

**JEGYZET**  
**FÖLDMŰVEK**  
**(kézirat szerkesztés alatt)**

**Összeállította:**

**Dr. Mecsi József**  
**egyetemi tanár**

**2009. november**

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

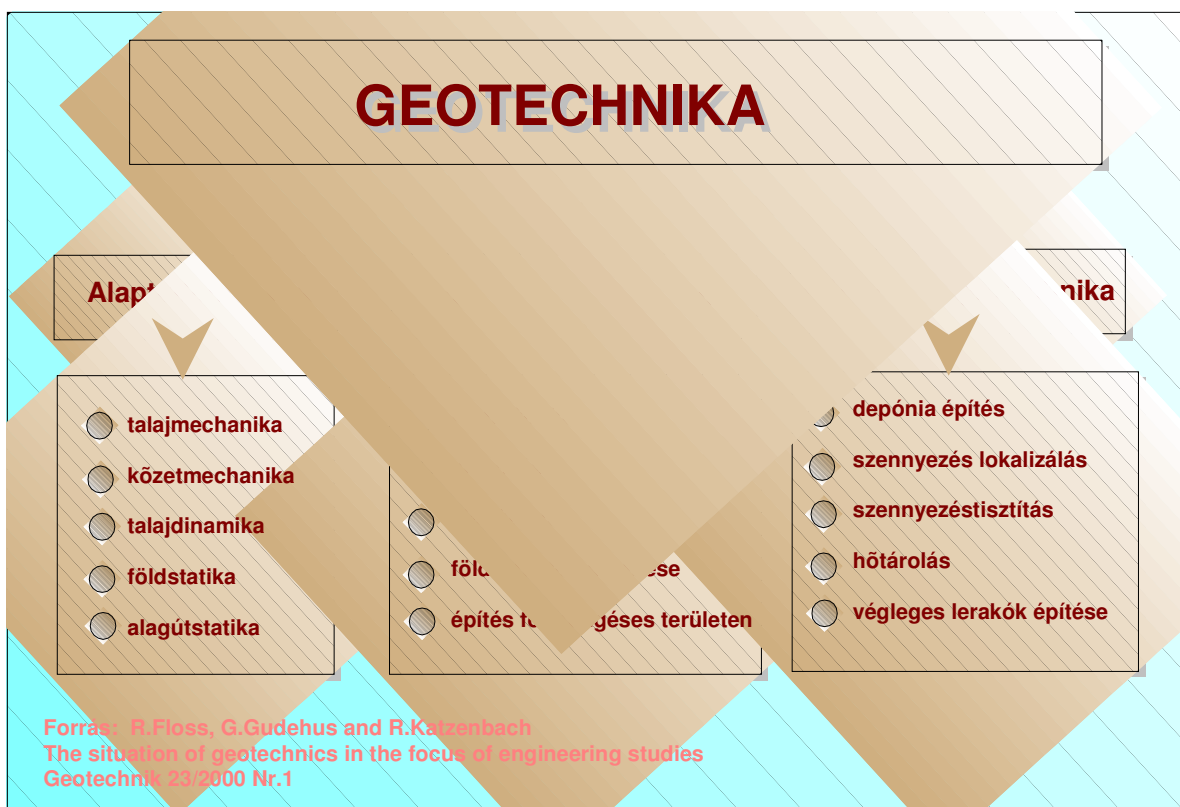
A termőterület 40%-a, a vasúti nyomvonalak 32 %-a van a védett területeken.

## MI IS A GEOTECHNIKA?

Ha egyszerűen akarnánk erre a kérdésre felelni, akkor a föld**ben**, a föld**re** 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.



1. 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."

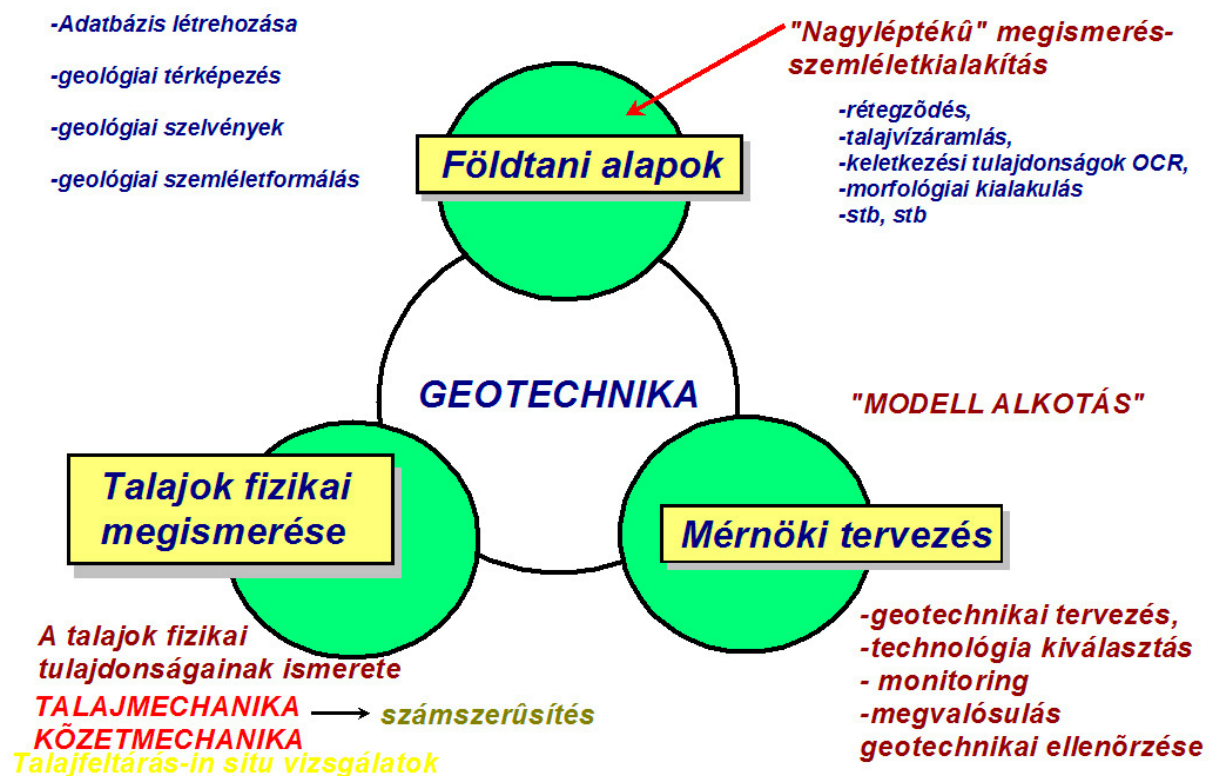
Meg kell jegyeznünk, hogy a bányászat és az alkalmazott földtan területén a geotechnika fogalmát szélesebb értelemben használják.

**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).



2. 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 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. Pontosan: 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.

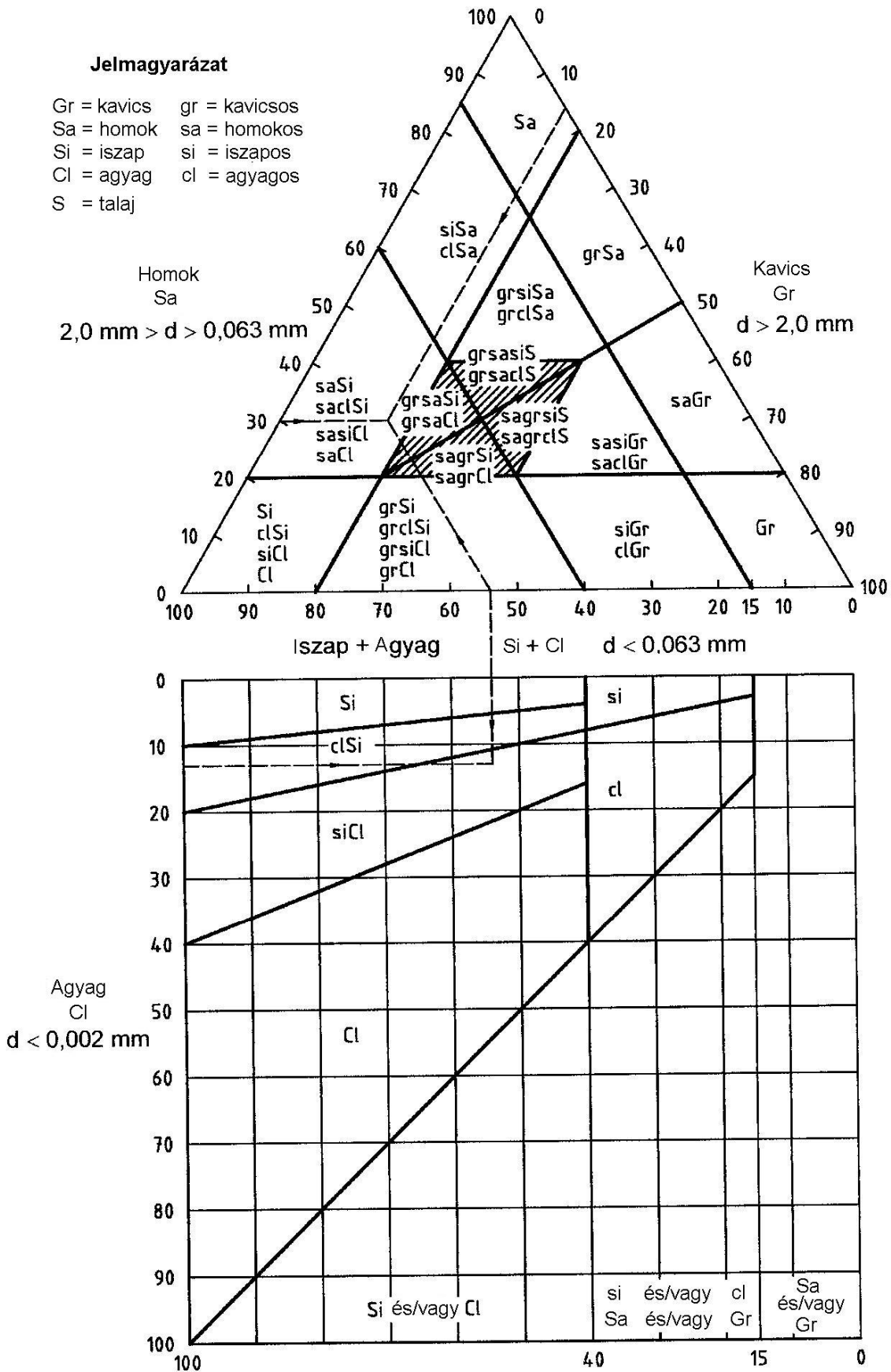
A talajmegnevezésben utalni kell a **szervességre**. **Az új rendszerben** kissé szervesnek nevezzük azokat a talajokat, melyek szervesanyag tartalma 2-6 %, közepesen szervesnek 6-20 % esetén, és nagyon szervesnek 20% felett. Korábban ennél szigorúbb volt a minősítés, a kötött talajokat 5 %-nál nagyobb,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



3. 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 fúrási ellenállásból vagy szondázásból), vagy korábbi tapasztalatokból (pl. munkagödörből vett nagyminta) lehet becslést adni.

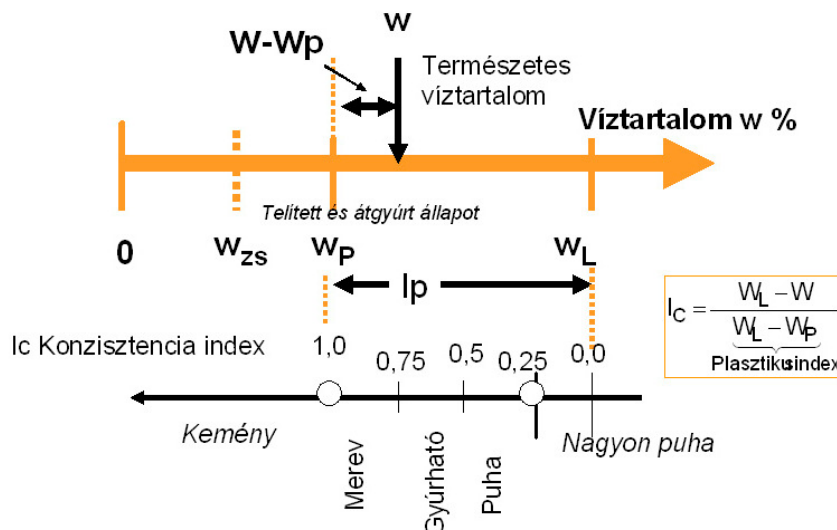
2. sz. Táblázat: szemcsés talajok tömörsége. 3. sz. Táblázat kötött talajok konzisztencia indexe

A tömörség osztályozása	
Megnevezés	Tömörégi index $\rho_D / \rho$
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



4. 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

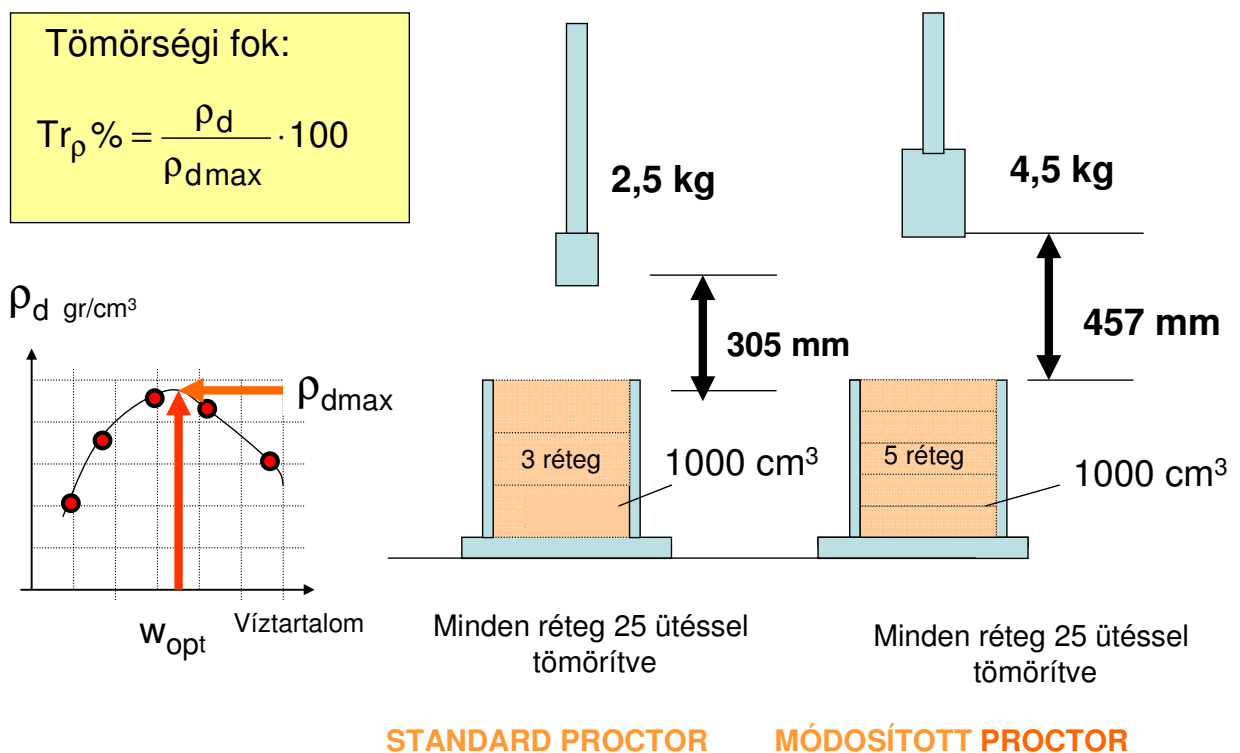
$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_P}$  képlettel számítandó (relatív) **konzisztenciaindex** (volt) használatos.

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.



5. ábra Proctor vizsgálatok és az eredmények feldolgozása

## 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

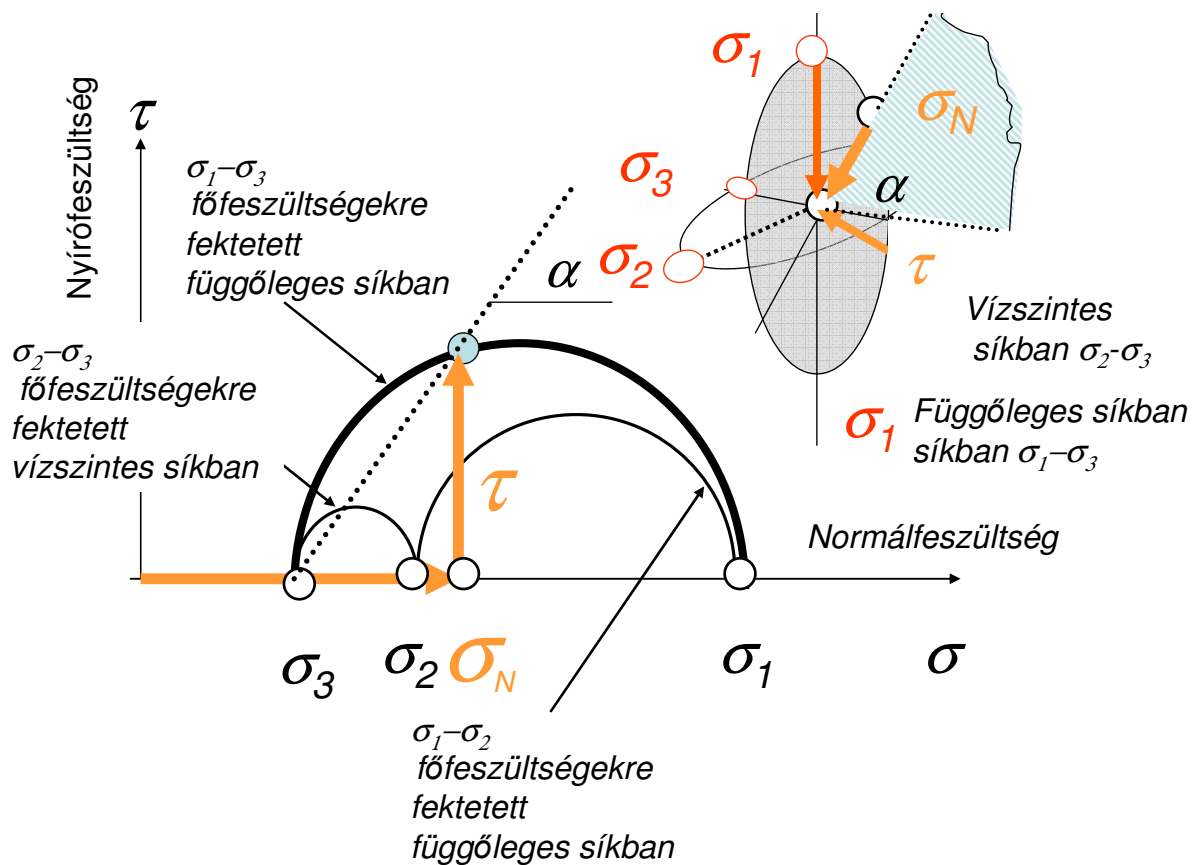
A mechanikában a *feszültség* egy testen belüli **felületegységre jutó megoszló erő**, mely a **külső erőhatásokkal tart egyensúlyt**. A térben hat független komponenssel lehet leírni. A felületre merőlegesen hat a normálfeszültség, a felületi síkban a csúsztató, vagy más néven nyírófeszültség.

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 nevezük**.

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.



6. 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:

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

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)

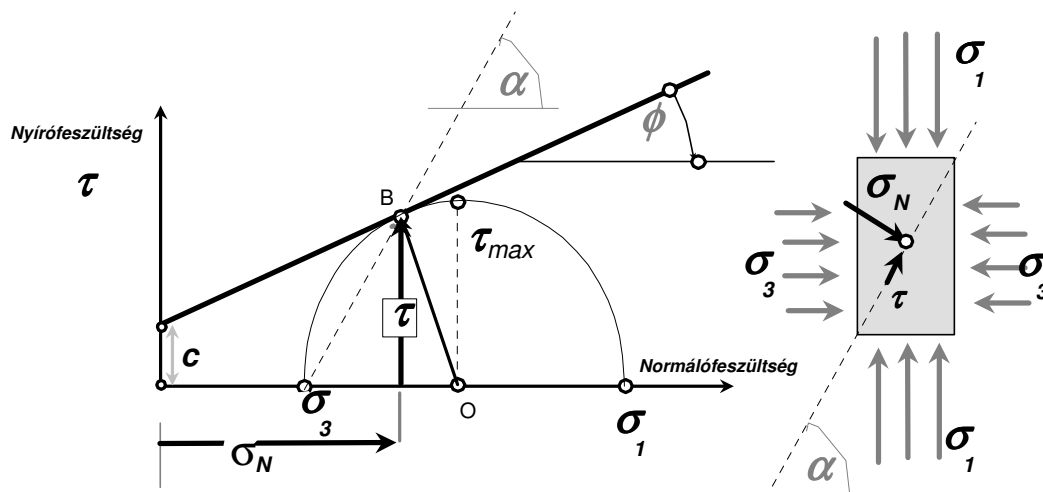
A vizsgálatunknál most nem foglalkozunk az elmélet használatának korlátaival, például az extrém nagy feszültségek esetén, vagy húzófeszültségeknél, hanem csak a gyakorlati esetekben érvényes tartományokat tekintjük.

## 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.



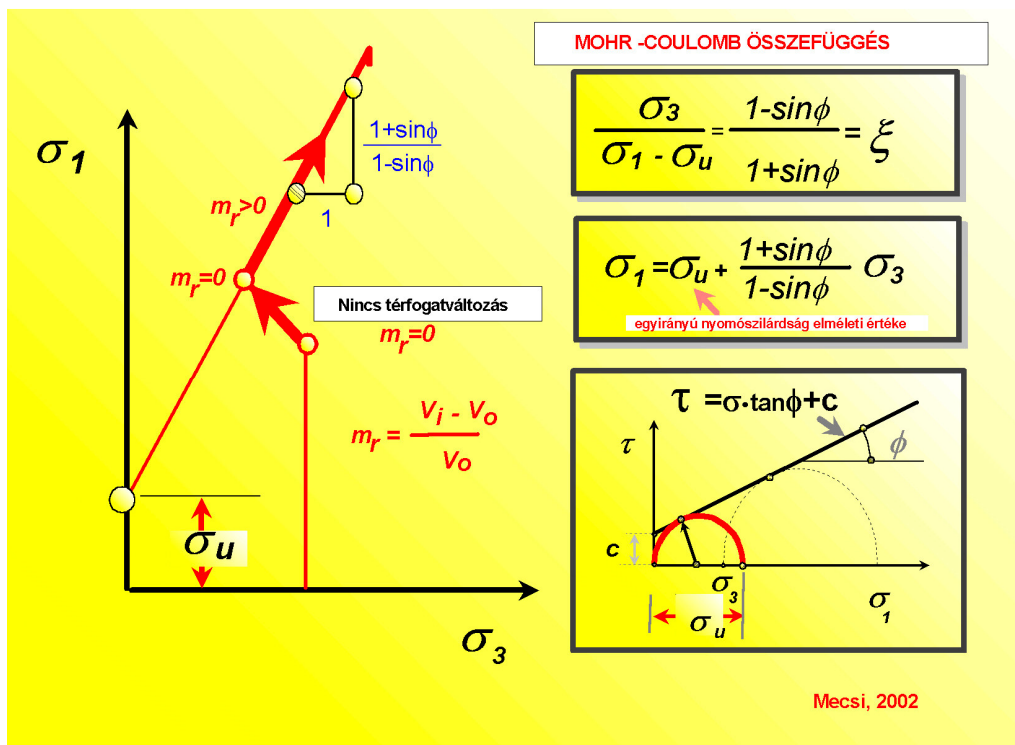
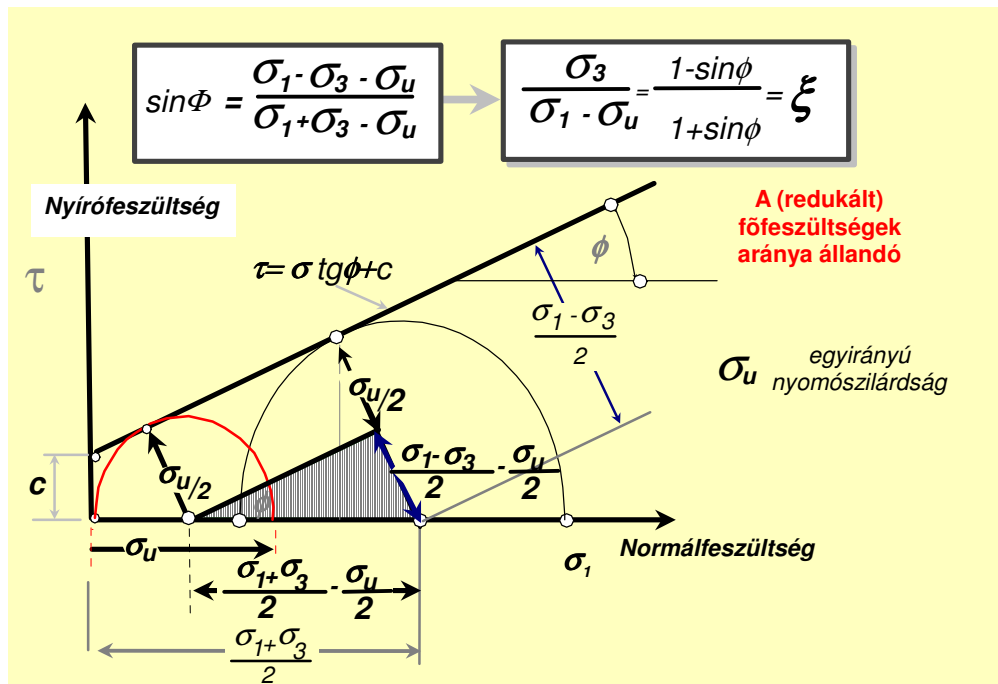
7. ábra A Mohr-Coulomb féle összefüggés tengelyszimmetrikus nyomóterhelés esetén.  
(Hengeralakú talajminta feszültségei éppen a képlékeny állapotban.)

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 mikrójellelű 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 8 sz. ábra a főfeszültségek változásait mutatja be egy terhelési fázisban.



8. 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 ábrázolhatjuk. Ebben a rendszerben a főfeszültségek összefüggését az egyirányú nyomószilárdságtól

kiinduló  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$  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**.

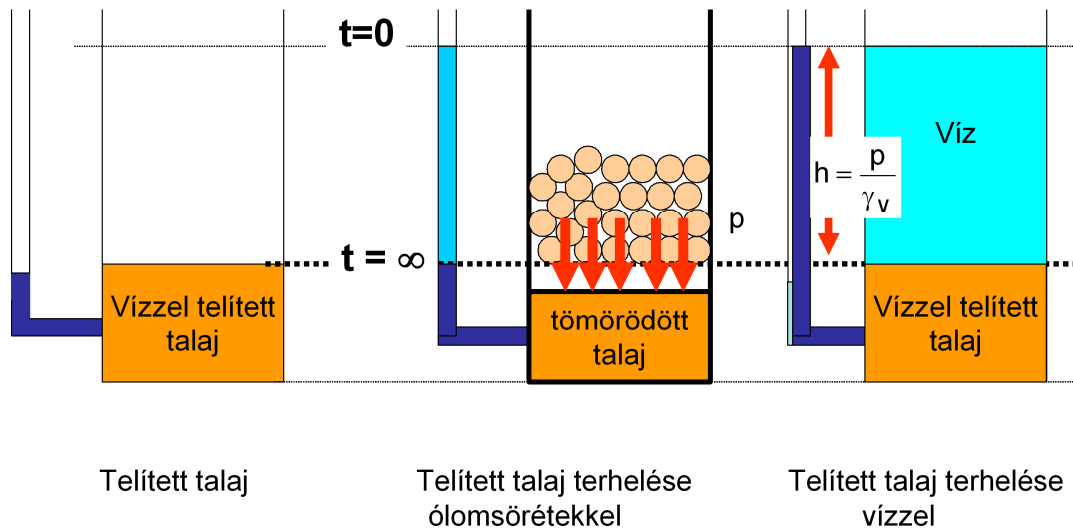
A hatékony feszültség hoz létre alakváltozást, súrlódást, nyírószilárdságot, a semleges feszültség viszont **a vízben minden irányban továbbterjedve a szemcsék egymáshoz viszonyított helyzetén és állapotán nem változtat**.

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 9. 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



9. 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 csúcserértékét és

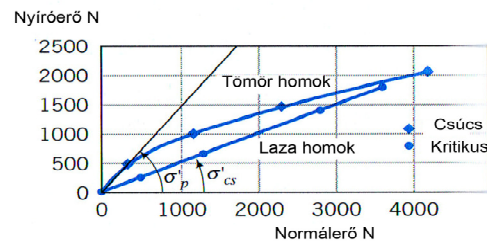
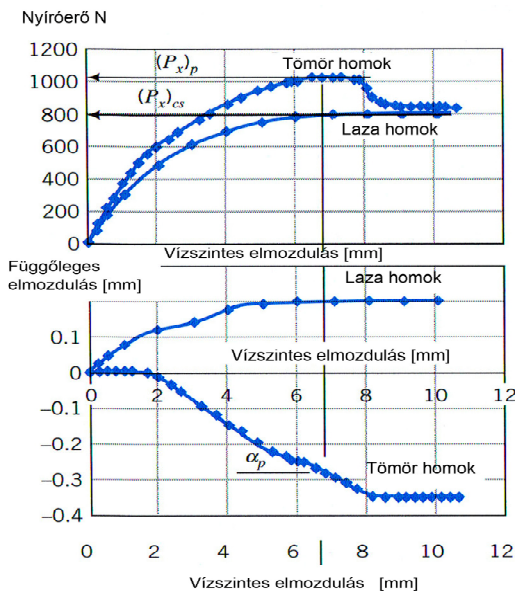
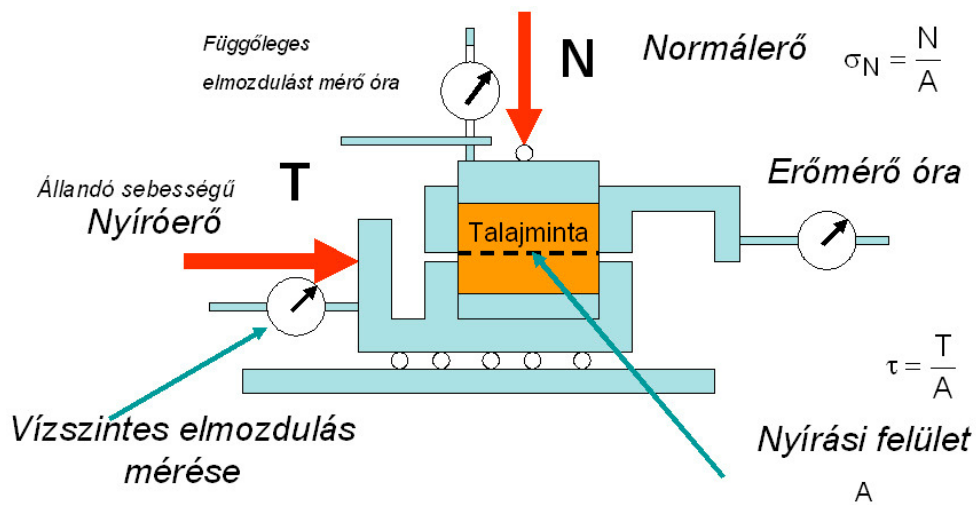
c/ ha a csúcserértéktől különbözik - a nyírófeszültség végső értékét.

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 csúcserértékét

c/ a folyamatos csuszáshoz tartozó súrlódási szöget



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

10. ábra A közvetlen nyíróvizsgálat eredményei

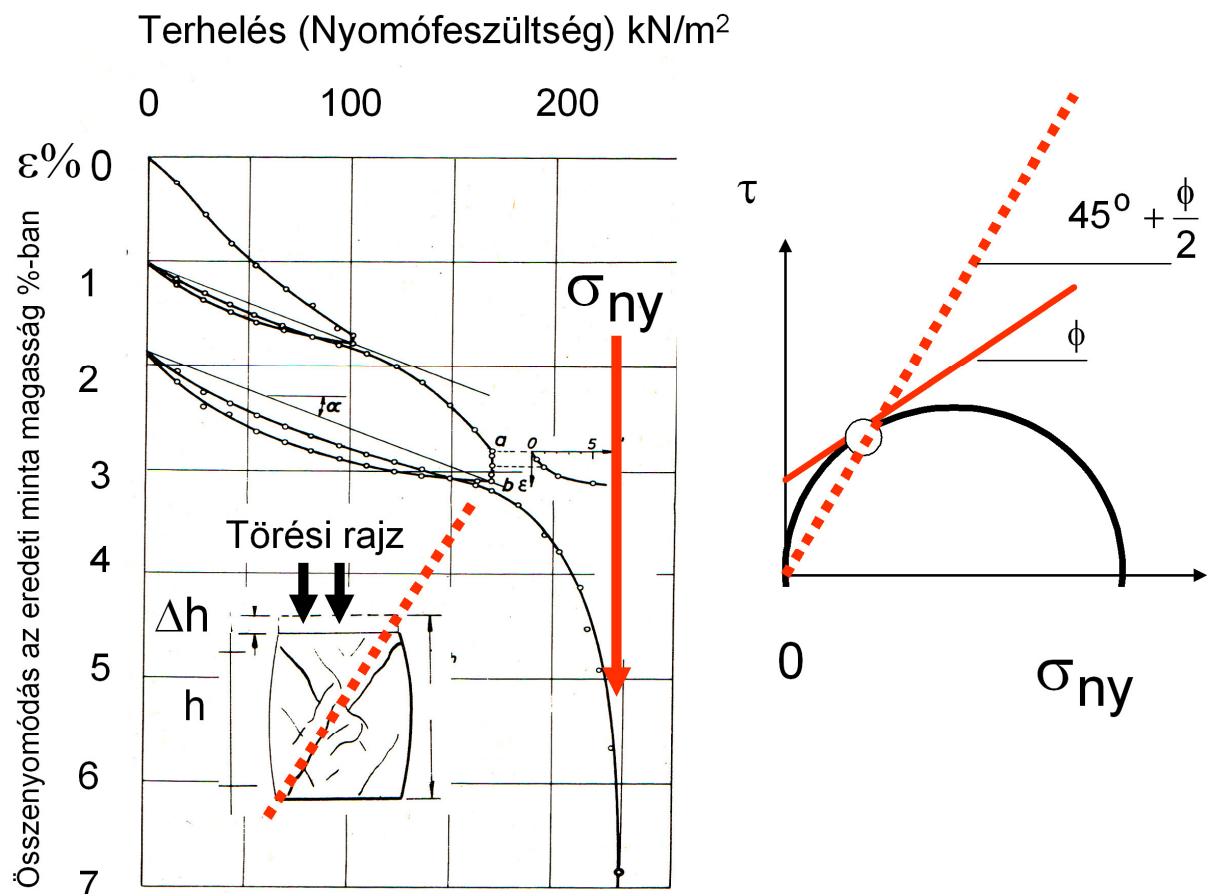
## EGYIRÁNYÚ NYOMÁS

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.



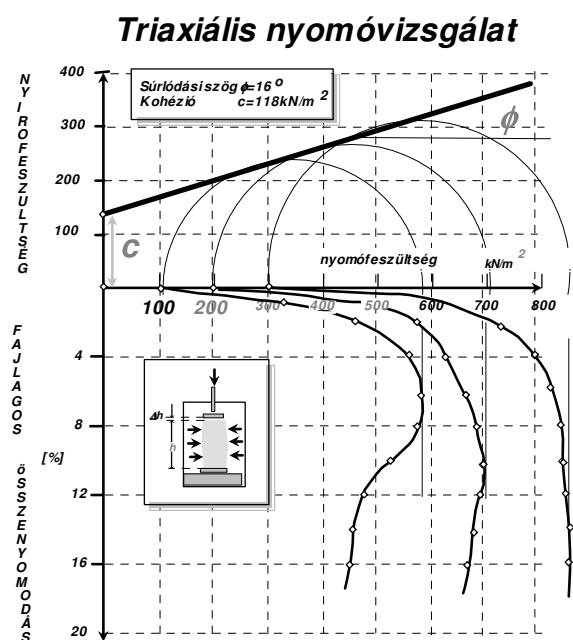
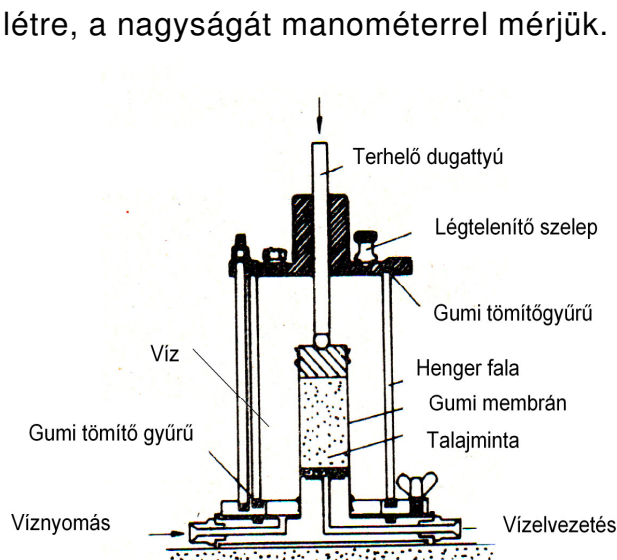
11. ábra Az egyirányú nyomóvizsgálat eredményei

## 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 térfogat változásmérő 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.



12. 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.

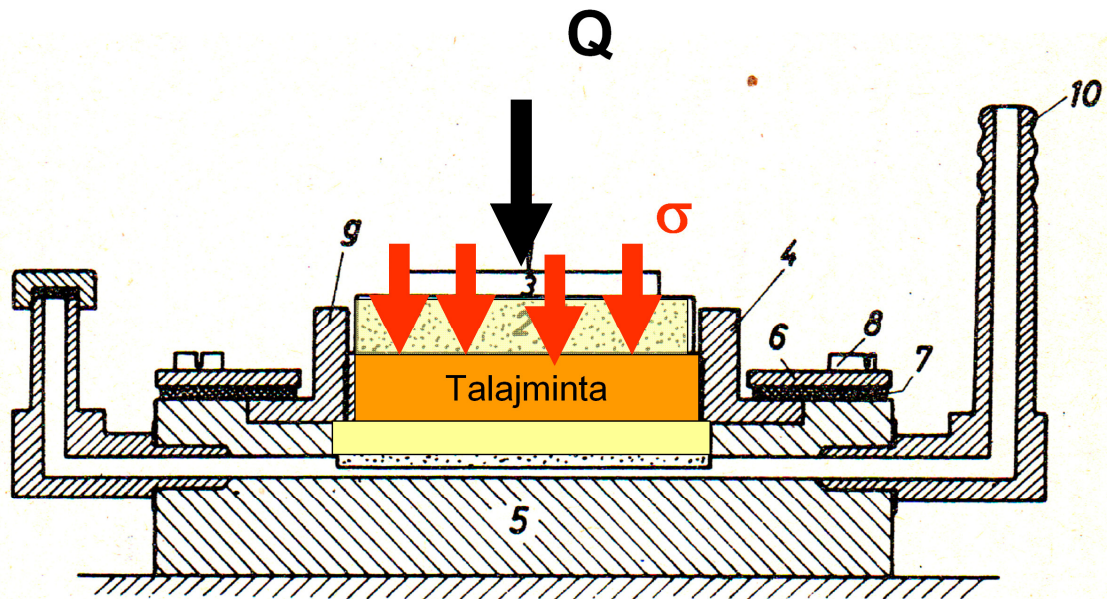
$$\Delta \epsilon_{\%} = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100$$

ahol  $\Delta \epsilon_{\%}$  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

### 13. ábra Ödométer metszete

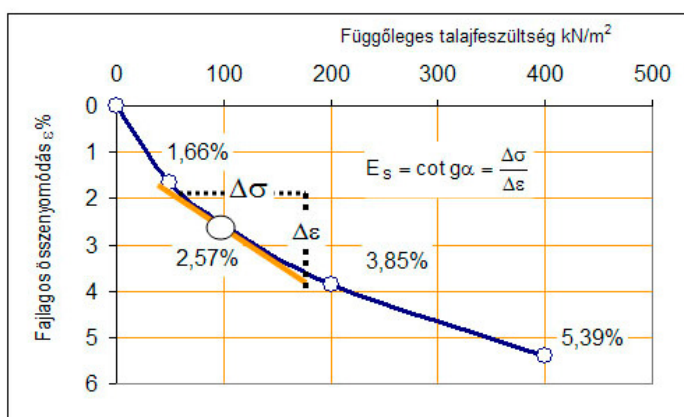
A kísérlet eszköze a 31. számú ábrán metszetben vázolt **ödométer**.

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. Ezekon keresztül akadálytalanul távozzhat 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  $\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{a_1 \cdot b_1}{\sigma_e} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{b_1-1}$

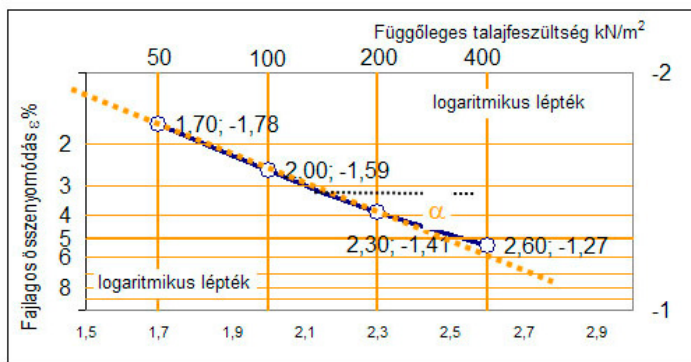
Reciproka  $\frac{d\sigma}{\frac{d\varepsilon}{E_s}} = \frac{\sigma_e}{E_0} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{\frac{a}{1-b_1}}$

Egyszerűbb alakban, bevezetett jelölésekkel:

$$E_s = E_0 \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^a$$

A fajlagos összenyomódás a bevezetett jelölésekkel:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{\sigma_e}{E_0 \cdot (1-a)} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{1-a} \cdot 100$$



**A paraméterek meghatározása:**

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

$$\log \varepsilon = \log \left( \frac{\sigma_e}{E_0 \cdot (1-a)} \right) + (1-a) \cdot \log \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)$$

Az egyenes iránytangense:

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

$$E_0 = \frac{\sigma_e}{(1-a) \cdot 10^{\log \varepsilon - (1-a) \log \left( \frac{\sigma}{\sigma_e} \right)}} = \frac{100}{0,601 \cdot 10^{-1,41 - \log \left( \frac{200}{100} \right)}}$$

$$E_0 = 6473 \text{ kN/m}^2$$

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

14. 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 kvarcsemmcsék 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 hézagtürevedést 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 hézagtürevedő értéke.

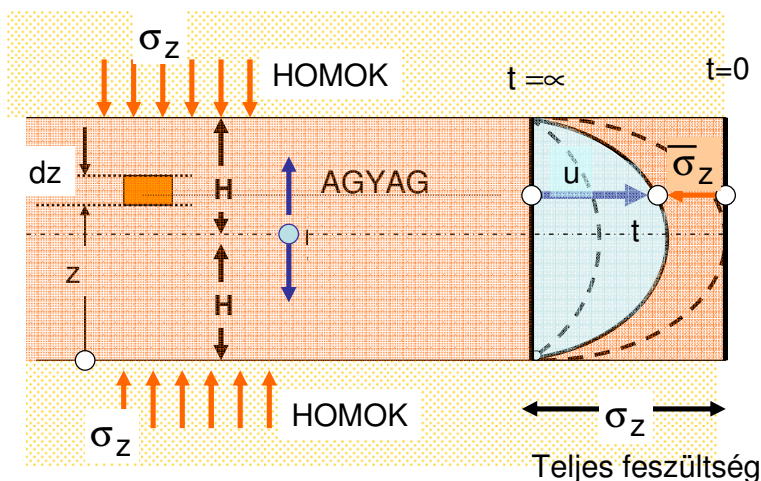
## KONSZOLIDÁCIÓ

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. Agyakok esetében viszont az ok elsősorban a talaj kicsiny átteresztőképessége, mert a vízzel telt agyakok 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.



15. 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

$$-\gamma_v \cdot \Delta h = -\Delta u = \Delta \bar{\sigma}$$

$$i = -\frac{1}{\gamma_v} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}$$

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

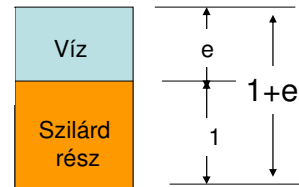
$$q = k \cdot i = -k \cdot \frac{1}{\gamma_v} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}$$

Negatív előjel azt mutatja, hogy a vízáramlás felfelé történik, míg a z koordináta-rendszer pozitív iránya

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

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

$\frac{dq}{dz}$       térfogatcsökkenés



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:

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

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

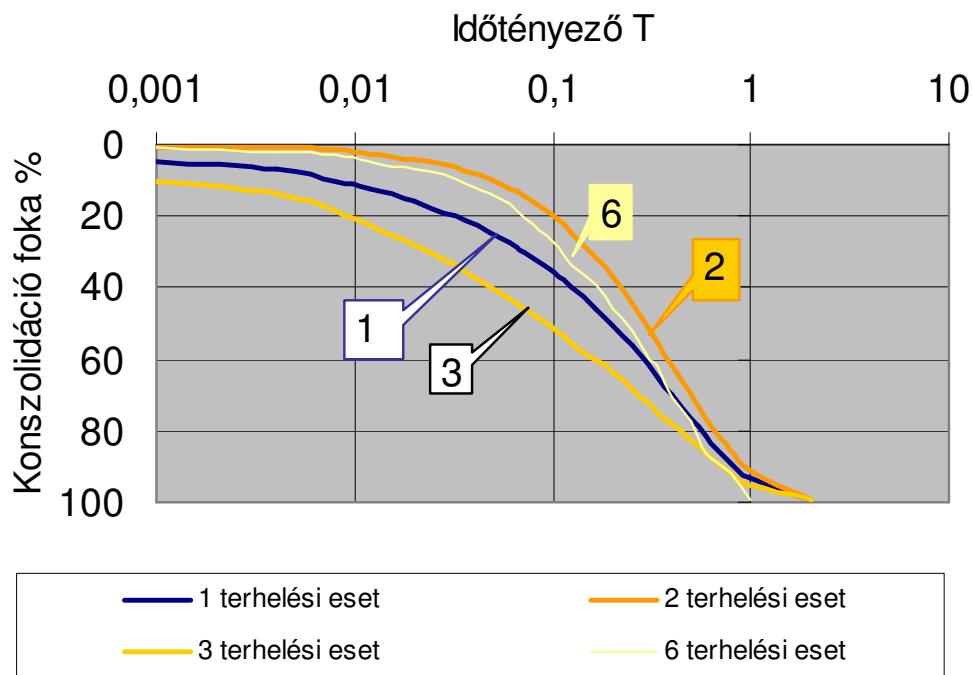
helyett diagramok használatával segítették a meghatározást.

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.

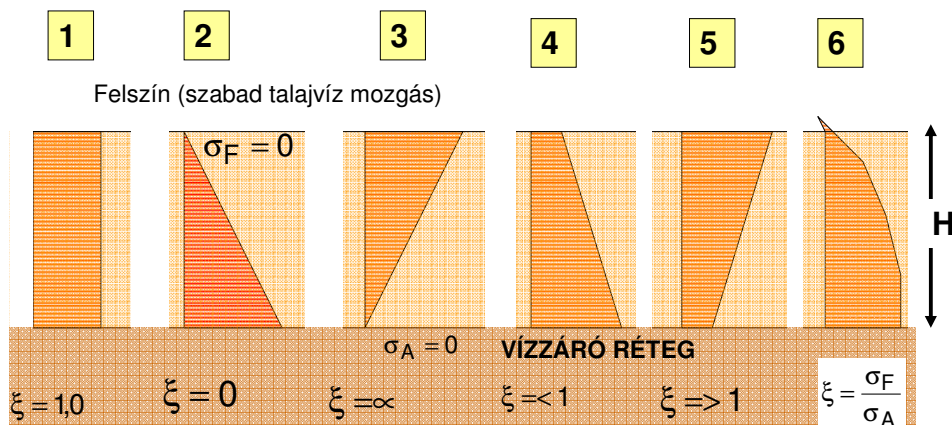
$$t_1 : t_2 = H_1^2 : H_2^2 \quad \Rightarrow T = \frac{c_v \cdot t_1}{H_1^2} = \frac{c_v \cdot t_2}{H_2^2}$$

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

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



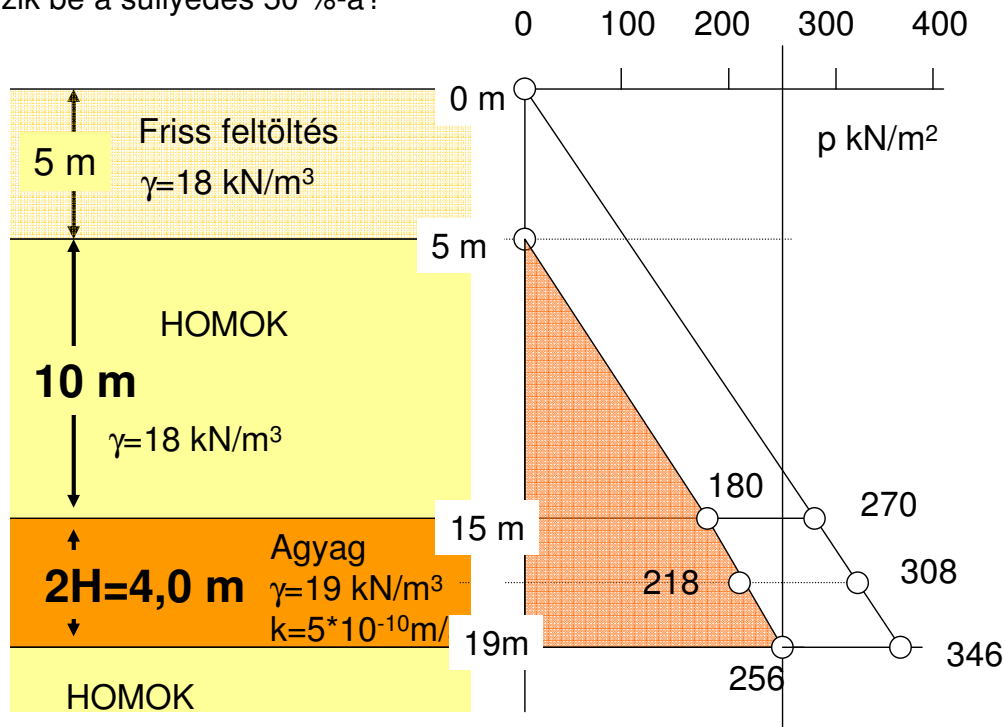
**Terhelési esetek**



16-17 ábra A különböző terhelési esetekhez tartozó konszolidációs fok az időtényező függvényében

**Feladat:**

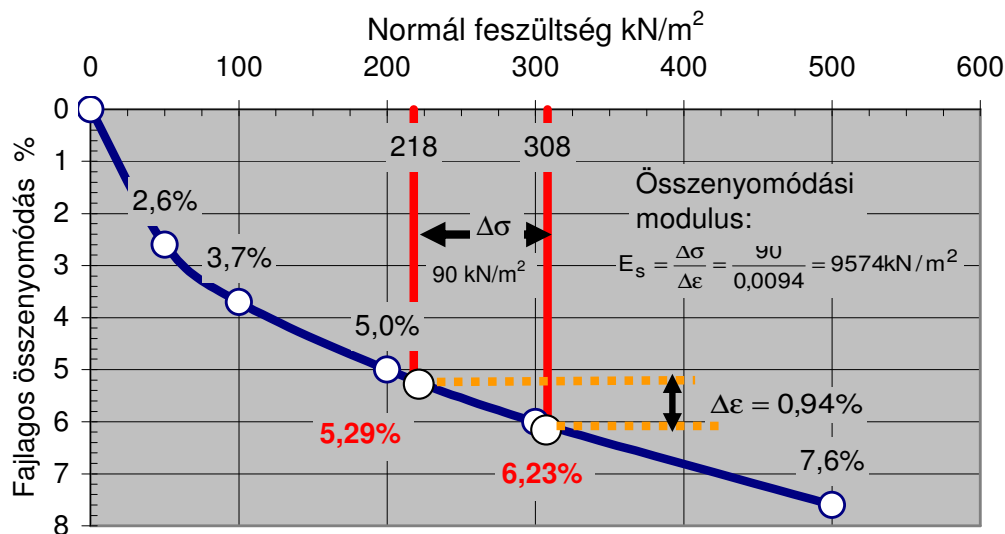
Adott egy  $2H=4,0$  m vastag nyílt agyagréteg, felszín alatt 10 m mélységben. Mekkora összenyomódást szenved ez a réteg, ha 5,0 m magas  $\gamma=18$  kN/m<sup>3</sup> térfogatsúlyú homoktöltést hordunk rá? Az agyag áteresztőképességi együtthatója  $k = 5 \cdot 10^{-10}$  m/s. Az agyag kompressziós görbéjét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



18. 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%



19. ábra. A kompressziós görbe adatai



Az agyagréteg teljes összenyomódása a kompressziós kísérlet alapján:

$$\Delta h = \underbrace{h \cdot \frac{\Delta \sigma}{E_s}}_{\substack{\Delta \varepsilon \\ \% \text{-miatt}}} = 4000 \cdot \frac{0,94}{100} = 37,6 \text{ mm}$$

A konszolidációs idő számítása:

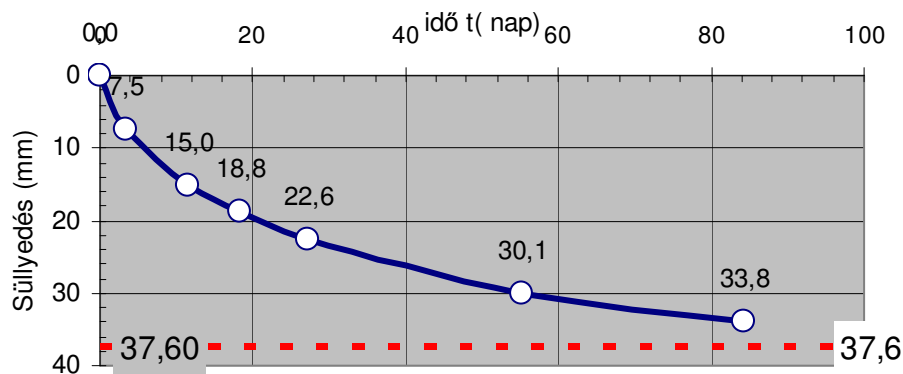
$$t = \frac{H^2 \cdot \gamma_v}{k \cdot E_s} \cdot T \quad \text{behelyettesítve: } t = \frac{2,0^2 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-10} \cdot 9574} \cdot T = 8,36 \cdot 10^6 \cdot T \text{ sec}$$

Mivel 1 nap

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

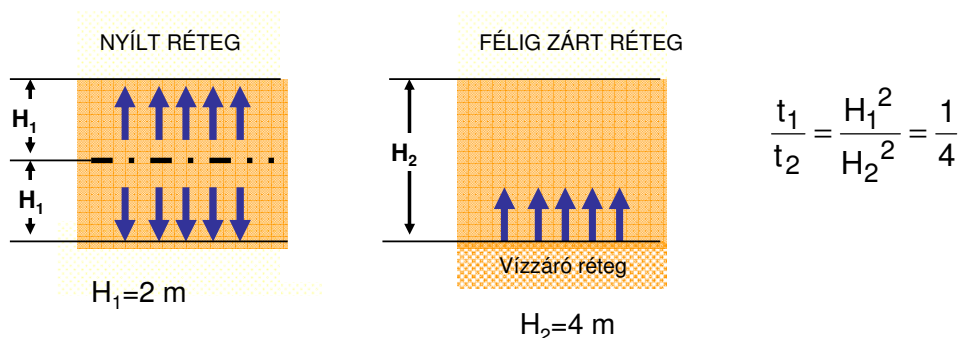
$$t = 96,8T(\text{nap})$$

$\kappa\%$	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	$\infty$



20. ábra A számítás eredménye

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



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

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

21. ábra A zárt és a nyílt rendszer értelmezése

## 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.

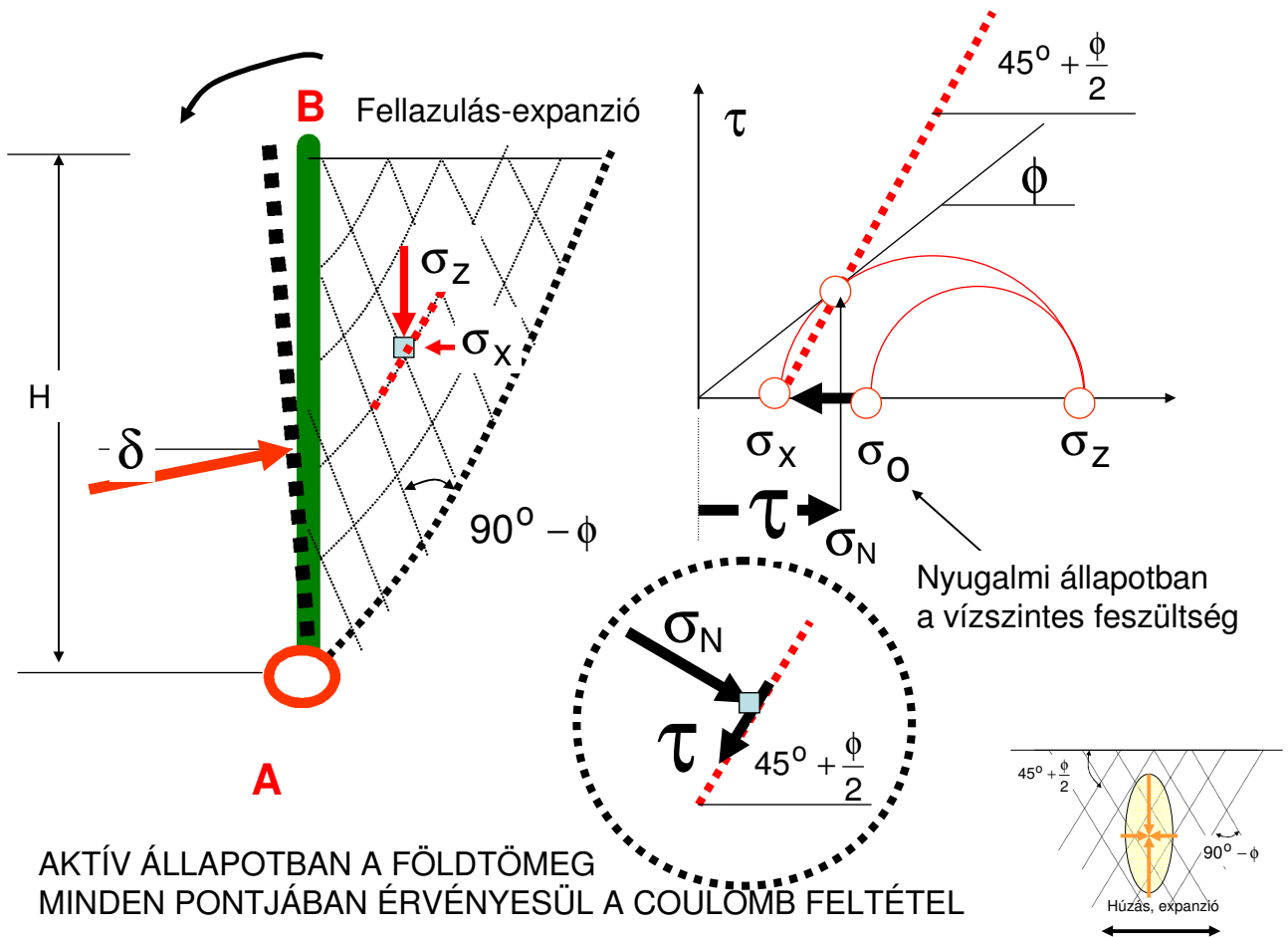
A földnyomás szoros kapcsolatban van a fal mozgásával.

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

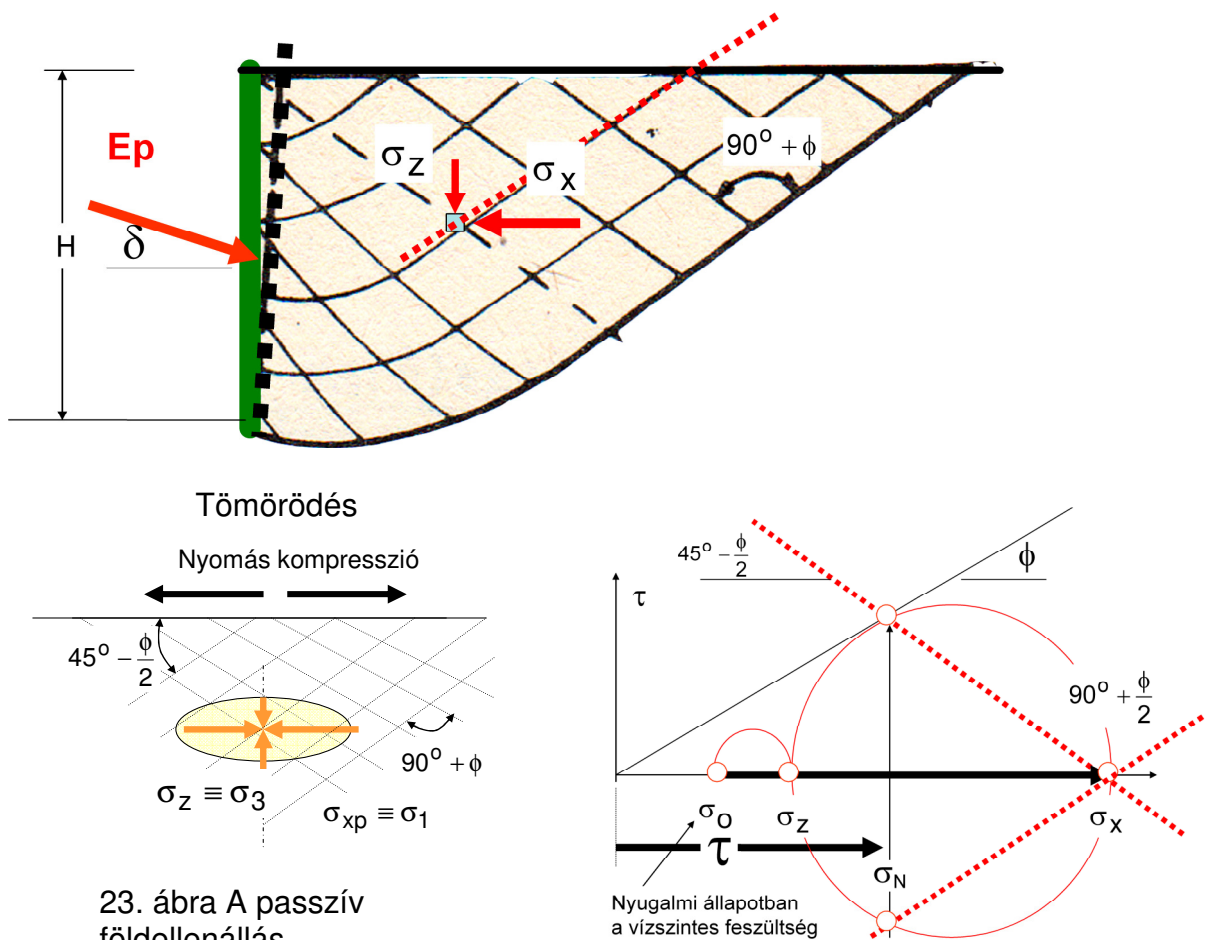
Vizsgáljuk meg a földnyomás kialakulását a billenés függvényében.

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.



22. 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:

$$\sigma_x = K_o \cdot \sigma_z \quad \text{ahol} \quad \sigma_z = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \gamma_i$$

ezekben a képletekben a  $K_o$  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:

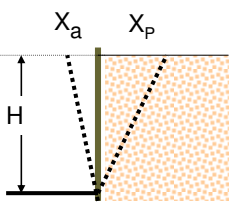
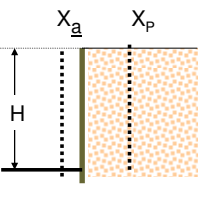
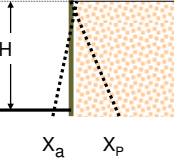
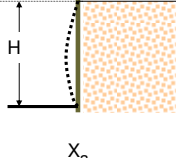
$$E_p = K_p \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \Rightarrow K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \text{ vagy másképpen } K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

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

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	-	-

24. ábra A földnyomások kialakulásához szükséges elmozdulások

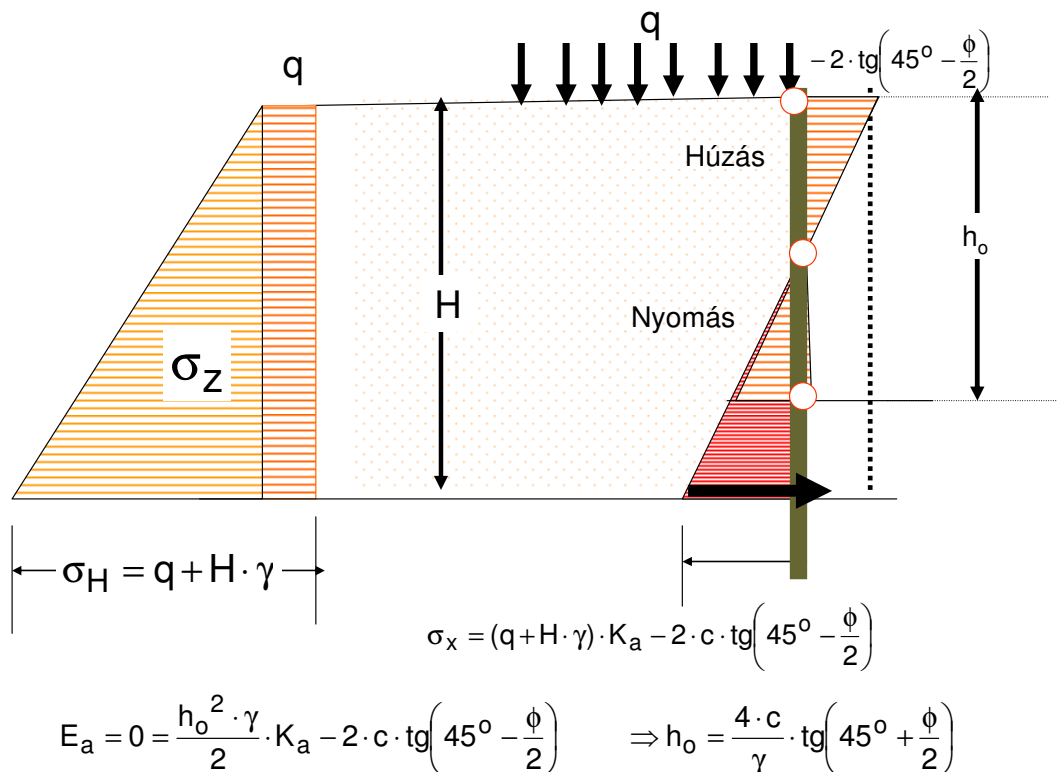
Az **egyenletesen megoszló terhelés** a függőleges feszültséget a terhelés intenzitásának megfelelően növeli, így a vízszintes feszültség, valamint a földnyomás is arányosan nő.

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.



25. 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.

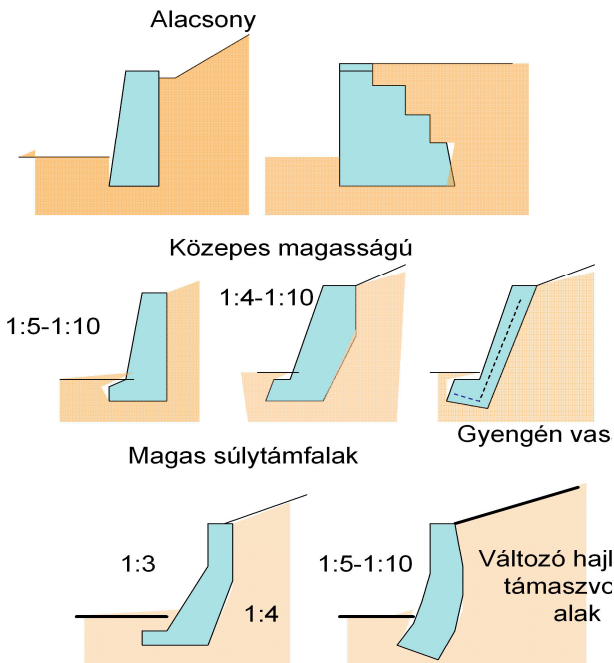
A  $c_{kar} = c_{\text{átlag}} \cdot \left(1 - \frac{v}{2}\right)$  azaz például  $c=100 \text{ kN/m}^2$  átlagos kohézió érték mellett a

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

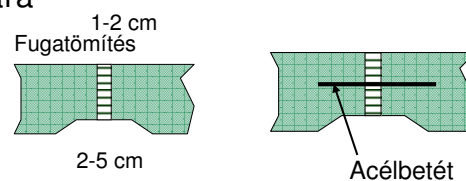
26. ábra súlytámfal típusok

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



27. 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

Erőtni követelmények

a)Teherbírási követelmény

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

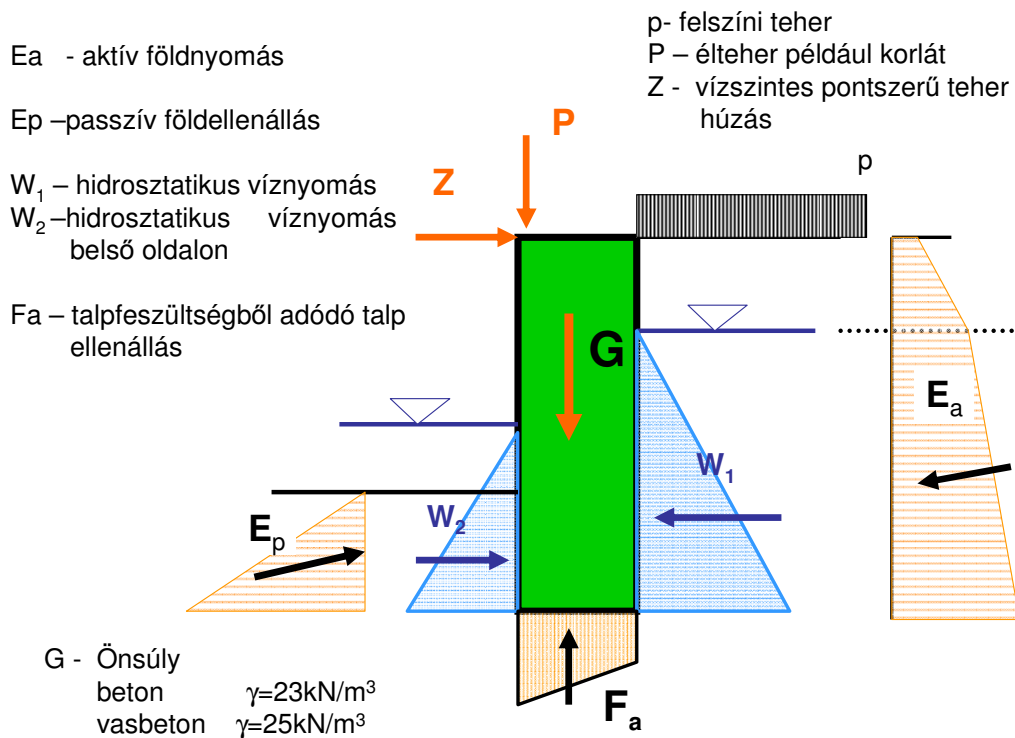
b)Helyzeti állékonysági követelmény

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.





28. ábra A támfalakra igénybevételei

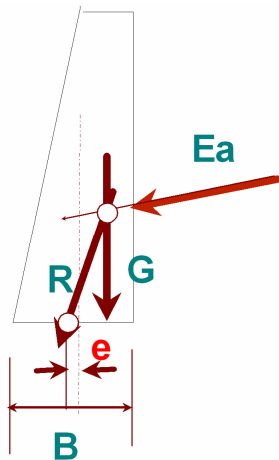
### Terepszintek (MSZ EN alapján)

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 homloklap 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:

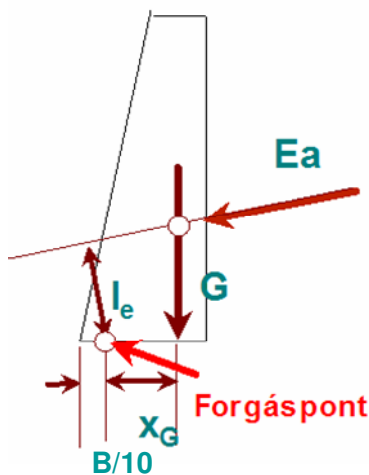
Az eredő külpontossága  $e=B/6$  legyen, azaz a belső magon belül hasson, ne alakulhasson ki húzófeszültség a támfal anyagában.

29. 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:

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

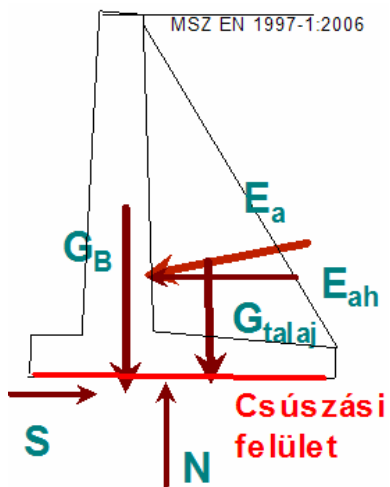
A biztonsági tényezők értékei:

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

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

30. ábra Kiborulás elleni vizsgálat

## ELCSÚSZÁS 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:

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

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

31. ábra Elcsúszás elleni vizsgálat

## A SÚLYTÁMFAL ALATTI TALAJ TEHERBÍRÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA



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

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

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

$$M = N \cdot e$$

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

$$\sigma_1 \leq \sigma_{\text{Htalaj}}$$

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

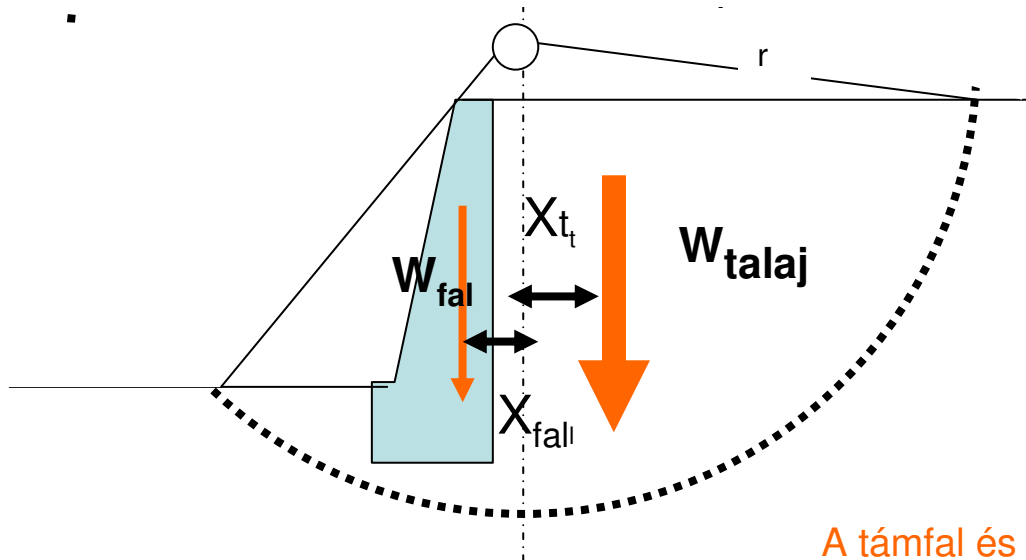
A támfal külső részén kialakuló nyomófeszültség  $\sigma_1$  értéke nem haladhatja meg a talaj határfeszültségét.

32. 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.

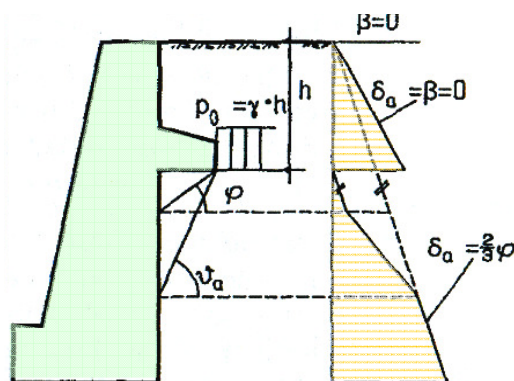


A támfal és a talajtömeg  
együttes  
stabilitásvesztése

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

33. ábra. Súlytámfal stabilitásvesztése

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



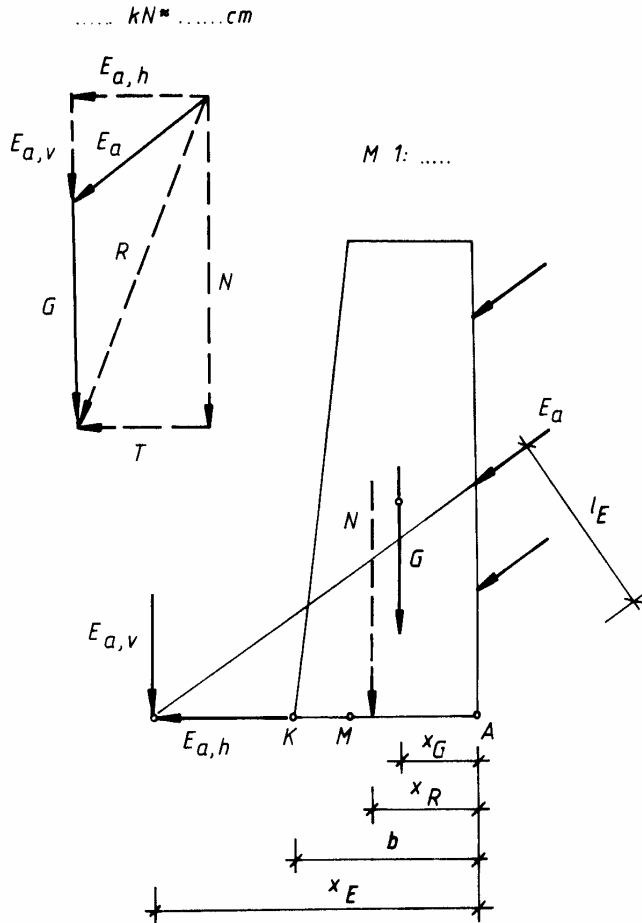
34. ábra A támfal stabilitásának növelése hátsó borda kialakításával

## 2. Támfal keresztmetszeti méretezése

2.1. A támfal magasságát (H) a feladatkiírásban szereplő, megtámasztandó földtömeg magassága adja meg, vagyis  $H = h + t$ . A támfal alsó síkja a szilárd altalajon helyezkedik el.

2.2. Alapszélesség meghatározása (csak a súlytámfal esetén)

Követelmény: az eredő (R) az AK alsósík belső harmada külső szélén (M pont) haladjon át.



Az eredő támadáspontja az "A" pontra felírt nyomatékból:

$$x_R = \frac{E_a \cdot l_E + G \cdot x_G}{N}$$

vagy

$$x_R = \frac{E_{a,v} \cdot x_E + G \cdot x_G}{N}$$

Több részföldnyomás esetén:

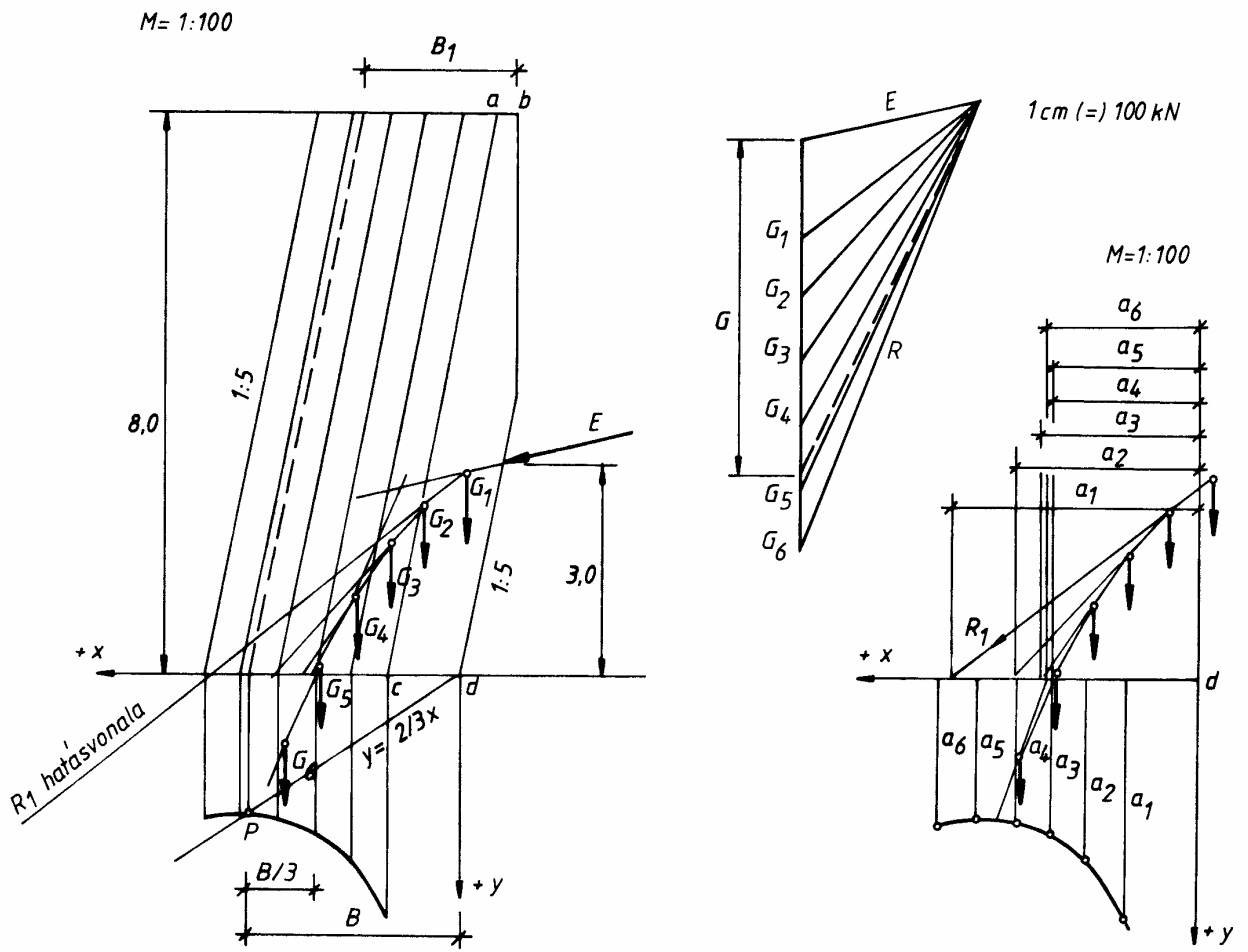
$$x_R = \frac{\sum (E_{a,v} \cdot x_E) + G \cdot x_G}{N}$$

A "b" szélességet mindaddig változtatjuk, amíg teljesül a

$$x_R \approx \frac{2}{3} \cdot b$$

feltétel.

35. ábra Alapszélesség meghatározása

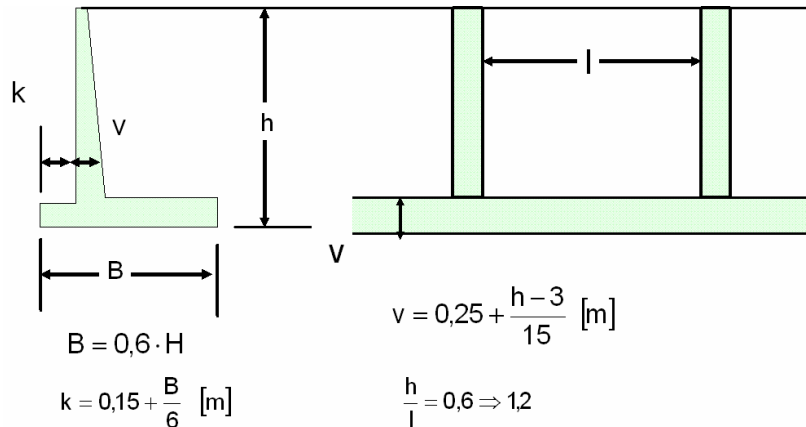


36. ábra Súlytámfal szélességének meghatározása

## SZÖGTÁMFALAK

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

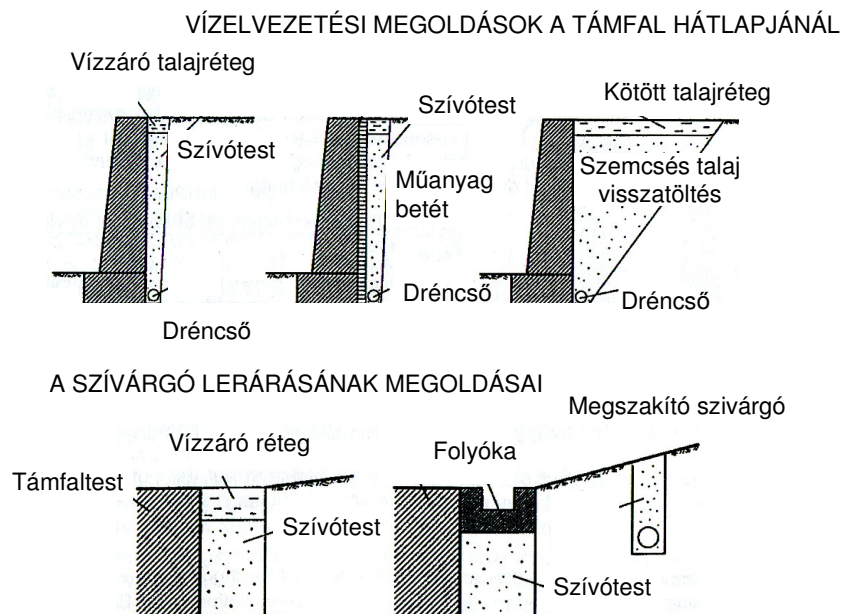
A szögtámfalak szokásos méreteit az 53. ábra mutatja be.



37. ábra Szögtámfal kialakítás szokásos méretei.

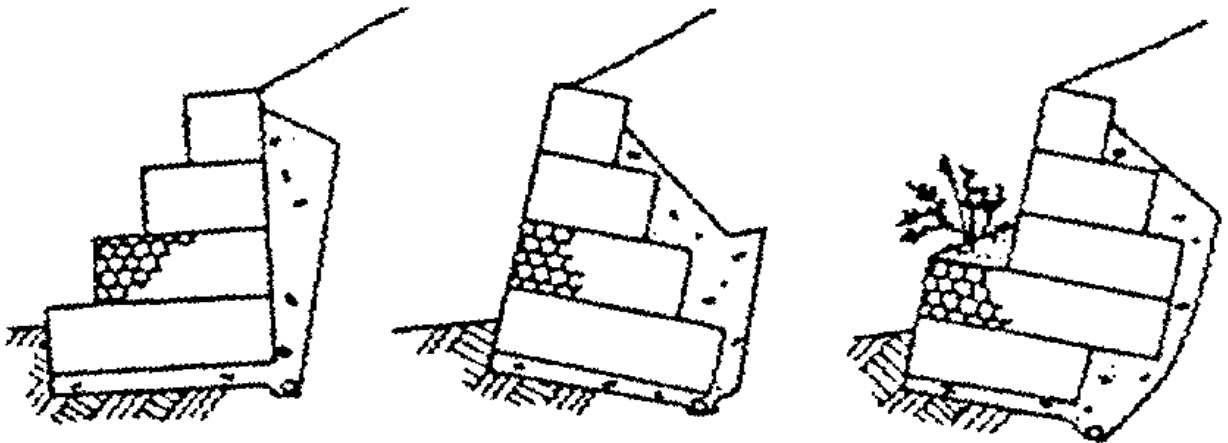
## VÍZELVEZETÉSI MEGOLDÁSOK

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.)

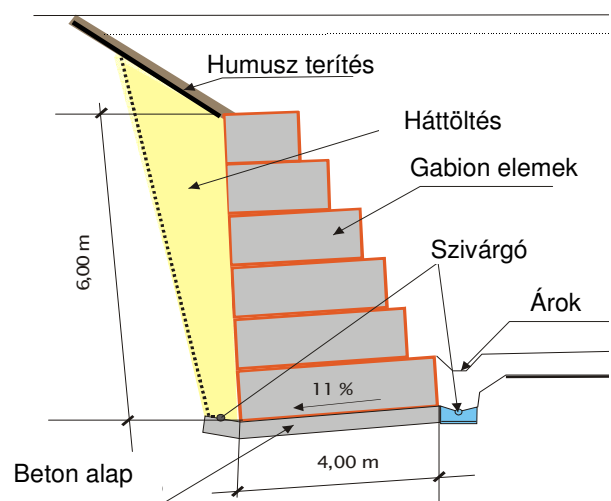
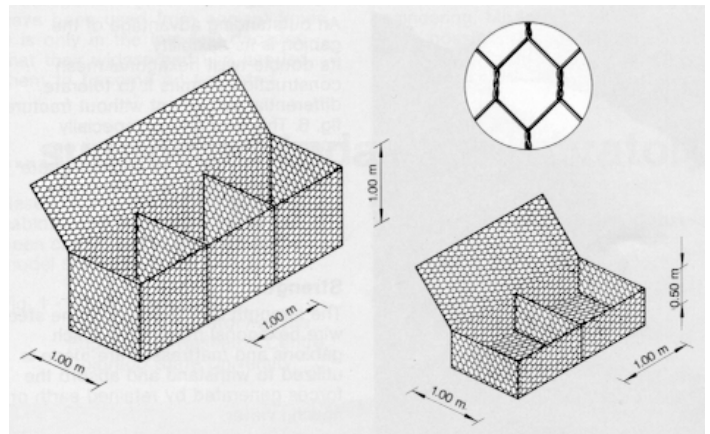
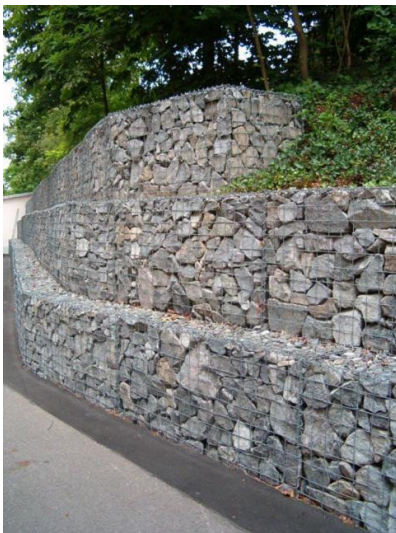


38. ábra Vízelvezetési megoldások támfalalnál

## GABIONFALAK



39. ábra Gabionfal jellegzetes keresztmetszeti kialakításai (Papst 1978)



40. ábra. Gabionfal fényképei, keresztmetszeti kialakítása



A doboz vagy kosár alakú elemekből súlytámfalként építhető falak tömeget adó kitöltő anyaga kötörmelék, 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.

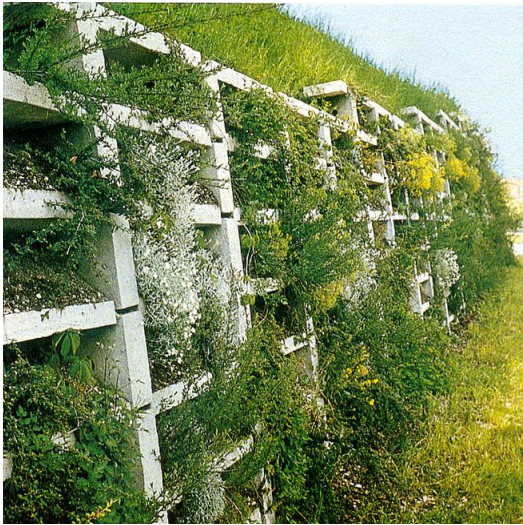
### **Máglyafalak**

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.

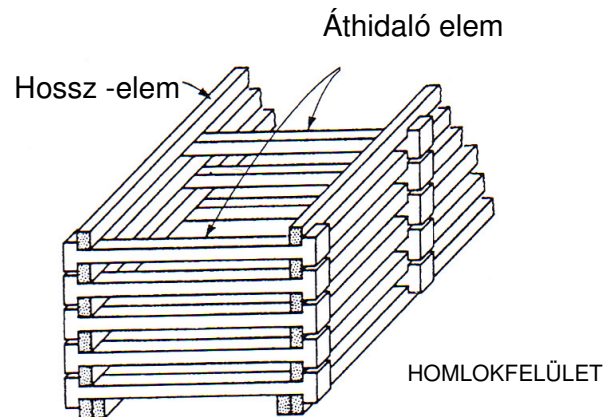
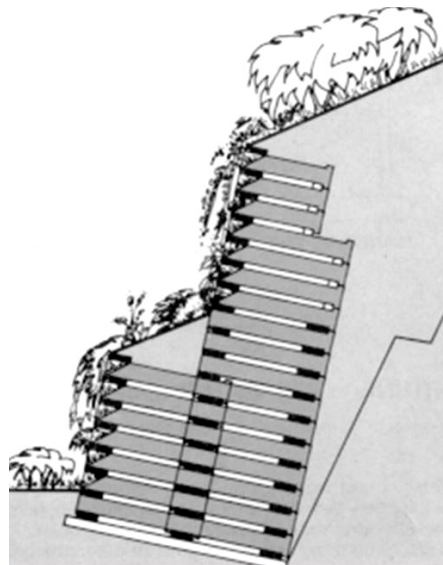
A méretezéskor a következő sajátos szempontokat kell figyelembe venni:

- 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.



41. ábra. Máglyafal fényképe



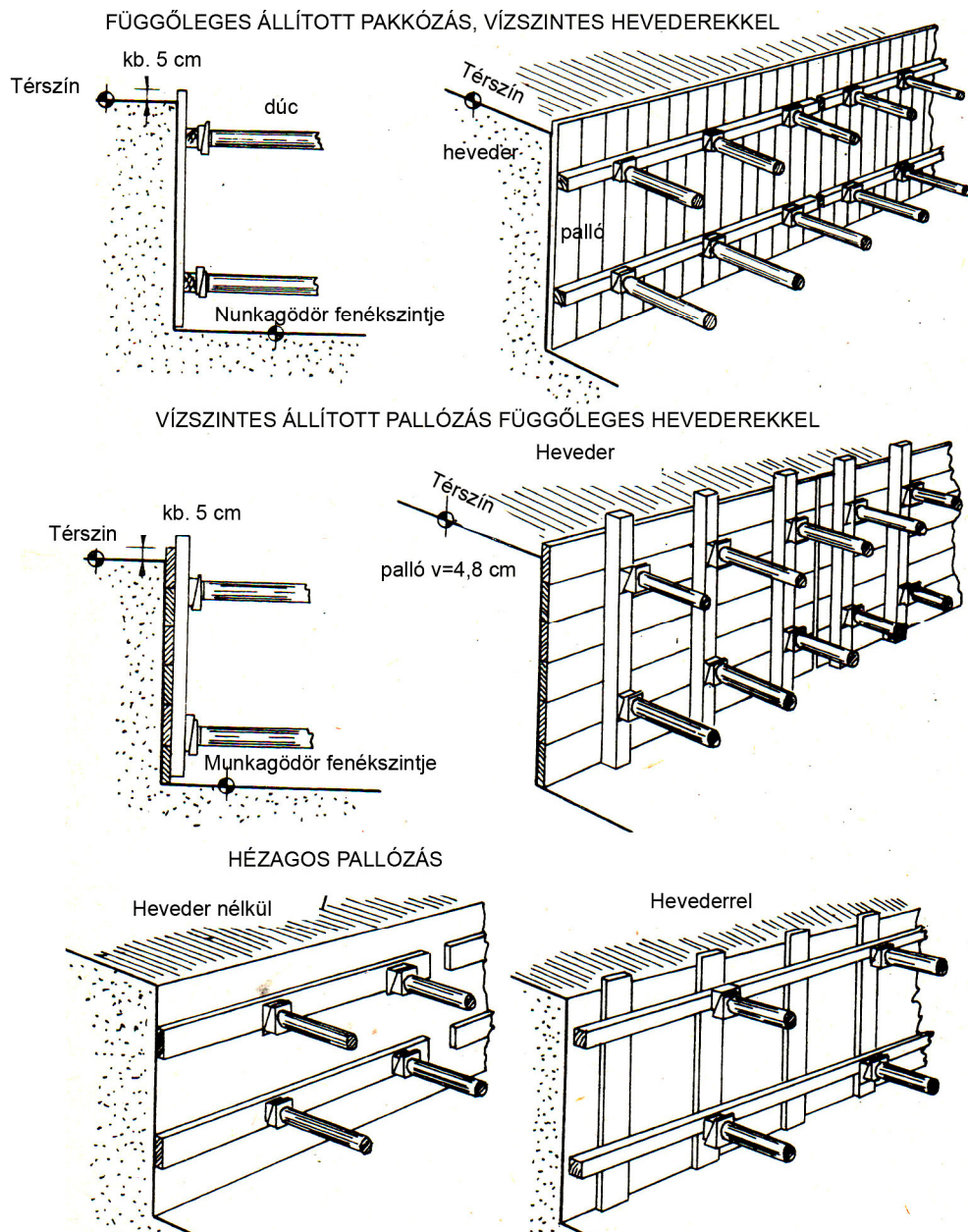
42. ábra. A máglyafal kialakítása, metszet és nézet.

## 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.

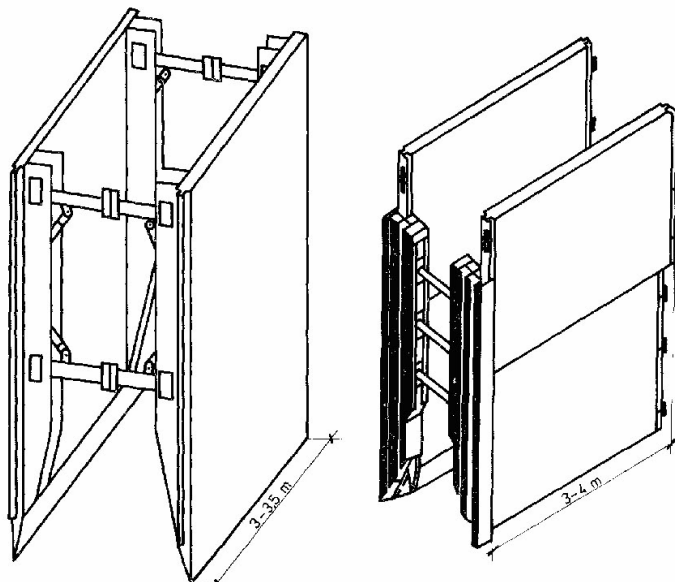


43. ábra. Különbéféle dúcolási megoldások

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 pallószélességnek 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.



44. ábra Nagytáblás zsaluózati kialakítás

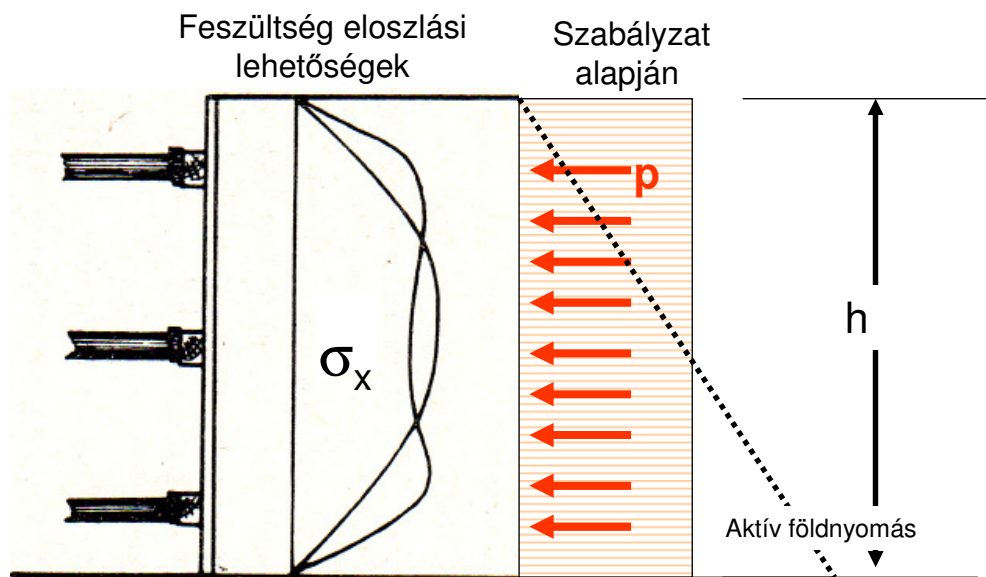
## DÚCNYOMÁS

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

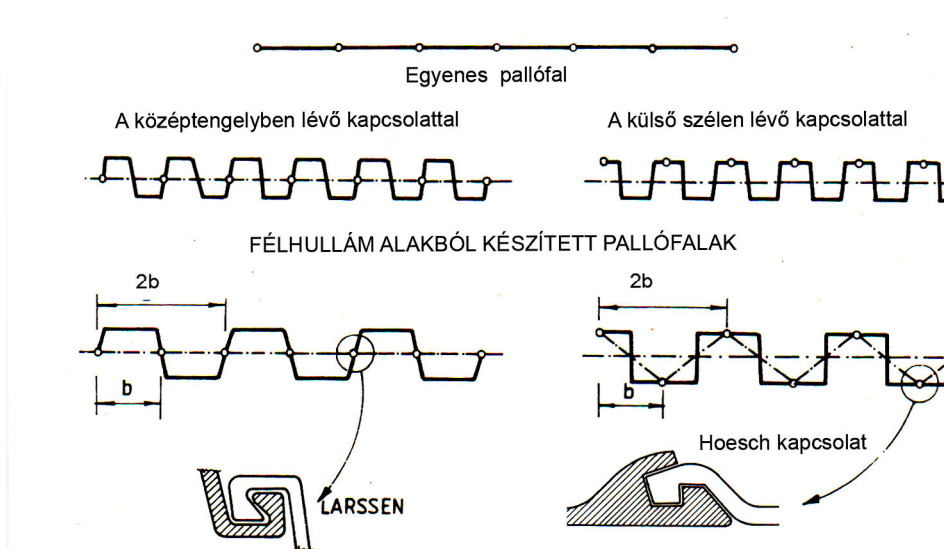
Kötött talajban : 
$$p = h \cdot \gamma - 4 \cdot c \cdot \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

45 ábra A ducnyomás 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.



46. 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.

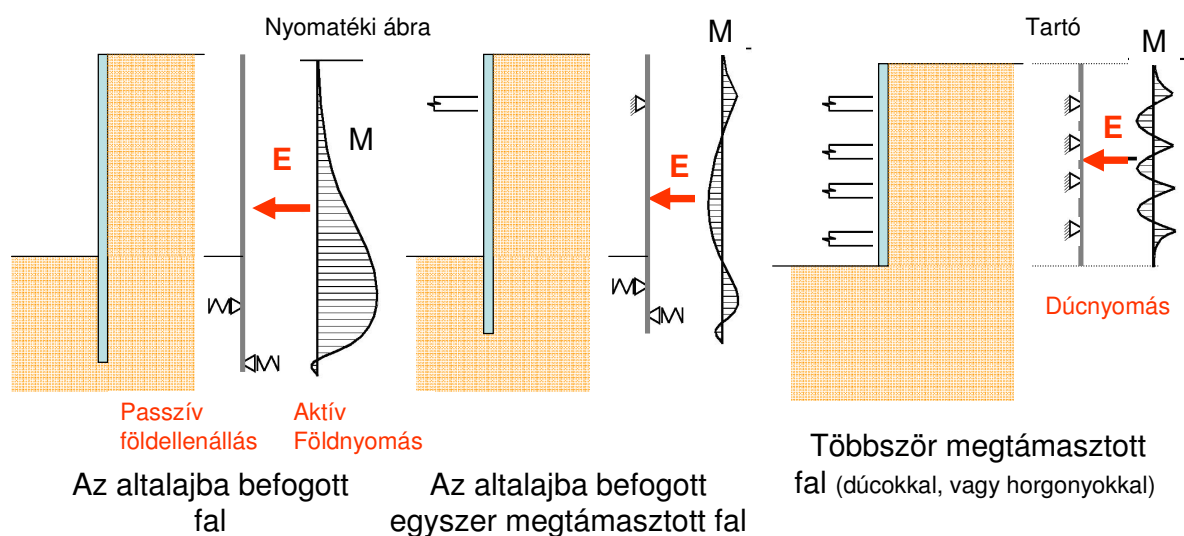
Az ilyen fal szükséges beverési mélysége körülbelül a megtámasztott föld, illetve víztömeg magasságával egyenlő.

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.



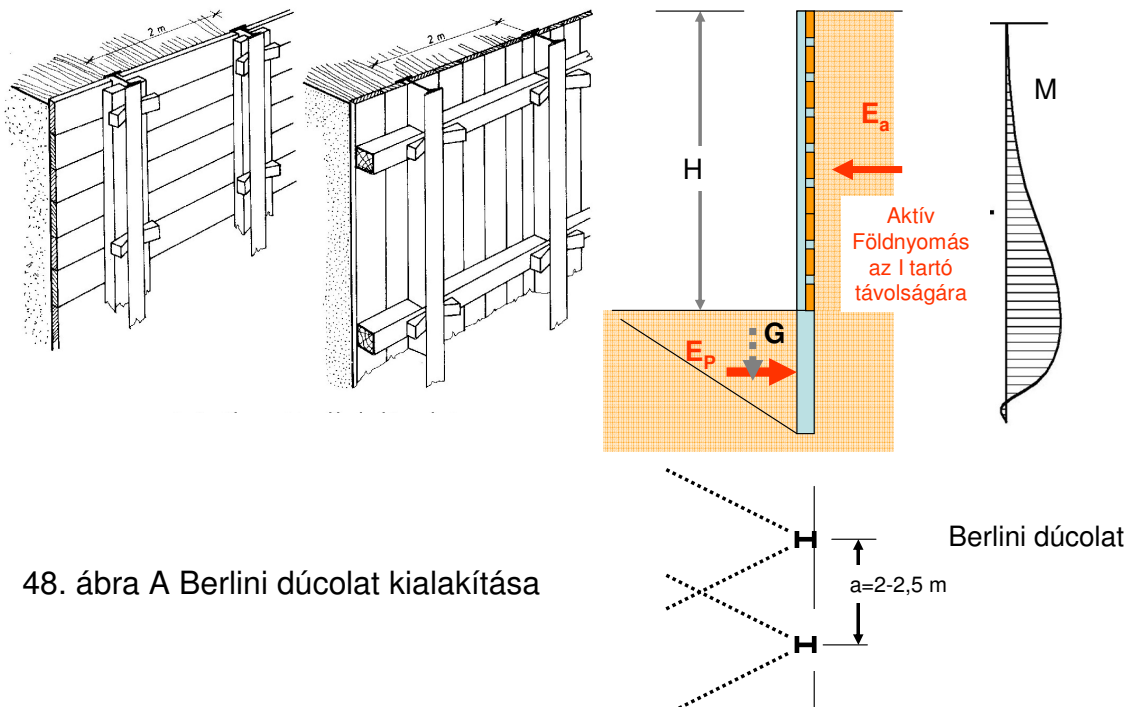
47. ábra a szádfalak igénybevételi ábrái

## 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 előrefúrt 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.



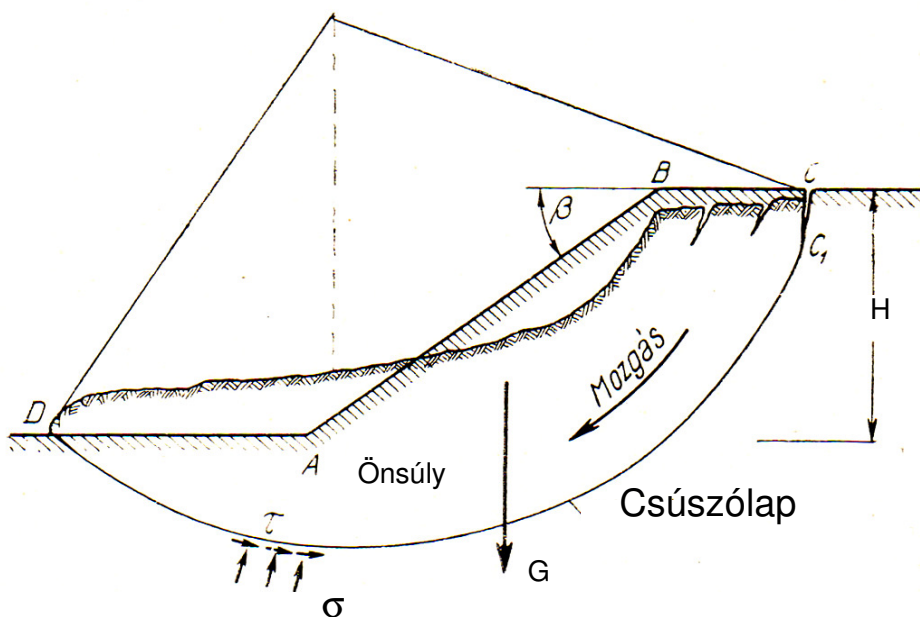
**Alkalmazása** akkor célszerű, ha 5-10 m mély a gödör, nincs talajvíz, s legalább 1 m-ig állékony a talaj. Előnye, hogy nem végleges határolást ad, anyagai többször felhasználhatók és tiszta a munkahely. Hátránya, hogy a készítése viszonylag sok élőmunkát kíván.



## SZABAD RÉZSÚK ÁLLÉKONYSÁGA

Valamely földművet, feltöltést vagy bevágást építve, annak határoló felületei nem alakíthatók ki tetszőlegesen meredek hajlással, hanem csak egy bizonyos, a földanyag belső ellenállásai által megszabott hajlásszöggel. A földművek e lejtős határfelületeit *rézsűknek* nevezzük; hajlásukat rendszerint vízszintessel bezárt szögük *cotangensével* jellemezzük;  $\rho = \cotg\beta$  értéket olyan törtszám alakjában szokás felírni, melynek nevezőjében 4 van, pl.  $\rho = 4/4, 6/4, 8/4$  stb.

Rézsűk határolják utak, vasutak, vízfolyások, csatornák stb. töltéseit és bevágásait, a legtöbb munkagödröt.



49.. ábra. A rézsű állékonyságának alapvető tényezői.

Ha a rézsút meredekebbre építjük, mint azt a talajban rendelkezésre álló belső súrlódás és kohézió megengedi, — vagyis a földtömeg belsejében fellépő feszültségek elérik a törést okozó értékeket — vagy pedig az eredetileg állékony rézsút alkotó talaj belső ellenállásai pl. átázás következtében (csökkennek, — *rézsűcsúszás, szakadás, suvadás* fog bekövetkezni, a rézsű földtömegének egy része leválik, lefelé és ki-felé elmozdul.

Ugyanilyen jellegű földmozgások léphetnek fel *természetes lejtők*, hegyoldalak esetében is.

Ilyen csúszások sokféle módon bekövetkezhetnek; lassan vagy hirtelen, előzetes jelek után vagy azok nélkül. Egy rézsű talaját sokáig áztathatja például a víz, a talaj víztartalma növekszik, míg végül a kis mennyiségi változások *minőségi* változásba csapnak át, a talaj

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.

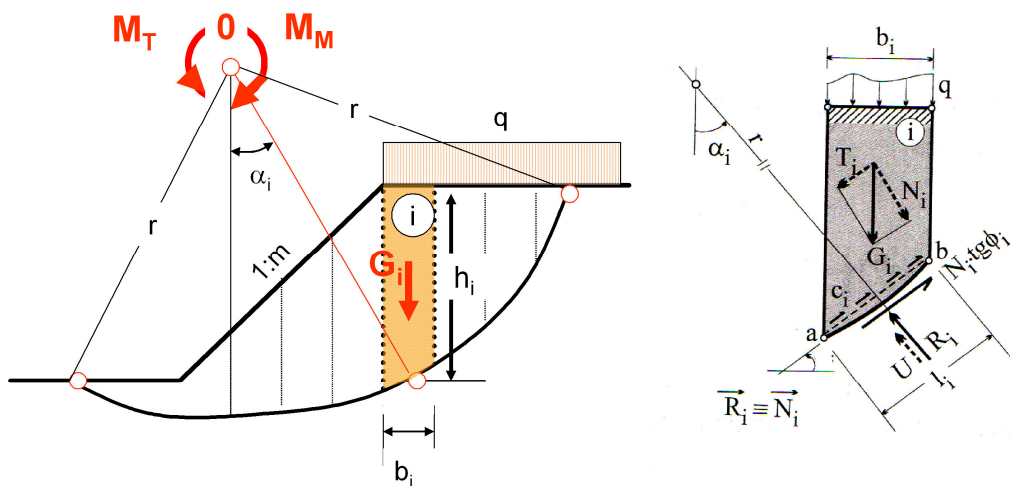
Különböző számítási módszer áll rendelkezésre az állékonysági vizsgálatokhoz. Az alapvető tulajdonságait az egyes módszereknek a táblázat szemlélteti.

## 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 nyomatóéki 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 nyomatóékainak viszonya minimum.



50. ábra Svéd nyomatóéki módszer a rézsűállékonyaság 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.

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

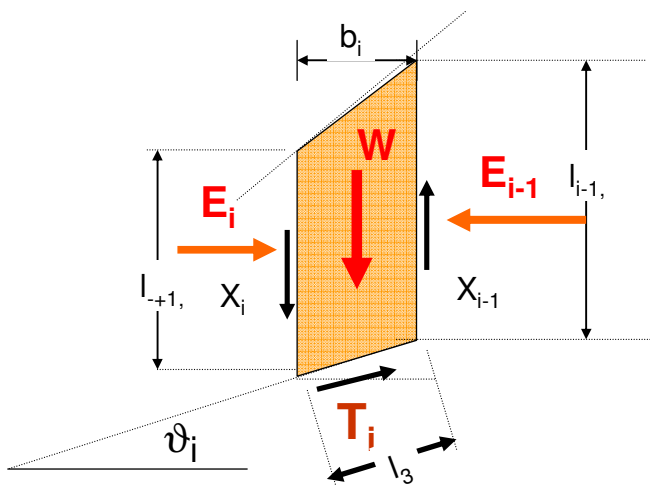
A csúszó lapnál fellépő nyírószilárdságot a Mohr-Coulomb feltétel alapján veszi figyelembe.

### 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.

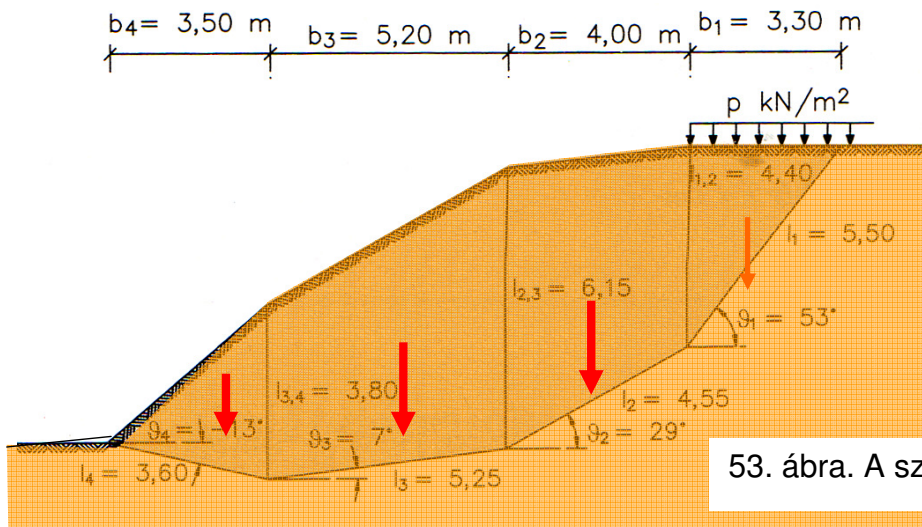
A lamella képzeletbeli függőleges elválasztó síkjainál fellépő nyíróellenállással is számol.

51. ábra A rézsúállékonyság vizsgálata Janbu módszerével



Példa:

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



53. ábra. A szám példa 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

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

mobilizált

Számítás:

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

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

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

$$G_3 = 19 \cdot \underbrace{\frac{l_{2,3} + l_{3,4}}{2} \cdot b_3}_{\text{terület}} = 19 \cdot \frac{6,15 + 3,8}{2} \cdot 5,2 = 491,5 \text{ kN/m}$$

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

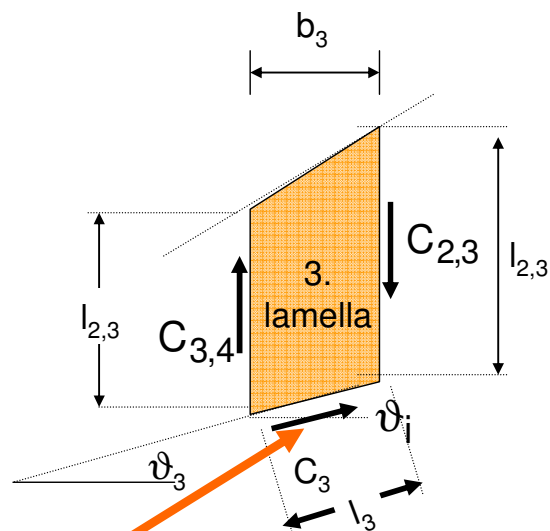
2. Kohéziós ellenállások:

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

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

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

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



54. 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

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

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

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

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

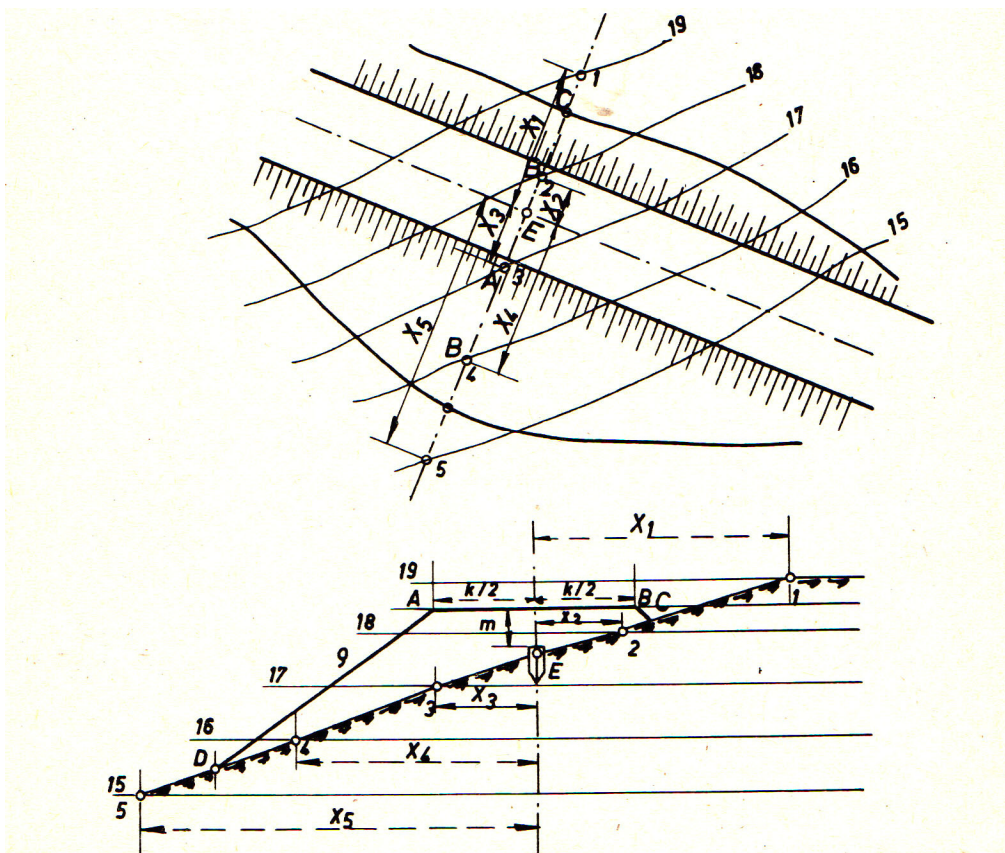


rézsúsík /bevágás vagy töltés/. A rézsúsík szintvonalait megszerkesztjük. Mivel ismerjük a kialakítandó rézsű hajlását, megszerkeszthető a rézsű esésvonala és ebből a szintvonalai. A rézsúsík és terep metszésvonala lesz a bevágási körömvonala, illetve töltés lábvonala.

### A keresztmetszvény

megszerkesztése a helyszínrajz alapján történik.

A mintaszelvény olyan keresztmetszvény, amelyen az összes állandó adatot feltüntetjük



55. 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:  $\rho=4/4$ ,  $\rho=6/4$ ;  $\rho=8/4$

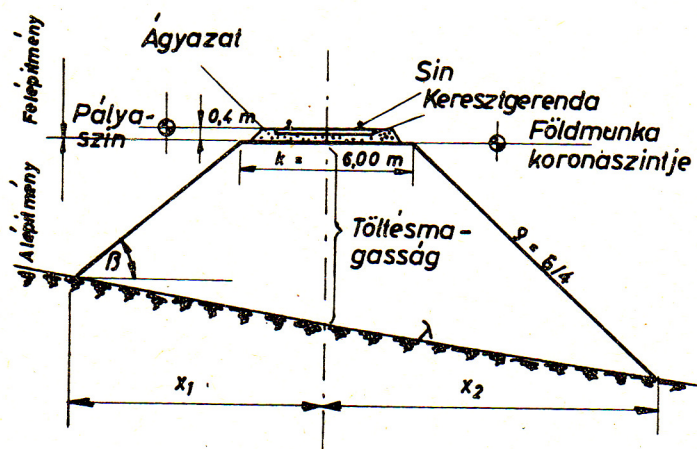
Vízépítési töltéseknél:  $\rho=1/1$ ,  $\rho=1/1,5$ ,  $\rho=1/2$ ,  $\rho=1/4$  stb. jelölést használjuk.

### Magasság:

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

### Körömpont, lábpont:

A rézsűsík és a terepfelület metszéspontjainak pontjai.



56 ábra Egy vasúti keresztmetszvény jellemző méretei

### Lábtávolság:

A lábpont vízszintes távolsága a pályatengely függőlegesétől.

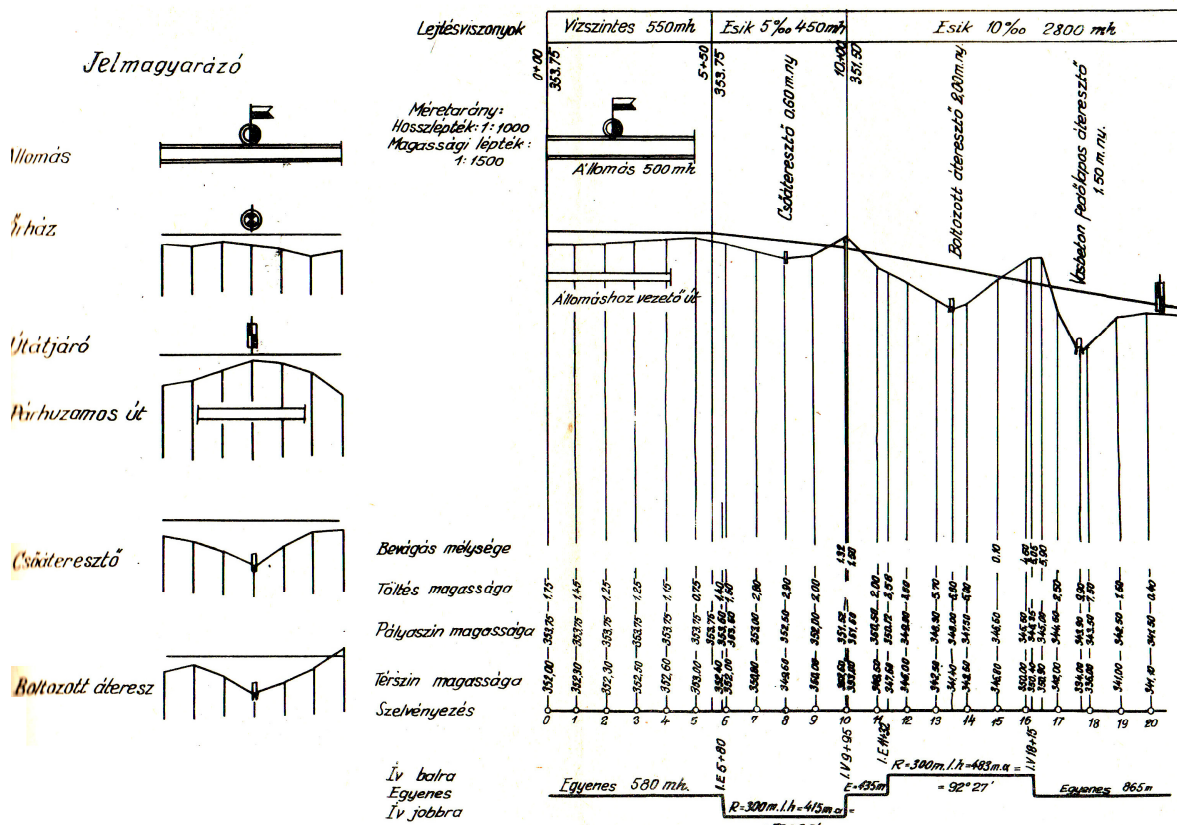
### Padka:

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 szelvénypontjaiban 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.



57. 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 hossz-léptéktől 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. Völgyzárógáták, 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/ töltésépítésre, 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**  $T_{r\%} = \frac{\rho_d}{\rho_{d_{max}}} \cdot 100$

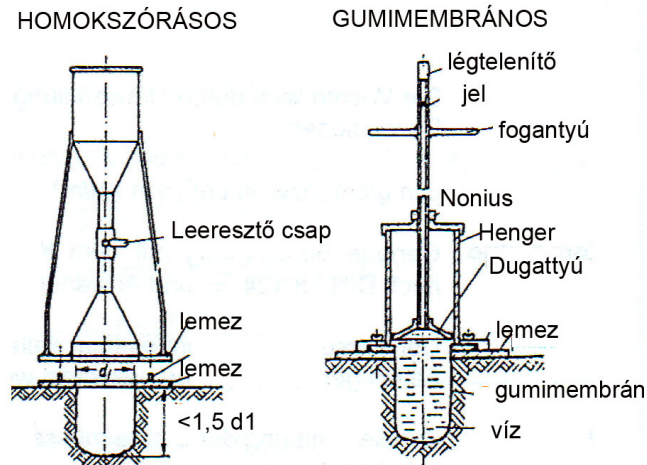
(aktuális száraz térfogatsűrűség a Proctor vizsgálattal meghatározott maximális száraz térfogatsűrűség százalékában.)

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.



58. ábra Homokszórásos és gumimembrános térfogtmérők 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
	töltéstartest	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
	töltéstartest	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, újraterhelési 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.

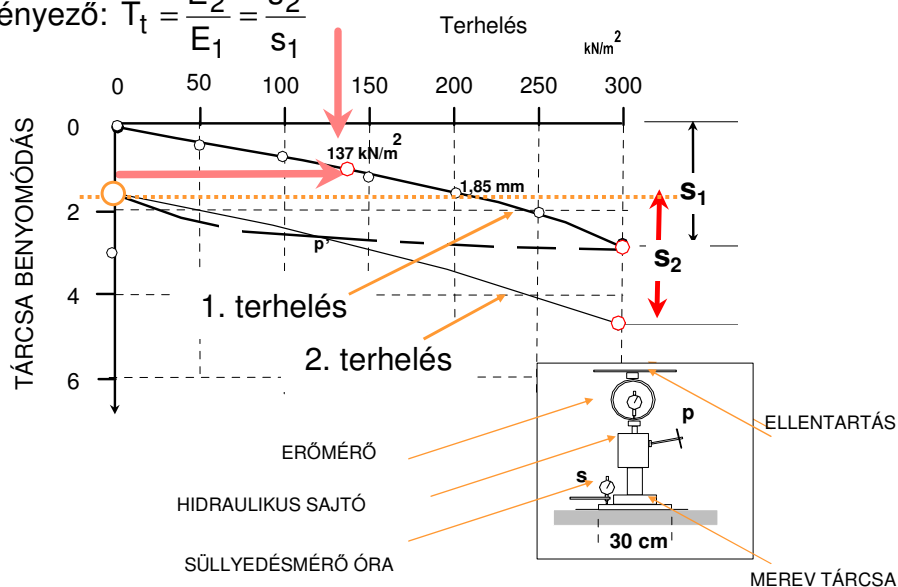
Rugalmasságtan alapján számják, és az ágyazatnál a  $\mu$  poisson tényezőt szemcsés talaj esetén 0,3, míg kötött talaj esetén 0,5 értékűre veszik fel.

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

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?

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



59. 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. Átvilágításos 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 kihúzóással 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.

## **FÖLDMŰVEK, VÍZTELENÍTÉS, TALAJJAVÍTÁS ÉS TALAJERŐSÍTÉS**

### **Alapkövetelmények**

A földmű, illetve a víztelenített, javított vagy erősített talaj legyen képes a rendeltetéséből következő vagy a környezetéből származó hatások viselésére, beleértve azt a talajzónát is amelyre a földmű kerül.

### **Földműépítés**

A földmű tervezésekor figyelembe kell venni, hogy földmű megfelelő, ha :

- az anyag beépíthetőségi jellemzői jók;
- a tömörítés után megfelelőek a műszaki jellemzők.

### **A földmű anyagának kiválasztása**

A földműépítésre alkalmas anyag jellemzőit úgy kell előírni, hogy az a tömörítés után a megkívánt szilárdságú, merevségű, tartósságú és áteresztőképességű legyen. Az elvárások megfogalmazásakor figyelemmel kell lenni a földmű céljára, valamint a ráépítendő bármely tartószerkezet által támasztott követelményekre.

Földmű céljára megfelelő lehet csaknem minden jól osztályozott, természetes szemcsés anyag, továbbá bizonyos másodlagos anyagok, mint például az osztályozott bányameddő és a pernye.

Bizonyos körülmények között egyes ipari termékek, mint például a könnyű adalékanyagok, is felhasználhatók. Némelyik kohéziós anyag is megfelelhet, de ezek esetében különös gondossággal kell eljárni.

Ha a helyben található anyagok természetes állapotukban nem alkalmasak a beépítésre, akkor a következő eljárások valamelyikét lehet alkalmazni:

- a víztartalom szabályozása;
- cement, mész vagy más anyagok hozzákeverése;
- aprítás, átszítálás vagy átmosás;
- védelem megfelelő anyaggal;
- drénező rétegek alkalmazása.
- 

Fagyott, duzzadó vagy oldható talajokat általában nem helyes földmű anyagaként használni.

Ha a kiválasztott anyag esetleg agresszívvá vagy környezetszennyezővé váló vegyi anyagot tartalmaz, akkor megfelelő óvintézkedéseket kell tenni, hogy ezek ne veszélyeztethessék a tartószerkezeteket, a közműveket és ne szennyezzék a talajvizet. Az ilyen anyagokat nagy mennyiségben csak folyamatos megfigyelés mellett szabad felhasználni.

Kétséges esetben a töltésanyagnak az adott célra való alkalmasságát a származási helyen kell vizsgálni. A vizsgálatok számát, típusát és gyakoriságát az anyag típusa, heterogenitása, valamint a projekt jellege szerint kell megválasztani.



## **A földanyag elterítési és tömörítési módjának megválasztása**

A földmű mindenegyes zónájának vagy rétegének tömörségi követelményeit a földmű céljával és teljesítőképességi követelményeihez igazodóan kell megtervezni.

A földanyag elterítésére és tömörítésére olyan eljárásokat kell választani, amelyek biztosítják a földmű állékonyságát a teljes építési idő alatt, és hogy az eredeti altalaj sem lesz hátrányos hatásoknak kitéve.

Célszerű a megfelelő tömörítési eljárás kidolgozásához helyszíni próbatömörítést végrehajtani a beépítésre szánt anyaggal és a tervezett tömörítő eszközzel. Ebből lehet megállapítani a követendő tömörítési eljárás jellemzőit (terítési mód, tömörítő eszköz, rétegvastagság, járatszám, megfelelő szállítási mód, adagolandó vízmennyiség). A próbatömörítés alkalmazható az ellenőrzési követelmények megállapítására is.

Ahol a kohéziós földanyag beépítése idején csapadék várható, ott helyes a földmű felületét minden munkaszakaszban úgy kialakítani, hogy a víz megfelelő módon lefolyhassék róla.

Fagypont alatti hőmérsékletek esetén szükség lehet a földanyag melegítésére, majd az elkészült felszín fagyvédelmére. Az ilyen beavatkozások szükségességét ajánlatos esetenként elbírálni, számításba véve a földanyag minőségét és megkövetelt tömörségét.

A földanyagot ajánlatos rendezett és víztelenített talajfelszínen elteríteni. Célszerű szűrő textília vagy szűrő réteg használatával megakadályozni a töltésanyag és az altalaj bármilyen keveredését.

Víz alá kerülő töltésanyag bejuttatása előtt ajánlatos kotrással vagy más módon eltávolítani onnan minden puha anyagot.

### **A földmű ellenőrzése**

A földművet szemrevételezéssel vagy mérésekkel kell ellenőrizni, hogy az anyag típusa, beépítési víztartalma és tömörítési eljárása biztosan megfeleljen az előírtaknak.

A töltésanyagok és a tömörítési eljárások bizonyos kombinációja esetén a tömörséget nem szükséges mérésekkel ellenőrizni, ha a tömörítési eljárás a próbatömörítés vagy a korábbi, összehasonlítható tapasztalatok alapján megfelelőnek bizonyult.

A tömörség a következő módszerek valamelyikével ellenőrizhető:

- a száraz térfogatsűrűség mérése és – ha a terv megkívánta – a víztartalom mérése;
- olyan jellemzők mérése, mint pl. a behatolási ellenállás vagy a merevség. Az ilyen mérések azonban nem mindig alkalmasak a kohéziós talajok tömörségének a megítélésére.

Ajánlatos előírni és a helyszínen ellenőrizni a – például Proctor-százalékban meghatározott – szükséges legkisebb tömörséget.

Kőanyag vagy nagy mennyiségű durva szemcsét tartalmazó anyag esetén a terepi módszerekkel végzett ellenőrzés indokolt. Ilyen anyagok esetén a Proctor-vizsgálat alkalmatlan.

A helyszíni ellenőrzés a következők valamelyikével lehetséges:

- annak megállapításával, hogy a tömörítés a próbatömörítés vagy az összehasonlítható tapasztalatok alapján meghatározott eljárás szerint történt;
- annak megállapításával, hogy a tömörítő eszköz egy további járata csak az előzetesen megszabottnál kisebb többletsüllyedést okoz;
- tárcsás teherbírás-vizsgálattal;
- szeizmikus vagy dinamikus módszerekkel.

Ha túltömörítés nem engedhető meg, elő kell írni a tömörség felső határértékét is.

A túltömörítés a következő kedvezőtlen hatásokat válthatja ki:

- rejtett csúszólapok és túlzott talajmerevség kialakulása rézsűkben;
- túlzottan nagy földnyomás kialakulása földbe ágyazott és földet megtámasztó szerkezeteken;
- az anyag széttöredezése könnyű töltésképző anyagok, pl. gyenge kőzetek, salakok, vulkáni tufák esetében.

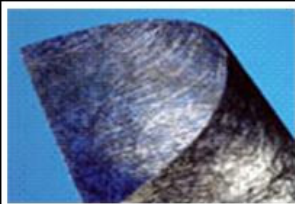



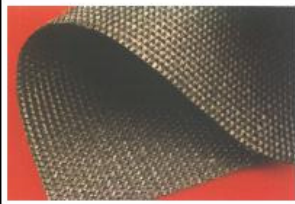

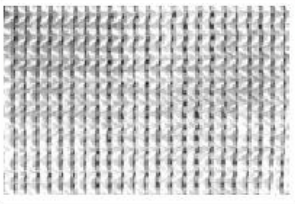


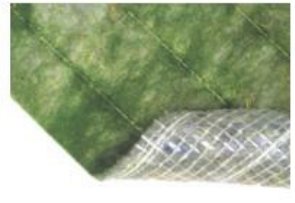

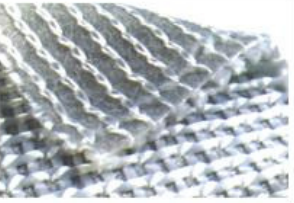
## 2. MELLÉKLET GEOTEXTILIÁK









### A GEOTEXTILIÁK JELLEMZŐI

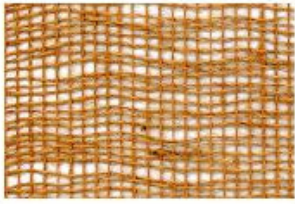
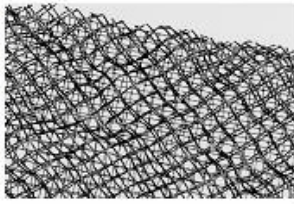



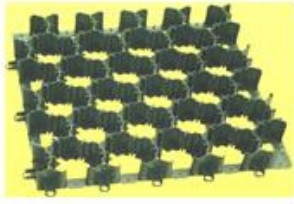

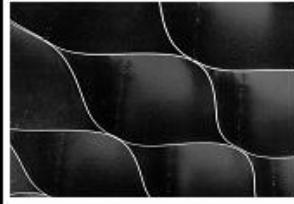

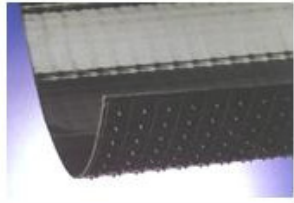






A szőtt és nemezelt (csak mechanikusan, vagy termikusan ill. kémiai hatásokkal rögzített) és a filc. vatta szerű kivitel ismert.

A geotextiliák anyagának elég sok követelményt kell kielégítenie. Legyen: vízáteresztő; szűrőképes; fagyálló; + 160 C<sup>0</sup>-ig hőálló; könnyű; vegyileg és fizikailag is ellenálló; legyen bizonyos húzószilárdsága bizonyos (előírt) szakadási nyúlás mellett. E követelményeknek a polieszter, polipropilén vagy poliamid anyagú geotextiliák felelhetnek meg. Előfordul ezek bizonyos arányú keveréke is. Különlegességnek számítanak a vegyes anyagú (réteges) textiliák. Ilyen például a bentonitbetétes, vagy gumiréteges magyar gyártmány; vagy a fűmaggal gyártott rézsűvédő anyag. Készülnek olyan kifejezetten ideiglenes rendeltetésű geotextiliák, amelyek az atmoszferi és a biológiai tényezők hatására bizonyos idő elteltével elbomlanak, és készülnek olyanok is, amelyeket víztaszító anyagokkal impregnálnak.

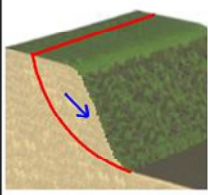
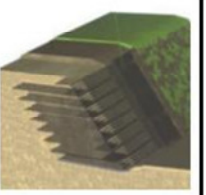
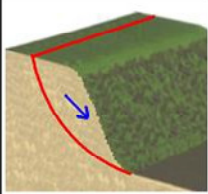
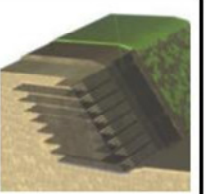
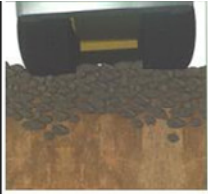
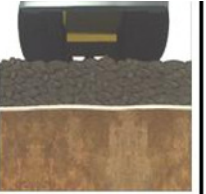
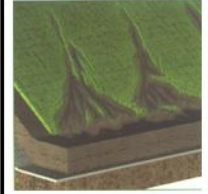
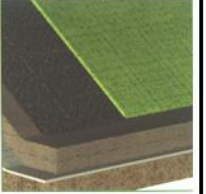
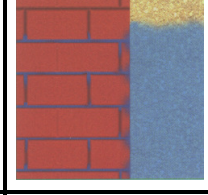
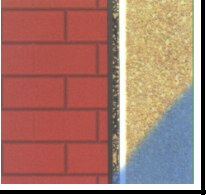
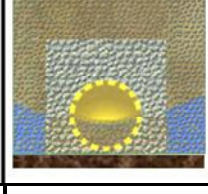
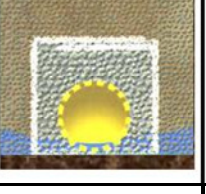
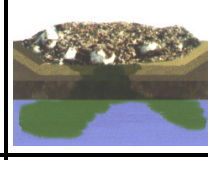
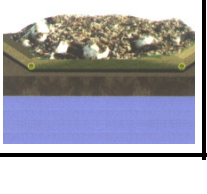
A nagyobb gyártó cégek termékcsaládokat bocsátanak ki, amelyek egyes tagjai anyagukkal és/vagy valamely méretükkel, illetve tulajdonságukkal különböznek a többiektől. A tulajdonságok közé tartoznak az egymás mellé helyezett textiliák csatlakozási lehetőségei is. Ez a céltól és az anyagi tulajdonságoktól függően lehet egyszerű átfedés, összevarrás, hegesztés, ragasztás.

			
nemezelt (hőkezelt) geotextília	nemezelt (tűzött) geotextília	többrétegű (nemezelt) geotextília	többrétegű (nemezelt) geotextília
			
(szalagokból) szőtt geotextília	(fonálból) szőtt geotextília	(fonálból) hurkolt geotextília	többrétegű (nemezelt-szőtt) geotextília
			
nemezelt, (lyukasztott) geotextília	erősített, fűmagos nemezelt geotextília	erősített, szőtt geotextília	többrétegű, hurkolt-nemezelt geotextília

			
lyukasztott lemezből két- irányban extrudált georács	lyukasztott lemezből egy- irányban extrudált georács	egy fázisban, kétirányban extrudált, georács	extrudált, többrétegű kétirányú georács
			

			
geopokróc	georácsból készített geoszőnyeg	geoszálból préselt geoszőnyeg	geocella
			
geocella	geocella	georácsból szerelt geocella	geomembránból készített geocella
			
perforált geocső	HDPE geomembrán	geoszintetikus agyagszigetelő	geokompozit szalagdrén
			
geokompozit drénháló	geokompozit drénháló	geokompozit drénszőnyeg	geokompozit drénlemez

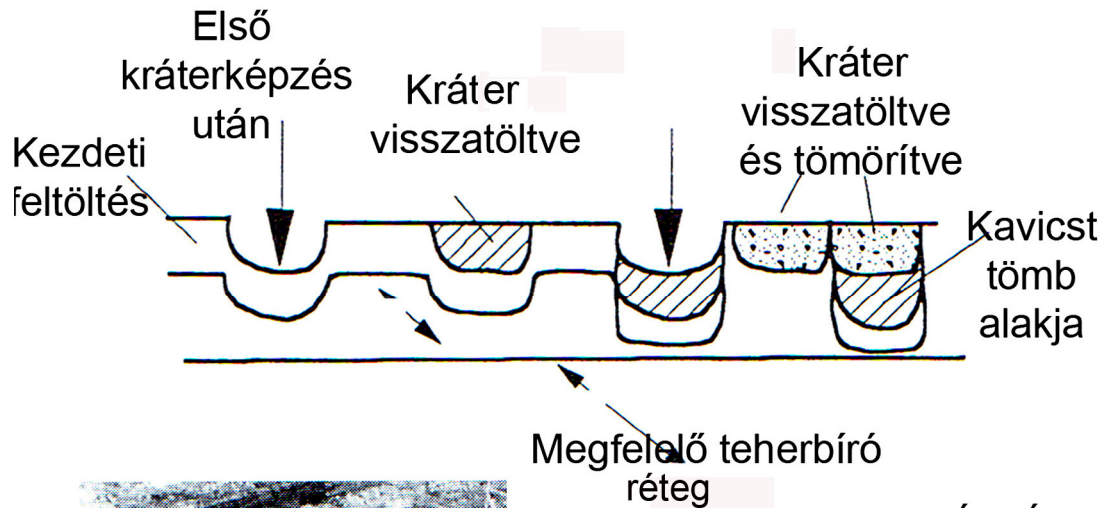
## Geoműanyagok

Funkció	Viselkedés		Definíció	Ajánlott geoműanyag	Magyarázat
	geoműanyag nélkül	geoműanyaggal			
Erősítés			Húzófeszültség kölcsönzése a talajnak	Geotextília Georács Geokompozit Geocellák	A georács húzószilárdságot kölcsönöz a talajnak, így pl. a nyírószilárdság által megengedettnél meredekebb részsű sem csúszik meg.
Erősítés			Talajjal érintkező felület mechanikai védelme	Geotextília	A geotextília meggátolja, hogy a szemcsés anyag sérülést okozzon a csatlakozó szerkezet felületén
Elválasztás			Különböző talajok keveredésének meggátolása	Geotextília	A geotextília meggátolja a durva- és a finomszemcsés talajok keveredését, ezzel az utóbbi megőrzi kedvező tulajdonságait.
Erózió-védelem			Eső okozta talajmozgás meggátolása, növényzet erősítése	Geotextília Geopokróc Geoszőnyeg Geoháló Geocella Geokompozit	A geoműanyag a növényzet megerősödéséig megvédi a földmű felületét attól, hogy a lefolyó vizek elragadják a szemcséket.
Drénezés			Folyadék szállítása	Geotextília Geoháló Geodrén Geokompozit Geocső	A geoműanyag síkjában elvezeti a vizet, így az nem gyűlik össze, nem okoz nyomást, elnedvesedést.
Szűrés			Folyadék átengedése, talajszemcsék megállítása	Geotextília	A szivárgó kavicsbetét és a dréncsővet a víz által bemosott finom szemcsék nem tömítik el, így a drénezés tartós lesz.
Szigetelés			Folyadék-(gáz)mozgás megállítása	Geomembrán Geoszintetikus agyagszigetelő	A hulladékon átszivárogva szennyezetté váló víz nem szivárog be a talajba, ill. a talajvízbe, így az tiszta marad.

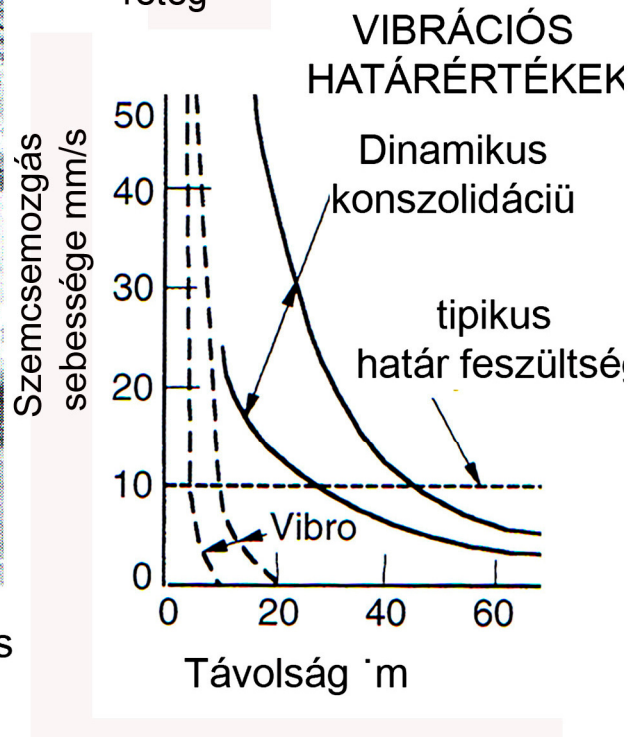
Geoműanyagok alkalmazási lehetőségei, előnyei.

# DINAMIKUS TALAJCSERE

Tipikus méretei: tömzsátmérő 3,5 m,  
 tengelytávolság 5,0 m,  
 0,75 m vastag terítőréteg 4,0 m vastag lágy rétegbe  
 dinamikusan tömörítve



Az első kráterképzés utáni kép



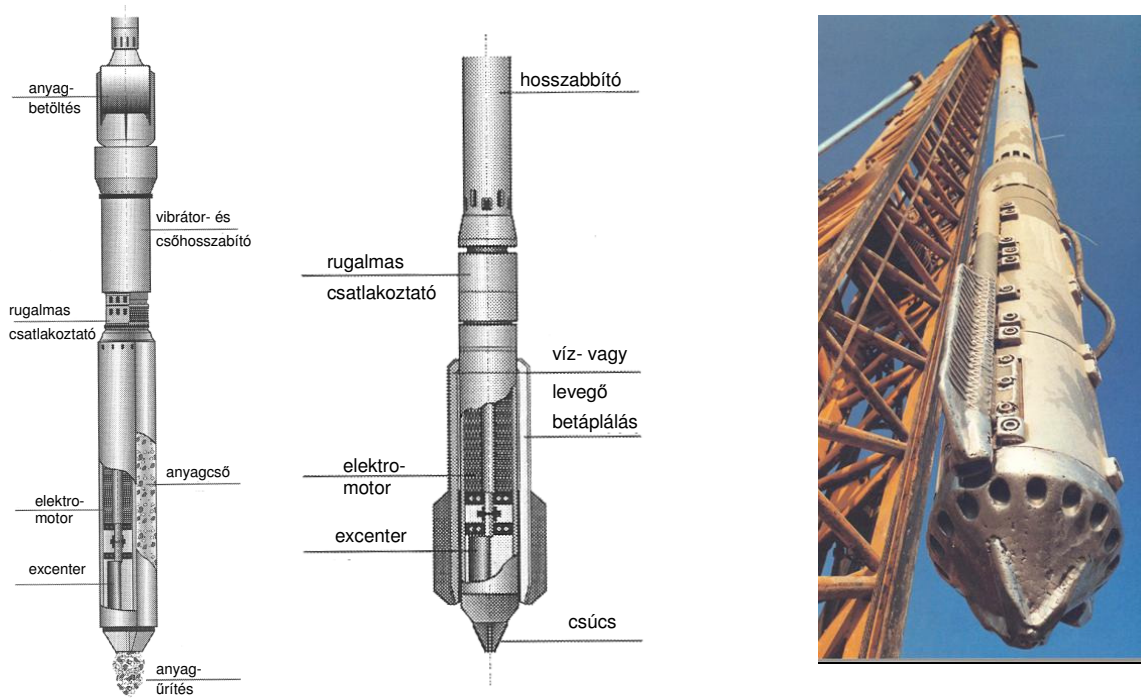
Dinamikus talajcsere végrehajtása, fontosabb paraméterei.

### 3. MELLÉKLET

## MÉLYTÖMÖRÍTÉSI, MÉLYVIBRÁCIÓS ELJÁRÁS (VIBROFLOTÁCIÓ)

A mélyvibrációs, mélytömörítési eljárás **alapegysége** a darura felszerelt rezgékeltő, nagy tömörítő hatásra képes henger " vibrátor fej ", amelyet a talajba juttatáshoz **a henger** végén lévő csúcsnál nagynyomású víz, besajtolásához szükséges **kiegészítőkkal** látnak el.

A kívánt tömörítési hely fölé állított berendezés először az intenzív vízbesajtolás és vibrálás együttes hatására a talajba hatol.



50. ábra A mélyvibrációs eljárás alapgépei. A.) belső anyagtöltős, b.) külső anyagtöltős vibrátor. C.) A vibrátor fényképe

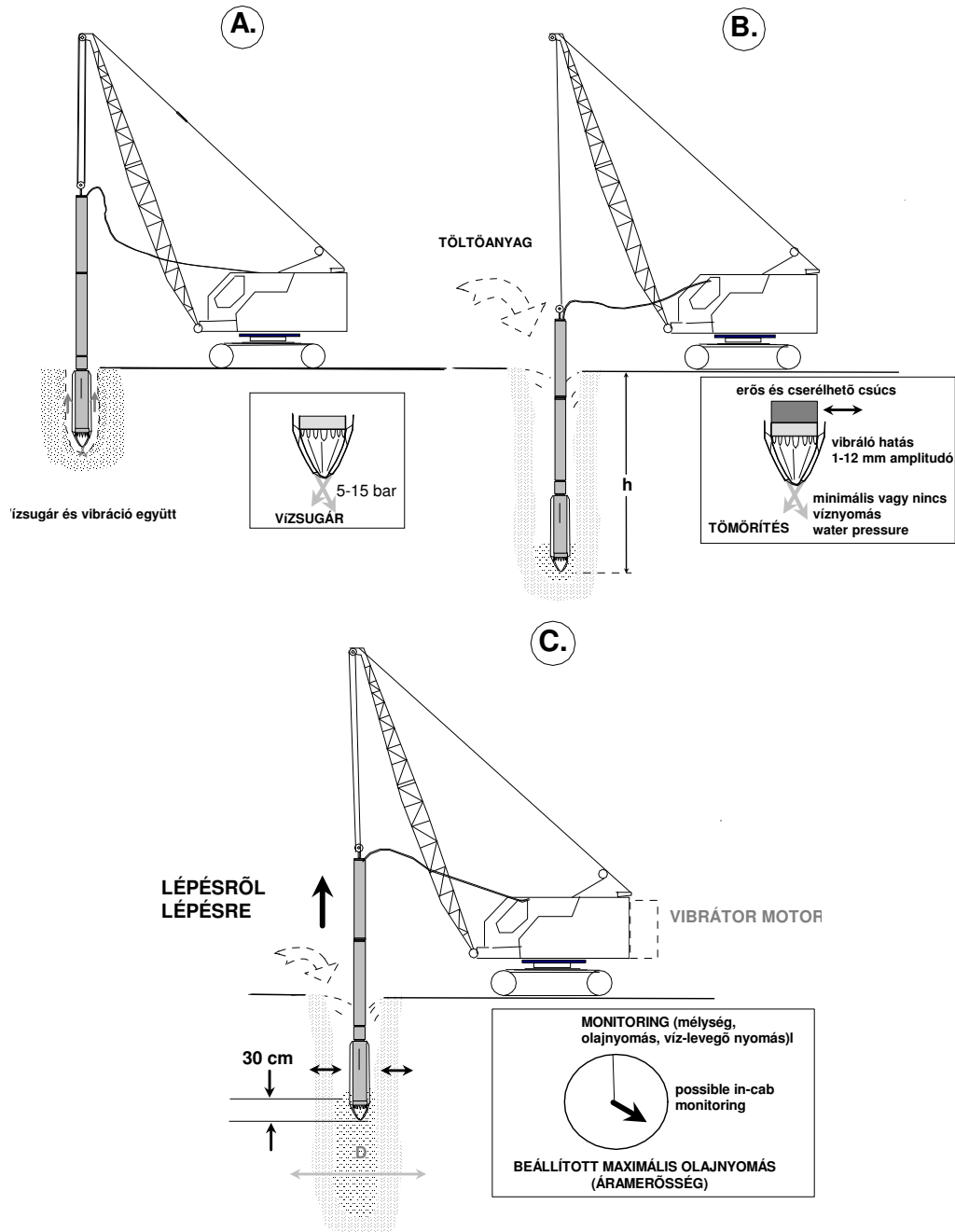
A kívánt mélység elérése után a henger palástjához juttatott töltőanyag / kavics, kőtörmelék, eredeti szemcsés talaj / a **vibrátor** részhez **jutva** igen nagy **erőhatással** / max. 400 KN, 0-12 mm amplitudóval és változtatható frekvenciával a/ **a** talajba préselődik. **A tömörítés során a vibrátor hidraulikus motorjának olajnyomása** (hidromotoros meghajtás esetén, elektromos meghajtásnál az áramerősség felvétel), jelzi a tömörítő préselő hatást.

Szemcsés talajoknál a **környezeti** tömörítő hatás **dominánsabb**, míg kötött **talajban** -



ahol a vibrációs hatás lényegesen kisebb - a talajba préselt kő vagy kavicsanyagú cölöptest alakul ki.

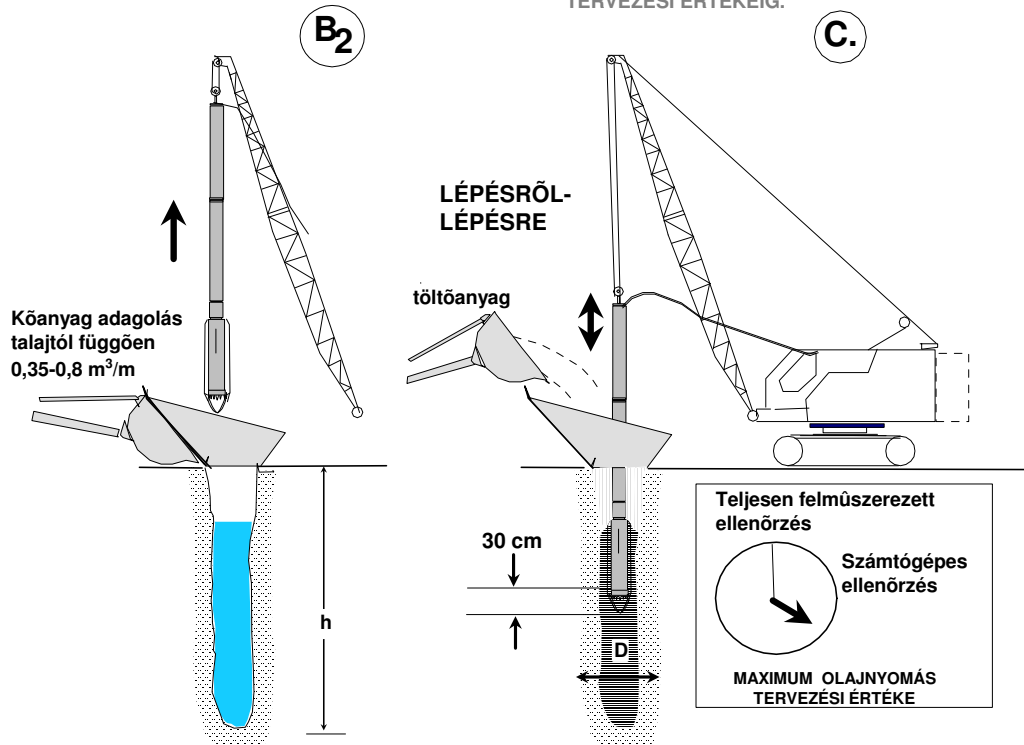
### SZEMCSÉS TALAJOKNÁL ALKALMAZOTT MÓDSZER



A mélyvibrációs-mélytömörítési eljárás munkafázisai. A.) a vibrátor talajba juttatása vibrációval és egyszerre egy pontra irányított vízszugárral. B.) és C.) szemcsés talajoknál a vibrátort nem húzzák vissza. Saját talajanyagával is lehetséges a tömörítés.

**KÖTÖTT TALAJ ESETBEN  
A VIBRÁTORT VISSZAHÚZZÁK**

**30-40 CM-ENKENT TÖMÖRITIK A  
KŐANYAGOT A VIBRÁTOR OLAJNYOMÁSÁNAK  
TERVEZÉSI ÉRTÉKÉIG.**



Kötött talajban alkalmazott kavicscölöpös eljárás.



Összekapcsolt vibrátorokkal végzett tömörítési eljárás. Japán –Osaka repülőtér építése.

