



MISKOLCI EGYETEM

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezetője:

Prof. Dr. Szűcs Péter

egyetemi tanár

## **Innovatív mérési megoldások alkalmazásainak vizsgálata a geotechnikában**

(Laza talajok talajmechanikája)

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**KÉSZÍTETTE:**

**Kántor Tamás**

okleveles környezetmérnök

**TUDOMÁNYOS VEZETŐ:**

**Dr. Kovács Balázs**

címzetes egyetemi tanár

Miskolc, 2019.09.23.

## 1 KITŰZÖTT KUTATÁSI FELADAT

---

A geotechnika, azon belül is a talajmechanika, alig kevesebb, mint százéves múltra tekint vissza. Klasszikus értelemben Karl von Terzaghi, 1925-ben megjelent összefoglaló művének a „Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage” (szabad fordításban „A talaj fizikai tulajdonságain alapuló földmunkák mechanikája”) megjelenését tekintjük a mai értelemben vett talajmechanika alapjának. Terzaghi könyvében összefoglalja az európai és a világ addigi, a talajjal kapcsolatos, fizikai és mechanikai jellegű kutatások jelentős felfedezéseit, összefüggéseit.

A talajmechanika egy multidiszciplináris tudományterület, ami napjainkban is folyamatosan fejlődik, megújul. Az innováció, a más tudományágak fejlődéséből átvett újítások segítik a talajmechanika laboratóriumi, terepi és elméleti hátterének fejlődését, új utakat nyitva az egyre bonyolultabb problémák megoldásában (Hencher 2012.). Kutatási területemet a talajmechanika és az agrogeotechnika határára tűztem ki. Az agrogeotechnikában kardinális problémát jelent a mezőgazdasági és terepi talajok talajmechanikai szemléletű jellemzése. Ezen talajokra jellemző, hogy leggyakrabban laza szerkezetűek, alacsony teherbírásúak és a folyamatos művelési, lazítási munkálatok miatt a konszolidációs folyamat sem tud teljes egészében végbe menni.

Kutatásom során konszolidálatlan talajok talajmechanikai vizsgálatait és jellemzését tűztem ki célul. A talajmechanikai anyagmodelleket leggyakrabban a konszolidált talajokra dolgozták ki, s a talajokat lineárisan rugalmas és ideálisan képlékeny anyagként írják le, valamint a kritikus állapotukban tapasztalható viselkedésükkel jellemzik. Így, bár több anyagmodell is rendelkezésre áll, ezek közül csak kevés alkalmas a laza, konszolidálatlan talajok terhelés alatti viselkedésének vizsgálatára. Kutatási munkám során a vizsgálatba vont talajok talajmechanikai szemléletű leírásához a cambridge-i egyetemen fejlesztett Cam-Clay és a módosított Cam-Clay anyagmodelleket használtam.

Kutatásaim súlypontja a laboratóriumi vizsgálatokba bevezetett innovatív mérési megoldások, új elgondolások vizsgálata volt. A kutatásaim fő területei:

- a laza, konszolidálatlan talajok viselkedésének jellemzése, különös tekintettel azok rugalmas viselkedésére;
- a laza, konszolidálatlan talajok tömörödési viszonyainak jellemzése, a feltömörödés során tapasztalható változások vizsgálata;
- a konszolidálatlan talajok harántkontrakciós (Poisson) tényezőjének vizsgálata, mérési lehetőségei;
- a konszolidálatlan talajok nyírószilárdsági paramétereinek vizsgálata, az eredmények értelmezése;
- a talajmintákon belül kialakuló feszültségterek vizsgálata különböző (nyomó, nyomó-nyíró) terhelések esetén.

## 2 AZ ADATGYŰJTÉS ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

---

Ebben a fejezetben a kutatómunkám elkészítése során vizsgált talajtípusokat és a talajok jellemzéséhez alkalmazott eljárásokat és anyagtvényeket mutatom be.

A talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok mellett irodalomkutatást végeztem, olyan kutatók munkássága körében, akik korábban már foglalkoztak a kutatásaimhoz kiválasztott területek és talajok vizsgálatával és kutatási eredményeiket összehasonlítási alapként használhatom fel.

### 2.1 VIZSGÁLT TALAJOK BEMUTATÁSA

A dolgozatomban megjelölt talajállapot egy igen szűk területét jelenti a talajmechanikának és a geotechnikának, ugyanis a mérnöki tervezés során a laza talajok kedvezőtlenek, vagy igen nagy munka befektetésével javíthatók a talajparaméterek olyan szintre, amely által alkalmasak lehetnek földművek terheinek átvételére vagy alapozások gazdaságos tervezéséhez.

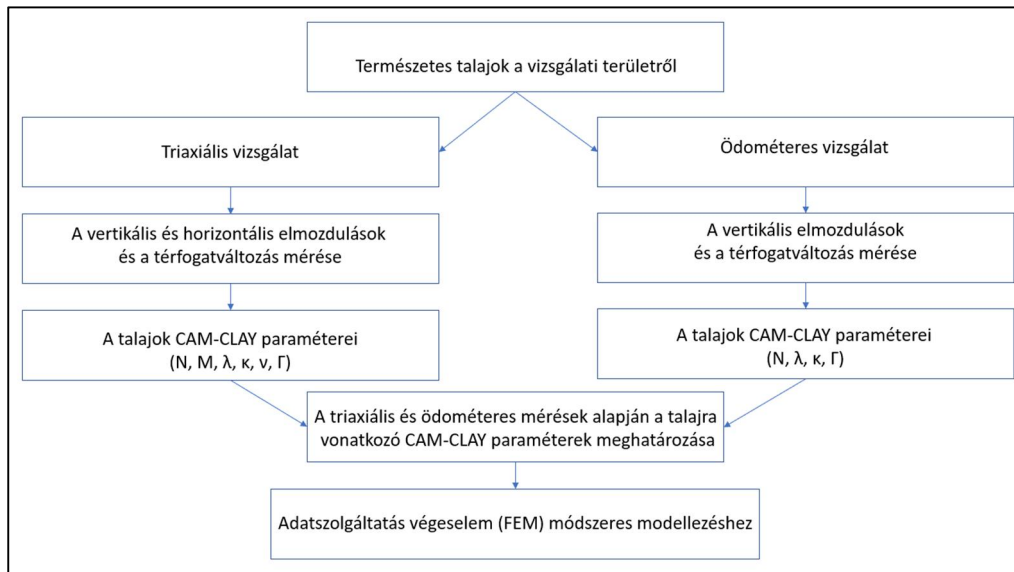
Laza, konszolidálatlan talajokkal sok helyen találkozhatunk, de problémát leginkább az erdészeti, terepi („off-road”), sivatagi és mezőgazdasági művelés alatt álló területeken jelentenek. Terhelés hatása alatti viselkedésük vizsgálatának jelentőségét elsősorban a fent említett területeken mozgó járművek járószerkezetének optimalizálása és a talajok tömörödésének hatására bekövetkező esetleges mezőgazdasági terméskiesés indokolja.

Vizsgálataimhoz mezőgazdasági területekről származó, felszínközeli talajmintákat használtam. A talajok négy különböző magyarországi, és egy franciaországi területről származnak, amelyek a következők:

- Nyírtelek, Ferenc tanya (jelölése: NYT, talajtani talajfélesége: homok)
- Megyaszó, Újvilág tanya (jelölése: MA, talajtani talajfélesége: homokos vályog)
- Taktaharkány, Rónahát-dűlő (jelölése: TH, talajtani talajfélesége: agyag).
- Cegléd (jelölése: CEG, talajtani talajfélesége: homokos vályog)
- Pissos (Franciaország) (jelölése: PIS, talajtani talajfélesége: homok).

### 2.2 VIZSGÁLATI TERV

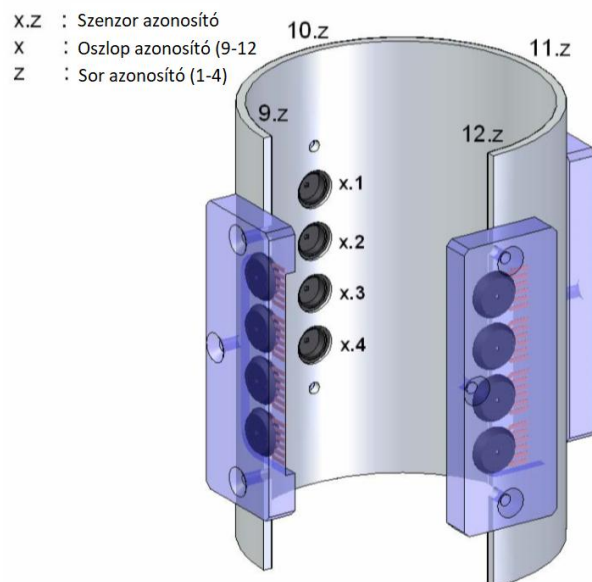
A kiválasztott anyagmodell paramétereinek (talajjellemzők) meghatározásához mind ödométeres, mind triaxiális vizsgálatokat alkalmazhatunk (2-1. ábra).



2-1. ábra: A CAM-CLAY paraméterek vizsgálatának lehetőségei ödométeres és triaxiális módszerekkel

### 2.3 A SZENZOROS ÖDOMÉTERES MÉRŐEGYSÉG

A konszolidálatlan, laza talajok konszolidációjának pontosabb vizsgálatához egy új fejlesztésű készüléket használtam, amit a Pedinfo Kft. közreműködésével fejlesztettünk. A mérésekkel szemben megfogalmazott igények összeállítását követően a fejlesztés során a tesztelés és a beüzemelés érdekében vizsgálatokat végeztem, aminek eredményeként a készülék alkalmassá vált sorozatmérések elvégzésére.



2-2. ábra: Nyomásmérő oldalszenzorokkal ellátott ödométeres cella

Az ödométeres vizsgálatok során a minta deformációja úgynevezett gátolt oldalkitérés mellett megy végbe, egydimenziós konszolidációként kezelhetjük. A mintában a feszültségeloszlás kis mértékben tér el a mintatest tetején és alján, kialakul a teljes konszolidáció.

## 2.4 A TRIAXIÁLIS VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS

Kutatómunkám során kiemelt hangsúlyt kapott a Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumban található triaxiális vizsgáló berendezés (2-3. ábra). A talajok nyírószilárdsági paramétereinek meghatározásánál használt vizsgálati módszer az egyik legpontosabb eredményt szolgáltatja, mivel a mérések során a tengelyirányú feszültségek mellett az oldalirányú (laterális) nyomások is változtathatóak, így szimulálva a geológiai környezet mélységfüggő paramétereit (Kovács, Kriston, és mtsai. 2008.).



2-3. ábra: Triaxiális vizsgáló berendezés a Miskolci Egyetem, Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában

A talajok rugalmas, képlékeny állapotához tartozó nyírószilárdsági paramétereinek méréséhez egy digitális adatgyűjtővel ellátott, teljes mértékben automata, számítógép vezérelt rendszert használtam, amely az olasz Controls vállalat által forgalmazott, kereskedelmi forgalomban kapható triaxiális és ödométeres mérőrendszerének módosított változata. A berendezést kiegészítettük egy, a kutatási célnak jobban megfelelő térfogatmérő egységgel, amely a minták térfogatváltozásának szélesebb tartományon való mérését teszi lehetővé. Ez különösen fontos laza, konszolidálatlan talajok esetén, ahol nagy deformációkra, valamint térfogatváltozásokra számíthatunk.

## 2.5 A NAGYMÉRETŰ NYÍRÓBERENDEZÉS

A Miskolci Egyetem egyedi gyártású, speciális vezérlőszoftverrel irányított nagyméretű nyíróberendezése első ránézésre csak méreteiben tér el egy hagyományos nyíróberendezéstől (2-4. ábra). A fizikai méreteken túl azonban fontos tényező még az a széles terhelési tartomány is, amin a szerkezet dolgozni képes (Kántor és Kovács 2011).

A szerkezet befoglaló méretei impozánsok, szélessége 1400, hosszúsága 4600, magassága pedig eléri a 2300 mm-t, össztömege meghaladja az 5,5 tonnát. Ezen kívül a gép része még egy elektromos és

kommunikációs szekrény, valamint a hidraulikus rendszert ellátó hidraulika-szivattyú. A mechanikai, elektromos és szenzoros egységek fejlesztésében az STC System Group Kft. segítségét vettük igénybe.



2-4. ábra: Nagyméretű nyíróberendezés

A nagyméretű nyírógéphez három különböző méretű nyíródoboz tartozik:

- Nagyméretű nyíródoboz: 700 x 700 x 700 mm [szélesség x hosszúság x magasság]
- Közepes méretű nyíródoboz: 400 x 400 x 300 mm [szélesség x hosszúság x magasság]
- Kis nyíróhenger: Ø315 x 300 mm [átmérő x magasság]

A nagyméretű nyírógép továbbfejlesztéseként hoztuk létre a G-Key Terv Kft. és a Pedinfo Kft. közreműködésével a közepes méretű (400 x 400 x 300 mm) nyíródobozzal kompatibilis, nyomásmérő szenzorokkal ellátott mérőbetétet. A betét ugyan 350 x 350 mm-re csökkenti a nyíródoboz hasznos felületét, viszont a beépített, a mintát körülvevő 82 darab feszültségmérő szenzor jelentős többletinformációval szolgál a talajokban kialakuló feszültség eloszlásáról.

## 2.6 A MÓDOSÍTOTT CAM-CLAY ANYAGMODELL

A Cam-Clay és a módosított Cam-Clay anyagmodellek az elasztó-plasztikus alakváltozást alapul vevő, felkeményedő (hardening) talajmodellek közé sorolandóak. Mindkét modell a talajok kritikus állapotát írja le, alapvetésük pedig az, hogy logaritmikus kapcsolat írható fel a talajmintára ható átlagos feszültség és a hézagtényező változása között. A modelleket a cambridge-i egyetem kutatói puha talajokon (agyag) végzett vizsgálatok alapján dolgozták ki az 1950-60-as években (Roscoe, Schofield és Wroth 1958). Számos publikációban közzétették eredményeiket (Roscoe és Burland 1968), s a későbbiekben ezek már, mint alapvetések kerültek bele a talajmechanikai gyakorlatba.

A modellek kidolgozása során konszolidált és enyhén túlkonszolidált talajokat vizsgáltak, s alkalmazási területei is elsősorban magas konszolidáltsági fokú talajok mérnöki vizsgálataira irányultak (Sárközi, Kriston és Kovács 2007).

A laza, konszolidálatlan és telítetlen talajok és szemcsés összletek esetén kevés hivatkozással találkozhatunk a módosított Cam-Clay anyagtörvény alkalmazásával kapcsolatban.

Mindkét modell a talaj viselkedésének három fontos területét érinti:

- a talaj teherviselő képessége;
- a talaj összenyomódása vagy dilatációja (nyírás közbeni térfogatváltozás);
- a kritikus állapotban tapasztalható térfogatváltozás (feszültség- vagy térfogatváltozás nélküli alakváltozás).

## 2.7 A HARÁNTKONTRAKCIÓS (POISSON-) TÉNYEZŐ

Ödométeres vizsgálatok esetén, amennyiben lehetőség van az oldalirányú, hengeres minta esetén radiális feszültségek mérésére, az egyszerűsített Hooke-törvényből kiindulva számítható a vizsgált talajra jellemző Poisson-tényező. Az ödométeres cella alkalmas arra, hogy laza, szinte ömlesztett, konszolidálatlan mintákon is elvégezhető legyen a kísérlet. Kiindulásként a Hooke-törvény x irányú fajlagos alakváltozásokra felírható formuláját (2.1) használhatjuk:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (2.1)$$

ahol  $\varepsilon_x$  az x irányú fajlagos alakváltozás, E a Young modulus,  $\nu$  a Poisson-tényező,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  pedig az x, y és z irányú fő feszültségeket jelölik.

Ödométeres vizsgálat esetén az alábbi megállapításokat tehetjük (2.2):

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_r = 0 \quad (2.2)$$

azaz a merevfalú hengerben végzett méréseknél csak tengelyirányú deformáció van, amit hengeres minta esetén  $\varepsilon_r$ , radiális alakváltozásként írhatunk le.

Az oldalirányú feszültségek esetében az alábbi egyszerűsítéssel élhetünk (2.3):

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_r \neq 0 \quad (2.3)$$

azaz hengeres mintatestek esetén, feltételezve a tengelyszimetriát az oldalirányú feszültségek minden irányban egyenlőek, és  $\sigma_r$  radiális feszültségként adhatók meg, ami külső terhelés esetén nagyobb, mint zérus. Ezek alapján a Poisson-tényező az alábbi formában (2.4) számítható:

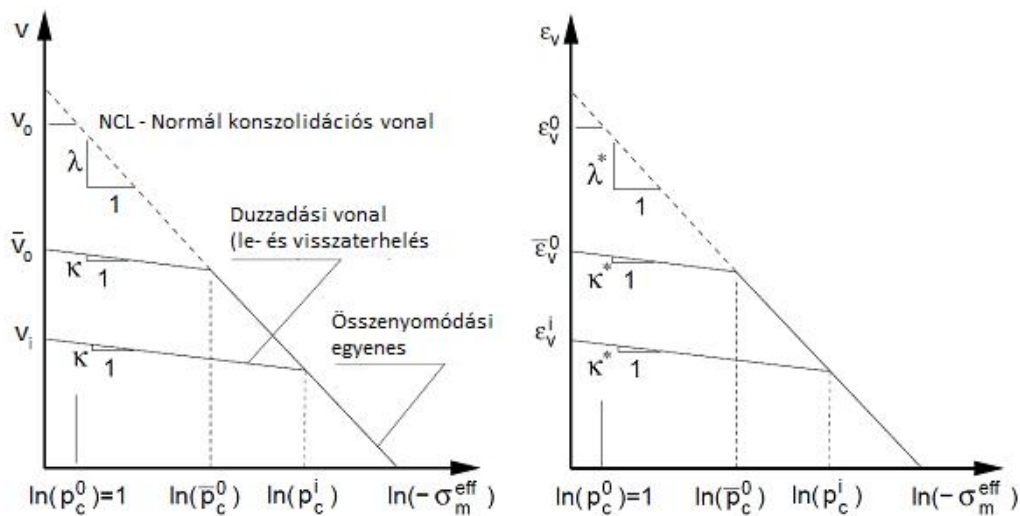
$$\nu = \frac{\sigma_r}{\sigma_r + \sigma_z} \quad (2.4)$$



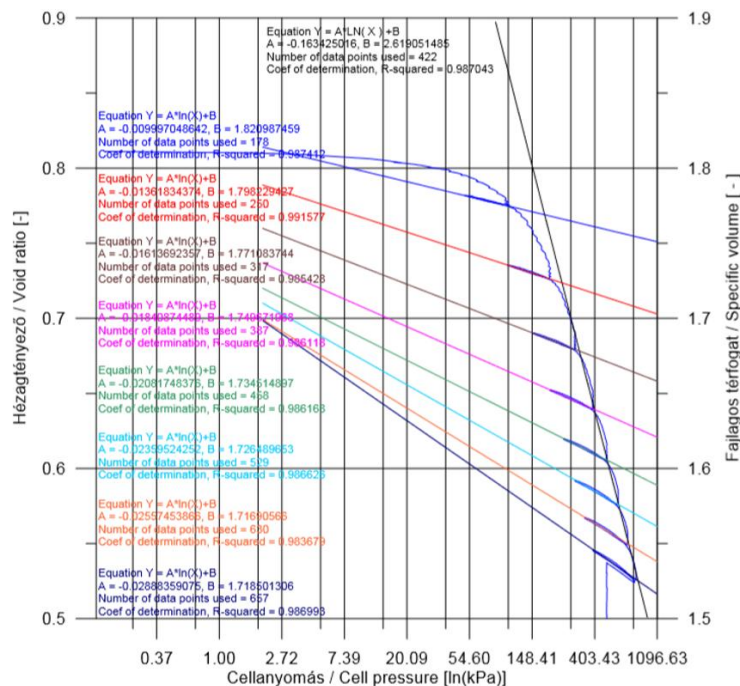
### 3 TÉZISEK

#### 1. Tézis

Laza konszolidálatlan talajok triaxiális vizsgálataival igazoltam, hogy a CAM-CLAY anyagtörvény kiterjeszhető konszolidálatlan laza talajokra, de ebben az esetben a korábban állandónak gondolt paraméterek változókká válnak, az  $\ln(p)$ -e vonatkoztatási rendszerben lineáris tulajdonságok pedig magasabb fokú függvényekkel írhatóak le, aminek konszolidált talajokra vonatkozó része egyenes. A vizsgált talajok rugalmassági paramétereinek ( $\kappa$ ) terheléstől függő változására függvénykapcsolatokat írtam fel.



3-1. ábra: Normálisan konszolidálódott talajminta sematikus Cam-Clay paramétereit

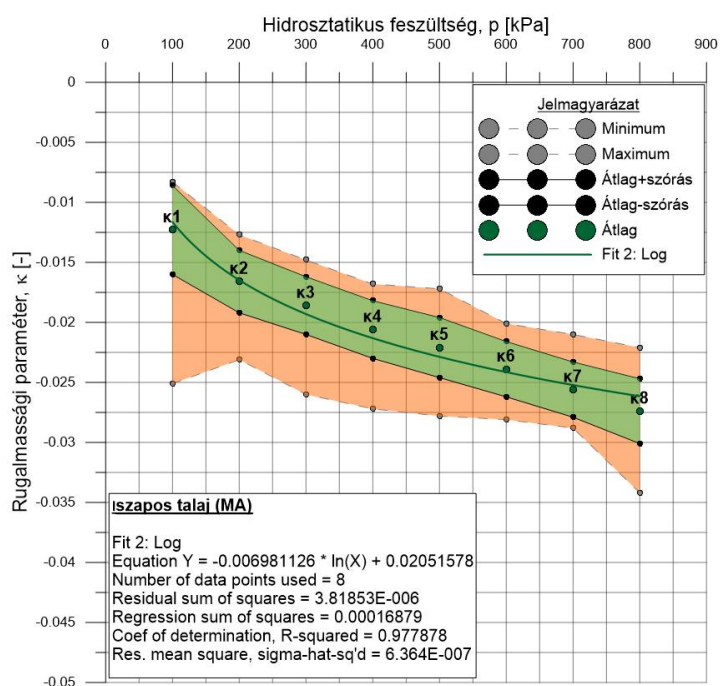


3-2. ábra: Konszolidálatlan mezőgazdasági talajminta Cam-Clay paramétereinek vizsgálata



A jól konszolidálódott talajok esetén a talajok rugalmasságát leíró paraméter ( $\kappa$ ) az aktuális terhelési szinttől függetlenül, terhelés-tehermentesítés során azonos dőlést mutat az  $\ln(p)$ -v síkon (3-1. ábra), ahol a  $p$  a külső terhelés  $v$  pedig a fajlagos térfogat értéke. Laza, konszolidálatlan talaj mérési eredményeiből szerkesztett görbékre illesztett  $\kappa$  görbék jól mutatják, hogy a rugalmassági paraméter ( $\kappa$ ) terhelési szinttől függ (3-2. ábra).

Különböző talajok vizsgálati eredményeinek statisztikai elemzésével függvénykapcsolat írható fel a rugalmassági paraméter ( $\kappa$ ) terhelésfüggésére (3-3. ábra). A három, vizsgált talajra ezeket a függvénykapcsolatokat felírtam ((3.1)-(3.3)).



3-3. ábra: Az iszapos talajra jellemző rugalmassági paraméter ( $\kappa$ ) érték meghatározásának összefoglalása

$$\text{Homokos talaj:} \quad \kappa = -0,00854 \cdot \ln(p) + 0,0032 \quad R^2=0,946 \quad (3.1)$$

$$\text{Iszapos talaj:} \quad \kappa = -0,00698 \cdot \ln(p) + 0,0205 \quad R^2=0,978 \quad (3.2)$$

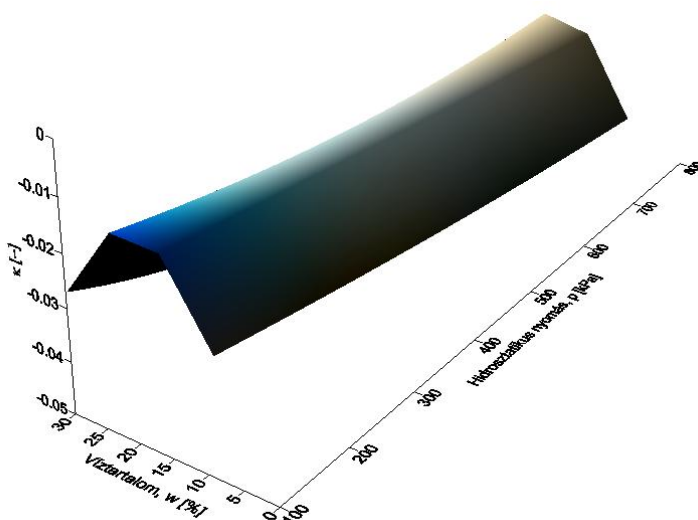
$$\text{Agyagos talaj:} \quad \kappa = -0,00921 \cdot \ln(p) + 0,0293 \quad R^2=0,988 \quad (3.3)$$

A (3.1)-(3.3) egyenletek alkalmasak lehetnek tranziens talajmechanikai modellek paramétereinek megadására, laza, konszolidálatlan talajok esetén. Ez segítheti az alacsony teherbírású talajokon mozgó járószerkezetek tervezését, valamint talajkímélő mezőgazdasági művelés kialakítását.

## 2. Tézis

Triaxiális laborvizsgálatok eredményei alapján megállapítottam, hogy a CAM-CLAY anyagtörvény rugalmassági paramétere ( $\kappa$ ) konszolidálatlan talajok esetén nem állandó érték, függ a talaj típusától, aktuális terhelésétől és nedvességtartalmától is, ezek alapján függvénykapcsolatot írtam fel, ami bemeneti paraméterként alapjai lehetnek a konszolidálatlan talajok modellezési feladatainak. Az eredmények jóságát varianciaanalízissel bizonyítottam.

Triaxiális mérési eredményeim alapján háromdimenziós felületeket illesztettem (3-4. ábra), amelyek egyenletei leírják a rugalmassági paraméterek ( $\kappa$ ) változását a terhelés és a talaj víztartalmának függvényében. Az illesztés általános egyenletének (3.4) talajtípusra vonatkozó paramétereit a 3-1. táblázat foglalja össze.



3-4. ábra: Megyszói iszaptalaj rugalmas viselkedésének változását bemutató felület a víztartalom és a terhelés függvényében

$$\kappa(p, w) = A_{00} + A_{01} w + A_{02} w^2 + A_{10} p + A_{11} pw + A_{12} pw^2 + A_{20} p^2 + A_{21} p^2 w + A_{22} p^2 w^2 \quad (3.4)$$

3-1. táblázat: A vizsgált talajok rugalmas viselkedését a víztartalom és terhelés függvényében leíró egyenletek együtthatóinak összefoglalása

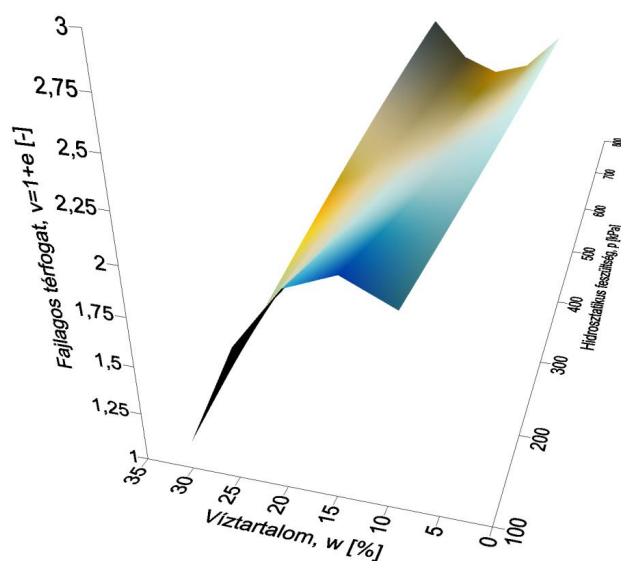
Egyenleti állandó	Homokos talaj (NYT)	Iszapos talaj (MA)	Agyagos talaj (TH)
$A_{00}$	0.011616	-0.056972	-0.044102
$A_{01}$	-0.003407	0.004841	0.001656
$A_{02}$	0.000144	-0.000119	$-1.309193 \cdot 10^{-5}$
$A_{10}$	$-7.572669 \cdot 10^{-5}$	$-7.334273 \cdot 10^{-5}$	-0.000157
$A_{11}$	$8.300375 \cdot 10^{-6}$	$7.045685 \cdot 10^{-6}$	$1.281051 \cdot 10^{-5}$
$A_{12}$	$-3.426368 \cdot 10^{-7}$	$-2.546766 \cdot 10^{-7}$	$-3.197923 \cdot 10^{-7}$
$A_{20}$	$4.067888 \cdot 10^{-8}$	$5.456894 \cdot 10^{-8}$	$1.685396 \cdot 10^{-7}$
$A_{21}$	$-6.937083 \cdot 10^{-9}$	$-7.868548 \cdot 10^{-9}$	$-1.477812 \cdot 10^{-8}$
$A_{22}$	$3.142124 \cdot 10^{-10}$	$2.928436 \cdot 10^{-10}$	$3.414916 \cdot 10^{-10}$

### 3. Tézis

Triaxiális terhelési körülmények között végzett háromdimenziós konszolidációs vizsgálatokkal jellemezni tudtam laza, konszolidálatlan talajok képlékeny alakváltozását a CAM-CLAY anyagtörvény képlékenységet leíró ( $\lambda$ ) paraméterének segítségével. Az eredmények alapján függvénykapcsolatot írtam fel laza mezőgazdasági talajok tömörödési folyamatainak jellemzésére a talaj típusa, nedvességtartalma valamint a külső terhelések függvényében. Ezáltal bizonyítottam a konszolidált talajok jellemzésére fejlesztett CAM-CLAY anyagtörvény alkalmazhatóságát konszolidálatlan talajok képlékenységi tulajdonságainak jellemzésére.

A talajok káros tömörödése nem kívánatos folyamat a mezőgazdaságban. Külső terhelések hatására a talajok – különös tekintettel a laza, konszolidálatlan talajok – képlékeny alakváltozást szenvednek. Ezen folyamatok követéséhez, modellezéséhez nyújthat segítséget az általam definiált függvények, amelyek figyelembe veszik a külső terhelések mellett a képlékenységi paraméter ( $\lambda$ ) víztartalom függését is.

A 3-5. ábra iszapos talajon végzett mérési sorozat eredményei alapján készült. A felületillesztés általános egyenletének talajokra vonatkozó paramétereit a 3-2. táblázat tartalmazza.



3-5. ábra: Fajlagos térfogat változási felület a terhelés és víztartalom függvényében (iszapos talaj, MA)

A felületek illesztését a Golden Software programcsomag Surfer szoftverével végeztem. A triaxiális mérési eredményekből háromszögletesen alapuló lineáris interpolációs eljárással számítottam ki a bemutatott felületeket.

$$v(p,w) = A_{00} + A_{01} w + A_{02} w^2 + A_{10} p + A_{11} pw + A_{12} pw^2 + A_{20} p^2 + A_{21} p^2 w + A_{22} p^2 w^2 \quad (3.5)$$

3-2. táblázat: A fajlagos térfogat változását leíró felületek egyenleteinek együtthatói

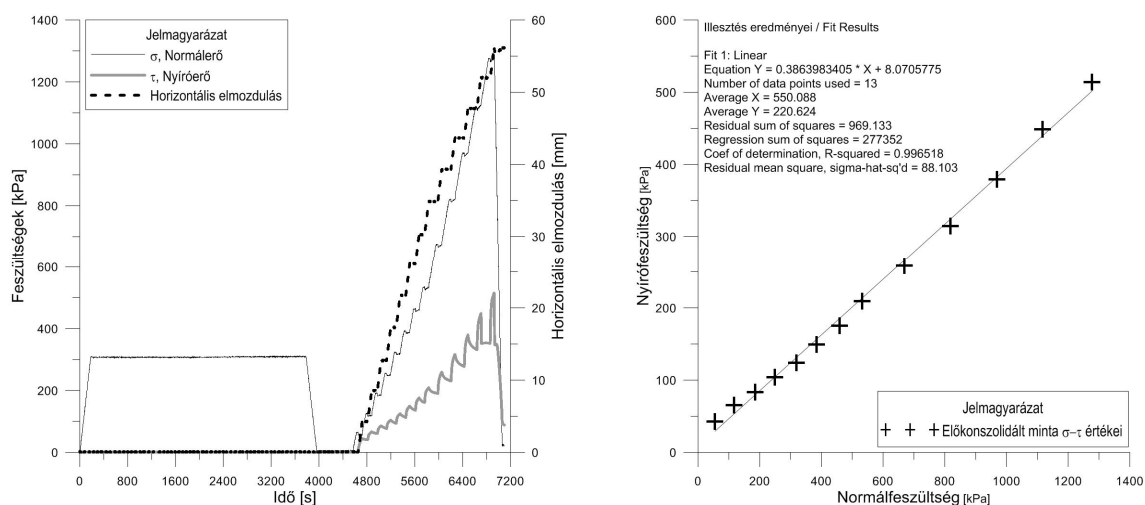
Egyenleti állandó	Homokos talaj (NYT)	Iszapos talaj (MA)	Agyagos talaj (TH)
$A_{00}$	2.261167	1.083181	1.258963
$A_{01}$	-0.051065	0.154813	0.115642
$A_{02}$	0.001001	-0.005278	-0.003017
$A_{10}$	-0.000563	0.002567	0.001837
$A_{11}$	$-1.664393 \cdot 10^{-5}$	-0.000470	-0.000337
$A_{12}$	$2.066936 \cdot 10^{-6}$	$1.453456 \cdot 10^{-5}$	$8.611636 \cdot 10^{-6}$
$A_{20}$	$2.010444 \cdot 10^{-7}$	$-9.161499 \cdot 10^{-7}$	$-6.557690 \cdot 10^{-7}$
$A_{21}$	$5.940333 \cdot 10^{-9}$	$1.678478 \cdot 10^{-7}$	$1.203311 \cdot 10^{-7}$
$A_{22}$	$-7.377037 \cdot 10^{-10}$	$-5.187487 \cdot 10^{-9}$	$-3.073552 \cdot 10^{-9}$

#### 4. Tézis

Az MTV07-GG nagyméretű nyíróberendezéssel, nagyméretű mintatesteken (400x400x300 mm) végzett direkt nyíróvizsgálatokkal bizonyítottam, hogy laza talajok esetén a többlépcsős, kvázi-roncsolásmentes vizsgálat alkalmas laza, konszolidálatlan talajok nyírószilárdsági paramétereinek pontos meghatározására. Megállapítottam, hogy a laza talajok kohézió értéke előtömörödöttség függő.

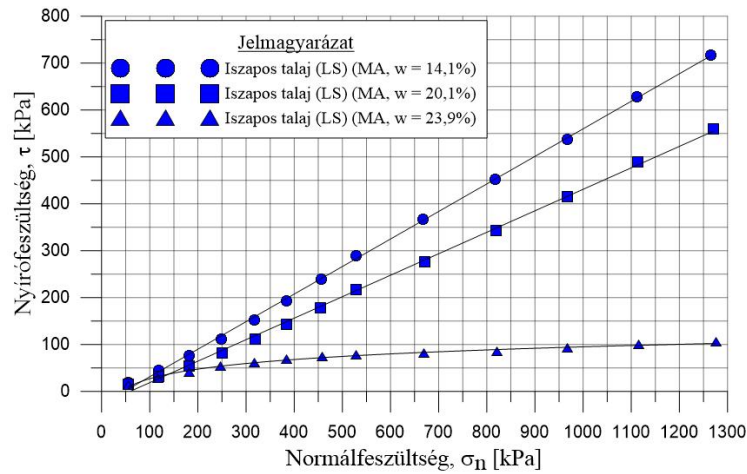
Vizsgálataink során kiderült, hogy a többlépcsős nyíróvizsgálat legnagyobb előnye a szabványos, kisméretűvel szemben az, hogy a mérés közben az anyagparaméterek (nedvességtartalom, szemeloszlás, homogenitás) nem, vagy csak elhanyagolható mértékben változnak.

Laza konszolidálatlan talajok vizsgálata esetén, a többlépcsős nyíróvizsgálatok (3-6. ábra) tekinthetők úgynevezett roncsolásmentes vizsgálatnak is, ha a mintát egy adott mértékű felterhelést követően közvetlenül a tönkremenetel előtti állapotig terhelünk, majd egy magasabb terhelés mellett ismét minimális elmozdulásig kialakuló erőket mérjük, amit többször megismételve megkapjuk a konszolidálatlan talajra jellemző tönkremeneteli egyenest, s ezáltal a nyírószilárdsági paramétereket.



3-6. ábra: Kezdeti tömörítés hatásának vizsgálata nagyméretű nyíróvizsgálat esetén

Több ismétlésben végeztem el mindhárom vizsgálatra kiválasztott talaj esetén a többlépcsős nyíróvizsgálatokat. Az eredmények mindhárom víztartalom esetén jó egyezést mutattak, melyekből az iszapos talaj eredményeit a 3-7. ábra mutatja be.

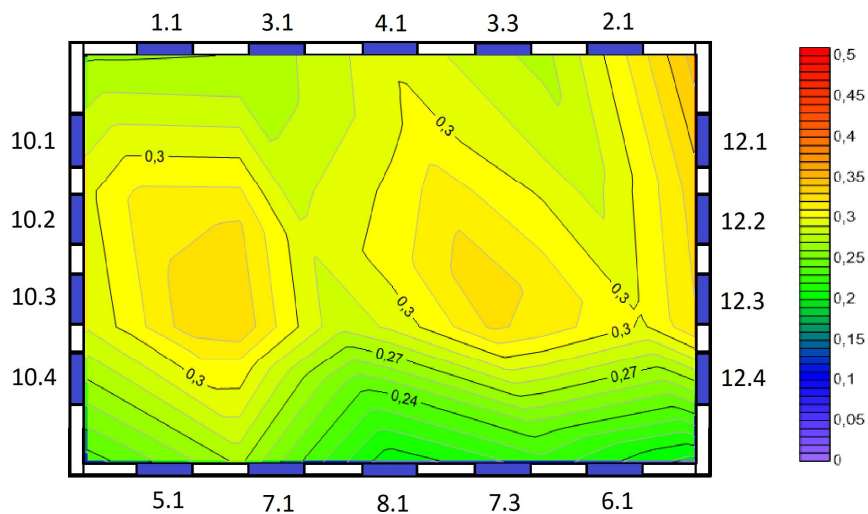


3-7. ábra: Iszapos talaj (MA) nagyméretű nyíróvizsgálatainak (MS) eredményei a víztartalom függvényében

## 5. Tézis

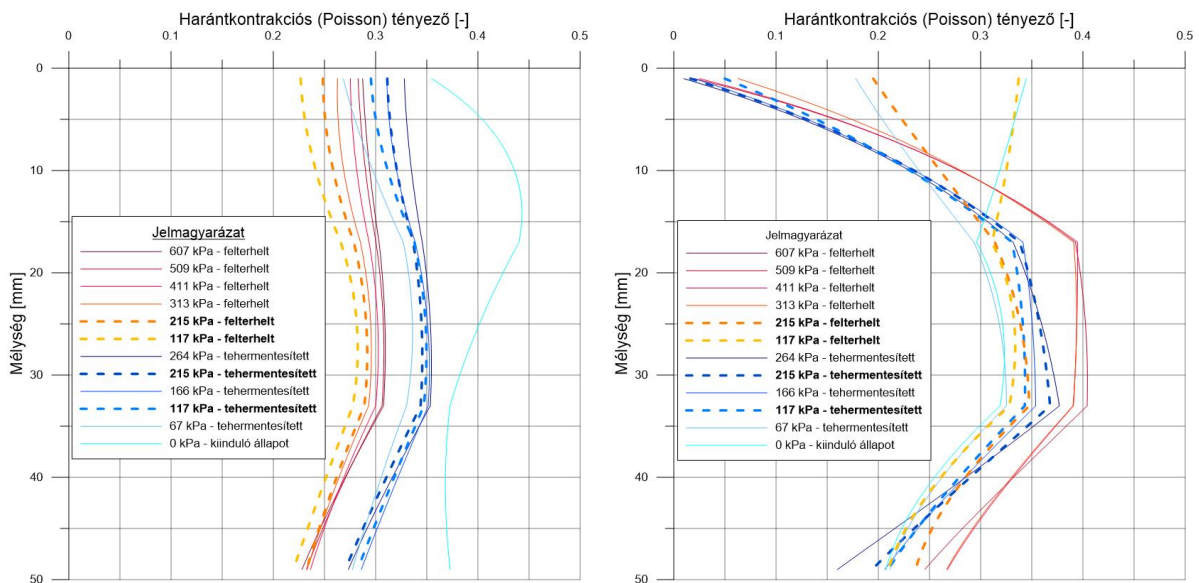
Kidolgoztam a laza talajok harántkontrakciós tényezőjének nyomá szenzorokkal ellátott, speciális ödométeres hengerrel történő meghatározásának módszerét. A végzett kísérletek alapján megállapítottam, hogy a talajokban tengelyirányú terhelés hatására bekövetkező harántkontrakciós (Poisson-szerű) tényező mintán belüli eloszlása inhomogén. Megállapítottam továbbá, hogy a harántkontrakciós tényező nem állandó érték laza, konszolidálatlan talajok tekintetében annak mértéke függ az aktuális terhelési állapottól és a terhelési előtörténettől is.

$$\nu = \frac{\sigma_r}{\sigma_r + \sigma_z} \quad (3.6)$$



3-8. ábra: Harántkontrakciós (Poisson) tényező eloszlása egy homokmintán belül, ödométeres mérés során

A harántkontrakciós (Poisson-) tényező minden talajmechanikai modell alap bemenő paramétere, viszont meghatározása koránt sem egyszerű. Különösen igaz ez laza konszolidálatlan talajok esetén. Innovatív, szenzorokkal ellátott ödométeres hengerrel végzett vizsgálataim eredményei alapján radiális és normálfeszültség mátrixokat hoztam létre, amelyekkel a (3.6) egyenlet alapján matematikai műveletet hajtottam végre. Ezzel meghatároztam a talajmintán belüli harántkontrakciós tényező eloszlását (3-8. ábra). Két különböző talaj ugyanazon szelvényére jellemző feszültségeloszlásait a 3-9. ábra alapján hasonlíthatjuk össze.



3-9. ábra: Harántkontrakciós tényező mintán belüli eloszlása homokos talaj (bal oldal) (Pis) és iszapos talaj (jobb old.) (Ceg) vizsgálatai alapján

#### 4 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

---

- Gonda, Nóra, **Tamás Kántor**, és Ágnes Makó. „Laboratóriumi sorozatmérések hatása talajok állékonysági paramétereire: Műszaki Földtudományok Közlemények.” *PUBLICATIONS OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC SERIES A-MINING 83*, 2012: 71-80.
- **Kántor, Tamás**. „Kommunális hulladéklerakókon bekövetkezett halálos balesetek áttekintése.” *Tudományos Diákköri Konferencia, Miskolc*. Miskolc: Miskolci Egyetem közleménye, 2006.
- **Kántor, Tamás**. „Nagyméretű nyíródoboz és a hozzá tartozó többlépcsős nyírási módszer fejlesztése.” *PUBLICATIONS OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC SERIES A-MINING 81.*, 2011: 369-374.
- **Kántor Tamás**. „Talajok széles terhelési tartományon végzett nyíróvizsgálatai.” *Doktoranduszok Fóruma*. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2009.
- **Kántor, Tamás**, és Balázs Kovács. „Developing of an innovative large-scale shearing machine and conclusions of first measurements.” In *Geotechnical Engineering: New Horizons*, szerző: F.B. J. Barends, R. B. J. Bredeveld, M Brinkgreve, L. A. Korff és van Paassen, 267-272. Rotterdam: Proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers Conference Rotterdam 2011, 2011.
- **Kántor, Tamás**, és Balázs Kovács. „Investigation of stress distribution during large scale shearing test.” *GEOSCIENCES AND ENGINEERING A Publication of the University of Miskolc 1*, 2012: 93-98.
- **Kántor, Tamás**, és Balázs Kovács. „Laza, konszolidálatlan talajok nyíróvizsgálatai nagyméretű nyíróberendezéssel.” In *Mérnökgeológia - Kőzetmechanika 2010*, szerző: Ákos Török és Balázs Vásárhelyi, 113-122. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2010.
- **Kántor, Tamás**, és Balázs Kovács. „Nagyméretű nyíródoboz és a hozzá tartozó többlépcsős nyírási módszer.” *Publications Of The University Of Miskolc Series A-Mining 81*, 2011: 369-374.
- **Kántor, Tamás**, és Viktória Mikita. „Investigation of unconsolidated soft soils with innovated large scale shearing machine.” *Spring Wind 2010 = Tavaszi Szél, 2010*. Pécs: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2010. 216-223.
- **Kántor, Tamás**, Sándor Kriston, és Imre Czinkota. „The evolution of stress field in loose, agricultural soils.” *Talajtani Vándorgyűlés*. Budapest, 2009.
- **Kántor, Tamás**, Viktória Mikita, Balázs Kovács, és István Székely. „Investigation of the elasto-plastic behaviour of different agricultural soils with Modified Cam-Clay constitutive law.” *Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Sapientia EMTE*. Kolozsvár: Ábel Kiadó, 2019. 150-155.
- Kovács, Balázs, László Sárközi, Sándor Kriston, Viktória Mikita, és **Kántor Tamás**. „Soil mechanical behaviour of soft unconsolidated soils.” *Miskolci Egyetem*. Miskolc, 2007. 195-207.
- Kovács, Balázs, Sándor Kriston, **Tamás Kántor**, Viktória Mikita, és László Sárközi. „Triaxial testing of Nyírtelek sand, Megyaszó sandy loam and taktaharkány clay agricultural soils to



determine Cam-Clay parameters.” University of Miskolc: Research Group of Agrogeotechnics, 2008.

- Kovács, Balázs, Viktória Mikita, **Tamás Kántor**, és Sándor Kriston. „Compaction behaviour of loose, agricultural soils of different clay content.” *Advance Clay Confernece*. Budapest, 2009.
- Kriston, Sándor, Balázs Kovács, **Tamás Kántor**, és Viktória Mikita. „Evolution of stress fields during standard geotechnical tests in loose agricultural soils.” *microCAD 2009, A szekció : XXIII. International Scientific Conference*. Miskolc, 2009. 25-30.
- Kriston, Sándor, Balázs Kovács, **Tamás Kántor**, és Viktória Mikita. „The evolution of stress field in loose, agricultural soils.” *Cereal Researc Communications*, 2009: 391-394.
- Mikita, Viktória, Sándor Kriston, **Tamás Kántor**, Balázs Kovács, és Endre Dobos. „Modelling of soil compaction and saturation distribution of loose agricultural soils by penetrometer.” *Növénytermelés 60*, 2011: 203-206.

## A TÉZISFÜZETBEN FELHASZNÁLT HIVATKOZÁSOK

Hencher, Steve. *Practical engineering geology*. Abingdon, Oxon: Spon Press, 2012.

Kántor, Tamás, és Balázs Kovács. „Developing of an innovative large-scale shearing machine and conclusions of first measurements.” In *Geotechnical Engineering: New Horizons*, szerző: F.B. J. Barends, R. B. J. Bredevelde, M Brinkgreve, L. A. Korff és van Paassen, 267-272. Rotterdam: Proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers Conference Rotterdam 2011, 2011.

Kovács, Balázs, Sándor Kriston, Tamás Kántor, Viktória Mikita, és László Sárközi. „Triaxial testing of Nyírtelek sand, Megyaszó sandy loam and taktaharkány clay agricultural soils to determine Cam-Clay parameters.” University of Miskolc: Research Group of Agrogeotechnics, 2008.

Roscoe, K. H., A. N. Schofield, és C. P. Wroth. „On the Yielding of Soils.” *Geotechnique*, 1958: 22-53.

Roscoe, K. H., és J.B. Burland. „On the generalised stress-strain behaviour of ‘wet’ clay.” *Cambridge Univ. Press*, 1968: 535-609.

Sárközi, László, Sándor Kriston, és Balázs Kovács. „Experimental and Numerical Investigation of Soft Unsaturated Soils.” 2007.