

Laza, konszolidálatlan talajok direkt nyíróvizsgálatai nagyméretű nyíróberendezéssel

Kántor Tamás

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, tamas.kantor@gmail.com

Kovács Balázs

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, kovacs.balazs@gama-geo.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán az elmúlt időszakban hosszú távú K+F együttműködéshez kapcsolódóan számos új geotechnikai mérőeszköz kifejlesztésére és beszerzésére került sor, melyek közül a legnagyobb szakmai érdeklődésre számot tartó beruházás Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumban 2009-ben üzembe helyezett, nagyméretű nyíróberendezés. A tanulmány gerincét a nyíróvizsgálatok területén végzett kutató-, fejlesztőmunka részletes bemutatása alkotja, különös tekintettel a tapasztalatok alapján kidolgozott új nyíróvizsgálati eljárásra.

Kulcsszavak: Geotechnika, nyíróvizsgálat, talajvizsgálatok, laza talajok

1 BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Karán működő Agrogeotechnikai Kutatócsoport fő feladata a hagyományos geotechnikai vizsgálati módszerek és eszközök alkalmazhatóságának vizsgálata különböző konszolidálatlan mezőgazdasági talajokra és szilárd hulladékokra.

A vizsgálati módszereket három csoportra oszthatjuk úgy, mint ödométeres vizsgálatok, triaxiális mérési módszerek, valamint nyíróvizsgálatok. Ezen módszerek hagyományos elvégzését szabványok, empirikus tapasztalatokon alapuló előírások segítik, s ezek által eredményeik is könnyen felhasználhatóak alapozásoknál, gátépítéseknel valamint bármely mérnöki műtárgy tervezésénél illetve kivitelezésénél, amely a talajt, mint teherviselőt használja. A mezőgazdasági talajok vizsgálata során a talajok deformációja és teherbírási jellemzői kiemelten fontosak a művelhetőség és a gépek mobilitása szempontjából, míg a hulladéktestek vizsgálatát ipari igények, a biztonságos hulladék-elhelyezéshez kapcsolódó tervezési törekvések indukálják.

Kutatócsoportunk fejlesztési tevékenységének eredményeként mindhárom vizsgálati módszer esetében születtek új megoldások, eszközök, amelyek mind azt szolgálják, hogy a vizsgált anyagról minél több információt kapjunk minél kisebb energia- illetve időráfordítással. Ez azért fontos, mert minél hosszabb ideig és minél több lépésben vizsgálunk egy anyagot, annál nagyobb lesz a mérés során felépő hibák lehetősége, illetve annál inkább valószínű, hogy az anyagtulajdonságok (pl.: víztartalom, homogenitás) megváltoznak. Hatékony mérési megoldások kidolgozása a szűk határidők miatt is előnyös.

Ödométeres vizsgálataink során legfőbb újtásként említhető a terhelő- és alaplapba, valamint az ödométeres henger falába épített rádiós nyomásmérő szenzorok alkalmazása, melyek lehetővé teszik, hogy vizsgáljuk az ödométeres vizsgálatok során használt primer vertikális erők és az ezekből eredő, talajon keresztül az oldalfalra átadódó szekunder oldalirányú erők viszonyát. Említésre méltó a 100 mm-es átmérőjű speciális nagyméretű ödométeres egység kifejlesztése.

Kutatásaink során laza, konszolidálatlan mezőgazdasági talajok rugalmas-képlékeny viselkedését is vizsgáltuk. Ennek kivitelezésére egy általános triaxiális vizsgáló berendezésre és a hozzá fejlesztett számítógépes szoftverre volt szükség. Ezek tették lehetővé, hogy a mintatestet ciklikus hidrosztatikus terhelésnek vessük alá, mely során a terhelő erőkön kívül a mintatest térfogatváltozását és összenyomódását is alkalmunk volt mérni. Mivel igen laza minták ($e=2,4 - 2,8$) vizsgálatát végezzük el ezért akár 250 cm^3 -es térfogatváltozások is fellépnek, melyek pontos mérésére speciális térfogatmérő eszközöt fejlesztettünk ki. A mérési eredményekkel a laza talajok CAM-CLAY anyagtörvény szerinti viselkedésének paramétereit határoztuk meg (Sárközi et al., 2005.).

A fentebb említés szintjén bemutatott két vizsgálati módszer eredményeit is felhasználva indultak el a nagyméretű, távlatilag mind egyszerű, mind direkt nyírások elvégzésére alkalmas berendezés fejlesztési, majd kivitelezési munkálatai. A kivitelezéssel párhuzamosan, a mechanikus egységeket vezérlő flexibilis szoftver fejlesztése is zajlottak, aminek eredményeképp megszülethetett egy, a hagyományostól eltérő, többlépcsős (Multi-Step, MS) nyíróvizsgálati módszerre is képes nyíróberendezés.

2 A NAGYMÉRETŰ NYÍRÓGÉP BEMUTATÁSA

A Miskolci Egyetem egyedi gyártású, speciális vezérlőszoftverrel irányított nagyméretű nyíróberendezése első ránézésre méreteiben tér el egy hagyományos nyíróberendezéstől (Szabó et al., 1992.). A fizikai méreteken túl azonban fontos tényező még az a széles terhelési tartomány is, amin a szerkezet dolgozni képes. Jellemző paramétereit ebben a fejezetben foglaljuk össze.

2.1 A nyírógép főbb mechanikus paramétereit

A szerkezet befoglaló méretei impozánsak, szélessége 1400 mm, hosszúsága 4600 mm, magassága pedig eléri a 2300 mm-t, össztömege meghaladja a 5,5 tonnát. Ezen kívül a gép része még egy elektromos és kommunikációs szekrény valamint a hidraulikus rendszert ellátó hidraulika-szivattyú.

Az alapgépet is további három részre oszthatjuk, amelyek a mérések során külön részfeladatokért felelősek. Az első rész a szerkezet minta-előkészítő tere, ahol a vizsgálandó anyag betöltésre kerül az aktuális nyíródobozba, valamint a mérést követően itt építjük ki a nyírásra átesett próbatestet. A közelepsi egységben történnek a mérési folyamatok. Ide csatlakozik be a hidraulikus rendszer, amely a vizsgálatok során a normál irányú terhelést biztosítja, valamint itt található a nyíródobozok felső részét elhúzó megfogó keret, ez felel a nyíródoboz felső részének rögzítéséért, valamint kapcsolatot biztosít a nyírógép harmadik főegységével, a vonóerőért felelős motortérrel (1. ábra). Jelenleg 2 darab elektromotor végzi a vízszintes irányú mozgatást, egy a lassú elhúzásért felelős (LS), a másik a gyors elhúzásokat (HS) végzi. A két motor külön-idejű csatlakoztatását manuális kuplungrendszer biztosítja.



1. ábra. Nyírógép részei

A nagyméretű nyírógéphez háromféle nyíródoboz áll rendelkezésünkre:

- 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]

Látható, hogy a szokványostól (100 mm átmérőjű kör keresztmetszetű, vagy 100 mm oldalhosszúságú szögletes minták) eltérően kutatócsoportunk nagy mintákkal dolgozik, ami a fejlesztés része. A nyíródobozok jelentős magasságát a tervezett hagyományostól eltérő vizsgálati megoldások indokolták. A szerkezet moduláris felépítéséből adódóan lehetőség van más nyíródobozok alkalmazására egyéb, a nagyméretű nyíródoboznál kisebb méretekben is (1. táblázat).

1. táblázat. Nyírógép főbb paraméterei

Minta mérete [mm]:	Nagy nyíródoboz	700 x 700 x 700
	Közepes nyíródoboz	400 x 400 x 300
	Kicsi nyíródoboz	Ø 315 x 300
Normálfeszültség [kPa]	Nagy nyíródoboz	0 - 500
	Közepes nyíródoboz	0 - 1200
	Kicsi nyíródoboz	0 - 1900
Nyírófeszültség [kPa]:		0 - 400
Maximális horizontális elmozdulások [mm]:	Nagy nyíródoboz	100 - 300
	Közepes nyíródoboz	100 - 250
	Kicsi nyíródoboz	20
Horizontális elmozdulás sebességtartománya [mm/min]:	Nyírás	0,001 - 100
	Egyéb tesztek	50 - 500
Mért paraméterek:	<ul style="list-style-type: none"> - Idő [s] - Terhelő erő, illetve feszültség [N, kPa] - Nyíróerő illetve nyírófeszültség [N, kPa] - Horizontális elmozdulás [mm] - Vertikális elmozdulás [mm] 	

2.2 A nyírógép vezérlése

A nagyméretű nyírógépben lévő szenzorok, egyéb elektromos és hidraulikus berendezések összehangolt működése érdekében a szerkezeti kivitelezéssel párhuzamosan a vezérlés fejlesztése is folyt. Ennek keretében egy külön ezzel az egyedileg fejlesztett géppel kommunikáló szoftver írása is megtörtént.

A szoftver alkalmas arra, hogy a nyírógép PLC-jén keresztül kapcsolatban legyen a szenzorokkal, azok jeleit feldolgozza, s egy előre meghatározott vezérlő függvényből számított adat alapján vezérlési utasítást adjon ki a megfelelő egységnek. Jelenleg a hidraulikus rendszer nyomását valamint a horizontális elmozdulás sebességét tudjuk vezérelni.

A vezérlésnél használt előre definiált függvényekben akár töréspontok is beállíthatóak, mind az elhúzás sebességére, mind a hidraulikanyomásra vonatkozóan, így lehetőség van olyan függvények előállítására, amelyben gyorsításokkal, lassításokkal, növekvő illetve csökkenő normálfeszültségekkel szeretnénk a vizsgált anyagunkat terhelni. A szoftverfejlesztés egy többlépcsős folyamat volt, melynek végeredményeként a gép vezérlése alkalmassá vált egy többlépcsős vizsgálati módszer kidolgozására.

A szoftveres vezérlés mellett lehetőség van még a nyírógépre szerelt vezérlőpanel használatával is a gépet mozgásba hozni.

3 BEÜZEMELÉS SORÁN VÉGZETT MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK

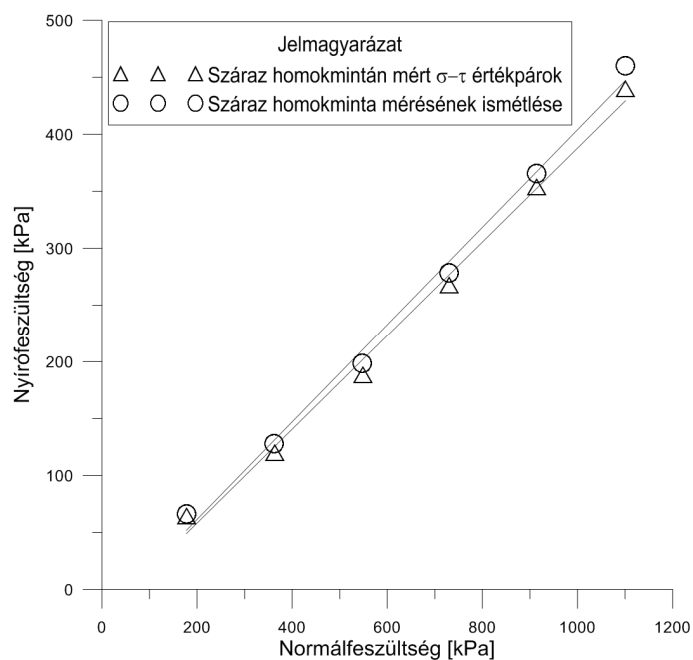
A nagyméretű nyírógép beüzemelési szakaszában több olyan mérés, vizsgálat is elvégzésre került, melyekkel a potenciális hibákat és gépi jellegzetességeket próbáltuk kiszűrni. Az új, többlépcsős vizsgálati módszer kialakítását is elősegítendő, számos tesztmérést már a későbbiekben vizsgálni kívánt talaj felhasználásával végeztük. Ebben a fejezetben a tesztelés során elvégzett vizsgálatok eredményeit és az ezekből leszűrt tapasztalatokat foglaljuk össze.

3.1 Többlépcsős vizsgálatok ismételhetősége

A vizsgálatok megtervezése során törekedtünk arra, hogy olyan talajt válasszunk ki, melynek a belső súrlódási szöge kellőképp nagy, mivel így az esetlegesen adódó hibák is jobban megmutatkoznak ahhoz, hogy észleljük őket. A választás így egy kis kohéziójú, nagy belső súrlódási szöggel bíró, száraz, homoktalajra esett, amit a későbbi teszteknel is használtunk.

A többlépcsős mérések tesztelése során kiderült, hogy a vizsgálatok jól ismételhetőek, mivel a belső súrlódási szög értékekben csak kis eltérés volt tapasztalható.

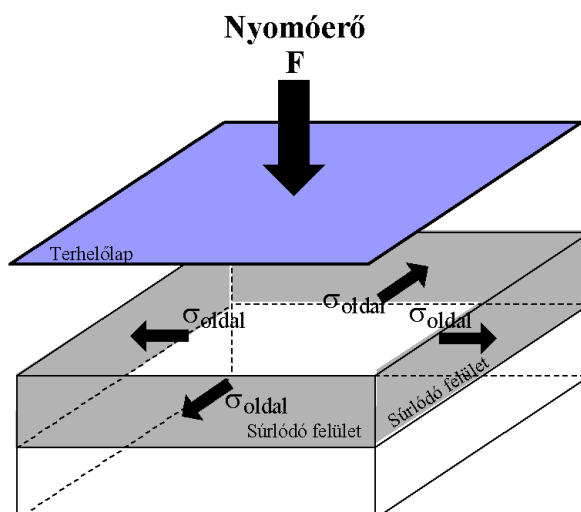
A kohéziós értékekben azonban már itt észlelhető volt egy nagyfokú bizonytalanság, s ez előrevetítette, hogy a vizsgált anyagok – különös tekintettel a laza konszolidálatlan talajokra – kezdeti állapota egy nagyon fontos tényező azok geotechnikai paramétereinek meghatározásában (2. ábra).



2. ábra. Többlépcsős nyírás ismételhetőségeinek eredményei

3.2 A mintamagasság hatása a nyíróvizsgálatoknál

A minta magasságának kérdése az egyik legproblematisabb. A terhelőlapon a talajra átadódó függőleges irányú, normál erők a normálfeszültségen kívül oldalirányú feszültségeket is létrehozhatnak a talajttesten belül (3. ábra). Ezek az oldalirányú erők átadódva a nyíródoboz oldalfalára, súrlódási ellenállást okoznak a talaj és a nyíródoboz fala között. Könnyen belátható, hogy növekvő normál terhelésnél ez a súrlódási ellenállás is nő. Ezek a súrlódó erők a talaj felszínén átadott normálerővel ellentétes irányban hatnak és azt ismeretlen mértékben csökkentik. Kimondható az, hogy minél távolabb van egymástól a normálerő átadó terhelőlap az elnyíródási zónától, annál kevésbé tudjuk azt, hogy a nyírás helyén mekkora a valós normálerhelés.



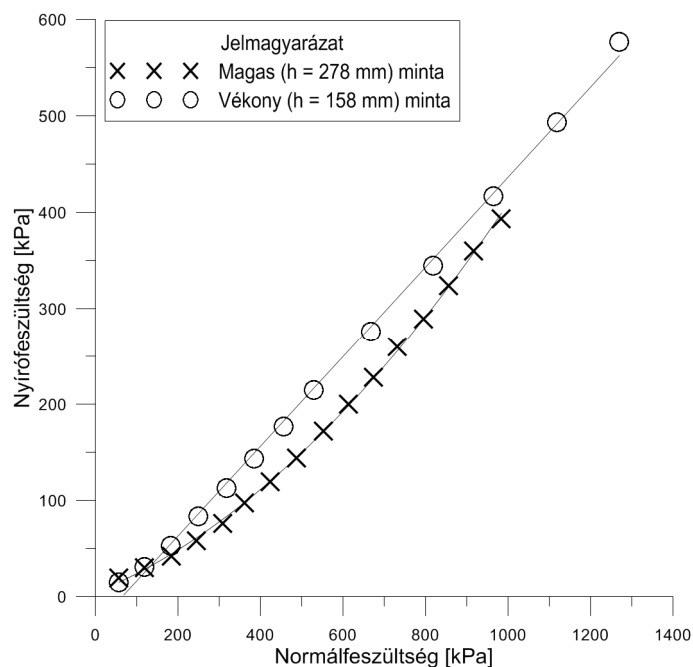
3. ábra. A normálerő és az oldalfalsúrlódás kapcsolata

Az oldalfalsúrlódásból adódó hibák kiküszöbölésére a következő megoldások születtek:

- Le kell csökkentenünk a súrlódási felületeket, illetve a belső súrlódási szög értékét az ismeretlen súrlódási erők csökkentése érdekében.

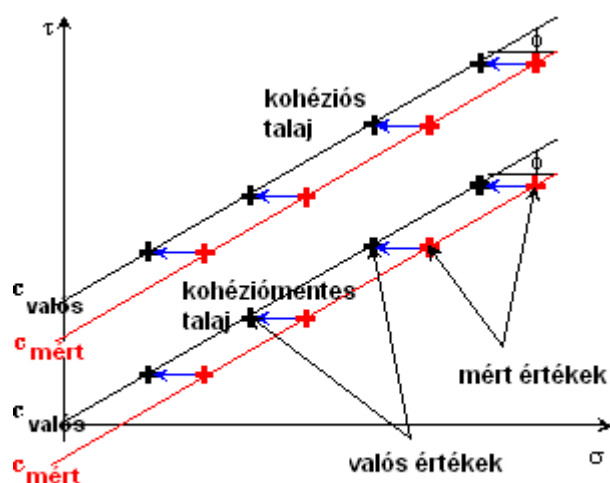
- Meg kell határozni a normál erő és a súrlódó erő közötti arányszámot, hogy a mért, hibákkal terhelt eredményeket transzformálni tudjuk.

Ahhoz, hogy redukáljuk a súrlódó felületet, egyszerűen csak csökkentenünk kell a vizsgálandó minták magasságát. A vékonyított minták esetén biztosak lehetünk abban, hogy a minta felületén átadott normál terhelés és a számított ($\sigma_n = F/A$) normálfeszültség kielégítően közel esnek majd egymáshoz. A vékonyított mintákkal végzett kísérletek közel lineárisak a σ - τ síkon (4. ábra).



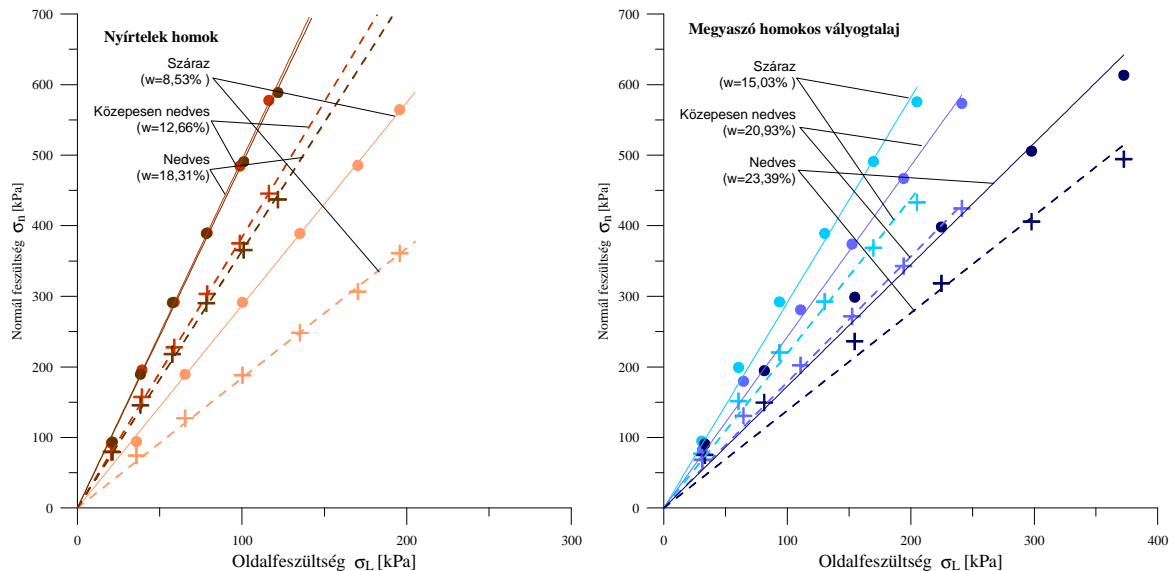
4. ábra. Mintamagasság vizsgálatának eredményei

Összehasonlítva egy magas minta eredményeivel az eltérés a magas és alacsonyabb minták között még szembevetőbb. Sajnos a súrlódási ellenállás a normálfeszültségek mellett hatással van a kohéziós érték meghatározására is, mivel a mérések feldolgozása során magasabb normálfeszültségi értékekkel számoltunk (Kovács et al. 2006.). Ez vezethetett oda, hogy negatív kohéziók jöttek ki a számítások végén ezeknél a kis konzisztenciájú talajoknál (5. ábra).



5. ábra. Az oldalfalsúrlódás hatásának vázlata

A normál és oldalirányú erők arányának mérésére több mód is van. Ezek közül az egyik, ha nyomásérzékelő szenzorokat építünk a nyíródoboz oldalfalába, majd több normálterhelési érték mellett vizsgáljuk az oldalfalon fellépő nyomásértékeket. Amíg ennek a kivitelezése meg nem valósul, a már korábban, az ödométeres méréseinknél meghatározott, a minták víztartalmától függő arányszám megfelelő közelítő értéket adott, hogy a nagyobb méretű nyíródobozokkal elvégzett mérések oldalfalsúrlódásból eredő hibáját becsülni tudjuk.

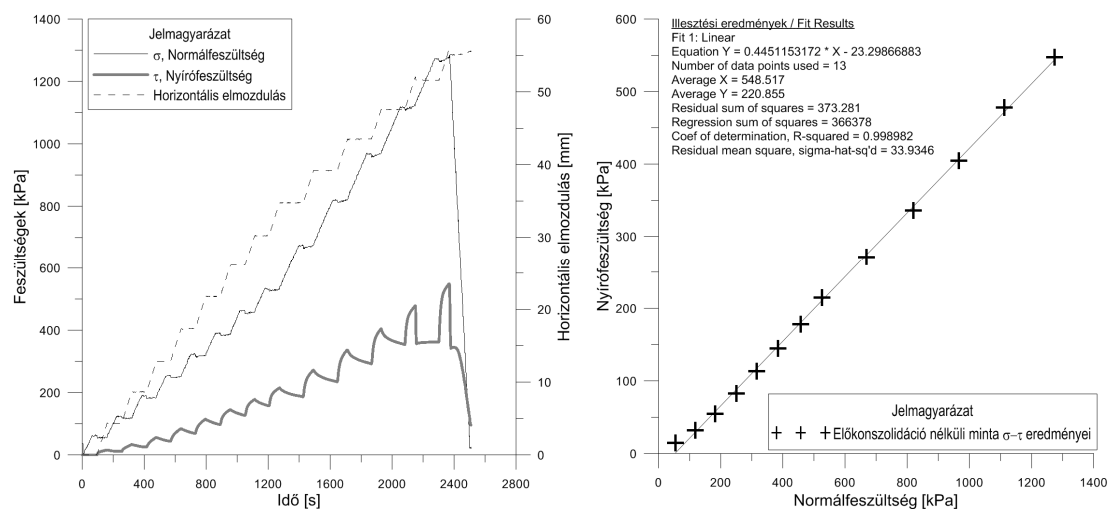


6. ábra. Ödométeres kísérletek során mért normál és oldalirányú feszültségek a minta tetején és alján mezőgazdasági homok és vályogtalajok esetén

Összegezve a mintamagassággal kapcsolatos méréseinket elmondható, hogy nagyméretű minták esetén javasolt olyan alacsony mintákat előkészíteni, amilyen vékonyat csak lehet, illetve, ha mód van rá, akkor célszerű megoldani a normálerőből adódó oldalirányú erők mérését. Óvakodni kell azonban a túlzottan vékony mintáktól is, mivel ezek esetén elérhető olyan összenyomódási állapot, amikor a terhelő egység egyes részei a elnyíródási zónába kerülhetnek, minek hatására komoly károk keletkezhetnek az eszközben, tehát kénytelenek vagyunk mindig a legjobb kompromisszumos megoldást megtalálni a mintamagasság megválasztásánál.

3.3 Előtömörítés alkalmazása

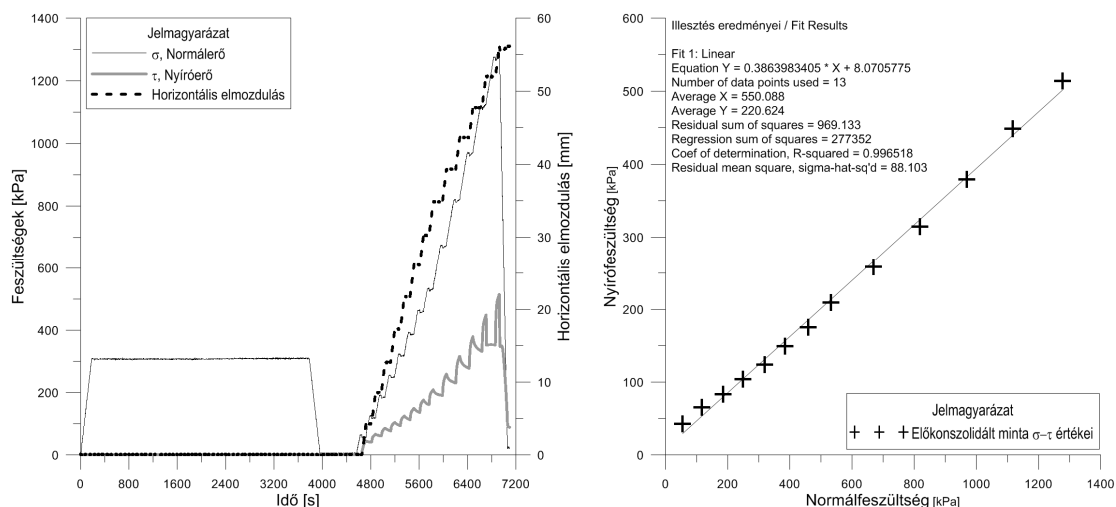
A vizsgálataink során használt laza, konszolidálatlan, alacsony kohéziójú talajok esetén az elméletek alapján terhelésmentes állapotban a kohéziós értéknek nullának kellene lennie. A nulla érték elérése azért sem megvalósítható, mert a terhelés egyenletes elosztását segítő terhelő lap már a mérést megelőzően egy csekély, de nem elhanyagolható normál feszültséget indukál a talajtestben. Ezen felül a normálerőket is mindig a valós érték felett határoztuk meg az előző fejezetben ismertetett oldalsúrlódási erők hatása miatt. A vizsgált laza talajok kohéziós értékét így túl sok hiba terhelve ahhoz, hogy pontosan meg tudjuk határozni, amelyek közül a legszembetűnőbb a negatív kohézió (**7. ábra**).



7. ábra. Vastag ($h=273$ mm) minta MS típusú nyírási vizsgálatának eredményei

Ahhoz, hogy vizsgálni tudjuk az adott talajok kohéziós értékét, különböző hosszúságú és terhelési szintű előkonszolidációs módszereket alkalmaztunk közvetlenül a nyíróvizsgálat elvégzése előtt, ezzel biztosítva egy kisfokú tömörödöttségi állapotot a talajmintában.

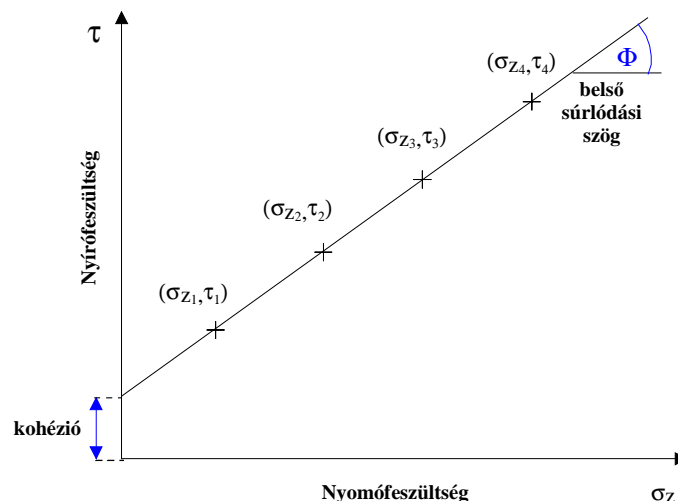
A legjobb megoldást a leghosszabb és legnagyobb terhelési megoldás jelentette. Itt a talajt majd 4000 másodpercen át tettük ki 300 kPa-os normálfeszültségnek, s ennek eredményeképp 8 kPa-os kohéziót mértünk a korábban „negatív” kohéziójú talajban (8. ábra).



8. ábra. Hosszú előkonszolidáció alkalmazása nyíróvizsgálatoknál

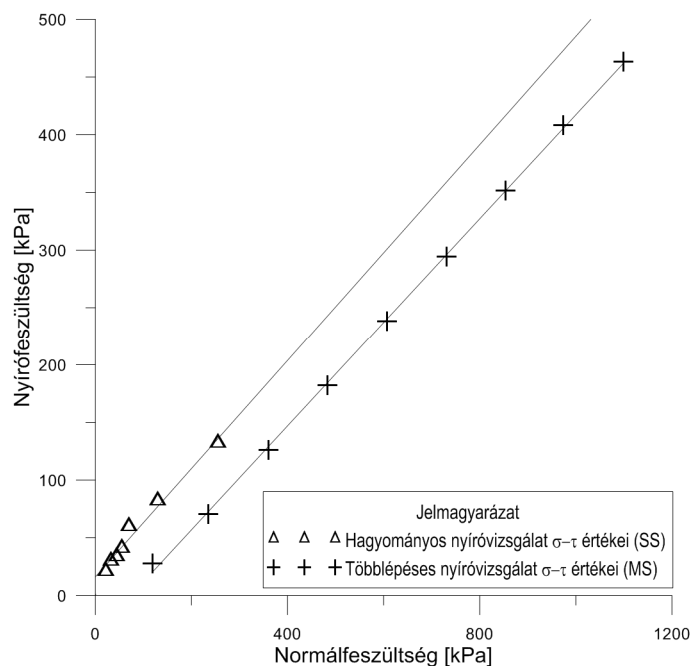
3.4 Többlépéses nyíróvizsgálatok

Hagyományos nyíróvizsgálatok esetén (egylépéses) egy adott normálfeszültség beállítása mellett vizsgáljuk az adott anyag nyírással szembeni ellenállóképességét. Minden egyes ilyen elvégzett vizsgálatnak egy σ - τ értékpár lesz az eredménye (Kézdi, 1972.). Ahhoz, hogy megkapjuk az adott talajra jellemző tönkremeneteli határgörbét a σ - τ síkon, több ilyen vizsgálatot kell elvégeznünk (9. ábra).



9. ábra. Tönkremeneteli határgörbe meghatározása tradicionális vizsgálatl

A vizsgálatok ismételhetsége szempontjából nagy gondot okoz az, hogy az újbóli mintagyártás során ugyanazt a víztartalmat, szemeloszlást, homogenitást érjük el, így a mérésorozat eredményei mindig magukban hordozzák ezen bizonytalanságok által okozott hibafaktorokat. A nagyméretű nyíróberendezés tesztelése során vizsgáltuk a hagyományos nyíróvizsgálati módszert is (10. ábra). Ezek eredményeit, valamint a nagy nyíródoboz adta lehetőségeket kihasználva alkottunk meg egy új nyíróvizsgálati eljárást, a többlépéses nyíróvizsgálati módszert (MS). Az új metódus lényege, hogy a hagyományosan különálló nyíróvizsgálatokat egy láncra fűzve hajtja végre egyre növekvő normálterhelések mellett, kis elmozdulásokkal.



10. ábra. Egy- és Többlépéses nyíróvizsgálatok eredményeiből számított σ - τ értékpárok

Az egy- és többlépéses vizsgálati módszerekkel elvégzett tesztek követően, azok eredményeit feldolgozva és az tesztek során fellépő hibalehetőségeket kiszűrve összevethetővé váltak a két vizsgálati módszer előnyei illetve hátrányai (2 táblázat).

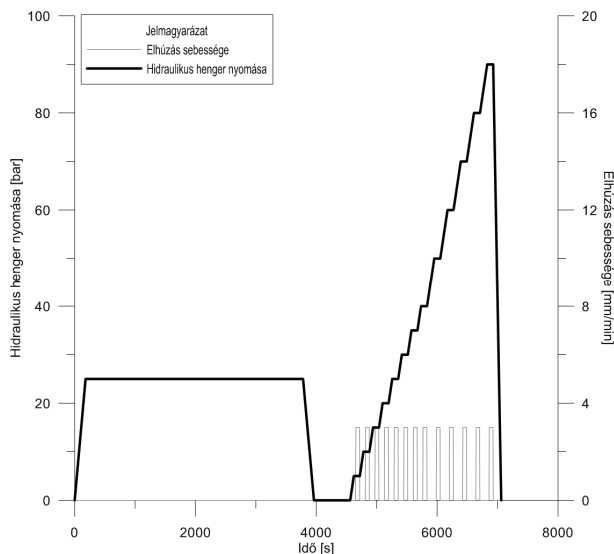
2. táblázat. Egy- és többlépéses nyíróvizsgálatok előnyei és hátrányai

	Előnyök	Hátrányok
Egylépéses nyírás (SS)	<ul style="list-style-type: none"> + <i>tradicionális módszer</i> + <i>könnyű kiszűrni a kieső adatokat</i> + <i>nagy elmozdulás is megengedett (reziduális nyírószilárdság)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>nedvességtartalom ismételhetősége nehéz</i> - <i>változó peremfeltételek az ismétlések során</i> - <i>kis határfok (lassúság)</i>
Többlépéses nyíróvizsgálat (MS)	<ul style="list-style-type: none"> + <i>mérés során az anyagparaméterek nem változnak</i> + <i>ugyanazon tönkremeneteli felület minden σ esetén</i> + <i>gyors, hatékony</i> + <i>széles normál terhelési tartomány</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>új fejlesztés</i> - <i>magas agyagtartalomnál a csillámok orientációja befolyásolja az eredményeket</i> - <i>az elhúzások hosszát befolyásolja az anyag szemcseméret-eloszlása</i>

Vizsgálataink során kiderült, hogy a többlépéses nyíróvizsgálat legnagyobb előnye a hagyományos egy elhúzásossal szemben az, hogy az mérés közben az anyagparaméterek (nedvességtartalom, szemeloszlás, homogenitás) nem, vagy csak elhanyagolható mértékben változnak. Természetesen vannak olyan területek is, ahol a egylépéses nyíróvizsgálatok jobb megoldást jelentenek, ilyenek lehetnek, amikor reziduális típusú földcsuszamlásokat vizsgáljuk. Ilyen esetekben a hosszú, lassabb elmozdulás reprezentatívabb eredményt ad az adott talajra nézve (Szabó, Kovács, 1992.).

4 KIFEJLESZTETT, ÚJ NYÍRÓVIZSGÁLATI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A fent említett szempontokat szem előtt tartva megalkottunk egy olyan vizsgálati módszert, amely a nagyméretű nyíródoboz estében legalkalmasabb arra, hogy összehasonlító, többlépcsős nyíróvizsgálatokat végezzünk laza mezőgazdasági talajokon. A vezérlésnél a hidraulika rendszer nyomását és az elmozdulás sebességét tudjuk változtatni.



11. ábra. Többlépcsős nyíróvizsgálati módszer vezérlőfüggvénye

A többlépcsős nyíróvizsgálathoz használt vezérlőfüggvényt (11. ábra) három részre oszthatjuk.

Az első lépésben egy kezdeti, kis kohéziós értékig tömörítjük a vizsgált anyagot. A minta tetején az előtömörítéshez használt tömörítő nyomás nem nagyobb, mint 3,5 bar. A folyamat végén a nyomás visszacsökken nullára, relaxálni hagyva a próbatestet. A folyamat több, mint a felét kiteszi a mérési időnek, 4560 másodpercen át tart.

A mérés második részében megkezdődik a többlépcsős nyírási folyamat. Ebben a szakaszban alacsony normálterheléseket használunk, ami azt jelenti, hogy a tradicionálisan használt maximum 5-6 baros normálterhelésig tart, s ez alatt 8 normálterhelés és vízszintes elhúzás történik. Az elhúzások során 3 mm/perc-es sebességet használunk fél percen keresztül, ami lépésenként 1,5 mm-es elmozdulást eredményez.

A harmadik szakasz hasonló a másodikhoz. Ebben a fázisban magas normál feszültségi tartományon vizsgálódunk, egészen 12 bar értékig. A nyomásnövekmény itt már lépésenként nagyobb, s az utolsó 5 lépés tartozik ide. A vízszintes elmozdulás sebessége és hossza nem különbözik a második fázishoz képest.

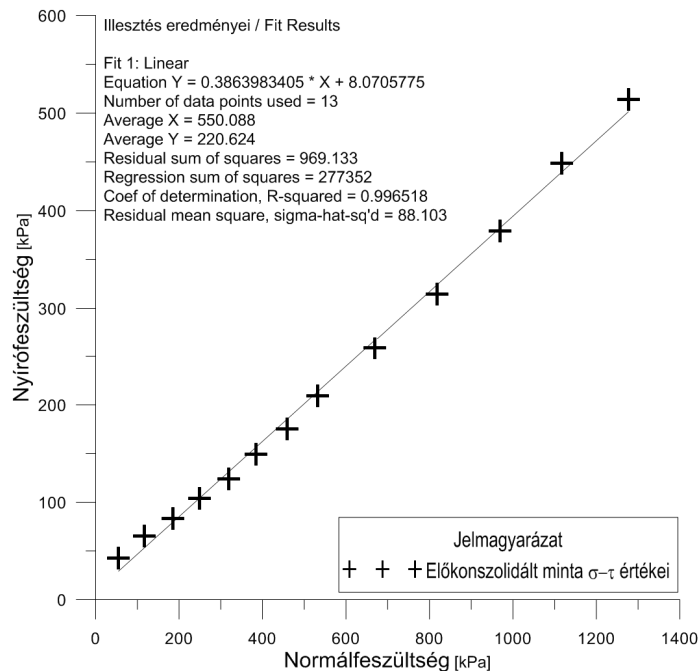
A teljes vizsgálat hossza 7060 másodperc (~2 óra), s eredményeként a vizsgált anyagról 13 σ - τ értékpár által meghatározott, a talajra jellemző tönkremeneteli határgörbét kapunk (12. ábra).

5 ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyedi, nagy méretű nyíróberendezés beüzemelése során alapos tesztelésen esett át. A cél az volt, hogy ezen a prototípusnak mondható eszközön feltárjunk minden olyan hibát és gépi sajátosságot, ami befolyásolhatja a mérések menetét.

A berendezés a tesztek során stabilan és kielégítően működött, s a tesztek alapján kijelenthető, hogy a felmerülő problémákat sikerült megoldanunk, vagy olyan elhanyagolható szintre csökkentenünk, ami a mérés folyamán nem okoz problémát.

A tesztek ismételtetősége megfelelő, a kapott eredmények kellőképp közel esnek egymáshoz. A laza, alacsony kohéziójú talajok esetén mutatkoztak olyan anomáliák, amelyeket a magas mintamagasságból adódó oldalfal-súrlódás okozott, így ezen mérések során a kohézió nélküli talajra „negatív” kohéziót határoztunk meg. Előkonszolidáció után és csökkentett mintamagasság alkalmazásával a jelenség megszűnt.



12. ábra. Többlépéses nyíróvizsgálati módszer eredményei

A nagyméretű nyíróberendezésen szerzett tapasztalatainkból sikerült kifejleszteni egy olyan új nyíróvizsgálati eljárást, mely során a vizsgálandó anyagról gyorsabban, a tradicionális eljárásokkal megegyező pontossággal képesek vagyunk nyírószilárdsági paramétereket megállapítani a minta reprodukálhatóság problémájának kizárásával.

IRODALOM

- Kézdí Á. 1972. *Talajmechanika I.* Budapest, Tankönyvkiadó.
- Szabó I., Kovács B. 1992. *Lassú felszínmozgások vizsgálata a miskolci Avas dombon.* A Bányamérnöki Kar Tudományos eredményei. Miskolc. 281-286.
- Szabó I., Kovács B., Czinege I. 1992. *Korszerű nyírószilárdságvizsgáló berendezések a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéken.* Ráckeve. Geotechnika konferencia kiadványa, p. 72.
- Kovács B., Szacsuri G., Czinkota I, Szabó I., Czanik P. 2002. *Environmental Geotechnical Aspects of Remediation of Drilling Mud Deposits.* Passau. Proc. of the 12th Danube-European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Sárközi L., Kovács B., Kelemen K. 2005. *Application of a Triaxial Measurement Facility for Determination of Some Material Parameters of Agricultural Sandy Loam Based on the Critical State Soil Theory.* Miskolc. MicroCAD 2005 konferencia kiadványa. 126-130.
- Kovács B., Kriston S., Sárközi L. 2006. *Experimental and numerical investigation of some type of unsaturated soils on the basis of the Critical State Soil Mechanics Theory.* Budapest. Proc. of 10th European Conference of International Society for Terrain-Vehicle Systems