

Tirpák András

A talajokban keletkező
feszültségek, alakváltozások és
talajsüllyedések



A követelménymodul megnevezése:

Építőipari mérések értékelése, szervezési feladatok

A követelménymodul száma: 0689-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-010-50



A TALAJOKBAN KELETKEZŐ FESZÜLTSEGEK

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön, mint a mélyépítési vállalkozás technikus, talajmechanikai vizsgálatokat végez, és a mérések eredményeit feldolgozza. A tervezett és kivitelezett létesítmények önsúlya, a külső terhelései a talajokban feszültségeket ébresztenek, a feszültségek alakváltozásokat hoznak létre, melyek az építmény süllyedését, alakváltozását idézik elő. Ha a feszültségek elérnek egy kritikus állapotot, a talaj talajtörési állapotba kerül.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A TALAJOKBAN KELETKEZŐ FESZÜLTSEGEK

1. A talaj kohéziója és belső súrlódási szöge

A külső erők hatására a talajban belső igénybevételek – nyomó-, húzó- és nyírófeszültségek – lépnek fel. A talajok teherbírása alapvetően a nyírási igénybevételtől függ. A keletkező nyírófeszültségekkel szembeni ellenállást nyírószilárdságnak nevezzük. Ha az építmény alatt a talajban fellépő nyírófeszültség értéke eléri a nyírószilárdság értékét, talajtörés következik be.

A nyírószilárdság összetevői:

- a belső súrlódás, amely a talajszemcsék közötti fajlagos súrlódási erő,
- a kohézió, amely a talajszemcséket tömören összetartó fajlagos erő.

A szemcsés talajoknak (homokos kavics, homok) nagy a belső súrlódása, de kohéziója nincs (nedvesség hatására látszólagos kohézió alakulhat ki bennük).

A homokliszt és az iszapos talajok belső súrlódással és kohézióval is rendelkeznek.

A szemcsés talajok elcsúszással szembeni ellenállása a szemcsék egymásba való kapaszkodásából, gördülő és csúszó ellenállásból tevődik össze. A talaj belső súrlódását (ϕ) súrlódási szöggel fejezzük ki.

A súrlódási szög homokos kavicsnál, homoknál $\phi = 30-35^\circ$, iszapnál $\phi = 15-25^\circ$. Értéke a víztartalomtól és a tömörségtől függ.

A kötött talajok nagy kohézióval rendelkezhetnek, és nagyon kicsi a belső súrlódásuk. A kohézió értékét a talaj víztartalma befolyásolja. A száraz állapotú kötött talaj rendelkezik a legnagyobb kohézióval.

A kohéziót részben a kapilláris húzóerő okozza. A finomabb szemcséjű talajok pórusai, kapillárisai kisebbek, mint a durvább szemcséjű talajoké, ezért nagyobb kohézióval rendelkeznek.

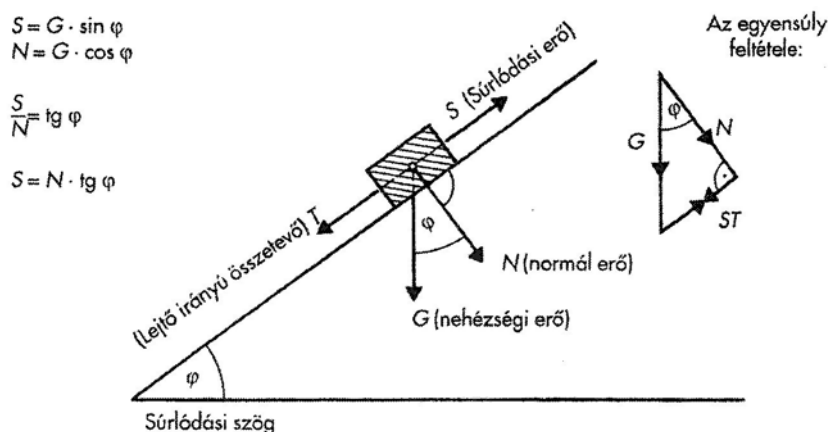
Az agyagok kohézióértéke $g = 100 \text{ kN/m}^2$, az iszap kohézióértéke $g = 50\text{--}100 \text{ kN/m}^2$.

A törés pillanatában a külső nyíróerő (T) éppen a talaj belső ellenállásával, a kohézió (c) és a súrlódóerő (S) összegével egyenlő.

A kohézió arányos a nyírt felülettel (A). A kötött talajok fajlagos felülete nagyobb, mint a szemcsés talajoké, ezért a kohéziója is nagyobb.

Ha súrlódási kísérletet végzünk, a G súlyerejű test a lejtőn akkor csúszik meg, ha a G súly a lejtő irányába mutató összetevője $T = G \cdot \sin \varphi \geq S$, ahol az S a súrlódási erő. Ha $T = S$ -el, határeset alakul ki.

A súrlódási erő (S) a felületre merőleges erővel arányos:



1. ábra. A súrlódási szög értelmezése¹

$$S = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Az egyensúlyi egyenlet a törés pillanatában:

$$T = S + A \cdot c$$

¹ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 54. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998.

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \phi + A \cdot c$$

Ha az egyensúlyi egyenletet mindkét oldalon osztjuk a felülettel, megkapjuk a nyírófeszültség értékét **Coulomb-törvénye** szerint:

$$T / A = (N \cdot \operatorname{tg} \phi + A \cdot c) / A$$

$$T / A = \tau \text{ és } N/A = \sigma$$

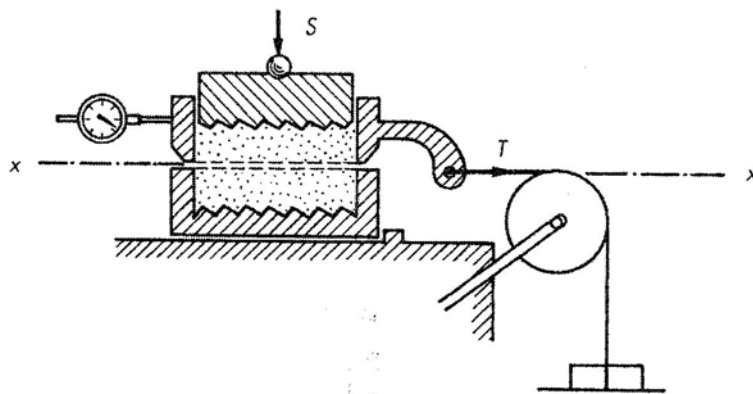
$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi + c \text{ ahol a}$$

τ - nyírófeszültség	kN/m ²
σ - normálfeszültség	kN/m ²
ϕ - belső súrlódási szög	fok (°)
c - kohézió	kN/m ²

Az a felület, amelynek minden pontján teljesül a Coulomb-egyenés, a csúszólap.

A nyírószilárdságot nyírási vizsgálattal határozhatjuk meg.

A talajmintát két, egymás felett elmozdítható keretbe fogott nyomólap közé helyezük. A nyomólapra merőlegesen állandó nagyságú erőt (N) gyakorolunk, és a felső keretet elmozdítjuk. A talajminta csak bizonyos nagyságú vízszintes nyíróerőt (T) tud felvenni, majd a talajminta elnyíródik, és kialakul a csúszólap.



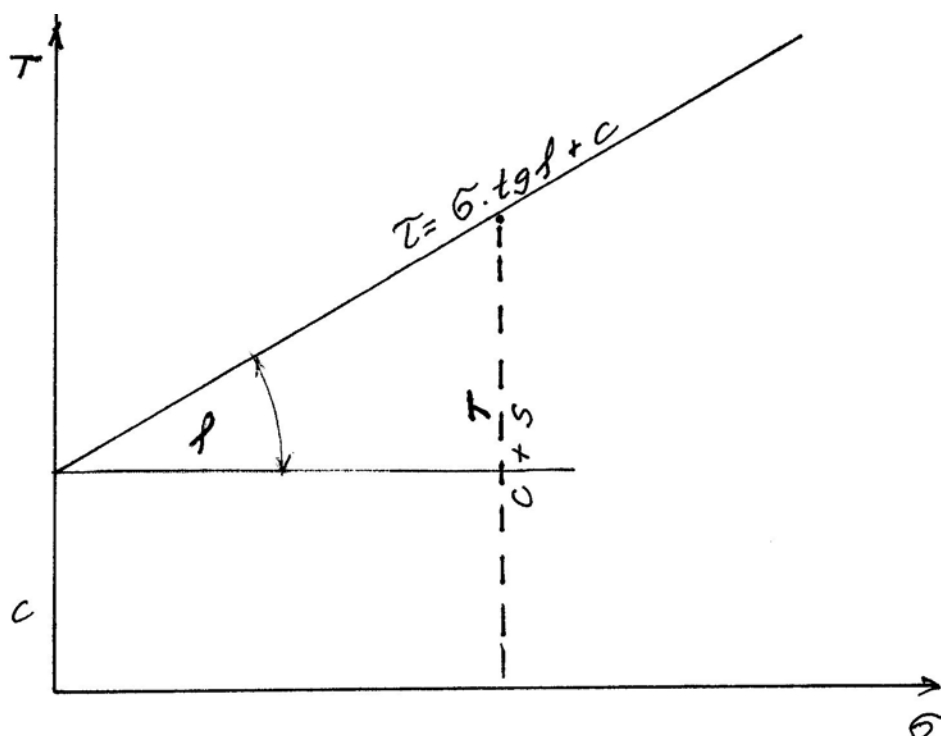
2. ábra. A talajok közvetlen nyírására használt készülék és működése²

Megváltoztatjuk a merőleges (N) erőt, ennek megfelelően változik a (T) nyíróerő is. A normál és nyíróerőkből feszültségeket számítunk:

² Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 54. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

$$\sigma_1 = N_1/A \quad \text{kN/m}^2; \quad \tau_1 = T_1/A \quad \text{kN/m}^2,$$

$$\sigma_2 = N_2/A \quad \text{kN/m}^2; \quad \tau_2 = T_2/A \quad \text{kN/m}^2,$$



3. ábra. Coulomb-féle egyenes

Ha a kapott eredményeket grafikusán koordináta-rendszerben ábrázoljuk és a pontpárokat összekötjük, a Coulomb-féle egyenest kapjuk. Ennek az egyenesnek a függőleges tengelyen lévő metszéke megadja a talajminta kohézióját (c , kN/m^2), a vízszintessel bezárt hajlásszöge (ϕ) pedig a talaj belső súrlódási szögét.

2. A talajok nyomószilárdsága

Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Vizsgáljunk meg zavartalan kötött talajmintát, szívos, majdnem kemény agyagból. A kiszúróhengerből nyomjuk ki a talajmintát és tegyük nyomógépbe. A minta magasságának és átmérőjének aránya $h/d = 1,5$. Terheljük a mintát lassan és egyenletesen, közben mérőórával mérjük a talajminta terhelésértékeit és az összenyomódását. Egy bizonyos terhelésértéknél a próbatest rideg vagy plasztikus töréssel tönkremegy. **A töréshez tartozó feszültségértéket egyirányú nyomószilárdságnak nevezzük.** A merev talajminták hirtelen töréssel mennek tönkre. A talajmintán szabályos határozott törésvonalak alakulnak ki. A nyomószilárdság vagy törőfeszültség egyértelműen meghatározható.

A vizsgálatot puhább, de közel azonos agyagmintával az előzőhöz hasonlóan végezzük el! A vizsgálat eredménye az, hogy a minta összenyomódása nagyobb, és kisebb erő hatására plasztikus folyással megy tönkre. A minta kihasasodik, a felületén sok szabályos alakú finom csúszólap látható. A törőerő ebben az esetben nehezen értelmezhető. Ezért a 20% fajlagos összenyomódáshoz tartozó terhelési értéket nevezzük törőerőnek.

Az egyirányú nyomószilárdság a talajminta összetételétől, nedvességtartalmától, tömörségétől függ, ezért a talajrétegek állapotának jellemzésére használjuk. A vizsgálat során függőleges irányú összenyomódás mellett az oldalkitérést nem akadályozzuk meg.

Ha az előző vizsgálatot gyorsabb terheléssel végezzük, a vizsgált talajminta nagyobb terhelés hatására törik el.

A henger alakú talajminta vizsgálata során egyirányú nyomó-igénybevételt gyakoroltunk a próbatestre. Ez a vizsgálat csak kötött talajmintákkal végezhető el.

A vizsgálat során mérhető adatok:

F	- a talajmintára ható függőleges erő nagysága	kN
A	- a talajminta keresztmetszeti területe	m ²
h	- a talajminta eredeti magassága	mm
Δh	- a talajminta összenyomódása	mm

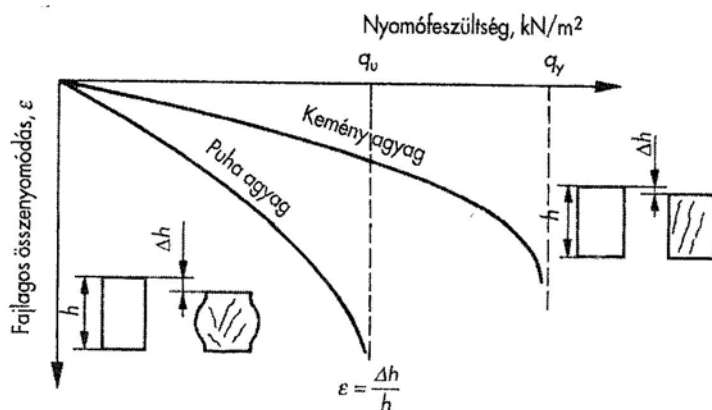
A nyomófeszültség értéke:

$$q_u = \frac{F}{A} \quad \text{kN/m}^2$$

A fajlagos összenyomódás:

$$\varepsilon_{\%} = 100 \cdot \Delta h / h \quad \%$$

A nyomófeszültségeket és a hozzájuk tartozó fajlagos alakváltozást ábrázolva kapjuk a talajminták egyirányú alakváltozási görbéjét.



4. ábra. A puha és kemény agyag alakváltozási görbéi az egyirányú nyomóvizsgálat során³

A talajmintákon látható repedések a belső súrlódási szöggel vannak összefüggésben

$\alpha = 45^\circ - \phi/2$, amely segítségével a kohéziót meghatározhatjuk.

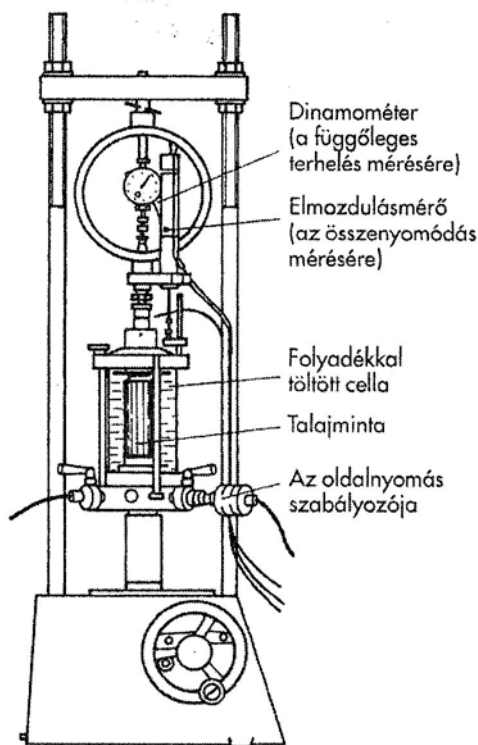
$$c = q_u \cdot \operatorname{tg} \alpha = q_u \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - \phi/2)$$

Háromirányú, triaxális nyomóvizsgálat

A valóságban az építmények terhét az alaptetek közvetítik az altalajnak. Az alaptest függőleges irányú terhelésének hatására a terhelt talaj bizonyos nagyságú oldalirányú nyomást ad át a környezetének. A valóságos helyzetet jobban közelítjük olyan vizsgálattal a triaxális nyomókészüléken, amellyel a talaj oldalirányú nyomását is számításba vehetjük. A vizsgálat háromirányú, mert a talajmintára gyakorolt terhelések háromdimenziós térben hatnak.

A vizsgálathoz ugyanabból a talajrétegből minimum három minta szükséges, és mindegyiket más-más oldalnyomással törjük el. Az oldalnyomások és a függőleges terhelések (F) ismeretében a kohézió (c) és a súrlódási szög (ϕ) meghatározható.

³ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 54. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998



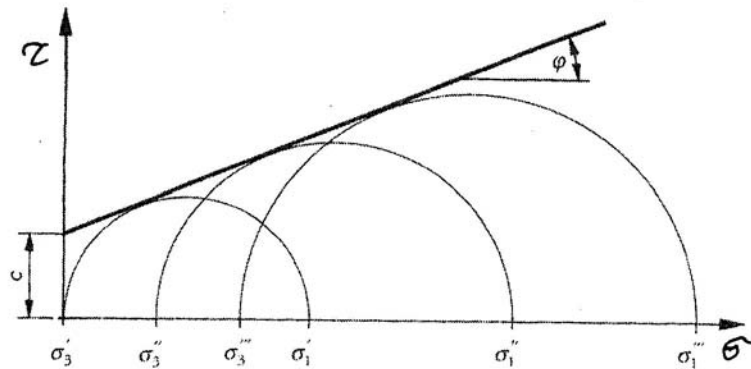
5. ábra. Háromtengelyű triaxális nyomókészülék elrendezési rajza⁴

3. A triaxális vizsgálat menete:

1. A megvizsgálandó talajból zavartalan mintákat veszünk. A mintát úgy nyomjuk ki a hengerből, hogy a véglapjai párhuzamosak és a minta függőleges tengelyére merőlegesek legyenek.
2. A mintát tálkába tesszük és megmérjük a tömegét.
3. A talajmintát a triaxális készülék szűrőkövére helyezzük, majd gumizsákkal körül vesszük. Ezután behelyezzük a nyomócellába, és a cellát légmentesen lezárjuk.
4. A készülék kompresszorát működésbe hozzuk, a cellát vízzel óvatosan feltöltjük. A felesleges levegőt légtelenítő nyíláson keresztül kiengedjük. Ezután a folyadéknyomást megszüntetjük.
5. A cellát nyomógépbe helyezzük, majd a kompresszor beindításával az oldalnyomást $0,1 \text{ N/mm}^2$ nagyságúra állítjuk.
6. A talajmintát a nyomócella dugattyúja közvetítésével fokozatosan terheljük. A függőleges összenyomódást mérőórával mérjük. A nyomókísérlet alatt vigyázni kell arra, hogy az oldalnyomás ne csökkenjen. Csökkenés estében a nyomást fokozni kell.
7. A talajminta törésének bekövetkezése után az oldalnyomást megszüntetjük és a triaxális készüléket szétszereljük.

⁴ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 54. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

8. Meghatározzuk a vizsgált talajminta víztartalmát és száraz testsűrűségét.
9. A vizsgálatot ugyanolyan víztartalmú és tömörségű zavartalan mintán legalább kétszer megismételjük. A következő vizsgálatoknál az oldalnyomást fokozzuk, 0,2 N/mm², illetve 0,3 N/mm² legyen.
10. Megrajzoljuk a Mohr–féle köröket úgy, hogy a vízszintes tengelyre az oldalnyomások és az ezekhez tartozó törőszilárdságok értékeit felrakjuk, majd ezeken a pontokon átmenő köröket rajzolunk. A körök középpontja a vízszintes tengelyre kerül. A körök burkoló egyenesének hajlása megadja a talaj belső súrlódási szögét (ϕ), a függőleges tengelyen kimetszett egyenes szakasz pedig megadja, az ábra léptékének megfelelően a kohézió értékét: kN/m².



6. ábra. A súrlódási szög és a kohézió értékének meghatározása a triaxális vizsgálatok eredményeiből

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Talajminta vizsgálatokat végez. A talajösszetétel befolyásolja a kapott kohézió és surlódási szög értékeit. Mondja el tanulótársának milyen eszközökkel és hogyan vizsgálná a talajok kohézióját és surlódási szögét! Hogyan befolyásolják ezeket az értékeket a talajok összetételei?
2. Tanulócsoporton belül megbeszéljük a talajminták egyirányú nyomószilárdság vizsgálatát. Mondja el tanulótársának milyen eszközökkel és hogyan végzik ezeket a vizsgálatokat és az eredményeknek hol van jelentőségük az épületek alapozásánál!
3. Háromdimenziós triaxális vizsgálatot kell végeznie tanulótársával. Mondja el tanulótársának milyen eszközökkel, próbadarabokkal és milyen sorrendben hajtja végre a vizsgálatot! Az általajok szempontjából mire alkalmas ez a vizsgálat?

4. Interneten keressen tanulótársával talajfeszültség vizsgálati eljárásokat és hozzá korszerű talaj szilárdságvizsgálati eszközöket!

MUNKANYELVI

2. feladat

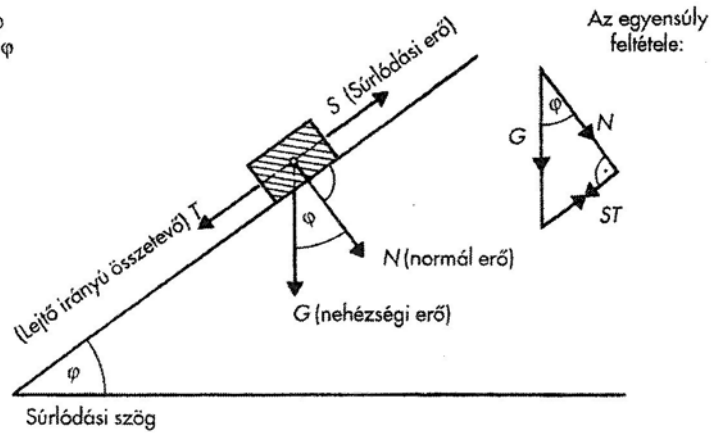
Súrlódásos lejtőkísérlet alapján határozza meg a nyírófeszültség értékét a Coulomb-féle törvény szerint!

$$S = G \cdot \sin \varphi$$

$$N = G \cdot \cos \varphi$$

$$\frac{S}{N} = \operatorname{tg} \varphi$$

$$S = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$$



7. ábra. A súrlódási szög értelmezése

MUNKANYAG

4. feladat

Ismertesse a zavartalan talajminta nyomószilárdságának meghatározását egyirányú nyomószilárdság-vizsgálattal! Mire használható ez a vizsgálat?

MUNKANYELV

5. feladat

- Határozza meg számítással az egyirányú nyomóvizsgálat során mért adatokból, a nyomófeszültséget, a fajlagos összenyomódást és azokat grafikusán ábrázolja!

6. feladat

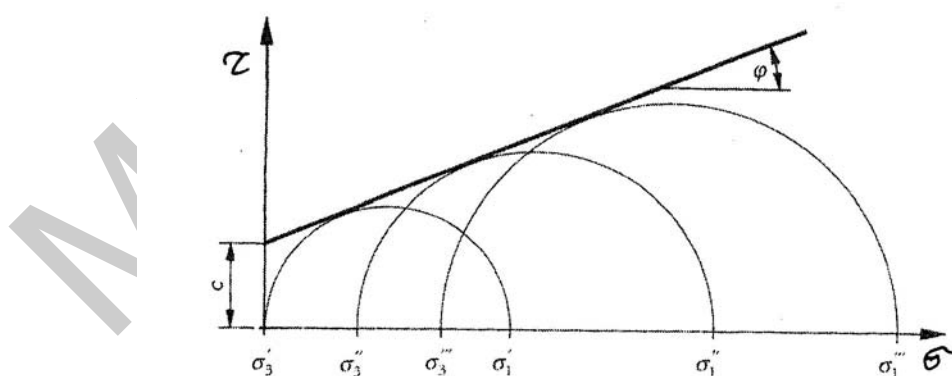
Hasonlítsa össze a háromirányú, triaxális nyomóvizsgálatot az egyirányú nyomásvizsgálattal!

Mi a triaxális nyomóvizsgálatok lényege, és milyen értékeket nyerhet belőle? Válaszát írja le a kijelölt helyre!

Blank area for writing the answer to Question 6.

7. feladat

Írja le a triaxális vizsgálat végzésének menetét és a Mohr- körök szerepét!



8. ábra. A súrlódási szög és a kohézió értékének meghatározása a triaxális vizsgálatok eredményeiből

MUNKANYELV

8. feladat

Mekkora nyírófeszültség hatására nyíródik el a talaj, melyre $\sigma = 380 \text{ kN/m}^2$ nyomófeszültség hat, súrlódási szöge $\phi = 22^\circ$, a kohéziója $c = 190 \text{ kN/m}^2$?

9. feladat

A talajmintánk terhelés hatására $\Delta h = 1,6$ mm-t nyomódott össze. Határozza meg a talajminta fajlagos összenyomódását, ha a $h = 20$ mm!

10. feladat

A talajmintánk terhelés hatására $q_u = 0,40$ N/mm² ment tönkre, a súrlódási szöge 30° .
Határozza meg a minta kohézióját számítással!

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A külső erők hatására a talajban belső igénybevételek – nyomó-, húzó- és nyírófeszültségek – lépnek fel. A talajok teherbírása alapvetően a nyírási igénybevételtől függ. A keletkező nyírófeszültségekkel szembeni ellenállást nyírószilárdságnak nevezzük. Ha az építmény alatt a talajban fellépő nyírófeszültség értéke eléri a nyírószilárdság értékét, talajtörés következik be.

A nyírószilárdság összetevői:

- a belső súrlódás, amely a talajszemcsék közötti fajlagos súrlódási erő,
- a kohézió, amely a talajszemcséket tömören összetartó fajlagos erő.

A szemcsés talajoknak (homokos kavics, homok) nagy a belső súrlódása, de kohéziója nincs (nedvesség hatására látszólagos kohézió alakulhat ki bennük).

A homokliszt és az iszapos talajok belső súrlódással és kohézióval is rendelkeznek.

A szemcsés talajok elcsúszással szembeni ellenállása a szemcsék egymásba való kapaszkodásából, gördülő és csúszó ellenállásból tevődik össze. A talaj belső súrlódását (ϕ) súrlódási szöggel fejezzük ki.

A súrlódási szög homokos kavicsnál, homoknál $\phi = 30-35^\circ$, iszapnál $\phi = 15-25^\circ$. Értéke a víztartalomtól és a tömörségtől függ.

A kötött talajok nagy kohézióval rendelkezhetnek, és nagyon kicsi a belső súrlódásuk. A kohézió értékét a talaj víztartalma befolyásolja. A száraz állapotú kötött talaj rendelkezik a legnagyobb kohézióval.

A kohéziót részben a kapilláris húzóerő okozza. A finomabb szemcséjű talajok pórusai, kapillárisai kisebbek, mint a durvább szemcséjű talajoké, azért nagyobb kohézióval rendelkeznek.

Az agyagok kohézióértéke $g = 100 \text{ kN/m}^2$, az iszap kohézióértéke $g = 50-100 \text{ kN/m}^2$.

A törés pillanatában a külső nyíróerő (T) éppen a talaj belső ellenállásával, a kohézió (c) és a súrlódóerő (S) összegével egyenlő.

A kohézió arányos a nyírt felülettel (A). A kötött talajok fajlagos felülete nagyobb, mint a szemcsés talajoké, ezért a kohéziója is nagyobb.

2. feladat

Ha súrlódási kísérletet végzünk, a G súlyerejű test a lejtőn akkor csúszik meg, ha a G súly a lejtő irányába mutató összetevője $T = G \cdot \sin \varphi \geq S$, ahol az S a súrlódási erő. Ha $T = S$ -el, határeset alakul ki.

A súrlódási erő (S) a felületre merőleges erővel arányos:

Az egyensúlyi egyenlet a törés pillanatában:

$$T = S + A \cdot c$$

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi + A \cdot c$$

Ha az egyensúlyi egyenletet mindkét oldalon osztjuk a felülettel, megkapjuk a nyírófeszültség értékét **Coulomb-törvénye** szerint:

$$T / A = (N \cdot \operatorname{tg} \varphi + A \cdot c) / A$$

$$T / A = \tau \text{ és } N/A = \sigma$$

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \text{ ahol a}$$

τ - nyírófeszültség kN/m^2

σ - normálfeszültség kN/m^2

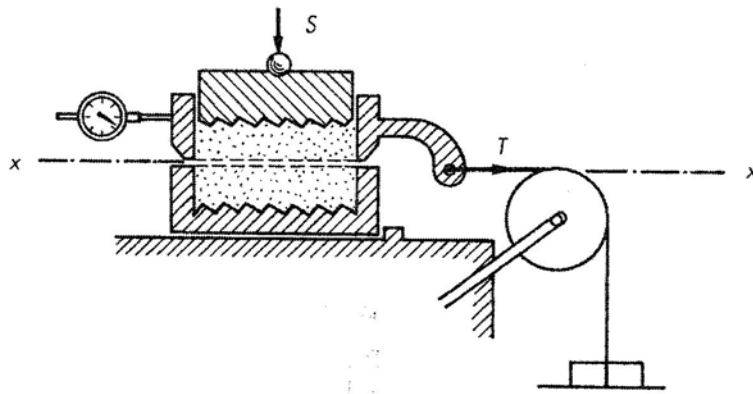
φ - belső súrlódási szög fok ($^\circ$)

c - kohézió kN/m^2

Az a felület, amelynek minden pontján teljesül a Coulomb-egyenlet, az a csúszólap.

3. feladat

A talajmintát két, egymás felett elmozdítható keretbe fogott nyomólap közé helyezzük. A nyomólapra merőlegesen állandó nagyságú erőt (N) gyakorolunk, és a felső keretet elmozdítjuk. A talajminta csak bizonyos nagyságú vízszintes nyíróerőt (T) tud felvenni, majd a talajminta elnyíródik, és kialakul a csúszólap.



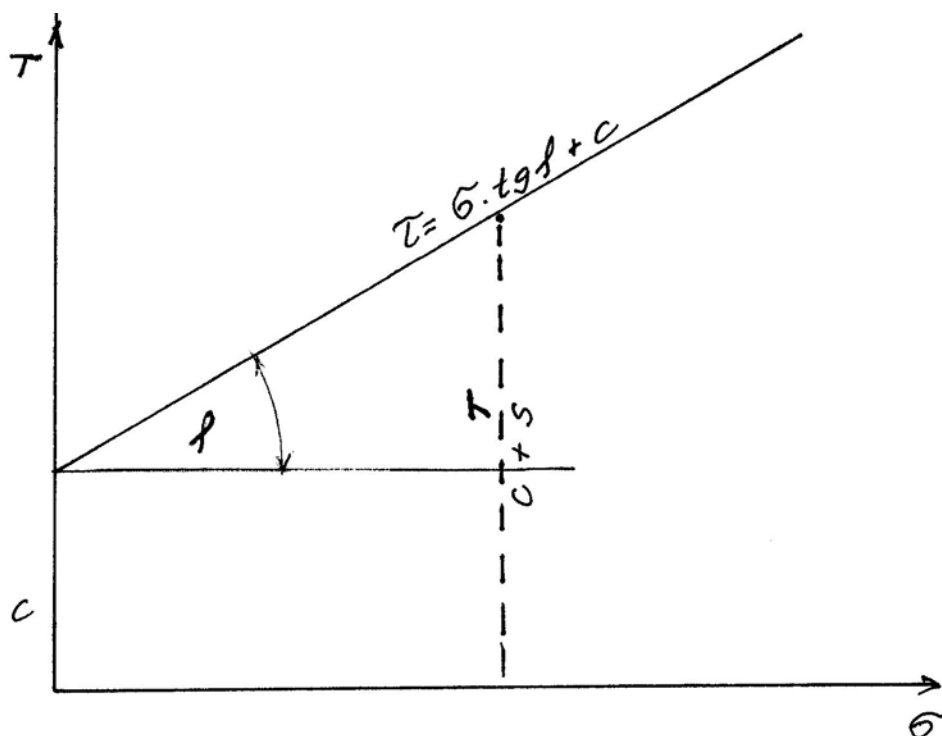
9. ábra A talajok közvetlen nyírására használt készülék és működése

Megváltoztatjuk a merőleges (N) erőt, ennek megfelelően változik a (T) nyíróerő is. A normál és nyíróerőkből feszültségeket számítunk:

$$\sigma_1 = N_1/A \quad \text{kN/m}^2; \quad \tau_1 = T_1/A \quad \text{kN/m}^2,$$

$$\sigma_2 = N_2/A \quad \text{kN/m}^2; \quad \tau_2 = T_2/A \quad \text{kN/m}^2,$$

Ha a kapott eredményeket grafikusán koordináta-rendszerben ábrázoljuk és a pontpárokat összekötjük, a Coulomb-féle egyenest kapjuk. Ennek az egyenesnek a függőleges tengelyen lévő metszéke megadja a talajminta kohézióját (c, kN/m²), a vízszintessel bezárt hajlásszöge (φ) pedig a talaj belső súrlódási szögét.



10. ábra. Coulomb-féle egyenes

4. feladat

Vizsgáljunk meg zavartalan kötött talajmintát, szívós, majdnem kemény agyagból. A kiszúróhengerből nyomjuk ki a talajmintát, és tegyük nyomógépbe. A minta magasságának és átmérőjének aránya $h/d = 1,5$. Terheljük a mintát lassan és egyenletesen, közben mérőórával mérjük a talajminta terhelésértékeit és az összenyomódását. Egy bizonyos terhelésértéknél a próbatest rideg, vagy plasztikus töréssel tönkremegy. **A töréshez tartozó feszültségértéket egyirányú nyomószilárdságnak nevezzük.** A merev talajminták hirtelen töréssel mennek tönkre. A talajmintán szabályos határozott törésvonalak alakulnak ki. A nyomószilárdság vagy törőfeszültség egyértelműen meghatározható.

A vizsgálatot puhább, de közel azonos agyagmintával az előzőhöz hasonlóan végezzük el! A vizsgálat eredménye az, hogy a minta összenyomódása nagyobb, és kisebb erő hatására plasztikus folyással megy tönkre. A minta kihasasodik, a felületén sok szabályos alakú finom csúszólap látható. A törőerő ebben az esetben nehezen értelmezhető. Ezért a 20% fajlagos összenyomódáshoz tartozó terhelési értéket nevezzük törőerőnek.

Ha az előző vizsgálatot gyorsabb terheléssel végezzük, a vizsgált talajminta nagyobb terhelés hatására törik el.

A henger alakú talajminta vizsgálata során egyirányú nyomó-igénybevételt gyakoroltunk a próbatestre. Ez a vizsgálat csak kötött talajmintákkal végezhető el.

Az egyirányú nyomószilárdság a talajminta összetételétől, nedvességtartalmától, tömörségétől függ, ezért a talajrétegek állapotának jellemzésére használjuk. A vizsgálat során függőleges irányú összenyomódás mellett, az oldalkitérést nem akadályozzuk meg.

5. feladat

Mért adatok:

F – a talajmintára ható függőleges erő nagysága	kN
A – a talajminta keresztmetszeti területe	m ²
h – a talajminta eredeti magassága	mm
Δh – a talajminta összenyomódása	mm

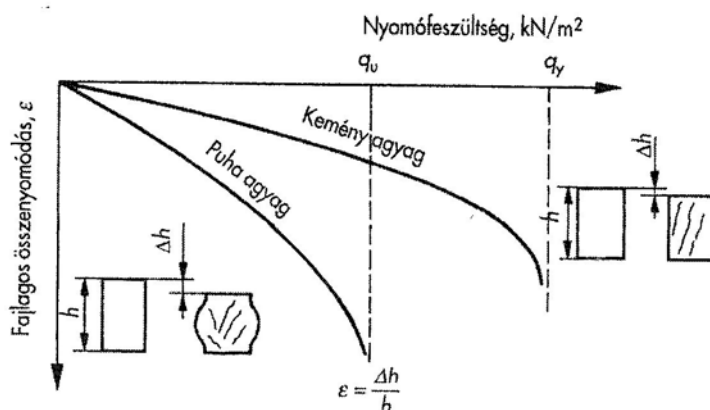
A nyomófeszültség értéke:

$$q_u = \frac{F}{A} \quad \text{kN/m}^2$$

A fajlagos összenyomódás:

$$\varepsilon \% = 100 \cdot \Delta h / h \quad \%$$

A nyomófeszültségeket és a hozzájuk tartozó fajlagos alakváltozást ábrázolva kapjuk a talajminták egyirányú alakváltozási görbéjét.



11. ábra. A puha és kemény agyag alakváltozási görbéi az egyirányú nyomóvizsgálat során⁵

⁵ Kézdi Árpád: talajmechanikai praktikum 147. oldal Tankönyvkiadó, Budapest 1987

A talajmintákon látható repedések a belső súrlódási szöggel vannak összefüggésben

$\alpha = 45^\circ - \phi / 2$, amelynek segítségével meghatározhatjuk a kohéziót.

$$c = q_u \cdot \operatorname{tg} \alpha = q_u \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - \phi / 2)$$

6. feladat

A valóságban az építmények terhét az alaptestek közvetítik az altalajnak. Az alaptest függőleges irányú terhelésének hatására a terhelt talaj bizonyos nagyságú oldalirányú nyomást ad át a környezetének. A valóságos helyzetet jobban közelítjük olyan vizsgálattal a triaxális nyomókészüléken, amellyel a talaj oldalirányú nyomását is számításba vehetjük. A vizsgálat háromirányú, mert a talajmintára gyakorolt terhelések háromdimenziós térben hatnak.

A vizsgálathoz ugyanabból a talajrétegből minimum három minta szükséges, és mindegyiket más-más oldalnyomással törjük el. Az oldalnyomások és a függőleges terhelések (F) ismeretében a kohézió (c) és a súrlódási szög (ϕ) meghatározható.

7. feladat

1. A megvizsgálandó talajból zavartalan mintákat veszünk. A mintát úgy nyomjuk ki a hengerből, hogy a véglapjai párhuzamosak és a minta függőleges tengelyére merőlegesek legyenek.
2. A mintát tálkába tesszük és megmérjük a tömegét.
3. A talajmintát a triaxális készülék szűrőkövére helyezük, majd gumizsákkal körül vesszük. Ezután behelyezzük a nyomócellába, és a cellát légmentesen lezárjuk.
4. A készülék kompresszorát működésbe hozzuk, a cellát vízzel óvatosan feltöltjük. A felesleges levegőt légtelenítő nyíláson keresztül kiengedjük. Ezután a folyadéknymást megszüntetjük.
5. A cellát nyomógépbe helyezük, majd a kompresszor beindításával az oldalnyomást $0,1 \text{ N/mm}^2$ nagyságúra állítjuk.
6. A talajmintát a nyomócella dugattyúja közvetítésével fokozatosan terheljük. A függőleges összenyomódást mérőórával mérjük. A nyomókísérlet alatt vigyázni kell arra, hogy az oldalnyomás ne csökkenjen. Csökkenés estében a nyomást fokozni kell.
7. A talajminta törésének bekövetkezése után az oldalnyomást beszüntetjük és a triaxális készüléket szétszereljük.
8. Meghatározzuk a vizsgált talajminta víztartalmát és száraz testsűrűségét.
9. A vizsgálatot ugyanolyan víztartalmú és tömörségű zavartalan mintán legalább kétszer megismételjük. A következő vizsgálatoknál az oldalnyomást fokozzuk, $0,2 \text{ N/mm}^2$, illetve $0,3 \text{ N/mm}^2$ legyen.

10. Megrajzoljuk a Mohr-féle köröket úgy, hogy a vízszintes tengelyre az oldalnyomások és az ezekhez tartozó törőszilárdságok értékeit felrakjuk, majd ezeken a pontokon átmenő köröket rajzolunk. A körök középpontja a vízszintes tengelyre kerül. A körök burkoló egyenesének hajlása megadja a talaj belső súrlódási szögét (ϕ), a függőleges tengelyen kimetszett egyenes szakasz pedig megadja az ábra léptékének megfelelően a kohézió értékét (kN/m^2).

8. feladat

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\phi + c = \sigma \cdot \operatorname{tg}22^\circ + c = 380 \cdot 0,404 + 190 = 153 + 190 = \underline{\underline{343 \text{ kN/m}^2}}$$

9. feladat

$$\varepsilon \% = 100 \cdot \Delta h / h = 100 \cdot 1,6 / 20 = \underline{\underline{8,0\%}}$$

10. feladat

$$c = q_u \cdot \operatorname{tg} \alpha = q_u \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - \phi / 2) = q_u \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - 30^\circ / 2) = q_u \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 0,40 \cdot 0,577$$

$$c = \underline{\underline{0,23 \text{ N/mm}^2}}$$

ALAKVÁLTOZÁSOK ÉS TALAJSÜLLYEDÉSEK

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön mint a közlekedésépítési vállalkozás technikus, talajmechanikai vizsgálatokat végez és a mérések eredményeit, feldolgozza. A tervezett közlekedési létesítmény olyan helyre kerül, ahol az altalaj alakváltozása nagy. A terhelés, hézagosság és víztartalom változása következtében a talaj alakváltozási jellemzői megváltoznak. Milyen hatása van a terhelésváltozásnak, a talajok összetételének és a terhelési időnek a talajok alakváltozására és talajsüllyedésére?

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A TALAJOK ALAKVÁLTOZÁSA

Önsúly és külső terhelések hatására létrejövő feszültségek a talajban alakváltozásokat hoznak létre.

Ha azonos vastagságú agyag- és homokréteget terhelünk ugyanolyan nagyságú erővel, és mérjük a függőleges irányú elmozdulásokat, azt tapasztaljuk, hogy

- a homok összenyomódása kisebb mint az agyagé,
- a nedves homok gyorsabban nyomódik össze, mint a nedves agyag.

Az építési altalaj terhelés hatására összenyomódik. Az összenyomódás időbeli lefolyását konszolidációnak nevezzük.

A talaj szilárd szemcsékből, vízből és levegőből álló diszperz rendszer. A szilárd szemcsék általában szilárd, kemény kőzetek ásványi törmelékei, ezeknek az anyagoknak a saját összenyomódása a talajokra átadott terhelések szokásos értékei mellett nagyon kicsiny, gyakorlatilag összenyomhatatlannak tekinthetjük. A szemcsés diszperz közeg összenyomódását, a hézagokban lévő víz, illetve a levegő talajból való kiszorítása okozza. A terhelés kezdetekor a talajszemcsék és a közöttük levő víz is vesz fel feszültséget. A szemcsék közötti víz eltávozása időbe telik. A finomabb szemcséjű talajból hosszabb idő alatt távozik el a víz.

A terhelés hatására keletkező összenyomódás nagysága és a konszolidáció ideje a talaj minőségétől, nedvességtartalmától és a hézagok mennyiségétől függ.

Egyenetlen feszültségeloszlás vagy altalaj esetében eltérő összenyomódási értékek adódnak, amely az építmény repedését **vagy ferde elmozdulását** eredményezheti. Ennek nemzetközileg híres példája a pisai ferde torony.

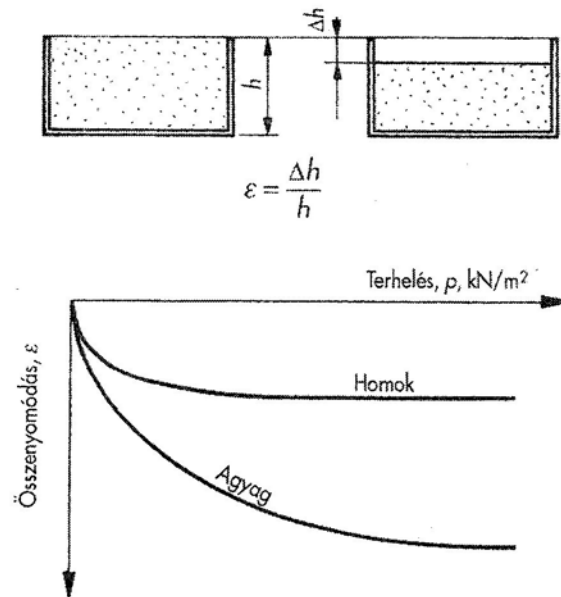
A talajok összenyomódási tulajdonságainak mérésére alkalmas készülék az ödométer.

Az ödométerbe a zavartalan talajmintát két szűrőkő közé helyezzük, és a felső szűrőkövet terheljük. Az összenyomódás következtében a talajmintában levő víz a szűrőköveken keresztül távozik. A terhelést lépcsőkben közvetítjük. A talajminta összenyomódását mérőórával mérjük, és az eredményeket rögzítjük. Minden terhelés után kivárjuk azt az időt, amikor a minta konszolidálódik, vagyis a ráadott terhelés hatására mérhetően, már nem nyomódik össze.

MUNKANYAG



12. ábra. A pisai ferde torony



13. ábra. A súrlódási szög és a kohézió értékének meghatározása a triaxális vizsgálatok eredményeiből⁶

A vizsgálat során mért adatok:

- a talajminta keresztmetszeti területe (A m²)
- a talajra adott terhelés (F kN)
- összenyomódás (Δh mm)

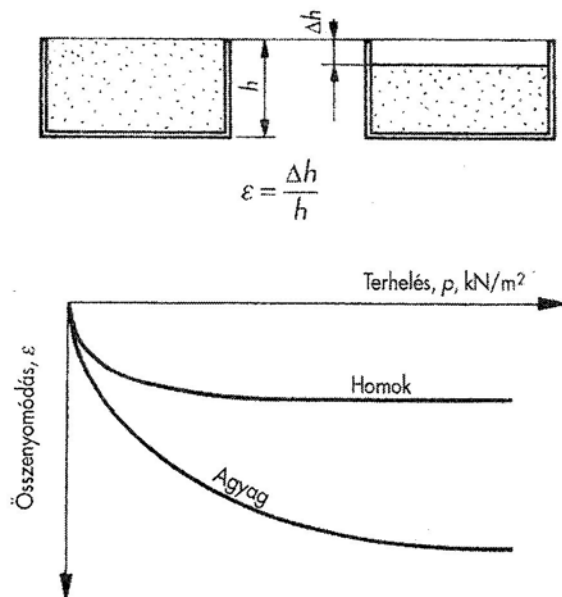
Számítható értékek:

- Fajlagos összenyomódás:
 $\varepsilon \% = 100 \cdot \Delta h / h \%$
- Fajlagos terhelés:
 $\sigma = F / A$ kN/m²

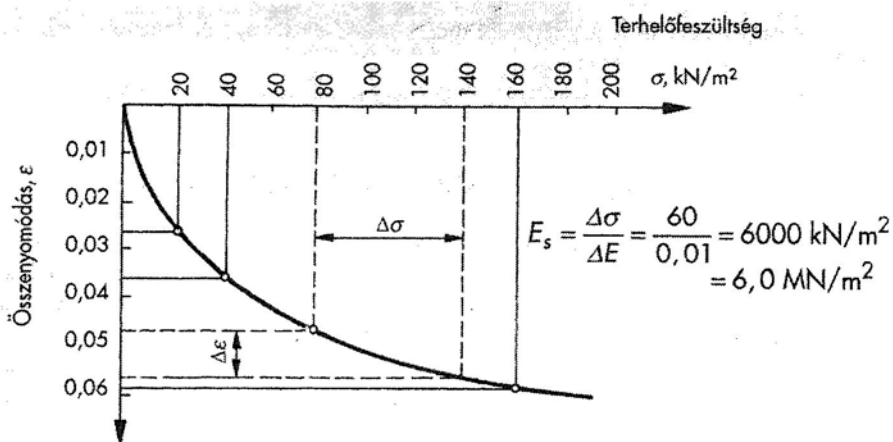
A kapott értékeket kompressziós görbe segítségével ábrázoljuk. A görbe meredeksége a talajok összenyomhatóságra jellemző. A görbéről leolvasható a talajra jellemző összenyomódási modulus (E_s). A talaj rugalmassági tényezője a terhelésnövekmény és a hatására bekövetkező fajlagos összenyomódás hányadosa.

$$E_s = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon \quad \text{MN/m}^2$$

⁶ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 50. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998.



14. ábra. A terhelés és talaj (agyag, homok) összenyomódásának összefüggése⁷



15. ábra. A talajminta összenyomódási modulusának meghatározása⁸

Az összenyomódási modulus (E_s) tájékoztató értékei⁹

⁷ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 51. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

⁸ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 51. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

⁹ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 51. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998.

a) Szemcsés talajok

A talaj megnevezése	A talaj tömörsége	Az összenyomódási modulus, E_s , MN/m ²	
		Száraz $S < 0,5$	Telített $S > 0,8$
Homokos kavics	Közepesen tömör	20	20
Homok	Közepesen tömör	20	10

b) Kötött talajok

A talaj megnevezése	Plasztikus index, I_p %	Hézagtényező e	Az összenyomódási modulus, E_s , MN/m ²	
			Kemény $w = w_s$	Gyúrható $w > w_p$
Homokliszt, iszapos, agyagos homokliszt	1...7	0,5	22...25	6...1
		0,7	12...18	4...7
Iszapos, homokos agyag	7...15	0,5	18...25	5...2
		1,0	10...15	3...1
Agyag	15	0,6	25...30	3...2
		0,8	15...25	2...1

1. Talajsüllyedés

Helyezzünk egy edénybe homokot, úgy hogy a felszínén egyenletesen elsimítható legyen. Helyezzünk a homok felszínére merev korongot. A korongot súlyokkal terheljük. Bizonyos nagyságú terhelés hatására a korong erős süllyedése közben, a talaj oldalt felnyomódik.

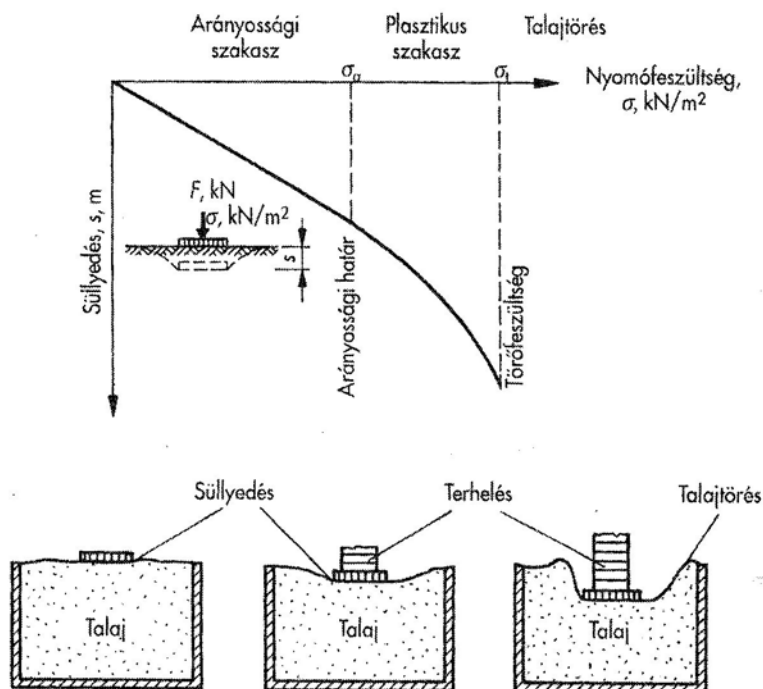
A vizsgálatot puha agyaggal folytatjuk, és mérjük a terhelést és a hatására bekövetkező süllyedést. A terhelőkorong nem hirtelen, hanem kezdetben lassan, majd fokozatosan növekvő ütemben süllyed, eközben a talaj a korong mellett felnyomódik.

A terhelés következtében a talaj összenyomódik. A nyomás a terhelés – a talajszemcsék közvetítése, egymásba kapcsolódása révén – vízszintes irányban is hat.

Bizonyos nagyságú terhelés hatására a talajban az alakváltozások erősen megnőnek, és a hirtelen bekövetkező süllyedésen kívül a talaj a terhelőfelület mentén felnyomódik és beáll a talajtörés állapota.

Az alakváltozás fázisai:

- az arányossági szakasz, ahol az összenyomódás közel arányos a terheléssel (Hooke törvénye elméletileg érvényesül $\epsilon \cdot E = \sigma$),
- plasztikus vagy képlékeny alakváltozási szakasz, ahol a terhelés hatására a talajminta alakváltozása fokozatosan nő,
- a talajtörés állapota, ahol az alakváltozás rohamosan nő, a talaj már nem nyomódik össze, hanem a csúszólapok mentén oldalirányban kinyomódik. Ebben az esetben a nyírófeszültség értéke eléri a nyírószilárdság értékét.



16. ábra. Teherbíró képesség vizsgálata és a talajtörés¹⁰

Az alakváltozás lefolyása a talaj összetételétől, nedvességtartalmától és a tömörségétől függ.

A vízi, a mély- és közlekedési építményeinket akkor alapozzuk biztonságosan, ha a számításba vehető legnagyobb terhelés (mértékadó igénybevétel) hatására nem keletkezik a talajban olyan alakváltozás, amely az építményben káros feszültségeket, alakváltozásokat, repedéseket és süllyedéseket okoz.

Azt a talajfeszültséget, amelynek működésekor az építési talaj teherbírása és ezzel az építmény használhatósága az előforduló legkedvezőtlenebb hatások figyelembevételével még éppen megfelelőnek tekinthető, határfeszültségnek (σ_H) nevezzük.

A határfeszültség kisebb a törőfeszültségnél, abból kapjuk (α) csökkentő tényezővel szorozva.

$$\sigma_H = \alpha \cdot \sigma_t$$

A határfeszültség meghatározásakor mértékadó tényező az építmény rendeltetése és szerkezete.

¹⁰ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 58. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

Ugyanolyan állapotú és összetételű talaj törőfeszültsége nem állandó. Értékét az alaptest mérete és alakja befolyásolja. Táblázatokból és elméleti képletekből meghatározható.

2. A talajok alakváltozásának jellegzetességei

A talaj-összenyomódás során a hézagtenyező csökkenését okozza, hogy a szemcsék egymáson sűrűlve igyekeznek a hézagokat kitölteni. A hézagokban lévő víz egy része az összenyomódás során kiszorul. Továbbá az egyes szemcsék rugalmas alakváltozást szenvednek, nagyobb terhelés hatására a szemcsék összetörhetnek, megváltozik a talaj szemszerkezete.

Homok- és agyagtalajok összenyomódása két részből áll:

- maradó alakváltozásból, amely a szemszerkezet tömörödése, átrendeződése folytán jön létre,
- rugalmas alakváltozásból, melynek oka a szemszerkezet rugalmassága.

A homoktalajok az agyagtalajoknál kevésbé rugalmasak.

Az összenyomódás mértékét agyagtalajoknál főként a kezdeti víztartalom, homoktalajoknál a kezdeti tömörség határozza meg.

A homoktalajok dinamikus hatással, rázással vagy döngöléssel tömörödnek.

A talajok összenyomódásánál a terhelés sebessége is szerepet játszik. A végső összenyomódás akkor kisebb, ha a terhelést lassan, kis lépcsőkben hordjuk fel.

Az agyagtalajok alakváltozásának szakaszai:

- kezdeti összenyomódás,
- elsődleges konszolidáció (a pórusvíz mozgás miatt),
- másodlagos konszolidáció.

A közlekedésépítési létesítmények ismételt terhelésnek vannak kitéve. Ismételt azonos terhelések hatására, laza talajoknál a süllyedés nagysága állandóan növekszik. Kötött talajok esetén az ismételt terhelések hatását elsődlegesen a terhelések időtartama befolyásolja.

Ha telítetlen, megterhelt lösztalajt, mely még víz hatásának nem volt kitéve, vízzel elárasztunk, a talaj szerkezete megváltozik, hirtelen összenyomódás, **roskadás** következik be. Hosszabb csapadékos időszak után a vízzel elárasztott lösztalajnál a nagy hézagok miatt a szemcsék egymáson elmozdulnak, így külső terhelés hatására tömörebb helyzetet foglal el. Rövid idő alatt lezajló folyamat, a talajszemcsék nagyságától és a tömörségétől függ.

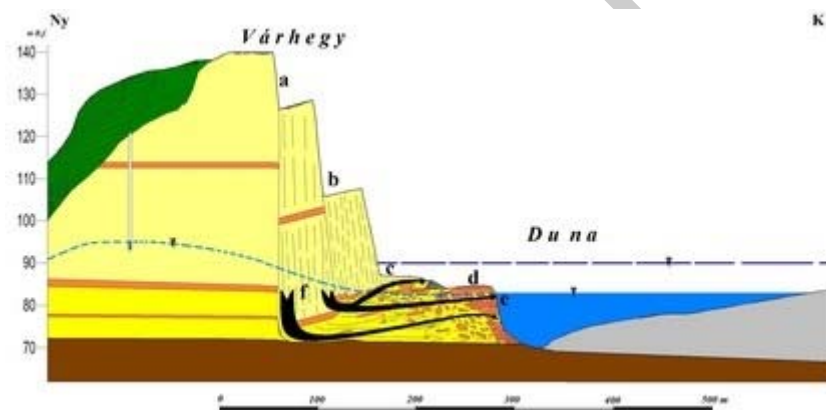
A roskadást laboratóriumban ödométer segítségével vizsgálhatjuk. Az ödométer gyűrűjével egy nagyobb átmérőjű talajmintából egy részt kiszúrunk és elhelyezzük az ödométeres készülékbe. A löszmintát terhelési lépcsőknek vetjük alá. Ha 300 kN/m² terhelés hatására is konszolidált a talajminta, akkor felülről a perforált terhelőlapon keresztül, alulról az ödométer belső járatait összekötő csővégeken keresztül desztillált vízzel elárasztjuk és leolvassuk az eltelt időhöz tartozó Δh változásokat. Ha a talajmintánk ismét konszolidált, 400 kN/m² feszültséggel terheljük és kivárjuk a konszolidációt. A talajminta σ értékéhez tartozó ϵ fajlagos összenyomódást $\sigma - \epsilon$ koordináta-rendszerben ábrázoljuk.

A roskadásra való hajlam megítélésére szolgál a fajlagos roskadási tényező meghatározása számítással:

$$i_m = (\epsilon_2 - \epsilon_1)/(1 - \epsilon_1) \text{ vagy } i_m = \Delta e/(1 + e_1)$$

Ha az $i_m > 0,02$, akkor a vizsgált talaj roskadó tulajdonságú, roskadás szempontjából veszélyes.

Roskadó talajra tervezett építmények alapozásától, a vizet távol kell tartani!



17. ábra. A dunaszekcsői magaspart 2008. február 12-én lezajlott mozgása¹¹

Jelmagyarázat: a) frontszakadás, b) régi szelet billenése, c) ártér emelkedése, d) félsziget kiemelkedése, e) sárfolyás a mederbe, f) mozgásirányok

¹¹ A dunaszekcsői magaspart rogyásos suvadása Alapozás-földművek, 2009/2. április, Dr. Kaszás Ferenc főiskolai docens, PTE, geológus és geotechnikus, Trilobita Bt. Pécs. Kraft János geológus, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, Pécsi Bányakapitányság.

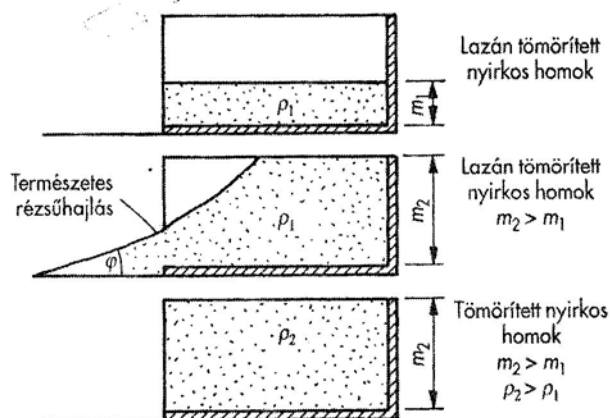


18. ábra. A dunaszekcsői magaspart rogyásos suvadása 2008. február 17-én ¹²

Rézsűk állékonysága

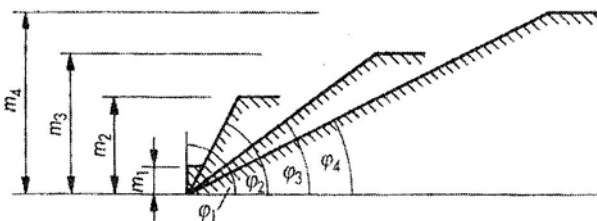
- Ha kissé nyirkos homokot szórunk egy kb. 300 mm magas ládába kb. 1/3 magasságig. Óvatosan eltávolítjuk a láda egyik oldallapját, a benne lévő homok függőleges falban megáll.
- Ha a ládát homokkal telítjük és a láda oldallapját eltávolítjuk, a homok a ládából kiszóródik és meghatározott szögű rézsűben megáll.
- Ha a ládát ugyanolyan összetételű homokkal telítjük és tömörítjük. Óvatosan eltávolítjuk a láda egyik oldallapját, a benne lévő homok függőleges falban szintén megáll.

¹² A dunaszekcsői magaspart rogyásos suvadása 2008. február 17-én (légi fotó, készítette: Körmeny László)



19. ábra. A talaj természetes rézsűhajlása¹³

A rézsűhajlás növelésével a rézsű egyensúlya megszűnik, a talaj lecsúszik. Azt a magasságot, amely mellett a rézsű még állékony, határmagasságnak nevezzük. A határmagasság a kohézió- és a súrlódási szög értékétől függ.



20. ábra. A még állékony rézsűk határmagasságai¹⁴

A szemcsés talajoknak nincs, vagy elenyésző mértékű kohézióval rendelkeznek. Állékonyságukat a belső súrlódás biztosítja.

A kötött (kohéziós) talajok kis falmagassággal függőleges falban is megállnak. Kohéziójuk értéke a víztartalom növekedésével csökken.

A rézsűállékonyság fokozható:

- az altalaj tömörítésével,
- a felszíni és felszín alatti vizek elvezetésével,
- támasztótöltés építésével,

¹³ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 60. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998.

¹⁴ Kádár Jenő: Talajmechanika – Alapozás, 60. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

- gyepesítés, növénytakaró alkalmazásával.

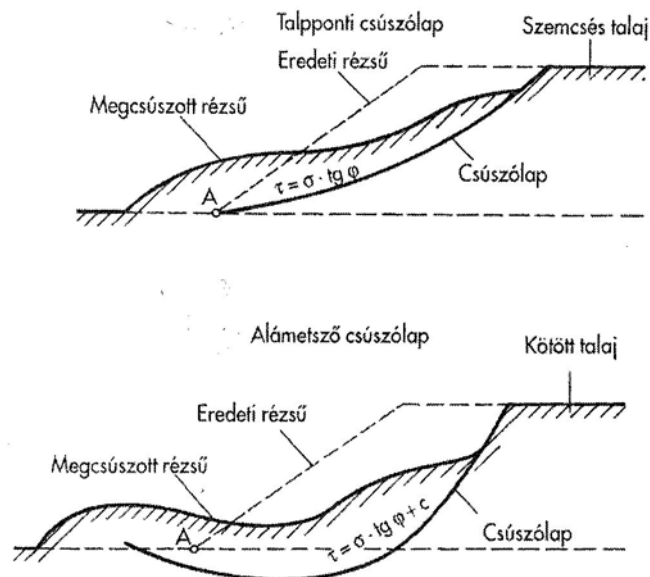
A lerokadó rézsű csúszólapja körcikkhez hasonló. A rézsű addig állékony (egyensúlyban van), amíg a csúszólap felett megmozduló talaj tömegét a talaj belső erői: a kohézió és a súrlódás ellensúlyozzák. Ekkor a csúszólap mentén a talajban keletkező nyírófeszültség eléri a nyírószilárdságot.

A megcsúszó földtömeg csúszólapján érvényes a Coulomb-féle törvény:

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

A csúszólap helyzetét a talaj összetétele határozza meg:

- talpponti (homokos talaj),
- alámetsző (kötött talaj).



21. ábra. Talpponti és alámetsző csúszólapok¹⁵

¹⁵ Kádár Jenő: Talajmechanika – alapozás, 60. oldal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998

1. Határozza meg milyen talaj süllyed $\Delta\sigma = 500\text{kN/m}^2$ fajlagos terhelés hatására $\Delta h = 18$ mm-t, ha az összenyomódó réteg vastagsága $h = 1,00$ m? Adja meg a talaj paramétereit táblázat segítségével!

Az összenyomódási modulus (E_s) tájékoztató értékei

Szemcsés talajok

A talaj megnevezése	A talaj tömörsége	Az összenyomódási modulus, E_s , MN/m ²	
		Száraz $S < 0,5$	Telített $S > 0,8$
Homokos kavics	Közepesen tömör	20	20
Homok	Közepesen tömör	20	10

Kötött talajok

A talaj megnevezése	Plasztikus index, I_p %	Hézagtényező e	Az összenyomódási modulus, E_s , MN/m ²	
			Kemény $W = W_s$	Gyúrható $w > w_p$
Homokliszt, iszapos, agyagos homokliszt	1...7	0,5	22...25	6...1
		0,7	12...18	4...7
Iszapos, homokos agyag	7...15	0,5	18...25	5...2
		1,0	10...15	3...1
Agyag	15	0,6	25...30	3...2
		0,8	15...25	2...1

2. Tanulótársával interneten a gogle.hu segítségével keressen talajroskadási képeket a Duna partfalainál. Elemezzék a roskadás okait, hatását és várható következményeit!

3. Közlekedésépítő munkája során az egyenetlen terepviszonyokat töltésekkel és bevágásokkal egyenlítik ki. A töltések és bevágások oldalfelületei rézsús kiképzéssel készülnek. Mondja el tanulótársának, hogy a rézsúállékonyságot milyen tényezők határozzák meg, és az állékonyságot hogyan fokozná!

4. A mély- és magas építmények alatt talajsüllyedés történik. Ismertesse tanulótársával hogy milyen alakváltozási fázisok lehetségesek. Hogyan alapozná az építményeket biztonságosan?

1. Feladat megoldása

$$\Delta\varepsilon \% = 100 \cdot \Delta h/h \% = 100 \cdot 18/1000 = 1,8\%$$

$$E_s = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon = 500/0,018 = 27778 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{27,78 \text{ MN/m}^2}$$

Agyagtalaj: plasztikus indexe $IP = 15$, Hézagtényezője $e = 0,6$ kemény talaj, mert az összenyomódási modulusa $E_s = 25\text{--}30 \text{ MN/m}^2$ közé eső érték.

MUNKANYAG

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

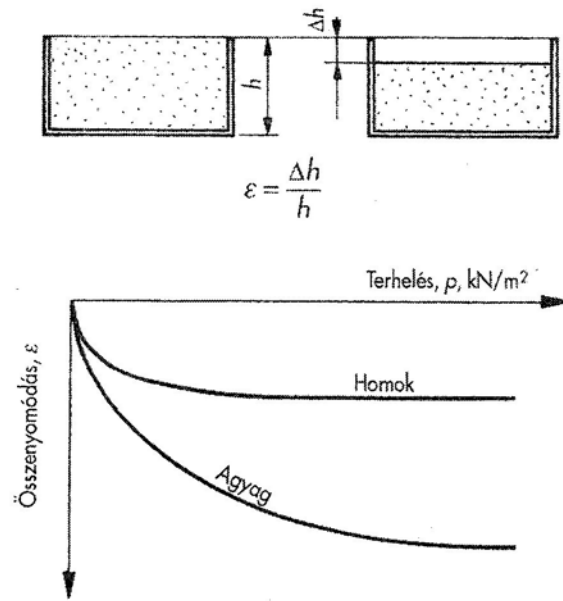
1. feladat

Írja le a homok- és agyagtalajok viselkedését az önsúly és külső terhelések által létrejövő feszültségek hatására!



2. feladat

Ismertesse az ödométeres talaj-összenyomódás vizsgálatot! Határozza meg a mért értékekből a fajlagos összenyomódást és a fajlagos terhelést!



22. ábra. Ödométer

MUNKKANYAG

MUNKANYAG

3. feladat

Az ödométeres vizsgálattal kapott értékei segítségével megrajzolt kompressziós görbe segítségével határozza meg a fajlagos összenyomódási modulust!

MUNKANYAG

4. feladat

A hídfő $\Delta\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$ nyomófeszültséget ébreszt az altalajban. Számítsa ki a hídfő (Δh) süllyedését! Az összenyomódó talajréteg vastagsága $h = 3,60 \text{ m}$. Az összenyomódási modulus $E_s = 15,0 \text{ MN/m}^2$.

5. feladat

Határozza meg, mennyit fog süllyedni az a $h = 8,00 \text{ m}$ magas úttöltés, amelynek a nedves térfogsűrűsége $\rho_n = 1,92 \text{ t/m}^3$, az alatta lévő összenyomódó talajréteg vastagsága $h = 4,40 \text{ m}$, összenyomódási modulusa $E_s = 12,0 \text{ MN/m}^2$

1 m^2 -re jutó nedves úttöltés anyag tömege:

m_n

$\Delta\sigma$

$\Delta\varepsilon$

Δh

6. feladat

A talajminta kompressziós görbéje szerint a $\Delta\sigma = 210 \text{ kN/m}^2$ nyomáskülönbség hatására a talaj fajlagos összenyomódása $\Delta\varepsilon = 0,024$. Határozza meg számítással az E_s összenyomódási modulus!

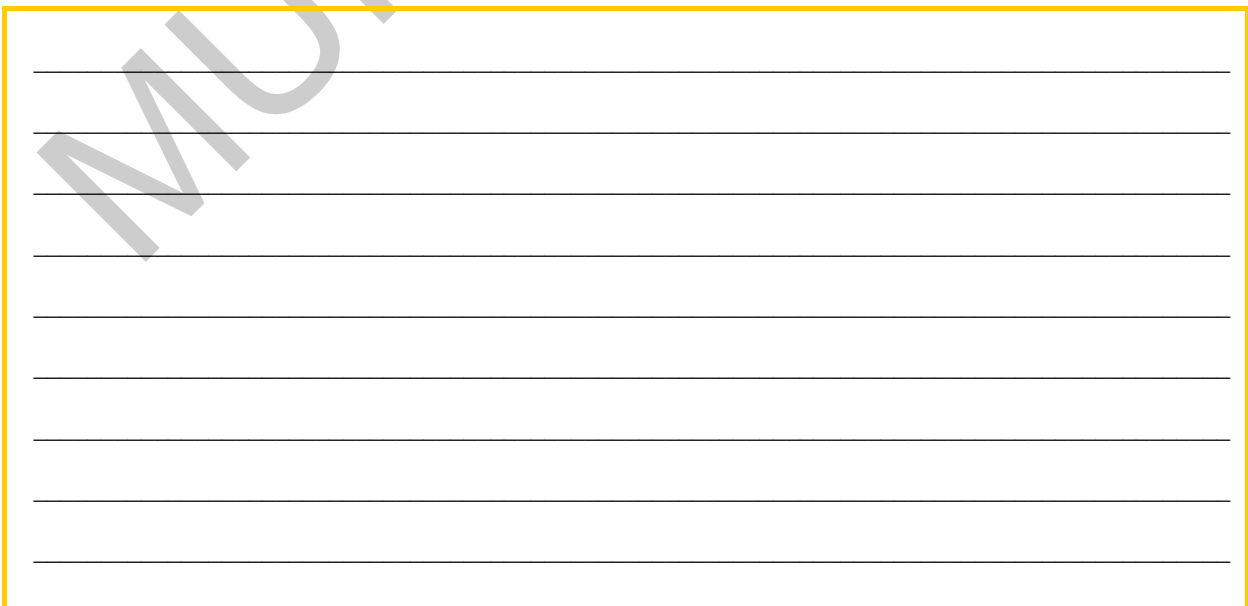
7. feladat

Ismertesse a talajsüllyedés-vizsgálatokat homok és puha agyag talajmintákkal! Fokozatos terhelés hatására mit és milyen eltéréseket észlel a két vizsgálat során?



8. feladat

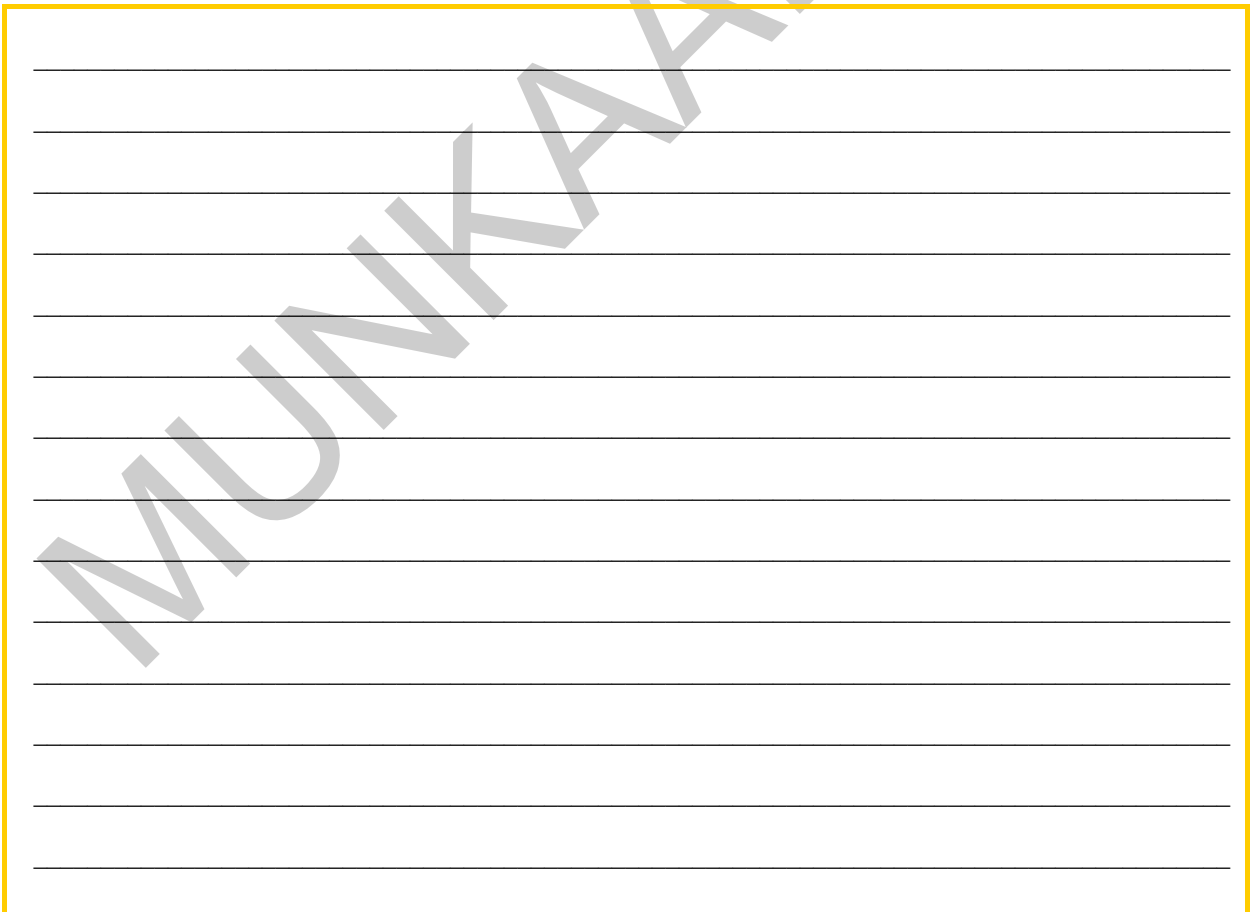
Írja le az alakváltozás fázisait, és rajzolja meg grafikonon a nedves agyagtalajminta esetében!





9. feladat

- Ismertesse a biztonságos alapozás feltételeit!
- Írja le mit tekint a talajok törő és határfeszültségeinek?
- Írja le milyen tényezőket vesz figyelembe a határfeszültség meghatározásakor?



11. feladat

Írja le a roskadási jelenséget és a roskadási vizsgálatot ödométer segítségével!



12. feladat

Válaszoljon írásban, hogy veszélyes-e a roskadás mértéke, ha vizsgálat elvégzésekor az alábbi eredményeket kaptuk?

$$\varepsilon_1 = 3,6 \%$$

$$\varepsilon_2 = 9,8 \%$$

13. feladat

Válaszoljon írásban, hogy veszélyes-e a roskadás mértéke, ha vizsgálat elvégzésekor az alábbi eredményeket kaptuk?

$$\Delta e = 0,033$$

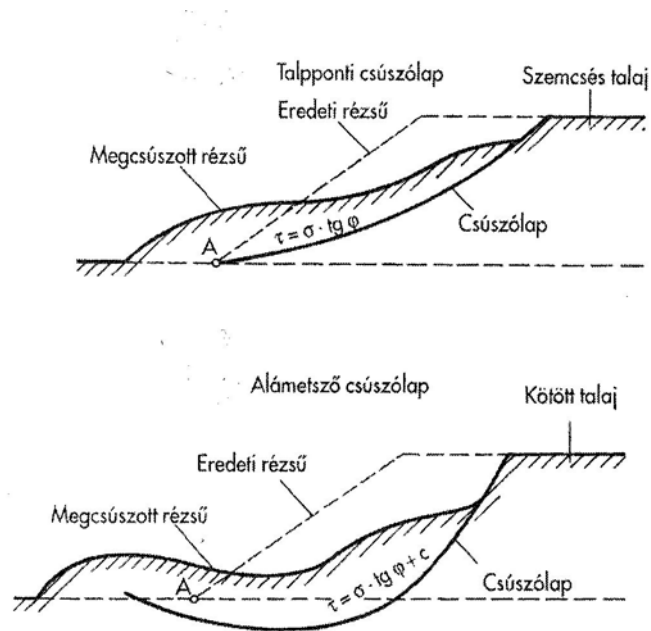
$$e_1 = 0,74$$

14. feladat

- Ismertesse a rézsűállékonyság-vizsgálatokat kis magasságú, nagyobb magasságú laza, és nagyobb magasságú, de döngölt nyirkos homokmintával!
- Mi történik a rézsűhajlás meredekségének fokozásakor?
- Mit nevezünk rézsű határmagasságnak és a gyakorlatban mi a szerepe?
- Hogyan fokozhatjuk a rézsűk állékonyságát?

15. feladat

Írja le az alábbi leroszkodó rézsűk csúszólap helyzeteinek és a talajok összetételének összefüggéseit?



23. ábra. Talpponti és alámetsző csúszólapok

A large rectangular area with a yellow border containing horizontal lines for writing the answer to the task.

MEGOLDÁSOK

1. feladat

Önsúly és külső terhelések hatására létrejövő feszültségek a talajban alakváltozásokat hoznak létre.

Ha azonos vastagságú agyag- és homokréteget terhelünk ugyanolyan nagyságú erővel, és mérjük a függőleges irányú elmozdulásokat, azt tapasztaljuk, hogy

- a homok összenyomódása kisebb, mint az agyagé,
- a nedves homok gyorsabban nyomódik össze, mint a nedves agyag.

Az építési altalaj terhelés hatására összenyomódik. Az összenyomódás időbeli lefolyását konszolidációnak nevezzük.

A talaj szilárd szemcsékből, vízből és levegőből álló diszperz rendszer. A szilárd szemcsék általában szilárd, kemény kőzetek ásványi törmelékei, ezek az anyagok saját összenyomódása a talajokra átadott terhelések szokásos értékei mellett nagyon kicsiny, gyakorlatilag összenyomhatatlannak tekinthetjük. A szemcsés diszperz közeg összenyomódását, a hézagokban lévő víz, illetve a levegő a talajból való kiszorítása okozza. A terhelés kezdetekor a talajszemcsék és a közöttük levő víz is vesz fel feszültséget. A szemcsék közötti víz eltávozása időbe telik. A finomabb szemcséjű talajból hosszabb idő alatt távozik el a víz.

A terhelés hatására keletkező összenyomódás nagysága és a konszolidáció ideje a talaj minőségétől, nedvességtartalmától és a hézagok mennyiségétől függ.

2. feladat

A talajok összenyomódási tulajdonságainak mérésére alkalmas készülék az ödométer.

Az ödométerbe a zavartalan talajmintát két szűrőkövet közé helyezük, és a felső szűrőkövet terheljük. Az összenyomódás következtében a talajmintában levő víz a szűrőköveken keresztül távozhat. A terhelést lépcsőkben közvetítjük. A talajminta összenyomódását mérőórával mérjük, és az eredményeket rögzítjük. Minden terhelés után kivárjuk azt az időt, amikor a minta konszolidálódik, vagyis a ráadott terhelés hatására mérhetően már nem nyomódik össze.

A vizsgálat során mért adatok:

- a talajminta keresztmetszeti területe ($A \text{ m}^2$)
- a talajra adott terhelés ($F \text{ kN}$)
- összenyomódás ($\Delta h \text{ mm}$)

Számítható értékek:

- Fajlagos összenyomódás:

$$\varepsilon \% = 100 \cdot \Delta h / h \quad \%$$

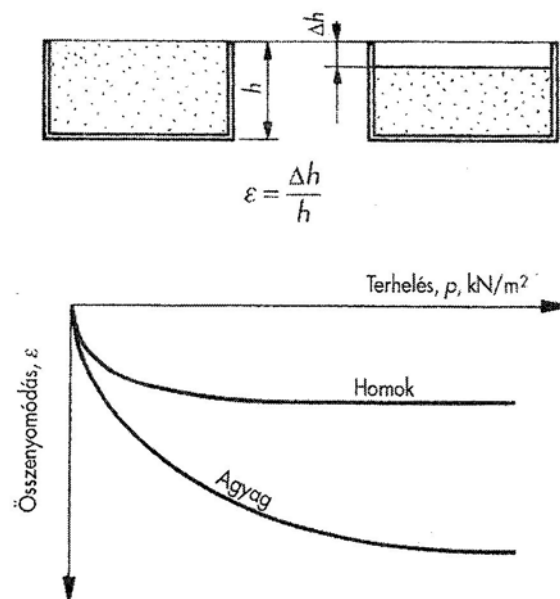
- Fajlagos terhelés (feszültség):

$$\sigma = F/A \quad \text{kN/m}^2$$

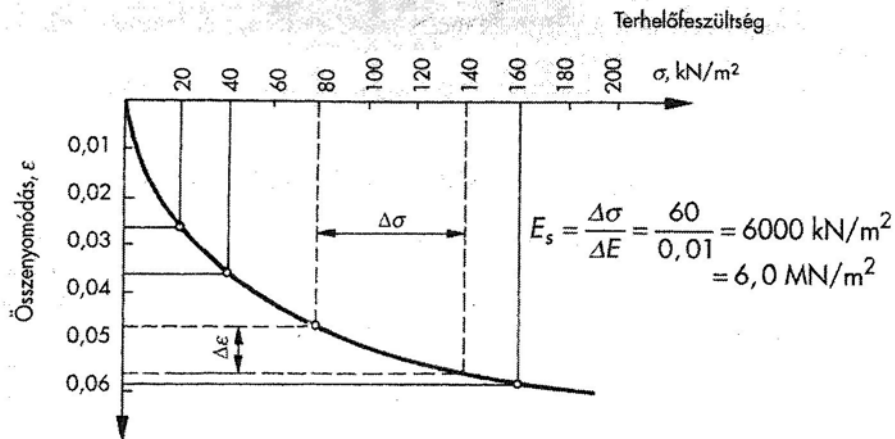
3. feladat

A kapott értékeket kompressziós görbe segítségével ábrázoljuk. A görbe meredeksége a talajok összenyomhatóságra jellemző. A görbéről leolvasható a talajra jellemző összenyomódási modulus (E_s). A talaj rugalmassági tényezője a terhelésnövekmény és a hatására bekövetkező fajlagos összenyomódás hányadosa.

$$E_s = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon \quad \text{MN/m}^2$$



24. ábra. A terhelés és talaj (agyag, homok) összenyomódásának összefüggése



25. ábra. A talajminta összenyomódási modulusának meghatározása

4. feladat

$$E_s = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$$

$$\Delta\varepsilon = \Delta\sigma / E_s = 0,20 / 15 = \mathbf{0,01333}$$

$$\Delta\varepsilon = \Delta h / h$$

$$\Delta h = \Delta\varepsilon \cdot h = 0,01333 \cdot 3600 = \mathbf{48\text{mm}}$$
 -t süllyed a hídfő.

5. feladat

1 m²-re jutó nedves úttöltés anyag tömege:

$$m_n = \rho_n \cdot h = 1,92 \cdot 8,00 = 15,36 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 15,36 \text{ t/m}^2 = 15360 \text{ daN/m}^2 = 153,60 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,1536 \text{ MN/m}^2}$$

$$\Delta\varepsilon = \Delta\sigma / E_s = 0,1536 / 12 = \mathbf{0,0128}$$

$$\Delta h = \Delta\varepsilon \cdot h = 0,0128 \cdot 4400 = \mathbf{56,32 \text{ mm}}$$
-t süllyed az úttöltés altalaja.

6. feladat

$$\Delta\varepsilon = \Delta\sigma / E_s$$

$$E_s = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon = 210 / 0,024 = 8750 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{8,75 \text{ MN/m}^2}$$

7. feladat

Helyezzünk egy edénybe homokot, úgy hogy a felszínén egyenletesen elsimítható legyen. Helyezzünk a homok felszínére merev korongot. A korongot súlyokkal terheljük. Bizonyos nagyságú terhelés hatására a korong erős süllyedése közben a talaj oldalt felnyomódik.

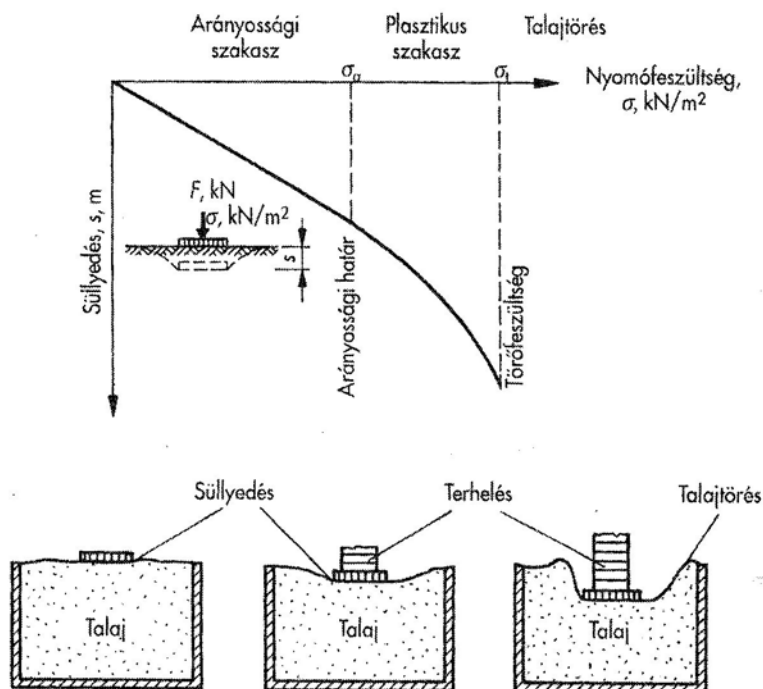
A vizsgálatot puha agyaggal folytatjuk, és mérjük a terhelést és a hatására bekövetkező süllyedést. A terhelőkorong nem hirtelen, hanem kezdetben lassan, majd fokozatosan növekvő ütemben süllyed, eközben a talaj a korong mellett felnyomódik.

A terhelés következtében a talaj összenyomódik. A nyomás a terhelés – a talajszemcsék közvetítése, egymásba kapcsolódása révén – vízszintes irányban is hat.

Bizonyos nagyságú terhelés hatására a talajban az alakváltozások erősen megnőnek, és a hirtelen bekövetkező süllyedésen kívül a talaj a terhelőfelület mentén felnyomódik, és beáll a talajtörés állapota.

8. feladat

- az arányossági szakasz, ahol az összenyomódás közel arányos a terheléssel (Hooke törvénye elméletileg érvényesül $\varepsilon \cdot E = \sigma$),
- plasztikus, vagy képlékeny alakváltozási szakasz, ahol a terhelés hatására a talajminta alakváltozása fokozatosan nő,
- a talajtörés állapota, ahol az alakváltozás rohamosan nő, a talaj már nem nyomódik össze, hanem a csúszólapok mentén, oldalirányban kinyomódik. Ebben az esetben a nyírófeszültség értéke eléri a nyírószilárdság értékét.



26. ábra. Teherbíró képesség vizsgálata és a talajtörés

Az alakváltozás lefolyása a talaj összetételétől, nedvességtartalmától és a tömörségétől függ.

9. feladat

- A vízi-, a mély- és közlekedési építményeinket akkor alapozzuk biztonságosan, ha a számításba vehető legnagyobb terhelés (mértékadó igénybevétel) hatására nem keletkezik a talajban olyan alakváltozás, amely az építményben káros feszültségeket, alakváltozásokat, repedéseket és süllyedéseket okoz.
- Azt a talajfeszültséget, amelynek működésekor az építési talaj teherbírése és ezzel az építmény használhatósága az előforduló legkedvezőtlenebb hatások figyelembevételével még éppen megfelelőnek tekinthető, határfeszültségnek (σ_H) nevezzük.

A határfeszültség kisebb a törőfeszültségnél, abból kapjuk (α) csökkentő tényezővel szorozva.

$$\sigma_H = \alpha \cdot \sigma_t$$

A határfeszültség meghatározásakor mértékadó tényező az építmény rendeltetése és szerkezete.

- Ugyanolyan állapotú és összetételű talaj törőfeszültsége nem állandó. Értékét az alaptest mérete és alakja befolyásolja. Táblázatokból és elméleti képletekből meghatározható.

10. feladat

- A talaj-összenyomódás során a hézagtényező csökkenését okozza, hogy a szemcsék egymáson sűrűlődvá igyekeznek a hézagokat kitölteni. A hézagokban lévő víz egy része az összenyomódás során kiszorul. Továbbá az egyes szemcsék rugalmas alakváltozást szenvednek, nagyobb terhelés hatására a szemcsék összetörhetnek, megváltozik a talaj szemszerkezete.

Homok és agyagtalajok összenyomódása két részből áll:

- maradó alakváltozásból, amely a szemszerkezet tömörödése, átrendeződése folytán jön létre,
- rugalmas alakváltozásból melynek oka a szemszerkezet rugalmassága.

A homoktalajok az agyagtalajoknál kevésbé rugalmasak.

- Az összenyomódás mértékét agyagtalajoknál főként a kezdeti víztartalom, homoktalajoknál a kezdeti tömörség határozza meg.

A homoktalajok dinamikus hatással, rázással, vagy döngöléssel tömörödnek.

A talajok összenyomódásánál a terhelés sebessége is szerepet játszik. A végső összenyomódás akkor kisebb, ha a terhelést lassan, kis lépcsőkben hordjuk fel.

Az agyagtalajok alakváltozásának szakaszai:

- kezdeti összenyomódás,
 - elsődleges konszolidáció (a pórusvíz mozgás miatt)
 - másodlagos konszolidáció.
- A közlekedésépítési létesítmények ismételt terhelésnek vannak kitéve. Ismételt azonos terhelések hatására laza talajoknál a süllyedés nagysága állandóan növekszik. Kötött talajok esetén az ismételt terhelések hatását elsődlegesen a terhelések időtartama befolyásolja.

11. feladat

Ha telítetlen, megterhelt lösztalajt, mely még víz hatásának nem volt kitéve, vízzel elárasztunk, a talaj szerkezete megváltozik, hirtelen összenyomódás, **roskadás** következik be. Hosszabb csapadékos időszak után a vízzel elárasztott lösztalajnál a nagy hézagok miatt a szemcsék egymáson elmozdulnak, így külső terhelés hatására tömörebb helyzetet foglal el. Rövid idő alatt lezajló folyamat, a talajszemcsék nagyságától és a tömörségétől függ.

Roskadó talajra tervezett építmények alapozásától a vizet távol kell tartani!

A roskadást laboratóriumban ödométer segítségével vizsgálhatjuk. Az ödométer gyűrűjével egy nagyobb átmérőjű talajmintából egy részt kiszúrunk és elhelyezzük az ödométeres készülékbe. A löszmintát terhelési lépcsőknek vetjük alá. Ha 300kN/m^2 terhelés hatására is konszolidált a talajminta, akkor felülről a perforált terhelőlapon keresztül, alulról az ödométer belső járatait összekötő csővégeken keresztül desztillált vízzel elárasztjuk és leolvassuk az eltelt időhöz tartozó Δh változásokat. Ha a talajmintánk ismét konszolidált, 400kN/m^2 feszültséggel terheljük és kivárjuk a konszolidációt. A talajminta σ értékéhez tartozó ε fajlagos összenyomódást $\sigma - \varepsilon$ koordináta-rendszerben ábrázoljuk.

12. feladat

$$i_m = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/(1 - \varepsilon_1) = (0,098 - 0,036)/(1 - 0,036) = \underline{\underline{0,0643}}$$

Ha az $i_m = \underline{\underline{0,0643}} > 0,02$, ezért a vizsgált talaj roskadó tulajdonságú, roskadás szempontjából veszélyes.

13. feladat

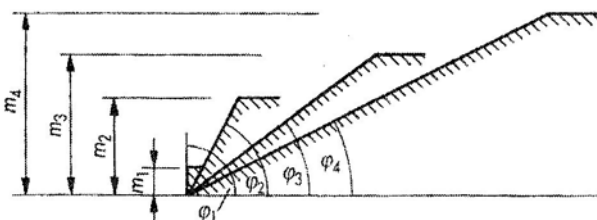
$$i_m = \Delta e/(1 + e_1) = 0,033/(1 + 0,74) = 0,019$$

Ha az $i_m = \underline{\underline{0,019}} < 0,02$, ezért a vizsgált talaj nem roskadó tulajdonságú, roskadás szempontjából közel van a határhoz.

14. feladat

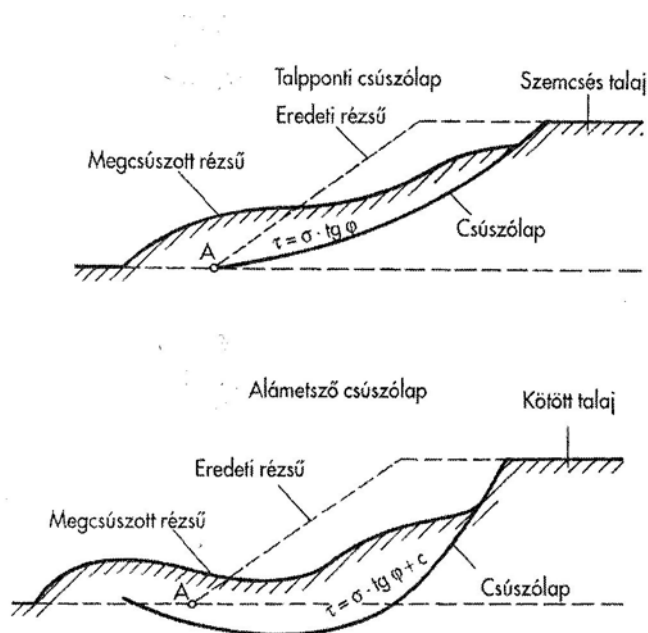
- Rézsűk állékonysága

- * Ha kissé nyirkos homokot szórunk egy kb. 300 mm magas ládába kb. 1/3 magasságig. Óvatosan eltávolítjuk a láda egyik oldallapját, a benne lévő homok függőleges falban megáll.
- * Ha a ládát homokkal telítjük és a láda oldallapját eltávolítjuk, a homok a ládából kiszóródik és meghatározott szögű rézsűben megáll.
- * Ha a ládát ugyanolyan összetételű homokkal telítjük és tömörítjük. Óvatosan eltávolítjuk a láda egyik oldallapját, a benne lévő homok függőleges falban szintén megáll.



27. ábra. A talaj természetes rézsűhajlása

- A rézsűhajlás növelésével a rézsű egyensúlya megszűnik, a talaj lecsúszik. Azt a magasságot, amely mellett a rézsű még állékony, határmagasságnak nevezzük. A határmagasság a kohézió- és a surlódási szög értékétől függ.



28. ábra. A még állékony rézsűk határmagasságai

A szemcsés talajoknak nincs, vagy elenyésző mértékű kohéziója van. Állékonyaságukat a belső súrlódás biztosítja.

A kötött (kohéziós) talajok kis falmagassággal függőleges falban is megállnak. Kohéziójuk értéke a víztartalom növekedésével csökken.

- A rézsűállékonyaság fokozható:
 - * az altalaj tömörítésével,
 - * a felszíni és felszín alatti vizek elvezetésével,
 - * támasztótöltés építésével
 - * gyepesítés, növénytakaró alkalmazásával.

15. feladat

A lerokkadó rézsű csúszólapja körcikkhez hasonló. A rézsű addig állékony (egyensúlyban van), amíg a csúszólap felett megmozduló talaj tömegét a talaj belső erői: a kohézió és a súrlódás ellensúlyozzák. Ekkor a csúszólap mentén a talajban keletkező nyírófeszültség eléri a nyírószilárdságot.

A megcsúszó földtömeg csúszólapján érvényes a Coulomb-féle törvény:

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

A csúszólap helyzetét a talaj összetétele határozza meg:

- talpponti (homokos talaj),
- alámetsző (kötött talaj).

MUNKANYELV

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Kádár Jenő: Talajmechanika – alapozás Műszaki Könyvkiadó 1998

Dr. Bartos Sándor – Králik Béla: Mélyépítés. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.

AJÁNLOTT IRODALOM

Dr. Boromissza Tibor: Építési ismeretek munkafüzet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.

Dr. Kabai Imre: Geotechnika I. Műegyetem Kiadó, Budapest, 1995.

Kézdi Árpád: Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1959.

Kézdi Árpád: Talajmechanikai praktikum Tankönyvkiadó, Budapest 1987

MSZ 14043/2-9 -80 Talajmechanikai vizsgálatok: A talajt alkotó fázisok térfogat- és tömegarányai

A(z) 0689–06 modul 010–es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 582 04 0000 00 00	Mélyépítő technikus
54 582 02 0010 54 01	Hídépítő és -fenntartó technikus
54 582 02 0010 54 02	Útépítő és -fenntartó technikus
54 582 02 0010 54 03	Vasútépítő és -fenntartó technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
20 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató