



Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi kar

Szemcsés talaj feszültségállapot változásainak és feszültségtörténetének hatása a nyíróhullámok terjedési sebességére

Készítette:

Anka Mónika

Építőmérnök Bsc Szerkezetépítési szakirány

Témavezető:

Hudacsek Péter

Egyetemi tanársegéd, laborvezető

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Vizsgálatok	6
3. Adatok feldolgozása	15
3.1. p/q diagram.....	16
3.2. Nyíróhullám terjedési sebessége és a feszültség-hányad kapcsolata.....	17
3.3. Nyírási modulus és az átlagos feszültségi szint kapcsolata.....	20
3.4. Nyíróhullám terjedési sebessége és a cellanyomás kapcsolata.....	22
3.5. Nyírási modulus és a hézag-tényező kapcsolata.....	23
4. Értékelés	25
5. Adatok összesített táblázata	29
Irodalom	30

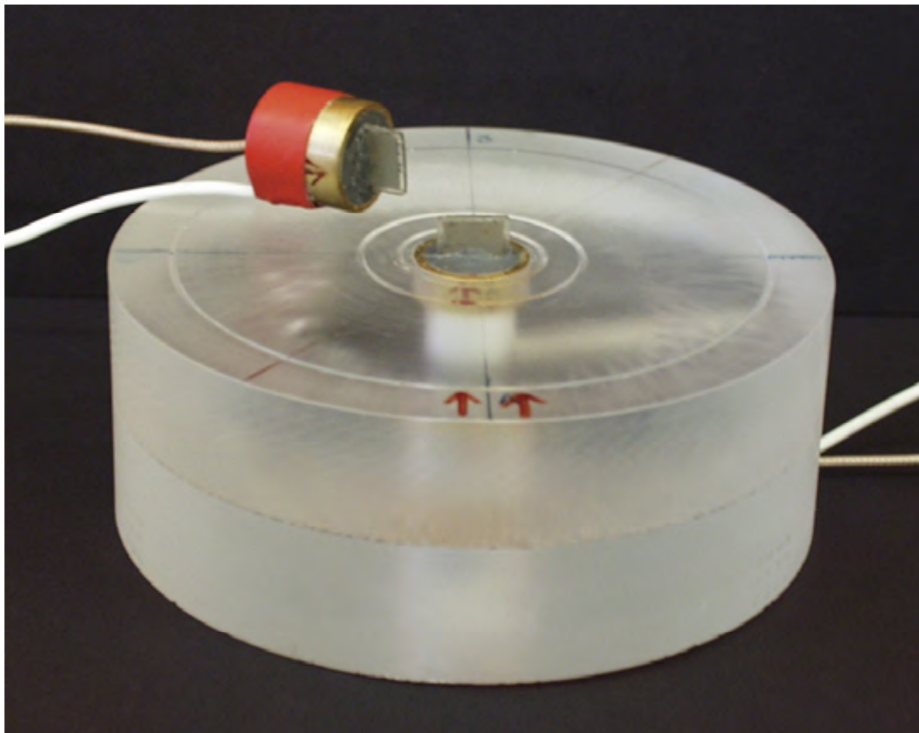
1. Bevezetés

A föld szerkezete összetett, különböző szilárdságú, halmazállapotú rétegek alkotják. Az eltérő energiaszintek, illetve az anyagsűrűség és hőmérséklet inhomogenitása miatt hő és anyagáramok alakulnak ki, melyek alakváltozásokat, elmozdulásokat keltenek a lemezekben. Az idővel felhalmozódó feszültségek elérhetnek egy határértéket, melyek eredményeképpen kiterjedés, összenyomódás és szögtorzulás léphet fel. Ennek hatására a feszültségi értékek jelentős mértékben lecsökkennek, és nagy alakváltozási energiák szabadulnak fel. Előfordul, hogy az eltérő tulajdonságú rétegek határfelületén visszaverődve rezgéseket gerjesztenek ezek a gyorsan terjedő repedések, csúszások. Ez tehát az oka a föld szerkezetében keletkező **transzverzális (nyírási)** és kompressziós hullámok kialakulásának, melyeket a felszínen földrengésként érzékelünk.

A kutatásban szintén ezt, a felszín-közeli építményeket leginkább károsító nyíróhullámok terjedési sebességét vizsgáltuk, azt, hogy miként változik a talaj egyes feszültségi állapotaiban.

A vizsgálatokat az úgynevezett Bender element illetve dinamikus triaxiális készülékkel végeztük.

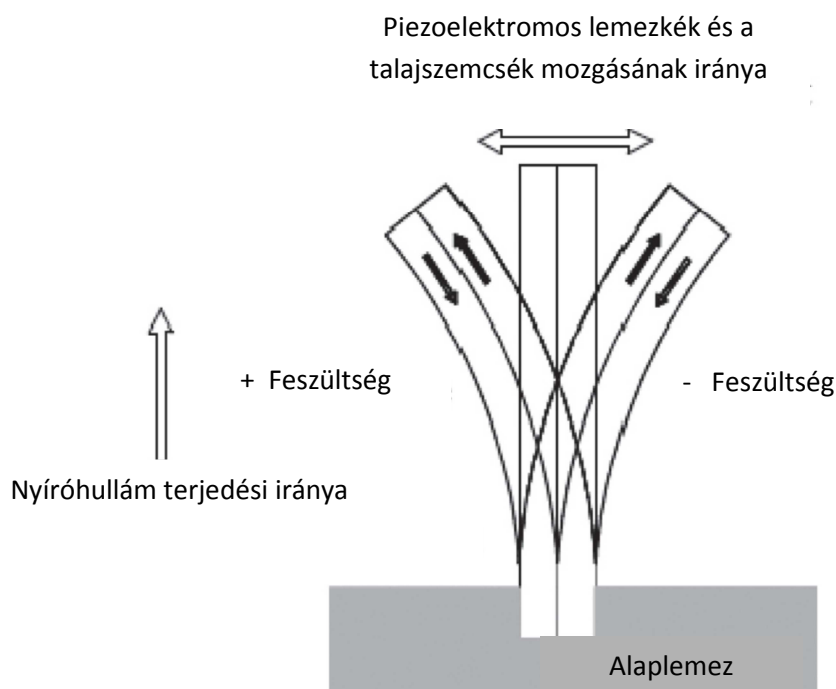
A Bender element gyakorlatilag piezoelektromos lemezkék, melyek elektromos töltés hatására alakváltozással, alakváltozásra pedig elektromos töltés kibocsátásával reagálnak. Ezeket a henger alakú talajminta két végébe kell elhelyezni, az egyiket a jeladónak a másikat pedig a jelvevőnek használva.



1. kép: Bender element

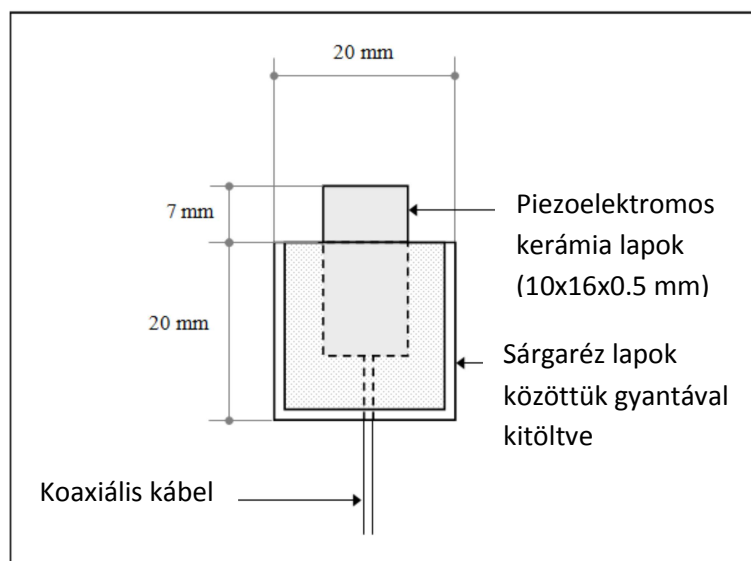
Működésük alapelve a feszültség-kihajlás viszonyán alapul. A jeladóhoz elektromos vezetékpár csatlakozik, amin keresztül feszültséget adhatunk az elemre, melynek hatására az meghajlik, és rezgéseket gerjeszt a mintában. A feszültség függvényében tudjuk változtatni a hullámok frekvenciáját, illetve amplitúdóját.

A talajmintán áthaladó hullám a „fogadóhoz” ér, melyben a gátolt alakváltozás miatt feszültség fog keletkezni, tehát beérkezett feszültségi értéket tud mérni. Ezzel együtt az is megállapítható, milyen mértékű csillapítás fog keletkezni a talajmintán való áthaladáskor.



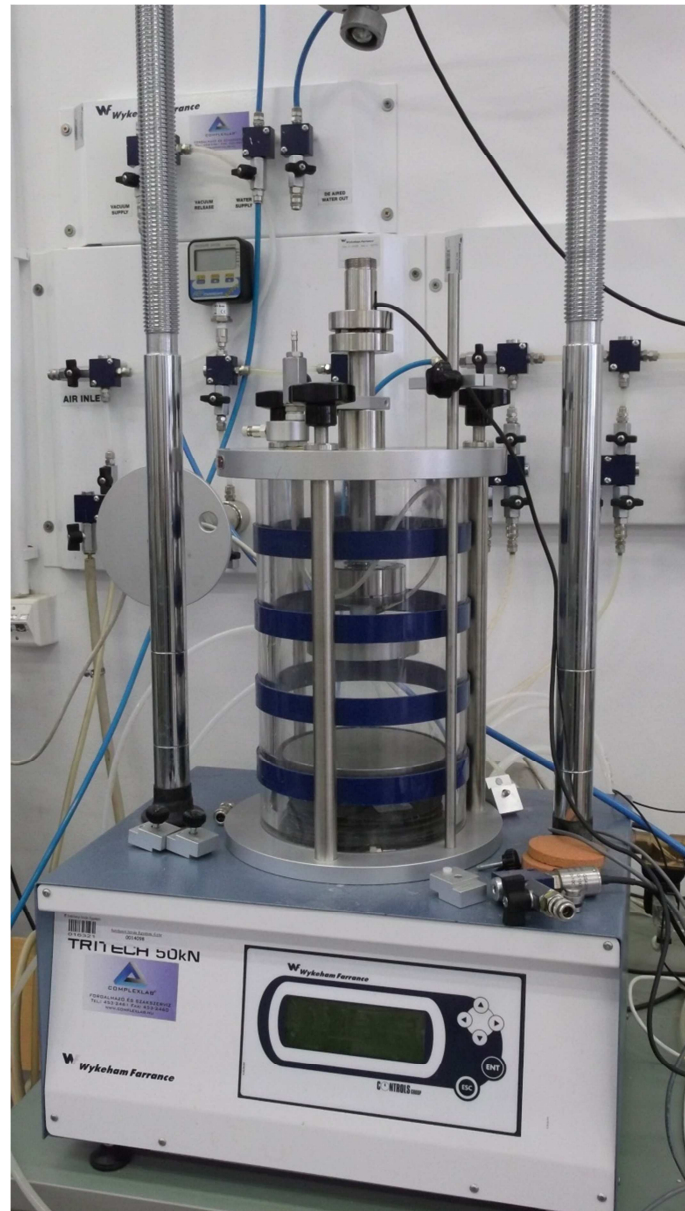
2. kép: Bender element működése

A fogadóelem, mely alakváltozás hatására töltéseket bocsát ki, a PC alapú oszcilloszkóphoz csatlakozik.



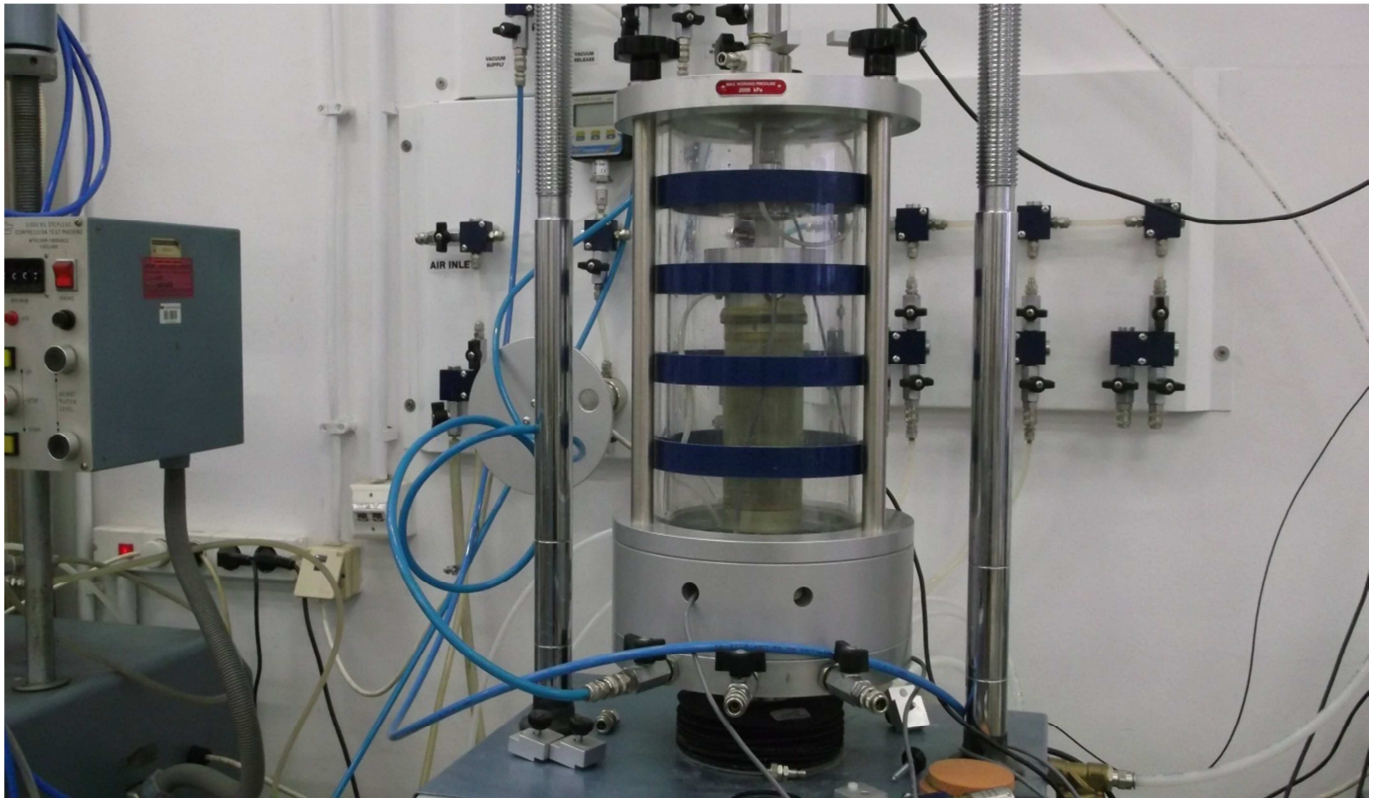
3. kép: Bender element szerkezeti elve

A triaxiális berendezés segítségével tudtuk az egyes terhelési lépcsőket kialakítani. A talajminta és a cella közötti teret vízzel telítettük, ezzel kialakítva a cellanyomást. A függőleges terhelést proporcionális szeleppel vezérelt pneumatikus munkahengerrel adtuk a mintára. A proporcionális szelep vezérlését a rendszer részét képező RT multifunkciós adatgyűjtő és folyamatirányító egység végezte, melyet a vezérlő PC-n futó szoftver kezel. A függőleges erő pontos szabályozásához szükséges erő visszacsatolást a vezérlő logika a cellában elhelyezett víz alatti erőmérő cella jele adja.



4. kép: Dinamikus triaxiális berendezés

A triaxiális berendezéssel drénezett, drénezetlen, konszolidált, konszolidálatlan nyírószilárdsági kísérletek illetve ezek kombinációik is elvégezhetők, a készülék alkalmas továbbá dinamikus és ciklikus, valamint feszültségpálya vizsgálatok elvégzésére. A vizsgálatok folyamán mérhető a minta tengelyirányú alakváltozása, továbbá telített talajminták terhelés alatti térfogatváltozása és zárt rendszer esetén a pórusvíznyomás változása is.



5. kép: Dinamikus triaxiális berendezés a bekészített talajmintával

2. Vizsgálatok

Összesen négy, különböző állapotjellemző talajmintán végeztünk vizsgálatokat, hogy megállapítsuk, milyen hatással van a kezdeti állapot és a feszültségi állapot, illetve a bejárt feszültségpálya a nyíróhullám terjedési sebességére.

Ahhoz, hogy az egyes mérési eredmények összehasonlíthatók legyenek, azonos terhelési lépcsőket alkalmaztunk. Minden terhelési lépcsőnél izotróp feszültségi állapotból indultunk, majd minden feszültségi szinten folyamatosan mértük a nyíróhullám terjedési sebességét.

A vizsgált minták méretei minden esetben azonosak voltak:

- Átmérő: $d = 70 \text{ mm}$
- Hossz: $l = 142 \text{ mm}$
- Térfogat: $V = 546,48 \text{ cm}^3$

Az egyes talajminták állapotjellemzői:

	1.számú talajminta	2.számú talajminta	3.számú talajminta	4.számú talajminta
Vw(%)	20	20	18,84	0
$\varphi(^{\circ})$	32,78	36,67	40,00	28,55
ps(g/cm ³)	2,65	2,65	2,65	2,65
w(%)	15,38	12,5	11,11	0
pn(g/cm ³)	1,50	1,8	1,88	1,38
V(cm ³)	546,48	546,48	546,48	546,48
mt(g)	819,72	983,66	1029,96	755
mv(g)	109,30	109,29	103,00	0
ms(g)	710,42	874,36	926,96	755
e	1,038	0,65	0,562	0,918
Sr	0,393	0,50	0,524	0
Vs(%)	49,06	60,37	64,01	52,13
VI(%)	30,94	19,62	17,14	47,87

Ahol:

V_w – volumetrikus víztartalom, mely megadja, hogy a teljes térfogat hány %-át alkotja víz

φ – Belső súrlódási szög, talajjellemző paraméter

ps – Talajtípusra jellemző szemcsesűrűség

w – gravimetrikus víztartalom, mely megmutatja, milyen tömegszázalékban van jelen a víz a mintában

pn – talajminta természetes állapotában a rá jellemző térfogatsűrűség g/cm³-ben kifejezve

mt- talajminta teljes tömege

mv- talajmintában található víz tömege

ms- talajminta száraz tömege (kemencében 105°C-on szárítva)

e – hézagtérfogatszám, mely megmutatja mekkora az aránya a hézagtérfogatnak a szárazszemcse térfogathoz viszonyítva

Sr – talajminta telítettsége, mely a víztérfogatot és a hézagtérfogat arányát adja meg

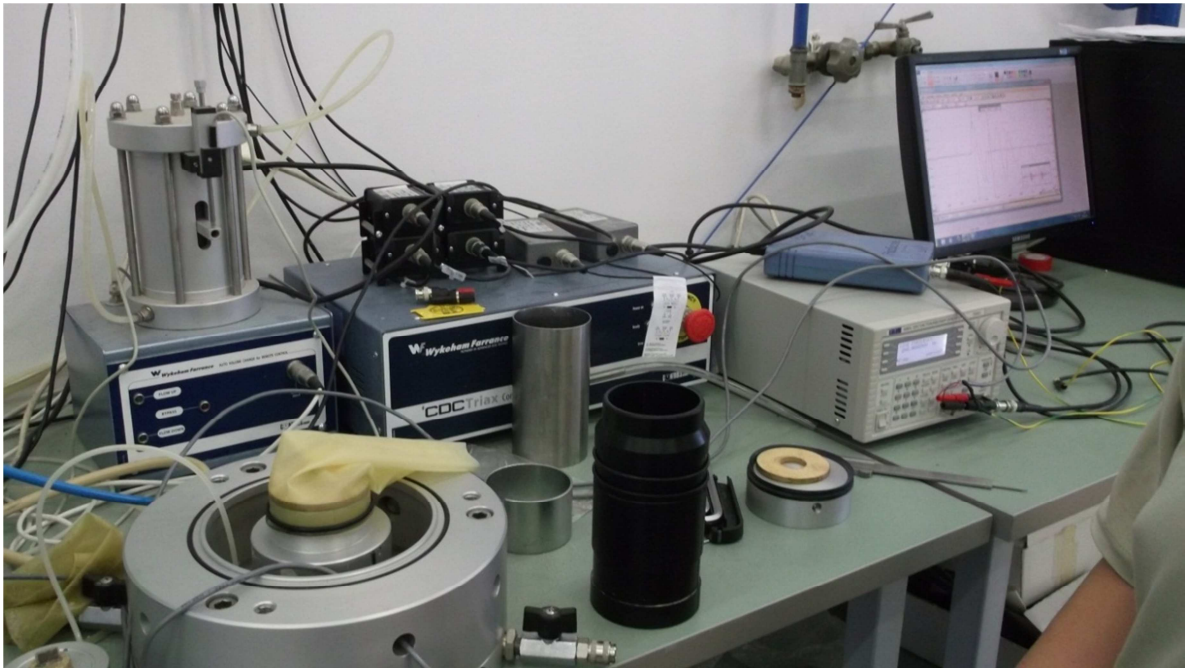
Vs;VI – Szárazszemcse illetve a levegő térfogata a talajmintában.

Az összetevők mennyiségét a számított értékeknek megfelelően pontosan kimértük, majd azokat kellően összedolgozva készítettük be a talajmintát.

Ezt követően a triaxiális berendezést előkészítettük, minden szennyeződést eltávolítottunk a megfelelő működés érdekében.

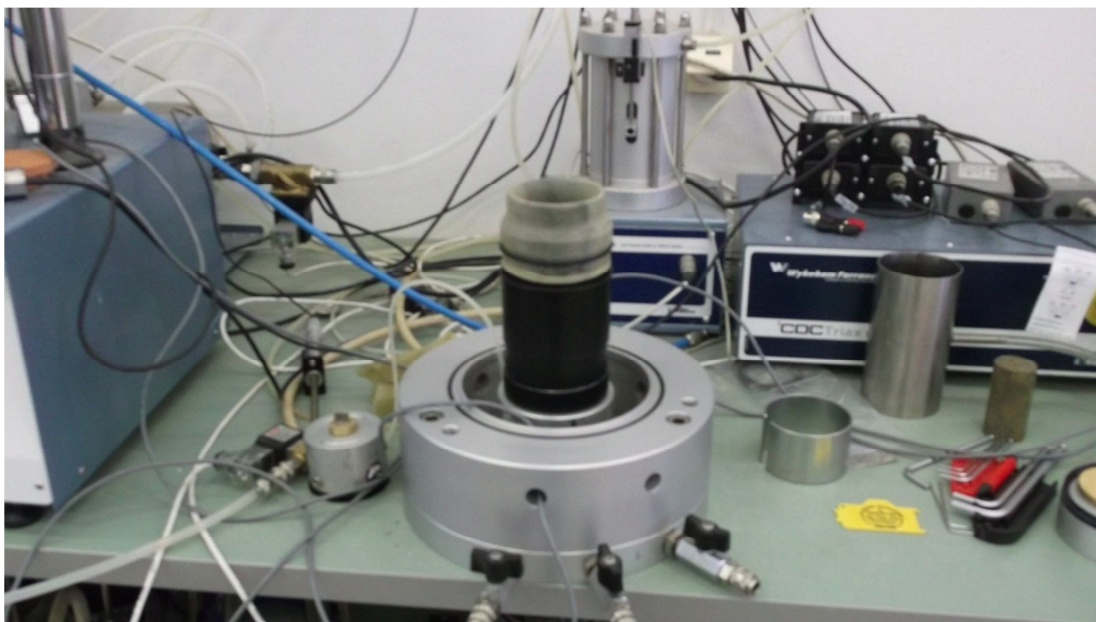
Összefoglalva tehát az előkészítés fázisai:

- Dinamikus triaxiális berendezés előkészítése, bender element elhelyezése,
- Gumimembrán illetve az o-gyűrűk elhelyezése

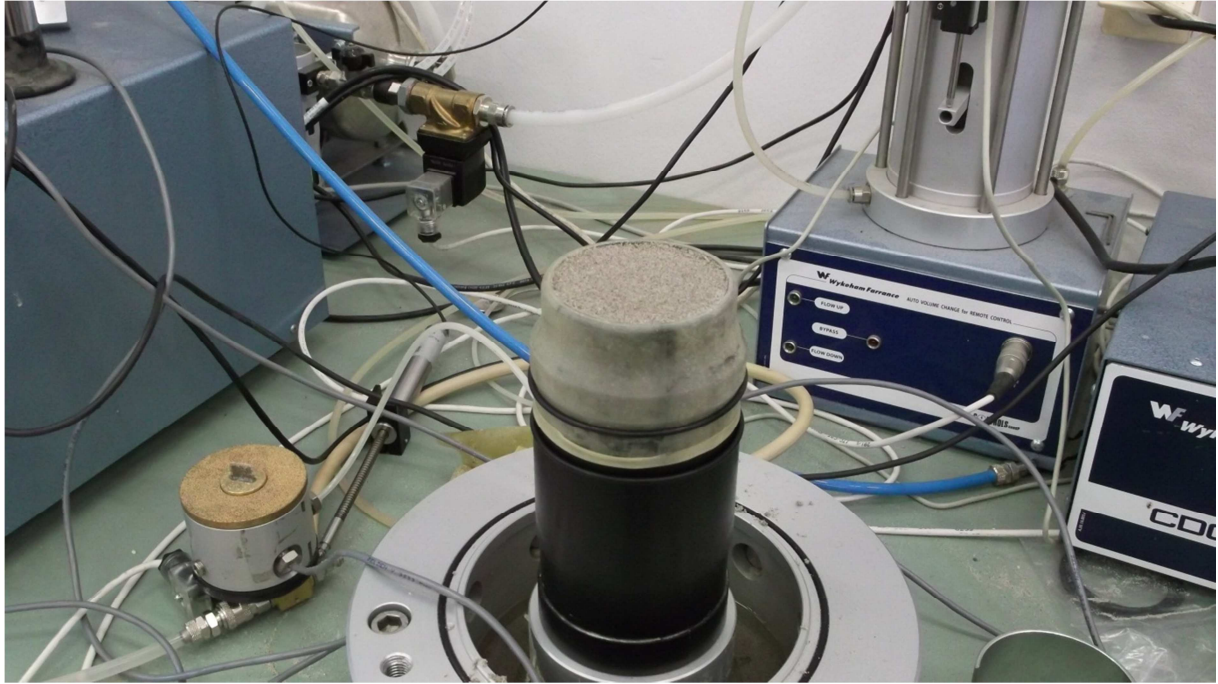


6. kép: gumimembrán a rögzítő gyűrűkkel

- Talajminta tömörítése a formába,

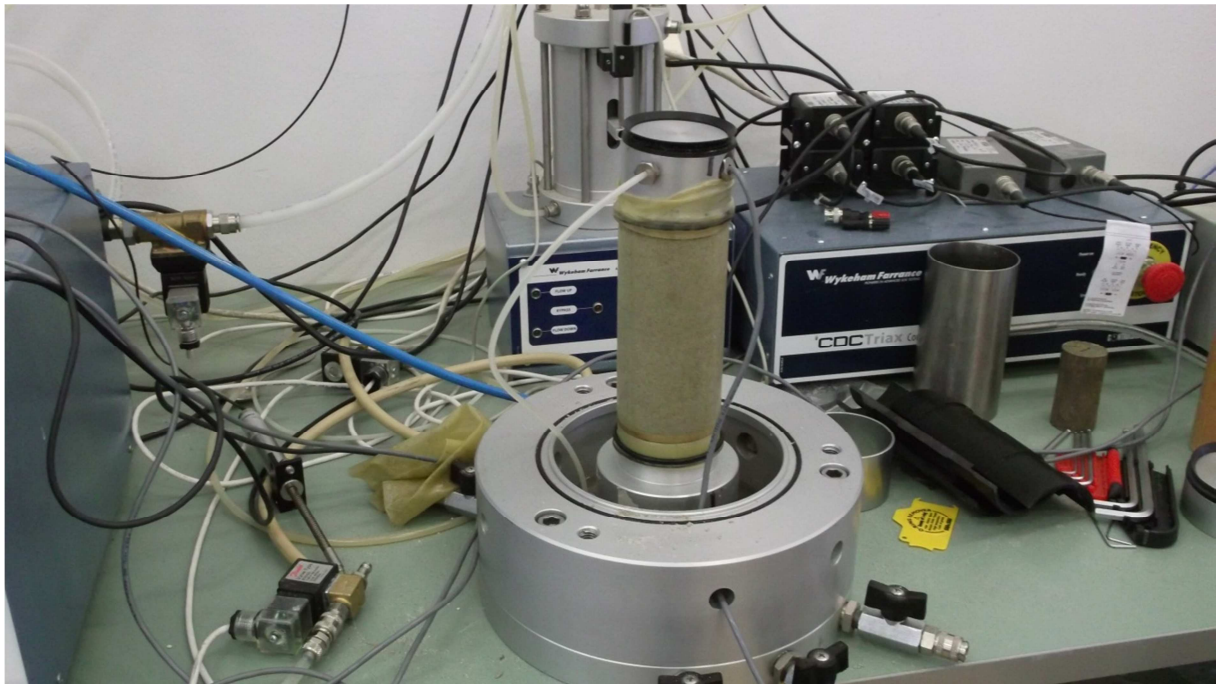


7. kép: Minta előkészítése



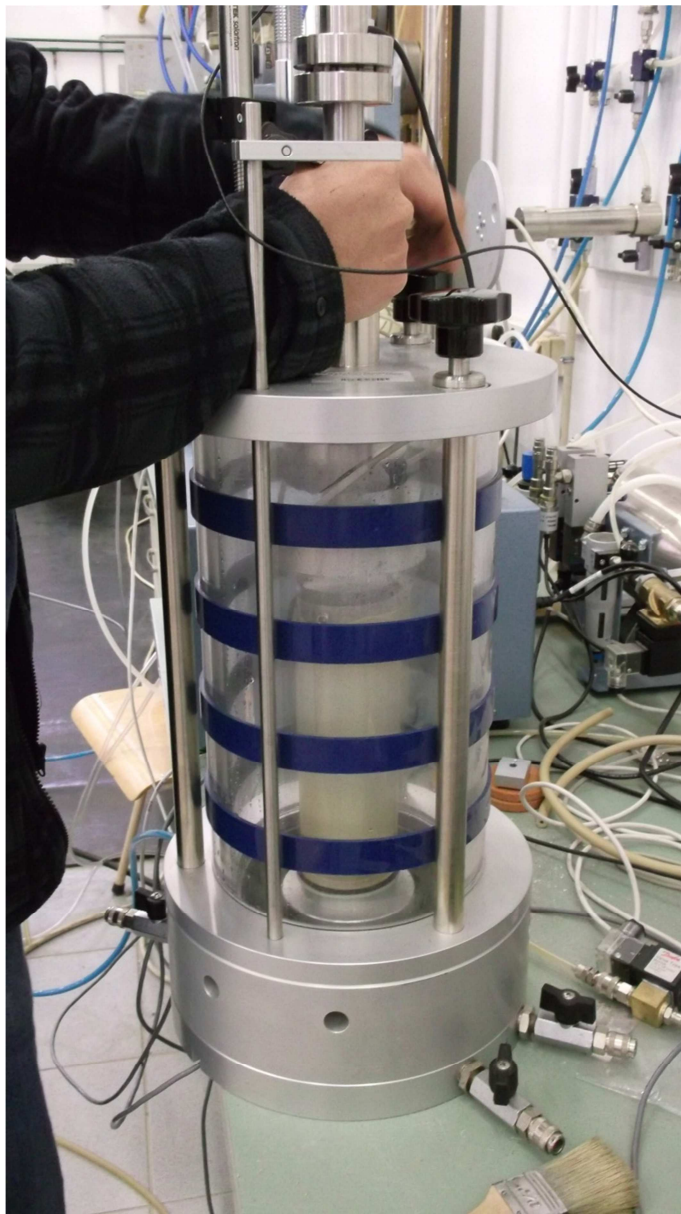
8. kép: Talajminta betömörítése

- Bender element elhelyezése, egyben a minta lezárása (Figyelni kell, hogy az adó és vevő piezométerek párhuzamos helyzetbe legyenek a jel megfelelő érzékelése miatt)
- Gumimembrán lezárása rögzítő gyűrűkkel,



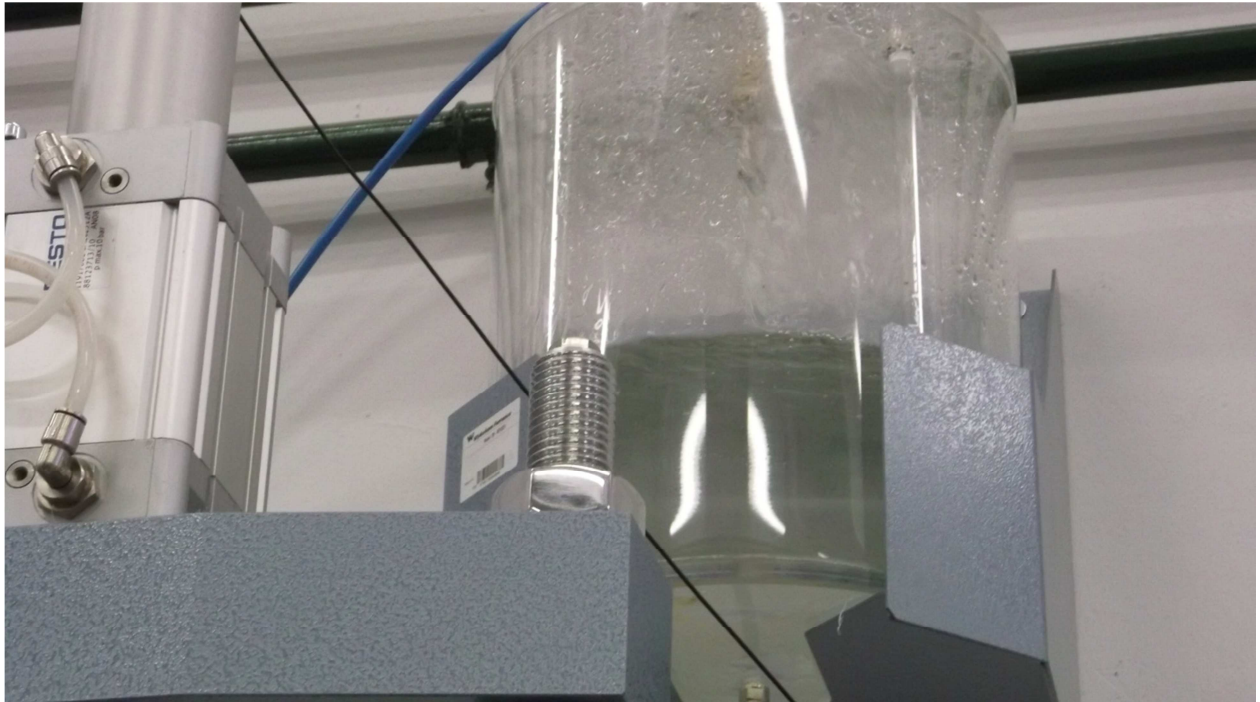
9. kép: Lezárás, rögzítés

- Triaxiális készülékbe helyezés,



10. kép: Cella beemelése

- Víz légtelenítése külön tartályban,



11. kép: Vízlégtelenítő tartály

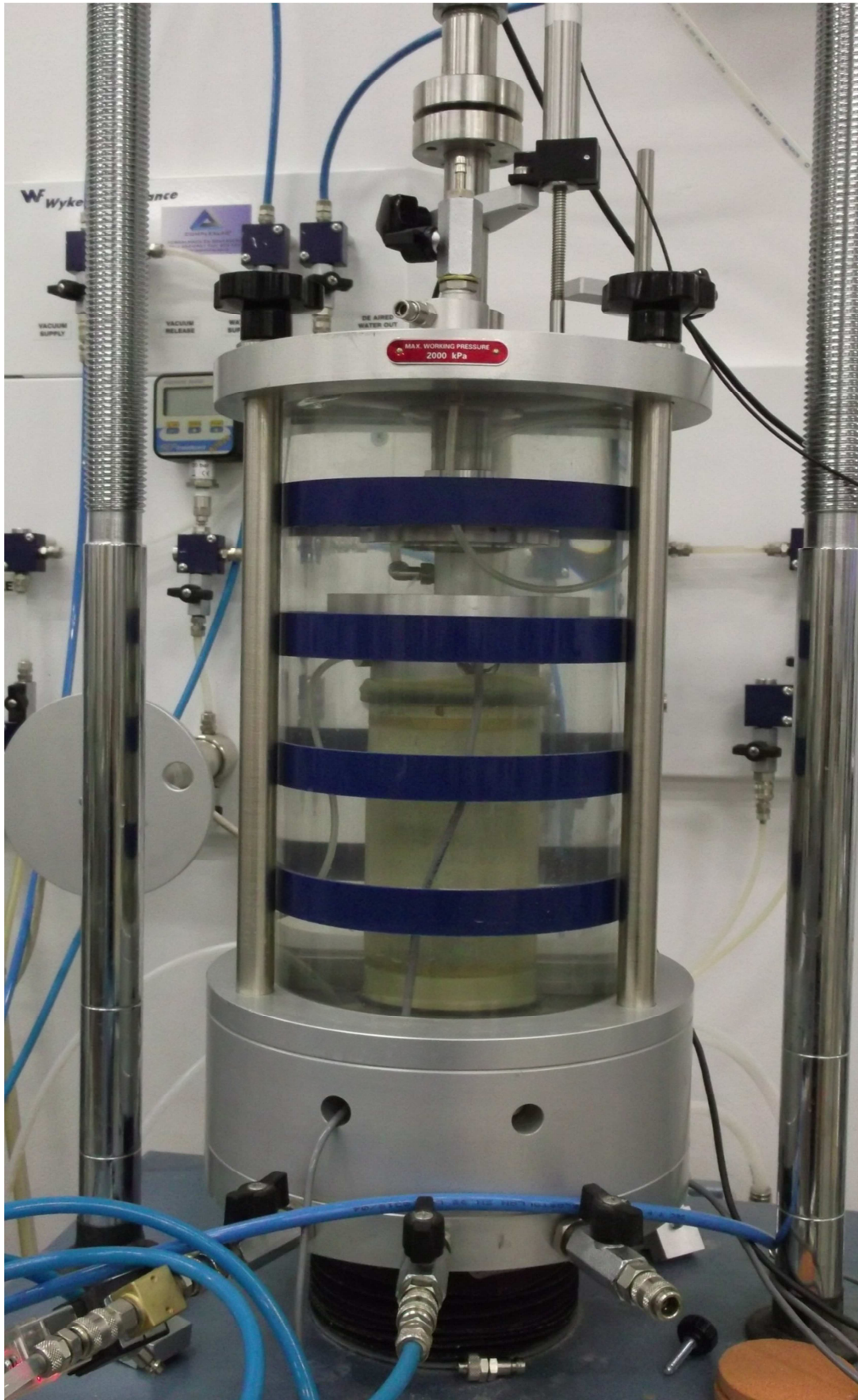
- Cella feltöltése
- Kezdeti manuális beállítások elvégzése

A mérések pontossága végett ellenőriztük a földelést, hogy a kapott jeleket semmilyen külső hatás ne zavarja meg.

A program elindításával, beállítottuk a megfelelő paramétereket: konszolidált, drénezetlen kísérlet, illetve megadtuk a minta geometriai adatait.

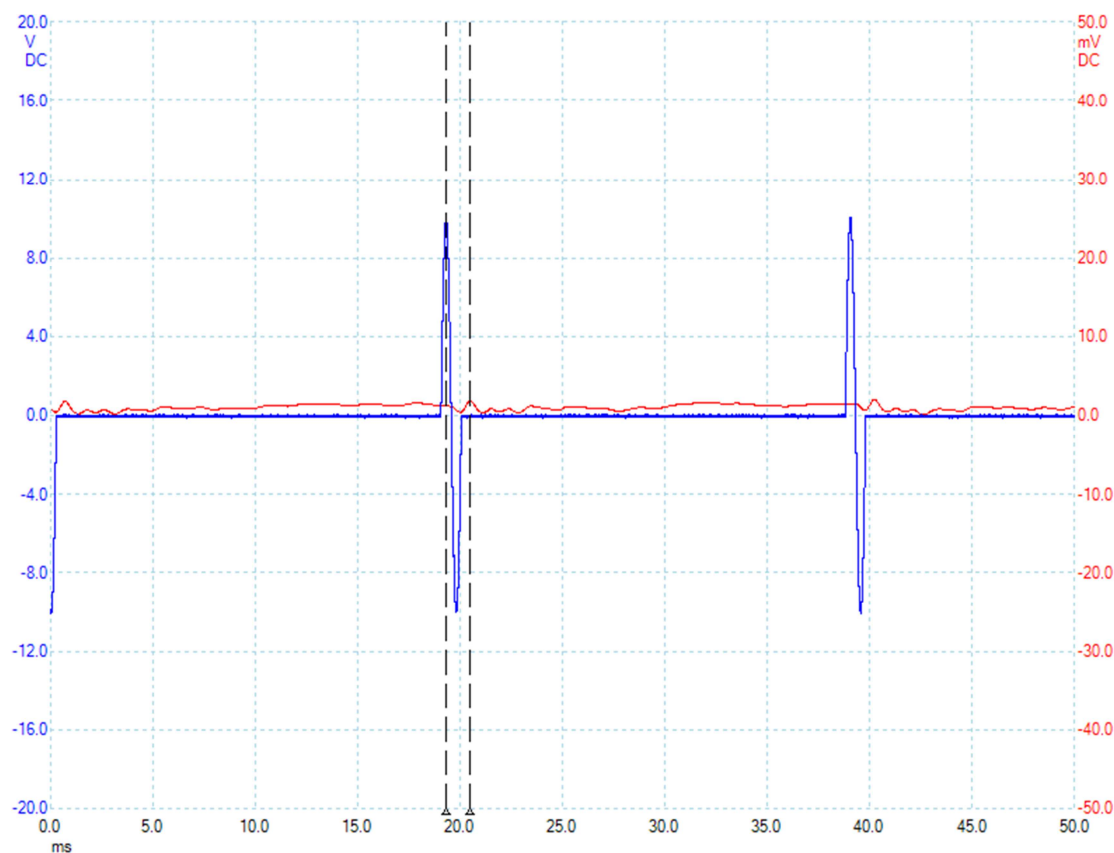
Ezután következtek a feszültségi lépések megadása, ahol mindig hidrosztatikus feszültségi állapotból indultunk, tehát $\sigma_1 = \sigma_3$.

Majd az általunk meghatározott feszültségi szintekkel a rendszer elkezdte terhelni a talajmintát. Ezt folyamatosan nyomon követtük a program által kijelzett grafikonok segítségével.



12. kép: Terhelés folyamata

Amikor elértük a kívánt feszültségi szintet, a piezoelektromos bender element segítségével, periodikusan 1kHz frekvenciájú szinusz formájú nyíróhullámokat indítottunk a talajmintában.



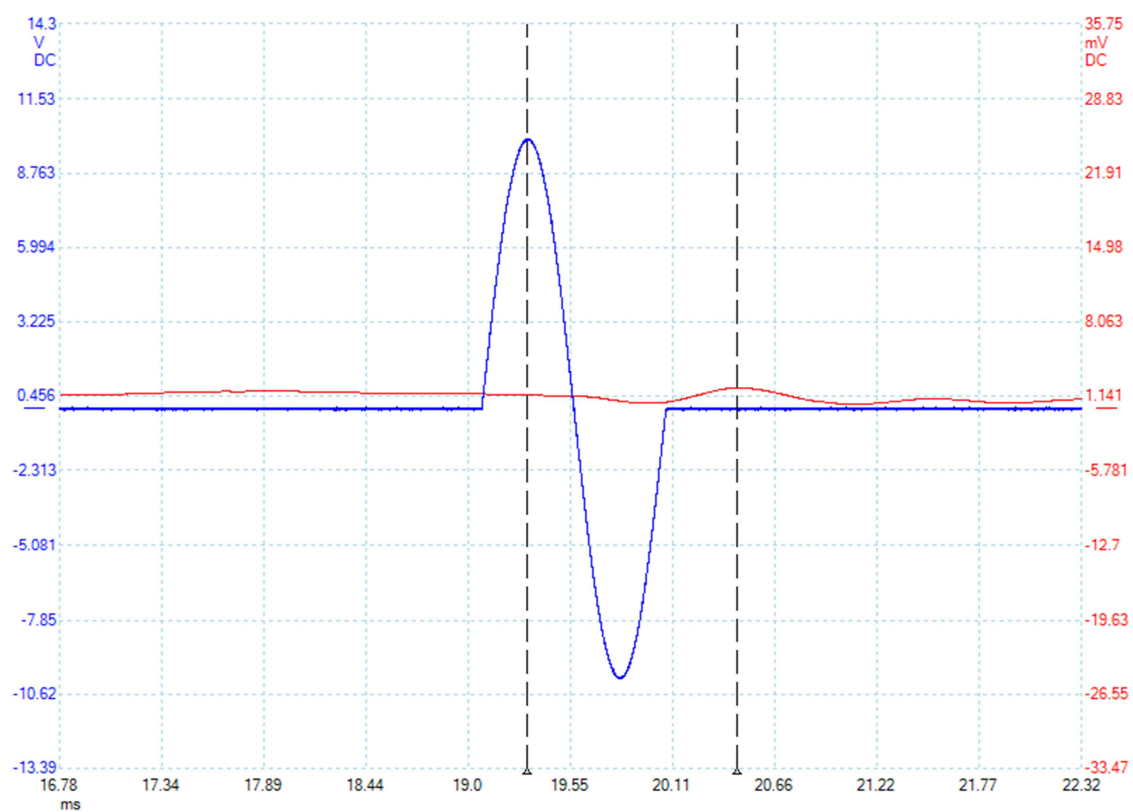
13. kép: Küldött (kék) és beérkezett jelek (piros)

Minden feszültségi lépcső esetén 1kHz frekvenciájú hullámot működtettünk a talajmintára, mivel a tapasztalat szerint 1kHz esetén még viszonylag tisztán kivehetőek voltak a beérkező jelek. A csillapítás miatt a talajmintában a hullámok energiatartalma jelentős mértékben csökken mire a „fogadó” egységhez ér, a disszipáció mértéke tapasztalataink szerint nagyobb frekvencia esetén nagyobb mértékű, így a beérkező jelek pontos mérése problémát jelentett volna.

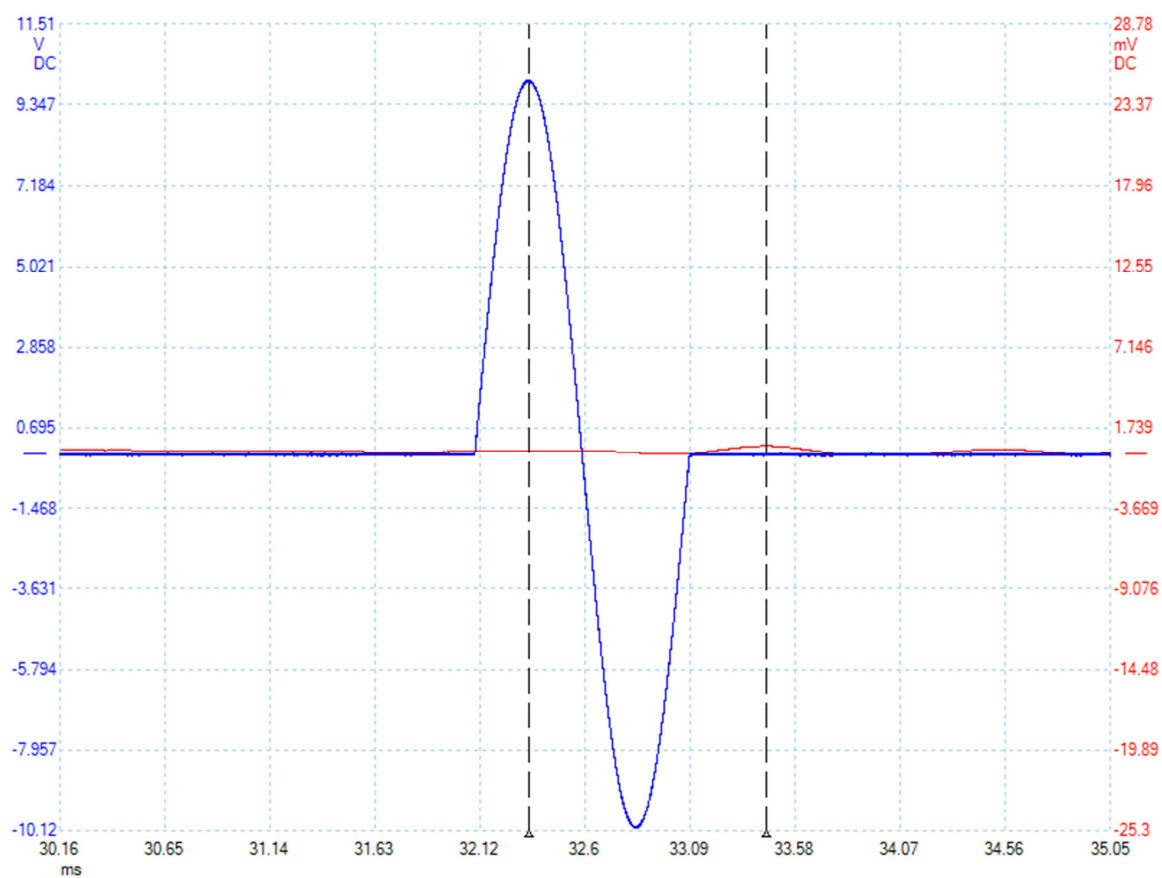
A programmal tehát azt mértük, hogy mennyi idő alatt ér át a talajmintán a nyíróhullám.

A mérésekre több módszer ismert (Electronic Journal of Geotechnical Engineering 15. kiadvány), mi a kibocsátott hullámok csúcserőit hasonlítottuk össze a beérkező jel csúcserőjével, és mértük a köztük eltelt időt.

Az alábbi képeken látható (14.-15. kép), miként változik a beérkező jel erőssége a terhelés intenzitásának növelésével.



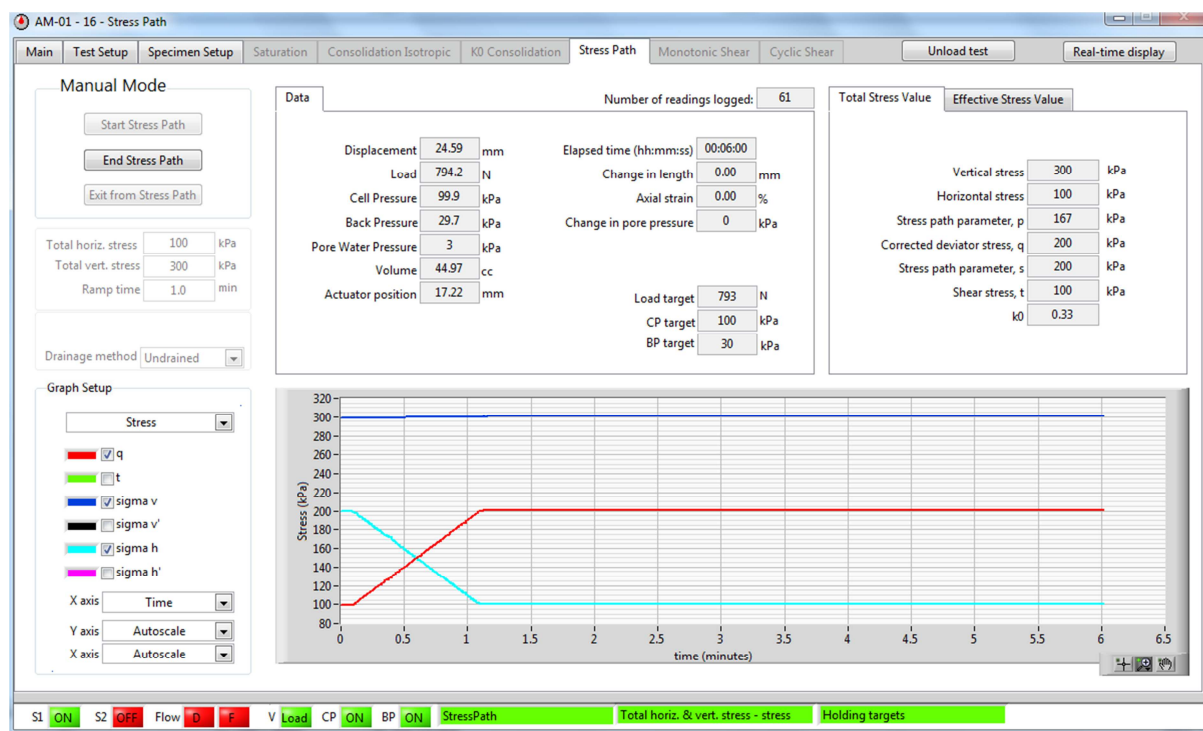
14. kép: $\sigma_1=20\text{kPa}$ $\sigma_3=20\text{kPa}$



15. kép $\sigma_1=80\text{kPa}$ $\sigma_3=100\text{kPa}$

A vizsgálatokhoz meg kellett becsülni, hogy adott cellanyomás mellett mekkora vertikális terhelést működtethetünk, nehogy idő előtt törés következzen be a talajmintában.

Az értékelést a teljes feszültségek figyelembevételével végeztük. A minta pórustere durva zsugorbronz szűrőelemen keresztül kapcsolódott a légkörhöz, tehát abban a vizsgálat során többlet póruslevegő vagy pórusvíznyomás nem alakulhatott ki. A minta volumetrikus víztartalmát úgy választottuk meg (20%), hogy abban térfogatváltozás hatására se alakulhasson ki jelentős negatív pórusvíznyomás változás. Homokok esetén ehhez a víztartalomhoz körülbelül 5kPa negatív pórusvíznyomás érték tartozik. (Fredlund, Rahardjo 1930.)



16. kép: Terhelés folyamata

3. Adatok feldolgozása

Hasznos volt az adatok folyamatos értékelése, így a vizsgálatok közben tudtuk, milyen tartományban lenne érdemes a vizsgálatot folytatni. A cél minél több olyan összefüggést feltárni, amely a tárgyi problémára bármilyen fontos információt tartalmazhat. Az előzőeket szem előtt tartva történtek a mért adatok feldolgozása.

A nyírási modulus meghatározásához a fizikából már ismert $G = \rho \cdot v^2$ összefüggést használtuk.

Ahol :

v - a hullám terjedési sebessége, egyértelműen meghatározható a minta hossza és az áthatolási idő hányadosaként.

ρ - pedig az anyag fajlagos térfogatsűrűsége.

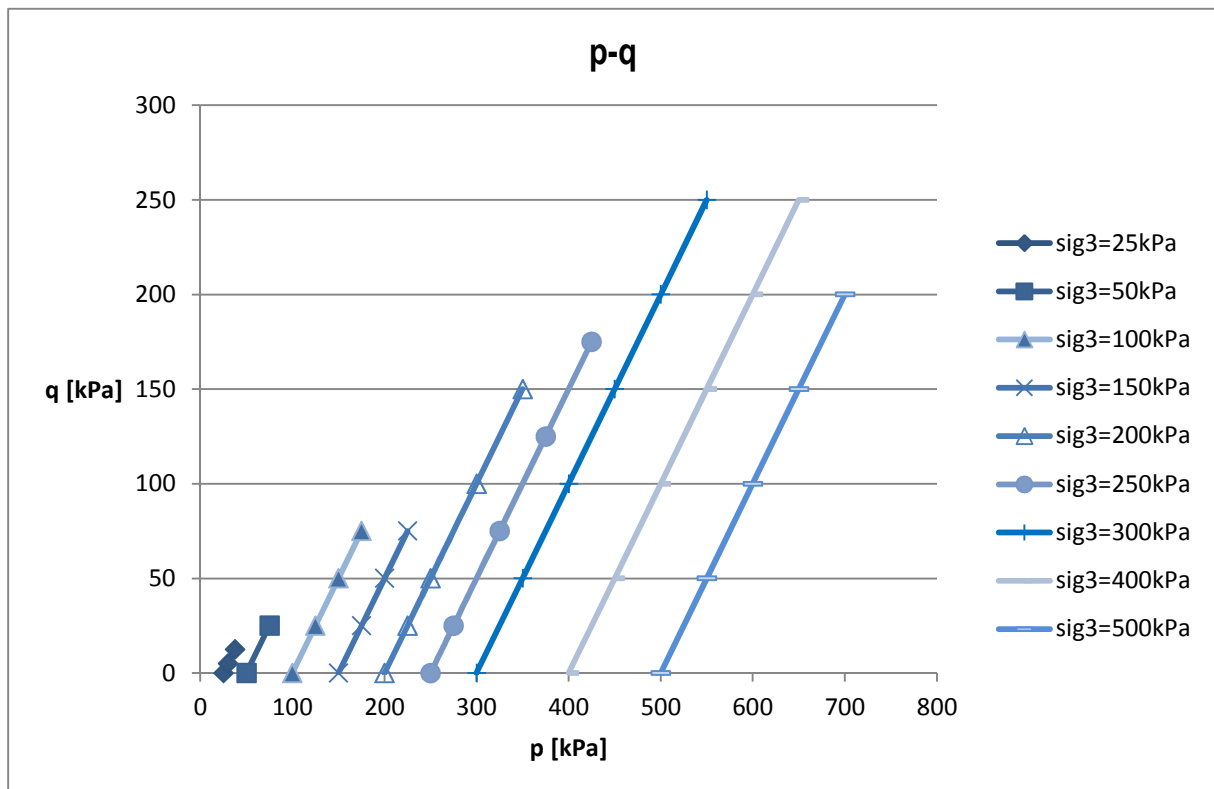
3.1. p/q diagram

Minden talajminta esetén készítettünk egy p/q diagramot, mely tulajdonképpen egy módosított változata a σ/τ diagramnak.

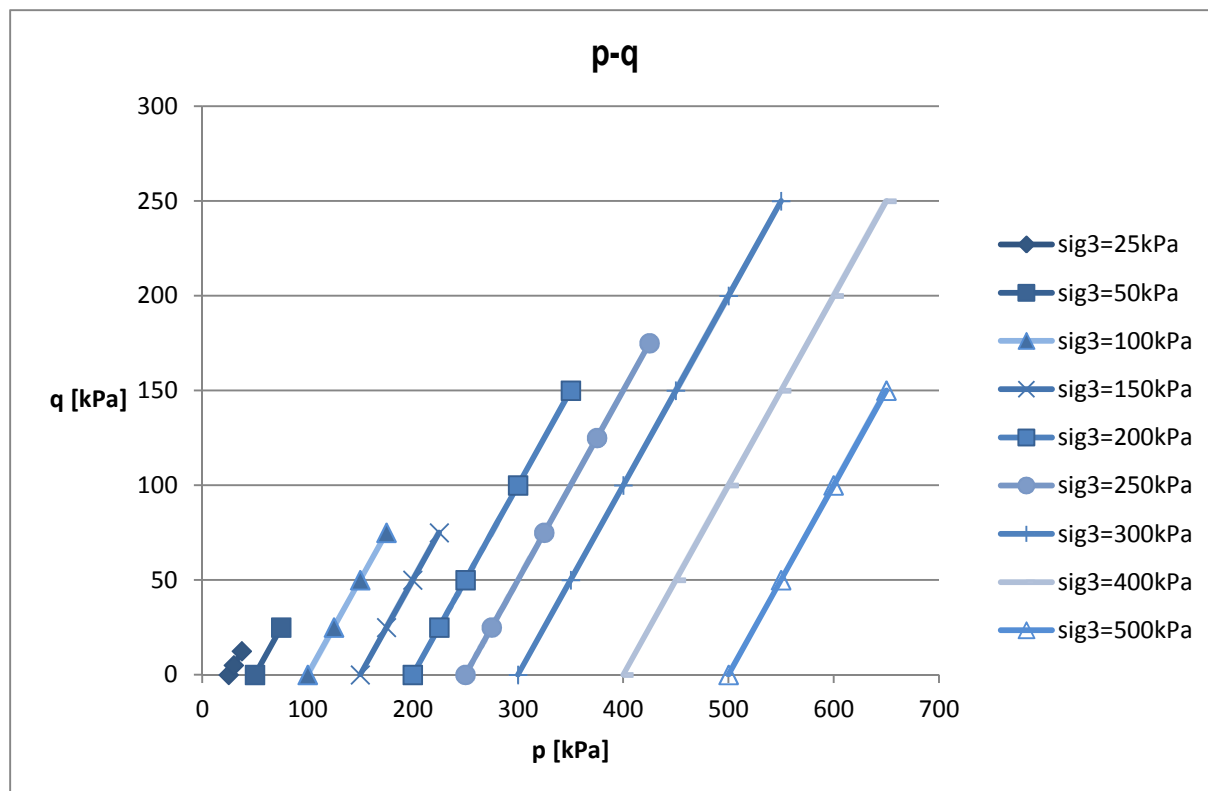
Ahol:

- **p** az átlagos normálfeszültség, $p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$
- **q** pedig a sugár érték, $q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$

A grafikon segítségével szemléletesen nyomon követhető a feszültségpálya.



16. kép: $\rho=1,88\text{g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén

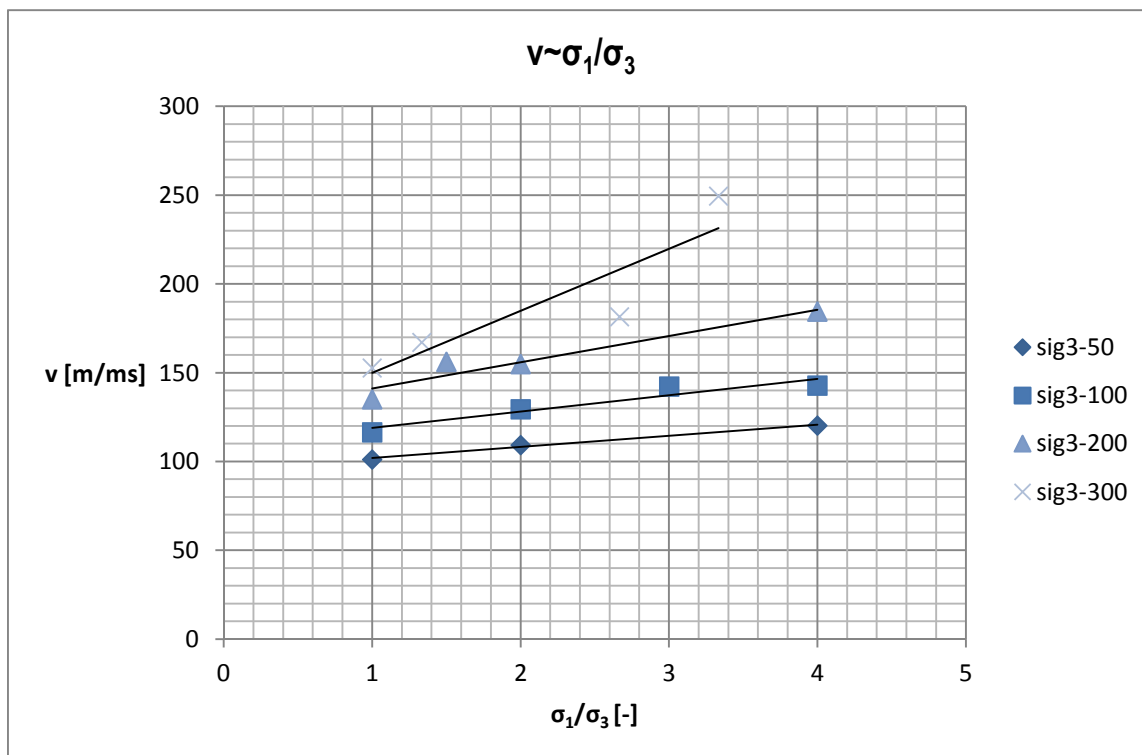


17. kép: $\rho=1,50\text{g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén

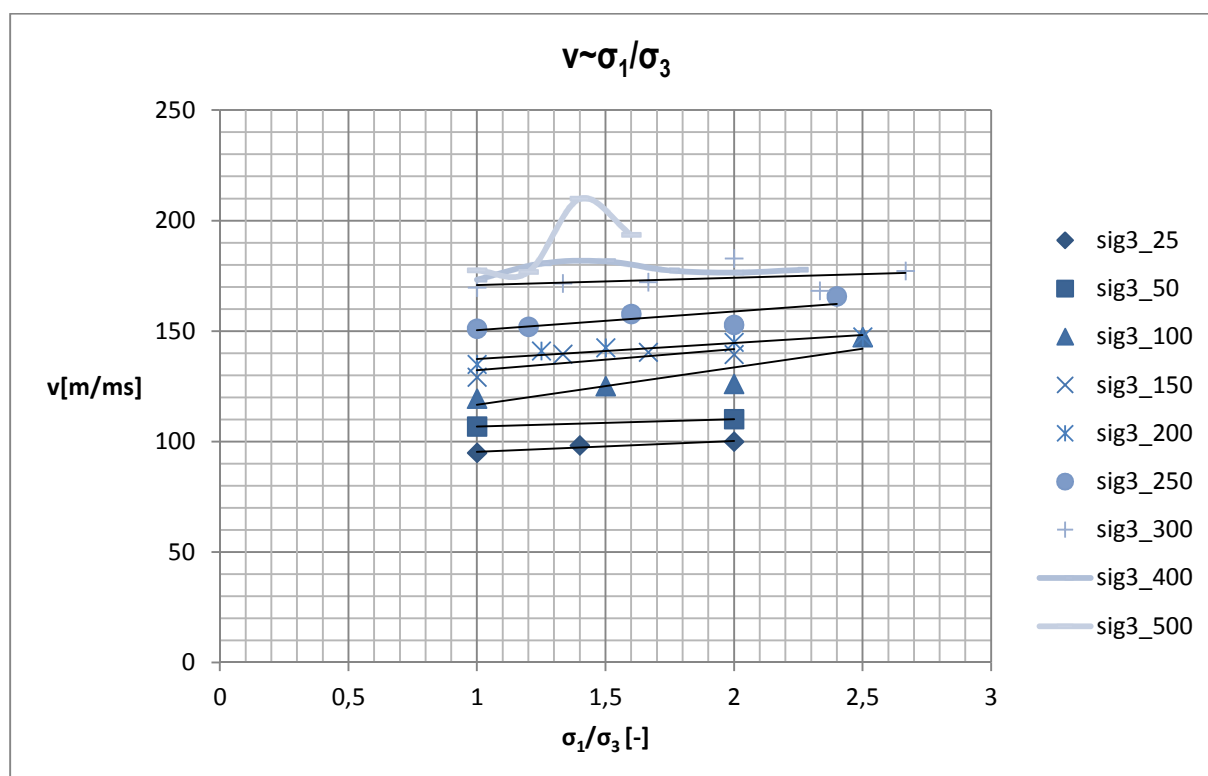
3.2. Nyíróhullám terjedési sebessége és a feszültséghányad kapcsolata

Az egyik legfontosabb ábrázolási mód a kutatás szempontjából.

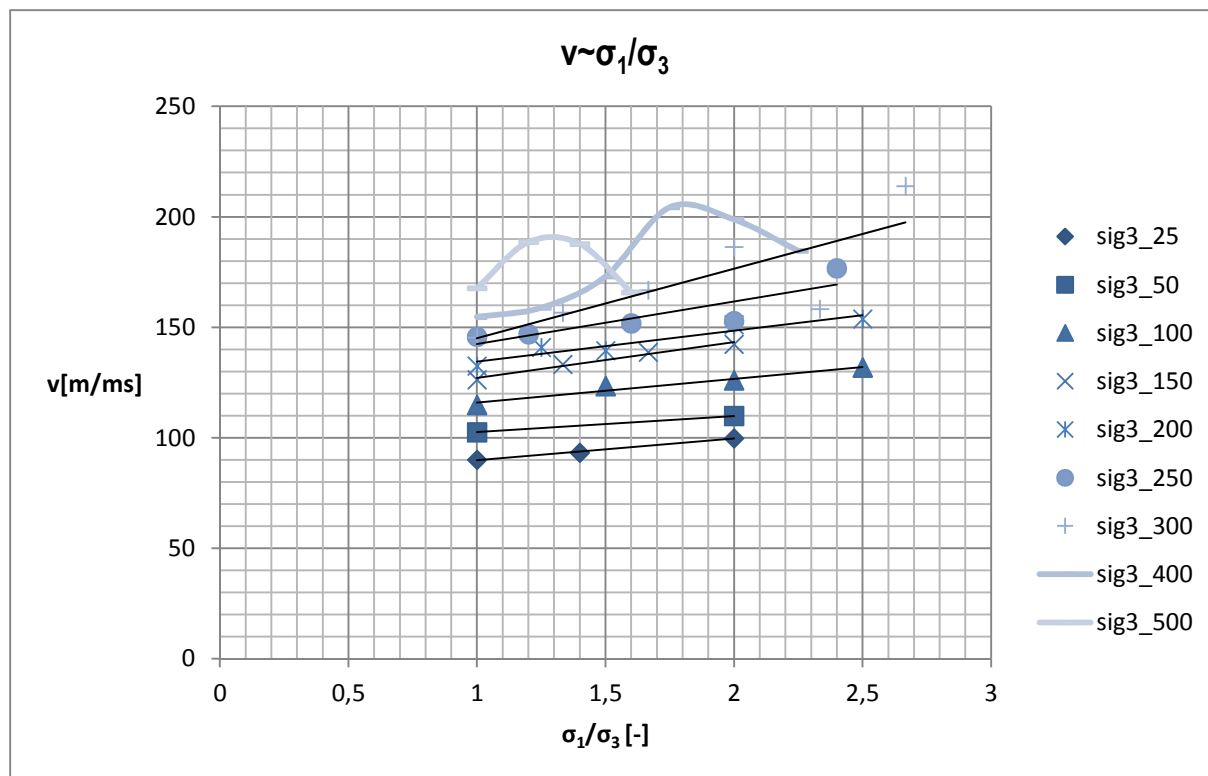
Itt minden adatsor egy adott cellanyomásként értelmezendő. Az elemzés szempontjából célszerű volt az összes feszültségi lépcsőt egy grafikonon ábrázolni, illetve ott ahol indokolt volt trendvonalat illeszteni az egyes adatpontokra. Bizonyos adatsorokon minden talajminta esetében csökkenés volt tapasztalható, tehát a jelenség feltehetően nem a mérési eredmények szórásának köszönhető, így ott trendvonal illesztésére nem került sor.



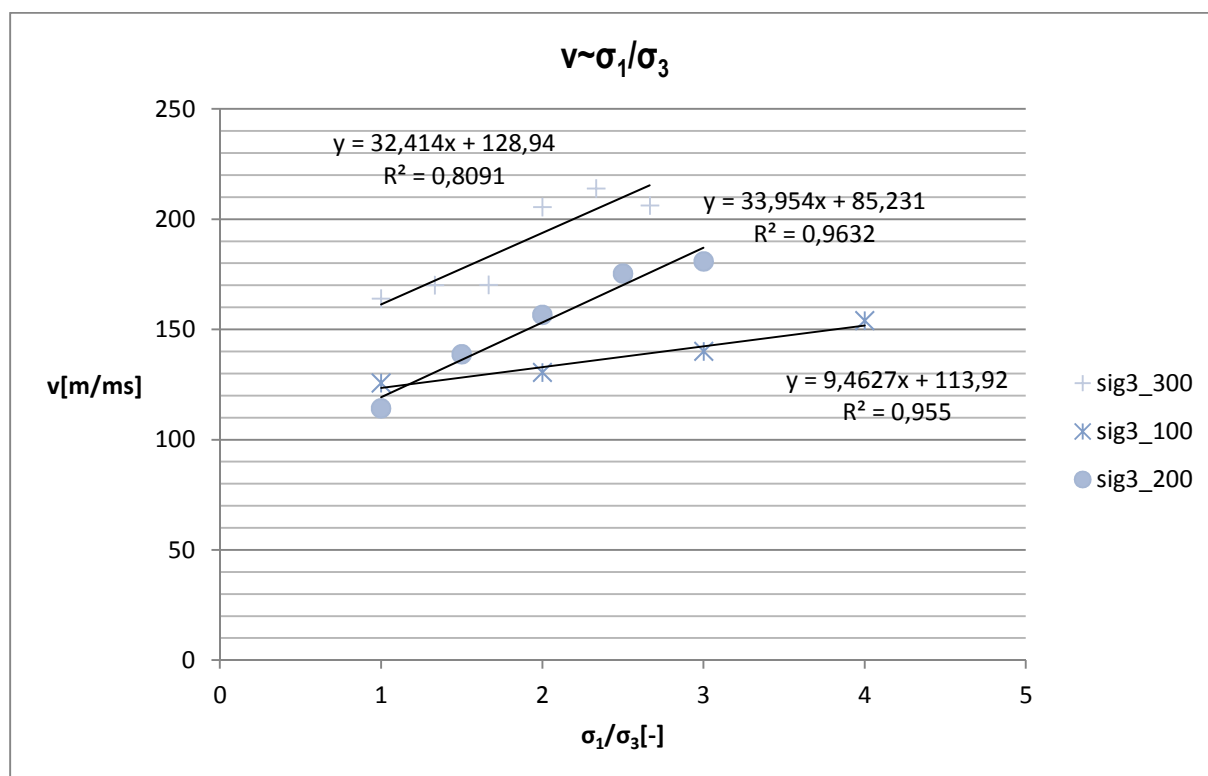
18. kép: $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



19. kép: $\rho = 1,88 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



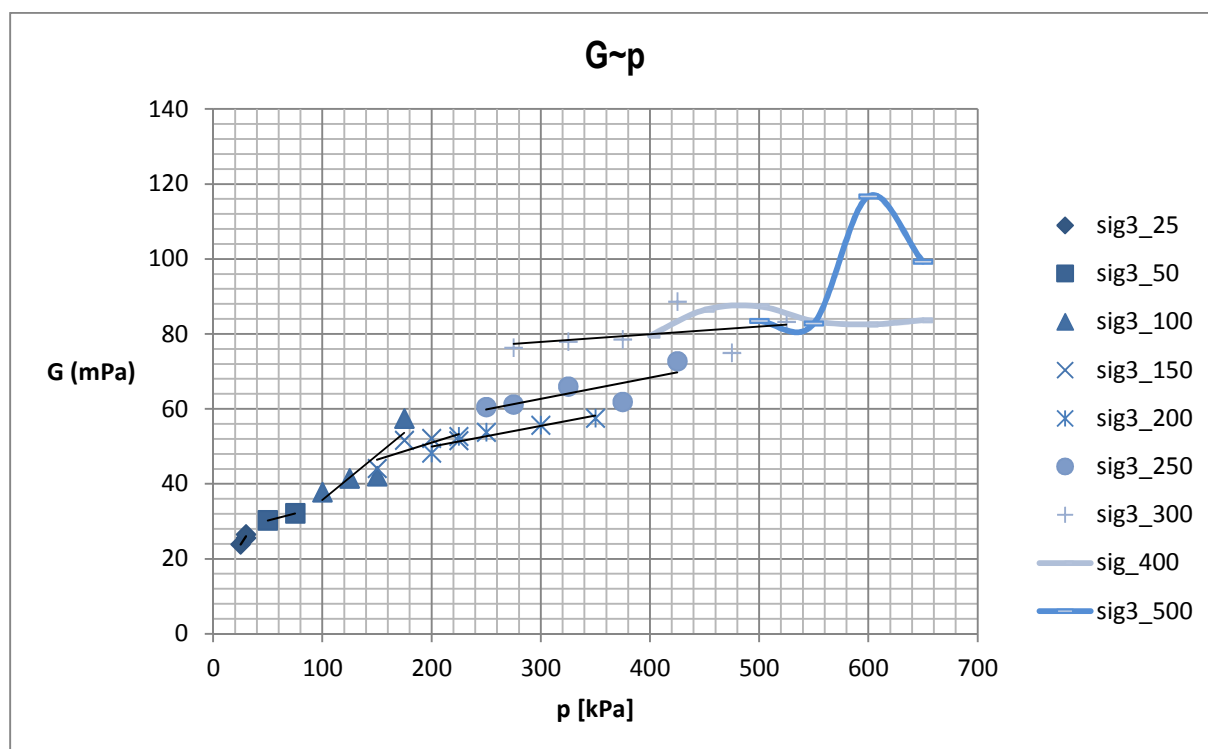
20. kép: $\rho = 1,50 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



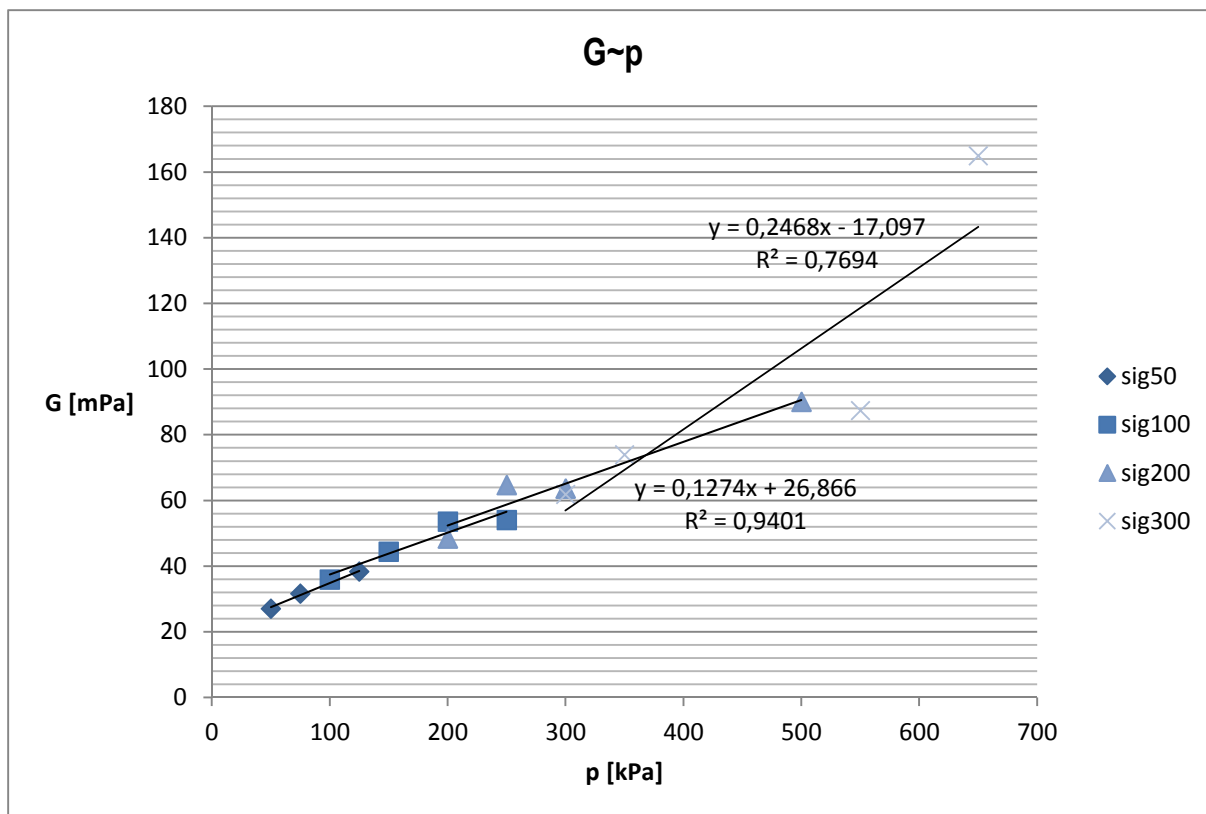
21. kép: $\rho = 1,38 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén

3.3. Nyírási modulus és az átlagos feszültségi szint kapcsolata

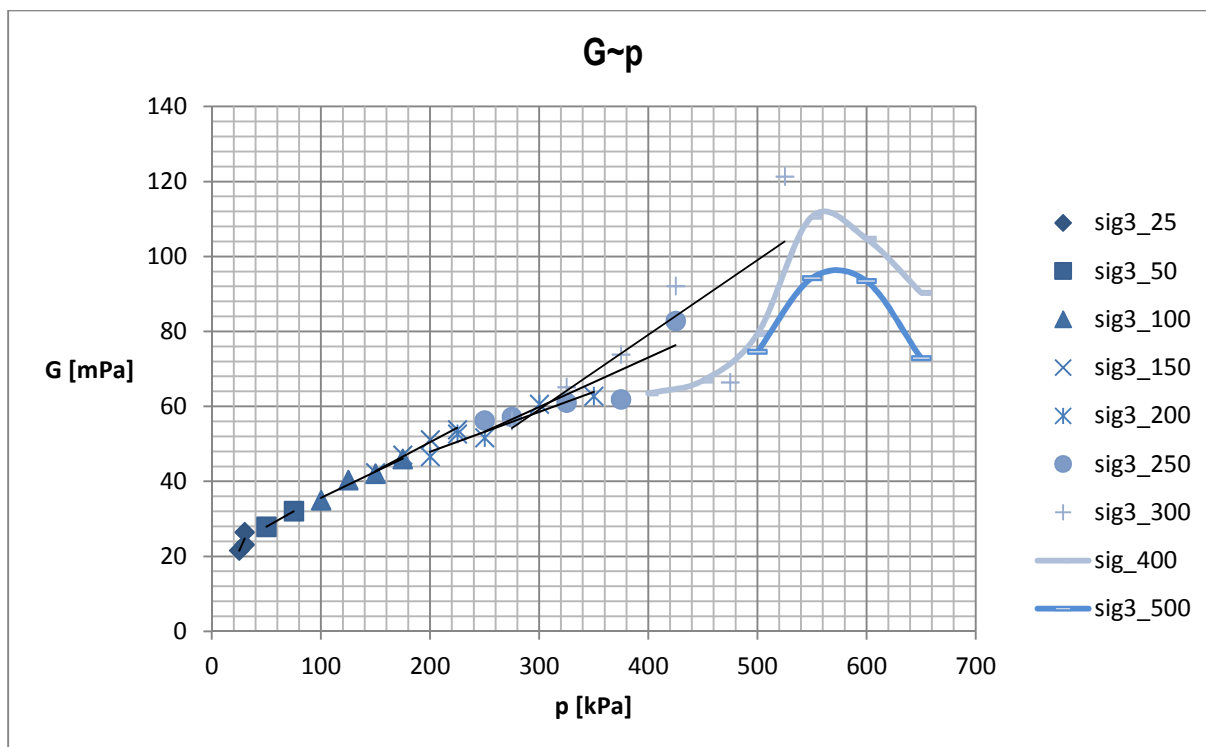
Az alábbi ábrákon csakúgy, mint az előzőeknél mindent adatsor egy-egy cellanyomási értékhez tartozik. A vízszintes tengelyen az átlagos feszültségi értékek szerepelnek, míg a függőleges tengelyen a nyírási modulus értéke. A grafikonok elkészítésével az volt a cél, hogy megfigyeljük milyen hatással van az átlagos feszültségi érték a nyírási modulus értékére.



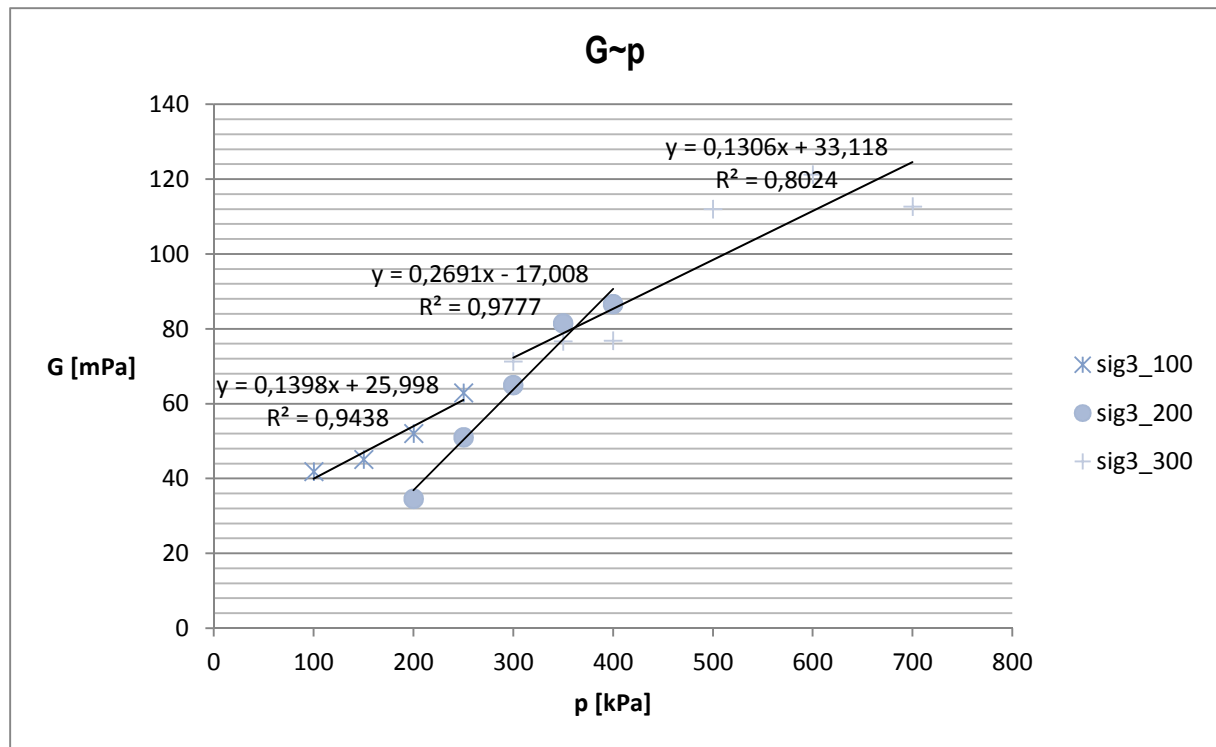
22. kép: $\rho=1,88\text{g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



23. kép: $\rho = 1,80 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



24. kép: $\rho = 1,50 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén



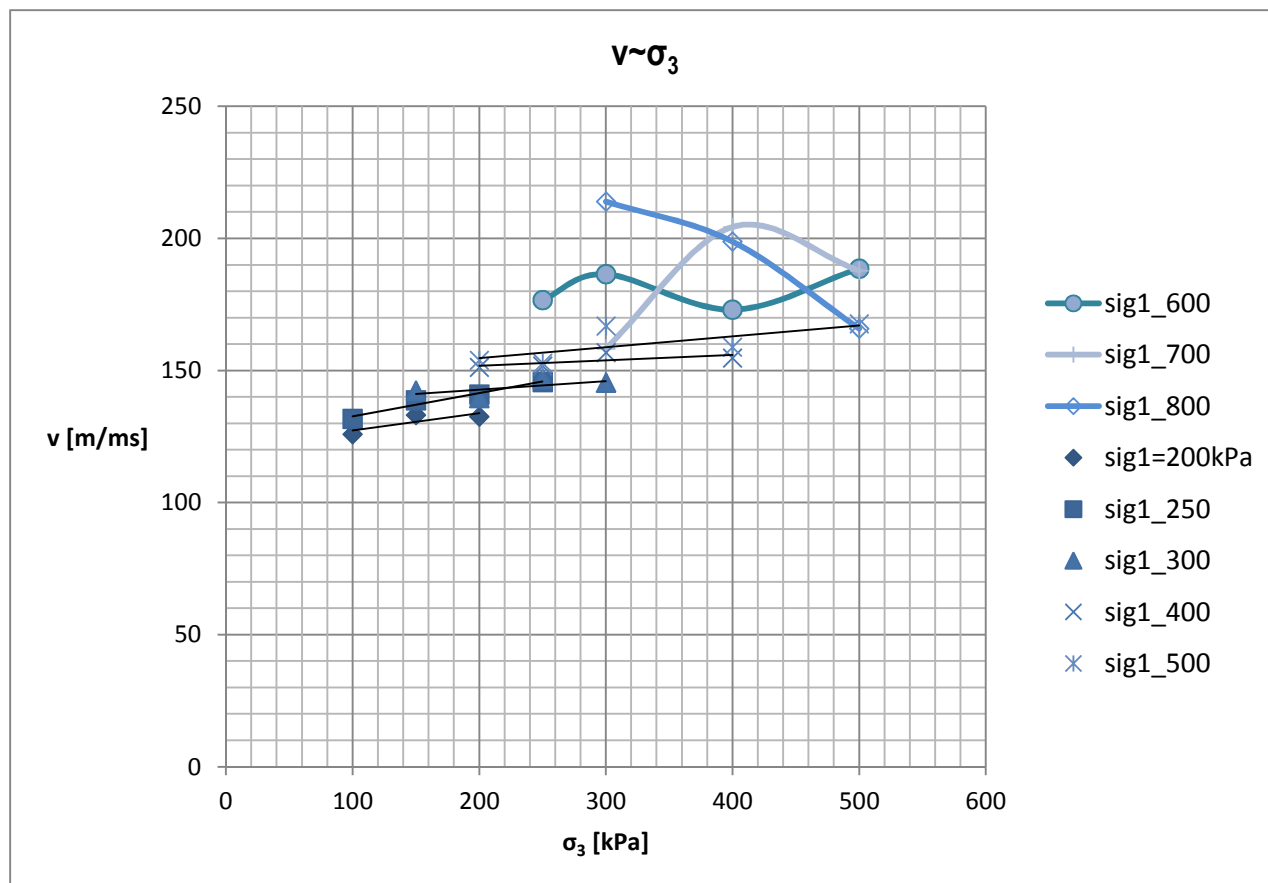
25. kép: $\rho = 1,38 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén

3.4. Nyíróhullám terjedési sebessége és a cellanyomás kapcsolata

Mivel vizsgálatok alatt láttuk, hogy a vertikális feszültségeknek nincs különösebb hatásuk a nyíróhullám terjedési sebességére, így egyértelművé vált, hogy azt érdemes vizsgálni miként befolyásolják a terjedési sebesség értékét, a különböző cellanyomási szintek értékei.

Az alábbi grafikon azt mutatja meg (27. kép), hogy változatlan függőleges feszültségi szintek mellett változtatva a cellanyomások értékeit, miként változik a hullám terjedési sebessége. Tehát az ábrán egy egyenes/görbe minden egyes pontja azonos függőleges feszültségi szintet jelöl.

Trend vonal illesztése itt is csak azokon a helyeken történt, ahol az célszerűnek tűnt. Azokon a helyeken, ahol jelentősége lehet az adatsort összekötő vonal alakjának, oda nem tartottuk indokoltnak a trend vonal illesztését.



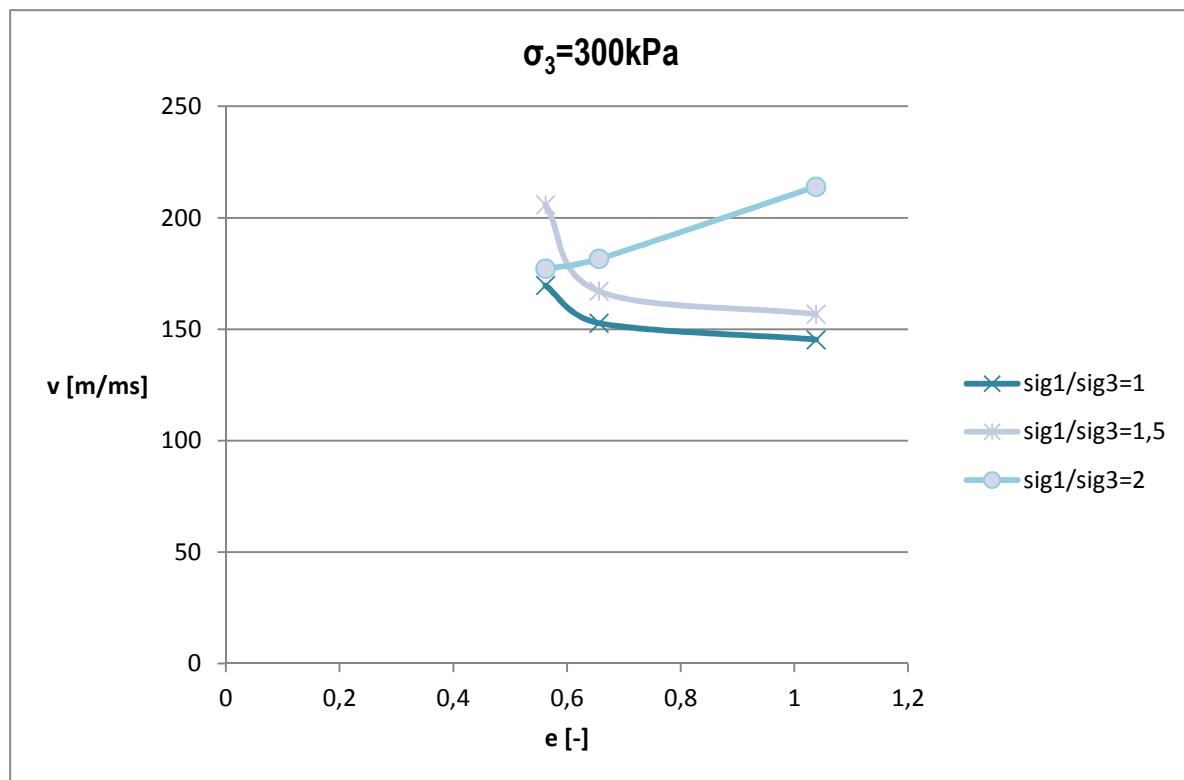
26. kép: $\rho=1,50\text{g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajminta esetén

3.5. Nyírási modulus és a hízagtényező kapcsolata

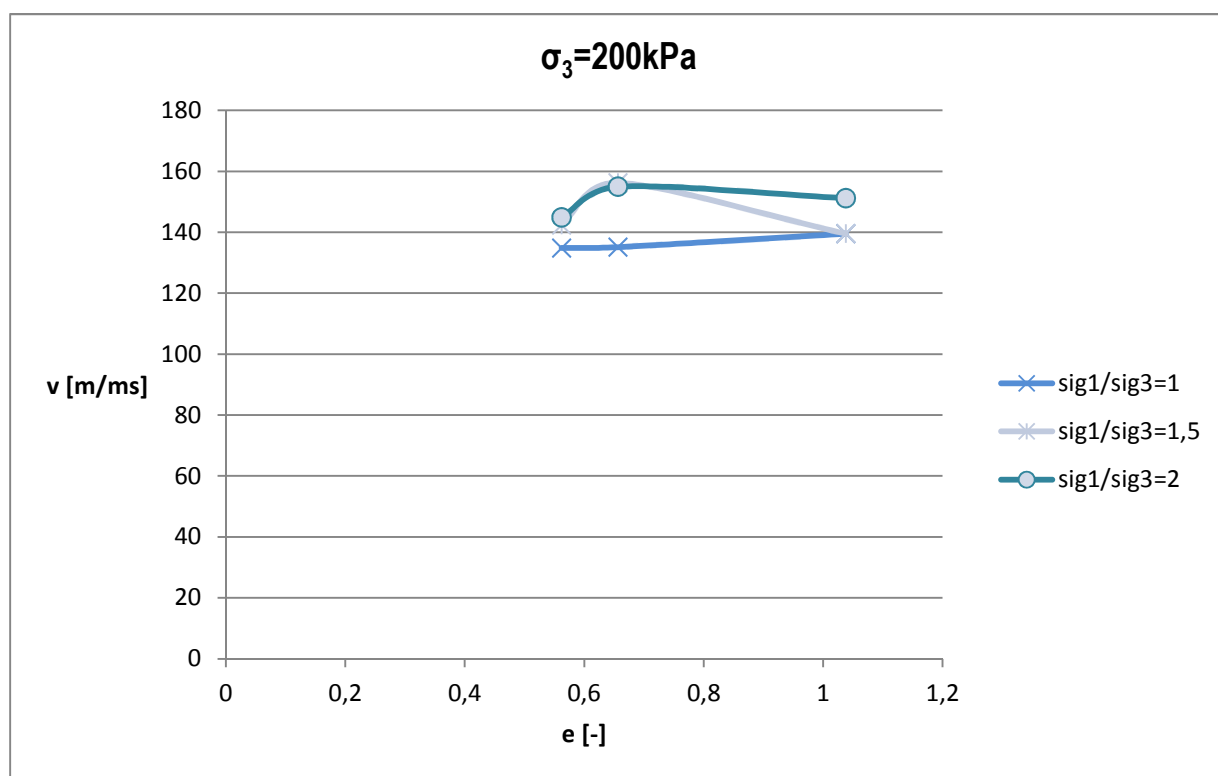
Mivel bizonyos, hogy a triaxiális cellában az alakváltozás nem gátolt, így kérdés lehet, van-e bármilyen hatása a hízagtényező változásának a nyíróhullám terjedési sebességére. A vizsgálat alatt a térfogat változásának pontos mérésére nem volt lehetőség, így a kezdeti hízagtényező hatását vizsgáltuk.

A függőleges tengelyen a nyíróhullám terjedési sebessége, a vízszintes tengelyen pedig az egyes talajmintákhoz tartozó kezdeti hízagtényező szerepel, melyekhez külön-külön, adott feszültségaránynál mért terjedési sebesség került ábrázolásra. Az egyes feszültségarányok azonosak, így azokat össze lehet kapcsolni egy-egy egyenessel, majd vizsgálni, hogy ugyanazon feszültségi szinten mért terjedési sebességnél mekkora különbségek adódnak az egyes kezdeti állapotjellemzőktől függően. Minden egyes ábrázolás egy cellanyomási értékszinthez tartozik.

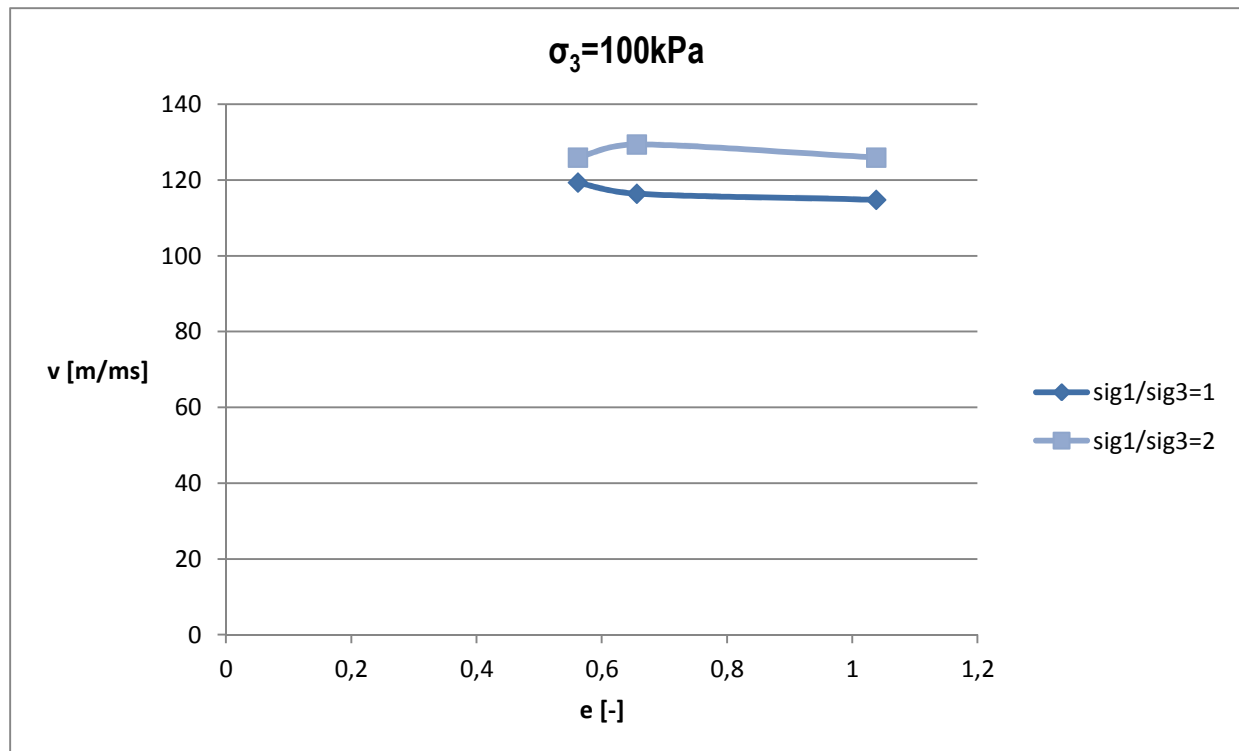
A grafikonról tehát megállapítható, hogy adott kezdeti hízagtényező értékek miként befolyásolják a nyíróhullám terjedési sebességét.



27. kép: hézagtényező és a hullám terjedési sebességének kapcsolata $\sigma_3=300\text{kPa}$ cellanyomás esetén



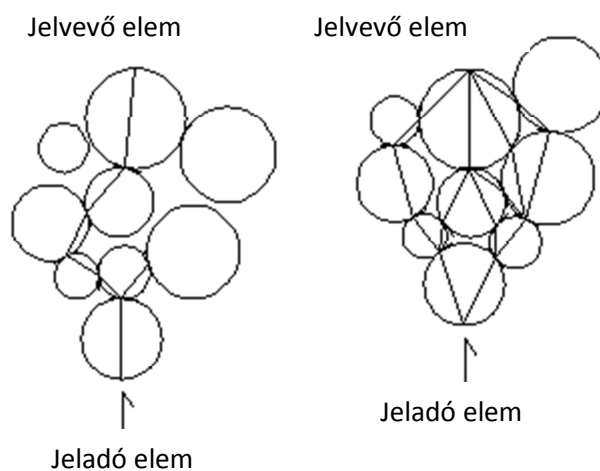
28. kép: hézagtényező és a hullám terjedési sebességének kapcsolata $\sigma_3=200\text{kPa}$ cellanyomás esetén



29. kép: hízagtényező és a hullám terjedési sebességének kapcsolata $\sigma_3=100 \text{ kPa}$ cellanyomás esetén

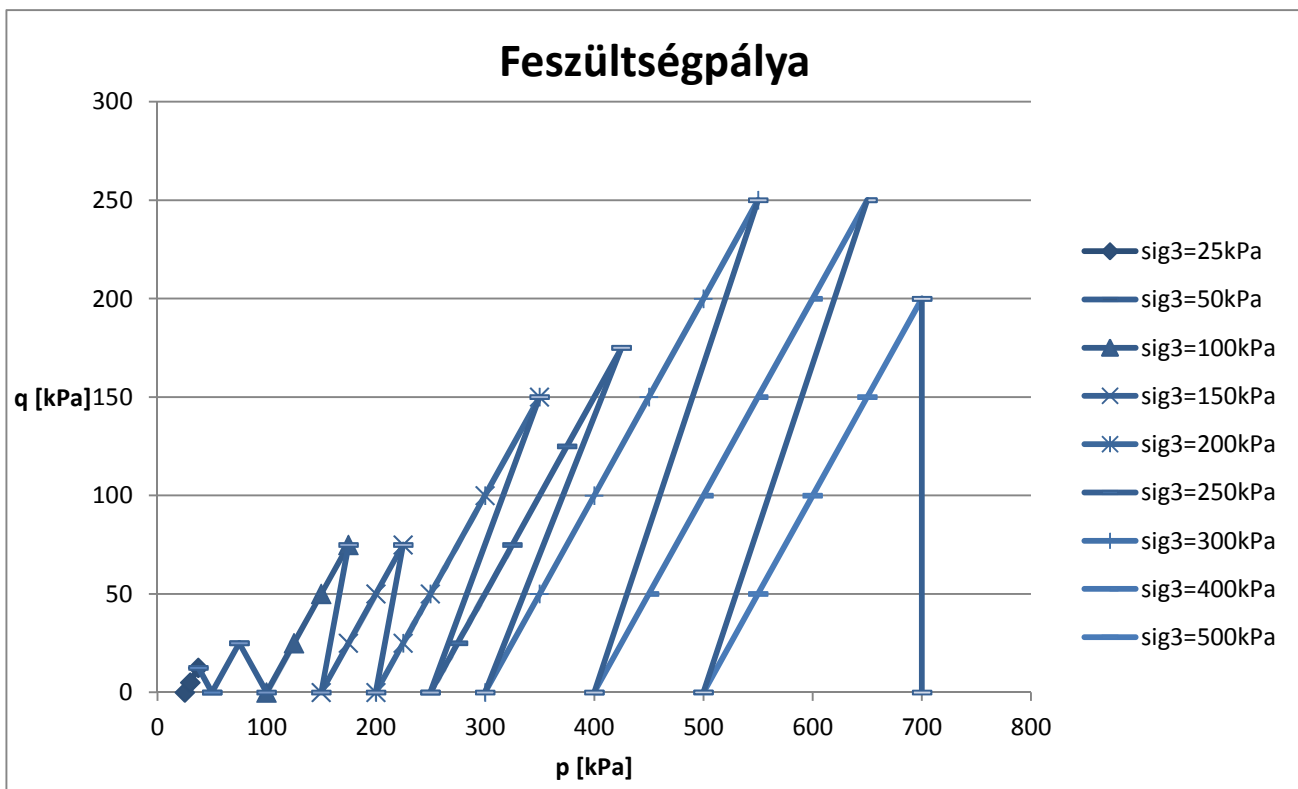
4. Értékelés

- A feldolgozott adatokból feltételezhető, hogy egy bizonyos feszültségarány alatt a feszültségtörténetnek nincs nagy befolyása a nyíróhullám terjedési sebességére. Erre a tartományra jellemző, hogy mialatt a talajmintát a terhelési lépcsőknek megfelelően folyamatosan terheljük, a talajszemcsék egyre közelebb kerültek egymáshoz, így növelve a köztük lévő sűrűdő felületet. Köszönhetően a több és nagyobb érintkezési felületeknek, a nyíróhullámok terjedési sebessége is nőtt, talán mert ugyanabban a mintában nőtt a lehetséges áthaladási útvonalak száma, illetve csökkent a legrövidebb út hossza.



30. kép: A nyíróhullám lehetséges útvonalai a talajszemcsék között

- A talajminta, a kezdeti feszültségi állapotától függően eltérő feszültségi szinteken, eltérő feszültséghányadosok esetén érte el azt a „kritikus pontot”, ahonnan a további terhelések hatására a nyírási modulus csökkeni kezdett. Korábbi kutatások is alátámasztják (Peiji Yu, Frank E. Richart, 1983), hogy bizonyos feszültségarány esetén a nyírási modulus csökkeni kezd. A csökkenés jelensége feltételezhetően annak köszönhető, hogy a talajminta terhelés következtében tömörödik. Az állandó értékű cellanyomás mellett a vertikális terhelést folyamatosan növeljük, majd egy bizonyos függőleges feszültség mellett a talajminta további tömörödéssel nem lesz képes, így dilatálni kezd. Mivel a talajmintát csupán egy gumimembrán határolja, így semmi nem gátolja az alakváltozást. A dilatáció miatt a talajminta kis mértékben, de fellazul, így a szemcsék között ismét csökken az érintkezési felület, melynek köszönhetően csökken a lehetséges útvonalak száma, illetve nő legrövidebb út hossza. Ebből következik, hogy a terjedési sebesség és a nyírási modulus is csökkeni fog (hiszen nő az átjutási idő).
- Az egyes feszültségi szinteken más-más feszültségarányoknál jelentkezett ez a kritikus pont, mely feltételezhetően a következővel magyarázható: mikor egy terhelési lépcsőt alkalmazunk, állandó cellanyomás mellett a talajmintát egyre nagyobb vertikális feszültségi értékkel terhelünk. A kritikus pontig a terheléssel párhuzamosan nő a nyíróhullám terjedési sebessége, majd egy bizonyos feszültségarány után tovább növelve a függőleges terhelést csökkeni kezd. Még a talajminta határfeszültségi helyzetének elérése előtt a terhelést befejezzük, és a következő terhelési lépcsővel folytatjuk a vizsgálatot. Mivel minden terhelési lépcső izotróp feszültségi helyzetből indul, ebből kifolyólag a talajmintára egy nagyobb cellanyomást illetve egy, az előző állapotnál kisebb, az aktuális cellanyomással azonos vertikális feszültséget fogunk működtetni a talajmintára.



31. kép: Terhelés folyamata

- Így mivel a talajminta vízszintes irányban dilatált előző állapotában, ezt a növelt cellanyomással csökkentjük, ezzel együtt mivel a talajmintára kisebb függőleges terhelés hat, mint az előző állapotában, így függőleges irányba képes kismértékű alakváltozásra. Így további függőleges terhelések mellett ismét képes kismértékű tömörödni, azonban sokkal hamarabb fogja elérni az említett kritikus pontot. A 3.2. fejezet ábráiról is jól látható, hogy az egyre nagyobb cellanyomás, és a hozzá tartozó terhelési lépcsőknél egyre kisebb feszültségaránynál jelentkezik a csökkenés. Ezt a feltételezést a mért adatok alátámasztják.
- A vizsgálatok alatt egyértelművé vált, hogy a horizontális feszültségi értéknek van leginkább befolyása nyíróhullám terjedési sebességére. Így készítettünk egy diagramot, ami jól szemlélteti a kettő közötti kapcsolatot. Látható, hogy azonos függőleges feszültségi értékek mellett a cellanyomás növelésével a nyíróhullám terjedési sebessége is nőni fog. Egy bizonyos függőleges illetve vízszintes feszültségi szint mellett pedig csökkeni kezd. Ezt jól szemlélteti a $\sigma_1=600\text{kPa}$ függőleges feszültségi szint vonala, melynél látható, hogy 400kPa esetén egy kisebb terjedési sebesség fog adódni, mint az 500kPa cellanyomás esetén. Ez első ránézésre ellentmondana a felállított elvnek, azonban ezen a feszültségi szinten a 400kPa cellanyomásnál a feszültségarány nagyobb lesz, mint az 500kPa cellanyomás esetén, így míg ebben a tartományban az 500kPa azzal a kismértékű tömörődéssel fog válaszolni a terhelésre amivel még rendelkezik, addig a 400kPa feszültségi szint esetén már dilatációra kényszerül.
- A kritikus pont helyzetét tehát befolyásolja a talajminta kezdeti állapotjellemzője, illetve a cellanyomás értéke. Így például látható, hogy az $1,88\text{g/cm}^3$ térfogatsűrűségű talajmintánál 300kPa cellanyomásnál 2,0 és az azon felüli feszültségi arányértékeknél volt tapasztalható a csökkenés a nyíróhullám terjedési sebességében. A következő 400kPa cellanyomás esetén, már 1,6-os aránynál, míg 500kPa cellanyomásnál már 1,4-es feszültségarány elérése esetén tapasztalható volt a csökkenés.
- A válasz, hogy a kezdeti feszültségi állapot befolyásolja a nyíróhullám terjedési sebességét így már egyértelmű. Azonban további kérdéseket vet fel, hogy milyen mértékben. Ennek megválaszolására két módszer lehetséges: az egyik, hogy nyomon követjük az alakváltozást, és pontos mérési adatok alapján ábrázoljuk őket, majd elemezzük. A másik, hogy a kezdeti hézagtenyezőt felhasználjuk, és kitűzzük azt egy bázispontnak, melynek függvényében vizsgálhatjuk az egyes feszültséghányadokat illetve a hozzájuk tartozó sebességi értékeket.
Tehát az egyik kulcsfontosságú része a folyamatnak, hogy azonos feszültségarányokat vizsgáljunk, az összehasonlíthatóság céljából. Nem szükséges, hogy ismerjük a folyamatos alakváltozásokat, elegendő arra támaszkodni, hogy a kezdetben tudjuk mekkora volt a hézagtenyező értéke, és bár nem ismerjük a térfogatváltozást, de azt bizonyosan tudjuk, hogy adott bázispontból kiindulva, adott feszültséghányad esetén mekkora terjedési sebesség jelentkezett. Majd ezt összehasonlítjuk egy másik, tőle különböző kezdeti hézagtenyezőjű talajmintával, azon belül is, megnézzük, hogy ugyanolyan feszültségi aránynál mekkora sebességi értékek adódnak.
A tapasztalatok alapján feltételezhető, hogy hidrosztatikus feszültségi állapotban például nyilván a tömörebb állapotú talajmintában lesz nagyobb a nyíróhullám terjedési sebessége, míg a lazább állapot esetén kisebb lesz ennek értéke (28. kép).

- Ahogy növeljük a függőleges terhelést, úgy a tömör talajmintában a nyíróhullám terjedési sebessége nőni fog, de csak kis mértékben. Ez annak köszönhető, hogy erre a terhelésre a talaj még képes igen kis értékű alakváltozásokkal válaszolni, tehát a terjedési sebesség alig fog változni. Ezzel szemben, egy lazább állapotú talajmintánál, már ugyanazon terhelési szintnél is jelentős alakváltozás fog végbemenni, a gyenge elemkapcsolatok miatt, így abban a terjedési sebesség nagyobb mértékben fog nőni. Természetesen a tömörebb talajmintában kialakult értéket nem éri el. A relatíve leglazább talajmintában pedig ugyanez tapasztalható, azaz nagymértékű alakváltozással fog válaszolni az őt érő terhelésre, de nem tud még akkora tömörödés kialakulni, hogy a benne áthaladó nyíróhullám terjedési sebessége elérje a nála tömörebb állapotú talajmintákban kialakult értékeket.

Ahol még csak igen kis terhelésnek volt kitéve a talajminta ott (29-30. kép) megint más tapasztaltunk. Egy csúcserték jelentkezik, azaz azonos feszültségi arányok esetén, egy bizonyos kezdeti hézagtényezőnél fognak jelentkezni a legnagyobb terjedési sebességek. Ennek feltételezhetően az a magyarázata, hogy mivel még igen kis feszültségi értékekkel terheltük a talajmintát, így azok kezdeti feszültségi állapotuktól függően fognak válaszolni az őket érő terhelésekre. Tehát egy tömörebb talajminta esetén adott terhelési szintre alakváltozás nélkül képes válaszolni, így a terjedési sebesség értéke jóformán nem változik.

Azonban van egy optimális kezdeti hézagtényező érték ahol a terhelés hatására kis mértékben tömörödni fog a talajminta, melynek hatására a benne haladó nyíróhullám terjedési sebessége még tovább fog nőni, így ebben az állapotban nagyobb értékkel fog jelentkezni, mint a kezdeti tömörebb állapotú talajmintában. A vizsgálatoknál alkalmazott leglazább állapotú talajminta esetén tömörödés szintén bekövetkezik, nagyobb mértékben, mint az optimális állapot esetén, azonban a lazább talajminta esetén a kiindulási sebességi érték is jóval kisebb. Tehát nagymértékű növekedés fog kialakulni önmagához képest, viszont az optimális állapotban kialakult sebességi értéket még így sem fogja elérni.

Összességében tehát levonható az a következtetés, hogy a talaj kezdeti feszültségállapotának és a feszültségtörténetének igen nagy hatása van a nyíróhullámok terjedési sebességére és fontos kutatási eredményeket szolgáltat ez a szeizmológia területén is.

A vizsgálati eredményekkel sok érdekes választ kaptunk, azonban még annál is több kérdés merült fel, melyeket a további kutatásokban vizsgálni fogunk.

5. Adatok összesített táblázata

Adatok összesített táblázata												
	I. számú minta $\rho=1,38\text{g/cm}^3$			II. számú minta $\rho=1,80\text{g/cm}^3$			III. számú minta $\rho=1,50\text{g/cm}^3$			IV. számú minta $\rho=1,88\text{g/cm}^3$		
	σ_3	σ_1	v	σ_3	σ_1	v	σ_3	σ_1	v	σ_3	σ_1	v
1	100	100	125,714	50	50	101,149	25	25	90,102	25	25	94,827
2	100	200	130,435	50	100	109,362	25	35	93,286	25	35	98,214
3	100	300	140,127	50	200	120,328	25	50	99,848	25	50	99,924
4	100	400	154,026	100	100	116,402	50	50	102,564	50	50	106,796
5	200	200	114,187	100	200	129,411	50	100	109,908	50	100	110,091
6	200	300	138,801	100	300	142,241	100	100	114,782	100	100	119,349
7	200	400	156,584	100	400	142,857	100	150	123,364	100	150	125
8	200	500	175,299	200	200	135,107	100	200	125,954	100	200	125,954
9	200	600	180,821	200	300	156,213	100	250	131,736	100	250	147,157
10	200	700	185,915	200	400	154,929	150	150	126,315	150	150	129,032
11	200	800	190,027	200	800	184,357	150	200	133,198	150	200	139,534
12	300	300	163,975	300	300	152,777	150	250	138,801	150	250	140,276
13	300	400	170,103	300	400	167,088	150	300	142,394	150	300	139,387
14	300	500	170,323	300	800	181,568	200	200	132,530	200	200	134,831
15	300	700	205,607	300	1000	249,527	200	250	140,875	200	250	140,875
16	300	900	213,938				200	300	139,534	200	300	142,394
17	300	1100	206,25				200	400	151,202	200	400	144,895
18							200	500	153,846	200	500	147,321
19							250	250	145,695	250	250	151,029
20							250	300	146,829	250	300	151,898
21							250	400	151,724	250	400	157,706
22							250	500	152,777	250	500	152,777
23							250	600	176,706	250	600	165,621
24							300	300	145,374	300	300	169,665
25							300	400	156,769	300	400	171,428
26							300	500	166,877	300	500	172,099
27							300	600	186,440	300	600	182,825
28							300	700	158,273	300	700	168,152
29							300	800	213,938	300	800	177,181
30							400	400	154,747	400	400	173,228
31							400	500	158,844	400	500	180,574
32							400	600	173,001	400	600	181,568
33							400	700	204,334	400	700	177,419
34							400	800	198,795	400	800	176,470
35							400	900	184,615	400	900	177,658
36							500	500	167,725	500	500	177,419
37							500	600	188,571	500	600	176,706
38							500	700	187,766	500	700	209,856
39							500	800	165,829	500	800	193,548
40										500	900	182,069

Irodalom

1. D.G.Fredlund, H. Rahardjo (1930). Soil mechanics for unsaturated soils.
2. Peiji Yu and Frank E. Richart, Jr. (1983). Stress ratio effects on shear modulus of sands.
3. www.ejge.com
4. www.geo-observation.com
5. www.gdsinstruments.com/
6. Keeratikarn Piriyakul(2009). A Development of a Bender Element Apparatus.