vízmagasság különbség és az áramlási hossz hányadosa, azaz az egységnyi áramlási hossza eső víznyomásmagasságot jelenti.

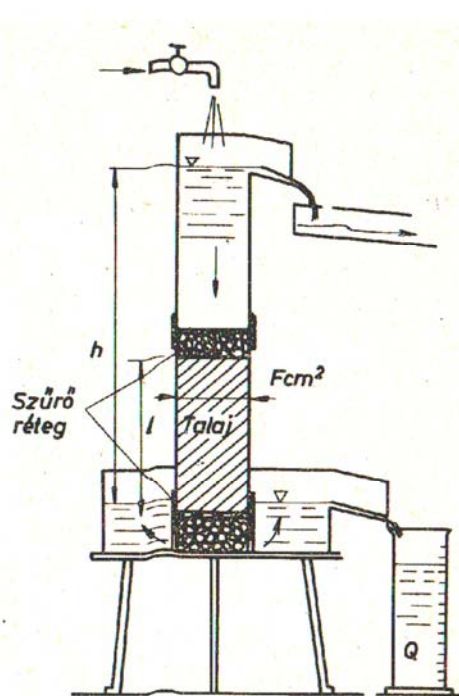
A talajok vízáteresztő képességei együtthatója igen széles tartományt ölelhet fel.

A közepes kavics áteresztőképessége együtthatója  $k > 10^{-2}$  m/s (0,01 m/s), az agyagtalajoké  $< 10^{-7}$  m/s (0,0000001 m/s), azaz öt nagyságrenddel kisebb értékű.

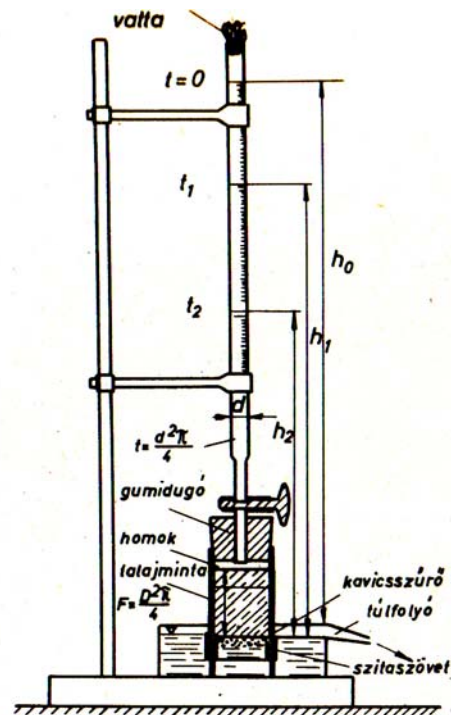
Az áteresztőképességi tényezőt

- laboratóriumban
- helyszíni kísérletekkel
- elméleti (gyakorlati tapasztalatokból) képletekből határozhatjuk meg.

Az áteresztőképességi együtthatót laboratóriumban állandó víznyomású vagy kisebb áteresztőképességű talajok esetén változó víznyomású készülékkel határozzuk meg. Mindkét esetben a Darcy törvényt használjuk.



Állandó víznyomású készülék.



Változó víznyomású készülék

$$Q = A \cdot k \cdot t \cdot \frac{h_2 - h_1}{L} \Rightarrow k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot \Delta h}$$

A vízáteresztő  
képességi tényező  
számítása

21-22.  
ábra

$$q = - \frac{dh}{dt} \cdot a \quad q = A \cdot k \cdot \frac{h}{L}$$

Cső                      A talajban

$$- a \cdot \frac{dh}{dt} = A \cdot k \cdot \frac{h}{L} \Rightarrow \frac{A \cdot k}{a \cdot L} \cdot \int_{t_1}^{t_2} dt = \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h}$$

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 2,3 \cdot \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

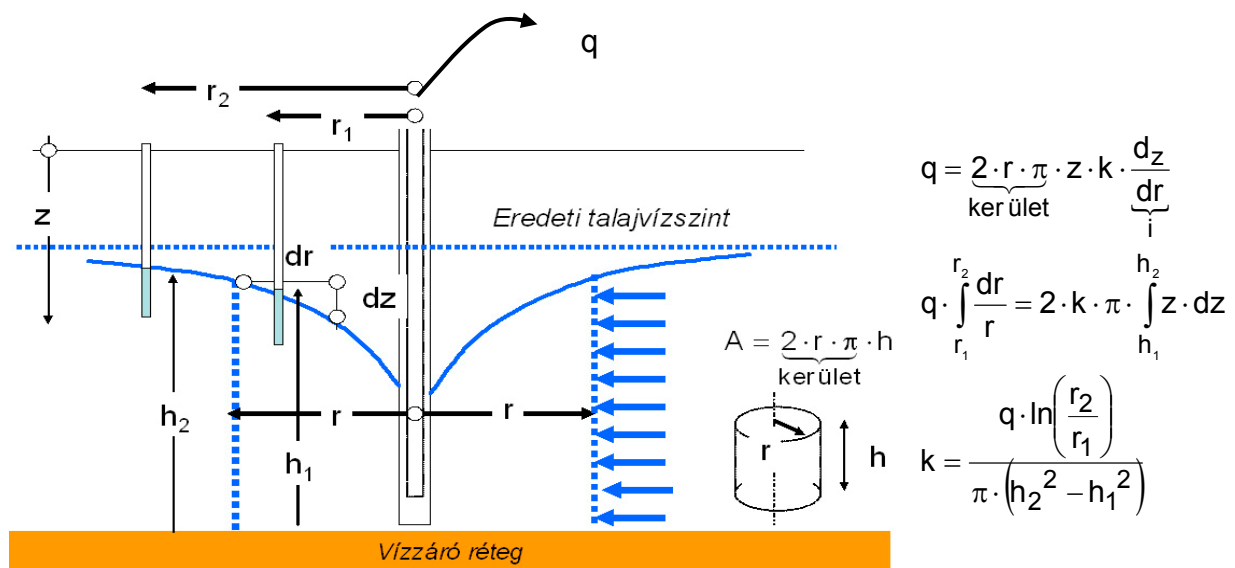
## PRÓBASZIVATTYÚZÁS:

Feltételezzük:

- A talajvíz vízszintes irányban végtelen kiterjedésű;
- A vízvezető réteg homogén, állandó vastagságú és vízszintes;
- A szűrőkút egészen a vízzáró rétegig nyúlik;
- Nyugvó talajvízről van szó, nincs hozzáfolyás és elszívás.

Ha a szivattyúzást megindítják, akkor egy depressziós vízfelület fog kialakulni.

A Darcy törvény értelmében számolható az átteresztőképesség értéke.



23. ábra A vízáteresztő képesség meghatározása próbaszivattyúzás alapján.

**Elméleti képletek:** (gyakorlati tapasztalatok alapján)

Az átteresztőképességi együttható értékére hatással vannak a következők:

- Az átteresztőképességi együttható függ a szemeloszlástól; a hatékony /ill. a mértékadó/ szemcseátmérő négyzetével egyenesen arányos.
- Függ a pórusokban mozgó folyadék viszkozitásától és fajsúlyától.
- Függ a hézagtenyezőtől.
- Függ a szemcsék alakjától és elrendeződésétől.
- Végül függ a pórusvízben lévő oldatlan gáz mennyiségétől.

Rétegzett talaj esetén az átlagos átteresztőképesség függ a rétegek



áteresztőképességétől és az áramlás irányától. Független ill. rétegekre merőleges áramlás esetén már vékony agyagréteg is nagy ellenállást fejt ki a víz mozgásával szemben és így a legkisebb áteresztőképességi réteg szabja meg az átfolyó víz mennyiségét.

### Az alkalmazható képletek:

Jáky szerint:

$$k = 10^4 \cdot D_m^2 \quad (\text{m/s}) \quad D_m \text{ a mértékadó szemcseátmérő m-ben}$$

Koženy szerint

$$k = C_3 \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{e^3}{1+e} \cdot D_h^2$$

a képletben  $v$  a kinematikai viszkozitást jelenti,  $e$  – hézagtérférfő,  $D_h$  hatékony szemcseátmérő.

## KAPILLÁRIS VIZMOZGÁS

A talajban lévő víz egyik megjelenési formája a talajvíz feletti ún. kapilláris tartományokban elhelyezkedő víztömeg. A szemcsék közötti hézagok kapilláris csőként viselkednek és a talajvíz szintje fölé emelik a vízoszlopot. A fizikából ismeretes, hogy az emelkedés magassága a cső sugarával fordítva arányos. Ezzel analóg módon a kisebb hézagokban magasabbra emelkedik a vízoszlop. Általában a hézagok átmérője a szemcsék átmérőjével egyenes arányban változik, így végeredményben kimondhatjuk, minél kisebb szemcséket tartalmaz a talaj, annál nagyobb a kapilláris emelkedés mértéke.

Elméleti összefüggést a változó pórusméretek és az ismeretlen kapilláris erők miatt nem lehet adni, így kísérleti úton vizsgáljuk a jelenséget. Szárazon szétválasztott, szemcséire bontott halmazt üvegcsőbe helyezünk, alul vízbe álltjuk és állandó vízutánpótlással az alsó vízszintet rögzítjük.

## A TALAJOK MECHANIKAI JELLEMZŐI

A legtöbb mérnöki feladatban valamilyen terhelés is éri a talajt, vagy ellenkezőleg: a talaj terheli a létesülő szerkezetet. Az előbbire az épületek alapozása a példa, az utóbbira a földbe épített csövek, alagutak, falak. Terhelési problémák merülnek fel a földművek esetében, pl. egy töltés építésekor is, ahol a talaj teher és teherviselő közeg is.

E problémák megoldásához meg kell ismerni a talajnak, mint anyagnak a mechanikai sajátosságait, azokat a módszereket is, melyekkel egy talajzónának, mint tartószerkezetnek a viselkedését vizsgálni lehet.

A talajok terhelés alatti viselkedésének vizsgálatában a számítástechnika óriási fejlődése számos új lehetőséget teremtett, s ennek megfelelően az ismeretanyag napjainkban jelentősen kibővül.

## FESZÜLTSEGEK A TALAJBAN

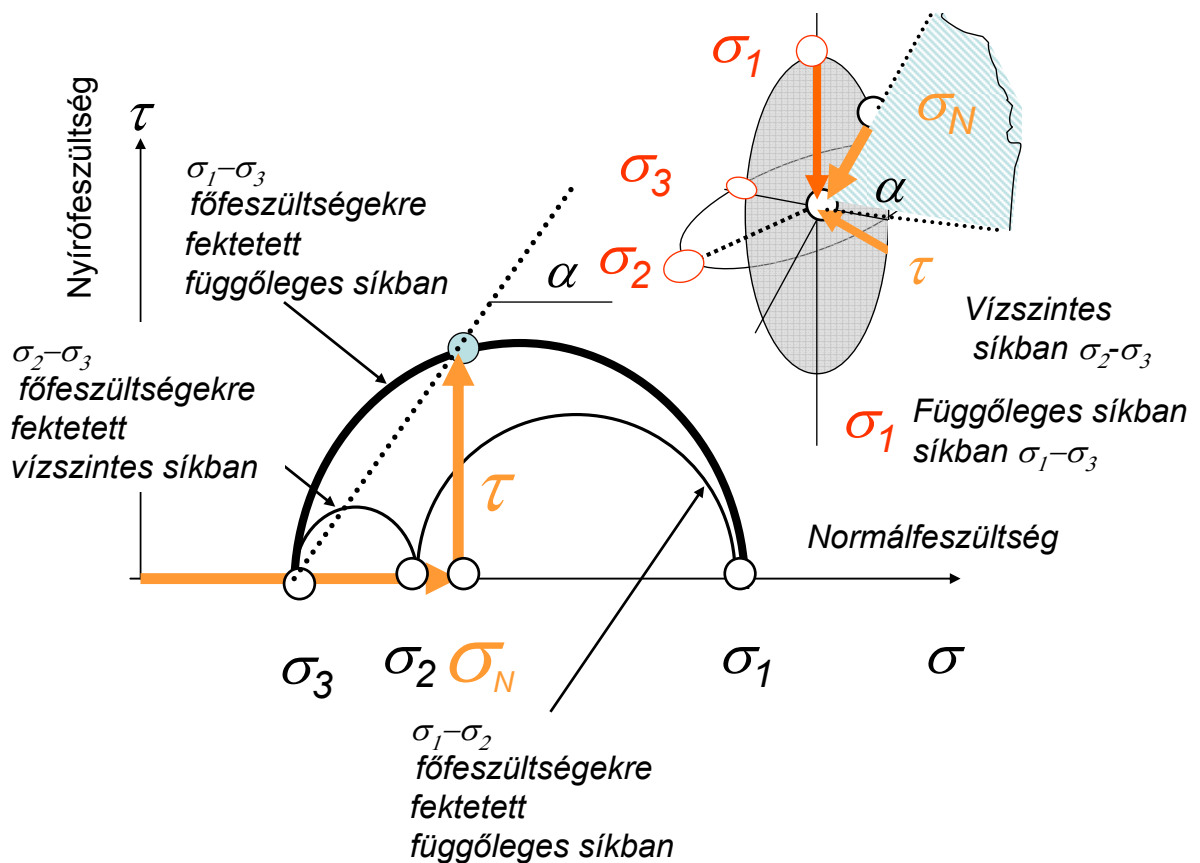
A mechanikában a *feszültség* egy testen belüli **felületegységre jutó megoszló erő**, mely a **külső erőhatásokkal tart egyensúlyt**. A térben hat független komponenssel lehet leírni. A felületre merőlegesen hat a normálfeszültség, a felületi síkban a csúsztató, vagy más néven nyírófeszültség.

Minden anyagban létezik **három egymásra merőleges irány, amelyhez tartozó síkokban nem ébred csúsztatófeszültség, azaz nincs nyírófeszültség**. Ezeket a síkokat főfeszültségi síkoknak, a hozzájuk tartozó normális irányú feszültségeket pedig **főfeszültségeknek nevezzük**.

Egy adott test (ami lehet talajtömeg) egy pontjában ébredő feszültségvektorok végpontjainak mértani helye egy ellipszoid, amelyet főfeszültségi ellipszoidnak nevezünk, mert a főátmérői a főfeszültségek.

## MOHR FÉLE KÖRDIAGRAM

A feszültségállapot térbeli ábrázolása leképezhető a  $\sigma$ – $\tau$  koordináta rendszerben a főfeszültségi síkokban a főfeszültség különbségére, mint átmérőre szerkesztett körívvel.



24. ábra A térbeli feszültségek ábrázolása Mohr szerint. A feszültségi ellipszisek kör formájában ábrázolhatók.

### COULOMB FÉLE „TÖRÉSI-KÉPLÉKENYSÉGI” VAGY „TÖNKREMETELI” FELTÉTEL

A geotechnikai gyakorlatban a talajok "törésének" a feltételét általában a Mohr-Coulomb féle törési, tönkremeneteli feltétellel írják le.

Mohr(1900) elmélete szerint az anyagok tönkremenetele a normál és a nyírófeszültségek kritikus kombinációjánál következik be, vagyis nem feltétlenül a maximális nyíró vagy normál feszültség értékénél. Lényeges feltevése, hogy a középső főfeszültség értéke a törés bekövetkeztére nincs hatással.

Coulomb (1776) szerint az anyag törését az idézi elő, hogy az anyag részecskéi között fennálló belső súrlódást és kohéziót a nyírófeszültség túllépi. Egy pontban akkor következik be képlékeny állapot (vagy törés), ha található a pontban egy olyan sík, ahol a rá ható  $\sigma$  és  $\tau$  feszültség kielégíti a következő összefüggést, a törési - képlékenységtani feltételt:

$$\tau_f = c + \sigma' \cdot \operatorname{tg}\phi$$

ahol  $c$ - kohézió,  $\sigma'$  hatékony normálfeszültség, azaz a pórusvíz vagy/és póruslevegőnyomással csökkentett feszültség

A képlet bal oldalán tehát a vizsgált pont valamely síkjára a külső terhelésekből ható nyírófeszültség szerepel, a jobb oldalt pedig az ezzel szemben rendelkezésre álló **nyírószilárdságnak** nevezhetjük. A más anyagok esetében megszokott módon tehát úgy is fogalmazhatunk, hogy törés akkor következik be, ha a nyírófeszültség eléri a nyírószilárdságot.

Látni kell azonban, hogy a jobb oldal, a nyírószilárdság függ a síkra (szintén a külső terhelésekből) ható normálfeszültségtől is, nem állandó anyagjellemző tehát.

Az anyagjellemző a **belső súrlódási szög és a c kohézió**, ezeket nyírószilárdsági paramétereknek szokás nevezni.

**A  $\sigma \cdot \tan \phi$  súrlódási ellenállás, az ismert súrlódási mechanizmus szerint a felületeket összenyomó normálfeszültséggel arányos.**

A kohéziót valamilyen "ragasztásjellegű" ellenállásként lehet felfogni, mert ez független a felületre aktuálisan ható normálfeszültségtől, inkább a korábbi hatások miatt létrejövő anyagi kapcsolatok eredménye.

A Coulomb-féle törési feltétel összekapcsolható a Mohr-féle feszültség-ábrázolással. A feltétel ekkor úgy is megfogalmazható, hogy egy pontban akkor van törési (képlékeny) állapot, ha a **pont** ( $\sigma_1$  és  $\sigma_3$  által meghatározott) **főköre érinti a Coulomb-egyenest**. A Mohr-kör valamely pontjának koordinátái a vizsgált anyagi pont valamely síkjára ható (összetartozó) a  $\bar{\sigma} - \tau$  feszültségpárokat adja meg.

A Mohr Coulomb féle összefüggés főfeszültségekkel kifejezett és a szakirodalomban gyakran idézett általános alakja a következő:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

vagy  $\phi = 0$  esetén

$$\sigma_1 = \sigma_3 + 2 \cdot c$$

(A képlet azonos a  $\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \underbrace{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}_{\xi} + \frac{2 \cdot c}{\sqrt{\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}}} = \sigma_3 \cdot \xi + \frac{2 \cdot c}{\sqrt{\xi}}$  képletekkel)

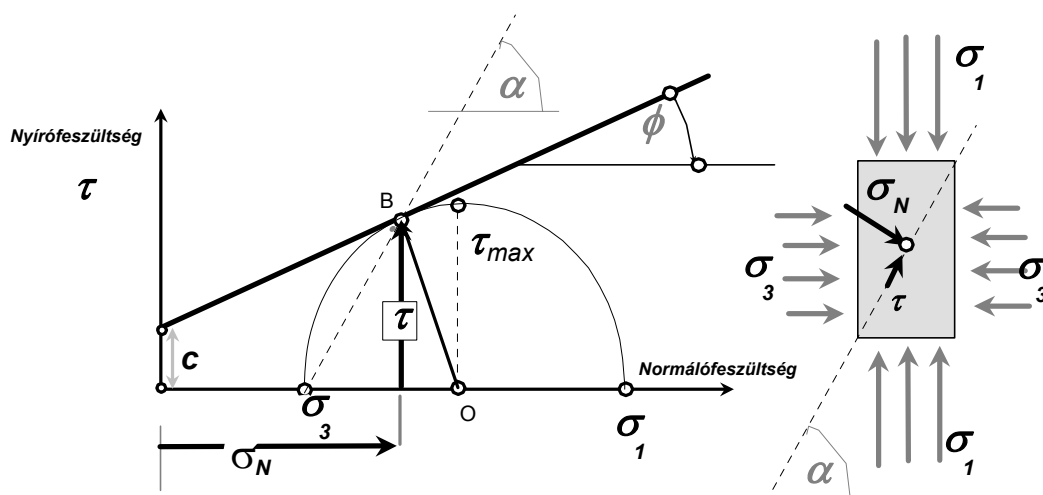
A vizsgálatunknál most nem foglalkozunk az elmélet használatának korlátaival, például az extrém nagy feszültségek esetén, vagy húzófeszültségeknél, hanem csak a gyakorlati esetekben érvényes tartományokat tekintjük.

## A MOHR-COULOMB TÖRÉSI-KÉPLÉKENYSÉGI FELTÉTELEK ÉRTELMEZÉSE

A bemutatott Mohr-Coulomb féle "törési" feltételek szóhasználat, nagyon sok esetben az értelmezése megtévesztő, a mérnöki gyakorlatban félrevezető következtetések forrása lehet.

A feltételek alapján a talaj tönkremeneteléről beszélnek, törési állapotról, egyértelmű csúszólapok kialakulásáról, nagy maradandó elmozdulásokról, sőt sok esetben azt is feltételezik, hogy kialakul a talajban egy elért állandó (reziduális) nyíróellenállási érték, ami tovább nem növekedhet.

Meg kell jegyeznünk, hogy a Mohr-Coulomb féle összefüggésből mindez nem következik, bár a merev testszerű anyagoknál ilyen jellegű tönkremenetek jönnek létre, de a háromfázisú talajoknál a tömörödés miatt ez a tönkremenetel már kevésbé valószínűsíthető.



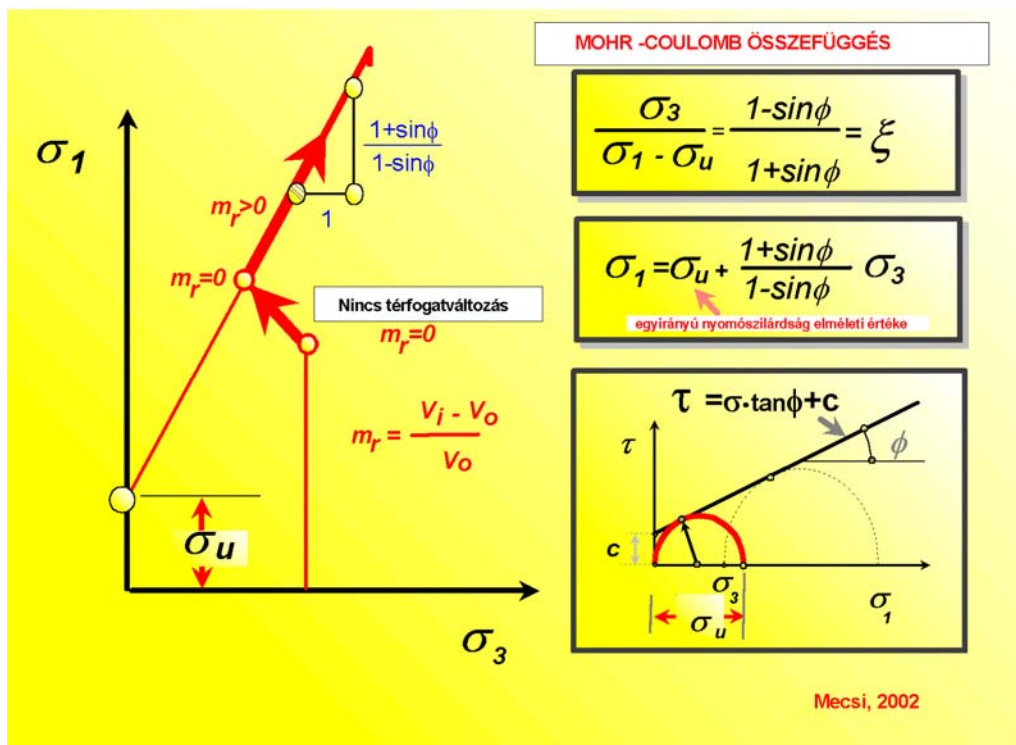
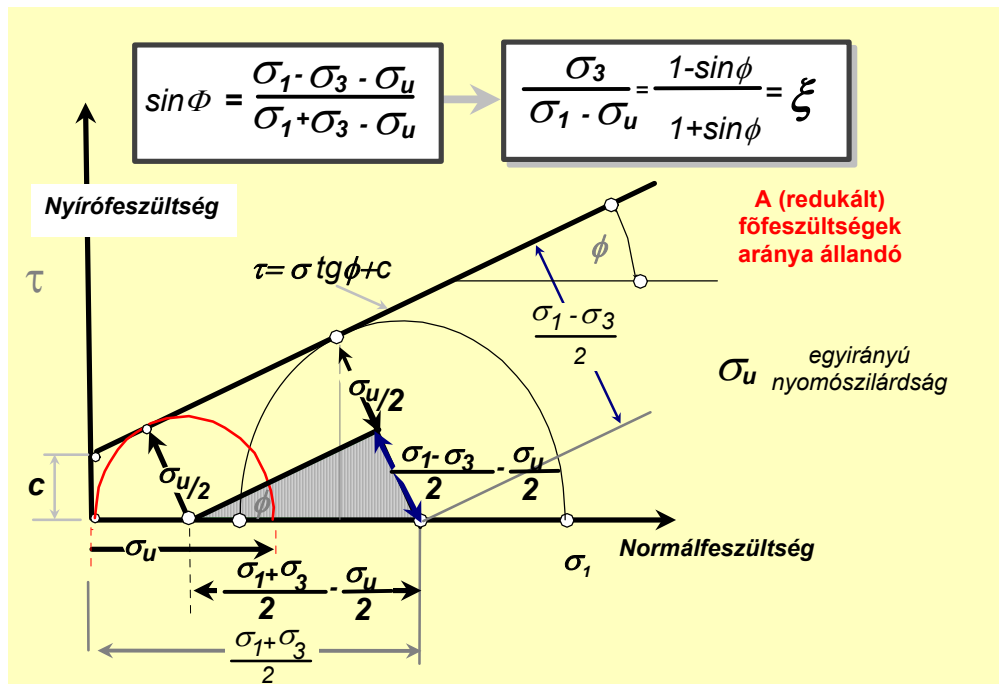
25. ábra A Mohr-Coulomb féle összefüggés tengelyszimmetrikus nyomóterhelés esetén.  
(Hengeralakú talajminta feszültségei éppen a képlékeny állapotban.)

Alapvető jelentőségű, hogy milyen feszültségi környezetben és főleg milyen szemcse elmozdulási lehetőségek mellett jöhetnek létre maradandó elmozdulások a talajban.

Különbséget kell tenni, hogy a maradandó elmozdulások létrehozhatnak-e a talajban ún. csúszólapokat, csúszási felületeket, vagy pedig a talaj tömörödésével járó, a szemcsék mikrójellegű mozgásainak eredményeként létrejövő tömörödés jöhet létre.

A vizsgálatoknál figyelembe kell venni azt a fontos feltételt is, hogy legtöbbször a mérnöki szerkezeteket végtelennek tekinthető talajtömeg veszi körül, s a kikényszerített elmozdulásokra, térfogati kiszorításra a tala-tömegben fellazulás csak korlátozottan alakulhat ki.

A 26. sz. ábra a főfeszültségek változásait mutatja be egy terhelési fázisban.



26. ábra A Mohr-Coulomb feltétel értelmezése a főfeszültségi koordináta rendszerben.

A Mohr Coulomb feltétel a főfeszültségek állandó arányát fejezi ki, olyan módon, hogy a legnagyobb főfeszültség esetén az egyirányú nyomószilárdsággal csökkentett értéket vesszük figyelembe.

Ennek megfelelően

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_{ny}} = \frac{1 - \sin \phi}{\underbrace{1 + \sin \phi}_{\xi}} \Rightarrow \text{állandó ahol } \xi = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

Az összefüggések érvényesek olyan esetben is, amikor  $\phi = 0$ .

A  $\sigma_u$  a talaj egytengelyű, vagy egyirányú nyomószilárdsága, azaz oldalirányban szabadon deformálódó hengeres minta tengelyirányú terhelésekor meghatározható legnagyobb tengelyirányú feszültsége.

A Mohr Coulomb összefüggést a főfeszültségi koordináta rendszerben is ábrátolhatjuk. Ebben a rendszerben a főfeszültségek összefüggését az egyirányú nyomószilárdságtól

kiinduló  $\text{tg} \alpha = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$  hajlású egyenes adja meg a képlékenységi állapot elérése után.

## HATÉKONY ÉS SEMLEGES FESZÜLTSEGEK

Mivel a talaj három alkotórészből áll, nehéz a feszültségek fogalmát olyan egyértelműen definiálni, mint a tömör, hézagmentes szerkezetű anyagoknál. Ha a talaj erőrendszer hatása alá kerül, az erő nemcsak a szemcsék felületén oszlik meg, hanem a víz és a levegő is részesül az erő hatásából. Az erő így három összetevőre bontható

$$P = p_s A_s + p_v A_v + p_q A_q$$

ahol  $p_s$ ,  $p_v$  és  $p_u$  a három alkotóban keletkező feszültséget jelentik;

$A_s$ ,  $A_v$  és  $A_q$  pedig egy vizsgált felületen a három alkotó eloszlását fejezi ki.

A teljes feszültség tehát három részre oszlik.

$$\sigma = \underbrace{\bar{\sigma}}_{\text{szilárd}} + \underbrace{u}_{\text{víz}} + \underbrace{p_l}_{\text{levegő}}$$

$\bar{\sigma}$ -vel jelöljük a szilárd részben ébredő feszültséget és ezt **hatékony feszültségnek** nevezzük.

$u$  = a pórusok közti vízben fellépő feszültség és **semleges feszültségnek** hívjuk.

A hatékony feszültség hoz létre alakváltozást, súrlódást, nyírószilárdságot, a semleges feszültség viszont **a vízben minden irányban továbbterjedve a szemcsék egymáshoz viszonyított helyzetén és állapotán nem változtat.**

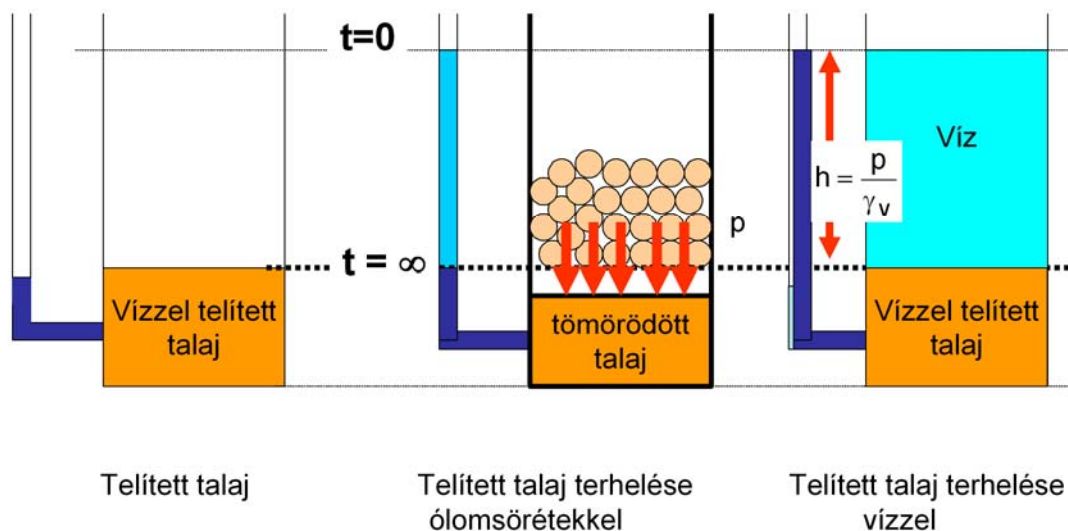
A levegőben ébredő feszültség összefüggésben van a semleges feszültséggel. Mivel összenyomhatósága miatt a levegő térfogata erősen változik, sőt a vízben elnyelődik egy része, azért meghatározása nehéz. A hatékony és semleges feszültségeket csak vízzel telített talajban vesszük figyelembe, míg a telítetlen, háromfázisú állapotban nem teszünk különbséget a teljes és hatékony feszültség között.

A semleges feszültségek fogalmát 27. számú ábra alapján érzékelhetjük. Az edényben vízzel telített agyagtalaj van. Ha az agyag felszínére  $p$  terhelést adunk /ólomsöréttel borítjuk/, a minta összenyomódik, a víz egy része kinyomódik, a talaj tömörödik, tulajdonságai megváltoznak.

Ez a feszültség **a hatékony feszültség.**



## HATÉKONY ÉS A SEMLEGES FESZÜLTSEGEK ÉRTELMEZÉSE



27. ábra. A teljes, semleges és a hatékony feszültségek értelmezése

Ha az edényt vízzel töltjük meg, úgy, hogy magassága megegyezzen az előbbi terheléssel  $p = h \cdot \gamma_v$  / a feszültség most is ugyanakkora lesz, mint az előző esetben, a talajminta azonban nem tömörödik, mechanikai tulajdonságai sem változnak. A feszültség nem a szemcséken keresztül adódik át, hanem a víz hidrosztatikus feszültsége növekszik. **Ez a semleges feszültség.**

A hidrosztatikus feszültség kimutatható a mintába helyezett piezométercsővel. (szabad vízfelszínű csővel). Kísérlet előtt a vízmagasság a talaj felszínével egyezik. A b/ esetben, a terhelés hatására első pillanatban a vízszint felszökik  $h = \frac{p}{\gamma_v}$  magasságra, a minta összenyomódása során azonban lassan visszaáll az eredeti értékre. A terhelés első pillanatában **tehát csak semleges feszültség keletkezett**, majd fokozatosan átalakult hatékony feszültséggé, közben a minta összenyomódott. Ezt a folyamatot **konzolidáció** néven tárgyaljuk.

A c/ esetben a feszültség állandó marad, a vízszint  $h = \frac{p}{\gamma_v}$  magasságban áll, a feszültség nem alakul át. A semleges feszültséget a piezométeres nyomásmagasságból kapjuk.

## TALAJOK NYÍRÓSZILÁRDSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A talajok belső ellenállása a nyírószilárdsággal jellemezhető.

A nyírószilárdság eredete szerint a talajok két fő csoportba oszthatók: kohéziós és kohézió nélküli talajokra. Kohéziós talajok szemcséi között belső összetartó erők is működnek, kohézió nélküli talajok nyírási ellenállása pedig csak a szemcsék egymáson való súrlódásából és egymásba kapaszkodásából áll. Minthogy súrlódási ellenállás csak akkor van, ha a súrlódó felületek közt normális nyomóerő is működik, ezért a kohézió nélküli talajnak nincs nyírási ellenállása, ha a normálterhelés zérus. Kötött talajok kohézióján viszont a zérus normálterhelés mellett meglévő nyírószilárdságot értjük.

**Fontos hangsúlyoznunk azt az alapvető törvényt, hogy nyírószilárdság szemcsés talajokban kizárólag hatékony feszültségek hatására jöhet létre.**

Kohézió nélküli szemcsés talajban  $c = 0$ , tehát a nyírószilárdság pusztán a súrlódási szöggel is jellemezhető. /Megjegyzendő, hogy nedves, részlegesen telített homokoknak lehet némi kohéziója. Ez a pórusvíz kapilláris hatása következtében jön létre, és megszűnik, ha a talaj telítődik vagy teljesen kiszárad. Ezért ezt **látszólagos kohézió**nak nevezzük, és a számításokban figyelmen kívül hagyjuk./

## SZEMCSÉS TALAJOK VIZSGÁLATA KÖZVETLEN NYÍRÓVIZSGÁLATTAL

A közvetlen nyírókísérlet eszköze a nyíródoboz. A mintára előbb egy  $N$  normálerőt működtetünk, majd növekvő  $T$  erővel elnyírjuk. A kísérletet, más-más normálerőt alkalmazva 3-4-szer megismételjük.

A kísérleti meghatározás módszerei

Szemcsés talajok vizsgálata során a közvetlen nyírókísérletben semleges feszültségek általában nem lépnek fel, így itt a terhelés felhordásának sebessége nem játszik szerepet.

### **Az eredmények feldolgozása**

Az alkalmazott normális és nyíróerőket a nyírt keresztmetszet felületével elosztva, kiszámítjuk a feszültségeket

$$\sigma = \frac{N}{A} \qquad \tau = \frac{T}{A}$$

Mindegyik normálterheléshez megszerkesztjük a nyírófeszültség és a vízszintes

nyírási elmozdulások közötti összefüggést ábrázoló görbéket. A görbékről leolvassuk

a/ az arányossági határt: azt a feszültséget, ameddig az elmozdulások a nyírófeszültséggel arányosak;

b/ a nyírófeszültség csúcsértékét és

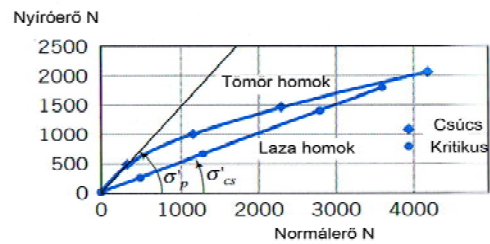
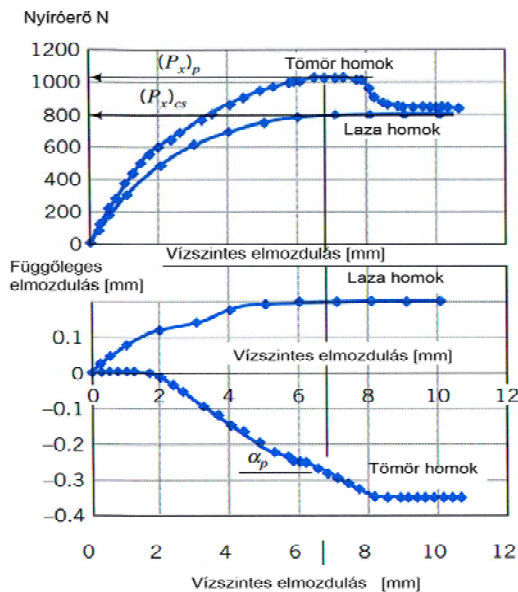
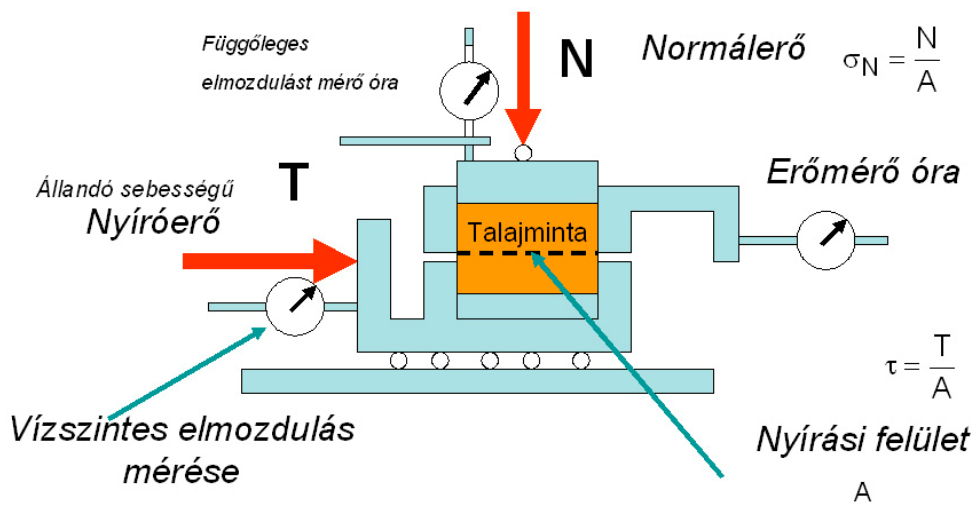
c/ ha a csúcsértéktől különbözik - a nyírófeszültség végső értékét.

E mennyiségeket az egyes kísérletekben alkalmazott normálfeszültség függvényében ábrázolva, megrajzolhatók a Coulomb-féle egyenesek. Ezek hajlása megadja

a/ az "arányos" súrlódási szöget

b/ a súrlódási szög csúcsértékét

c/ a folyamatos csuszáshoz tartozó súrlódási szöget



Nyíróvizsgálati eredmények  
tömör és laza homok  
esetén  
(Muni Budhu (John Wiley  
& Sons )

28. ábra A közvetlen  
nyíróvizsgálat eredményei

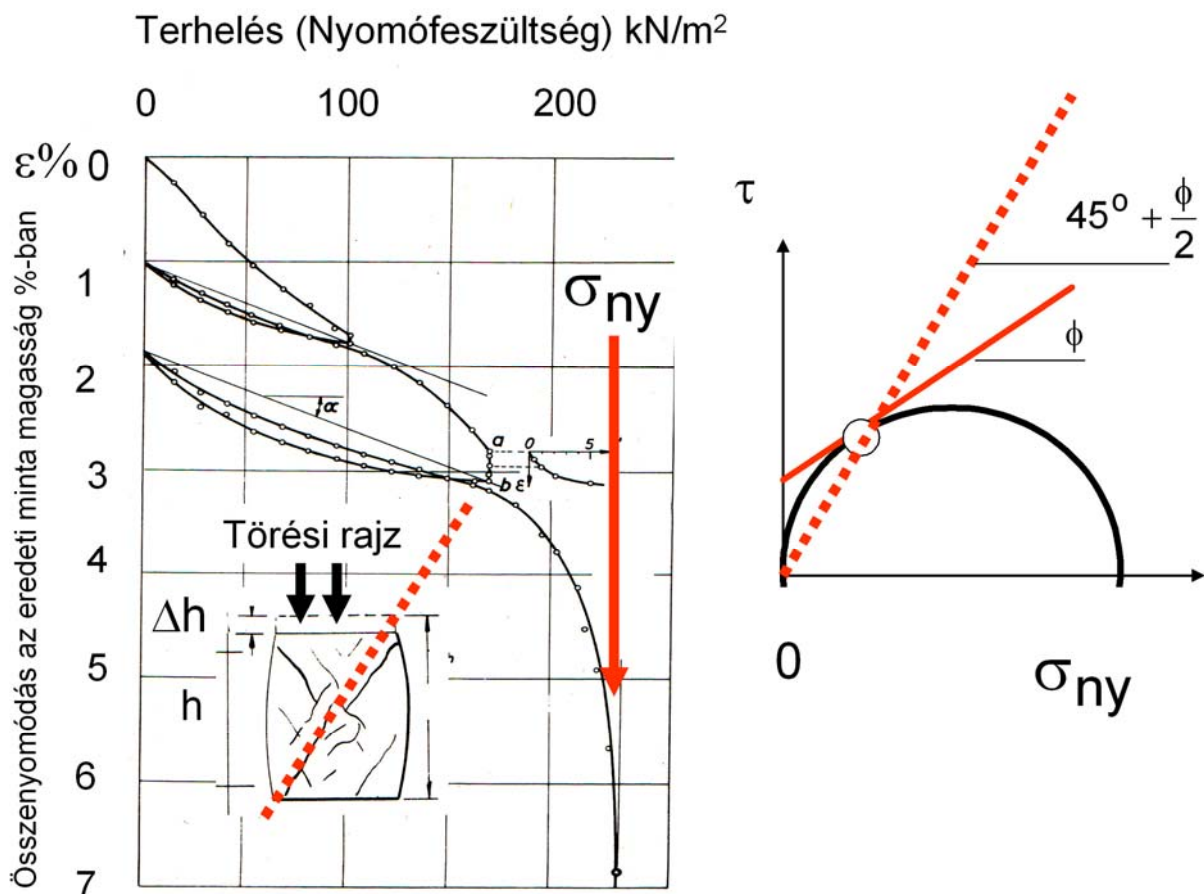
## EGYIRÁNYÚ NYOMÁS

A fogalom analóg az építőanyagokból ismert nyomószilárdsági vizsgálattal. A talajból hengeres mintát veszünk és függőleges terheléssel törésig terheljük.

A rugalmasság vizsgálata érdekében tehermentesítést, újra terhelést hajtunk végre. A kísérlet eredményét a 29. számú ábra mutatja. Az ábrán látszik, hogy a visszaterhelés után maradó alakváltozás nagyobb a rugalmas alakváltozásnál.

A talajok többsége így viselkedik. Az ábrán számított rugalmassági modulus nem jellemző a talajokra, nem használható alakváltozások számítására.

A kísérlet végeredményeként kapott nyomószilárdság összehasonlító jellegű érték, csak azonos talajfajták között lehet azok szilárdságára következtetni.



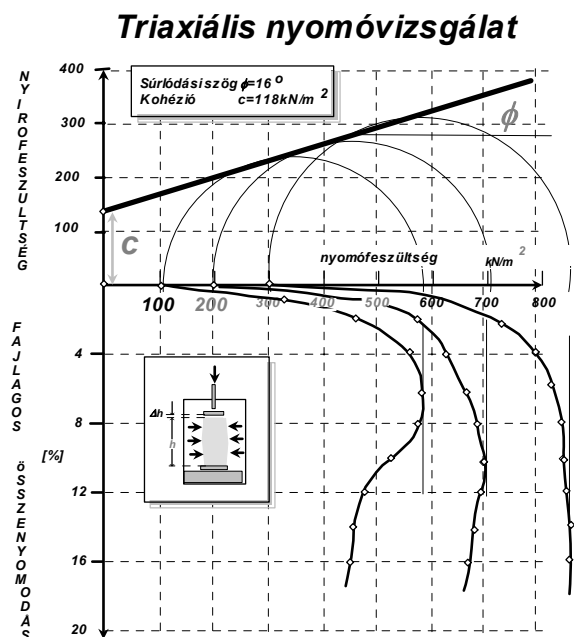
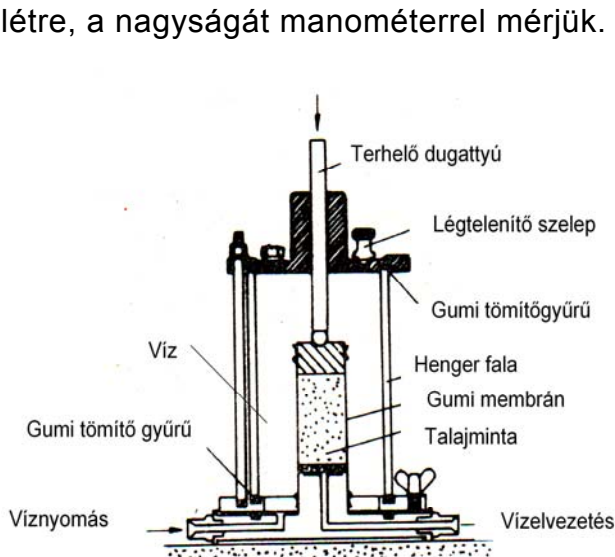
29. ábra Az egyirányú nyomóvizsgálat eredményei

## HÁROMTENGELYŰ /TRIAXIÁLIS/ NYOMÓKÍSÉRLET

### Meghatározás

A háromtengelyű nyomókísérletben egy nyomócellába helyezett hengeres talajmintát először folyadéknyomás közvetítésével hidrosztatikus terhelés alá vetünk, majd a függőleges nyomás növelésével törésig terhelünk.

A törést előidéző feszültségállapot Mohr-féle feszültségi körét felrajzoljuk, majd a kísérletet több különböző hidrosztatikus feszültségállapotból kiindulva megismételjük. A töréshez tartozó Mohr-féle körök burkolója a Coulomb-féle nyírási egyenes, ebből a súrlódási szög és a kohézió leolvasható. A triaxiális kísérlet eszközét a 30. ábra mutatja. A készülék fő része az üvegből vagy átlátszó műanyagból készült henger, amelyet jól tömített talplemez és fejlemez zár le. A folyadékkal /rendszerint vízzel/ telt térben, a talplemez kiemelkedésén van a vékony - alul, felül gumigyűrűvel tömített - gumi-burokkal körülvett talajminta. A minta felső és alsó lapján szűrőkő van, ezekhez hajszálcsövek csatlakoznak, amelyek a talplemez furatain keresztül a térfogatváltozásmérő készülékkel ill. pórusvíznyomás mérőkészülékkel közlekednek. A függőleges terhelést a fejrészre támaszkodó dugattyú adja át a mintára, és a centrikus erőátadás céljából a fejrész és a dugattyú közé golyó van elhelyezve. A dugattyú elmozdulása a minta függőleges elmozdulását jelzi, ezt a dugattyútól függetlenül rögzített mérőórával tudjuk mérni. Az oldalnyomást nyomásszabályzóval hozhatjuk létre, a nagyságát manométerrel mérjük.



30. ábra A triaxiális nyomóvizsgálat és a mérések feldolgozása.

A minta belsejével közlekedő vezetéken egy csap nyitásával vagy zárásával szabályozhatjuk, hogy a mintából - telített állapot feltételezésével - a víz eltávozik-e vagy sem. E szerint nyílt vagy zárt rendszert hozhatunk létre; ami azt jelenti, hogy lehetővé tesszük vagy meggátoljuk a minta terhelés alatti konszolidációját. E szerint a kísérlet háromféle módon hajtható végre:

- a/ **Gyors /nem konszolidált/ kísérletben** a mintát először hidrosztatikus nyomás alá helyezzük, miközben a csapot zárva tartjuk. A hidrosztatikus nyomás átadása után rögtön növelni kezdjük a függőleges terhelést, úgy, hogy a csapot most is zárva tartjuk. Az összenyomódás sebessége egyenletes, mintegy a minta magasságának 0,5-1,0%-a percenként. Kísérlet közben a pórusvíz nyomásmérő készüléket állandóan a nyomócellára kapcsoljuk, és mérjük a pórusvíznyomást.
- b/ **Konszolidált gyors** kísérletben a függőleges terhelés növelése előtt - nyitott csapok mellett - kivárjuk a hidrosztatikus nyomás alatt bekövetkező konszolidációt, majd a csapokat lezárva, a függőleges terhelést törésig növeljük. A függőleges terhelés alatt mérjük a pórusvíznyomást.
- c/ **Konszolidált /lassú/ kísérletben** a hidrosztatikus nyomás alatti konszolidáció teljes kivárása után a függőleges terhelést olyan ütemben növeljük, hogy minden egyes terhelési lépcsőnél ugyancsak kivárjuk a teljes konszolidációt. Mind a hidrosztatikus terhelés, mind a függőleges terhelési lépcsők ráadása alatt mérjük a pórusvíznyomást. Konszolidáció akkor tekinthető befejezettnek, ha a pórusvíznyomásmérő zérust mutat. Ez meglehetősen hosszú időt vesz igénybe s egy-egy kísérlet napokig is eltarthat.

A gyakorlatban - elsősorban nem telített minták vizsgálatakor - szokásos az az eljárás is, hogy a kísérletet a pórusvíznyomás mérése nélkül végezzük. Ekkor a kísérlet eredményét csak a teljes feszültségek függvényében tudjuk ábrázolni. Eredményül itt is a látszólagos súrlódási szöget kapjuk meg, s az ilyen kísérletet ugyanazok a hibák terhelik, amelyeket a közvetlen nyírókísérlettel kapcsolatban elmondtunk.

## A TALAJOK DEFORMÁCIÓI

A talajtömeg terhelés hatására összenyomódik, alakváltozást szenved. A talajoknál és a szilárd anyagoknál az alakváltozások más természetűek. Míg a szilárd anyagoknál a szilárd test teljes deformációjából adódó alakváltozásokkal számolunk, addig a háromfázisú talajoknál a talajtömeg deformációit a talajszemcsék közötti pórusokból kiszoruló levegő és víz hozza létre. A számításainknál a gyakorlatilag összenyomhatatlan talajszemcsék és víz összenyomódásától eltekintünk.

A fajlagos alakváltozásokat mindig egy talajtömeg méreteinek változásaként értelmezzük, azaz nem mikró, hanem makró változásként. Belátható, hogy az összetett feszültségi állapot változásaiból adódó sűrűségváltozás a talajszemcsék mikro mozgásaiból alakulhat ki. A mikró szemcsemozgások determináltak, és véletlenszerűek, de az összegező mozgások eredőjeként már a mérnöki számítások számára kezelhetőek lehetnek.

A szemcsés és a kis kohéziójú talajok esetében kísérletekkel alátámasztott összefüggések használhatók.

A nagy kohézióval rendelkező anyagoknál döntő az anyag szerkezete, mert nagyobb terhelésnél a szerkezet összeroppan, és ezáltal egészen más tulajdonságú anyag alakul ki, míg a talajoknál ez a hatás kevésbé érvényesül,

A fajlagos alakváltozásokat az egységnyi vastagságú talajtömeg réteg összenyomódása és esetlegesen fellazulása alapján értelmezzük.

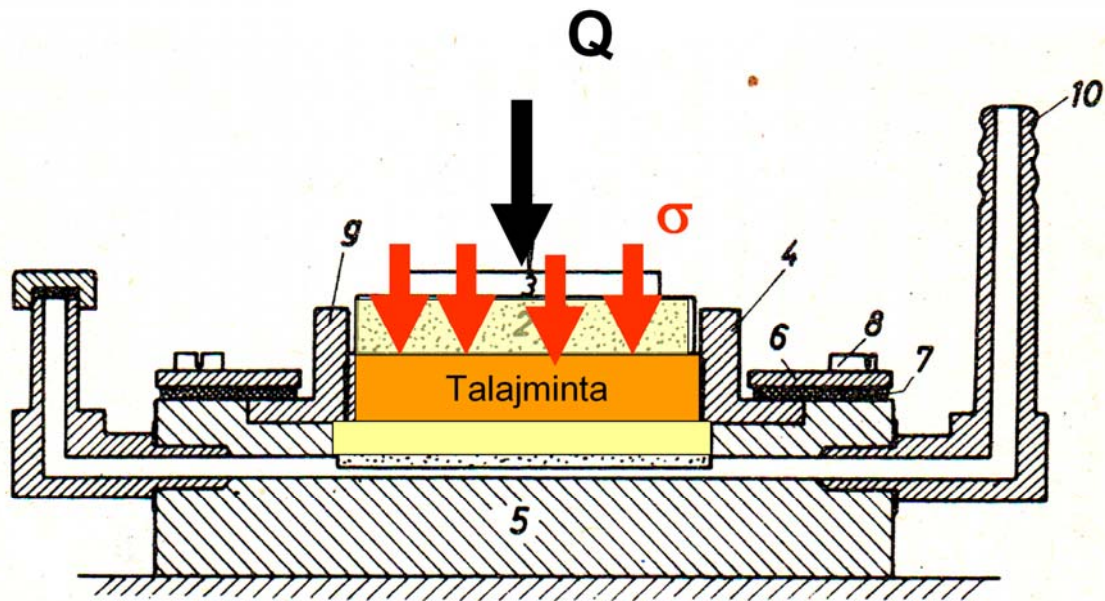
$$\Delta\varepsilon_{\%} = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100$$

ahol  $\Delta\varepsilon_{\%}$  a fajlagos alakváltozás értéke;  $\Delta h$  a talaj összenyomódás (fellazulás) értéke,  $h$  az összenyomódó (fellazuló) réteg vastagsága.

## KOMPRESSZIÓ

Ha a talajokat a természetes fekvésüknek megfelelő feszültségállapotban akarjuk vizsgálni, oldalsó megtámasztást kell alkalmazni. Az előzőekben említett egyirányú nyomás esetén oldalirányban megtámasztás nincs, így az alakváltozás minden irányban szabad. A talaj azonban vízszintes irányban végtelen kiterjedésnek tekinthető /legalábbis alapozás szempontjából/, így az oldalirányú alakváltozás erősen

gátolt. Ezt az állapotot laboratóriumban előállítani nehéz lenne, de igen jól megközelíthető, ha teljesen megakadályozzuk az oldalsó alakváltozást, és zárt gyűrűben vetjük nyomás alá a talajt. Ez a kompresszió feszültségállapota.



Jelölések: 2 szűrőkő 3 teherelosztó lap 4 fémgyűrű 5 talplemez 6-7-8 tömítőlemez, szorítógyűrű, csavarok, 9 befogó talpas gyűrű, 10 cső a víz ki illetve hozzávezetéséhez

### 31. ábra Ödométer metszete

A kísérlet eszköze a 31. számú ábrán metszetben vázolt **ödométer**.

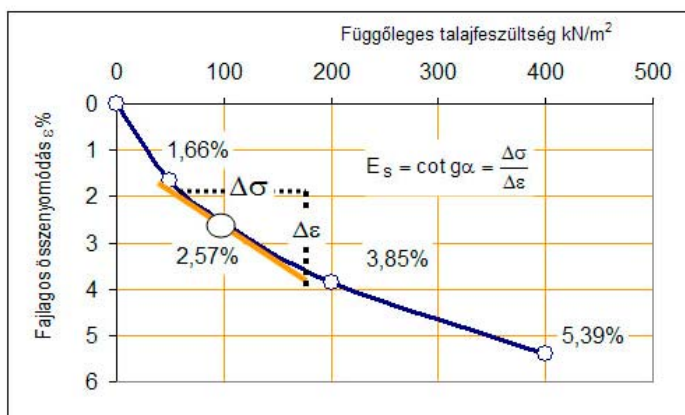
A kiszűrő gyűrű segítségével 8,0 cm átmérőjű és 2,0 cm magasság korongot álltunk elő a zavartalan talajmintából. Ezt behelyezzük a készülékbe úgy, hogy a minta alá és fölé egy-egy porózus szűrőkő kerül. Ezeken keresztül akadálytalanul távozik a mintából az összenyomódás miatt kiszoruló víz. A kiszűrőgyűrűt tartó merev foglalat miatt a minta alakváltozása csak függőleges irányú lehet. A felső szűrőkőre teherelosztó acéllemez kerül, ennek középpontján működik a terhelés. Kísérlet közben mérjük a minta alakváltozásait, illetve az alakváltozások időbeli növekedését. A terhelést lépcsőzetesen hordjuk fel. Minden terhelési lépcsőnél hosszabb időt kell várni, ami a semleges feszültségek átalakulnak hatékony feszültséggé. Agyagoknál ez 5-6 órát is igénybe vesz.

A terhelés során tulajdonképpen tömörítjük a mintát, ez magyarázza az alakváltozási görbe jellegét.



A vizsgálati eredmények feldolgozását mutatja be a 32. számú ábra. A kompressziós görbe hatványfüggvénnyel is leírható a talajok legnagyobb részénél. Ez a feldolgozás előnyös a gépi számítások végzéséhez, a talaj „felkeményedő” tulajdonságait jól jellemzi.

Fontos megjegyezni, hogy a talaj összenyomódási modulusa az egységnyi fajlagos összenyomódáshoz tartozó feszültség, így belátható, hogy a tömörödő talajok esetében ez az érték a feszültségtől függ. A  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ -hez tartozó moduluszt nevezzük a talaj összenyomódási modulusának.



Közelítsük a mért diagramot egy hatványfüggvénnyel:

$$\varepsilon = a_1 \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{b_1}$$

Differenciálva  $\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{a_1 \cdot b_1}{\sigma_e} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{b_1-1}$

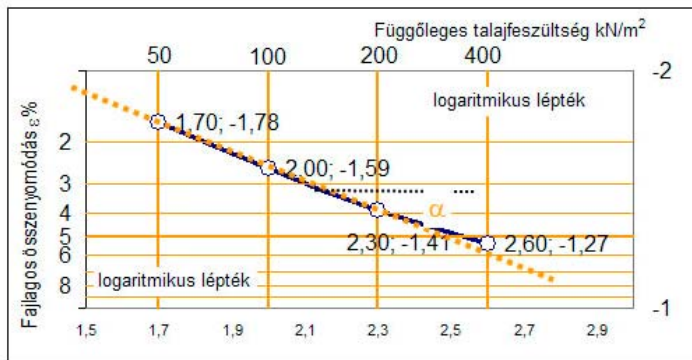
Reciproka  $\frac{d\sigma}{\frac{d\varepsilon}{E_s}} = \frac{\sigma_e}{a_1 \cdot b_1} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{\frac{1}{1-b_1}}$

Egyszerűbb alakban, bevezetett jelölésekkel:

$$E_s = E_o \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^a$$

A fajlagos összenyomódás a bevezetett jelölésekkel:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{\sigma_e}{E_o \cdot (1-a)} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{1-a} \cdot 100$$



**A paraméterek meghatározása:**

Vegyük a logarimását a fajlagos összenyomódási összefüggésnek és egy egyenest kapunk:

$$\log \varepsilon = \log \left( \frac{\sigma_e}{E_o \cdot (1-a)} \right) + (1-a) \cdot \log \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)$$

Az egyenes iránytangense:

$$(1-a) = \text{tg } \alpha = \frac{\log \varepsilon_2 - \log \varepsilon_1}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = \frac{-1.41 - (-1.78)}{2.301 - 1.70} = 0,601$$

$$E_o = \frac{\sigma_e}{(1-a) \cdot 10^{\log \varepsilon - (1-a) \log \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)}} = \frac{100}{0,601 \cdot 10^{-1,41 - \log \left( \frac{200}{100} \right)}}$$

$$E_o = 6473 \text{ kN/m}^2$$

$$\varepsilon_{\%} = 0,161 \cdot \sigma^{0,601}$$

32. ábra A kompressziós vizsgálat eredményének feldolgozása

## MAKROPORÓZUS TALAJOK ROSKADÁSA

Bizonyos eolikus talajok — *löss, löszszerű iszap* — eredetük következtében makroporózus szerkezettel bírnak, vagyis olyan, gyakran szabad szemmel is látható hézagokat tartalmaznak, melyeknek méretei lényegesen felülmúlják a talajt alkotó szemcsék méreteit. A makropórusok jelenléte részben a levegőből lehulló por által eltemetett fűvek elkorhadt *gyökerei* megmaradt csatornáinak következménye, részben pedig a talajszemcsék felületén adszorbeált vékony *vízfilmek* miatt a szemcsék összetapadnak, s így közöttük a szemcsék méreteinél nagyobb hézagok keletkeznek. A makro-pórusok képződésében szerepe van továbbá a hulló porban jelenlévő kémiai anyagoknak, valamint a leülepedés helyén bekövetkező *kémiai folyamatoknak*. A szögletes, túlnyomórészt kvarc- és kalcium-szemcsék gyengén oldható cementáló anyagból, főképpen mészből álló vékony filmmel vonódnak be.

A mész felhalmozódási szintjét és mennyiségét a lösz kialakulása során uralkodó éghajlati, nedvességi és hőmérsékleti viszonyok, valamint a keletkezés utáni időszakban az atmoszferiliák és egyéb tényezők okozta vegyi mállás befolyásolják.

A makroporózus talajok szerkezete egy kellemetlen és sokszor nagy károkat okozó jelenséget von maga után. A makroporózus talajt megterhelve, a réteg összenyomódásának bekövetkezése után *átázás* hatására további süllyedések következnek be, **mégpedig szinte konszolidáció nélkül, teljesen hirtelen, omlásszerűen**. A roskadásnak ez a jelensége laboratóriumban is tanulmányozható. A gyűrűben elhelyezett talajmintát mind alulról, mind felülről vízzel árasztjuk el. Bizonyos terhelést adva a mintára, az összenyomódik, a hézagotétezőt a nyomás függvényében felrakva, normális kompressziós görbét kapunk. Majd a mintát felülről *vízzel elárasztva roskadást* fogunk tapasztalni, a minta a terhelés növelése nélkül hirtelen erősen összenyomódik, ez a kompressziós görbében *lépcsőként* jelentkezik. A további terhelés azután egy, az előbbinél meredekebben haladó kompressziós görbét eredményez.

A roskadás mértékét  $\sigma=300 \text{ kN/m}^2$  normálfeszültségi terhelésnél elárasztott talajmintánál meghatározott viszonylagos roskadási tényezőjével minősítjük:

$$i_m = \frac{\overbrace{e_i - e_0}^{\Delta e}}{1 + e_i} \quad \text{ahol } e_0 \text{ az elárasztás előtti } e_i \text{ az elárasztás utáni állapotban}$$

meghatározott hézagotétező értéke.

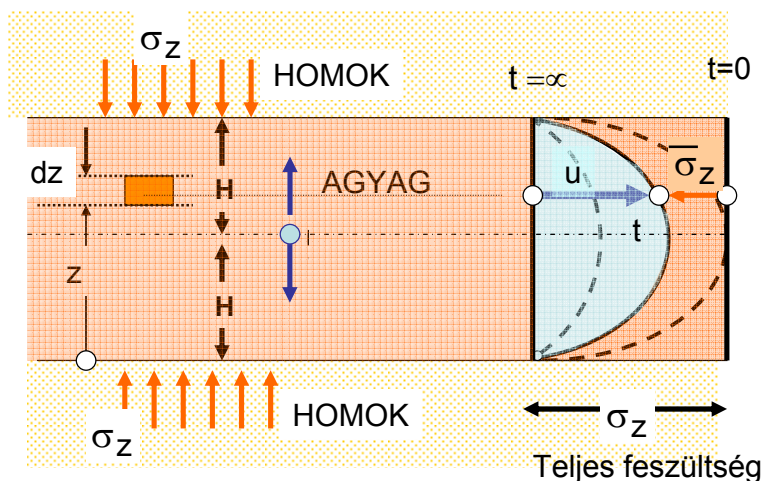
## KONSZOLIDÁCIÓ

A talajok összenyomódása a kompressziós kísérlet során a terhelés rátevése után nem következik be azonnal, hanem fokozatosan csökkenő sebességgel halad előre, és a terhelésnek megfelelő teljes összenyomódást csak hosszabb idő múltán éri el. Ennek az időbeli elhúzódnak az oka kismértékben az, hogy a szemcsék fokozatos **elrendeződése** a terhelésnek megfelelően időt vesz igénybe. Ez az ok mind homoknál, mind agyagnál előfordul. Agyagok esetében viszont az ok elsősorban a talaj kicsiny átteresztőképessége, mert a vízzel telt agyagok csak úgy tudnak összenyomódni, ha a pórusok közül víz távozik el, ehhez viszont hosszú időre van szükség.

Azt a folyamatot, amikor az agyagtalaj víztartalma az állandó terhelés hatása alatt csökken, konszolidációnak nevezzük.

Mind a telített, mind a telítetlen talajokban a külső feszültség (terhelés) pórusvíznyomást, semleges feszültséget hoz létre. Ez annyit jelent, hogy a talajban hidraulikus gradiens keletkezik, ami vízmozgást indít meg, ami a talaj összenyomódásával jár együtt.

Vizsgáljuk meg egy agyagréteg összenyomódásának folyamatát, amikor a réteget alul és felül jó vízvezető réteg határolja, azaz a talajrétegből alul és felül is el tud távozni a víz.



33. ábra A konszolidáció számításának modellje egydimenziós rendszerben

A vizsgálatunk alapfeltevése, hogy a hidraulikus nyomás és a feszültségváltozás egyenlőségéből indulunk ki:

A hidraulikus gradiens értékét számolhatjuk

$$-\gamma_v \cdot \Delta h = -\Delta u = \Delta \bar{\sigma} \qquad i = -\frac{1}{\gamma_v} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}$$

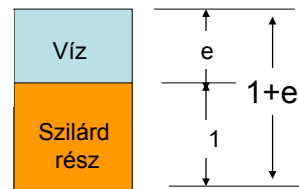
A Darcy törvény érvényesülését feltételezzük: (a vízmozgás sebessége arányos a hidraulikus gradienssel)

$$q = k \cdot i = -k \cdot \underbrace{\frac{1}{\gamma_v} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}}_i$$

Negatív előjel azt mutatja, hogy a vízáramlás felfelé történik, míg a z koordinátarendszer pozitív iránya

A térfogategységből kinyomódó víz mennyisége megegyezik a térfogat csökkenésével, így felírható:

$$\underbrace{\frac{k}{\gamma_v} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}}_{\frac{dq}{dz}} = - \underbrace{\frac{1}{1+e} \cdot \frac{\partial e}{\partial t}}_{\text{térfogatcsökkenés}} \quad e - \text{ a hézagtényező}$$



A hézagtényező időbeli változására viszont felírható:

$$\frac{\partial e}{\partial t} \Rightarrow \partial e = a_v \cdot \partial u$$

Ezt figyelembe véve a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{k \cdot (1+e)}{a_v \cdot \gamma_v} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad \Rightarrow C \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t}$$

A differenciálegyenlet megoldása  $u=f(z,t)$  függvény, ami kielégíti a kerületi feltételeket:

Az összenyomódó réteg fajlagos alakváltozása:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \cdot \frac{\overline{\Delta \sigma}}{E_s} = m_v \cdot \overline{\Delta \sigma}$$

Ebben a képletben  $m_v$  a térfogati összenyomódást jelenti, dimenziója  $m^2/kN$ , és a feszültségváltozástól függ, és tulajdonképpen a kompressziós görbének a tényleges feszültségi tartományából számított összenyomódását számoljuk.

Bevezetve az időtényező fogalmát (T), a megoldások egyszerűen kezelhető formában (zárt alakban összetett függvénysorokban, de diagramokban egyszerűen ábrázolhatóan) határozhatók meg:

$$T = \frac{k}{\gamma_v \cdot m_v} \cdot \frac{t}{H^2}$$

Az  $m_v$  érték a talaj összenyomódási modulusával függ össze, és az aktuális feszültségi szint figyelembe vételével határozható meg.

Bevezetjük a konszolidációs fok fogalmát:

$$\kappa\% = \frac{\Delta h_t}{\Delta h_\infty} \cdot 100 = \frac{\Delta \varepsilon_t}{\Delta \varepsilon_\infty} \cdot 100 \quad \text{ami egy meghatározott idő alatti talaj összenyomódás}$$

viszonya a teljes talaj összenyomódáshoz százalékban kifejezve.

A talaj összenyomódás konszolidációs foka, a kerületi feltételektől, és az időtényezőtől függ. Az időtényezőt sok terhelési esetre kidolgozták, és a hosszadalmas számítások

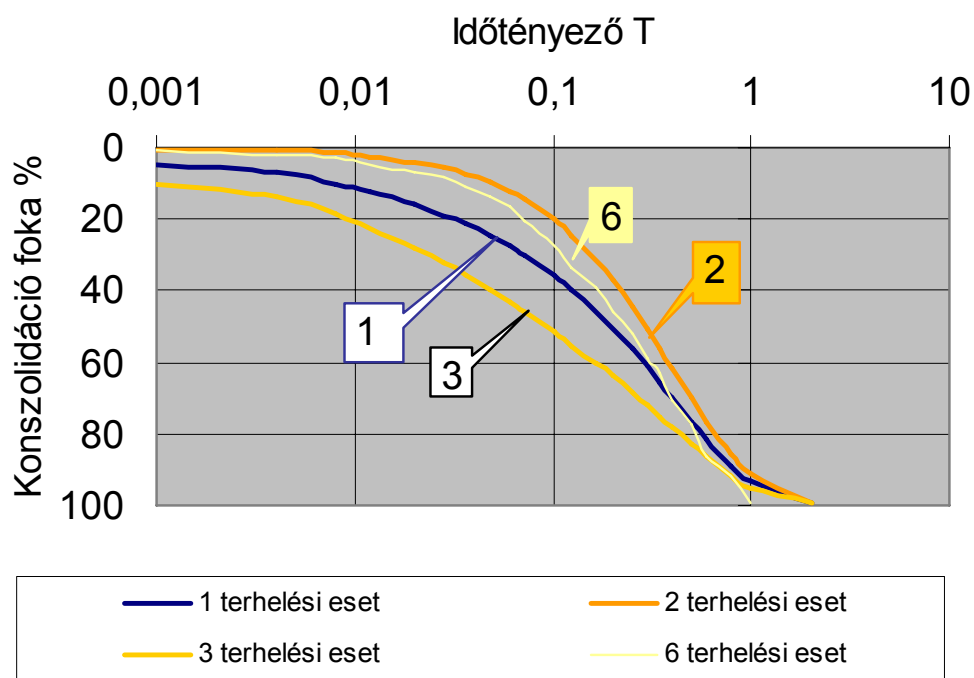
helyett diagramok használatával segítették a meghatározást.

Ugyanazon talajok konszolidációs idői különböző rétegvastagságok esetén a  $T$  időtényező alapján határozhatók meg, de az időtényezők azonosak, így a konszolidációs idők összefüggése a rétegvastagságok négyzetarányával fejezhető ki.

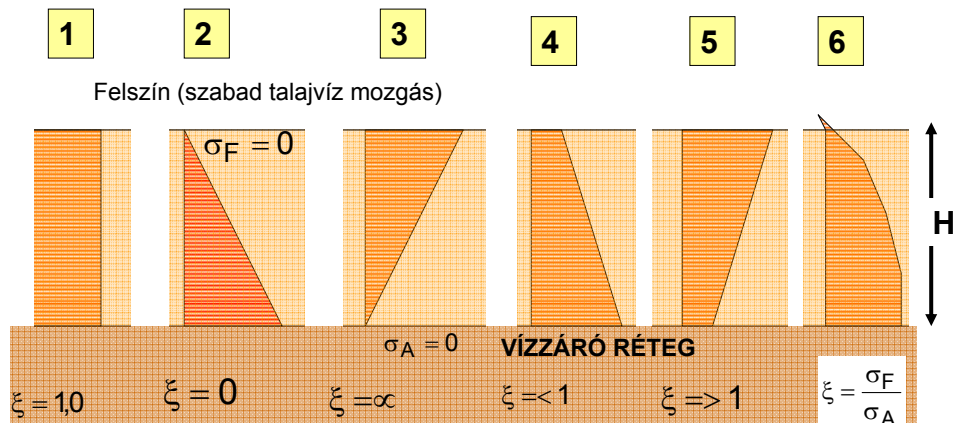
$$t_1 : t_2 = H_1^2 : H_2^2 \quad \Rightarrow T = \frac{c_v \cdot t_1}{H_1^2} = \frac{c_v \cdot t_2}{H_2^2}$$

Ha az áteresztő és a vízzáró felszínen lévő feszültségek viszonyát  $\xi$  -vel jelöljük, akkor a konszolidációs fokot a

$$\kappa_{4\%} = \kappa_1 - \frac{1-\xi}{1+\xi} \cdot (\kappa_1 - \kappa_2) \quad \text{és} \quad \kappa_{5\%} = \kappa_1 - \frac{\xi-1}{\xi+1} \cdot (\kappa_1 - \kappa_2)$$



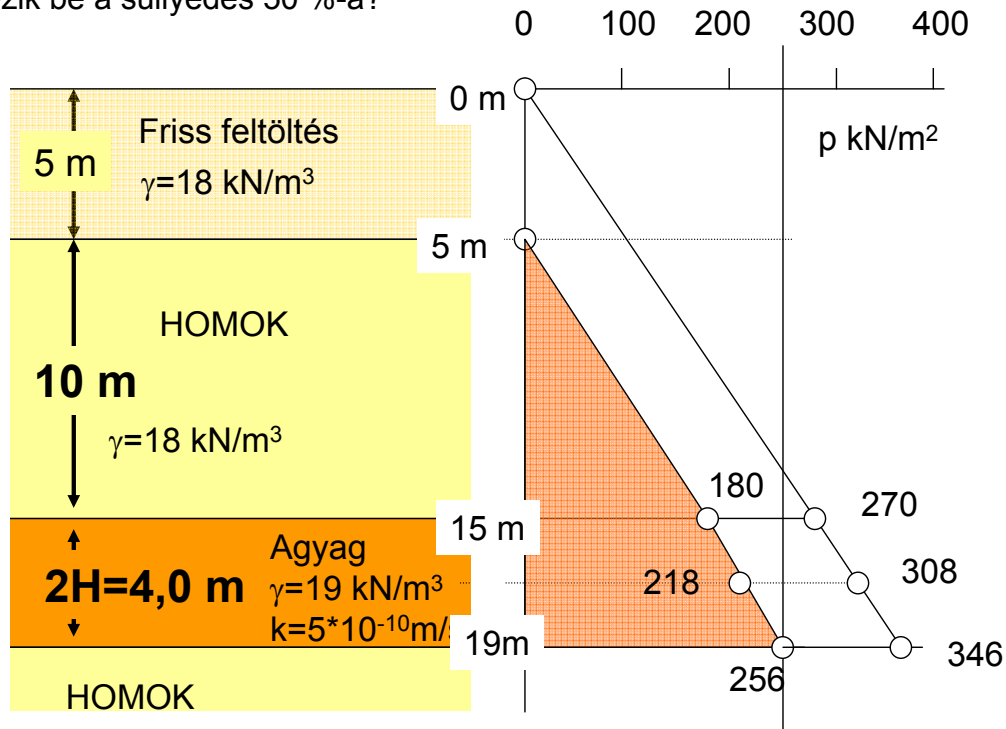
### Terhelési esetek



34. 35. ábra A különböző terhelési esetekhez tartozó konszolidációs fok az időtényező függvényében

**Feladat:**

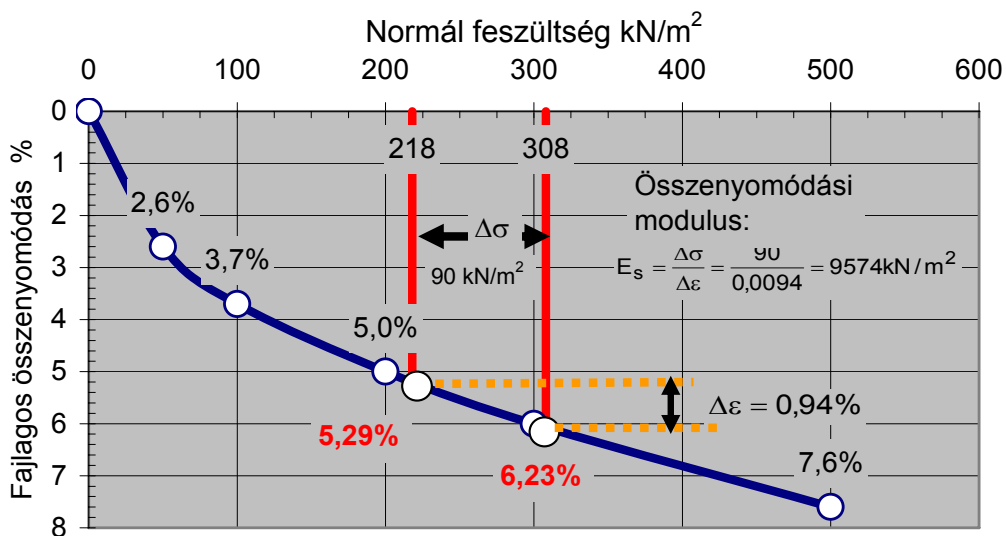
Adott egy  $2H=4,0$  m vastag nyílt agyagréteg, felszín alatt 10 m mélységben. Mekkora összenyomódást szenved ez a réteg, ha 5,0 m magas  $\gamma=18$  kN/m<sup>3</sup> térfogatsúlyú homoktöltést hordunk rá? Az agyag áteresztőképességi együtthatója  $k = 5 \cdot 10^{-10}$  m/s. Az agyag kompressziós görbéjét laboratóriumban határozták meg. Mennyi idő alatt következik be a süllyedés 50 %-a?



36. ábra. Talajszelvény és a geoztatikus feszültségek.

A kompressziós kísérlet eredményei:

p kN/m <sup>2</sup> ( $\sigma$ )	50	100	200	300	500
$\epsilon$ %	2,6%	3,7%	5,0%	6,0%	7,6%



37. ábra. A kompressziós görbe adatai

Az agyagréteg teljes összenyomódása a kompressziós kísérlet alapján:

$$\Delta h = h \cdot \frac{\Delta \sigma}{E_s} = 4000 \cdot \frac{0,94}{100} = 37,6 \text{ mm}$$

A konszolidációs idő számítása:

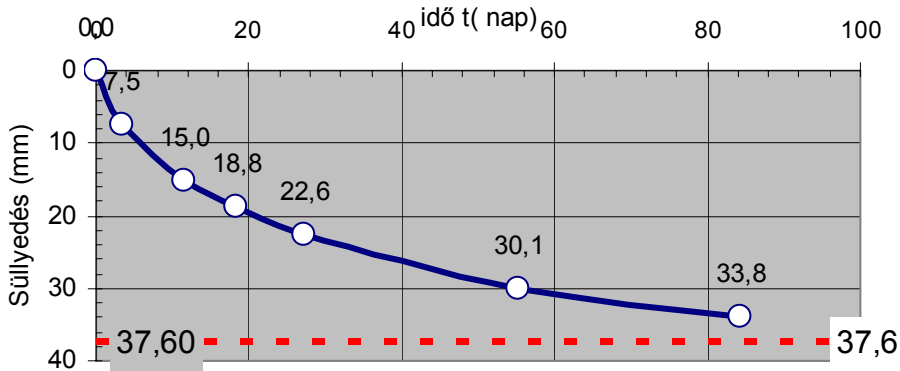
$$t = \frac{H^2 \cdot \gamma_v}{k \cdot E_s} \cdot T \quad \text{behelyettesítve: } t = \frac{2,0^2 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-10} \cdot 9574} \cdot T = 8,36 \cdot 10^6 \cdot T \text{ sec}$$

Mivel 1 nap

$$1 \text{ nap} = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 8,64 \cdot 10^4 \text{ sec}$$

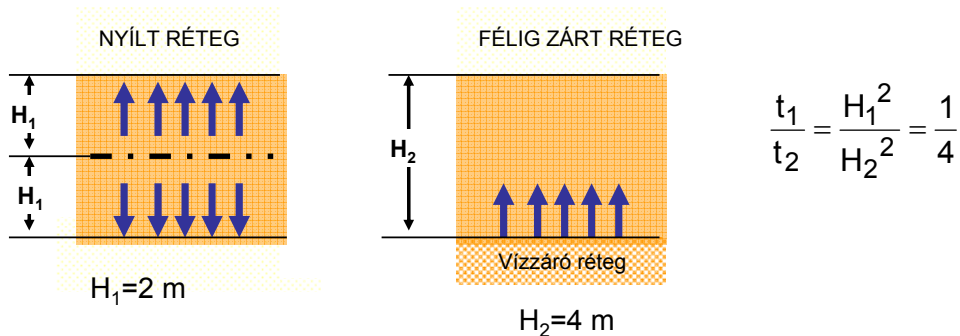
$$t = 96,8T(\text{nap})$$

$\kappa\%$	0	20%	40%	50%	60%	80%	90%	100%
$\kappa \cdot \Delta h$ (mm)	0	7,52	15,04	18,80	22,56	30,08	33,84	37,6
T	0	0,04	0,12	0,19	0,28	0,57	0,87	$\infty$
t (nap)	0	3,39	11,62	18,39	27,10	55,18	84,22	$\infty$



38. ábra A számítás eredménye

Mennyi idő alatt következne be a konszolidáció 50 %-a ha a réteg félig zárt volna?



$$H_1 = 2 \text{ m} \quad t_{50\%} = 18,4 \text{ nap}$$

$$H_2 = 4 \text{ m} \quad t_{50\%} = 4 \cdot 18,4 = 73,6 \text{ nap}$$

39. ábra A zárt és a nyílt rendszer értelmezése

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK:

- Melyik talajnak van a legnagyobb felülete?
- Egy telített iszaptalaj (testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ ) víztartalma  $w=100\%$ .  $100 \text{ cm}^3$  térfogatú talajmintának mennyi a száraz tömege?
- Egy telített iszaptalaj (testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ ) víztartalma  $w=100\%$ .  $100 \text{ cm}^3$  térfogatú talajmintának mennyi hézagtérfogata? ( $e=?$ )
- Egy talaj hézagtérfogata  $e=0,5$ . Mennyi a hézagterfogata?  $n_0=?$
- Egy talajnak a szemeloszlási görbéjén a 60% súlyszázaléknál meghatározott szemcseátmérő  $0,1 \text{ mm}$ . Egyenlőtlenségi mutatója  $C_u=4$ . Milyen méretű a hatékony szemcseátmérője?
- Mit jelent a szemcseátmérő?
- Egy talajból kivett mintánál a  $0,02 \text{ mm}$ -nél nagyobb szemcsék 75%-ban vannak. A szemeloszlási diagramban mennyi lesz a súlyszázalék?
- Mit jelent a  $D_{10}$  szemcseátmérő?
- Mit jellemez az egyenlőtlenségi mutató?
- A talaj telítettsége  $S=75\%$ , víztartalma  $W=15\%$ . Mennyi lesz a nedves térfogatsúlya?
- A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ . A talaj telítettsége  $S=75\%$ , víztartalma  $W=15\%$ . Mennyi lesz a hézagtérfogata?
- A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ .  
Egy iszaptalajt  $250 \text{ C}^\circ$ -on kiszárítunk. A nedves állapotú tömege  $m_n=150 \text{ gr}$ , kiszárítva  $m_s=100 \text{ gr}$ . Mennyi lesz a víztartalma?
- A talaj hézagtérfogata  $e=0,5$ . Mennyi lesz a talaj telített térfogatsúlya?  
A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ .
- A teljes térfogatsúly  $\gamma_n = 20,9 \text{ kN/m}^3$ , víztartalom  $w=14\%$ . Mennyi a talaj száraz térfogatsúlya? A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ .  
Mikor telített egy talaj?
- A talaj nedves súlya  $135,6 \text{ N}$ , száraz súlya  $119 \text{ N}$ . Mennyi a víztartalma?
- Minek nevezzük a  $0,002 \text{ mm}$ -nél kisebb szemcsésű talajt?
- Egy talaj hézagterfogata  $n=50\%$ . Mennyi a hézagtérfogató értéke  $e=?$
- A talajszemcsék apró lemezecskékből állnak. Milyen talajra jellemző ez a szerkezet?



- Mit jelent a makroporozus szerkezet? Milyen talajokra jellemző?
- A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ , halomsűrűsége  $\rho_n = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ , száraz halomsűrűsége  $\rho_d = 2,0 \text{ gr/cm}^3$  Mennyi a víztartalma?  $W=?\%$
- A talaj testsűrűsége  $\rho_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$ , halomsűrűsége  $\rho_n = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ , száraz halomsűrűsége  $\rho_d = 2,0 \text{ gr/cm}^3$  Mennyi a hézagtérfogata?  $W=?\%$
- Egy szemcsés talaj leglazább állapotban mért hézagtérfogata  $e=1$ , legtömörebb állapotban  $e=0,5$ . A relatív tömörsége a természetes állapotban  $Tr_e=50\%$ .
- Mennyi a természetes állapotban a hézagtérfogata?
- Lehetséges-e hogy a tömörségi fok 100% feletti?
- Egy talaj tömörségi foka  $Tr_p=90\%$ . A töltésből kivett minta víztartalma  $w=20\%$ , nedves állapotban a térfogatsúlya  $\gamma_n=22,0 \text{ kN/m}^3$ . Mennyi a 100%-os tömörséghez tartozó száraz térfogatsúly?
- Egy talaj vízáteresztő képességi tényezője  $k=0,01 \text{ m/s}$ .  $1 \text{ m}^2$  felületű  $10 \text{ cm}$  vastag rétegre állandóan  $1,0 \text{ m}$  magasságú vízoszlop terhelést működtetünk.

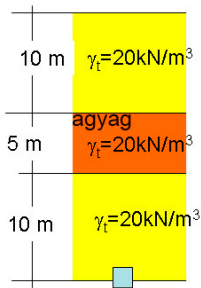


Mennyi időt vesz igénybe, hogy  $1 \text{ m}^3$  vizet eresszen át a talajréteg?  $t=?$  másodperc

- 
- A talaj hézagtérfogata  $n=75\%$ . A hidraulikus gradiens  $i=1,0$ , az áteresztőképességi együttható  $k=10^{-2} \text{ m/s}$ . Mennyi lesz a talajban ténylegesen áramló víz sebessége?
- A rajzon látható Mohr körök közül melyik mutatja a törési-képlékenységi állapotot?



- Mit jelent a semleges feszültség fogalma?
- Egy telített talajréteg felületére  $10 \text{ m}$  magas vízoszlopterhelés működik. Mennyi lesz a talaj összenyomódása?  $10 \text{ cm}$  vastag, az összenyomódási modulus  $E_s=10 \text{ Mpa}$ .
- Mit jelent a talaj összenyomódási modulusa?
- Mit jelent a konszolidáció a talajoknál?
- A következő talajrétegződésünknel a talajvízszint a terepszinten van. Mekkora lesz a talaj hatékony feszültsége a megjelölt helyen, ha az agyagrétegben a pórusvíznyomás nem tud kialakulni?



Rajzolja fel a hatékony feszültségek ábráját.  
 Rajzolja fel a semleges feszültségek ábráját.  
 Rajzolja fel a teljes feszültségek ábráját.

- 
- A futóhomok talajnak mi a leglényegesebb ismerve?
- Milyen fogalomhoz lehet kötni az aktív földnyomást?
- Melyik nagyobb a nyugalmi földnyomás, vagy a passzív földellenállás?
- Melyik esethez tartozik nagyobb elmozdulás?
- Mit jellemez a Mohr-Coulomb ábrázolásnál a normálfeszültségi tengelyen ábrázolt egyetlen pont?
- Mit jelent, ha a Mohr körön a legkisebb főfeszültség negatív értékű?
- Mit jelent a szilárdság fogalma?
- Mit jelent a főfeszültség fogalma?
- Mit jelent az un. „látszólagos kohézió” fogalma?
- Egy tömör homoktalaj nyírószilárdsága  $150 \text{ kN/m}^2$  normálfeszültség mellett  $150 \text{ kN/m}^2$ . Mennyi a súrlódási szög értéke?
- Egy talaj egyirányú nyomószilárdsága  $200 \text{ kN/m}^2$ . A talaj súrlódási szöge  $\phi=0^\circ$  Mennyi a kohézió értéke?
- Mi a különbség a konszolidációnál a nyitott és a zárt rendszer között?
- Milyen időtartamú összenyomódáshoz tartozik elméletileg a kompressziós görbe egy pontja?
- Mitől függ az időtényező a konszolidációnál?
- Mit jelent az összenyomódási modulus? Milyen feszültségértékhez tartozik?
- Mi az azonos, és mi a különbség az egyirányú nyomóvizsgálat és a kompressziós vizsgálat között?
- Hogyan határozzuk meg egy talajnál a roskadás mértékét?
- Mi a különbség a laza és a tömör homok közvetlen nyíróvizsgálati eredményénél?

## FÖLDMEGTÁMASZTÓ SZERKEZETEK

Amikor egy függőleges földfalat biztonságosan kell megtartani, például nagy bevágásoknál, vagy ha a rézsű biztonságos kialakítására nincs elegendő hely, vagy mély munkagödrök, csatornaárkok kitémasztásakor, akkor földmegtámasztó szerkezetet építenek.

A gyakorlatban használt megtámasztások egy része **végleges**, mint a támfalak, bélésfalak, hídfők ellenfalai, más részük **ideiglenes** jellegű /munkagödrök, dúcolása, szádfalak/.

Méretezésükhöz ismerni kell a megtámasztott földtömeg által a falra átadott erőt. Ezt az erőt a talajban keletkező vízszintes feszültségek határozzák meg, azoknak az eredőjét általános szóhasználattal **földnyomásnak** nevezzük.

A vízszintes feszültségeknél különbséget teszünk **aktív és passzív** állapot között.

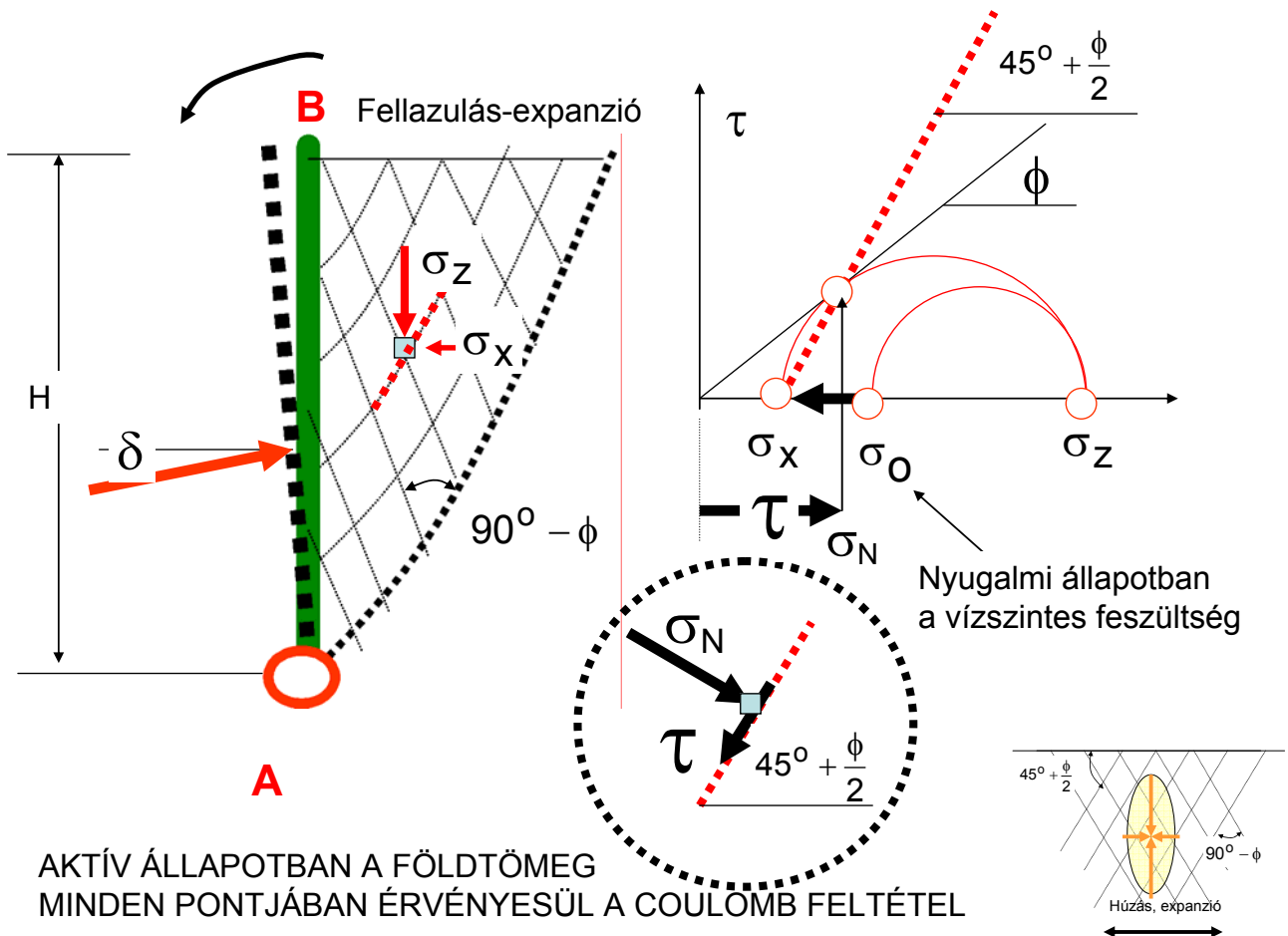
A földnyomás szoros kapcsolatban van a fal mozgásával.

Gyakorlatilag legtöbbször **egy alsó sarokpont körüli billenés** hatása érvényesül.

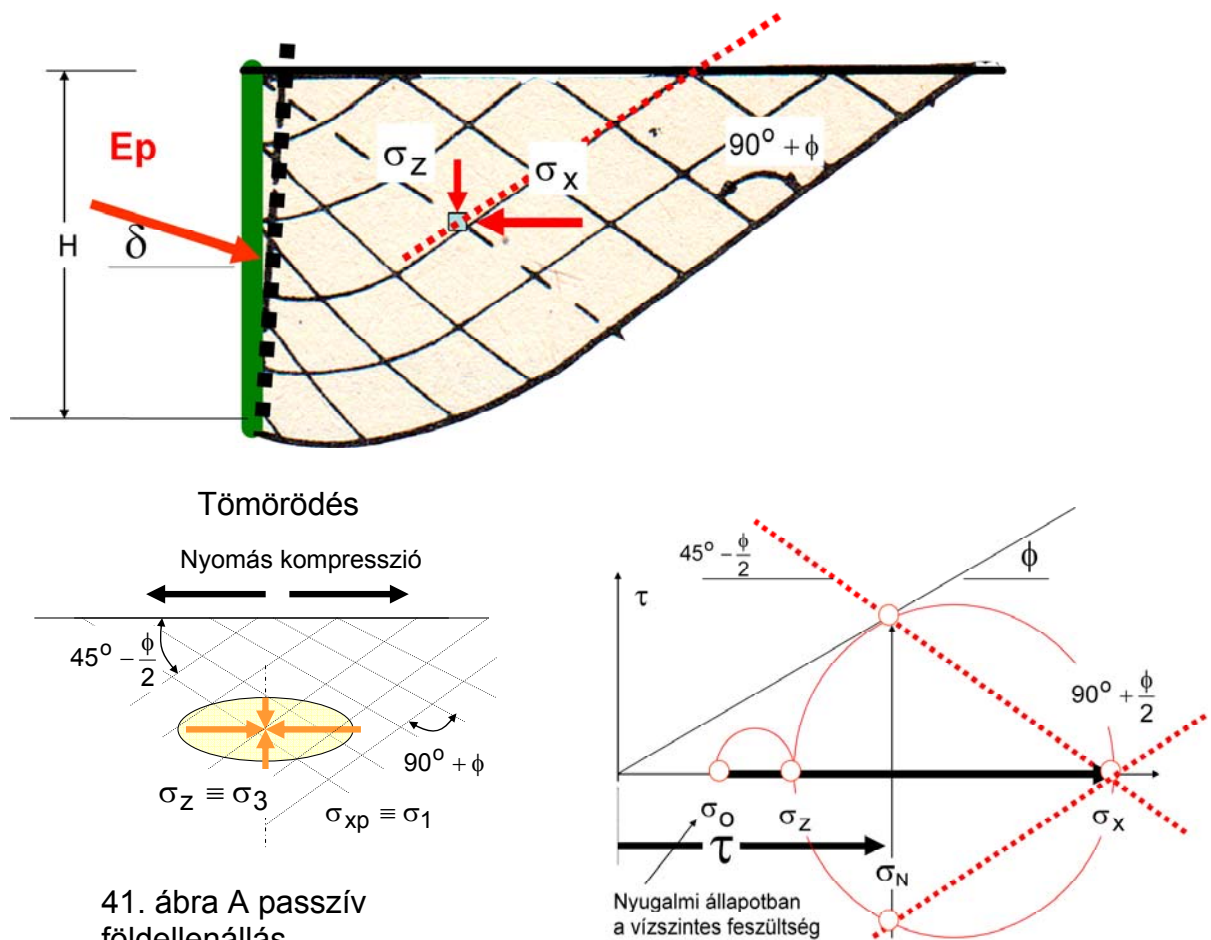
Vizsgáljuk meg a földnyomás kialakulását a billenés függvényében.

Tételezzük fel, hogy a földtömeget érdes fallal támasztjuk meg, amikor súrlódás lép fel a fal és talaj között, és a talaj kohézió nélküli szemcsés anyag. **A fal távolításakor** a földtömegben **fellazulás lép fel** tehát súrlódás is keletkezik, csökken a vízszintes feszültség.

A csökkenés értéke az elmozdulással arányos. Amikor a vízszintes feszültség csökkenése következtében a főfeszültségi Mohr-kör érinti a Coulomb-egyenest, bekövetkezik a törés, csúszás. Először a fal felső pontjának környezete éri el ezt a határállapotot, kialakul egy csúszólap. Amint a fal alsóbb pontjai is elérik az elmozdulás határértékét, a csúszólapok egyre lejjebb terjednek és egymással párhuzamos csúszólapsereg fejlődik ki. Végül is az alsó sarokpontból kiindulva egy földék elválik a teljes földtömegtől és mivel a földék minden pontjában kielégül a törés feltétele, az ék  $\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$  hajlású csúszófelületen lefelé mozog. A lefelé irányuló mozgás súrlódást ébreszt a fal hátlapján is, ezért a feszültségek iránya és így az eredő földnyomás iránya is  $\delta$  szöggel eltér a fal normálisától.



40. ábra aktív földnyomás összefüggései



Ha a falat a talaj felé billentjük, jóval nagyobb feszültségek lépnek fel, hiszen most **tömörödés lép fel**, és a fellépő súrlódás növeli a vízszintes feszültségeket. Elérve a csúszás határállapotát, kialakul a  $(45^\circ - \frac{\phi}{2})$  hajlású szakadólap, és a fal mögötti földék felfelé mozog.

A hátlapon fellépő falsúrlódás szintén eltorzítja a feszültségek irányát és az eredő is  $\delta$  szöget zár be a fal normálisával. A súrlódás következménye az is, hogy a csúszófelületek a fal közelében elgörbülnek.

Nyugalmi állapotban a földnyomás a vízszintes feszültségekből számítható:

$$\sigma_x = K_o \cdot \sigma_z \quad \text{ahol} \quad \sigma_z = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \gamma_i \quad \text{ezekben a képletekben a } K_o \text{ tényező a nyugalmi}$$

földnyomás tényezője. Jáky szerint  $K_o = 1 - \sin \phi$  jó közelítéssel.

A függőleges önsúlyfeszültség a különböző vastagságú és térfogatsúlyú rétegek önsúlyfeszültségeiből adódik.

A földnyomás értéke a vízszintes irányú feszültségek mélységbeli eloszlási ábrájának területe alapján számolható. Homogén rétegződés esetén

$$E_o = K_o \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2}$$

Belátható, hogy az aktív földnyomás esetén is a fal felületénél a függőleges feszültségekből számított vízszintes feszültségi ábra területével számolható a kN/m dimenziójú aktív földnyomás.

$$E_a = K_a \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \quad \Rightarrow \quad K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{vagy másképpen} \quad K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

A nyugalmi földnyomás értéke  $\phi = 30^\circ$  súrlódási szögű talajnál:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} = \frac{1}{3}$$

Egy 5 m magas falnál, ha a talaj térfogatsúlya  $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$

$$E_a = K_a \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 83,3 \text{ kN/m}^2$$

A nyugalmi földnyomás értéke:

$$E_o = \underbrace{(1 - \sin \phi)}_{K_o} \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = (1 - 0,5) \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 125 \text{ kN/m}^2$$

A passzív földellenállás tényezője:

$$E_p = K_p \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \Rightarrow K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \text{ vagy másképpen } K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_p = \underbrace{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}_{K_p} \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = \frac{1 + 0,5}{0,5} \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 750 \text{ KN/m}^2$$

A földnyomások aránya ezek szerint

$$\underbrace{E_a}_{83,3} < \underbrace{E_0}_{125} < \underbrace{E_p}_{750}$$

Ez azt is jelenti, hogy nagyságrendileg az aktív földnyomás a nyugalmi földnyomás fele-kétharmada, míg a passzív földellenállás viszont a nyugalmi földnyomás 7-10 szerez értéke.

A földnyomások határértékéhez szükséges elmozdulások								
A falmozgás jellege, geometriai adatai								
Tömörség	Laza	Tömör	Laza	tömör	Laza	tömör	Laza	tömör
Aktív állapot	0,004- 0,005m	0,001- 0,002m	0,002- 0,003m	0,005- 0,001m	0,008- 0,01m	0,002 0,04m	0,0040 0,005m	0,001 0,002m
Passzív állapot	0,3 m	0,1m	0,1 m	0,005m	0,15m	0,005m	-	-

42. ábra A földnyomások kialakulásához szükséges elmozdulások

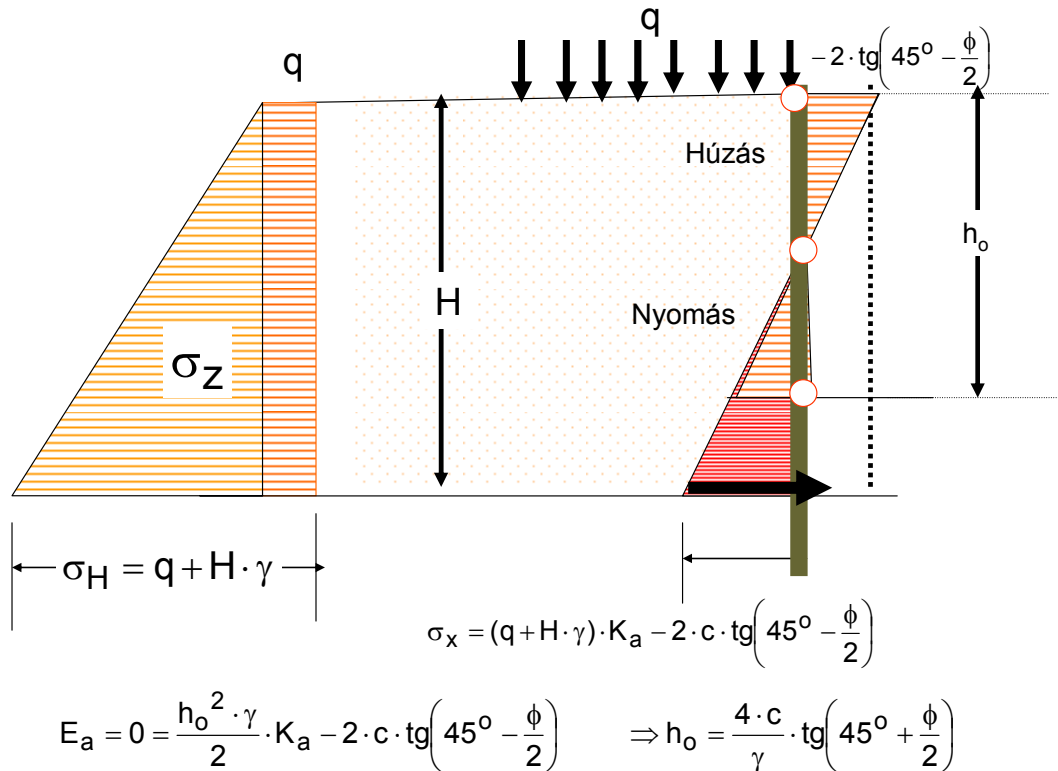
Az **egyenletesen megoszló terhelés** a függőleges feszültséget a terhelés intenzitásának megfelelően növeli, így a vízszintes feszültség, valamint a földnyomás is arányosan nő.

A **kohézió** viszont arányosan csökkenti a vízszintes feszültséget. Hozzá kell tenni azonban azt, hogy a kohézió csak állandó nedvességtartalom esetén vehető a teljes értékével figyelembe, az átázás erősen csökkenti, sőt meg is szüntetheti. A kohéziós talajok aktív földnyomásánál tehát nagyobb körültekintéssel kell a súrlódás és kohézió értékét megállapítani. A kohézió lecsökkenésén kívül a **duzzadás okozta nyomás** is

jelentékeny hatású.

E két tényező az oka az anyagokat megtámasztó támfalak gyakori tönkremenetelének.

A kohézió okozta feszültség csökkenés egyébként azt jelenti, hogy egy  $h_0$  magasságú földfal **megtámasztás nélkül is megáll**, vagyis nem keletkezik aktív nyomás.



43. ábra Az aktív földnyomás és a megtámasztás nélküli földtömeg állékonysága

A kohézió figyelembe vétele körültekintést igényel. A talajtömeg kohéziójának figyelembe vétele az Eurocode 7 alapján a korábbi hazai szabályozásoktól eltérő.

A talaj átlagos kohéziójából az un. karakterisztikus értéket vesszük figyelembe. A kohéziónál a meghatározott értékeknek jelentős szórása van. Ezt fejezi ki a variációs tényező, ami a szórás és az átlagérték hányadosát jelenti. Ennek javasolt értéke  $v=0,40$ , azaz az átlagérték 40%-a is lehet a szórás értéke.

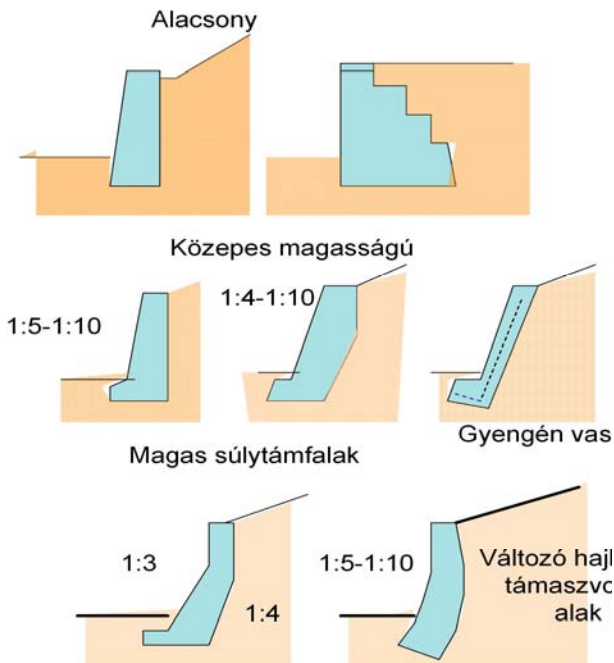
A  $c_{kar} = c_{\text{átlag}} \cdot \left(1 - \frac{v}{2}\right)$  azaz például  $c=100 \text{ kN/m}^2$  átlagos kohézió érték mellett a

karakterisztikus érték  $c_{kar} = 100 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{2}\right) = 80 \text{ kN/m}^2$  lesz. A kohézió tervezési értéke a

karakterisztikus érték és a parciális biztonsági tényező hányadosa, így például 1,5-ös parciális tényező mellett a figyelembe vehető kohézió értéke már csak  $53,3 \text{ kN/m}^2$ .

## SÚLYTÁMFAL

Legrégebbi és leggyakrabban alkalmazott támfaltípus, amely nagy tömegéből adódó súlyereje következtében képes a mögötte lévő földtömegei megállítani. Építési anyagait a fal alapvető igénybevételeihez, a nyomófeszültségekhez választjuk.



Anyaguk szerint lehet.

- beton vagy gyengén vasalt beton
- falazatok: téglá, kő, betonelemek
- szárazon rakott falak

A támfalak a tömegük miatt a beton zsugorodásából és a hőmérsékleti hatásokból méreteiket változtatják.

A támfal betoneja olyan legyen, hogy zsugorodási repedések ne keletkezhesseken benne. A homloklfelület sima legyen, a beton pedig feltétlen fagyálló.

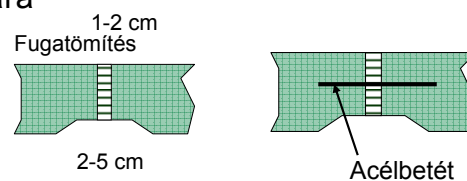
44. ábra súlytámfal típusok

A támfalagnál hézagokat kell alkalmazni:

- a hőmérsékletváltozási és zsugorodási repedések elkerülésére,
- egyenlőtlen süllyedésekből származó hatások kiküszöbölésére,
- a betonozási szakaszok lehatárolására

Terjeszkedési hézagok:

- általában függőlegesek
- a talptól a támfalkoronáig végigmennek



45. ábra. Terjeszkedési hézagok kialakítása

Munkahézagok:

- általában vízszintesek
- alap és felmenő fal között lépcsőzetes kialakítással.
- NEM átmenő hézagok!

Látszólagos hézagok

- nem átmenő hézagok
- a zsaluzás toldásainál,
- esetleg a nagy betonfelületek megosztására
- ajánlatos a látszólagos fugákat a munkahézagoknál kialakítani



## Határállapotok (MSZ EN )

Össze kell állítani a vizsgálandó határállapotok listáját. A támszerkezetek valamennyi típusa esetében legalább a következő határállapotokat kell vizsgálni:

- az általános állékonyság elvesztése;
- valamely szerkezeti elem, például fal, horgony, heveder, dúc, vagy ezek kapcsolatának tönkremenetele;
- valamely szerkezeti elem és a talaj együttes tönkremenetele;
- felhajtóerő vagy buzgárosodás miatti tönkremenetel;
- a támszerkezet mozgása, mely leomlást okozhat, vagy befolyásolhatja az épülő tartószerkezet, illetve a megtámasztott közegen nyugvó közeli tartószerkezetek vagy közművezetékek külső megjelenését vagy használhatóságát;
- elfogadhatatlan mértékű vízszivárgás a falon át vagy a fal alatt;
- a talajszemcsék elfogadhatatlan mértékű kimosódása a falon át *vagy* a fal alatt
- a talajvízviszonyok elfogadhatatlan mértékű megváltozása.

A súlytámfalak, valamint az összetett támszerkezetek esetében még a következő határállapotokat kell vizsgálni:

- talajtörés az alap alatt;
- elcsúszás az alapfelületen;
- a támfal felborulása;

## TÁMFALAK MÉRETEZÉSE

Erőtani követelmények

### a)Teherbírési követelmény

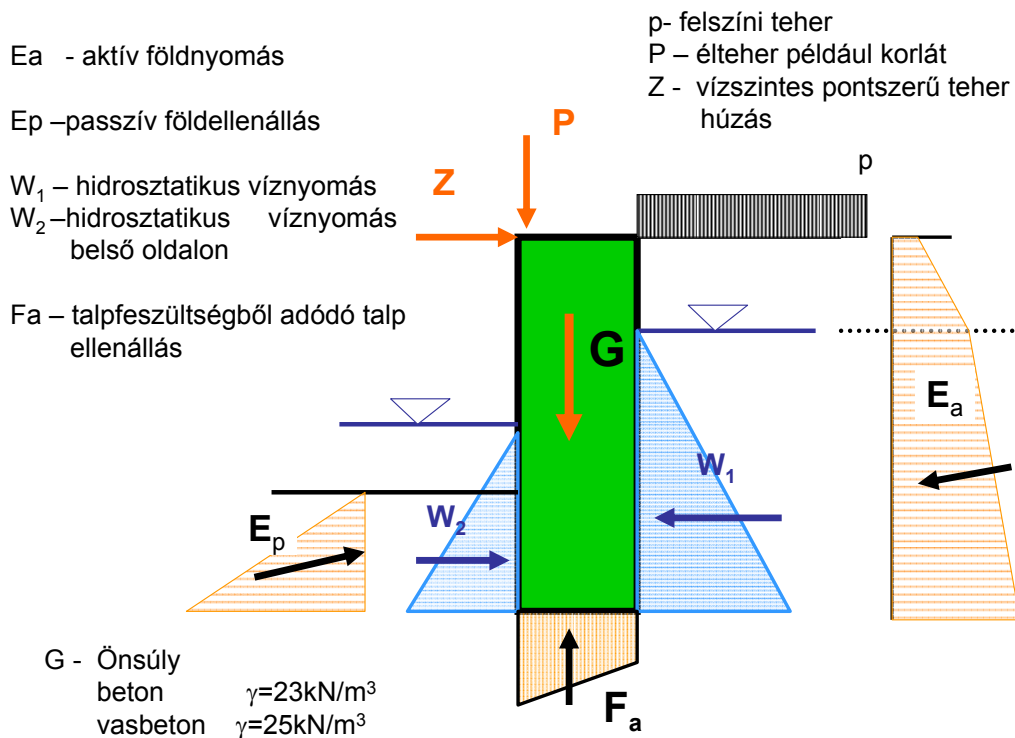
A szerkezet tönkremenetelt okozó károsodások nélkül viselje el a ráháruló terheket, az alap alatti talajtöréssel szembeni biztonsága is megfelelő legyen.

### b)Helyzeti állékonysági követelmény

A szerkezet nem boruljon ki, ne csússzon el, (és ne ússzon fel.)

### c)Alakváltozási követelmény

A létrejövő alakváltozások nem idézhetnek elő az építményre, vagy a szomszédos építményekre káros hatásokat.



46. ábra A támfalakra igénybevételei

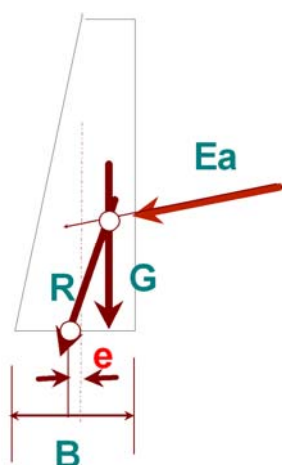
### Terepszintek (MSZ EN alapján)

A támszerkezet által megtámasztott anyag geometriai adatainak tervezési eseteit a terepszint tényleges változásait figyelembe véve kell megállapítani. A tervezési értékek megállapításakor gondolni kell a támfal előtt valószínűsíthető földkiemelés vagy az alámosódás lehetőségére is.

Az olyan teherbírési határállapotok vizsgálatakor, amelyekben a támfal állékonysága a fal előtti talaj ellenállásától függ, ajánlatos az ellenállást adó földtömeg felszínének névlegesen várható magasságát  $\Delta a$ -val csökkenteni. Az esetek megválasztásakor célszerű számításba venni a felszín helyszíni ellenőrzésének megbízhatóságát. Átlagos ellenőrzési körülmények között a következők indokoltak.

- szabadon álló fal esetében a szabad homloklépcső magasságának 10 %-a lehet  $\Delta a$ , de legfeljebb 0,5 m,
- megtámasztott fal esetében  $\Delta a$  célszerűen legyen a legalsó támasz és az alatta levő földfelszín közötti távolság 10%-a, de legfeljebb 0,5 m.

## KERESZTMETSZETEK MÉRETEZÉSE



### KÖVETELMÉNY:

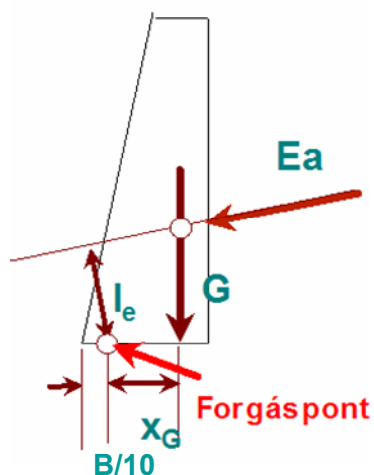
Az eredő külpontossága  $e=B/6$  legyen, azaz a belső magon belül hasson, ne alakulhasson ki húzófeszültség a támfal anyagában.

47. ábra A súlytámfal ellenőrzése külpontossága, illetve arra, hogy húzóerő ne keletkezzen benne.

A külpontossági feltételt a támfal teljes magasságában ki kell elégíteni. A gyengén vasalt szerkezeteknél megengedhető kisebb húzófeszültség létrejötte is.

## KIBORULÁS ELLENI VIZSGÁLAT

MSZ EN 1997-1:2006



Nyomatéki egyenlet a támfal forgáspontjára, amit a támfal alapsík szélességének 1/10-ében veszünk fel.

A tört számlálójában a kiborulást előidéző erők nyomatéka, a nevezőben az ellenállóerők nyomatékát írjuk fel:

$$\frac{\alpha_c \cdot G \cdot X_G}{\alpha_n \cdot E_a \cdot I_e} = k \geq 1,0$$

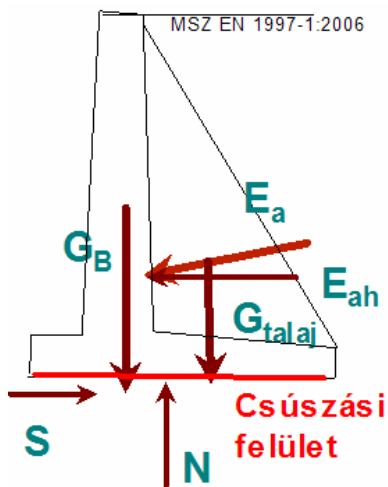
A biztonsági tényezők értékei:

$\alpha_c=2/3$  (laborvizsgálatok alapján) vagy  $1/2$

$\alpha_n=3/2$  vagy  $2$

48. ábra Kiborulás elleni vizsgálat

## ELCSÚZÁS ELLENI VIZSGÁLAT



$$\frac{[\alpha_C \cdot (G_B + G_{\text{talaj}}) + \alpha_C \cdot E_{aV}] \cdot \text{tg}\delta}{\alpha_N \cdot E_{aH}} = k \geq 1,0$$

$$S = N \cdot \text{tg}\delta = (G_B + G_{\text{talaj}} + E_{aV}) \cdot \text{tg}\delta$$

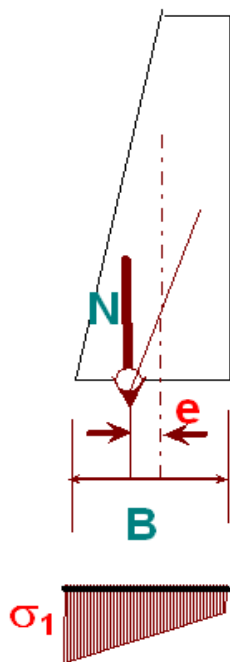
A biztonsági tényezők értékei:

$$\alpha_C = 2/3 \quad (\text{laborvizsgálat alapján}) \quad \text{vagy} \quad 1/2$$

$$\alpha_N = 3/2 \quad \text{vagy} \quad 2$$

49. ábra Elcsúzás elleni vizsgálat

## A SÚLYTÁMFAL ALATTI TALAJ TEHERBÍRÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA



$$e = \frac{B}{6}$$

$$e_{\text{max}} = \frac{B}{3}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{B} \pm \frac{M}{K}, \quad \text{ahol } K = 1 \text{ m} \cdot B \text{ m}$$

$$M = N \cdot e$$

$$K = \frac{1 \cdot B^2}{6}$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{H_{\text{talaj}}}$$

A támfal alapsíkja alatt nem egyenletes feszültségeloszlás alakul ki a terhelés központossága miatt.

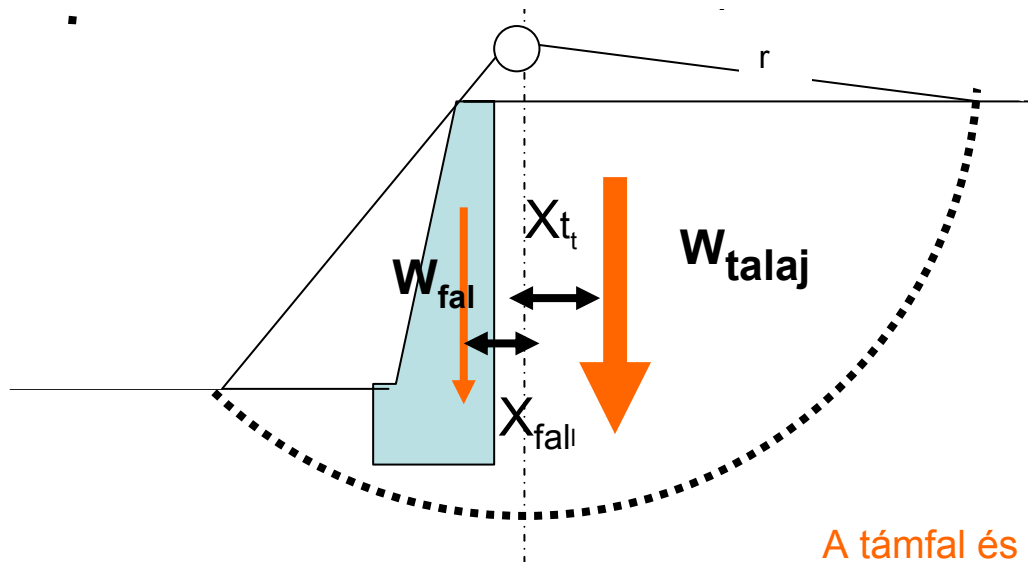
A támfal külső részén kialakuló nyomófeszültség  $\sigma_1$  értéke nem haladhatja meg a talaj határfeszültségét.

50. ábra A támfal alatti talaj teherbíróképessége

## A SÚLYTÁMFAL STABILITÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Egy kialakulható csúszólapot feltételezünk.

Vizsgáljuk, hogy a talajtömeg és a támfal együttes hatására kialakulható stabilitást veszélyeztető hatással szemben elegendő-e a csúszólapnál fellépő kohéziós ellenállás? Ezt célszerűen a nyomatéki egyenlet alapján ellenőrizzük.

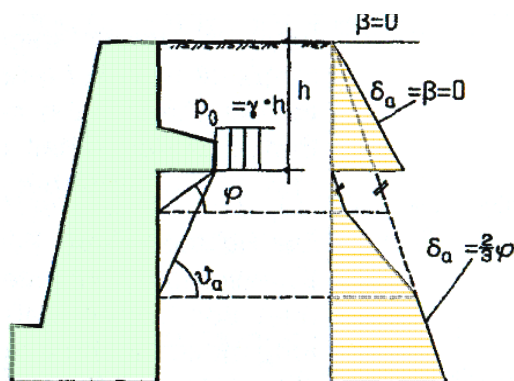


A támfal és a talajtömeg  
együttes  
stabilitásvesztése

$$\eta = \frac{\alpha_c \cdot r \cdot c \cdot l}{\alpha_a \cdot (W_f \cdot X_f + W_t \cdot X_t)} \geq 1,0$$

51. ábra. Súlytámfal stabilitásvesztése

Kedvező kialakítást jelent a támfalaknál, ha a hátoldalon a földnyomást tehermentesítő bordát, „hátizsákot” alakítanak ki, ami a biztonságot és a támfal stabilitását segíti. Az 52. ábrán látható, hogy a támfal felületére ható földnyomást milyen mértékben változtatja meg.

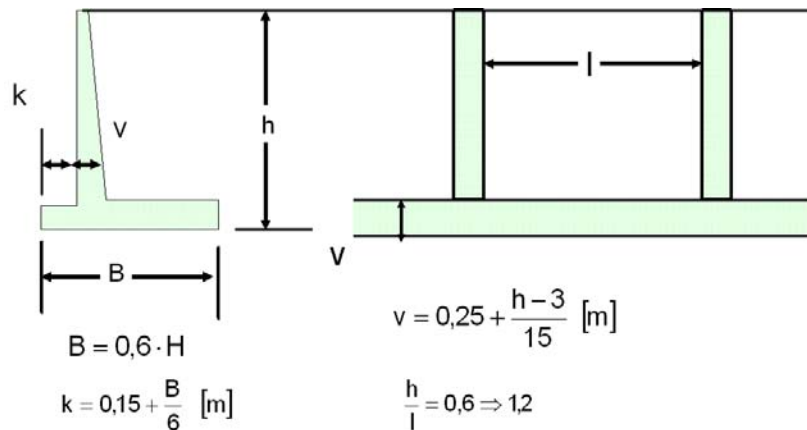


52. ábra A támfal stabilitásának növelése hátsó borda kialakításával

## SZÖGTÁMFALAK

Szögtámfalak kedvező stabilitású szerkezetek. A vasbetonból való építés lehetővé teszi nagyobb hajlítónyomatékok felvételét is.

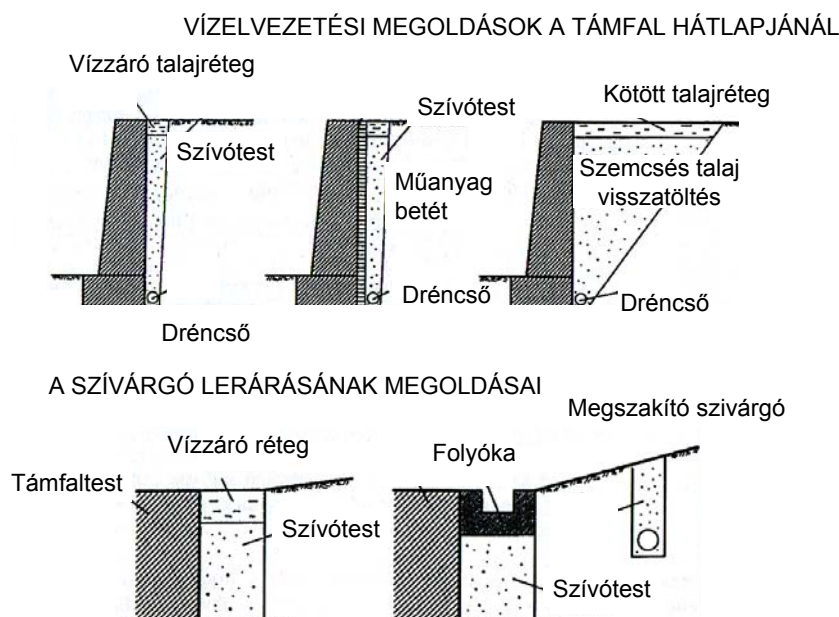
A szögtámfalak szokásos méreteit az 53. ábra mutatja be.



53. ábra Szögtámfal kialakítás szokásos méretei.

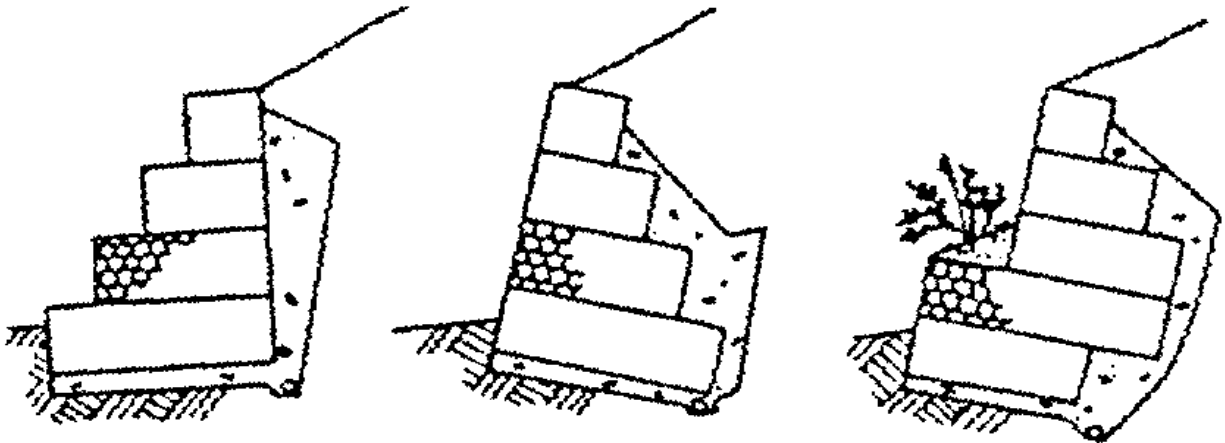
## VÍZELVEZETÉSI MEGOLDÁSOK

A támfalak hátlapjánál összegyűlő vizek elvezetése alapvető jelentőségű. A víznyomás nagyobb értékű mint a földnyomás. (A talajban áramolható víz hidrosztatikus feszültségi állapotú, azaz minden irányban azonos nagyságú a nyomása, míg a földnyomás aktív vagy nyugalmi tényezője ennél lényegesen kisebb. A talaj hatékony vízalatti térfogatsúlyának értéke közel azonos a víz térfogatsúlyával.)

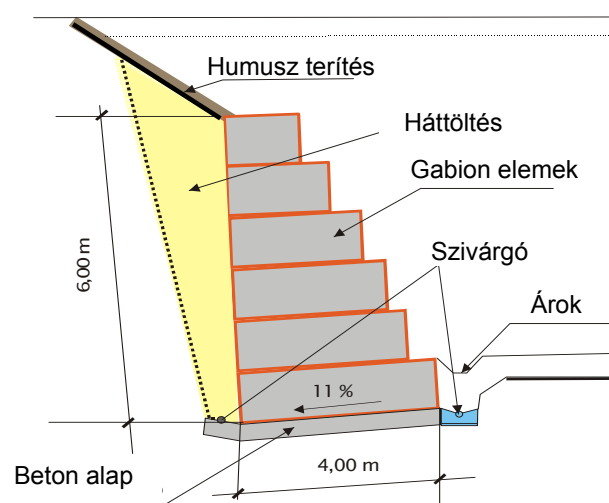
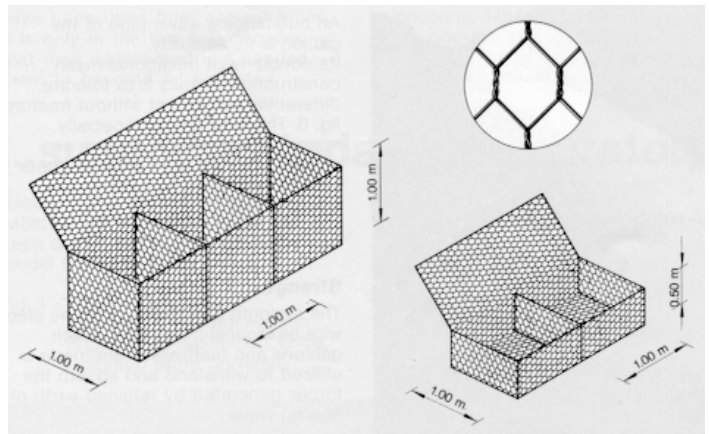


54. ábra Vízelvezetési megoldások támfalaknál

## GABIONFALAK



55. ábra Gabionfal jellegzetes keresztmetszeti kialakításai (Papst 1978)



56. ábra. Gabionfal fényképei, keresztmetszeti kialakítása

A doboz vagy kosár alakú elemekből súlytámfalként építhető falak tömeget adó kitöltő anyaga kőtörmelék, görgeteg, így ez a szerkezet a hegyvidékek kedvelt támfaltípusa.

A fémhálóból készített kosarakat a helyszínen töltik ki kővel. A zúzottkő vagy görgetegkavics nagy belső súrlódási szöge egyébként is meredek természetes rézsű kialakítását tenné lehetővé, a csaknem függőleges (3:1-10:1 hajlású) falfelületek állékonyságához ezért elegendő csupán a háló megtámasztó hatása.

A kitöltő anyagok megválasztásakor gondolni kell a vízelvezetésre.

## **MÁGLYA- ÉS SZEKRÉNYFALAK**

A földszerkezetek fejlődésének egy hosszú időszakában a támfalak tömegének növelésére használták fel a helyszínen található talajt. A fal egészének méreteit úgy állapították meg, hogy állékonysága súlytámfalként igazolható legyen, de a tömör beton vagy kőmű helyett kevesebb mesterséges anyagot igénylő, elemekből álló, üreges vázat építettek, amelynek belsejébe töltő; anyagként földet helyeztek vissza. Így alakultak ki a máglya- és szekrényfalak.

A földanyag saját szilárdságát csak ritkán és másodlagosan használják ki; elsősorban a földkitöltés tömegnövelő hatása eredményez kedvező erőjátékot és költségmegtakarítást.

### **Máglyafalak**

A szerkezettípus általános elrendezését az ábra mutatja be: előre gyártott elemekből (fából, vasbeton rudakból) álló máglya és ennek belső terét kitöltő földmag alkotja a falat.

A méretezéskor a következő sajátos szempontokat kell figyelembe venni:

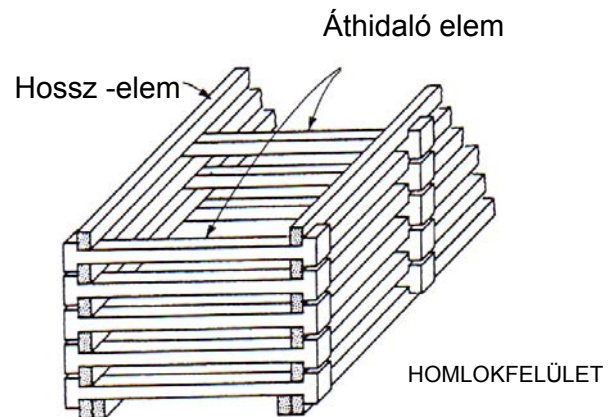
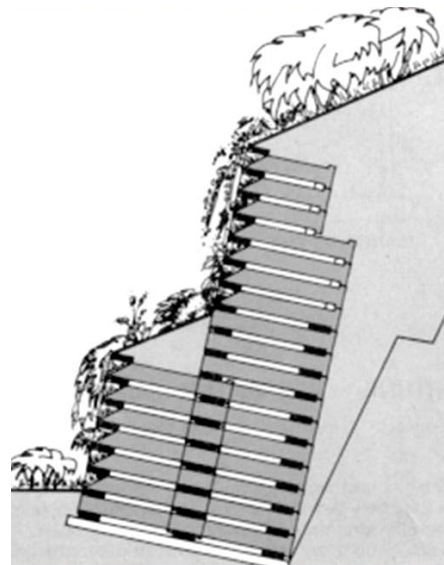
- a máglyafalra ható terhelés függőleges homloksík esetén is eltér a megszokottól: a szabad felületre a földmag felől silónyomás, a megtámasztott földtömeg felől a földnyomás és a silónyomás különbsége hat, a homlokfelületekre merőleges irányban, a véglapokon, silónyomással kell számolni;



- ferde homloksík esetében a terhelési viszonyok nagyon bonyolultak, általános elméleti számítási modell nem ismeretes;
- a stabilitásvizsgálat során figyelembe kell venni a kitöltő földmag és a máglyaszerkezet relatív elmozdulásának lehetőségét, ha a máglyafal alulról nem zárt, akkor a földszerkezet súlyában a földmag csak a siló-nyomásból származó, a máglyaszerkezetre súrlódás beékelődés révén átadódó függőleges erő mértékéig vehető figyelembe.



57. ábra. Máglyafal fényképe



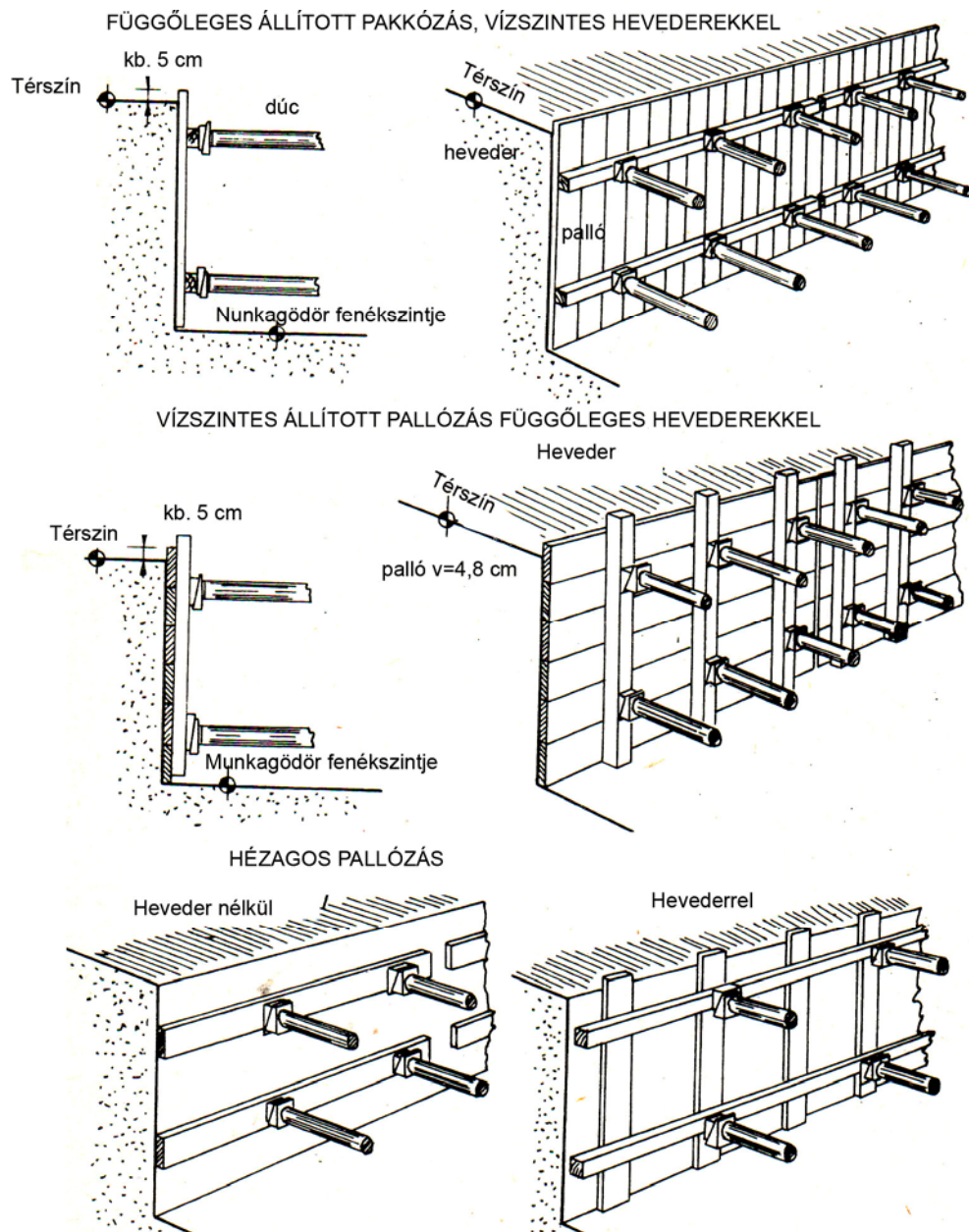
58. ábra. A máglyafal kialakítása, metszet és nézet.

## DÚCOLÁSOK

A dúcolás az **alapgödör vagy keskeny munkagödör függőleges földfalainak megtámasztása**. A föld nyomása pallókra, az ezekre merőleges hevederekre és végül a hevedereket megtámasztó dúcok rendszerére nehezedik.

A dúcolás rendszerét két tényező határozza meg:

- hogyan helyezhetők el a pallók;
- hogyan támaszthatók meg a pallók, illetve hevederek.

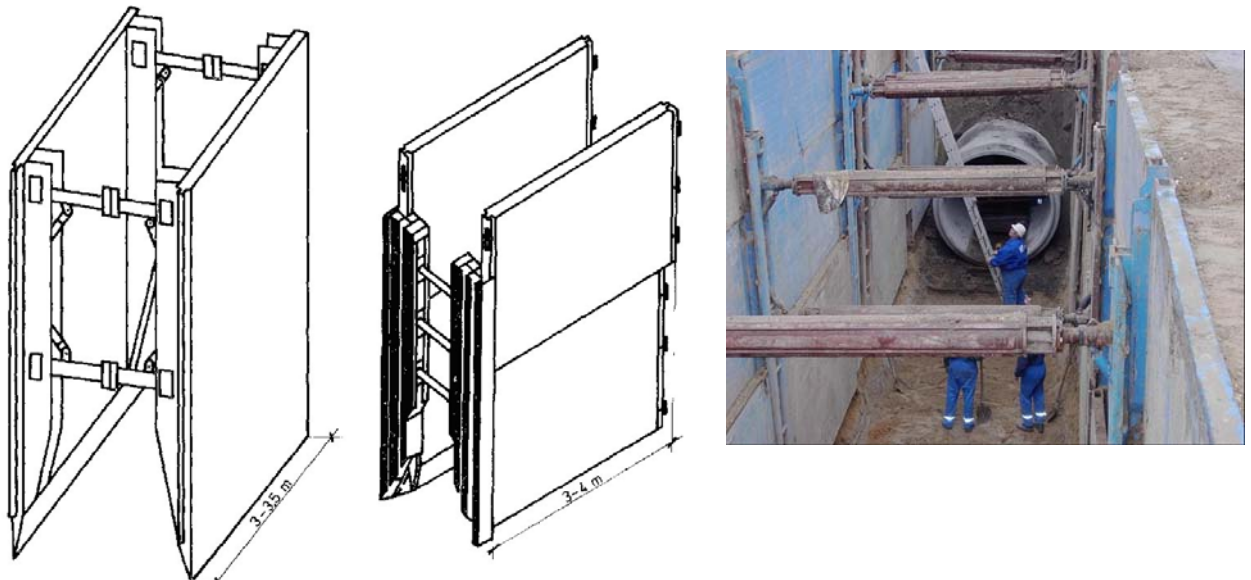


59. ábra. Különbéféle dúcolási megoldások

Támpontot a szabadon álló magasság számértéke nyújtja ( $h_0$ ).

- Ha ez az érték majdnem zérus, előrevert pallózás alkalmazandó. A hevederek mögött függőleges pallókat vernek a talajba, és csak utána szedik ki a talajt. Mielőtt a pallók végét elérnénk, új megtámasztó hevedert kell beiktatni és a pallókat tovább verni.
- Ha a  $h_0$  érték nem nagyobb 50 cm-nél, vízszintes pallózás a célszerű, így egyszerre 2-3 pallószelességnek megfelelő mélységben tudják a talajt kiemelni.
- Ha  $h_0$  érték ennél is több, alkalmazhatnak függőleges, uránhajtott pallózást. Ekkor az 1-2 m mélyen kiemelt gödör oldalát már függőlegesen is meg tudják támasztani és további mélyítéssel a pallókat a gödör fenekéig "utánhajtják".
- Ha a  $h_0$  olyan nagy, hogy a munkagödör egyszerre kiemelhető függőleges pallókkal, egyszerű állított pallózás is megfelelő.
- Kemény, nem omlós talajban hézagos, biztonsági pallózás elegendő.

Újabban hazánkban is előtérbe kerültek a különböző **előregyártott dúctáblák**, melyek főként merevített acéllemezekből készülnek. Az oldalfal esetleg fapalló, de többnyire inkább acéllemez. Általában sarokmerev a dúc- heveder kapcsolat, míg a táblák illesztését hornyos szélek biztosítják.



60. ábra Nagytáblás zsaluózati kialakítás

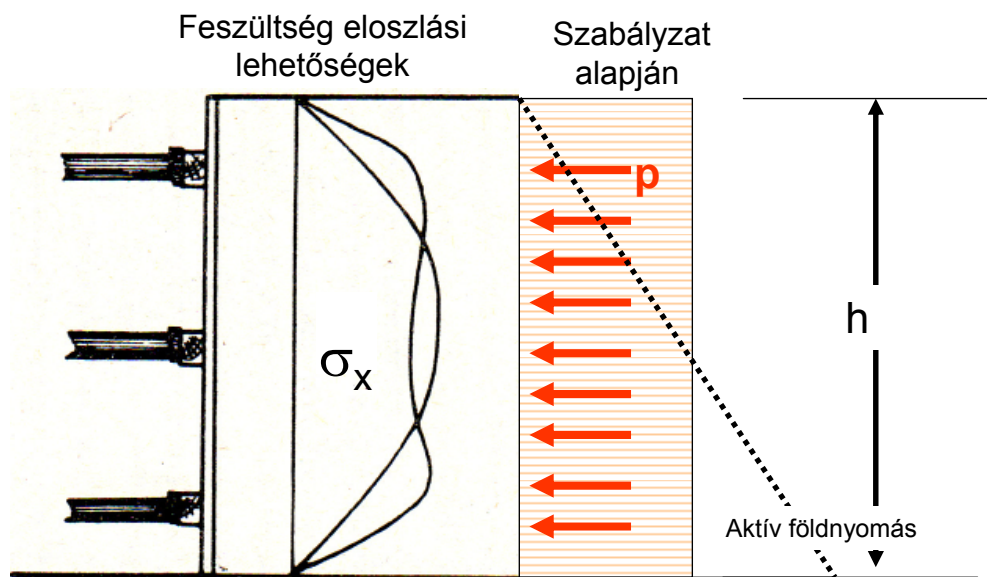
## DÚCNYOMÁS

A ducnyomás a földnyomás különleges esete, mikor nincs biztosítva az egyenletes expanzió és alsó sarokpont körüli elbillenés. A ducok elég merev, mozdulatlan megtámasztást adnak, itt a nyugalmi állapot inkább mértékadó, míg a ducok közeiben a pallók nagyobb alakváltozásra képesek és az aktív állapot lesz uralkodó.

Az alsó sarokpont, ha alul nincs megtámasztás, szintén elmozdul. Mivel a nyomás kialakulása a ducok elhelyezésétől függ, nem adható pontos képlet a nyomás számítására.

A pallókra ható nyomásábrát egyenletesen megoszló terhelésként vesszük fel, amelynek intenzitása olyan nagy, hogy minden lehetséges nyomáseloszlást magába foglal.

A dúcokat nyomásra /a kihajlás figyelembevételével/, a hevedereket és pallókat hajlításra méretezzük.



Szemcsés talajban: 
$$p = 0,8 \cdot h \cdot \gamma \cdot \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \cdot \underbrace{\quad}_{\text{tg}^2(45^\circ - \phi/2)}$$

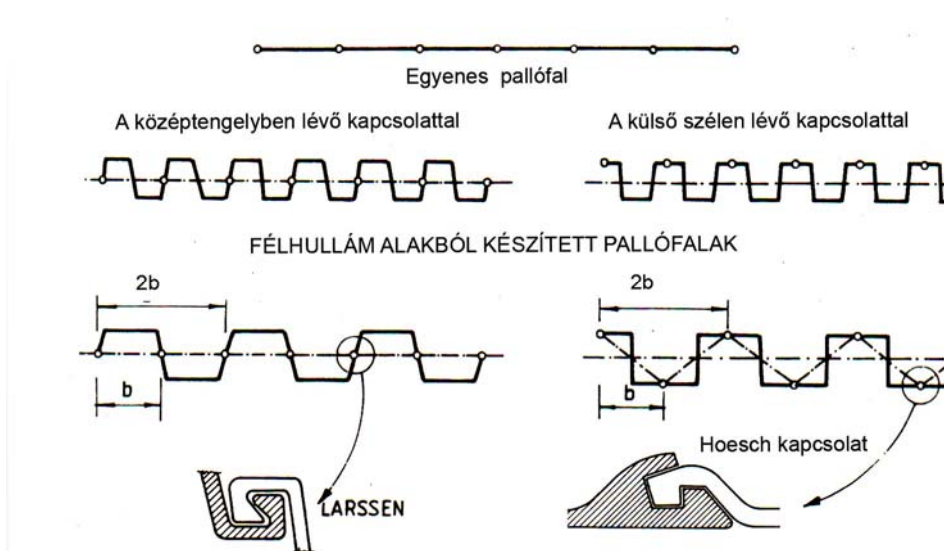
Kötött talajban : 
$$p = h \cdot \gamma - 4 \cdot c \cdot \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

61. ábra A dúcnyomás számítása

## SZÁDFALAS MEGTÁMASZTÁS

A munkagödrök, alapgödrök körülzárásának fontos eszközei a szádfalak. A szádfal a talajba vert, egymáshoz hornyokkal, eresztékekkel kapcsolódó fa-, vas-, vagy vasbeton szádpallókból álló fal.

Mivel a hornyolt kapcsolatok elég jó vízzárást tesznek lehetővé, a szádfalak alkalmazási köre igen széles.



62. ábra. Acél szádpallók

A szádfal lehet építőeszköz és építőanyag. Építőeszköz akkor, ha ideiglenes körülzárásra használják, építőanyag pedig, ha véglegesen beépítve a létesítmény szerkezeti részévé válik.

Ez különösen vízepítési feladatok megoldásához gyakran szükséges lehet.

Munkagödör szádfallal való ideiglenes körülzárása esetén a szádfal megtámasztja a munkagödör függőleges földfalait, és egyben többé-kevésbé megakadályozza a víz beáramlását, vagyis kettős szerepet tölt be. Ha vízzárásra nincs szükség, akkor - különösen kisebb munkagödör mélységek esetén - a kevesebb költséggel elkészíthető dúcolás is megfelel.

A föld- vagy víztömeget megtámasztó szádfalakra sokszor jelentős nyomás nehezedik. Megkívánjuk, hogy a fal e nyomásnak kellő biztonsággal ellenálljon, vagyis:

- a/ helyéről el ne mozduljon;
- b/ el ne törjön, illetve ne szenvedjen meg nem engedhető alakváltozásokat.

A szádfalat tehát először is megfelelően meg kell támasztani. Ha a szádfalra nehezedő föld- vagy víznyomás nem túl nagy, akkor elég a falat egy bizonyos mélységig a gödör fenékszintje alá verni.

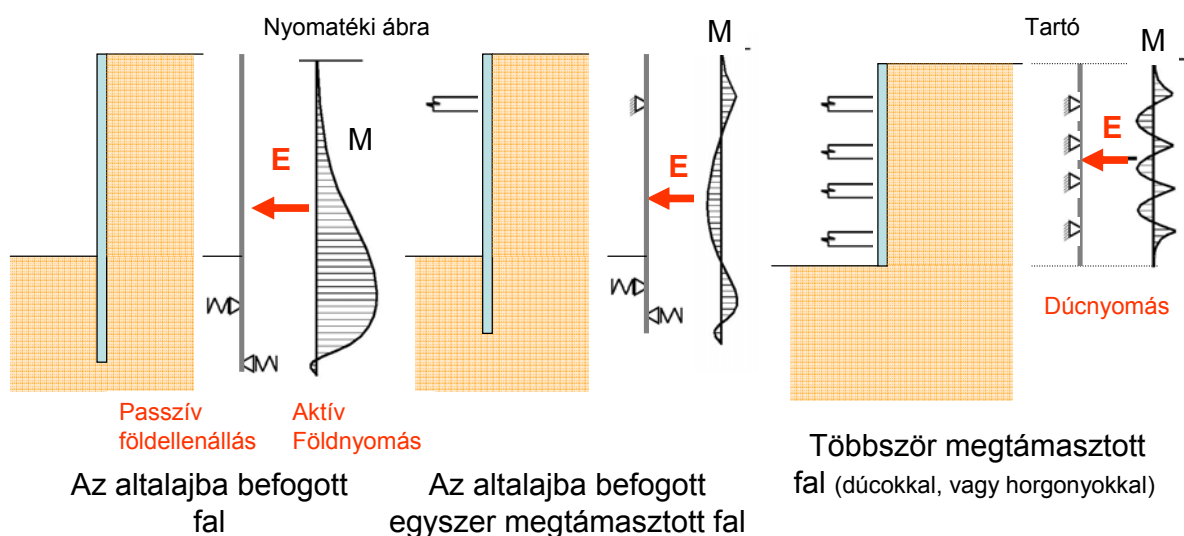
Az ilyen fal szükséges beverési mélysége körülbelül a megtámasztott föld, illetve víztömeg magasságával egyenlő.

Nagyobb munkagödör mélységeket esetén az ilyen konzolszerűen működő falat már igen nagy nyomás veszi igénybe, a szükséges beverési mélység és a fal vastagsága is jelentős lenne.

Ilyenkor gazdaságosabb a felső végén megtámasztott fal. A megtámasztás lehet dúcolás, vagy kihorgonyzás.

## MÉRETEZÉS

A szádfalat úgy tekintjük, mint alul befogott, vagy a beverési hosszban megtámasztott konzolos tartót. A szádfal felső vége a földnyomás hatására kifelé mozog, ezért itt aktív nyomást veszünk fel. A beverési hosszban mindkét oldalon fellép a földnyomás, az aktív nyomással szemben a beverési mélységig passzív földnyomással is kell számolni. A megtámasztást csuklós támaszként kezeljük és a tartót ennek megfelelően oldjuk meg. A beverési mélységen kívül meg kell határozni a mértékadó nyomatékokat és a kitámasztásnál fellépő erőt is. A szádpallók keresztmetszetét és a kihorgonyzó rúd méreteit ennek alapján számíthatjuk. A szádpallók e löregyártott profilokkal rendelkeznek, műszaki adatait táblázatban adják meg. Legismertebbek a Larssen-pallók.



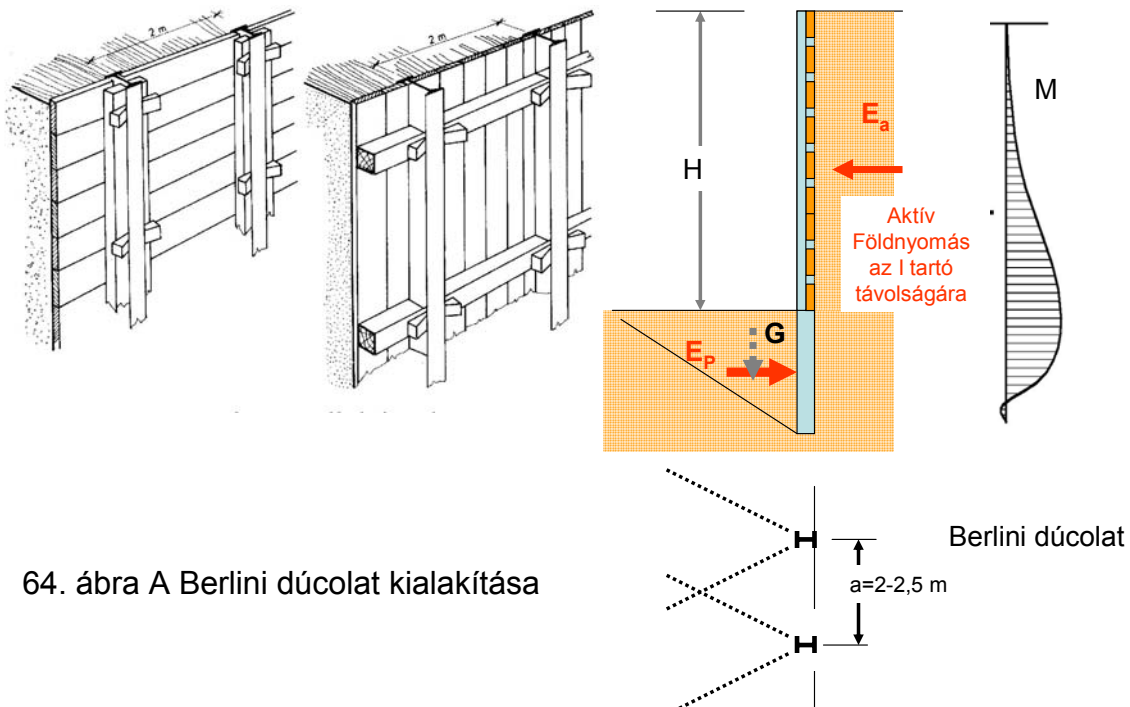
63. ábra a szádfalak igénybevételi ábrái

## BERLINI DÚCOLAT

Széles munkagödör kialakításoknál használatos megtámasztási módszer.

- A földkiemelés előtt a munkatér vonalában kb. 2,0-2,5 m távolságokban acél I szelvényű **tartókat** vernek le a talajba, vagy a zaj és a rezgések elkerülése végett a tartókat előrefűrt és alul betonnal kitöltött lyukakba állítják,
- A földkitermelés során a tartók közé a földfalra fa (esetleg acél) **pallókat** feszítenek be, vagy (lövellt) (vas)betonhéjat készítenek,
- A pallók a földnyomásokat a tartókra hárítva megtámasztják a földfalat, a tartók egyensúlyát pedig a gödörfenék alatti befogás és esetleg hátrahorgonyzás ritkábban belső megtámasztással biztosítják.

Meg kell jegyezni, hogy míg a földnyomás a pallókat terheli, de a befogott szakasz azonban az I **tartó** övlemezére ható passzív földellenállás, ami a tartó talplemezétől kiinduló térbeli kiszakadó földék önsúlya alapján számolható.



**Alkalmazása** akkor célszerű, ha 5-10 m mély a gödör, nincs talajvíz, s legalább 1 m-ig állékony a talaj. Előnye, hogy nem végleges határolást ad, anyagai többször felhasználhatók és tiszta a munkahely. Hátránya, hogy a készítése viszonylag sok élőmunkát kíván.





folyós állapotú lesz, és a rézsű elveszti állékonyságát. Építkezésekkel kapcsolatban fellépő csúszások leggyakoribb oka rendszerint az, hogy a rézsű lábánál *földkiemelést* végeznek, vagy a rézsűt *alávágják*.

Sokszor azonban más ok is közrejátszik, a talaj kiszáradása következtében *repedések* keletkeznek; a víztartalom megnő, a *pórusvíznyomás* megnövekedik; *rázkódtatások* lépnek fel stb. A csúszást előidéző okok és folyamatok rendkívül *változatosak* általában, különösen, ha *nem mesterséges* földművek csúszásáról van szó, az illető terület geológiai felépítésének döntő befolyása van. Ezért sohasem szabad az állékonysági vizsgálatokat mechanikusan, a környezettől elvonatkoztatva végezni: hanem a talaj rétegződését, a vidék geológiai felépítését, a különböző külső tényezőket — esetleges terheléseket, növényzetet, csapadékvizet, talajvizet, vízáramlást stb. — egymásra való dialektikus kölcsönhatásukban és változási lehetőségükkel együtt kell figyelembe venni.

A vizsgálatok során különbséget kell tennünk természetes hegyoldalak, mesterséges bevágások és levágások, továbbá töltések — közlekedési vonalak töltései, árvédelmi töltések és földgátak — között.

### RÉZSŰÁLLÉKONYSÁG VIZSGÁLATA:

- Egy csúszólap felvétele
- A lecsúszó földtestre ható erők felvétele
- Az egyensúlyhoz szükséges nyírószilárdság meghatározása a földtest egyensúlyvizsgálatából
- A csúszólaphoz tartozó biztonság meghatározása
- A legkisebb biztonság meghatározása szélsőérték kereséssel

**Önsúly (G)** hatására a talaj lefelé és kifelé mozdulna, így a csúszólap mentén nyírófeszültségek ( $\tau$ ) keletkeznek.

A talaj nyírószilárdságát a csúszólap mentén fellépő **súrlódási erő (S)** és **kohéziós erő (K)** adja.

Amikor a kialakult nyírófeszültség eléri (vagy meghaladja) a talaj nyírószilárdságát, akkor a talaj elnyíródik. Ez a törési állapot.

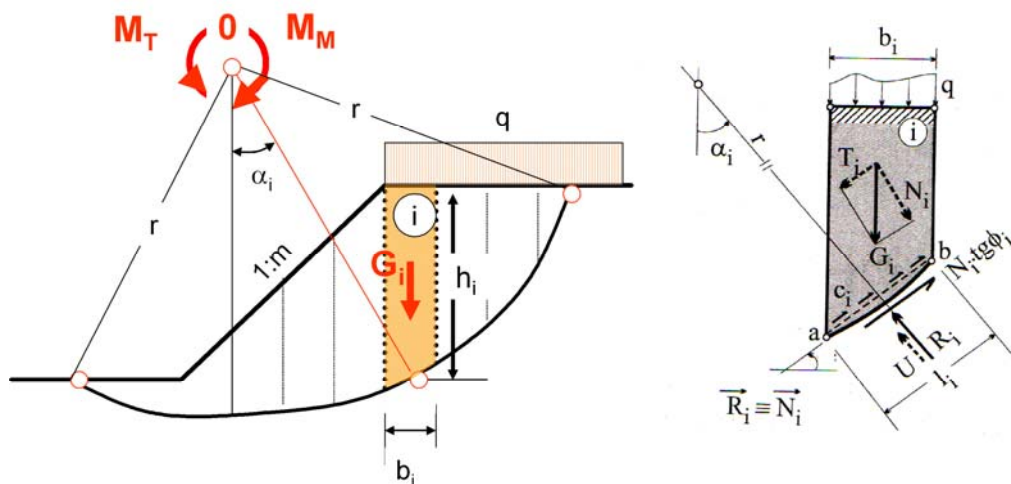
Különböző számítási módszer áll rendelkezésre az állékonysági vizsgálatokhoz. Az alapvető tulajdonságait az egyes módszereknek a táblázat szemlélteti.

## Írányelvek a csúszólap felvételéhez

- Rézsűhajlás
  - meredek (kb.  $\beta > 45^\circ$ ) rézsű esetén talpponti
  - lapos (kb.  $\beta < 45^\circ$ ) rézsű esetén alámetsző
- Talajfajta-rétegződés
  - homogén szemcsés talaj ( $c=0$ ) esetén logaritmikus spirális
  - homogén kötött talaj ( $ju=0$ ) esetén kör
  - gyenge felület összetett felület
- Építmények, terhelés, erősítés
  - összetett felület

## Fellenius módszere (Svéd nyomatéki módszer 1927)

Síkbeli alakváltozási állapotot feltételezve (amikor a vizsgált síkra merőlegesen nem jön létre fajlagos alakváltozás) meg kell határozni, annak a körnek helyét és sugarát, ahol a csúszást akadályozó és előidéző erők nyomatakainak viszonya minimum.



66. ábra Svéd nyomatéki módszer a rézsűállékonyság vizsgálatához.

A svéd módszer az egyes lamellák közötti súrlódást a biztonság javára elhanyagolja.

A biztonsági tényező értéke:

$$\eta = \frac{M_T}{M_M} \Rightarrow \eta = \frac{\sum_1^n (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_1^n G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

## Bishop módszere (1955)

A megoldás egy lamellára felírt egyensúlyi egyenletből vezet le, és figyelembe veszi a lamellák közötti kölcsönhatást is.

A módszer a nyomatéki egyensúlyi egyenletet használja fel, a biztonságot pedig a csúszófelületen létrejövő nyíró (csúsztató) feszültség és a szükséges minimálisan szükséges nyírószilárdság viszonyaként értelmezi.

$$\eta = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

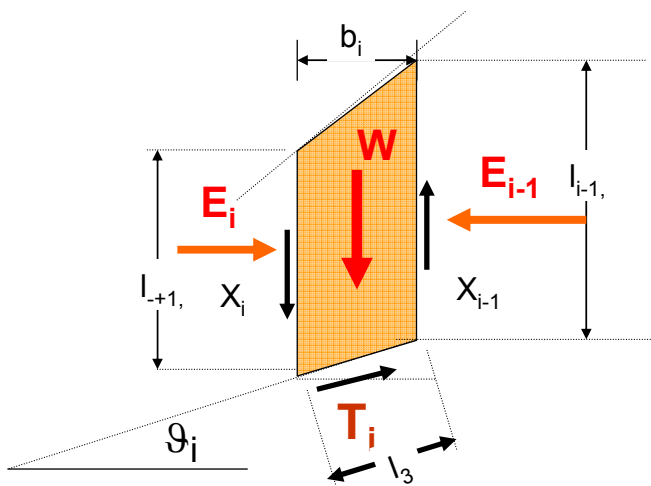
A csúszó lapnál fellépő nyírószilárdságot a Mohr-Coulomb feltétel alapján veszi figyelembe.

### Janbu módszere (1973)

Nem kör alakú csúszólap feltételezésével a vízszintes erők egyensúlyi vizsgálatából indul ki. Feltételezi, hogy a lamellákra osztott talajtömegnél az egyes lamellák függőleges felületénél a földnyomások azonos értékűek.

A biztonsági tényezőt úgy definiálja, hogy az ellenállások részerőinek összegének és a mozgásokat előidéző részerők összegének az arányát képezi.

$$\eta = \frac{\sum \text{Ellenálló erők}}{\sum \text{Mozgást előidéző erők}} = \frac{\sum_1^n T_{fi} \cdot \cos \vartheta_i}{\sum_1^n [W_i + (X_i - X_{i-1})] \cdot \text{tg} \varphi_i}$$

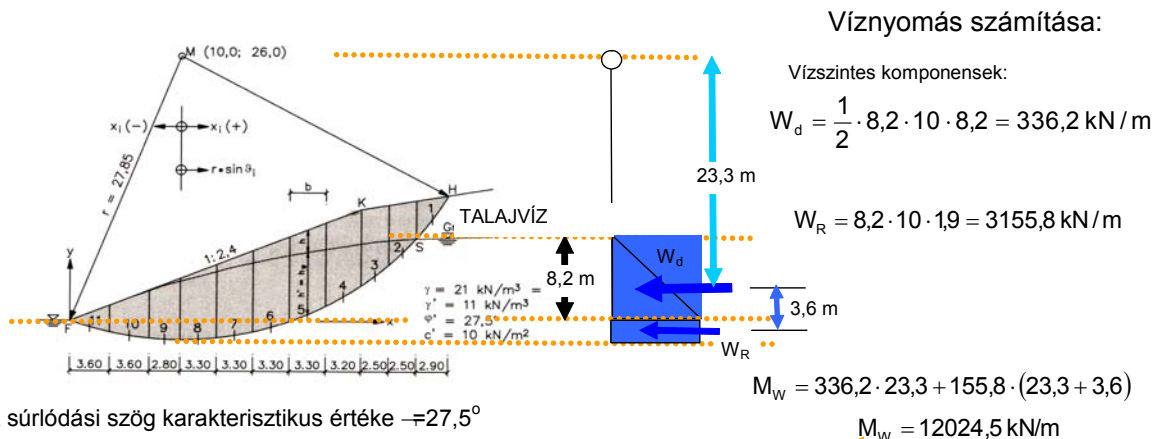


A W igénybevételnél a talaj-lamella hatékony súlyát (vízfelhajtó erőt és víznyomást is számolva), valamint az esetleges külső terhelést vesszük figyelembe.

A lamella képzeletbeli függőleges elválasztó síkjainál fellépő nyíróellenállással is számol.

67. ábra A rézsúállékonyság vizsgálata Janbu módszerével

Példa:



68. ábra

	h	h <sub>w</sub>	b <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	sin θ <sub>i</sub>	cos θ <sub>i</sub>	G <sub>i</sub> · tan φ <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> · b <sub>i</sub>	G <sub>i</sub> · tan φ <sub>i</sub> + c <sub>i</sub> · b <sub>i</sub>	$\frac{1}{\eta} \cdot \tan \phi_i \cdot \cos \theta_i + \frac{1}{\eta} \cdot \tan \phi_i \cdot \sin \theta_i$	$\frac{9 \text{oszlop}}{11 \text{oszlop}}$	G · sin θ <sub>i</sub>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	
	(m)	(m)	(m)	(kN/m)			(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)		(kN/m)	(kN/m)	
1	2	0	2,9	121,8	0,8043	0,5942	63,4	29	92,4	0,2991	0,8933	103,4	97,96374
2	3,6	1,3	2,5	224,75	0,7235	0,6903	117,0	25	142,0	0,2690	0,9594	148,0	162,6066
3	3,4	3,3	2,5	269,25	0,6638	0,7479	140,2	25	165,2	0,2468	0,9947	166,0	178,7282
4	3,1	4,9	3,2	380,8	0,5242	0,8516	198,2	32	230,2	0,1949	1,0465	220,0	199,6154
5	2,2	6,1	3,3	373,89	0,4147	0,9100	194,6	33	227,6	0,1542	1,0642	213,9	155,0522
6	1,5	6,7	3,3	347,16	0,2962	0,9551	180,7	33	213,7	0,1101	1,0653	200,6	102,8288
7	1	6,7	3,3	312,51	0,1778	0,9841	162,7	33	195,7	0,0661	1,0502	186,3	55,56428
8	0,5	6,2	3,3	259,71	0,0592	0,9982	135,2	33	168,2	0,0220	1,0203	164,9	15,37483
9	0,1	5,4	2,8	172,2	-0,0503	0,9987	89,6	28	117,6	-0,0187	0,9800	120,0	-8,66166
10	0	3,8	3,6	150,48	-0,1652	0,9863	78,3	36	114,3	-0,0614	0,9248	123,6	-24,8593
11	0	1,3	3,6	51,48	-0,2729	0,9620	26,8	36	62,8	-0,1015	0,8606	73,0	-14,04889
											$\sum_1^{11}$	1719,9	920,1641

A biztonság értéke:

$$\eta = \frac{r \cdot \sum_1^n \frac{[G_i - (u_i + \Delta u_i) \cdot b_i] \cdot \tan \phi_i + c_i \cdot b_i}{\cos \theta_i + \frac{1}{\eta} \cdot (\tan \phi_i \cdot \sin \theta_i)} + \sum M_s}{r \cdot \sum G_i \cdot \sin \theta_i + \sum M}$$

$u_i + \Delta u_i$  pórusvíznyomás kN/m<sup>2</sup>

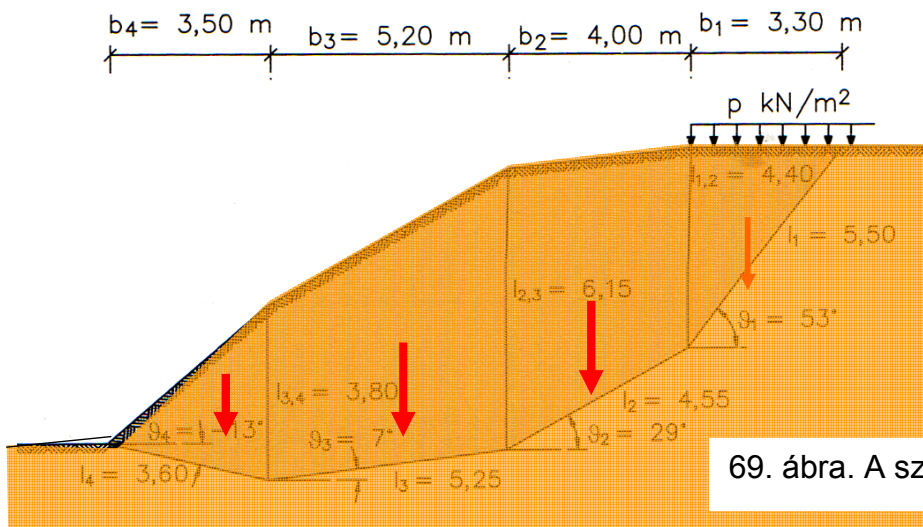
$$\eta = \frac{1719,9 \cdot 23,3 + 0}{920,2 \cdot 27,85 + 12024,5} = \frac{47899,2}{37652,1} = 1,27$$

Megjegyzés:

Az előírt biztonság  $\eta = 1,4$ , így a rézsű biztonságos stabilitása nem megfelelő.

Példa:

KÉRDÉS: Milyen nagyságú lehet a felszíni megoszló terhelés hogy megfelelő biztonság meglegyen a stabilitáshoz?



69. ábra. A számpélda alapadatai

Talaj adatai:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 22,5^\circ$$

$$c' = 5 \text{ kN/m}^2$$

Tervezési értékek:

Parciális tényező : 1,4

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{\tan 22,5^\circ}{1,4}\right) = 16,5^\circ \quad c_d = \frac{c_k}{1,4} = \frac{5}{1,4} = 3,57 \text{ kN/m}^2$$

mobilizált

Számítás:

1. Talaj önsúly számítása a felszíni terheléssel az egyes lamelláknál 1 m szélességben

$$G_1 = 19 \cdot \frac{3,3 \cdot 4,4}{2} + p \cdot \underbrace{3,3}_{b_1} = 137,9 + 3,3 \cdot p \text{ kN/m}$$

terület

$$G_2 = 19 \cdot \frac{\overbrace{4,4}^{l_{1,2}} + \overbrace{6,15}^{l_{2,3}}}{2} \cdot \underbrace{4,0}_{b_2} = 400,9 \text{ kN/m}$$

terület

$$G_3 = 19 \cdot \frac{6,15 + 3,8}{2} \cdot 5,2 = 491,5 \text{ kN/m}$$

terület

$$G_4 = 19 \cdot \frac{3,5 \cdot 3,8}{2} = 126,4 \text{ kN/m}$$

terület

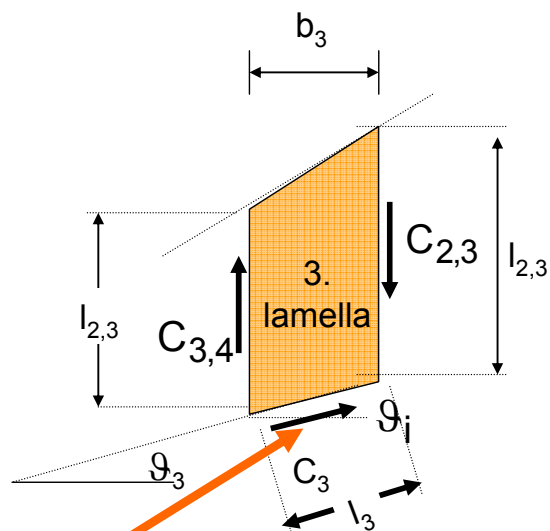
2. Kohéziós ellenállások:

$$C_1 =_{\text{mob}} c_1 \cdot l_1 = 3,57 \cdot 5,5 = 19,6 \text{ kN/m}$$

$$C_2 = 3,57 \cdot 4,55 = 16,2 \text{ kN/m}$$

$$C_3 = 3,57 \cdot 5,25 = 18,7 \text{ kN/m}$$

$$C_4 = 3,57 \cdot 3,60 = 12,9 \text{ kN/m}$$



70. ábra

$$\begin{aligned}\Delta C_{1,2} &= C_{0-1} - C_{1-2} = 0 - 3,57 \cdot 4,4 = -15,7 \text{ kN/m} \\ \Delta C_{2,3} &= C_{1,2} - C_{2,3} = 3,57 \cdot (4,4 - 6,15) = -6,2 \text{ kN/m} \\ \Delta C_{3,4} &= C_{2,3} - C_{3,4} = 3,57 \cdot (6,15 - 3,8) = +8,4 \text{ kN/m} \\ \Delta C_{4,5} &= C_{3,4} - C_{4,5} = 3,57 \cdot 3,8 - 0 = 13,6 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

### Vetületi egyensúly

$$\sum_{i=1}^n \frac{(-1) \cdot [G_1 \cdot \sin(\vartheta_i - \text{mob } \varphi_i) - C_i \cdot \cos(\text{mob } \varphi) + \Delta C_{i,j} \cdot \sin(\vartheta_i - \text{mob } \varphi_{i-\beta_i})]}{\cos(\vartheta_i - \text{mob } \varphi_{i-\beta_i})} = 0$$

$$\begin{aligned}& \frac{-(137,9 + 3,3 \cdot p) \cdot \sin(53^\circ - 16,5^\circ) + 19,6 \cdot \cos 16,5^\circ + 15,7 \cdot \sin(53^\circ - 16,5^\circ)}{\cos(53^\circ - 16,5^\circ - 16,5^\circ)} + \frac{-400,9 \cdot \sin(29^\circ - 16,5^\circ) + 16,2 \cdot \cos 16,5^\circ + 6,2 \cdot \sin(29^\circ - 16,5^\circ)}{\cos(29^\circ - 16,5^\circ - 16,5^\circ)} \\ & + \frac{-491,6,9 \cdot \sin(7^\circ - 16,5^\circ) + 18,7 \cdot \cos 16,5^\circ + 8,4 \cdot \sin(7^\circ - 16,5^\circ)}{\cos(7^\circ - 16,5^\circ - 16,5^\circ)} + \frac{-126,4 \cdot \sin(-13^\circ - 16,5^\circ) + 12,9 \cdot \cos 16,5^\circ - 13,66,2 \cdot \sin(-13^\circ - 16,5^\circ)}{\cos(13^\circ - 16,5^\circ - 16,5^\circ)} = 0\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{-82,0 - 3,3 \cdot p \cdot \sin 36,5^\circ + 28,1}{\cos 20^\circ} - 70,1 + 111,7 + 117,0 = 0$$

A végeredmény:

$$\text{Max } p = 48,5 \text{ kN/m}^2$$

## FÖLDMŰVEK ÉPÍTÉSE

Az épületek alapozása, valamint egyéb mérnöki létesítmények elhelyezése szükségessé teszi, hogy a talajból kiemeljünk, vagy a terepet elegyengessük, vagy mesterségesen feltöltött felületeket állítsunk elő.

A földmozgatással és földből kialakított létesítményeket **földműveknek** nevezzük. Az építési folyamat neve földmunka.

### Földművek ábrázolása

#### Lejtő

A terep hajlását a kiegyenlítő esésvonal és a vízszintes sík által bezárt szög ( $\alpha$ ) tangensével jellemezzük. A hajlásszög tangensét  $\lambda$ -val jelöljük.  $\lambda = \text{tg}\alpha$

A terephajlást tizedekben fejezzük ki.  $\lambda = 0,1$ -nél kisebb terephajlás gyakorlatilag vízszintesnek tekinthető  $\lambda > 0,5$  terephajlás esetén rendszerint mesterséges megtámasztás szükséges.

#### Emelkedő:

A pályasík hajlását emelkedőnek nevezzük. Utak emelkedőjét százalékban (%) szokták megadni.  $p\% = 100\text{tg}\alpha$

Síkvidéki utaknál :  $p\% = 1-3\%$

Hegyvidéki utaknál  $p\% = 8-10\%$ .

A vasúti pályát lényegesen kisebb emelkedővel képezik ki: Az  $\alpha$  szög tangensét ezrelékben (‰) adják meg.  $e$

Hegyvidéki vasutaknál a maximális emelkedő  $e = 25\text{‰}$ .

Vannak fővonalak, ahol ennél nagyobb permilt is alkalmaztak, de csak rövid szakaszon. Másodrendű vonalakon is alkalmaznak  $e = 25\text{‰}$ -nél nagyobb emelkedőt. Fogaskerekű vasutak  $e = 50-25\text{‰}$  -el épülnek.

### Helyszínrajz

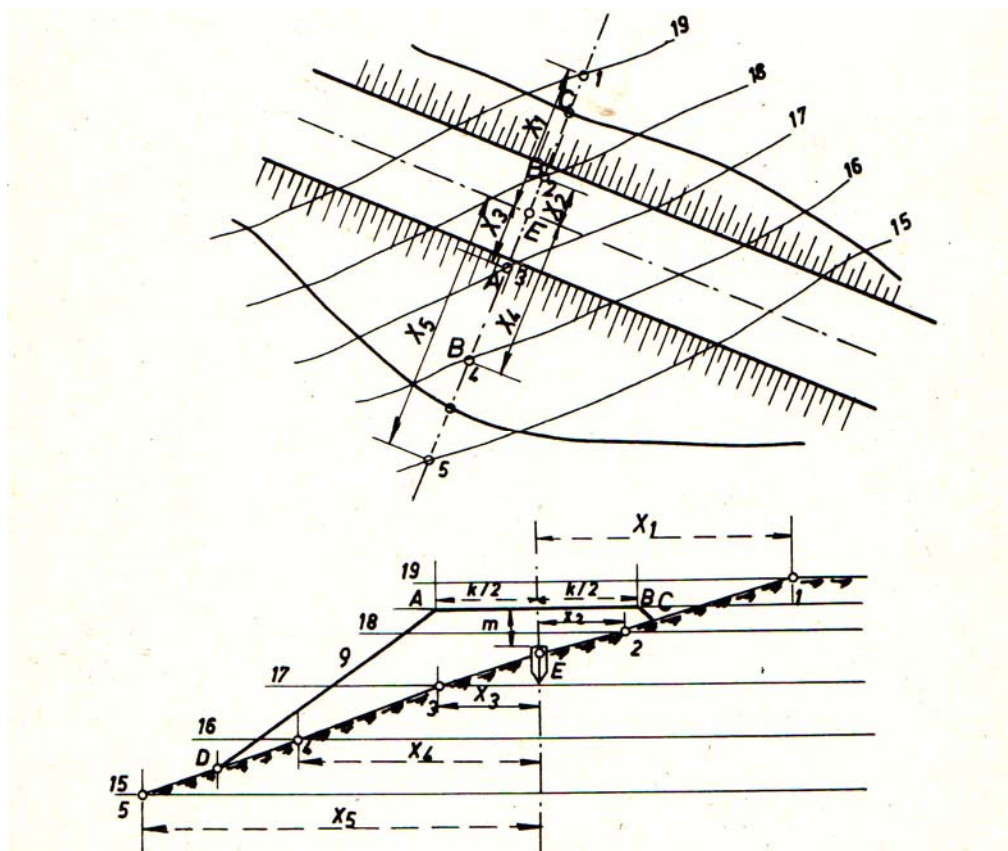
A földműveket rétegvonalas helyszínrajzon ábrázoljuk a kótás projekció segítségével. Először berajzoljuk a kialakítandó sík /út, vasút koronája, ipartelep platója/ határvonalait és szintvonalait. Ehhez a síkhoz illeszkedik minden oldalon a

rézsúsík /bevágás vagy töltés/. A rézsúsík szintvonalait megszerkesztjük. Mivel ismerjük a kialakítandó rézsú hajlását, megszerkeszthető a rézsú esésvonala és ebből a szintvonalai. A rézsúsík és terep metszésvonala lesz a bevágási körömvonala, illetve töltés lábvonala.

### A keresztmetszvény

megszerkesztése a helyszínrajz alapján történik.

A mintaszelvény olyan keresztmetszvény, amelyen az összes állandó adatot feltüntetjük



71. ábra. A helyszínrajz és a keresztmetszvény ábrázolása a földműterveken.

### A keresztmetszvény jellemzői:

#### Koronaszélesség:

A koronasík szélessége. Elsősorban a földmű rendeltetése szabja meg, más lesz a különböző rendű utaknál, vasutaknál és árvédelmi töltésnél. Ugyanazon vonal esetén is különbség van bevágás és töltés koronaszélessége között.



### Rézsűhajlás:

A rézsűsík vízszintes alapsíkkal bezárt hajlásszöge  $\beta$ :

A hajlás jellemzésére a hajlásszög cotangensét használjuk és  $\rho$ -val jelöljük:

$\rho = \cot\beta$ . Közlekedési vonalaknál ezt a cotangens viszonyt negyedekben fejezzük ki:  $\rho=4/4$ ,  $\rho=6/4$ ;  $\rho=8/4$

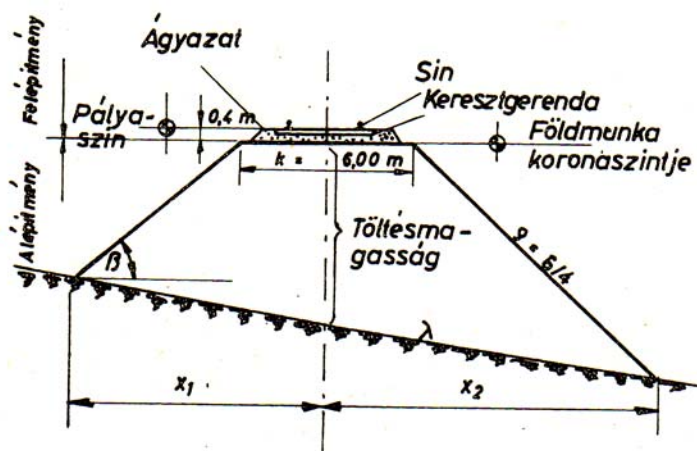
Vízépítési töltéseknél:  $\rho=1/1$ ,  $\rho=1/1,5$ ,  $\rho=1/2$ ,  $\rho=1/4$  stb. jelölést használjuk.

### Magasság:

Bevágás ill. töltésmagasságon a terepnek és a koronasíknak a pályatengely függőlegesében mért távolságát értjük.

### Körömpont, lábpont:

A rézsűsík és a terepfelület metszéspontjainak pontjai.



72 ábra Egy vasúti keresztmetszvény jellemző méretei

### Lábtávolság:

A lábpont vízszintes távolsága a pályatengely függőlegesétől.

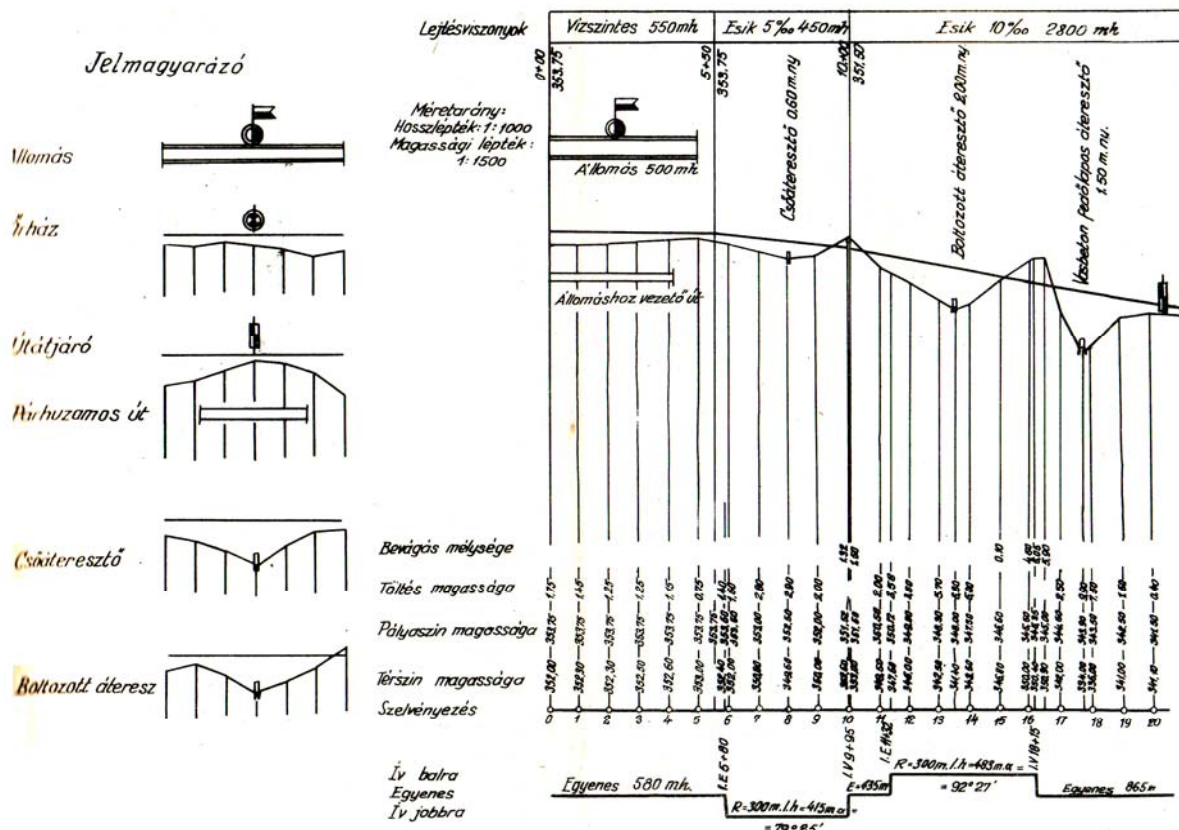
### Padka:

A földmű koronája szélesebb, mint a rákerülő közlekedési vonal felépítménye vagy burkolata. A két oldalt szabadon lévő koronasík felületét padkának nevezzük.

## Hossz-szelvény:

A vonalas földmunka tervének igen fontos része a hossz-szelvény.

A vonal kerekszámú szelvénytábláiban és ezen kívül terep töréspontok, műtárgyak stb. helyén felrakjuk a terep magasságát és a pályaszintet, s e kettő különbségként számítható bevágás mélységét, ill. töltés magasságát. Ezek adatait fel is írjuk. Feltüntetjük a szelvényre az irányviszonyokat és az emelkedési viszonyokat is; majd pedig berajzoljuk a műtárgyakat.



73. ábra. Vonalas létesítmény szokásos hossz-szelvénye a jelölésekkel.

A hossz-szelvény is kétféle lehet: a térképtanulmányhoz tartozó hossz-szelvény és a részletes hossz-szelvény.

A hossz-szelvény minden esetben torzított: a hossz-lépték egyezik a helyszínrajz hossz-léptékével, a magassági lépték viszont a hosszléptéktől függetlenül, s a domborzati viszonyoktól függően: 1:100, 1:200 szokott lenni.

Az út, vasút hossz-szelvény külalakját szabvány írja elő. Szabványos formában készített vasútvonal hossz-szelvényt mutat a 62. számú ábra.

## FÖLDMŰVEK TERVEZÉSE

A földműveket elsősorban helyszínrajzon tervezzük. Rétegvonalas térkép formájában adott terepre berajzoljuk a létesítendő földmű határoló vonalait, tengelyét, koronasíkját. Ez ad alapot a tömegszámításhoz és a vízelvezetés megtervezéséhez.

A földmunkát osztályozhatjuk kiterjedés szerint

- a/ **pontszerű** földmunka /néhány méter kiterjedésű koncentrált tömeg kiemelése, pl. alaptestek munkagödre
- b/ **vonalas** földmunka /hosszanti kiterjedése a keresztmetszethez viszonyítva végtelennek tekinthető, pl. út, vasút földmunkája/,
- c/ **széles, területű** földmunka /széles, de minden irányban nagyjából azonos kiterjedésű földmunka, pl. repülőtér, sportpályák tereprendezése/.

**Jelleg** szerint megkülönböztetünk

**bevágást** /a koronaszint a terep alatt/

**töltést** /koronaszint a terep alatt/ terepegyengetést /a terep egyenetlenségeit eltüntetjük, egy síkba hozzuk/.

A **pontszerű** földmunkákhoz rendszerint elegendő az épület általános tervezésénél használt helyszínrajz 1:100 ill. 1:50 méretarányban. Szintvonalakra csak lejtős terep esetén van szükség.

**Vonalas** földmunkák esetén már nagyobb az igény. Völgyzárógátak, árvédelmi töltések földmunkája csak töltés, a terepmagasság azonban erősen változó. Az itt használatos térképek méretaránya 1:500, 1:1000 ill. 1:2000. Legalább 1 m-es szintvonalak feltüntetése szükséges. Utak, vasutak tervezésének első fázisa a térképtanulmány, melyhez 1:25000 méretarányú, szintvonalas térképet használnak. A részletes tervezéshez 1:1000, vagy 1:2000 méretarányú térképet készítenek. Kívánatos itt is a lehetőségekhez mérten 1 vagy 2 m-es szintvonalas sűrűség. Ezen a helyszínrajzon tüntetik fel a földmű határvonalait.

**Széles munkahely**

földmunkája legtöbbször terepegyengetésből áll. A helyszínrajz a terület nagyságától függően majdnem tetszőleges méretarányú, általában 1:100 - 1:2000 a leghasználatosabb.

A tervezési előmunkálatok az alábbi fázisokat tartalmazzák:

- a/ talajfeltárás
- b/ vonalvezetés elbírálása vízszintes és magassági értelemben, illetve alapozási sík, tereprendezés síkjának kiválasztása
- c/ töltésepítésre, alapozásra alkalmas talajok kiválasztása
- d/ töltések, bevágások tervezése, rézsúsíkok megválasztása, rézsűbiztosítások, megtámasztások tervezése
- e/ tömegszámítás, tömegelosztás
- f/ felszíni és felszín alatti vízvezetés.

## FÖLDMŰVEK TÖMÖRSÉGE

**A tömörség** ellenőrzését a munka közben folyamatosan kell végezni, értékelni és szükség esetén újra kell tömöríteni az elégtelen tömörségű zónát. A mérésekre tervet készítenek. Általában 1500-2000 m<sup>3</sup> - enként indokolt vizsgálatot végezni.

A minősítő paraméter a **tömörségi fok**  $T_{r\rho\%} = \frac{\rho_d}{\rho_{d_{\max}}} \cdot 100$

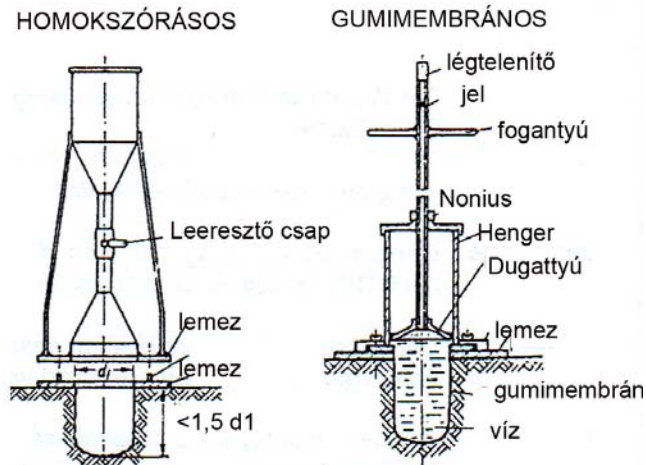
(aktuális száraz térfogatsűrűség a Proctor vizsgálattal meghatározott maximális száraz térfogatsűrűség százalékában.)

Az aktuális száraz térfogatsűrűség a következő **mérésekkel** határozható meg:

- radiometriás méréssel,
- kiszűrő hengerrel vett mintával, a szükséges laboratóriumi tömeg- és térfogatmérésekkel kötött talaj esetén,
- zavart mintát véve, annak tömegének meghatározásával, és a mintahely térfogatát homokszórásos, vagy gumimembrános mérésével.

Az **értékeléskor** arra kell törekedni, hogy homogénnek tekinthető vizsgálati szakaszokat határoljunk le, és statisztikai módszerekkel értékeljük a mérési eredményeket.

(A tapasztalatok szerint a tömörségi fok normáloszlásúnak tekinthető.) A legfontosabb kérdés, hogy milyen maximális száraz térfogatsűrűség értéket rendeljünk a mért értékhez, mert ez a viszonyítási alapunk.



74. ábra Homokszórásos és gumimembrános térfogatmérők a tömörségvizsgálathoz

A tömörség **közvetve** is ellenőrizhető:

- az érdekeltek a próbatömörítés után megegyeznek a technológiában (eszköz, járat-szám, rétegvastagság), s annak betartását ellenőrzik,
- a tömörítő eszközre szerelt gyorsulásmérővel mért adatban egyeznek meg, s azt ellenőrzik egy vagy több réteg után az utolsó járat során,
- valamely penetrométeres méréssel (dinamikus vagy statikus szonda) vagy a statikus vagy dinamikus tárcsás terheléssel ellenőrzik a megfelelőséget.

A tömörségi fok megállapításához meg kell határozni, hogy egy  $\rho_d$ -értékhez milyen  $\rho_{dmax}$ -értéket rendeljünk.

A következők valamelyike szerint kell eljárni:

- mindegyik  $\rho_d$ -hez  $\rho_{dmax}$  is egyedi vizsgálattal határozandó meg, ha nagyon változékony a talaj, illetve ha vita van a minősítést illetően;
- valamely  $\rho_d$ -hoz  $\rho_{dmax}$  azonosító vizsgálat, illetve az azonosító paraméterek és  $\rho_{dmax}$  előzetesen megállapított kapcsolata alapján vehető fel, ha trendjelleggel viszonylag jelentős mértékben változik a talaj;
- valamely  $\rho_d$ -hoz  $\rho_{dmax}$  közelítő azonosítás, illetve  $\rho_{dmax}$  előzetesen közelítőleg felmért változásai alapján vehető fel, ha trendjelleggel kissé változó a talaj, és kevésbé jelentős a kérdés;
- a  $\rho_d$  és a  $\rho_{dmax}$ -halmazok hasonlítandók össze, ha véletlenszerűen és nem elhanyagolható mértékben változik  $\rho_{dmax}$  is, s ekkor a tömörségi fok átlaga és szórása:

$$\bar{T}_{rp} = \frac{\bar{\rho}_d}{\bar{\rho}_{dmax}} \quad \text{és} \quad s_T = \bar{T}_{rp} \cdot \sqrt{\left(\frac{s_{\rho_d}}{\bar{\rho}_d}\right)^2 + \left(\frac{s_{\rho_{dmax}}}{\bar{\rho}_{dmax}}\right)^2}$$

paraméterű normális eloszlás elemzésével értékelhető;

- valamennyi  $\rho_d$ -hez azonos  $\rho_{dmax}$  veendő fel az előzetes Proctor-vizsgálatok átlageredményeként, ha gyakorlatilag homogén a talaj és azonos a tömörítési technológia.

Az értékeléskor – az utolsó előtti módszert kivéve – mérésenként kell a tömörségi fokokat kiszámítani, majd azok átlagát és szórását számítani. A tömörség a tömörségi fok átlagából és szórásából statisztikai értékeléssel a következőképpen minősíthető: az előírt  $T$  tömörségi fok  $\Delta$  tűréssel teljesül, ha az elért tömörség  $n$  mintaszámmal megállapított átlagos  $\bar{T}$  értékével és  $s_T$  szórásával teljesül a következő egyenlőtlenség

$$T - \Delta \leq \bar{T} - 1,28 \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + 1} \cdot s_T$$

A  $\Delta$  negatív tűrés értéke 3% lehet, vagy a tervező ennél szigorúbb előírást is adhat.

Egyszerűsített eljárást alkalmazva akkor lehet elfogadni a tömörséget, ha a megállapított értékek legfeljebb 10 %-a kisebb az előírtnál, ám azok is a  $\Delta$  tűrésen belül vannak.

Építmény típus	Földmű zóna	tömörségi fok %
Út	altalaj felső 50 cm - n y i a	85
	Töltés test	<b>88 - 90</b>
	aszfalt burkolat alatti felső 50 cm	93 - 96
	beton burkolat alatti felső 50 cm	96
	<b>padka</b>	96
Vasút	altalaj felső 50 cm-nyi zóna a	85
	töltéstest	90
	a földmű felső 50 cm-nyi zónája	95
<b>híd</b>	háttöltés	95
Ár-védelmi töltés	altalaj felső 50 cm-nyi zónája	85
	vízzáró test (agyagmag)	90
	töltéstest	85
Épület alapozás	alap alatti talajcsere	95
	padozat alatt feltöltés	95
Közmű	a közmű körüli 0,50 m-nyi zóna	95

Táblázat a megkövetelt hazai tömörségi értékekről.

## TÁRCSÁS PRÓBATERHELÉS

A tárcsás vizsgálattal az ágyzatok tömörségéről szerezhetünk információkat. A vizsgálat egy 30 cm átmérőjű merev nyomótárcsával végzett próbaterhelés, terhelés, tehermentesítés, újratelhelési hurokkal.

A vizsgálat során az útburkolatok alatti **ágyazási tényezőt** (egységnyi benyomódáshoz tartozó feszültséget) a 2. terhelési görbéből az 1,25 mm-es tartozó süllyedéshez tartozó nyomás értékéből számítják ki.

A 0,5-ös szorzó a 30 cm-es átmérőjű terhelő tárcsa 76 cm-esre való átszámítása miatt került a képletbe, mert kimutatták, hogy ekkora és ennél nagyobb tárcsaméreteknél az ágyazási tényező értéke már állandó.

$$\text{Az ágyazási tényező: } C = 0,5 \cdot \frac{p}{0,00125}$$

Az ágyzatok teherbíró képességének meghatározására szolgál az ún.  $E_2$  modulus.

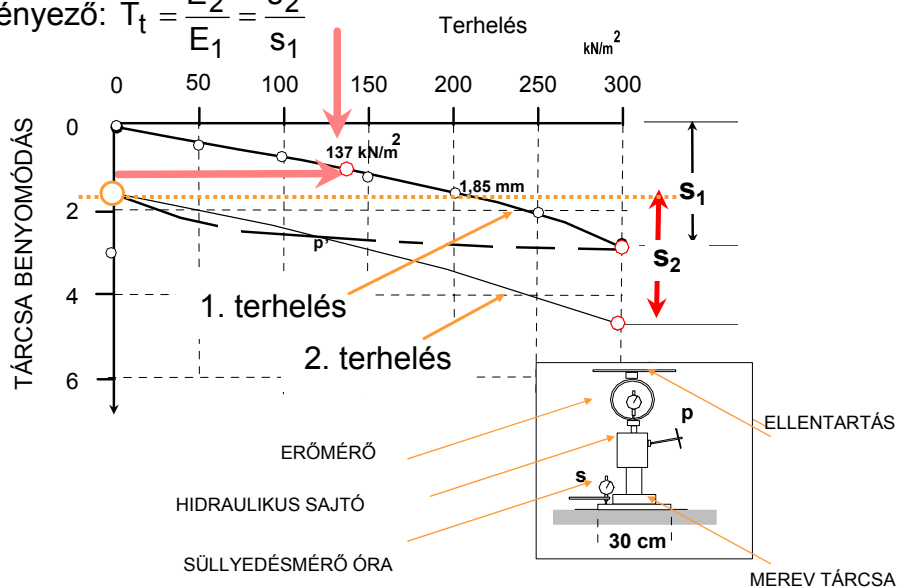
Rugalmasságtan alapján számják, és az ágyazatnál a  $\mu$  poisson tényezőt szemcsés talaj esetén 0,3, míg kötött talaj esetén 0,5 értékűre veszik fel.

$$E_2 \text{ modulus: } E_2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(1-\mu^2) \cdot p \cdot r}{s_2} \Rightarrow \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{s_2}$$

A földművekre előírják az értékét, például általában  $E_{2\text{terv}}=40$  MPa.

A tömörségi tényező értéke azt mutatja meg, hogy az első és a második terhelési lépcső során azonos ( $300 \text{ kN/m}^2$ ) terhelésnél a tárcsabenyomódások aránya milyen mértékű, azaz, hogy még lehetséges-e a talajt nagyobb mértékben tömöríteni?

$$\text{Tömörségi tényező: } T_t = \frac{E_2}{E_1} = \frac{s_2}{s_1}$$



75. ábra Tárcsás terhelés

Talajcsoport			Tájékoztató tervezési teherbírás modululus $E_2$ MPa		Víztartalomnövekmény $w_{opt}$ -hoz képest $\Delta w$ %		Teher-bírás-csökkenés mértéke $\Delta E_2 / \Delta w$ MPa / %
jel	név	jellemzés	NK	K	NK	K	
I	homokos kavics	$40 < S_{2,0} < 70$ % $20 < d_{max} < 63$ mm $S_{0,063} < 5$ % $6 < C_u$	65	65	2	1	3
II	homokos kavics, kavicsos homok	$60 < S_{2,0} < 80$ % $6,3 < d_{max} < 20$ mm $5 < S_{0,063} < 15$ % $6 < C_u$	50	55	1	0	2
III	kavics, homok	az I-II és a IV-VI csoportba nem sorolható szemcsés talajok	40	45	2	1	6
IV	iszapos homok	$80\% < S_{2,0}$ $0,63 < d_{max} < 6,3$ mm $15 < S_{0,063} < 40$ % $3 < C_u$	35	40	2	1	9
V	iszapos finom homok	$80\% < S_{0,2}$ $0,20 < d_{max} < 0,63$ mm $15 < S_{0,063} < 40$ % $I_p < 5$ %	30	35	3	2	12
VI	homokos iszap	$80\% < S_{0,2}$ $0,20 < d_{max} < 0,63$ mm $40 < S_{0,063} < 70$ % $5 < I_p < 10$ %	25	30	3	2	15
VI I	iszap	$10 < I_p < 15$ %	20	25	4	3	18
VIII	sovány agyag	$15 < I_p < 20$ %	25	30	5	4	15
IX	közepes agyag	$20 < I_p < 30$ %	20	25	6	5	12
X	kövér agyag	$30 < I_p < 40$ %	20	25	7	6	9

NK: kedvezőtlen éghajlatú területeken, nedves vidéken, 600 mm feletti átlagos évi csapadékú területeken, kedvezőtlen víztelenítésű útszakaszokon (bevágás, alacsony töltés-sekély bevágás), a III-X. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 m-nél magasabb talajvízszint esetén

K: kedvező éghajlatú területeken, száraz vidéken, 600 mm alatti átlagos évi csapadékú területeken, kedvező víztelenítésű útszakaszokon (magas töltés), a III-X. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 m-nél mélyebb talajvízszint esetén

Táblázat az  $E_2$  modulus előírt értékeire.



## **FELHASZNÁLT IRODALOM:**

G E Barnes Soil Mechanics Principles and practice ISBN 0-333-77776002x  
Palcrave 2000

Dörken Dehne :

Grundbau in beispielen Teil 1. Teil 2, Teil 3 Werner Verlag ISBN 3  
8041 5047-0 2004-2005

Varga László: Geotechnika IV. (Alapozás)

Nemzeti Tankönyvkiadó 5. kiadás 2003.

Kézdi Árpád Geotechnika

Tankönyvkiadó 1980

Török Ákos : Geológia mérnököknek Műegyetemi Kiadó 2007. ISBN 978-963-420-  
934-8

Juhász józsef Mérnökgeológia

Miskolci Egyetemi Kiadó 1999 ISBN 963 661 377 0

Szepesházi Róbert Geotechnika Egyetemi jegyzet Harmadik korszerűsített kiadás .  
Széchenyi István Egyetem

## **AJÁNLOTT IRODALOM**

Atkinson, J.: The Mechanics of Soils and Foundations. Taylor and Francis, London, 2007.

Craig, R. F.: Craig's Soil Mechanics. Spon Press, Taylor and Francis Group, London,  
2004.

Dulácska E., Fekete S., Varga L.: Az altalaj és az építmény kölcsönhatása. Akadémiai  
Kiadó, Budapest, 1982.

Farkas J.: Alapozás. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem. Tankönyvkiadó.  
Budapest, 1992.

Hajnal G.: Városi hidrogeológia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007.

Hartai É.: A változó Föld. Miskolci Egyetemi Kiadó és a Well-PRESS Kiadó, Miskolc, 2003.

Kabai I.: Talajmechanika. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem. Tankönyvkiadó.  
Budapest, 1992.

Kézdi Á.: Talajmechanika 1. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.

Kézdi Á.: Talajmechanika II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.

Kézdi Á.: Talajmechanikai Praktikum. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.

- Kézdi Á.: Talajmechanika. Példák és esettanulmányok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
- Kézdi Á., Markó L.: Földművek - Víztelenítés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- Kézdi Á.: Földművek. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem. Tankönyvkiadó, Buda-pest, 1992.
- Kleb B.: Mérnökgeológia. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- Kovácsházi F., Balázs B., Kovácsházi P.: Támfalak és partfalak. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- Lancelotta, R.: Geotechnical Engineering. Balkema. Rotterdam, Brookfield, 1995.
- Mitchell, J. K. Fundamentals of soil behaviour, John Wiley and Sons, New York, 1976.
- Pálóssy L., Scharle P., Szalatkay I.: Földtámfalak. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- Palotás L. szerk.: Mérnöki kézikönyv I-III. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982-89.
- Rétháti L.: Talajvíz a mélyépítésben. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1974.
- Rétháti L.: Altalaj eredetű épületkárok. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.
- Rétháti L.: Alapozás kedvezőtlen altalajon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995.
- Rózsa L. szerk: Az alapozási kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- Smoltczyk, U. szerk.: Geotechnical Engineering Handbook. Ernst & Sohn, Berlin, 2003.
- Smoltczyk, U. szerk.: Grundbau-Taschenbuch Teil 1-3. Ernst und Sohn Verlag. Berlin, 1990-92
- Szepesházi R.: Geotechnikai II. Talajmechanika. Főiskolai jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992
- Szepesházi R.: Geotechnikai példatár. Főiskolai jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- Terzaghi, K., Peck, R.: Soil mechanics in engineering practice. John Wiley and Sons, New York, 1943.
- Varga L.: Geotechnikai III. Földművek. Főiskolai jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- Varga L.: Geotechnikai IV. Alapozás. Főiskolai jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.

## **SZABVÁNYOK**

- MSZ EN 1997-1:2006 EUROCODE 7-1: Geotechnikai tervezés. 1. rész: Általános szabályok.
- MSZ EN 1997-2:2008 EUROCODE 7-2: Geotechnikai tervezés. 2. rész: Talajfeltárás és geotechnikai vizsgálatok.
- MSZ EN 1536:2001 Speciális mélyépítési munkák. Fúrt cölöpök. MSZ EN 1537:2004 Speciális mélyépítési munkák. Talajhorgonyok. MSZ EN 1538:2001 Speciális mélyépítési munkák. Résfalak. MSZ EN 12063:2001 Speciális mélyépítési munkák. Szádfalak.
- MSZ EN 12699:2001 Speciális mélyépítési munkák. Talajkiszorításos cölöpök. MSZ EN 12715:2001 Speciális mélyépítési munkák. Talajszilárdítás.

- MSZ EN 12716:2001 Speciális mélyépítési munkák. Jethabarcosítás. MSZ EN 14199:2006 Speciális mélyépítési munkák. Mikrocsölöpök.
- MSZ EN 14475:2007 Speciális mélyépítési munkák. Talajerősítés. MSZ EN 14679:2005 Speciális mélyépítési munkák. Mélykeverés.
- MSZ EN 14731:2005 Speciális mélyépítési munkák. Mélyvibrálás. MSZ EN 15237:2007 Speciális mélyépítési munkák. Független drénezés.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-1:2006 Geotechnikai vizsgálatok.  
Talajok laboratóriumi vizsgálata. 1. rész: A víztartalom meghatározása.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-2:2006 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 2. rész: Finom szemcséjű talajok térfogatsűrűségének meghatároz.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-3:2006 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 3. rész: A szemcsék sűrűségének meghatározása. Piknométeres mérés.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-4:2006 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 4. rész: A szemeloszlás meghatározása.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-5:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 5. rész: Kompressziós vizsgálat lépcsőzetes terheléssel.
- MSZE EN ISO/TS 17892-6:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 6. rész: Ejtőkúpos vizsgálat.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-7:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 7. rész: Finom szemcséjű talaj ok egyirányú nyomóvizsgálata.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-8:2004 Geotechnikai vizsgálatok.  
Talajok laboratóriumi vizsgálata. 8. rész: Konzolidálatlan, drénezetlen triaxiális vizsgálat.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-9:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 9. rész: Konzolidált triaxiális nyomóvizsgálat telített talajokon.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-10:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 10. rész: Közvetlen nyíróvizsgálat.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-11:2004 Geotechnikai vizsgálatok.  
Talajok laboratóriumi vizsgálata. 11. rész: Áteresztőképességi vizsgálat.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-12:2006 Geotechnikai vizsgálatok.  
Talajok laboratóriumi vizsgálata. 12. rész: Az Atterberg-határok meghatározása.
- MSZ EN ISO 14688-1:2003 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok azonosítása és osztályozása. 1. rész: Azonosítás és leírás.
- MSZ EN ISO 14688-2:2004 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok azonosítása és osztályozása. 2. rész: Osztályozási alapelvek.
- MSZ EN ISO 14689-1:2003 Geotechnikai vizsgálatok.  
Szilárd kőzetek azonosítása és osztályozása. 1. rész: Azonosítás és leírás
- MSZ 14043-2:2006 Talajmechanikai vizsgálatok.  
Talajok megnevezése talajmechanikai szempontból.
- MSZ EN 13249:2001 Geotextíliák és rokon termékeik.  
Az utak és más közlekedési területek vasutak és aszfalt beépítésének kivételével) szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői.
- MSZ EN 13250:2001 Geotextíliák és rokon termékeik.  
A vasutak szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői.

- MSZ EN 13251:2001 Geotextíliák és rokon termékeik.  
A földmunkák és az alapozások során, valamint a gyűjtőszerkezetekben való alkalmazás előírt jellemzői.
- MSZ EN 13252:2001 Geotextíliák és rokon termékeik.  
A vízelvezető rendszerekben való alkalmazás előírt jellemzői.
- MSZ EN 13253:2001 Geotextíliák és rokon termékeik.  
Az eróziót szabályozó munkákban (partvédelem, partvédő művek) való alkalmazás előírt jellemzői.
- MSZ EN 13254:2000 Geotextíliák és rokon termékeik. A víztározók és gátak szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői
- MSZ EN 13255:2000 Geotextíliák és rokon termékeik.  
A csatornák szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői
- MSZ EN 13255:2000 Geotextíliák és rokon termékeik. Az alagutak és föld alatti műtárgyak szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői
- MSZ EN 13257:2001 Geotextíliák és rokon termékeik. A szilárd hulladéklerakóban való alkalmazás előírt jellemzői
- MSZ EN 13267:2005 Geotextíliák és rokon termékeik. A folyékony hulladéklerakó létesítményekben való alkalmazás előírt jellemzői
- MSZ EN 918:1998 Geotextíliák és rokon termékeik. Dinamikus átszakításvizsgálat. (Kúpos ejtővizsgálat)
- MSZ EN ISO 964-1:2005 Geotextíliák és rokon termékeik. A vastagság meghatározása előírt terhelésekkel. 1. rész: Egyes rétegek.
- MSZ EN 965:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A területi sűrűség meghatározása.
- MSZ ENV 1897:2001 Geotextíliák és rokon termékeik. Nyomás alatti kúszási tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 9862:2005 Geoműanyagok. Mintavétel és a próbadarabok készítése.
- MSZ EN ISO 9863-1:2005 Geoműanyagok. A vastagság meghatározása előírt terhelésekkel. 1. rész: Egy-rétegűek.
- MSZ EN ISO 9863-2:1998 Geotextíliák és rokon termékeik. Vastagság meghatározás előírt terhekkkel. 2. rész: Többrétegű termékek egyes rétegeinek vastagság meghatározása.
- MSZ EN ISO 9864:2005 Geoműanyagok. Geotextíliák és rokon termékeik. Vizsgálati módszer geotextíliák és rokon termékek területi sűrűségének meghatározására.
- MSZ EN ISO 10318:2005 Geoműanyagok. Szakkifejezések és meghatározásuk.
- MSZ EN ISO 10319:1998 Geotextíliák. Szélessávú szakítóvizsgálat
- MSZ EN ISO 10320:2000 Geotextíliák. Helyszíni azonosítás.
- MSZ EN ISO 10321:1998 Geotextíliák. Kötések/varratok szakítóvizsgálata széles sávú módszerrel.
- MSZ EN ISO 10722-1:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. Eljárás telepítéskor bekövetkező sérülések szimulálására. 1.rész: Telepítés szemcsés anyagokon.
- MSZ EN ISO 11058:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A síkra merőleges, terhelés nélküli vízáteresz-tő képességi jellemzők meghatározása.
- MSZ EN 12224:2001 Geotextíliák és rokon termékeik. Az időjárással szembeni ellenállás meghatározása.
- MSZ EN 12225:2001 Geotextíliák és rokon termékeik. Módszer a mikrobiológiai ellenállás meghatározására elásási próbával.

- MSZ EN 12226:2001 Geotextíliák és rokon termékeik. Általános vizsgálatok a tartóssági vizsgálatot köve-tő kiértékeléshez.
- MSZ EN ISO 12236:1998 Geotextíliák és rokon termékeik. Statikus átszakítás vizsgálat (CBR-vizsgálat) MSZ EN 12447:2002 Geotextíliák és rokon termékeik. Vizsgálati módszer a hidrolízissel.
- MSZ EN ISO 12956:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A jellemző szűrőnyílás meghatározása.
- MSZ EN ISO 12957-1: 2005 Geoműanyagok. A nyírási jellemzők meghatározása. 1. rész: Közvetlen nyíróvizsgálat
- MSZ EN ISO 12957-2:2005 Geoműanyagok. A nyírási jellemzők meghatározása. 2. rész: Lejtős síkú vizsgálat.
- MSZ EN ISO 12958:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A vízáramlás meghatározása a termék síkjában.
- MSZ EN ISO 13426-1:2003 Geotextíliák és rokon termékeik. A belső kapcsolatok szilárdsága. 1. rész: Geocellák.
- MSZ EN ISO 13426-2:2005 Geotextíliák és rokon termékeik. A belső kapcsolatok szilárdsága. 2. rész: Geokompozitok.
- MSZ EN ISO 13427:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A dörzsölés utáni sérülések utánzása (csúszótömbös vizsgálat).
- MSZ EN ISO 13428:2005 Geoműanyagok. Az ütéskárosodással szembeni védőteljesítmény meghatározása.
- MSZ EN ISO 13431:2000 Geotextíliák és rokon termékeik. A húzó- kúszási és a szakítási viselkedés meghatározása
- MSZ CR ISO 13434:2000 Irányelvek a geotextíliák és rokon termékeik tartósságáról.
- MSZ EN ISO 13437:1999 Geotextíliák és rokon termékeik. A minták talajban való elhelyezése és kivétele, valamint a próbatestek laboratóriumi vizsgálata.
- MSZ ENV ISO 13438:2005 Geotextíliák és rokon termékeik. Átvilágítós vizsgálat az oxidációval szembeni ellenállás meghatározásához.
- MSZ EN 13562:2000 Geotextíliák és rokon termékeik. A vízbehatolással szembeni ellenállás meghatározása (a hidrosztatikai nyomás vizsgálata)
- MSZ EN ISO 13738:2004 Geotextíliák és rokon termékeik. A talajból való kihúzóddással szembeni ellenállás.
- MSZ EN 14575:2005 Geoszintetikus szigetelők. Az oxidációval szembeni ellenállás meghatározásának módszere.
- MSZ EN 14576:2005 Geoműanyagok. A polimer geoszintetikus szigetelők feszültségkorrózióval szembeni ellenállásának meghatározása.