



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
2015**

**PARAJDI SÓKŐZET MECHANIKAI
TULAJDONSÁGAINAK ELEMZÉSE**

Készítették: Fekete Zsuzsanna
Lógó Benedek András

Konzulensek: Dr. Vásárhelyi Balázs
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Dr. Unger Zoltán
Nyugat-magyarországi Egyetem

Dr. Török Ákos
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	4
2	Erdély domborzati tájegységei	5
2.1.	Erdélyi-középhegység:	5
2.2.	Keleti-Kárpátok	5
2.3.	Déli-Kárpátok	5
2.4.	Az Erdélyi medence.....	6
2.4.1.	Sóvidék.....	6
3	Erdélyi medence geológiája	8
4	Parajdi-medence földtana	10
5	Sóképződés.....	12
6	Kősó	12
6.1.	A só keletkezése, összetétele	12
6.2.	A só alkotói.....	13
6.2.1.	Nátrium-klorid (NaCl).....	13
6.2.2.	Nátrium-bromid (NaBr)	13
6.2.3.	Nátrium-jodid (NaI)	13
6.2.4.	Nátrium-szulfát (Na ₂ SO ₄)	13
6.3.	Felhasználása	13
6.4.	Só bányászati módszerek.....	14
6.5.	Só előfordulás a világban és Európában.....	16
7	Sódiapírek.....	17
7.1.	Forma.....	17
7.2.	Eredet.....	17
7.3.	Tektonika	18
8	Bányászat	20
9	Laboratóriumi vizsgálatok.....	22
9.1.	Vizsgált kőzettömbök	22
9.2.	Próbatestek kialakítása	24
9.3.	Sűrűség mérése	26
9.4.	Ultrahang terjedési sebesség.....	26
9.5.	Egyirányú nyomószilárdság vizsgálata	26

9.6.	Húzószilárdság mérése	28
9.7.	Pontszilárdság mérése.....	28
10	Rideg kőzetek töréses tönkremenetelének keletkezése és fejlődése	31
10.1.	Töréses tönkremenetel szakaszai	32
10.1.1.	I. szakasz: Mikrorepedések záródása (CC határérték).....	32
10.1.2.	II. szakasz: Lineárisan rugalmas tartomány (CI határérték).....	32
10.1.3.	III. szakasz: Stabil repedésterjedés tartománya (CD határérték).....	32
10.1.4.	IV. szakasz: Instabil repedésterjedés tartománya (UCS).....	32
10.2.	Mérések elvégzése	32
10.2.1.	Töréses tönkremenetel szakaszainak meghatározása	33
10.3.	A rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság közötti kapcsolat.....	33
11	Kapott eredmények és értékelésük	35
11.1.	Roncsolásmentes vizsgálatok eredményei	35
11.2.	Roncsolásos vizsgálatok eredményei.....	35
11.3.	Húzószilárdság mérési eredmények.....	40
11.4.	Pontszilárdság mérési eredmények	40
12	Köszönetnyilvánítás	41
13	Irodalomjegyzék.....	42
14	Internetes forrás.....	43
15	Ábrajegyzék	44
16	Táblázatjegyzék.....	45
17	Mellékletek.....	46

1 Bevezetés

A sókőzetek mechanikai tulajdonságainak vizsgálta gyakorlati szempontból is nagy jelentőségű, hiszen só dómokban van a világ szénhidrogén készletének egy jelentős része valamint a radioaktív hulladékok egyik potenciális befogadó kőzeteként is ismertek a sók.

A dolgozat az Erdélyi-medence egyik legfontosabb só előfordulását, a Parajdi só lelőhelyet elemzi. Először bemutatjuk a Parajdi sóbánya földtani és vízföldtani környezetét, Erdély geológiai rendszerébe foglalva. A bányából származó tömb mintákból próbatesteket készítettünk, amelyek fizikai tulajdonságait laboratóriumi körülmények között elemeztük. Ez azért is különös jelentőségű, mert a só kőzetmechanikai tulajdonságaira irányuló kutatásokban Magyarországon még csak a kezdeti lépések történtek meg.

A próbatestek fizikai tulajdonságai közül azok testsűrűségét, ultrahang-terjedési sebességét, valamint szilárdsági paramétereit és deformációra való hajlamát vizsgáltuk. Az általunk vizsgált minták több kőzetváltozatba sorolhatók, amelyek tulajdonságai eltérőek voltak. A kapott eredmények ismeretében lehetőség nyílt a kősó mechanikai paramétereinek változását is megállapítani, melynek ismeretében a későbbiek folyamán a bányajáratok, ill. a jelenleg üzemelő kiállítótér hosszútávon is modellezhető, valamint az újabb fejtéseknél a jövesztés módja, szükséges biztosítások mértéke is pontosan megtervezhető. Közvetve információt kaptunk a só testek mechanikai viselkedésére és azok kitermelhetőségére, vízzáróságára és esetlegesen potenciális hulladék befogadó képességére.

2 Erdély domborzati tájegységei

2.1. Erdélyi-középhegység:

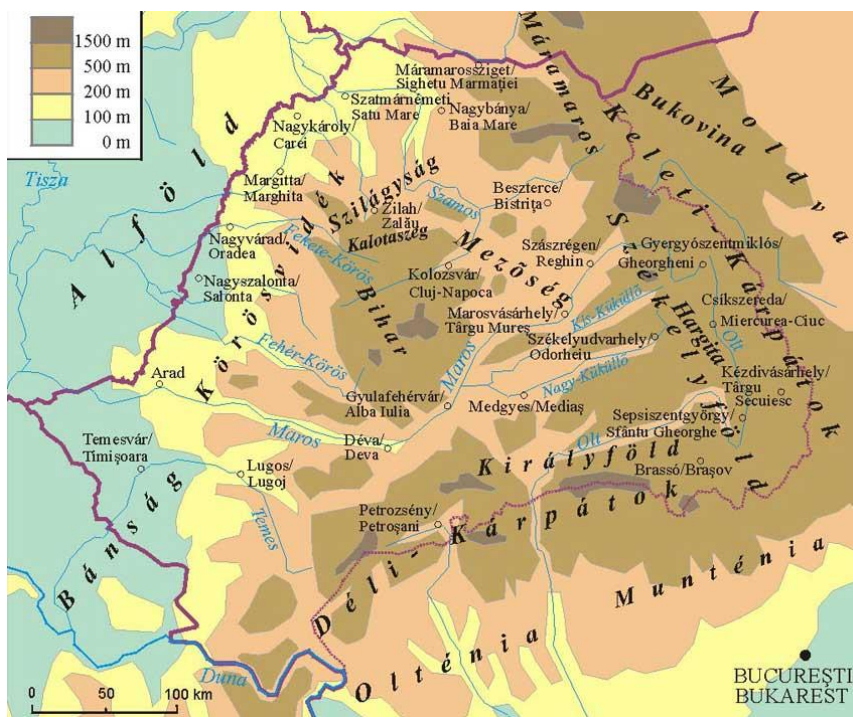
A Maros völgyétől egészen a Szilágyságig terjed. Az Erdélyi-medencét elválasztja az Alföldről. Alacsony hegyek (1800m) jellemzik. Kőzettani szempontból változatos felépítésű terület: vannak kemény kristályos kőzetek, vulkanikus kőzetek, valamint puhább üledékes kőzetek (mészkö). [www1.]

2.2. Keleti-Kárpátok

Az ország északi határától (Ukrajna) a Prahova völgyéig húzódó 40 km hosszú hegylánc. Keleti-Kárpátokat különböző kőzetekből felépülő, E-D-i irányba párhuzamosan húzódó három hegyvonulat alkotja. A Hargita déli részén a Nagy-Csomád hegy kráterében fekszik a vulkanikus eredetű Szent-Anna- tó. A hegyvonulatok között tágas, jól benépesült medencéket találunk: Máramarosi-Gyergyói-Csíki-Háromszéki-Brassói-medencék. Az átjárást a hegyvonulatok között a hágók, szorosok könnyítik meg: Bucsin, Tolvajos- hágók, Gyimesi, Ojtozi-szoros. [www1.]

2.3. Déli-Kárpátok

A Prahova folyó völgyétől a Temes folyó völgyéig kelet-nyugati irányba húzódnak. Románia legmagasabb hegyei. Számos hegycsúcs meghaladja a 2500 m-t. Ezeket a hegyeket kemény, durva, kristályos kőzetek alkotják. Leglátványosabbak azok az alpesi jellegű hegyek, amelyek formáikban megőrizték a jégkorszak nyomait. A hegyvonulatok között itt is medencéket találunk (1. ábra). [www1.]

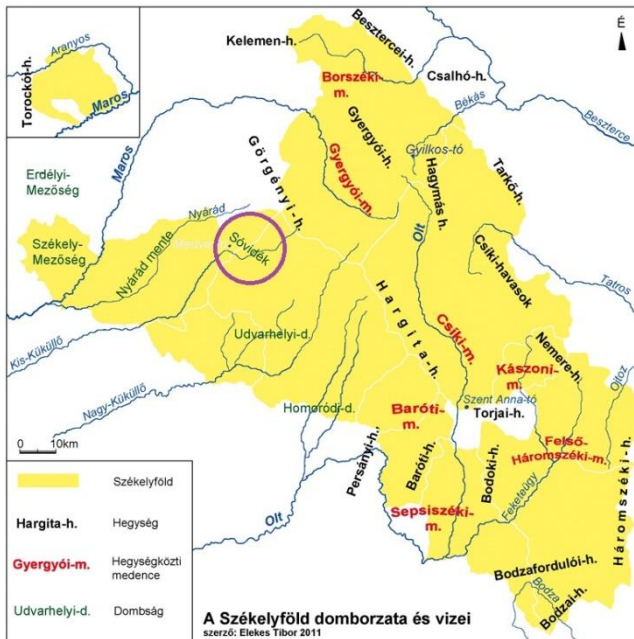


1. ábra – Erdély domborzati tájegységei

2.4. Az Erdélyi medence

A Kárpátok által körülzárt medence Erdély közepén. A földtörténeti harmadkorban még tenger húzódott, mely kapcsolatban állt a Pannon-tengerrel. A tenger visszahúzódása után lerakodott üledékes kőzetekben kősó és földgáz halmozódott fel, melyek a medence legjelentősebb altalaj kincseit képezik. A dombvidék átlag magassága 400-600 m, de kelet felé a dombok eléri az 1000 m-t is. [www1.]

2.4.1. Sóvidék



2. ábra – Székelyföld, lila körrel jelölve: Sóvidék

valamint a tektonikai mozgások olyan jellegzetes domborzati formákat hoztak létre, mint a sófalvi-parajdi sósziklák vagy a szovátai sósziklák és sótavak. Parajd melletti 576 m magas és 8 hektár terjedelmű Sópáti sószikláját természetvédelmi területté nyilvánították (3. ábra). [www2.]



3. ábra - Sópáti sziklái

Sóvidék az Erdélyi-medence és a tőle K-ÉK-re magasodó Görgényi-hegység találkozásánál fekszik. Nevét a kősórol kapta, mely Orbán Balázs szerint itt olyan nagy mennyiségben fordul elő, hogy egész Európa szükségletét fedezni tudná. Mivel a Székelyföld szívében fekszik, méltán viseli a Székely-Sóvidék nevet is. Keleten a Görgényi-havasok, nyugaton a Bekecs, Siklódkő, Firtos hegyek határolják. A Sóvidéki-medence a Kis-Küküllő felső szakasza és annak mellékágai mentén terül el (2. ábra). [www1.]

A különböző kéregmozgások miatt keletkezett medenceszegélyi boltozatok magját, a fedőrétegeket áttörő

képlékeny kőzet, konyhasó jutott felszínre. A felszínre törő só és a víz,

A felszínalakító folyamatok ezeken a részeken gyorsan működnek, környékük domborzati formái igen hamar elváltoznak. A fő tényező a csapadék, a víz, amely könnyen oldja a sót, ennek hatására sajátos felszíni formák jönnek létre: oldásbarázdák, oldásgödrök, dolinák. A ma is ható felszínalakító folyamatok leglátványosabb formái a szovátai sóstavak, melyek többsége a XIX. században keletkezett. [www2.]

A Sóshát a Szélyek Sóvidék legnagyobb kincsét őrzi: az óriás sótelepet, melynek gyökere 2,7-3 km mélységig is lenyúlik. A sótömzs vízszintes síkban enyhén ellipszis alakú, átmérője 1,2 és 1,4 km-esek, a függőleges kiterjedése pedig egy hatalmas, szabálytalan gomba formát mutat. [www2.]

3 Erdélyi medence geológiája

Az Erdélyi medence ugyanazon süllyedés folytán alakult ki, mint a többi magyar medence. A harmadkorban a Tisia tömb a mai Alföld helyén süllyedt legmélyebbre, peremei pedig magasabban maradtak, így maga az Erdélyi medence középső részei is; más részei meg egyáltalán nem vettek részt a süllyedésben, mint pl. éppen az Alföldtől Erdélyt elválasztó Bihar hegycsoport. Erdély a maga felszíni tagolódásában a nagy Kárpáti medencerendszernek kicsiben való megismétlődése. [1]

Az Erdélyi-medence a kréta időszak végén és a paleogén korszak elején elkezdődött folyamatos süllyedés révén keletkezett, mialatt a szomszédos Kárpát-hegylánc felgyűrődött. Ebben a mélyedésben alakult ki egy kis mélységű, szárazföldi beltenger. Ennek a kontinentális beltengernek nem volt összeköttetése a környező tengerekkel és óceánokkal. A medence állandó süllyedése, egy kb. 5000 m vastag üledékes rétegösszlet kialakulását eredményezte. [www3.]

A medence peremén paleogén üledékek találhatók, melyek a medence belseje felé dőlnek. A medence belső részein találjuk a diapír-redők övezetét, ahol a mélyben lévő sótömzsök a felszín felé emelkedtek és áttörték a fiatalabb üledékrétegeket. A medence központi részén a széles, körkörös hullámredők – dómok – vidéke található, melyeknek a porózus közeteiben tekintélyes földgáztelepek halmozódtak fel a felsőbádeni, szarmata és alsó-pannon geológiai korban. [www3.]

Az Erdélyi medencében a paleogén lerakódásokat a tengeri képződmények szárazföldi, tavi és mocsaras képződményekkel való váltakozása jellemzi. Ezekben durva mészkő, agyag, homok, barnaszén és gipsz fordul elő. Az Erdélyi medence belsejében átvonuló dombokat neogén rétegek alkotják, a márga, homok és homokkő építik fel a magját az összes domb és hegysornak. Erdély harmadkori medencéjének legnagyobb nevezetessége a kősó, mely a márga rétegek alatt az egész medencét kitölti. Sok helyen tömzsszerűen a felszínre ér, és mint tömör sószikla tűnik ki. A kősó eredetileg északi irányú dőléssel rendelkezett (4. ábra). Az agyag és homokréteg lerakódások következtében, kitérve a nyomás alól a kősó felgyűrődött. Ilyen sósziklák láthatóak Parajd, Sófalva, Szováta, Liánfalva és Bálványosváralja környékén is. A só felszínre kerülése főleg a medence szélein észlelhető. Ezeket a kiemelkedéseket oldalnyomás is érte, melyet a parajdi sótömzs 60-85°-os rétegei is bizonyítanak. [www4.]

Az Erdélyi-medence függőlegesen három, különböző tektonikai egységre tagolódik.

- 1 alsó rész: vetőkkel barázdált kristályos alapkőzet
- 2 középső egység: tektonikailag enyhébben tagolt szenon, paleogén és alsó miocén üledékek alkotnak
- 3 felső egység: bádeni, szarmata és pannon üledékek, melyeket pliocén mozgások és sófeltörések szabdalnak.

A sóréteg kiterjedése kb. 16206 km² és 250 m átlagvastagságú. [www3.]

4 Parajdi-medence földtana

A Parajdi-medence eredetét tekintve mélyített (eróziós) medencetípushoz tartozik. A medencefelszín kialakulásában döntő szerepe volt a diapír-tektonikának. A sóredő átdőfte a neogén rétegsornál fiatalabb rétegeit és a felszínre tört, mellyel módosította a medence alakját és vízhalózatait. Tágabb értelemben a Parajdi-medence a Sópát nevű domb körül terül el, felölelve Parajd és a két Sópátva helységeket. A medence alakja enyhén elnyúlt háromszöghöz hasonlít, melynek egyik csúcsa déli irányban Korond felé mutat (5. ábra). [3]

A Parajdi-medence a két nagy földtani egység, az újharmad-negyvedőszaki Kelemen-Görgény-Hargita vulkáni vonulata és a Küküllőmenti dombvidék kréta, paleogén és neogén üledékei között húzódik. A pliocén végén, pleisztocén elején kezd kialakulni a Korond-Parajd-Szóvátai medence. Ugyancsak a pleisztocén korban folytatódott a sóredők emelkedése, melynek során átdőfték a fiatalabb üledékes közetrétegeket. [3]

Földtani szerkezetében három fő geológiai közettípust különböztethetünk meg:

- 1 andezites lávafolyások, agglomerátumok, breccsák és tufás beékelődések a neogén vulkanizmus termékei
- 2 pliocén üledékek a völgyfenéken, melyekre az andezites eruptív kőzetek települtek
- 3 közép-miocén sós üledékek, melyeknek legjellegzetesebb képviselője a parajdi sótelep. [www5.]

A változatos rétegsorú miocén, pliocén és pleisztocén medenceüledékek anyaga, az agyag, agyagmárga és egyéb ártéri képződmények nagy területeket borítanak. A kristályos, geológiai középkori medencealjzat neogén eleji végleges beszakadása után mutatkozó lassú, de állandó süllyedése egészen a pliocénig tart. Ebben az időben alakult ki az Erdélyi-medence neogén tengere. A Keleti-Kárpátok belső oldala és az Erdélyi-medence között létrejövő töréses övben élénk vulkáni tevékenység indult meg, mely a neogén közepétől hatalmas mennyiségű kiömlési közetrétegek és rétegsorokat eredményezett. [3]

A középső miocén emelet lerakódásai nagymértékben meghatározták a Parajdi-medence ősföldrajzi viszonyait. A legfontosabb földtörténeti esemény a szóvátai és parajdi sótömszök kialakulása volt. A medence szélén található törmelékes rétegcsoport üledékanyaga partmenti homok, márga, konglomerátum és kősóréteg. A Korond patak szurdokában, a Sópát déli oldalán, a jobb partot kísérő sós agyagokban vékonylemezes komokkó-közbetelepülések figyelhetők meg. [3]

A szarmata emelet mintegy 50-60 m vastagságban telepedett a bádai emelet kőzeteire. A szarmata rétegek vastagsága arra vall, hogy a medencefenék süllyedése a bádai időszak után is folytatódott. [3]

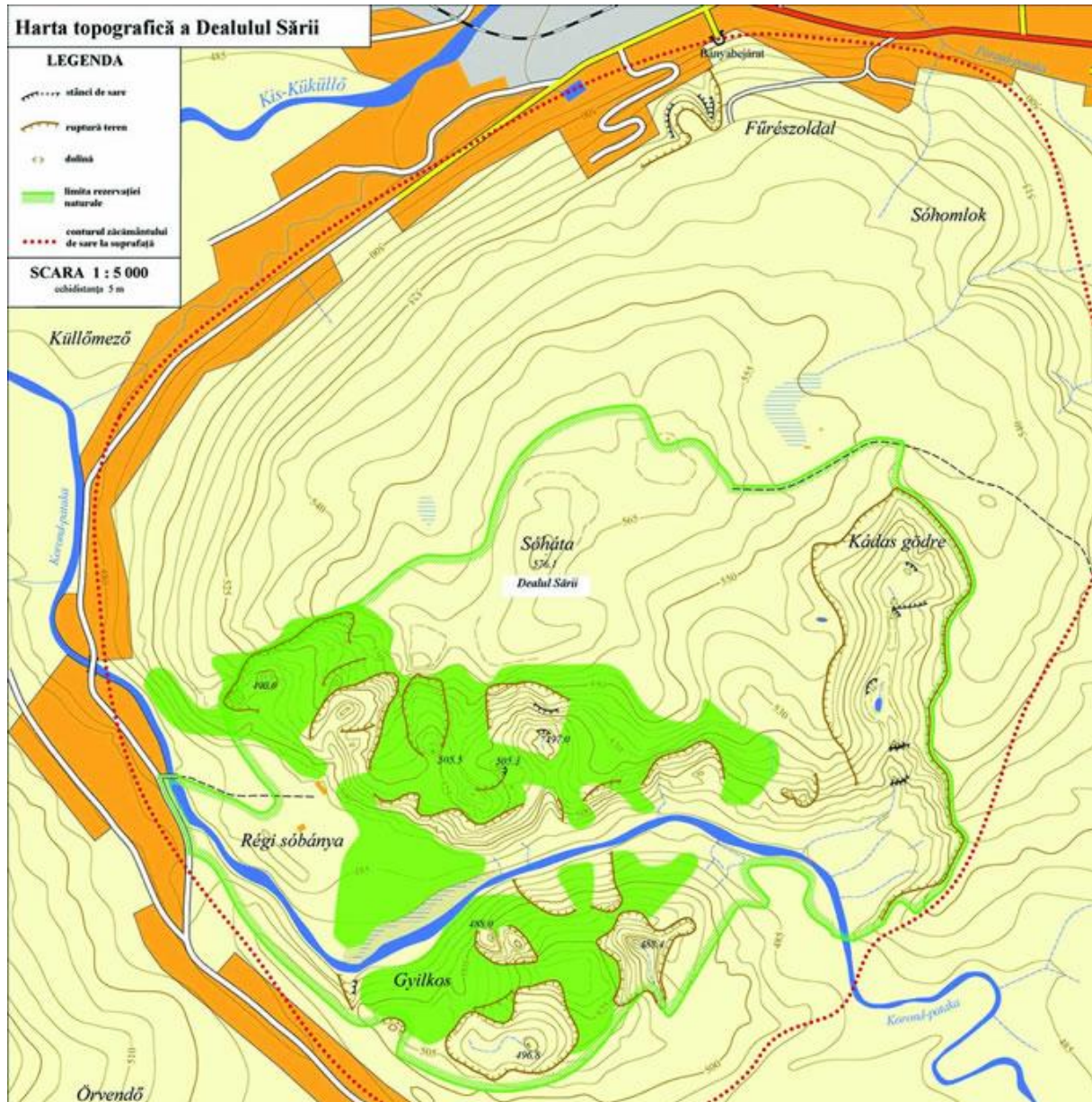
A pliocén medenceüledékek szintén megtalálhatók a környéken. A pannóniai rétegösszlet hamu és vulkáni törmelékes rétegei a Görgényi-havasok eruptív képződményei alá nyomulnak. Több helyen suvadásokat figyelhetünk meg, melyeket a pliocén üledékekben megtalálható agyag, homok és homokkő rétegek eredményeztek. A pliocén vége felé megindult a vízhalózati kialakulása és a hordalékok felhalmozódása, mely a pleisztocénben és a holocénben is folytatódott. [3]

A pleisztocén üledékek főleg Korond-Parajdi-medence alacsonyabb térszíneit borítják. A Kisküküllő és Korond patak mentén teraszos üledékeket találunk. [3]

A parajdi sótelep a tufarétegekre és az alatta fekvő kristályos alapkőzetre települ. A kristályos alakőzet a kárpáti kristályos-mezozóos alaphegység alkotórésze. A sótest

kiemelkedésénél valószínűleg szerepet játszott a medencealjzat függőleges irányú rögmozgása, melyhez a vulkáni üledékek gyors felhalmozódása eredményeként kialakult többletnyomás is hozzájárult. [3]

A sóhegyek, sósziklák övezetében élénk sókarsztjelenséget figyelhetünk meg. A sós területek felszínén kisebb-nagyobb tölcserék fordulnak elő, melyek hasonlítanak a mészkővidékek karsztjelenségeihez: oldásbarázdák, oldásgödrök, dolinák, víznyelő töbrök, sókarook, csatornakarook, lankás sókarr-mezők, sóoszlopok jöttek létre az erózió nyomán. [3.]



5. ábra – Sósoros átnézeti térképe [www5.]

5 Sóképződés

Az erdélyi só keletkezése az alsó-bádeni geológiai korra vezethető vissza, ezelőtt kb. 20-22 millió éve. Ekkor a sekély beltenger elzáródott az ősi, közép-európa Tethys óceántól, és az erőteljes párolgás következtében kicsapódott sórétegek lerakódtak a közben egyre süllyedő medencében. A sókiválás sorrendjét nagyobb hőmérséklet és csapadékváltozások szakíthatják meg és zavarhatják meg. Ezek eredményeként a sótestet évgyűrűszerűen gipsz, anhidrit és agyag közbeágyazások tarkítják. A sórétegre üledékrétegek rakódtak, mellyel jelentős nyomást gyakoroltak a sóra. Így a só, mint valamilyen lassú folyású, plasztikus, sűrű állagú folyadék az Erdélyi-medence peremei felé nyomult. Itt, a diapír redők zónájában a plasztikus sórétegek összetömörödtek a hatalmas erők hatására, és a már létező törésvonalak és vetők mentén felfelé nyomultak sötömszök, diapír-redők formájában. Nem mindenhol tudtak a felszínre emelkedni, ezek a sóredők ún. kriptodiapíreket alkottak. [www3.]

6 Kősó

A parajdi sótelep anyaga a kősó, más néven halit. A halit egy halogénid ásvány, mely köbös rendszerben kristályosodik, nagyon ritkán lehet oktaéderes formája is.

A halit törése egyenetlen, kagylós, hasadása a gyengeségi síkok mentén tökéletes kocka alakot mutat. Színe átlátszó üveges, tejfehértől egészen a sötétszürkéig és a feketéig változik a szennyeződésektől függően. A káliuminont tartalmazó sóváltozat színe halvány rózsaszíntől a sötét bíborvörösre terjedhet.

A kősó gyakran előfordul tömeges vagy tömött formában, durván szemcsés szövetű, karca fehér, üvegfénye van és tapintása zsíros, a lángot sárgára festi. Keménysége a Mohs-féle osztályozás szerint kettős.

A sókristály geometriai formáját a rácsszerkezet és kristálynövekedés különböző irányokban eltérő sebessége együtt határozza meg. A NaCl vegyi összetételű kristálycsíra az azonos összetételű oldatból újabb és újabb nátrium és kloridion csatlakozásával folytonosan növekszik. A legszebb sókristályok nagyon lassan, hosszú idő alatt képződnek. A sókristályok növekedési iránya a kocka sarkai felé a leggyorsabb, aztán következnek az élek, és végül a kristálynövekedés az oldallapok irányába a legkisebb sebességű. A kifejlett sókristályok alakját a legkisebb növekedési sebesség irányára merőleges lapok határozzák meg. Tiszta sóoldatból képződött kristályok tökéletes kocka vagy téglatest alakúak. [3.]

6.1. A só keletkezése, összetétele

A só az egyik legtöbbet és talán legtöbbféle képen felhasznált természetes ásványi anyag. A sótelepeken kitermelt sók keletkezése és összetétele nagyjából azonos, mindegyik valamilyen sós víz jelenlétéhez kapcsolható. A kősónál a tengernek egy kisebb, nagyobb része valamilyen okból elzáródott, majd idővel a víz elpárolgott, visszahagyva a kicsapódott sóréteget. Ez a jelenség hosszú idő alatt játszódik le. Legnagyobb mennyiségben a víz elpárolgása után visszamaradó réteg nátrium-kloridot (NaCl) tartalmaz, de mellette kisebb mennyiségben még nátrium-bromid, -jodid, nátrium-szulfát és különböző kálium, magnézium és kalcium sók is találhatóak. Ezek aránya, illetve a jelenlévő egyéb anyagok, a felsoroltakon kívül, az adott területre jellemző. Két nagyobb csoportot különíthetünk el a só kinyerése tekintetében, a lepárlást és a sóbányászatot, ezek a technikák a dolgozatban bemutatásra kerülnek a későbbiekben. Sóbányászatra csak az olyan rétegek alkalmazhatóak, melyeknek a nátrium-klorid tartalma legalább 98%. Az ennél alacsonyabb, de még így is jelentős sótartalmú rétegeket kioldással nyerik ki. [www6.]

6.2. A só alkotói

A legnagyobb arányú alkotók tulajdonságai:

6.2.1. Nátrium-klorid ($NaCl$)

Szintelen, szagtalan, kristályos vegyület. Kristálya kocka alakú, lapjai mentén kiválóan hasad nagyobb ütés hatására. Az alkotókat (Na és Cl) ionkötés tartja össze, vízben nagyon jól oldódik, de alkoholban oldhatatlan. Teljesen tiszta állapotában nem higroszkópos. [www6.]

6.2.2. Nátrium-bromid ($NaBr$)

Szintelen, szagtalan, kristályos vegyület. Ionkötés tartja össze a nátrium és a bróm ionokat a vegyületben. Vízben nagyon jól, alkoholban kismértékben oldható. Vizes oldata semleges kémhatású. [www6.]

6.2.3. Nátrium-jodid (NaI)

Szintelen, szagtalan, kristályos por. Ionkötés tartja össze a nátrium és a jód ionokat a vegyületben. Vízben nagyon jól, alkoholban kismértékben oldható. Vizes oldata semleges kémhatású. Fény hatására idővel elbomlik, megsárgul. [www6.]

6.2.4. Nátrium-szulfát (Na_2SO_4)

A nátrium kénsavval alkotott sója. Szintelen, szagtalan, higroszkópos por. Vízben jól oldható, bár nátrium-klorid jelenlétében az oldhatósága jelentősen romlik. [www6.]

6.3. Felhasználása

A sót, bár legtöbbször talán az étkezéseknél találkozunk vele, nem csak az élelmiszeripar használja fel. Sőt a kitermelt mennyiségnek csak 6%-át teszi ki az élelmiszeripar által felhasznált mennyiség. A maradék 93%-ot az ipar, a mezőgazdaság, gyógyászat, stb. hasznosítja.

Az élelmiszeriparban általában a kitermelt sót feldolgozzák, különböző adalékanyagokkal látják el. Ezt egyrészt a minőség megőrzése (csomósodás gátlás), másrészt a különböző egészségügyi okok indokolják, pl.: a szükséges jód mennyiség bevitel a jódozott sóval a golyva ellen véd. A só nem csak, mint fűszer kerül felhasználásra a mindennapokban, hanem tartósítószerként is.

Az egészségügy is jelentős mennyiséget használ fel, mivel a só életszükséglet. Sejtjeinkben, a sejtek közti folyadékban, a vérben, de még a könnyekben is kb 3%-os sóoldat található. A sóhiány szédülést, izomgyengeséget, görcsöket, szélsőséges esetben akár halált is okozhat.

A kozmetika iparban számos készítmény, kúra alapját képezi a só.

A mezőgazdaságban pedig a magasabb káliumsó tartalmú sókból állítanak elő műtrágyát és különféle tápoldatokat, talajkezelő szereket.

Az ipari felhasználáskor a nátrium-klorid tömény vizes oldatának elektrolízisével nátronlúg ($NaOH$) állítható elő. Ebből a nátrium-hidroxidból széndioxid hatására

szódabikarbóna (NaHCO_3) keletkezik. Ezen kívül felhasználják még kisózásra (szerves anyagok, például szappan, festékek kiválasztására oldatokból), bőrcserzésre, agyagáruk zománcozására, jég megolvasztására és hűtőkeverékek készítésére.

A hűtőkeverékeknek az az alapja, hogy olvadáspontjuk alacsonyabb, mint a tiszta vízé. A jég vagy a hó a sózás hatására a felületén megolvad, és a hőmérséklete addig csökken, amíg el nem éri a sóoldat olvadáspontját. Nátrium-kloriddal $-20\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet is elérhető.

A kohászatban felhasználják az ezüst, az arany, a réz és a cink előállításánál.

A spektroszkópia sárga nátriumfény előállítására használja. Az infravörös spektroszkópiában lencsákat és prizmákat készítenek belőle.

Nemcsak a kitermelt sót lehet hasznosítani, hanem magát a sóban gazdag területet is. A kősó fizikai tulajdonságainál fogva könnyű benne üregeket kialakítani, amit később tárolási céllal fel lehet használni. Ilyen tárolási formával CO_2 -t, szénhidrogéneket és sűrített levegőt lehet nagynyomáson a kialakult üregbe préselni. Ezzel az eljárással akár a villamos energiát is tárolni lehet közvetett módon, így a csúcsidezőszakok könnyebben kiszolgálhatóvá válnak. A lényege az eljárásnak, hogy amikor nincs szükség a megtermelt energiára, akkor a tározóba pumpálják a levegőt, amikor meg szükség van a plusz energiára, akkor meg a tározóból kiengedett magasnyomású levegővel hajtják meg a turbinákat. [www7.]

6.4. SÓ BÁNYÁSZATI MÓDSZEREK

A só kitermelése két jelentősen eltérő módon történik, az egyik a lepárlás, a másik a bányászat. Lepárláskor a magas sótartalmú vizet párologtatják el egy erre a célra kialakított medencében. Általában ezek a medencék a tengerek, óceánok partjainál vannak, de előfordulhatnak olyan tavaknál is, amiknek magas az oldott só tartalma, pl.: Holt-tenger. A párologtatás után a visszamaradt sót tisztítani kell, mivel a víz mostanában helyenként már eléggé szennyezett.

A bányászatnál több fajta kitermelési technika is ismeretes. Ezek alkalmazhatósága nagymértékben függ az adott terület környezetétől, a kibányászandó só nátrium-klorid tartalmától, illetve az adott technológia gazdaságosságától. Három jellemzően használt technológia található meg napjainkban a kősó kitermelésénél:

- Külszíni fejtés
- Mélybányászat
- Fúrólukban kioldással

Külszíni fejtés olyan helyen alkalmazható, ahol a kősó legfelső rétege a felszínhez közel helyezkedik el, így a rajta lévő talajréteg elhordása nem jelent akkora plusz költséget, hogy hosszúidőre gazdaságtalanná váljon a fejtés. A fejtés során mindig figyelni kell a kifejtett réteg állékonyságára, nehogy bedőljön az adott teraszra. Ilyen technikával dolgoznak az erdélyi parajdi sóbányában is.

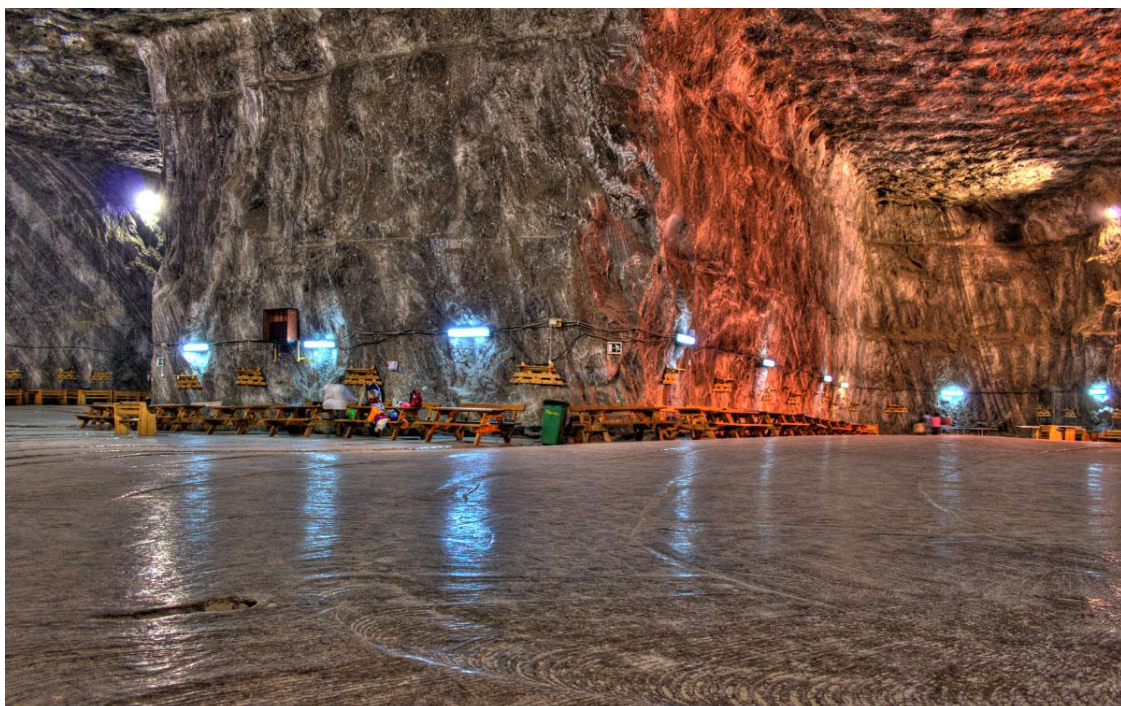
A mélybányászat olyan helyen jellemző, ahol a kősó réteg felett jelentősebb talajréteg található, ami miatt a külszíni fejtés már nem lenne gazdaságos sem rövid, sem hosszútávon. Ilyenkor a klasszikus bányászati módszerekkel tárnokban fejtik a kősót. Az egyik legismertebb ilyen technológiával művelt bánya a lengyelországi Wieliczka-bánya, mely a világörökség része. A Parajdi sóbánya hatalmas termeire mutatunk példát a 6. és 7. ábrákban.

A fúrólukban való kioldás olyan helyen gazdaságos, ahol a kősót az alacsonyabb nátrium-klorid tartalma miatt már nem lehetne fejtéses módszerrel kitermelni. Ennél a technológiánál a kősót tartalmazó rétegbe nagynyomással vizet vezetnek, feloldják az ott

található kősót. Az így nyert sós oldatot utána a só lepárláshoz hasonlóan dolgozzák fel.
[www7.]

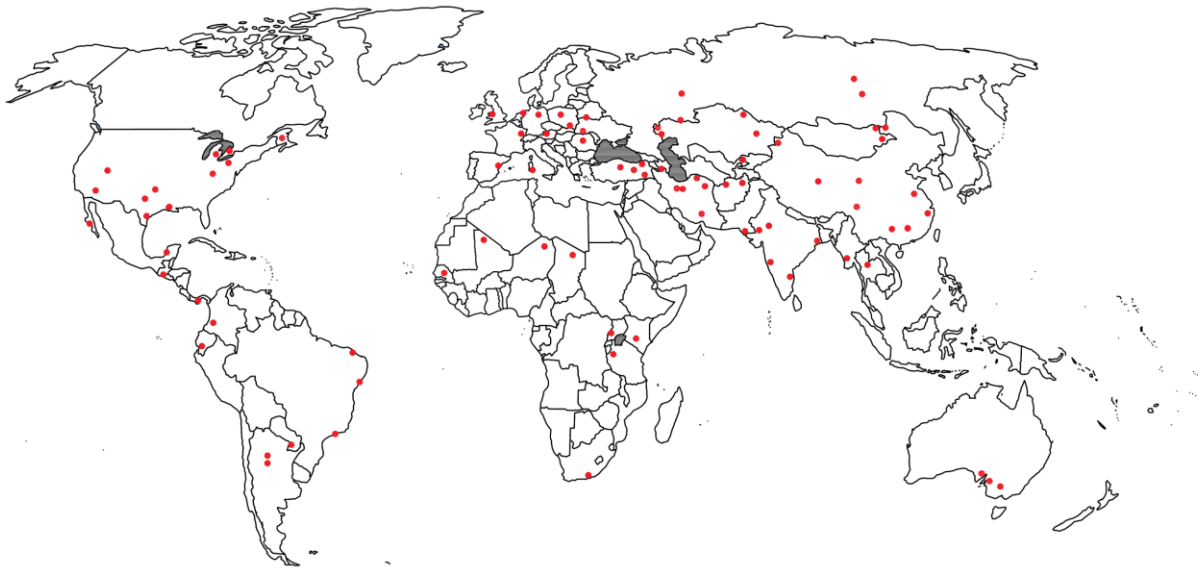


6. ábra – Parajdi sóbánya turisztikai központja, a padozaton látható a só rétegek gyűrődése



7. ábra – Parajdi sóbánya hatalmas belmagassággal

6.5. Só előfordulás a világban és Európában

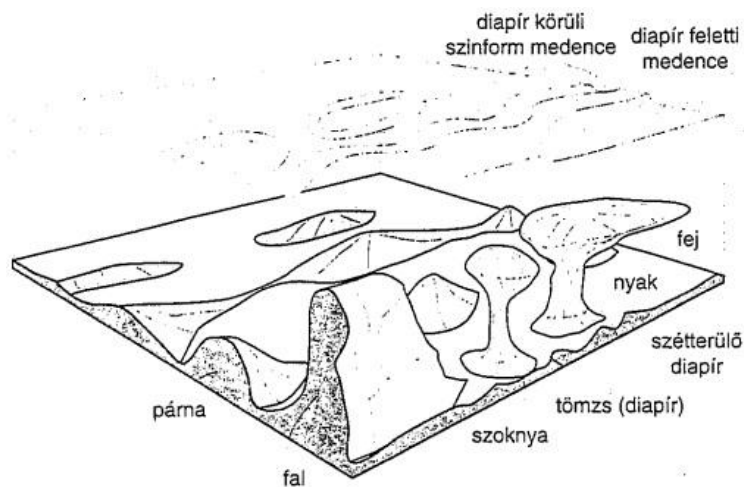


7 Sódiapírek

7.1. Forma

Sókőzetet tartalmazó medencékben (Erdélyi-medence, Németország, Lengyelország, Oroszország) igen gyakran találunk oszlopszerű, néhol gomba alakú sótesteket. Ezeket tömzsöknek vagy diapíroknak nevezzük. E diapírok egy alsó rétegből, a forrásból erednek. A feláramlás során a diapír több növekedési fázison megy keresztül. [4]

Az eredeti felület enyhe hullámzást, s az abból keletkező enyhe dudorokat párnának nevezzük. Az oszlop egy függőleges, nagyjából azonos vastagságú tömzs. A gomba olyan alakzat, amelynek kiterjedt, nagy térfogatú felső része, feje van, amelyet hosszú viszonylag keskeny nyak köt össze a forrással. Gyakran a nyak és az eredeti réteg kapcsolatát egy kúp alakú szoknya biztosítja. [4]



8. ábra – Sótömzsök formái [4]

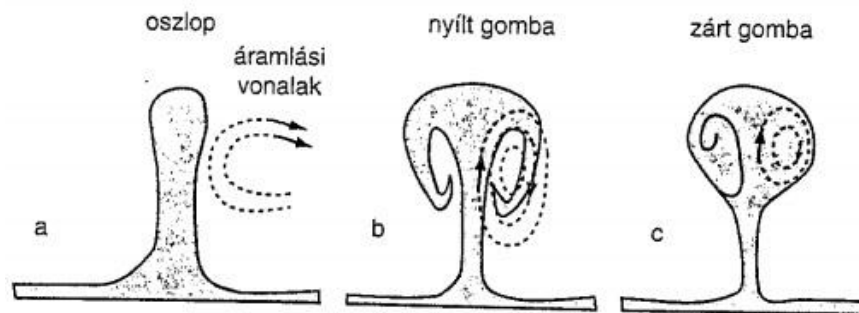
A só-tömzsök leggyakrabban jól meghatározott periodikus távolságban vannak egymástól. E periódust a kőzet vizskoizitációs-kontrasztja valamint a rétegek vastagsága szabályozza. Egyes esetekben a szomszédos diapírok összeolvadnak és falat képeznek. Más esetekben a feláramló anyag a diapír fejéből továbbterjed, s egy réteg szerinti leplet alkot. A diapír a beágyazó kőzetet is deformálhatja. Gyakran az átszakított rétegeket felfelé vonszolja. Az így kialakult szerkezeti csapdák igen fontos szénhidrogén lelőhelyek a világ számos pontján. [4]

7.2. Eredet

A sótektonika alapja, hogy a sókőzet sűrűsége kisebb, mint a felette levő kőzeteké. A só sűrűsége kicsi: $2,1-2,2 \text{ kg/cm}^3$, míg a felette levő üledékek sűrűsége $2,3-2,8 \text{ kg/cm}^3$. A só tömörödésképtelen, viszont a környékén lévő üledék sűrűsége a kompaktáció következtében nő. Ha a só van alul, a sűrűség-inverzió instabil helyzetet eredményez. A keveredéshez képlékeny deformációs mechanizmusra van szükség. Ha a kőzetek ridegek, akkor a keveredés megindításához a nyerhető energiánál nagyobb aktivációs energiára lenne szükség. Az evaporitok és a nem teljesen konszolidált üledékek kicsiny rugalmassági küszöbvel bírnak és képlékeny alakváltozásra hajlamosak. A só emelkedését másfajta gravitációs instabilitások is kiválthatják. Ha egy mélyen húzó sóréteg felett megbomlik az addig egységes terhelés, akkor a ritkább kőzet a csekély terhelésű hely felé emelkedik. A sódiapír addig emelkedik felfelé, amíg a sűrűség-inverzió fennáll. Ha elérte a vele azonos sűrűségű réteget, akkor

megszűnik felfelé emelkedése, és idővel szétterül. A diapír alakra leginkább a diapír anyagának és a körbezáró anyagnak a hatékony viszkozitás-aránya van hatással. A hatékony viszkozitáson a nyírásos alakváltozás sebességét értik. A hatékony viszkozitás jele: m

$$m = \frac{\eta_{nagy\ sűrűségű}}{\eta_{kis\ sűrűségű}} \quad (1)$$



9. ábra – Sótömzsök megjelenési formái [4]

Az alakváltozás előrehaladtával a felfelé áramló anyagban és a körül gyűrűs áramlás keletkezik. Ha $m < 1$, a diapír viszkózusabb, mint a környezete, akkor az áramlás csak a környezet közeteiben jön létre (9a) ábra). Ilyen módon oszlopok alakú diapír jön létre.

Ha $m = 1$, azaz a két anyagnak nagyjából megegyező a viszkozitása, akkor a gyűrűszerű áramlás a diapírban és a környezetében egyaránt létrejön: a diapír gomba alakú lesz, melynek szárnyán keveredik az emelkedő közet a környezetében lévővel (9b) ábra). Ezt a formát külső gombának is hívjuk. Ha $m > 1$, a diapír anyaga kevésbé viszkózus, akkor az áramlás csak az emelkedő anyagban összpontosul. A keletkező forma buborék, vagy másképp belső gomba alakú lesz (9c) ábra). A buborék anyaga homogén, a szárnyain keveredik. [4]

A só a gleccserjéghez hasonlóan tixotropikus tulajdonsággal rendelkezik. Szilárd halmazállapota ellenére, bizonyos esetekben (nagy nyomás és magas hőmérséklet) folyadékként viselkedik. [3]

7.3. Tektonika

Tektonikai szempontból elmondható, hogy a sótömzs enyhén ráfekszik a nyugati oldal rétegeire. A só rétegződése majdnem függőleges, 75-80°-os. A rétegek főiránya a felszínen ÉNy-DK. A parajdi sótelep környékén négyfajta vetőt különböztetünk meg:

- 1 mélységi vető: alapkőzetből egészen a felszínig hat, valószínűleg szerepet játszott a diapírredő felemelkedésében
- 2 behatároló vető: a sótestet körbehatárolja
- 3 felületi vető: a sótest határáig terjed, esetenként behatolhat a sótömzs felső zónájába
- 4 helyi hatású vető: hidrológiailag szerepet játszik a sótömzs fedőközeteiben [www3.]

A Parajdi sóbányában a sógyűrődések jól láthatóan a bányafalakon (10. ábra)



10. ábra – Parajdi sóbánya sógyűrdédése

8 Bányászat

Erdély bányászatában a vas és szénnél, aranynál is nagyobb értéket képvisel a konyhasó bányászata, amiben Erdély páratlanul gazdag telepekkal rendelkezik. A harmadkori tengerből lerakódott óriási sótümegek helyenként a felszínen vannak, mint pl. Parajdon. Ezen sótelepek egy része szintén ősi művelésre tekint vissza, s valószínűleg éppen a só volt Erdélynek az az árucikke, amelyet már a történelmi idők kezdetén is kiszállítottak Erdélyből nemcsak az Alföldre, hanem a Balkánra is. A legjelentékenyebb sótelepek a Mezőség peremén fekszenek. Marosújvár, Torda, Vízakra, Parajd (11. ábra) az Erdélyi medencében, Aknasugatag és Rónaszék Máramaros sómedencéjében szolgáltatták hazánk egész sótermelését. Erdély harmadkori tengerének másik nagy ajándéka a földgáz, ami egész Európában páratlan mennyiségben tör fel a Mezőség peremén Kissármás környékén. Az itteni készletet 250 milliárd köbméterre becsülték a magyar geológusok. [www9.]



11. ábra – Parajdi sóbánya [www10.]

Sóvidéken a legkorábbi emberi megtelepedésre a szántókon gyűjthető kőeszközök, a magkövekről lepattintott kőszilánkok utalnak. Ezen a területen a rómaiak kezdték el a kitermelést, só utakat építettek a nagyobb folyókig onnan tutajjal szállították a birodalom különböző területeire. A helyi lakosok ennél jóval régebben kezdték a kősótermelést. A réz és bronzszerszámok tanúsága szerint ie. 5000 évvel az iparág már virágzott Erdélyben. A Székely-Sóvidéken a só a föld felszínén helyezkedik el, ezért nem is kellett ezeket felfedezni, csak fejteni és szállítani. A sóbányászat a római korig nyúlik vissza. A visszavonuló rómaiak által elhagyott felszíni sóvágásokat először az avarok, később a bolgárok vették művelés alá. 1092-ben külön említik a székely só szállítókat is. A bányák körül falvak keletkeztek. A székelyek szabad sóbányászatát és kereskedelmét III. András királytól Mátyásig többen is megerősítették. [www9.]

1552-es jelentés arról tesz említést, hogy a székelyek földjén annyi só van, hogy szinte ingyen lehet kapni. A bányászat a felszínen zajlott egészen a XVIII. századig. A bányászat négyzetes gödrökben végezték, és ezeket csak annyira ásták mélyre, hogy vállukon könnyen ki tudják hozni a kitermelt sót. [5]

A székelyek 1562-ig szabadon termeltek és kereskedtek a sóval. 1762-ben a bécsi udvar parancsára bezárták a szovátai bányát és ugyanebben az évben elkezdődött a parajdi

mélyszinti fejtés, ami a mai napig tart. Elsőként a harang alakú József-bányát nyitották meg. 1864-ben nyitották meg a trapéz alakú Párhuzamos-bányát, egyidőben a Nádor-bánya kiszélesítésével. 1898-ban megkezdődött az Erzsébet-kutatótároló kihajtása. 1945-ben bevezették a robbantásos sófejtést. 1947-49 között megnyitották a Dózsa György bányát. 1978-ban a régi bányakamrák alatt új mélységi szinteket képeztek ki. A kamraméretek akkoriban egyedülállóan számítottak. 12 m magas, 20 m széles és 200 m hosszú kamrákat hoztak létre. [www8.]

A földalatti gyógykezelés 1960-as években kezdődött meg Parajdon. A felhagyott tárnákat évente félmillióan is meglátogatják, nagyrészt gyógykezelési céllal érkeznek. A mai kezelőbázist 1980-ban nyitották meg. Akkor a termekből áll, hogy egyszerre akár 6000 ember is elfér. A látogatási részleg a felszíntől számítva 120 m mélyen fekszik. A tágas bányakamrákban játszótér, ökömenikus kápolna, büfé, sporteszközök, kalandpark teszik változatossá a lent töltött időt (12. ábra). [www9.]



12. ábra – Parajdi bányában játszva gyógyul az ember

9 Laboratóriumi vizsgálatok

9.1. Vizsgált közettömbök

A kőzetmintákat a parajdi sóbánya bocsájtotta rendelkezésünkre. Hét tömböt vizsgáltunk, melyek szerkezetileg három csoportba oszthatók.

- 1 Három darab tömb fehér sókristályokból áll, a kristályok mérete szemrevételezéssel is megállapíthatóan nagyobb. (Tömbök jele: I., VI., VII.)
- 2 További három tömb sötétszürke, kisebb méretű kristályokból épül fel. (Tömbök jele: II., IV., V.)
- 3 Végül egy tömb közepes szürke illetve fehér színű kristályok rétegeiből állt össze. (Tömb jele: III.)

I. tömb



II. tömb



III. tömb



IV. tömb



V. tömb



VI. tömb



9.2. Próbatetek kialakítása

A tömbökből 32 mm és 38 mm átmérőjű, hengeres próbateteket fúrtunk. Fúrás és vágás közben gondosan kellett ügyelni a hozzáadott vízmennyiségre. A hét tömbből csak négyet tudtunk felhasználni mintakészítésre. A fehér, átkristályosodott sóközetet nem sikerült eredményesen megfúrni. Minimális víz hatására kristályos alkotóira esett szét. (fent I. tömb jobb oldali kép) Szárazon a súrlódás hatására a minta beégett és fehér porrá vált. (fent VI. tömb, jobb oldali kép) A II. és V. tömbben fúrás közben egy törés megnyílt (13. ábra). III. tömbből fúrt próbatetek a fehér és szürke rétegek mentén sok helyen eltörték (14, 15. ábra).



13. ábra – Fúrás közben szétrepedt tömb (V. tömb)



14. ábra – Rétegek mentén szétört próbatetek (III. tömb)



15. ábra – A fúrólukban látható fehér-szürke rétegek váltakozása

9.3. Sűrűség mérése

A szilárdsági vizsgálatok előtt lemértük a próbatestek tömegét, átmérőjét és magasságát. Az átmérő és magasság ismeretében számíthatóvá vált azok testsűrűsége. A mérések alapján a vizsgált sóközet testsűrűsége átlagosan $2,04 \text{ t/m}^3$.

9.4. Ultrahang terjedési sebesség

A vizsgált próbatest két szemben fekvő felülete között kell megmérni a longitudinális ultrahang hullámok terjedési idejét. Az úthossz ismeretében lehet kiszámítani a terjedési sebességet. A terjedési sebesség a minta magasságának és az ultrahang terjedési időnek a hányadosa:

$$v_{UH} = \frac{h}{t_{UH}} \quad (2)$$

ahol:

v_{UH} – az ultrahang terjedési sebesség,

h – a próbatest magassága,

t_{UH} – a mért ultrahang terjedési idő.

9.5. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálata



16. ábra – Egyirányú nyomószilárdság mérése

A műszaki gyakorlatban a kőzettestek egyik legfontosabb anyagi jellemzője az egyirányú nyomószilárdság, hiszen ez alapján tudjuk osztályba sorolni, illetve minősíteni a kőzetet. A kőzet szilárdsága nehezen definiálható, mivel a kőzet nem tekinthető homogénnel és izotrópnak. A szilárdságot az anyagszerkezeti hibák is befolyásolják, úgy mint: zárványok, mikrorepedezettség, gyengébb zónák, anyagi folytonossági változások, ezek iránya és nagysága. [6]

Az egyirányú nyomószilárdság meghatározását henger alakú próbatesten végeztük (16. ábra). A vizsgálat során mértük a törőerőt, valamint a keresztirányú és hosszirányú alakváltozásokat. A nyomószilárdságot a törőerő és a terhelt felület hányadosaként számoljuk:

$$\sigma_c = \frac{F_t}{A} \quad (3)$$

ahol:

σ_c – a nyomószilárdság,

F_t – a törőerő,

A – a terhelt felület.

Az egyirányú nyomószilárdság mérésénél a mért érték a magasság:átmérő arányszám változására a legérzékenyebb. A szabványi ajánlás 50 mm átmérőjű 2:1-es arányú próbatesteken való mérést ír elő. Amennyiben a vizsgált próbatestek szabványos alakúak, de eltérnek az ajánlott méretektől, átszámolható szabványos méretre vonatkozó nyomószilárdságra. [6]

2:1-es aránytól eltérő próbatestek esetén az átszámításra az amerikai szabvány (ASTM) az alábbi ajánlást adja:

$$\sigma_{c2:1} = \frac{\sigma_c}{0,88 + 0,24 \left(\frac{d}{h}\right)} \quad (4)$$

ahol:

$\sigma_{c2:1}$ – a számított nyomószilárdság 2:1-es próbatestre,

σ_c – a mért nyomószilárdság,

d – a próbatest átmérője,

h – a próbatest magassága. [6]

Az 50 mm-től eltérő átmérőjű próbatestek esetén Hoek és Brown által meghatározott képlet alapján történik az átszámítás:

$$\sigma_{c50} = \frac{\sigma_c}{\left(\frac{50}{d}\right)^{0,18}} \quad (5)$$

ahol:

σ_{c50} – 50 mm átmérőjű próbatest nyomószilárdsága,

σ_c – a mért nyomószilárdság,

d – a próbatest átmérője. [6]

A két képletet egy összefüggésbe foglalva lehetőség van bármilyen méretarányú és átmérőjű próbatestet 50 mm átmérőjű, 2:1 arányúra átszámítani:

$$\sigma_{c(2:1);(50)} = \frac{\sigma_c * d^{0,18}}{1,78 + 0,485 * \left(\frac{d}{h}\right)} \quad (6)$$

ahol:

$\sigma_{c(2:1);(50)}$ – 50 mm átmérőjű, 2:1 arányú próbatestekre vonatkozó nyomószilárdság

σ_c – a mért nyomószilárdság,

d – a próbatest átmérője,

h – a próbatest magassága. [6]

A vizsgálat során az adatokat digitálisan rögzítettük. Egyenletes időközönként mértük a pillanatnyi terhelési erőt, a hosszirányú és keresztirányú alakváltozásokat. Az alakváltozásokat három-három elmozdulás-mérővel mértük. Számítások során ezek átlagát vettük.

Az alakváltozásokat az elmozdulások és a magasság hányadosaként számítottuk ki. Az átszámított feszültség és a számított alakváltozás ismeretében felrajzolható a közet feszültség-

alakváltozás diagramja. Az alakváltozások ismeretében pedig a hosszirányú (axiális) és keresztirányú (laterális) alakváltozás diagram állítható elő.

9.6. Húzószilárdság mérése



17. ábra – Húzószilárdság mérése

Laboratóriumban közvetett húzóvizsgálatot (Brazil-vizsgálatot) végeztünk. A méréseket henger alakú próbatesten hajtottuk végre. A próbatesteket két szemközti alkotója mentén terheljük párhuzamos nyomólapokkal (17. ábra). A terhelést a törésig folyamatosan növeltük. A próbatest a terhelő erő irányával megegyező átmérője mentén, a húzószilárdság hatására törik. [6]

A húzószilárdság az átmérő, magasság és törőteher ismeretében az alábbi képlettel számítható ki:

$$\sigma_t = \frac{2 * F_t}{\pi * d * h} \quad (7)$$

ahol:

- σ_t – a húzószilárdság,
- F_t – a törőteher,
- d – a próbatest átmérője,
- h – a próbatest magassága. [6]

Gálos és Kürti [7] vizsgálatai alapján a húzó és nyomószilárdság közötti kapcsolatról általánosságban a következő összefüggés írható fel:

$$\sigma_t = 0,226 * \sigma_c^{0,785} \quad (8)$$

Közelítőleg azt az eredményt kapjuk, hogy a húzószilárdság a nyomószilárdság 1/10-e körüli érték. A nyomás és húzószilárdság közötti arányszámot a Brinke féle szám (B) fejezi ki:

$$B = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (9)$$

9.7. Pontszilárdság mérése

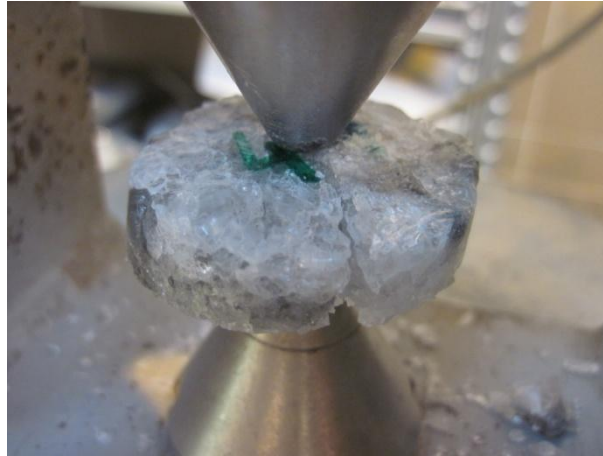
A vizsgálat során nem két párhuzamos felületen, hanem két egymással szemben lévő ponton terheljük a kőzetet (18. ábra). Az egymással szemben lévő acél nyomófejeket 60°-os kúppal és $r = 5$ mm-es lekerekítéssel képezték ki. A méréssel csak a maximális törőteher meghatározásra van lehetőség. A pont-terheléses vizsgálatnál a kőzet kisebb erő hatására eltörik, mint az egyirányú nyomóvizsgálatnál.

Henger alakú próbatestek esetén a kőzet szilárdságát az:

$$I_s = \frac{4 * F}{\pi * D^2} \quad (10)$$

összefüggés alapján számoljuk ki, ahol F a törőerő, D a próbatest átmérője.

A meghatározott pont-terhelési szilárdsági érték nagymértékben függ a próbatest méretétől. A kapott értékeket ezért szükséges átszámítani egy megegyezés szerinti alakra. Az egyirányú nyomószilárdságnál az egységesítés 50 mm-es átmérőjű testekre megtörtént, ezért itt is ezt a méretet vették mértékadónak (19. 20. ábrák) [8].



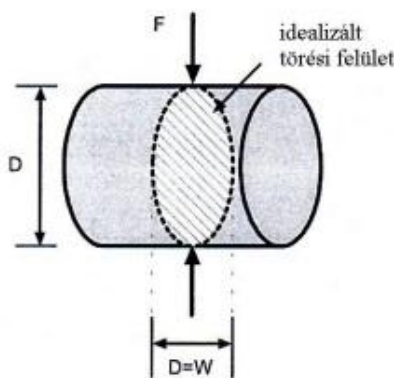
18. ábra – Pontszilárdság mérése

A képlet általános méretű próbatestek esetére az alábbi módon módosul:

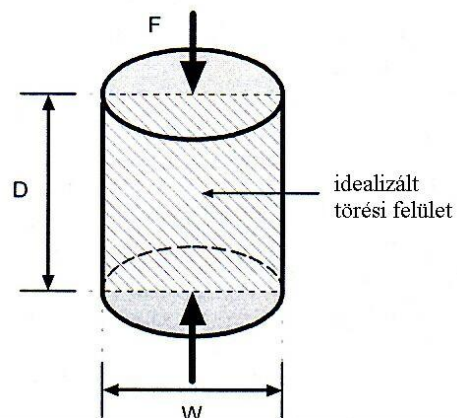
$$I_s = \frac{\pi * F}{4 * W * D} \quad (11)$$

ahol:

- F – a törőteher,
- D – a próbatest vastagsága,
- W – a próbatest szélessége.



19. ábra – Pontterhelés az átmérő irányában



20. ábra – Pontterhelés a tengely irányában

A pont-terheléses vizsgálat előnye, hogy sokkal gyorsabban kapunk információt a kőzet szilárdságáról, nem igényel olyan pontos előkészítést, mint a próbatest laboratóriumi vizsgálata, ugyanakkor hátránya, hogy az értékeket csak közelítő eredményként lehet elfogadni, valamint a hagyományos laboratóriumi vizsgálatra csak pontatlanul számíthatók át.

Számos szerző foglalkozott azzal, hogy a pont-terheléssel, illetve szabványos, laboratóriumi nyomószilárdsági kísérlettel meghatározott értékeket hogyan lehet egymással megfeleltetni. Általánosságban elmondható, hogy lineáris kapcsolat adható meg a nyomószilárdság és a pont-terheléses szilárdság között, azaz

$$\sigma_c = a * I_{50} \quad (12)$$

ahol:

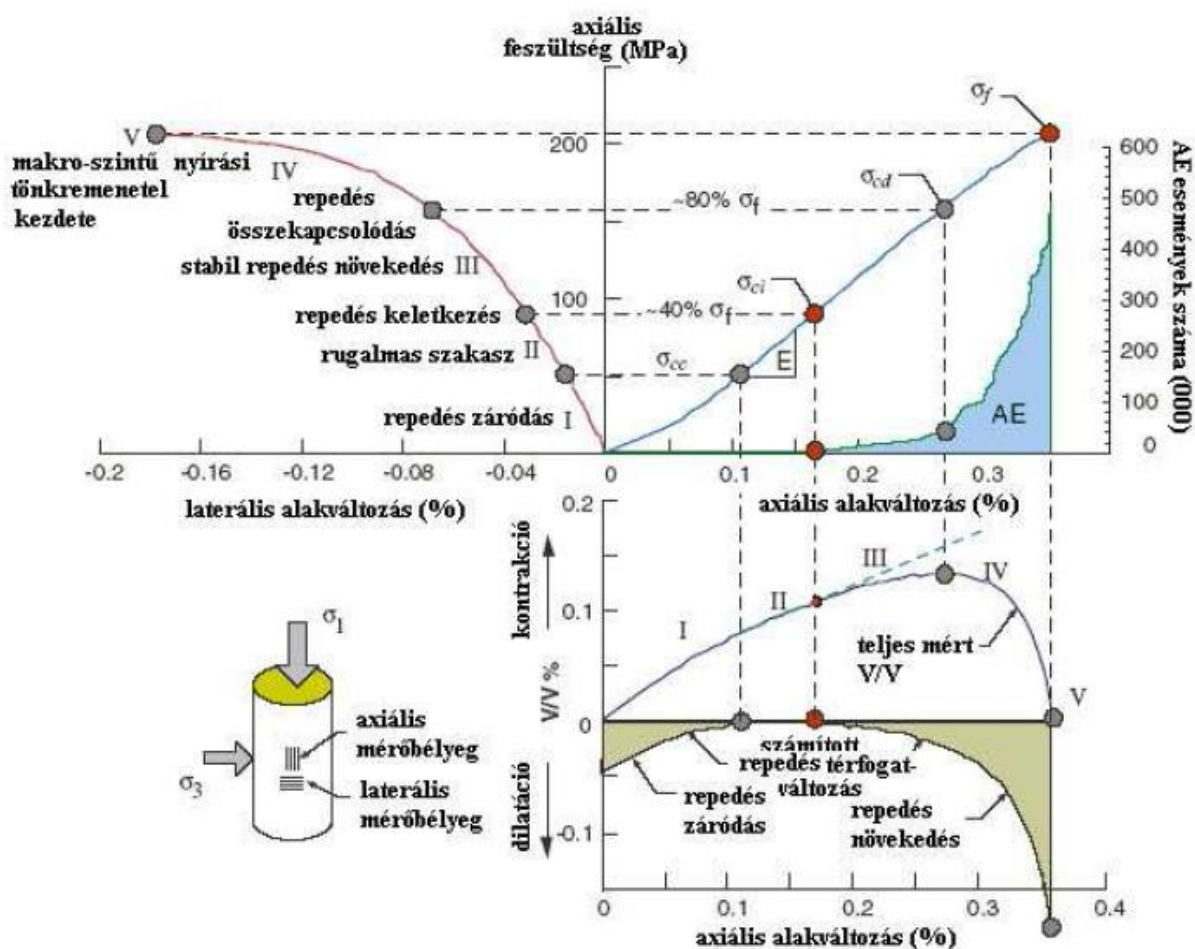
- I_{50} – a pontszilárdság,
- σ_c – a nyomószilárdság
- a – konstans.

A képletben szereplő a konstans értéke az ISRM ajánlása alapján átlagban 22-nek vehető fel. Ez az érték a kőzet szilárdságának függvényében jelentősen változhat: kis szilárdságú kőzeteknél 20 körüli, míg nagy szilárdságúaknál 25-ös érték felvétele a reális. [6]

10 Rideg kőzetek töréses tönkremenetelének keletkezése és fejlődése

Martin [9] kanadai gránit mintán végzett triaxiális kísérlet eredményei alapján mutatta ki a rideg, mikro-repedezéssel károsodó anyagok károsodási folyamatának szakaszait. A rideg anyagok károsodásának elméleti háttérét ez a vizsgálat alapozta meg. [10]

Az eredményeket a 21. ábra szemlélteti. A vizsgálat során mérni kell az axiális és laterális irányú deformációkat. Sok segítséget nyújt az akusztikus emisszió mérése is. A tönkremenetel közben mért hanghullámokat a mikrorepedések megjelenése eredményezi.



21. ábra – Rideg anyagok károsodásának összefoglalása Martin és Chandler (1993) szerint [10]

A jobb alsó grafikon felső részén a teljes térfogatváltozást ábrázoljuk az ε_a tengelyirányú deformáció függvényében.

$$(13)$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_1$$

Ezalatt lévő grafikonon a repedéstérfogat (dilatáció) látható. Ezt a teljes térfogatváltozás és a rugalmas deformációk általi térfogatváltozás különbségéből kapjuk meg.

$$\varepsilon_{cv} = \varepsilon_v - \varepsilon_{EV} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{cv} = \varepsilon_v - \frac{1 - 2 \cdot \nu}{E} * \sigma_a \quad (15)$$

ahol:

σ_a – a tengelyirányú feszültség,

ν – a Poisson-tényező,

E – a rugalmassági modulus.

Egytengelyű nyomás esetén a tönkremenetelig négy szakaszt különböztethetünk meg.
[10]

10.1. Töréses tönkremenetel szakaszai

10.1.1.I. szakasz: Mikrorepedések záródása (CC határérték)

Terheletlen állapottól a repedéstérfogat csökkenésének befejeződéséig tart. A feszültség-axiális alakváltozás görbe konvex, a próbatest térfogata nő. A tartomány határát a repedészáródási határfeszültséggel (σ_{cc}) jellemezzük. [10]

10.1.2.II. szakasz: Lineárisan rugalmas tartomány (CI határérték)

Ezen a szakaszon a repedéstérfogat állandó marad. A feszültség az axiális és laterális deformáció függvényében is lineáris. A tartomány felső határa a repedésnyílási határfeszültség (σ_{ci}). [10]

10.1.3.III. szakasz: Stabil repedésterjedés tartománya (CD határérték)

A szakasz kezdete a repedéstérfogat csökkenésével definiálható, a teljes térfogatváltozás maximumáig tart. A feszültség az axiális deformáció függvényében lineáris, laterális alakváltozás szerint nem. A tartomány határát a károsodási határfeszültséggel (σ_{cd}) jellemezzük. [10]

10.1.4.IV. szakasz: Instabil repedésterjedés tartománya (UCS)

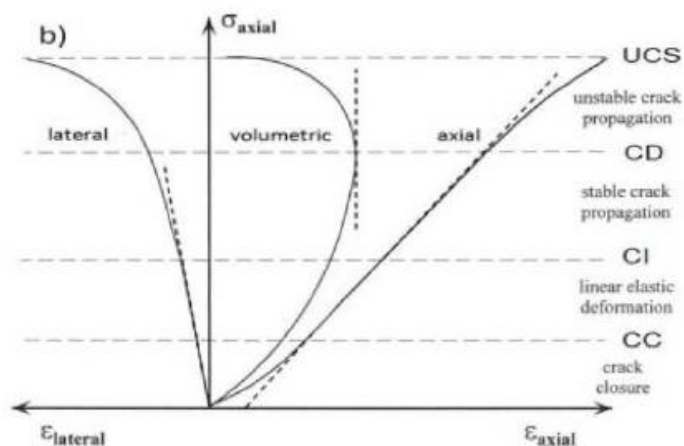
A szakasz a teljes térfogatváltozás maximumától tönkremenetelig tart. A feszültség az axiális deformáció függvényében tönkremenetelig lineáris marad, laterális alakváltozás szerint vízszintes felé hajlik. Rideg anyagoknál gyors a tönkremenetel, nem észlelhető képlékeny átmenet. [10]

10.2. Mérések elvégzése

Egytengelyű nyomóvizsgálat során három-három elmozdulásmérő segítségével mértük az axiális és a laterális deformációkat. A három mérőműszer által kapott mérési eredmények átlagából határoztuk meg az alakváltozásokat. A vizsgálat során akusztikus emisszió mérése nem volt lehetőségünk. [10]

10.2.1. Töréses tönkremenetel szakaszainak meghatározása

A határértékek kijelöléséhez elkészítettük a hosszirányú alakváltozás, keresztirányú alakváltozás és a térfogati változás feszültség feszültség függvényében. A CC határérték a hosszirányú alakváltozás lineáris szakaszának alsó pontja. A CI határérték a keresztirányú alakváltozás lineáris szakaszának felső értéke. A CD a térfogatváltozási görbe azon pontja, melyhez a legnagyobb pozitív előjelű deformáció párosul, a görbéhez húzható érintő függőleges. Az UCS pont pedig a laterális alakváltozás maximális pontja. [10] A határértékeket a 22. ábra szemlélteti:



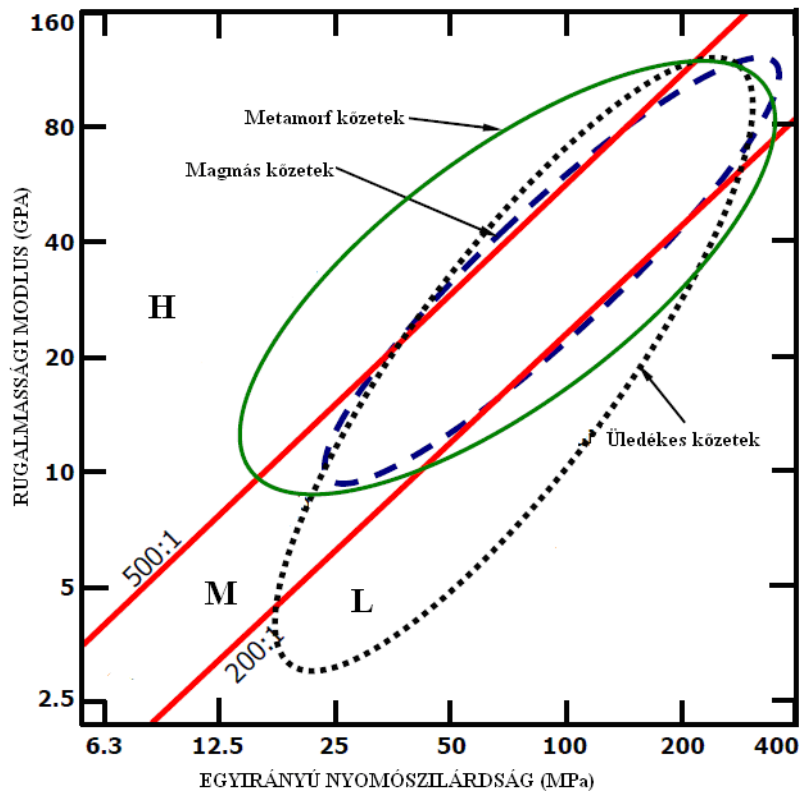
22. ábra – Tönkremenetel észlelése alakváltozás mérések felhasználásával [10]

10.3. A rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság közötti kapcsolat

A laboratóriumi mérések szerint a rugalmassági modulus arányos az egyirányú nyomószilárdsággal. Ezért a rugalmassági modulus/egytengelyű nyomószilárdság hányados is jellemzi a kőzetminőséget, illetve sok esetben ezen arányszám ismerete elengedhetetlen a tervezésnél. Ennek alapján való osztályozást a 1. táblázat tartalmazza Deere [11] alapján, míg a 23. ábra ezek várható tartományát mutatja különböző kőzetcsoportokra. Az eddigi vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy víz hatására ez az arányszám nem változik. [6]

1. táblázat - A rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság hányadosa alapján való osztályozás [11] [6]

Osztály	Megnevezés	E/σ_c
H	Nagy modulus viszonyszám	> 500
M	Közepes modulus viszonyszám	200 – 500
L	Kis modulus viszonyszám	< 200



23. ábra - Besorolás az egyirányú nyomószilárdság és a rugalmassági modulus aránya alapján különböző kőzetsoportok esetén. H: magas, M: közepes, L: alacsony viszonyszám [11]

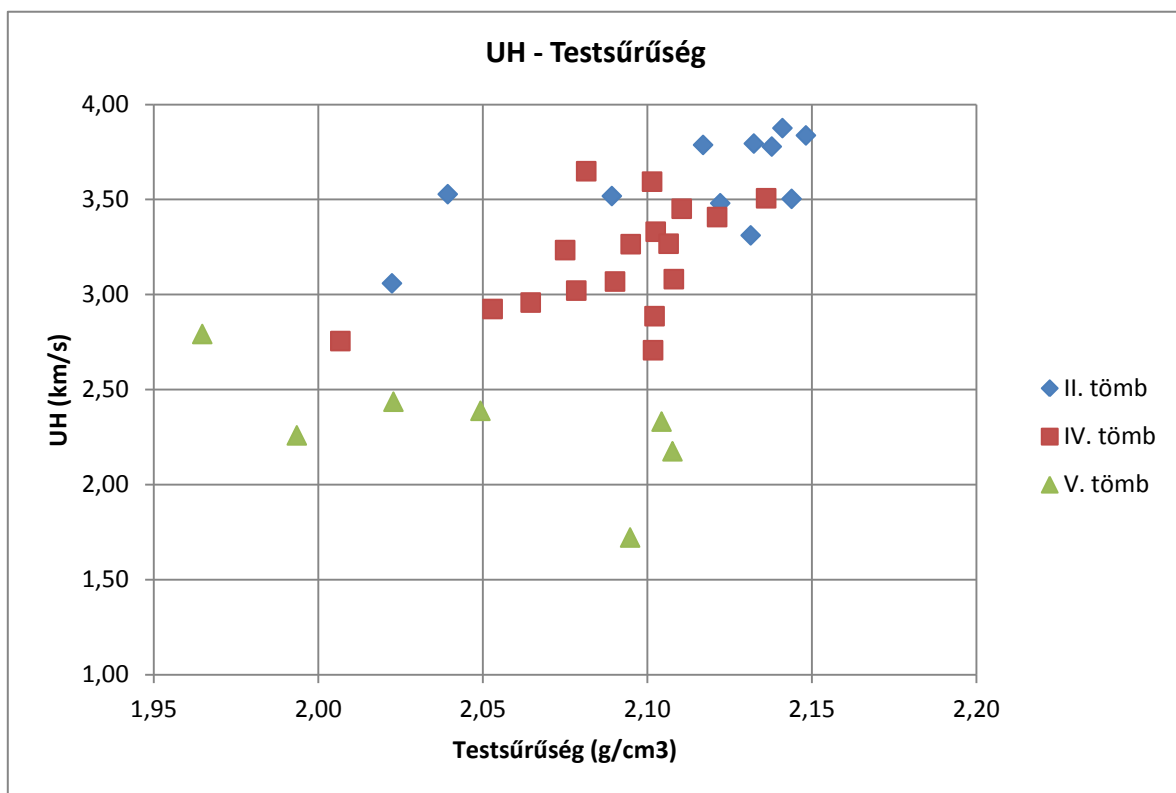
11 Kapott eredmények és értékelésük

11.1. Roncsolásmentes vizsgálatok eredményei

Minden vizsgálat előtt, a lehetőségekhez képest, elvégeztük a roncsolásmentes méréseket: sűrűség és ultrahang-terjedési sebesség meghatározását. Ezek eredményeit az 1. mellékletben foglaltuk össze.

A sűrűség és az ultrahang-terjedési sebesség között egyértelmű korrelációt nem észleltünk (24. ábra). A különböző tömbök mérései eredményeit együtt ábrázolva azt kaptuk, hogy az ultrahang-terjedési sebesség 1,72-3,88 km/s között változott. A mérések átlaga 3,15 km/s volt, 0,53 km/s-os szórással.

A sűrűség értékei kisebb változatosságot mutattak: 1,75-2,19 g/cm³ között változó eredmények átlaga 2,04 g/cm volt (szórása: 0,09 g/cm³).



24. ábra – Ultrahang terjedési sebesség és testsűrűség kapcsolata

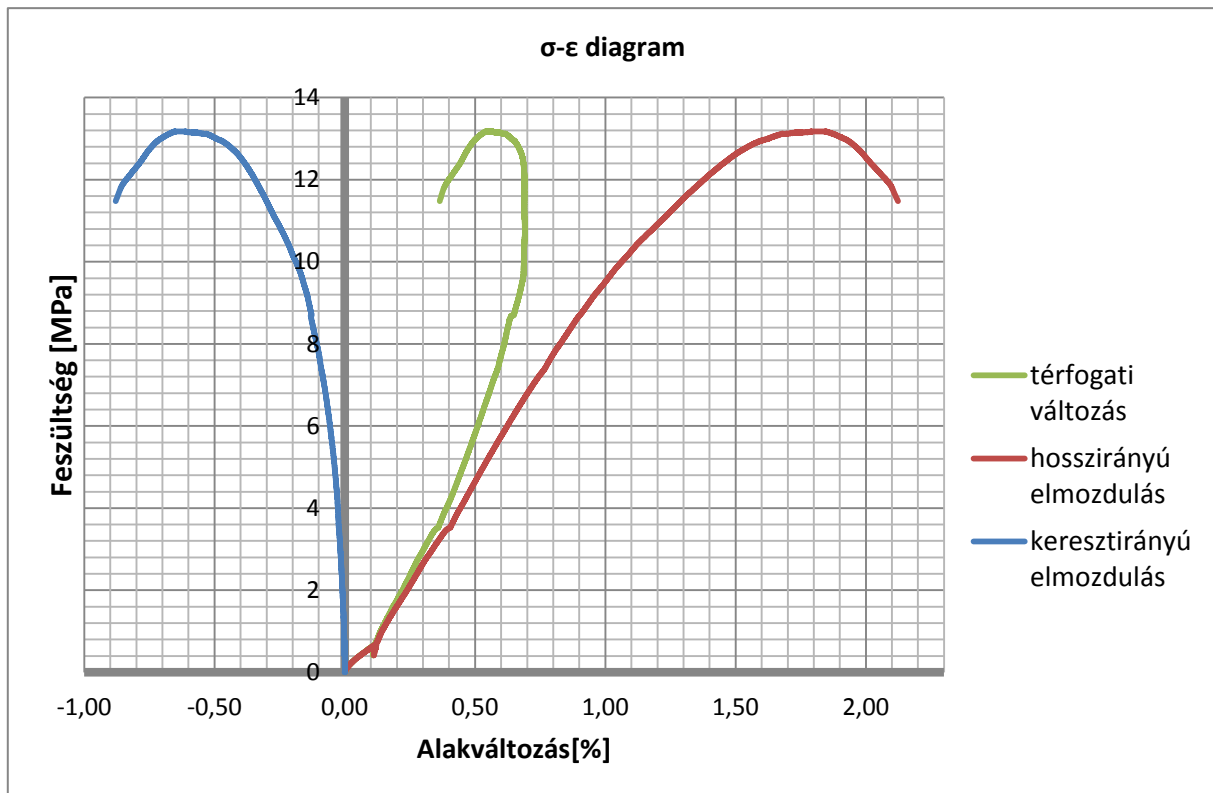
11.2. Roncsolásos vizsgálatok eredményei

A roncsolásos vizsgálatok közül először az egyirányú nyomószilárdsági vizsgálatokat értékeljük, a mért eredményeket a fentebb bemutatott módszerrel elemezzük.

Célunk az volt, hogy minél több próbatestet alakítsunk ki, de a rendelkezésre álló tömbökből 15 egyirányú nyomószilárdságra alkalmas próbatest kialakítására volt csak lehetőségünk. A méréseket mérés technikai okokból nem minden esetben lehetett teljes körűen kiértékelni, de a kapott eredmények alapján tendenciák, a kő viselkedésének legfontosabb paraméterei meghatározhatóak voltak.

A mérési eredményeket, a kapott diagramokat a 4. mellékletben mutatjuk be.

Először minden esetben a feszültség-alakváltozási ábrákat határoztuk meg: a feszültség-axiális, feszültség- laterális alakváltozás valamint a feszültség-térfogati változás diagramokat. A kősóra jellemző diagram az alábbi volt (25. ábra):



25. ábra – Feszültség-axiális alakváltozás, feszültség-laterális alakváltozás, feszültség-térfogati változás diagram

A kapott eredmények azt mutatták, hogy a klasszikus közetmechanikai elméletektől kismértékben eltérő eredményeket észleltünk:

- nem, vagy nem jelentős a mikro-repedés záródási szakasz.
- a mikro-repedés terjedés instabil határa nem egyértelmű: nem egy határozott feszültség, hanem egy feszültség-tartomány rendelhető a térfogati változás szélsőértékéhez.

A leolvasott feszültség-értékek a 2. táblázatban foglaltuk össze (*-al jelöltük azokat a mérési hibás eredményeket, ahol az egyik mérőműszer meghibásodása miatt nem kaptunk megbízható eredményt).

Megállapítható, hogy a stabil repedés terjedés és az instabil repedés terjedés tartománya között 1-3 MPa különbség olvasható le. A 10. pontban ismertetett 21.-es ábrán látható, hogy $\sigma_{cd} = 80\% \sigma_f$. Méréseink eredményéből látható, hogy sóközetek esetén átlagosan az instabil repedésterjedés 87,6 %-a az stabil repedésterjedéshez tartozó feszültség.

A 10.3. fejezet részben ismertetett módon viszonyszámot állíthatunk fel a rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság között. Az 1. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a sóközet kis modulus viszonyszámmal rendelkezik, ugyanis az $MR = E/\sigma_c < 200$. A viszonyszámokat a 3. táblázatban tüntettük fel.

2. táblázat – Tönkremeneteli határok

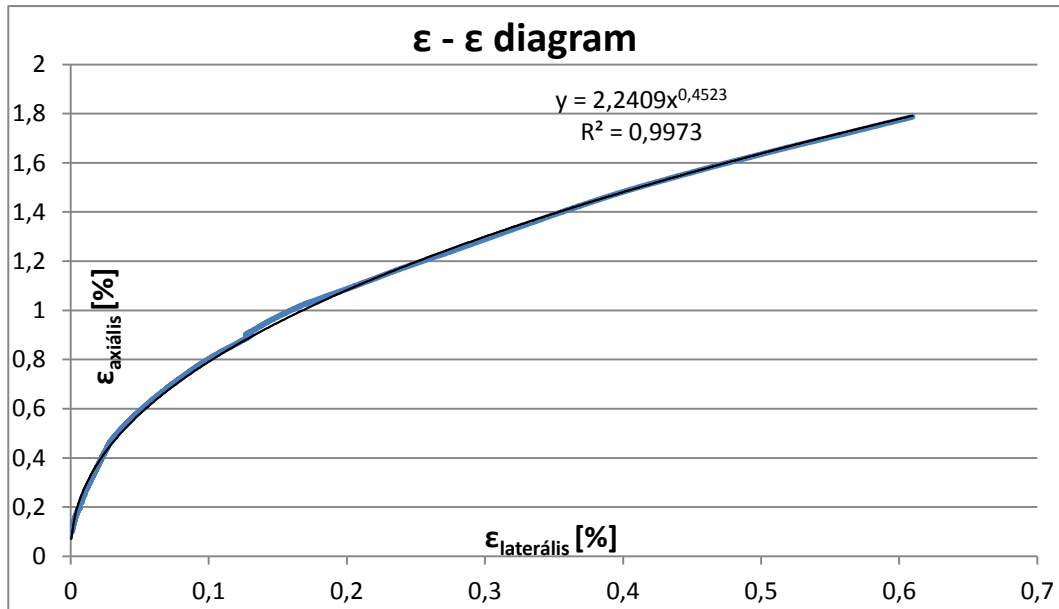
Minta jele	Stabil repedés- terjedés [MPa]	Instabil repedés- terjedés [MPa]	$\frac{\sigma_f}{\sigma_{cd}}$ [%]
2	10,8	13,2	81,8
5	11,6	14,7	78,9
6	11,8	14,8	79,7
8	6,4*	15,2	-
9	16,7	18,8	88,8
13	-	19,1	-
14	11,2	13,5	82,9
15	20,5	20,9	98,1
18	18,8	19,7	95,4
19	6*	15,5	-
20	-	18,7	-
21	20,0	20,5	97,6
25	-	21,0	-
28	12,0	14,1	85,1
54	-	16,3	-
Átlag			87,6

3. táblázat – Egyirányú nyomóvizsgálatok eredményei

Minta jele	Törőfeszültség [MPa]	Rugalmassági modulus [GPa]	MR érték
2	12,68	1,02	80,44
5	13,63	1,20	88,04
6	13,70	0,85	62,04
8	14,11	0,90	63,78
9	17,29	1,09	63,04
13	17,16	0,71	41,38
14	12,54	0,62	49,44
15	18,92	0,75	39,64
18	17,40	0,69	39,66
19	13,83	0,63	45,55
20	17,51	0,85	48,54
21	18,96	0,91	48,00
25	18,26	0,69	37,79
28	12,88	0,57	44,25
54	15,24	0,63	41,34
Átlag	15,61	0,807	52,86
Szórás:	2,388	0,188	15,4

Külön elemeztük az axiális és laterális elmozdulások közötti kapcsolatot is. Sajnos a keresztirányú elmozdulás mérése nem minden esetben sikerült megbízhatóan, de a kapott eredmények alapján egyértelmű összefüggés adható meg az axiális és a laterális alakváltozás között (ld. 26. ábra):

$$\varepsilon_{axiális} = a * \varepsilon_{laterális}^b \quad (15)$$



26. ábra – Laterális-axiális deformáció diagram

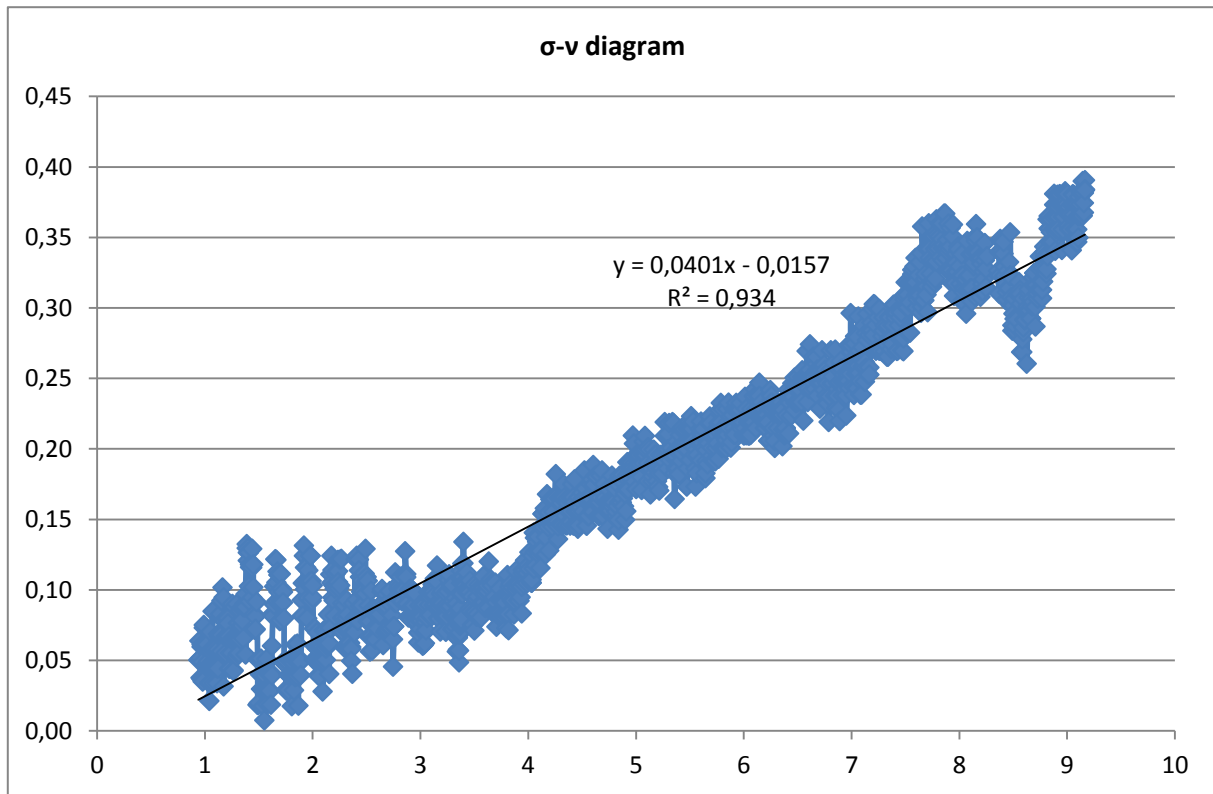
A mérések eredményei alapján kapott együtthatókat az alábbi 4. táblázatban foglaltuk össze:

4. táblázat – Keresztirányú és hosszirányú deformáció kapcsolatát jellemző együtthatók

Minta jele	a	b
2	2,241	0,452
5	2,265	0,762
6	2,734	0,954
8	2,227	0,894
9	2,516	0,530
13	5,321	0,828
14	4,856	0,637
15	5,300	0,698
18	2,788	0,909
19	1,926	0,893
21	3,165	0,216
25	7,848	0,710
28	7,505	0,618
Átlag	3,899	0,700
Szórás	2,054	0,211

Ezen kívül vizsgáltuk még a Poisson tényező változását nyomófeszültség függvényében. Minden mérésnél azt tapasztaltuk, hogy annak ellenére, hogy a Poisson

tényező konstans kellene legyen, a nyomófeszültség növekedésével értéke folyamatosan (lineárisan) növekszik. Egyik jellemző ábra az alábbi (27. ábra):



27. ábra – Nyomófeszültség – Poisson tényező kapcsolata

A kapott $\nu = c \cdot \sigma - d$ összefüggés állandói a méréseink alapján az alábbiak voltak (5. táblázat, *-al jelöltük azokat a mérési hibás eredményeket, ahol az egyik mérőműszer meghibásodása miatt nem pontos eredményt kaptunk):

5. táblázat – Feszültség és Poisson tényező kapcsolatában fennálló együtthatók

Minta jele	c	d
2	0,040	0,016
5	0,038	0,001
6*	0,018	0,208
8*	0,04	0,167
13	0,013	0,061
14*	0,029	0,007
15	0,018	0,006
18*	0,016	0,220
19	0,029	0,361
20*	0,011	0,030
21*	0,022	0,118
25	0,011	0,006
28*	0,071	0,278
Átlag	0,027	0,114
Szórás	0,0169	0,122

A kapott szórási értékek alapján megállapítható, hogy jelen mérési eredmények ismeretében csak a jelenség mutatható be, de pontos értéke, mechanizmusa még nem megmagyarázható.

11.3. Húzószilárdság mérési eredmények

A mérési eredményeket a 2. mellékletben tüntettük fel. A laboratóriumi mérések során kapott eredmények alapján a vizsgált sókőzet átlagos húzószilárdsági értéke 1,31 MPa. Az egyirányú nyomószilárdság átlagos értéke 15,56 MPa. A 9.6.-os fejezetben ismertetett (9) képlet alapján a sókőzet Brinke-száma:

$$\frac{15,56}{1,31} = 11,88$$

Tehát közelítőleg azt az eredményt kaptuk, hogy a húzószilárdság a nyomószilárdság 1/10-e körüli érték.

11.4. Pontszilárdság mérési eredmények

A mérési eredményeket a 2. és a 3. mellékletben tüntettük fel. A laboratóriumi mérések során kapott eredmények alapján a vizsgált sókőzet átlagos pontszilárdsági értéke 0,70 MPa. Az egyirányú nyomószilárdság átlagos értéke 15,56 MPa. A 9.7.-es fejezetben ismertetett (12) képlet alapján

$$15,56 = a * 0,70$$

a konstans értéke meghatározható, eredményül 22,23-at kaptunk. Ez az érték megfelel a 20-25 közötti tapasztalati határnak.

12 Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani belső konzulenseinknek, Dr. Vásárhelyi Balázsnak és Dr. Török Ákosnak, akik végig türelemmel és segítőkészen kísérték dolgozatunk alakulását. Hálásak vagyunk, hogy a sokszor egyértelműnek tűnő kérdéseinket is gondos átbeszélésekkel tisztáztuk. Köszönjük a tanácsaikat, kritikáikat.

Köszönet illeti külső konzulensünket, Dr. Unger Zoltánt, aki nélkül ez a dolgozat nem íródhatott volna meg. Szakmai hozzáértése, tapasztalata és készséges együttműködése nagy segítséget és biztos támaszt nyújtott.

A laborvizsgálatok előkészítésében, a mérések végrehajtásában a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék Kőzetfizikai Laboratóriumának munkatársai, elsősorban Pálinkás Bálint, voltak végig segítségünkre, amit ezúton szeretnénk megköszönni nekik.

Szeretnénk továbbá megköszönni Czinder Balázsnak, a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékének doktoranduszának, hogy a laboratóriumi mérések során segítette munkánkat.

13 Irodalomjegyzék

- [1] Fodor F.: Erdély földrajza
- [2] Gábris Gy.: Európa regionális földrajza
- [3] Horváth I.: Parajdi-medence földtana
- [4] Csontos L: Szerkezeti földtan, jegyzet, ELTE,
- [5] Sófalvi András: A sóvidéki sóbányászat kritikai története a kezdetektől 1562-ig
- [6] Gálos M.; Vásárhelyi B.: Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban, 2006. Műegyetemi kiadó, p. 144.
- [7] Gálos M.; Kürti I.: Építési kőanyagok egyirányú nyomószilárdságának minősítő jellege. *Építőanyag*, 1986, **38**: 268-275.
- [8] Brook N.: The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.* 1985, **22**: 61-70.
- [9] Martin C.D.: The strength of massive Lac du Bonnet granite around underground opening. Ph.D. thesis, 1993, p 278.
- [10] Deák F.; Kovács L.; Vásárhelyi B.: A töréses tönkremenetel keletkezésének és fejlődésének azonosítása rideg kőzetek laboratóriumi mérése során, 2013.
- [11] Deere D.U.: Geological considerations. *Proc.: Rock mechanics in engineering practice.* 1969. (eds: Stagg K.G. & Zienkiewicz O.C.), 1-20.

14 Internetes forrás

- www1. <http://csavargo.mindenkilapja.hu/html/19080433/render/erdely-foldrajza>
- www2. <http://www.siklod.hu/index.php?page=190>
- www3. <http://www.salinapraid.ro/geologia>
- www4. <http://www.szovata.ro/muzeum/hun002/hun7/geolo.htm>
- www5. <http://www.prosal.ro/index.php/A-Parajdi-medence-es-a-Soszoros-foldtana/>
- www6. <https://hu.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1trium-klorid>
- www7. <http://www.mbfh.hu>
- www8. <http://www.old.salinapraid.ro/a-parajdi-sobanya-titkai>
- www9. <http://szabadonebredok.info/a-parajdi-so-avagy-a-szekely-so-tortenete/>
- www10. <https://photosynth.net/view.aspx?cid=3d268d98-3394-4d8c-91ff-d4e127168413>

15 Ábrajegyzék

1. ábra – Erdély domborzati tájegységei	5
2. ábra – Székelyföld, lila körrel jelölve: Sóvidék	6
3. ábra - Sópát sziklái	6
4. ábra – Sódóмок felszínre törése az Erdélyi-medence területén	9
5. ábra – Sósoros átnézeti térképe	11
6. ábra – Parajdi sóbánya turisztikai központja, a padozaton látható a só rétegek gyűrődése .	15
7. ábra – Parajdi sóbánya hatalmas belmagassággal	15
8. ábra – Sótömzsök formái.....	17
9. ábra – Sótömzsök megjelenési formái	18
10. ábra – Parajdi sóbánya sógyűrődése.....	19
11. ábra – Parajdi sóbánya	20
12. ábra – Parajdi bányában játszva gyógyul az ember.....	21
13. ábra – Fúrás közben szétrepedt tömb (V. tömb)	24
14. ábra – Rétegek mentén széttört próbatestek (III. tömb).....	25
15. ábra – A fúrólukban látható fehér-szürke rétegek váltakozása	25
16. ábra – Egyirányú nyomószilárdság mérése	26
17. ábra – Húzószilárdság mérése	28
18. ábra – Pontszilárdság mérése	29
19. ábra – Pontterhelés az átmérő irányában.....	29
20. ábra – Pontterhelés a tengely irányában	29
21. ábra – Rideg anyagok károsodásának összefoglalása Martin és Chandler (1993) szerint	31
22. ábra – Tönkremenetel észlelése alakváltozás mérések felhasználásával	33
23. ábra - Besorolás az egyirányú nyomószilárdság és a rugalmassági modulus aránya alapján különböző közecsoportok esetén. H: magas, M: közepes, L: alacsony viszonyszám.....	34
24. ábra – Ultrahang terjedési sebesség és testsűrűség kapcsolata.....	35
25. ábra – Feszültség-axiális alakváltozás, feszültség-laterális alakváltozás, feszültség-térfogati változás diagram	36
26. ábra – Laterális-axiális deformáció diagram	38
27. ábra – Nyomófeszültség – Poisson tényező kapcsolata	39

16 Táblázatjegyzék

1. táblázat - A rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság hányadosa alapján való osztályozás (Deere, 1969).....	33
2. táblázat – Tönkremeneteli határok.....	37
3. táblázat – Egyirányú nyomóvizsgálatok eredményei.....	37
4. táblázat – Keresztirányú és hosszirányú deformáció kapcsolatát jellemző együtthatók.....	38
5. táblázat – Feszültség és Poisson tényező kapcsolatában fennálló együtthatók.....	39

17 Mellékletek

1. Melléklet

Mért sűrűség és ultrahang-terjedési értékek

Jel	Tömb	Tömeg	Átmérő		Magasság		Térfogat	ρ	Ultrahang terj.idő	Ultrahang terj.seb.
				Átlag		Átlag				
		[g]	[mm]		[mm]		[mm ³]	[t/m ³]	[s]	[km/s]
1	II.	176,92	37,93	37,97	72,30	72,87	82523,23	2,14	20,80	3,50
			37,87		72,98					
			38,12		73,32					
2	II.	201,30	38,24	37,95	84,19	83,87	94855,18	2,12	24,10	3,48
			37,55		83,67					
			38,05		83,76					
3	II.	190,50	37,75	37,70	79,56	79,43	88677,96	2,15	20,70	3,84
			37,89		79,48					
			37,47		79,24					
4	II.	176,35	37,93	37,86	73,77	73,51	82737,30	2,13	22,20	3,31
			38,19		73,45					
			37,45		73,30					
5	II.	152,00	37,83	37,73	63,92	63,74	71281,20	2,13	16,80	3,79
			37,67		63,62					
			37,70		63,69					
6	II.	151,09	38,11	38,03	63,58	63,68	72318,05	2,09	18,10	3,52
			37,97		63,80					
			38,00		63,65					
7	II.	176,72	38,09	38,09	72,47	72,54	82662,65	2,14	19,20	3,78
			37,99		72,50					
			38,19		72,66					
8	II.	158,41	37,99	37,92	66,16	66,27	74828,52	2,12	17,50	3,79
			37,81		66,26					
			37,95		66,39					
9	II.	142,35	38,12	38,03	58,71	58,52	66484,89	2,14	15,10	3,88
			38,00		58,22					
			37,98		58,63					
10	IV.	40,00		32,25	23,53	23,56	19245,30	2,08	7,80	3,02
					23,86					
					23,29					
11	IV.	52,76		31,80	31,55	32,01	25425,82	2,08	9,90	3,23
					32,26					
					32,23					
12	IV.	47,05		31,18	28,96	29,31	22377,34	2,10	8,80	3,33
					29,31					
					29,65					

13	IV.	83,47	31,51	31,36	51,66	51,58	39842,94	2,09	15,80	3,26
			31,26		51,51					
			31,31		51,58					
14	IV.	114,04	31,51	31,74	68,55	68,51	54195,90	2,10	-	-
			31,49		68,27					
			32,21		68,71					
15	IV.	95,24	31,68	31,68	57,37	57,30	45178,47	2,11	18,60	3,08
			31,75		57,13					
			31,62		57,41					
16	IV.	175,07	38,19	38,09	73,10	73,09	83296,35	2,10	27,00	2,71
			38,01		73,28					
			38,08		72,88					
17	IV.	47,33	38,59	38,38	20,42	20,39	23585,55	2,01	7,40	2,75
			38,44		20,39					
			38,11		20,35					
18	IV.	81,03	32,12	32,01	47,81	47,91	38544,88	2,10	16,60	2,89
			32,00		48,14					
			31,90		47,77					
19	IV.	79,39	30,98	31,11	50,57	50,58	38453,26	2,06	17,10	2,96
			31,20		50,71					
			31,16		50,45					
20	IV.	94,97	31,19	31,56	57,70	57,24	44771,03	2,12	16,80	3,41
			31,75		56,77					
			31,73		57,26					
21	IV.	115,14	32,00	31,77	68,94	68,94	54659,51	2,11	21,10	3,27
			31,78		69,10					
			31,54		68,77					
22	IV.	54,05	37,87	37,86	23,67	23,39	26327,21	2,05	8,00	2,92
			37,88		23,14					
			37,82		23,36					
23	IV.	43,95	31,78	31,86	25,77	26,23	20913,89	2,10	7,30	3,59
			31,77		26,88					
			32,03		26,05					
24	IV.	54,89	32,04	32,06	33,03	32,52	26260,46	2,09	10,60	3,07
			32,06		31,40					
			32,09		33,14					
25	IV.	116,78	31,54	31,91	68,25	68,37	54668,80	2,14	19,50	3,51
			31,88		68,59					
			32,30		68,28					
26	IV.	63,47	31,98	31,99	37,49	37,95	30493,09	2,08	10,40	3,65
			31,82		38,32					
			32,16		38,03					
27	IV.	54,92	31,36	31,46	33,64	33,48	26022,53	2,11	9,70	3,45
			31,57		33,46					
			31,45		33,33					

28	IV.	95,23	31,66	31,57	58,20	58,30	45636,00	2,09	-	-
			31,31		58,10					
			31,74		58,60					
29	IV.	33,98	31,96	32,14	20,87	21,40	17361,83	1,96	7,00	3,06
			32,16		21,60					
			32,30		21,73					
30	IV.	57,52	31,16	30,99	33,94	37,24	28091,93	2,05	-	-
			30,81		37,27					
			31,00		40,52					
31	IV.	75,91	31,40	30,98	54,58	48,17	36307,75	2,09	-	-
			30,55		49,32					
			30,99		40,60					
32	IV.	69,14	30,83	31,02	45,29	45,50	34396,16	2,01	11,90	3,82
			30,98		45,42					
			31,26		45,80					
33	IV.	32,90	30,96	31,11	24,26	20,56	15622,46	2,11	-	-
			30,90		20,63					
			31,46		16,78					
34	III.	51,26	37,99	37,80	22,86	22,03	24726,61	2,07	-	-
			37,42		22,43					
			38,00		20,80					
35	III.	47,00	38,07	37,91	17,71	21,07	23774,80	1,98	-	-
			37,71		22,22					
			37,94		23,27					
36	III.	84,31	38,20	38,14	42,32	36,08	41217,12	2,05	-	-
			38,19		34,59					
			38,03		31,32					
37	III.	37,64	32,13	32,11	23,90	23,17	18769,35	2,01	-	-
			32,16		24,64					
			32,05		20,98					
38	III.	36,66	38,18	37,81	18,60	18,63	20917,80	1,75	-	-
			37,60		19,78					
			37,65		17,51					
39	III.	52,19	32,39	32,24	31,44	32,24	26316,62	1,98	-	-
			32,12		33,30					
			32,20		31,99					
40	III.	48,64	38,05	37,88	28,01	22,11	24916,53	1,95	-	-
			37,71		22,21					
			37,87		16,12					
41	III.	93,60	38,03	37,97	42,43	40,17	45493,48	2,06	-	-
			37,79		41,22					
			38,10		36,86					
42	III.	36,40	38,57	38,24	20,32	16,04	18421,10	1,98	-	-
			38,07		11,01					
			38,09		16,78					

43	III.	34,91	37,33	37,66	16,08	17,58	19582,80	1,78	-	-
			37,88		16,99					
			37,76		19,68					
44	V.	30,28	37,92	37,96	15,65	13,56	15339,77	1,97	-	-
			38,07		13,80					
			37,88		11,22					
45	V.	66,07	38,10	38,09	29,45	28,75	32758,50	2,02	-	-
			38,16		27,27					
			38,00		29,54					
46	V.	67,65	38,34	38,14	30,11	29,27	33442,63	2,02	17,00	1,72
			37,95		29,99					
			38,14		27,70					
47	V.	56,02	38,15	38,09	26,33	25,36	28902,61	1,94	-	-
			38,20		23,78					
			37,93		25,97					
48	V.	28,11	37,44	37,45	13,41	12,18	13418,94	2,09	5,00	2,44
			37,50		9,88					
			37,42		13,25					
49	V.	32,73	38,12	38,17	10,79	15,17	17365,65	1,88	-	-
			38,14		16,44					
			38,26		18,29					
50	V.	43,90	38,08	38,26	19,54	20,29	23330,99	1,88	-	-
			38,10		21,20					
			38,60		20,14					
51	V.	92,89	37,50	37,48	41,69	41,08	45327,47	2,05	17,20	2,39
			37,37		40,80					
			37,58		40,74					
52	V.	75,56	38,32	38,08	36,21	33,82	38514,49	1,96	-	-
			37,97		34,34					
			37,94		30,92					
53	V.	38,73	37,61	37,48	17,43	17,87	19712,26	1,96	6,40	2,79
			37,48		18,66					
			37,34		17,52					
54	V.	159,73	37,87	37,71	67,85	67,87	75784,90	2,11	31,20	2,18
			37,68		67,57					
			37,57		68,18					
55	V.	168,34	37,38	37,48	72,85	72,51	79995,76	2,10	31,10	2,33
			37,66		72,20					
			37,40		72,47					
56	V.	40,32	37,99	38,40	19,84	18,17	21039,12	1,92	-	-
			38,52		16,49					
			38,69		18,17					
57	V.	95,45	38,18	38,13	39,46	41,44	47319,84	2,02	-	-
			37,92		41,68					
			38,29		43,18					

58	V.	34,93	37,98	38,16	17,53	14,71	16819,80	2,08	-	-
			38,27		14,99					
			38,23		11,60					
59	V.	117,07	37,98	38,04	48,81	49,95	56762,20	2,06	-	-
			38,20		49,96					
			37,93		51,09					
60	V.	55,02	31,66	31,39	36,13	36,11	27936,22	1,97	-	-
			30,96		37,82					
			31,54		34,37					
61	V.	55,95	37,55	37,75	25,59	23,97	26824,49	2,09	-	-
			37,98		20,90					
			37,72		25,41					
62	V.	54,98	37,89	37,42	24,42	25,07	27579,53	1,99	11,10	2,26
			37,13		24,80					
			37,25		26,00					
63	V.	57,61	31,31	31,60	34,78	37,41	29345,63	1,96	-	-
			32,08		41,35					
			31,42		36,10					
64	V.	23,82	38,10	38,11	10,40	10,98	12530,77	1,90	-	-
			38,17		10,10					
			38,07		12,45					
65	V.	30,19	31,76	31,85	13,30	18,35	14622,57	2,06	-	-
			32,01		21,23					
			31,78		20,53					
66	V.	31,96	32,27	32,39	21,01	17,74	14614,23	2,19	-	-
			32,35		18,07					
			32,54		14,14					
67	V.	57,13	38,00	38,05	22,49	26,22	29811,01	1,92	-	-
			38,10		25,32					
			38,05		30,84					
68	V.	50,13	31,40	31,73	32,81	32,89	26004,39	1,93	-	-
			31,74		33,94					
			32,04		31,93					
69	II.	54,81	38,42	38,34	23,17	23,28	26875,94	2,04	6,60	3,53
			38,50		22,97					
			38,09		23,71					
70	II.	30,08	38,08	38,09	9,49	12,36	14081,67	2,14	-	-
			38,01		12,80					
			38,17		14,79					
71	II.	34,79	37,44	37,47	13,77	15,60	17202,12	2,02	5,10	3,06
			37,66		15,95					
			37,31		17,08					

2. Melléklet

Mintákon végzett mérések, szilárdsági eredmények

Jel	Tömb	Vizsgálat	Arány	Törőerő	Pontszil.	Törőerő	Húzószil.	Egyir.nyomószil.
		-		[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[MPa]
1	II.	T	1,92					
2	II.	Ny	2,21					12,68
3	II.	T	2,11					
4	II.	T	1,94					
5	II.	Ny	1,69					13,63
6	II.	Ny	1,67					13,70
7	II.	T	1,90					
8	II.	Ny	1,75					
9	II.	Ny	1,54					
10	IV.	H	0,73			3,05	2,555	
11	IV.	H	1,01			2,53	1,582	
12	IV.	H	0,94			1,56	1,087	

13	IV.	Ny	1,64					17,16
14	IV.	Ny	2,16					12,54
15	IV.	Ny	1,81					18,92
16	IV.	T	1,92					
17	IV.	P	0,53	0,26	0,228			
18	IV.	Ny	1,50					17,40
19	IV.	Ny	1,63					13,83
20	IV.	Ny	1,81					17,10
21	IV.	Ny	2,17					18,96
22	IV.	H	0,62			0,91	0,654	
23	IV.	H	0,82			1,24	0,945	
24	IV.	H	1,01			1,90	1,160	
25	IV.	Ny	2,14					18,26
26	IV.	H	1,19			1,70	0,892	
27	IV.	H	1,06			1,80	1,088	

28	IV.	Ny	1,85					12,88
29	IV.	H	0,67			0,86	0,796	
30	IV.	H	1,20			2,06	1,136	
31	IV.	H	1,55			6,50	2,773	
32	IV.	H	1,47			3,25	1,466	
33	IV.	P	0,66	0,40	0,521			
34	III.	H	0,58			1,49	1,139	
35	III.	P	0,56	0,85	0,755			
36	III.	H	0,95			3,11	1,439	
37	III.	H	0,72			1,31	1,121	
38	III.	P	0,49	0,48	0,428			
39	III.	H	1,00			2,50	1,531	
40	III.	P	0,58	0,32	0,288			
41	III.	H	1,06			3,99	1,665	
42	III.	P	0,42	0,86	0,752			

43	III.	P	0,47	-	-			
44	V.	P	0,36	0,62	0,548			
45	V.	H	0,75			1,58	0,918	
46	V.	H	0,77			2,08	1,186	
47	V.	H	0,67			2,38	1,568	
48	V.	P	0,33	0,56	0,512			
49	V.	P	0,40	0,73	0,640			
50	V.	P	0,53	0,54	0,470			
51	V.	H	1,10			3,33	1,377	
52	V.	H	0,89			2,33	1,152	
53	V.	P	0,48	0,97	0,881			
54	V.	Ny	1,80					15,24
55	V.	T	1,93					
56	V.	P	0,47	0,64	0,549			
57	V.	H	1,09			3,97	1,599	

58	V.	P	0,39	0,97	0,850			
59	V.	-	1,31					
60	V.	H	1,15			3,23	1,814	
61	V.	P	0,63	0,70	0,622			
62	V.	H	0,67			1,30	0,882	
63	V.	H	1,18			2,80	1,508	
64	V.	P	0,29	0,73	0,640			
65	V.	P	0,58	0,68	0,858			
66	V.	P	0,55	0,86	1,049			
67	V.	H	0,69			1,44	0,919	
68	V.	P	1,04	1,15	1,457			
69	II.	H	0,61			1,19	0,849	
70	II.	P	0,32	0,26	0,232			
71	II.	P	0,42	0,13	0,120			

3. Melléklet

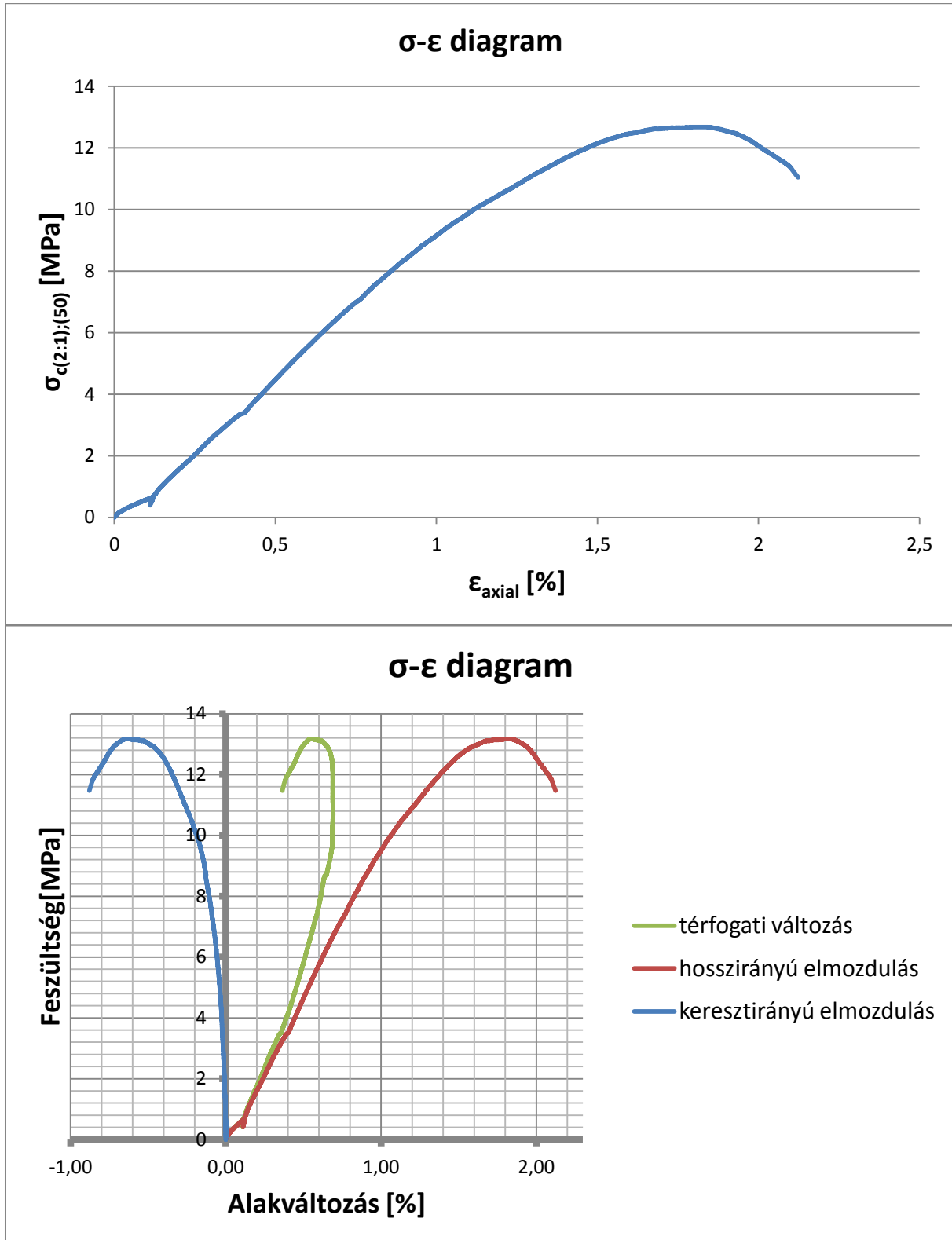
További pontszilárdsági értékek

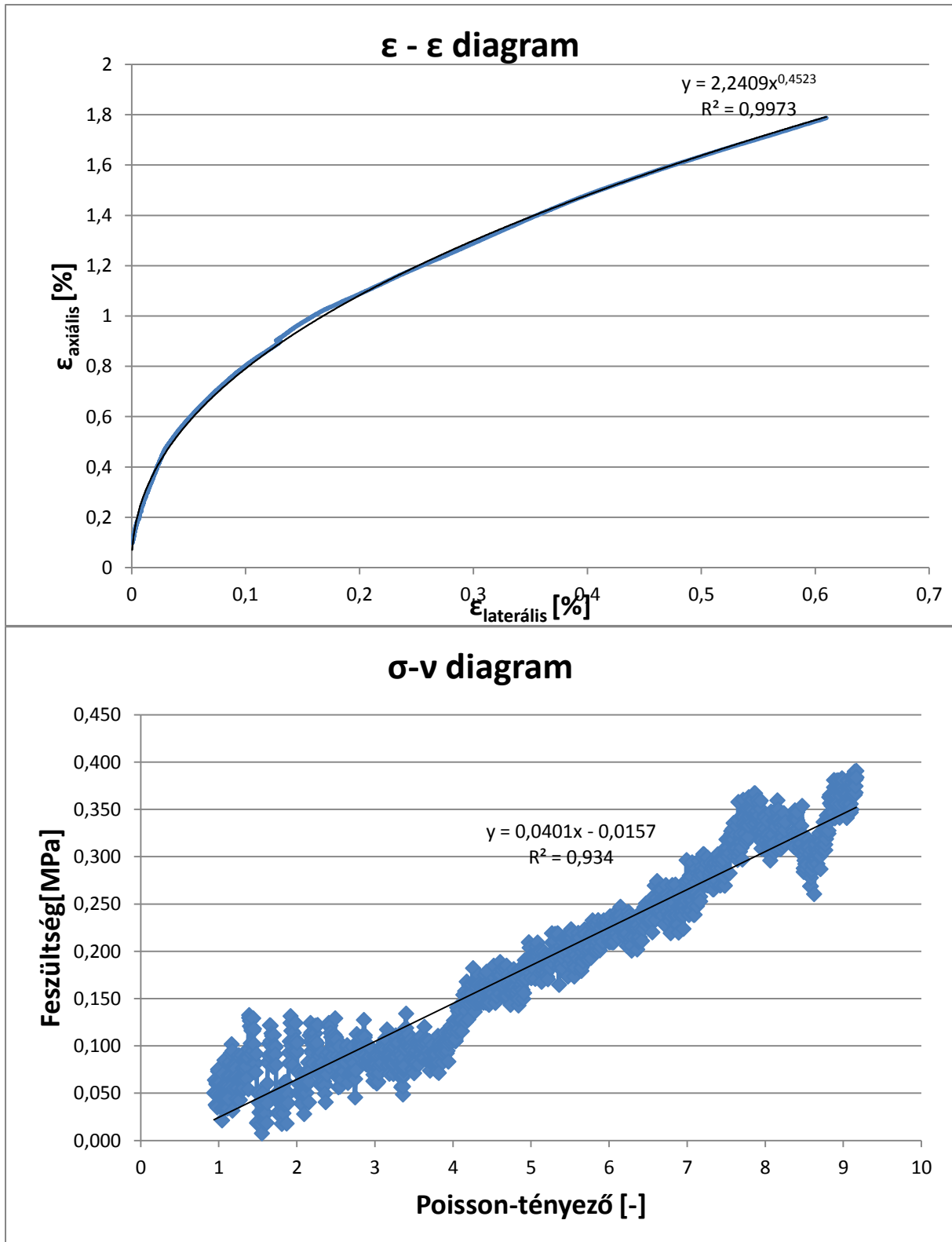
Jel	Tömb	Szélesség	Átlag szélesség	Magasság	Erő	Pontszil.
		[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
72	II.	34,93	36,58	20,24	-	
		38,22				
73	II.	34,21	35,67	13,49	0,19	0,310
		37,13				
74	II.	24,67	29,90	10,37	0,168	0,426
		35,13				
75	II.	28,87	33,80	11,77	0,12	0,237
		38,73				
76	II.	35,1	36,66	20,14	0,66	0,702
		38,22				
77	II.	34,45	36,60	13,95	0,54	0,831
		38,74				
78	II.	30,76	34,67	19,62	0,408	0,471
		38,57				
79	III.	32,07	35,28	11,98	0,156	0,290
		38,49				
80	III.	38,64	36,97	9,69	0,408	0,894
		35,3				
81	III.	31,8	29,77	20,53	0,9	1,157
		27,74				
82	III.	31	31,23	13,73	0,516	0,945
		31,45				
83	III.	37,99	37,99	9,7	0,432	0,381
84	IV.	29,49	28,40	13,22	0,252	0,527
		27,3				
85	IV.	31,9	31,90	25,94	0,708	0,886
86	IV.	25,45	28,08	14,64	0,504	0,963
		30,71				
87	IV.	31,91	31,42	11,14	0,24	0,539
		30,93				
88	IV.	31,75	31,75	11,71	0,192	0,243
89	IV.	21,33	19,64	12,41	0,636	2,049
		30,21				
		7,38				
90	IV.	23,72	27,77	7,87	0,132	0,474
		31,81				
91	IV.	31,19	30,05	9,46	0,336	0,928
		28,9				

Jel	Tömb	Szélesség	Átlag szélesség	Magasság	Erő	Pontszil.
		[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
92	IV.	32,18	32,00	7,42	0,192	0,635
		31,81				
93	IV.	25,37	28,60	9,65	0,228	0,649
		31,82				
94	IV.	30,06	31,43	15,93	-	
		32,8				
95	IV.	38,27	38,27	8,11	0,396	0,344
96	IV.	31,78	31,78	13,37	0,336	0,424
97	IV.	30,08	31,38	9,31	-	
		32,68				
98	IV.	31,77	31,77	8,48	0,312	0,394
99	V.	29,88	31,07	10,63	0,42	0,999
		32,26				
100	V.	31,06	31,14	15,74	0,84	1,346
		31,22				
101	V.	37,04	37,04	25,78	1,14	1,058
102	V.	38,23	36,82	10,81	0,624	1,231
		35,4				
103	V.	29,44	28,49	7,49	0,552	2,032
		27,54				
104	V.	38,29	33,89	7,49	0,42	1,300
		29,48				
105	V.	37,41	37,11	6,9	0,444	1,362
		36,8				
106	V.	38,05	38,05	15,41	0,778	0,684
107	V.	31,02	31,02	15,21	0,672	0,889
108	V.	30,92	30,92	20,6	0,42	0,559
109	V.	31,51	31,27	24,22	0,636	0,660
		31,02				
110	V.	31,52	31,52	12,28	0,504	0,646
111	V.	30,57	30,57	18,7	0,504	0,687

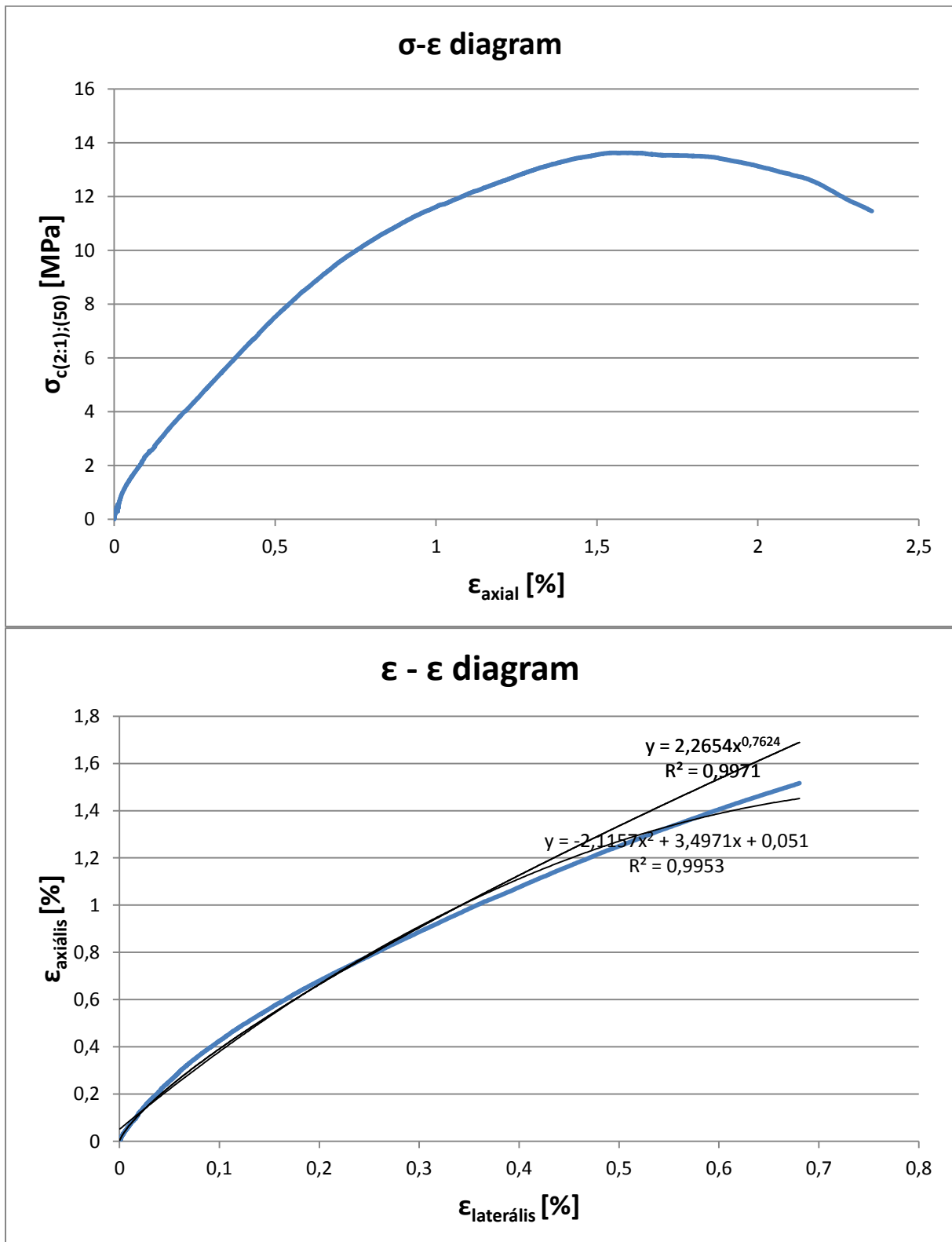
4. Melléklet

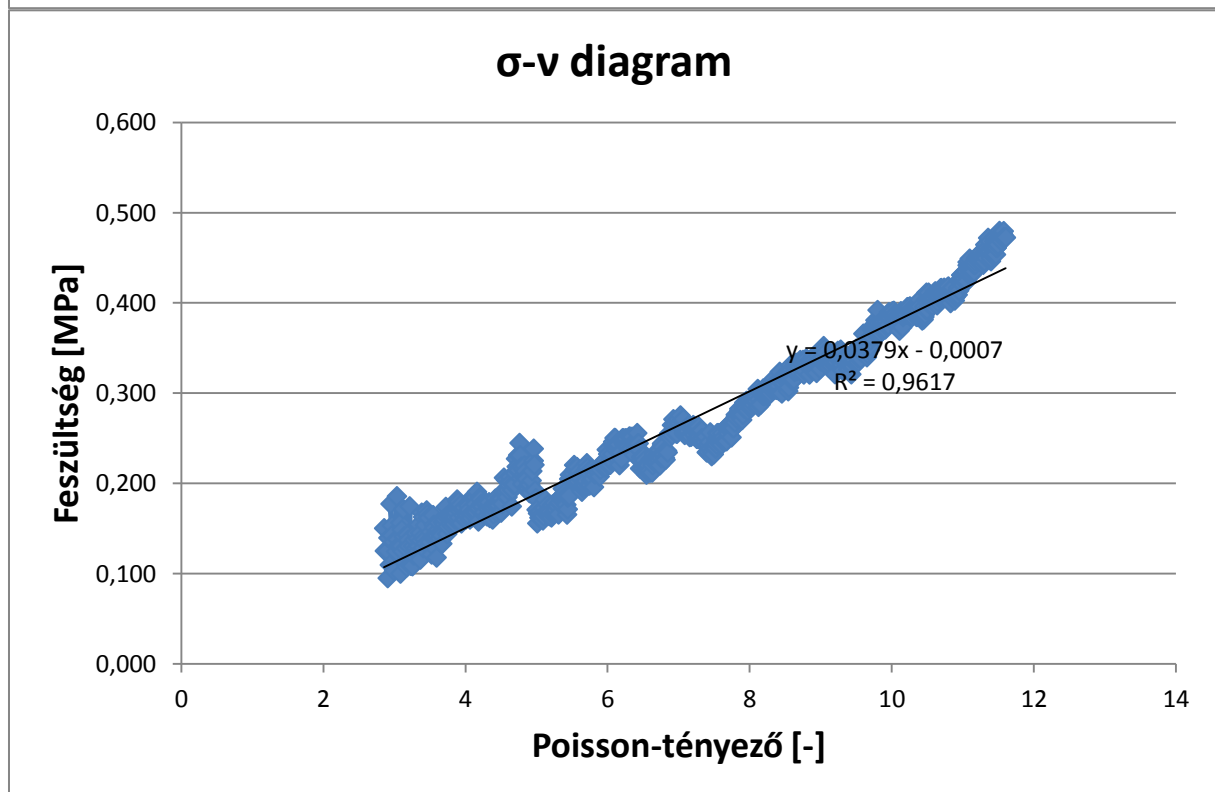
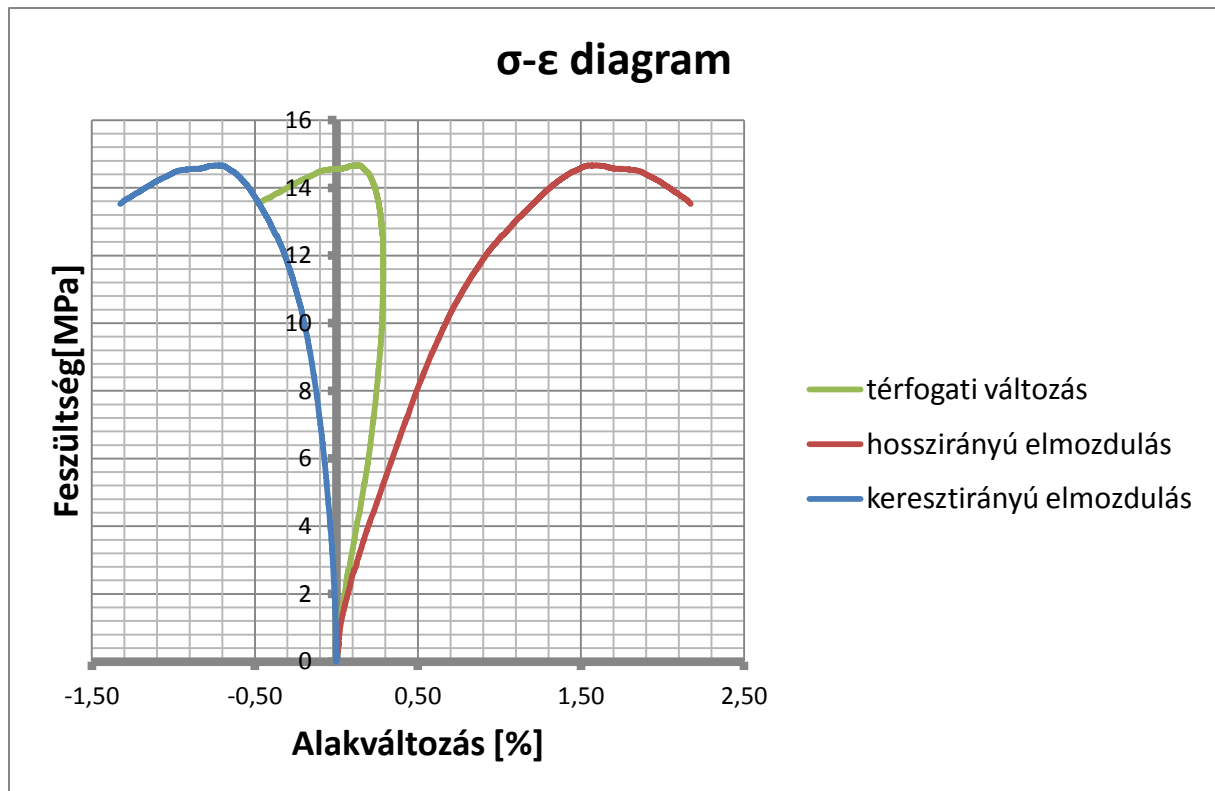
1.1. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok 2. számú próbatest vizsgálati eredményei



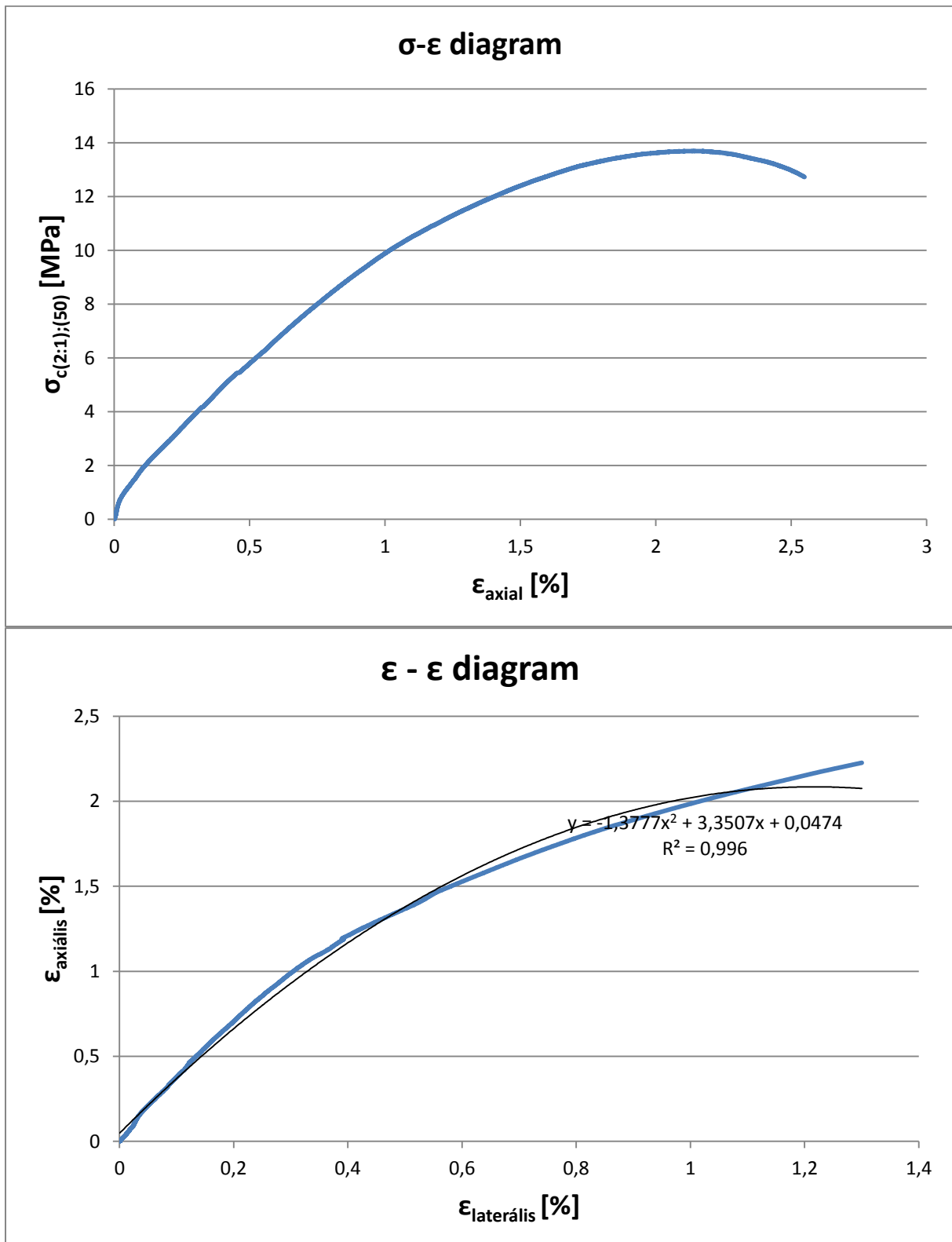


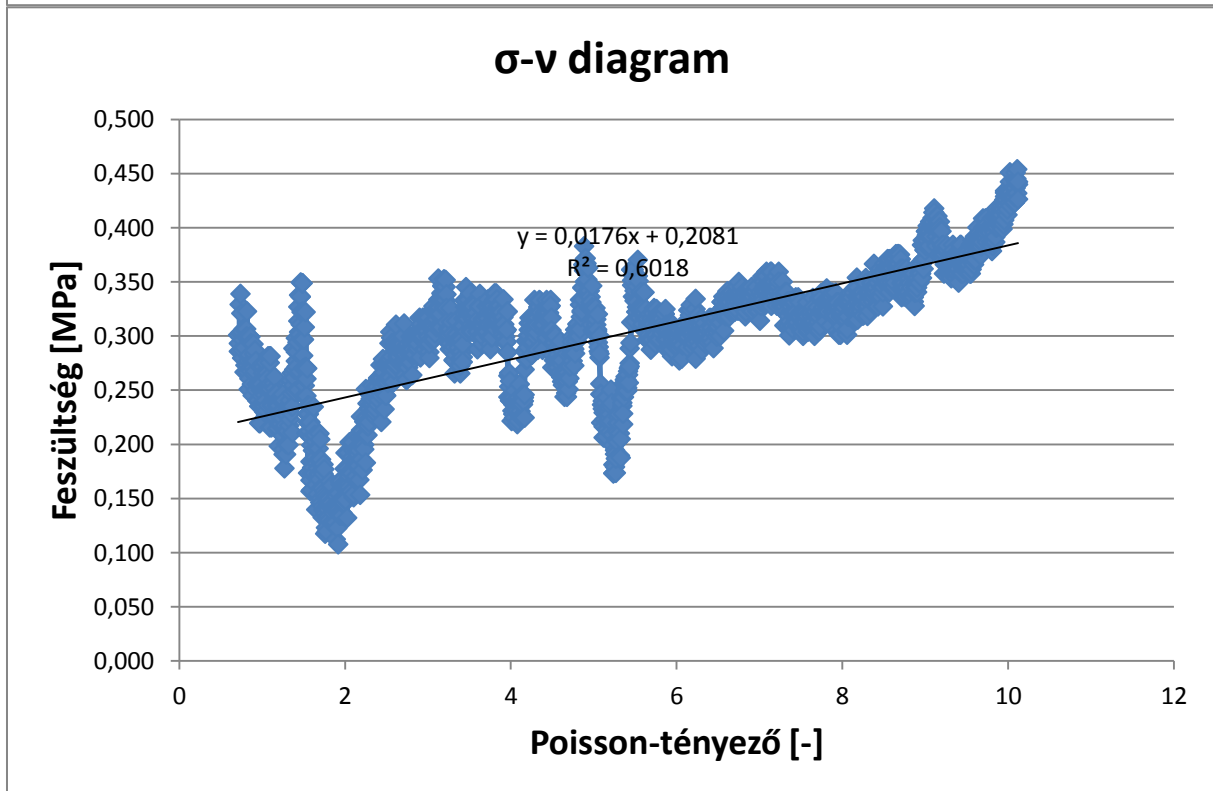
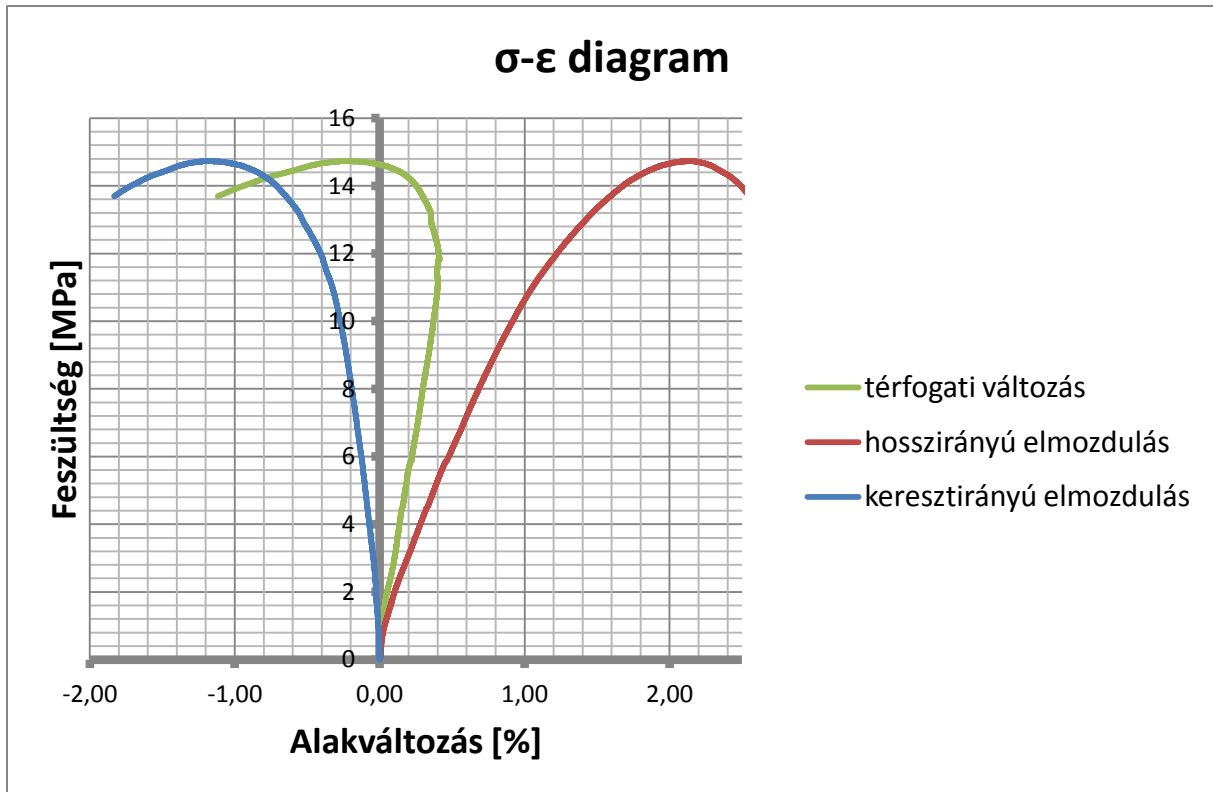
1.2. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
5. számú próbatest vizsgálati eredményei



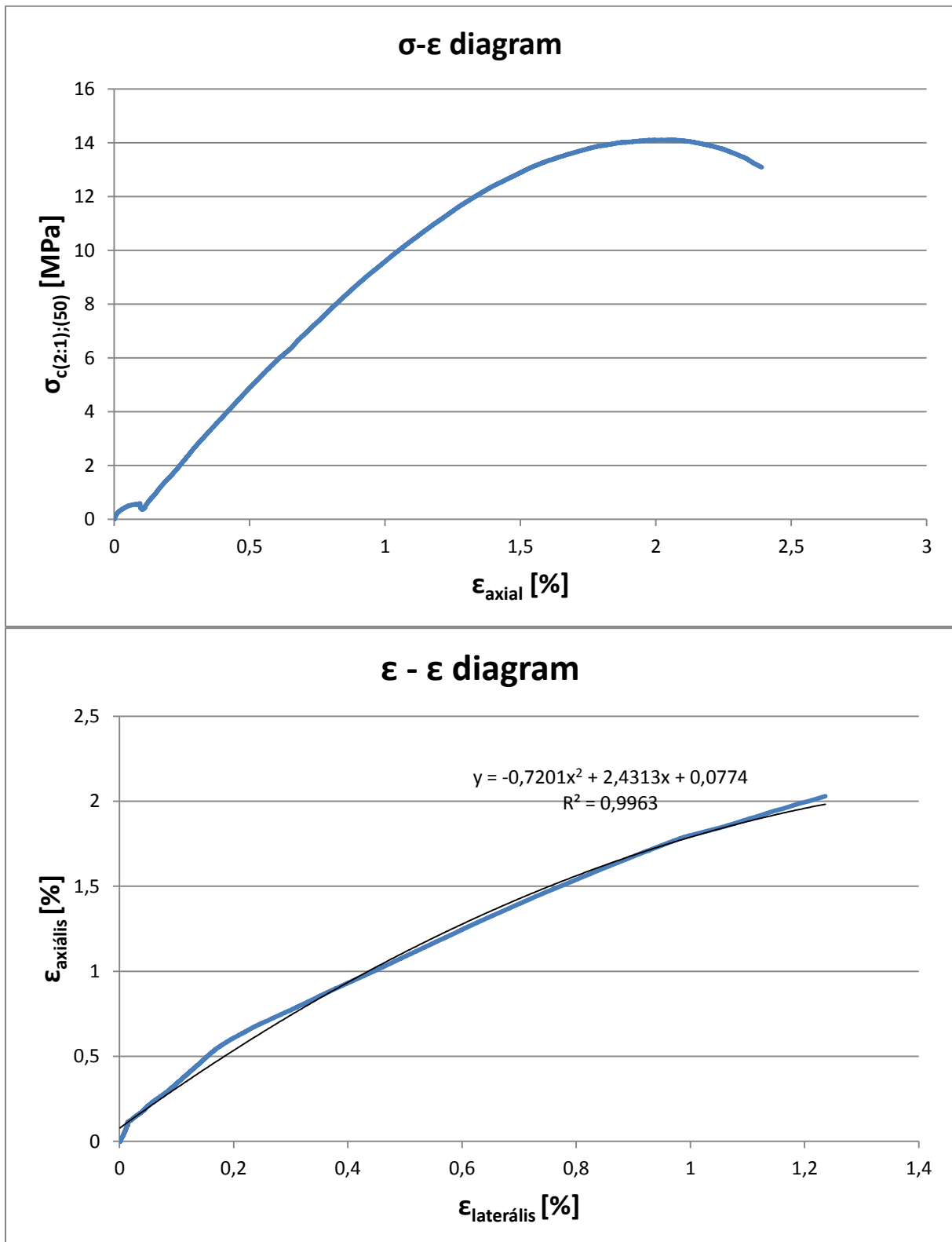


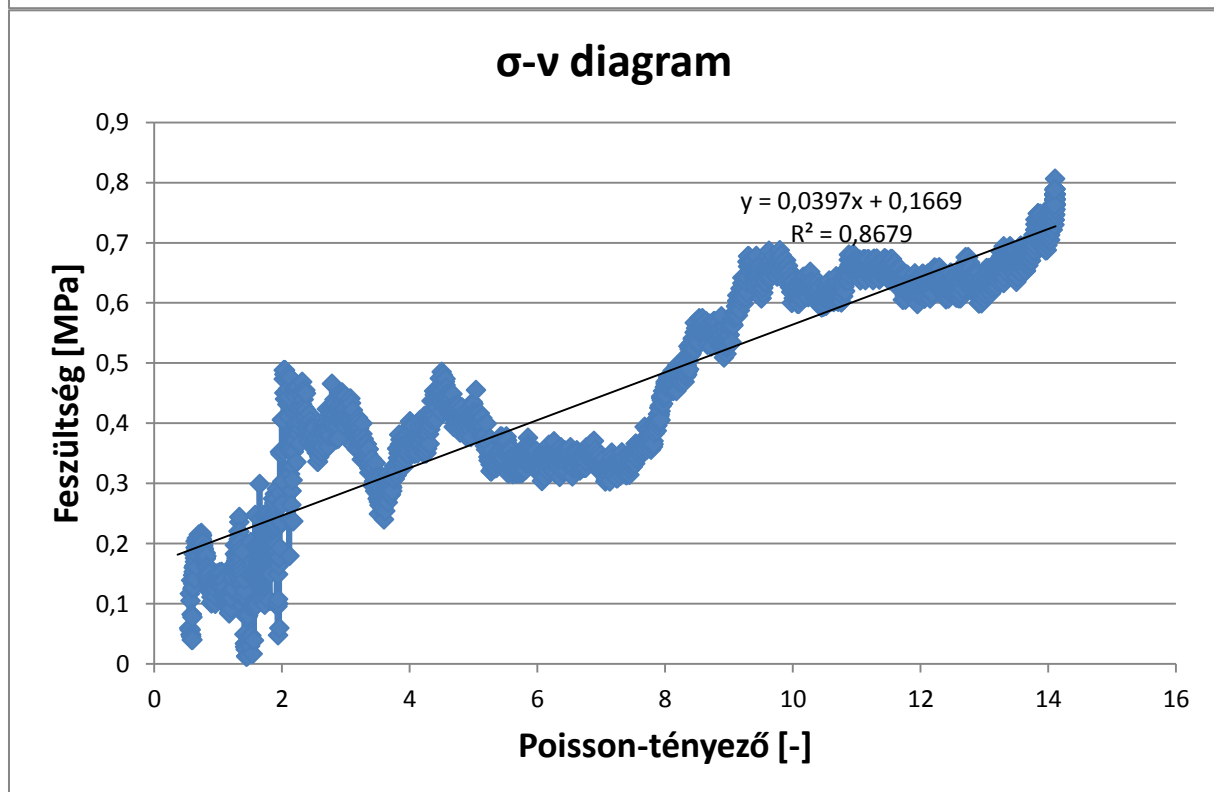
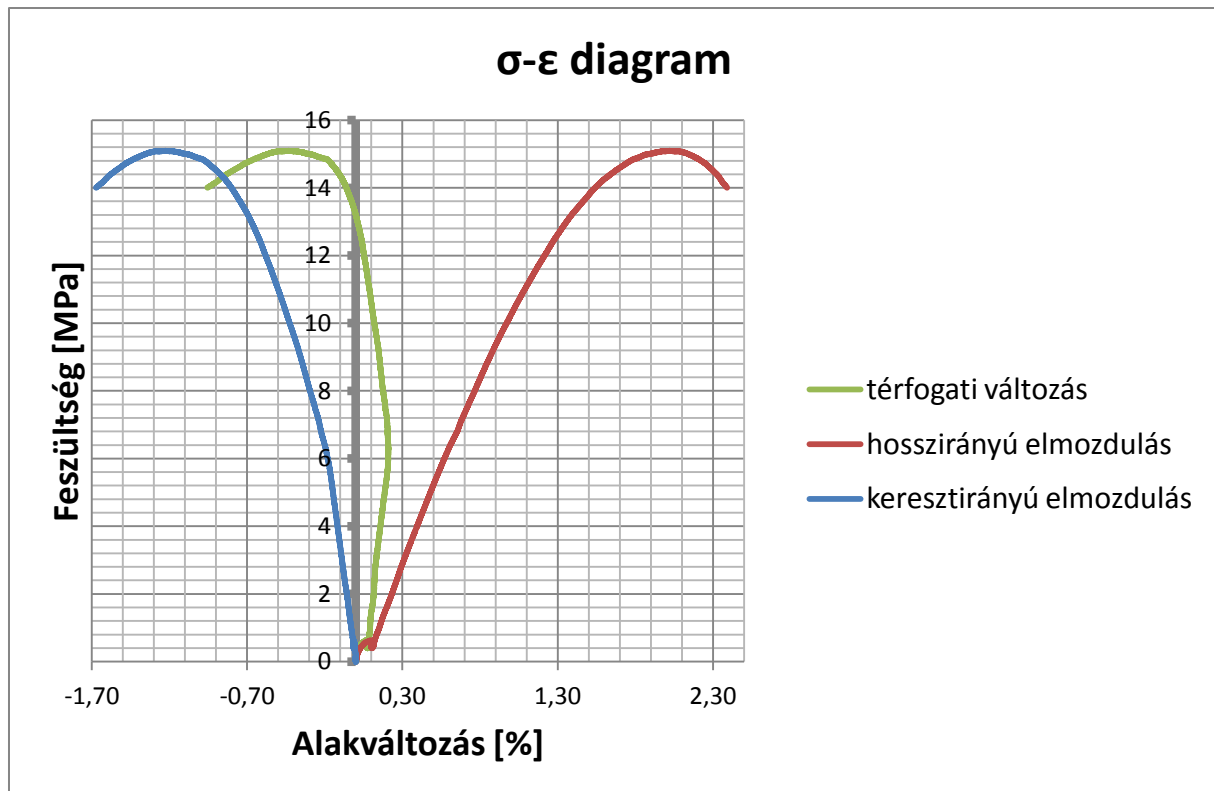
1.3. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
6. számú próbatest vizsgálati eredményei



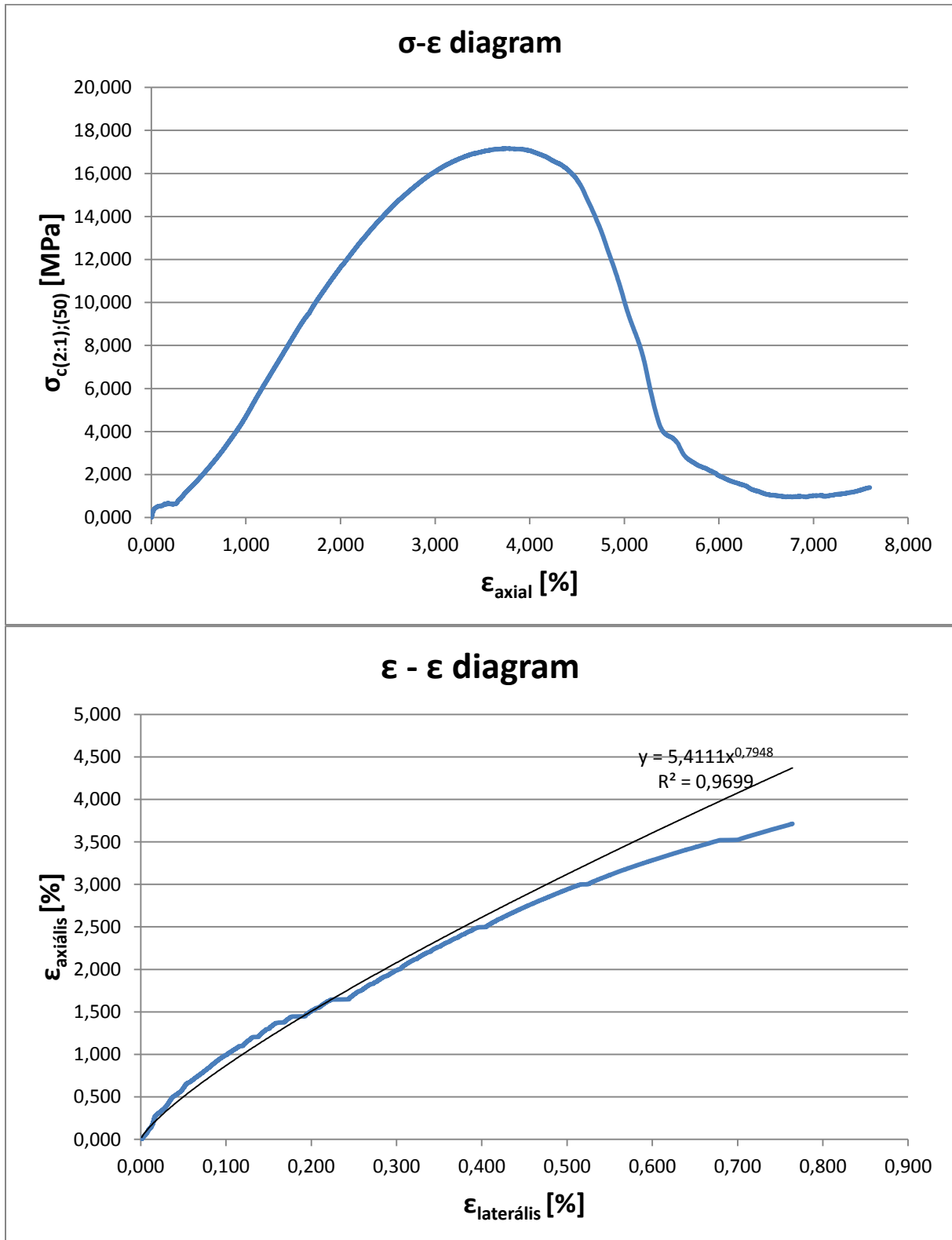


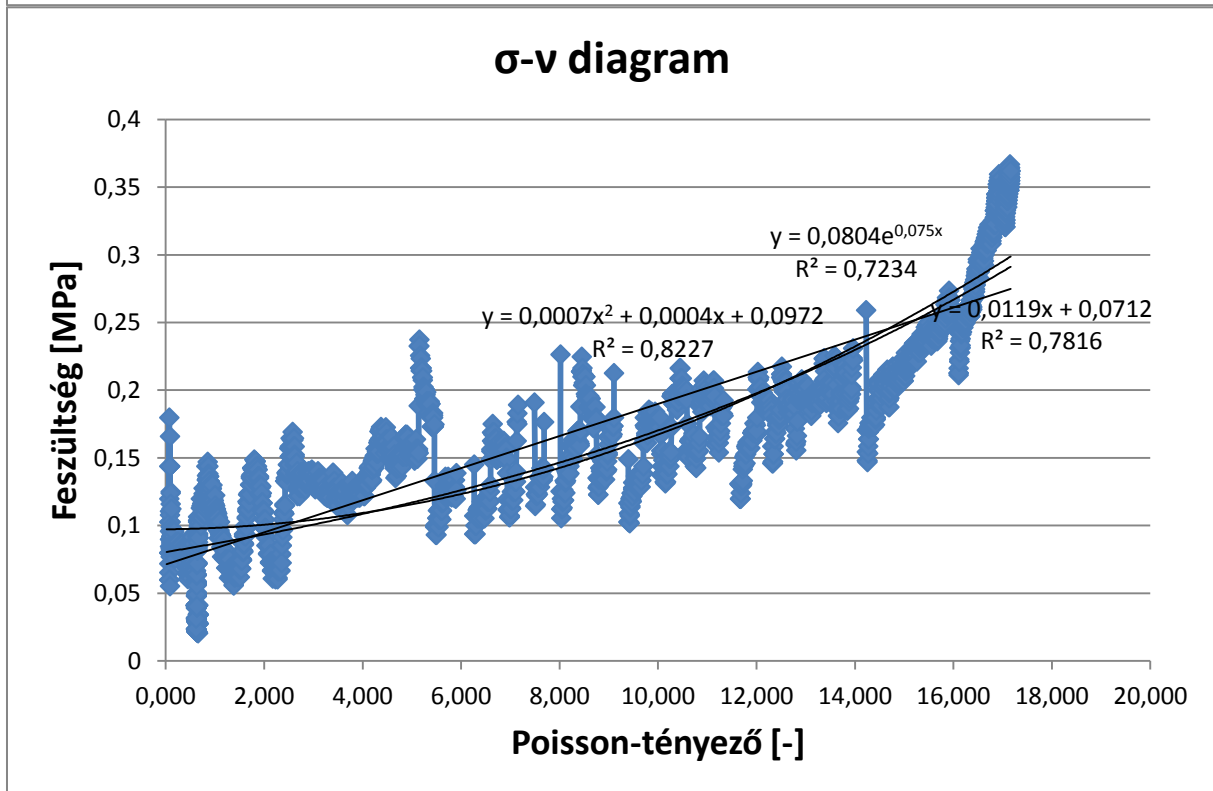
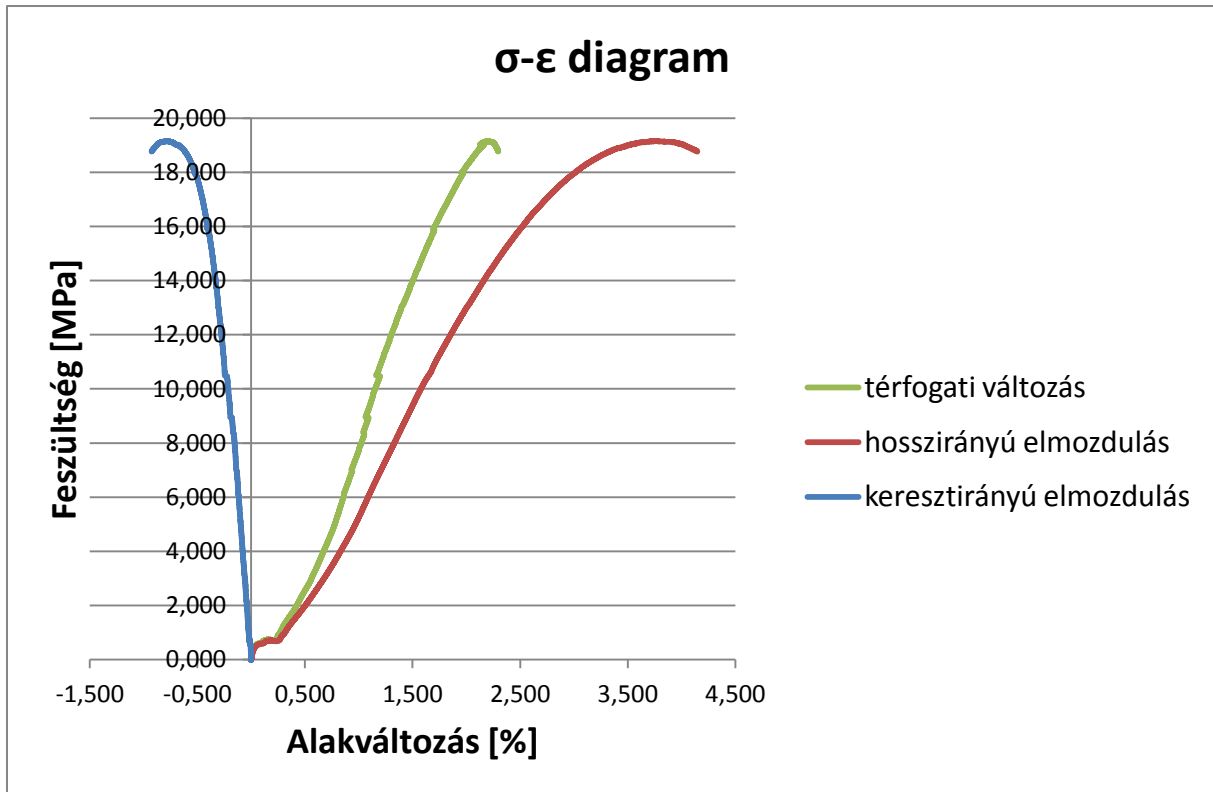
1.4. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
8. számú próbatest vizsgálati eredményei



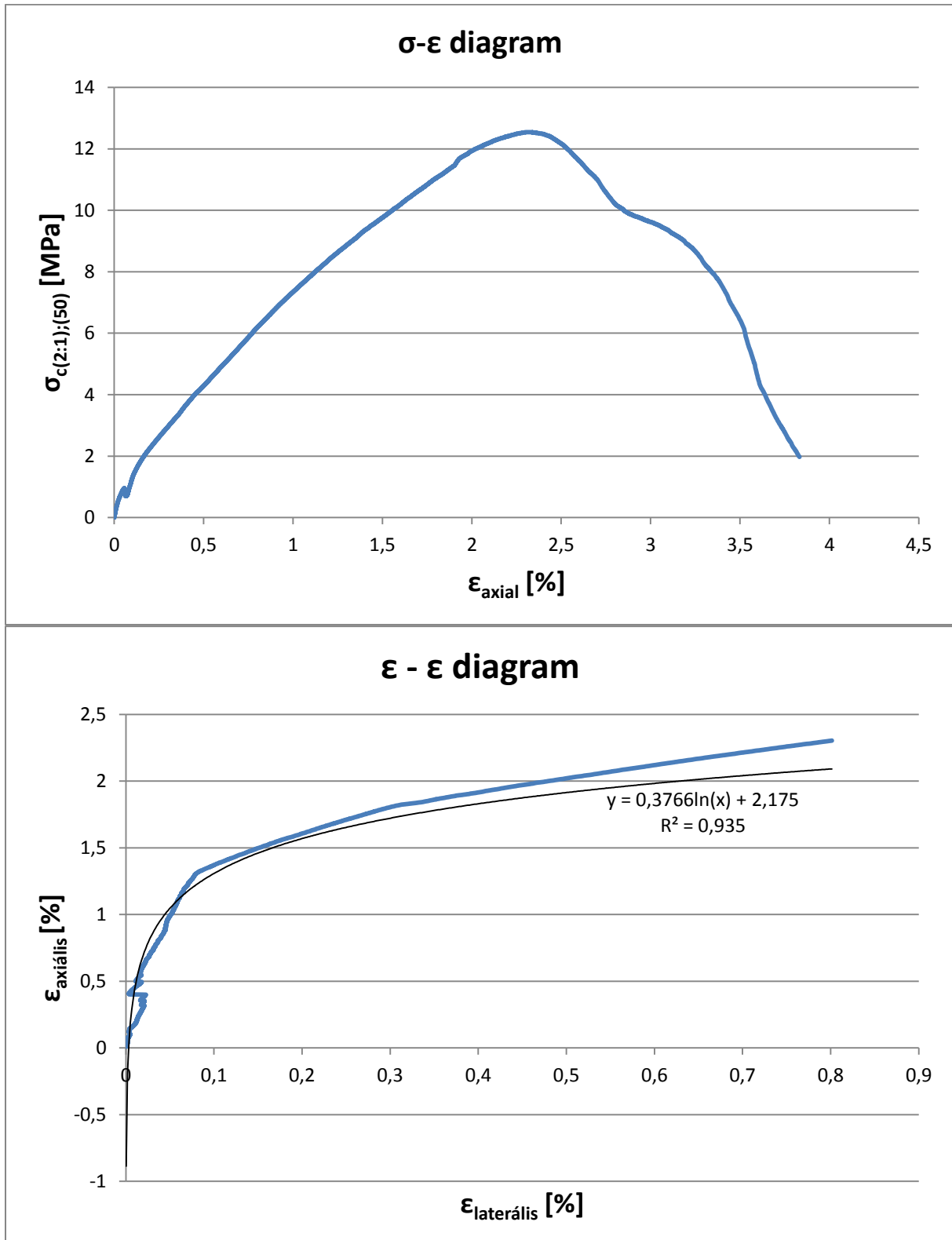


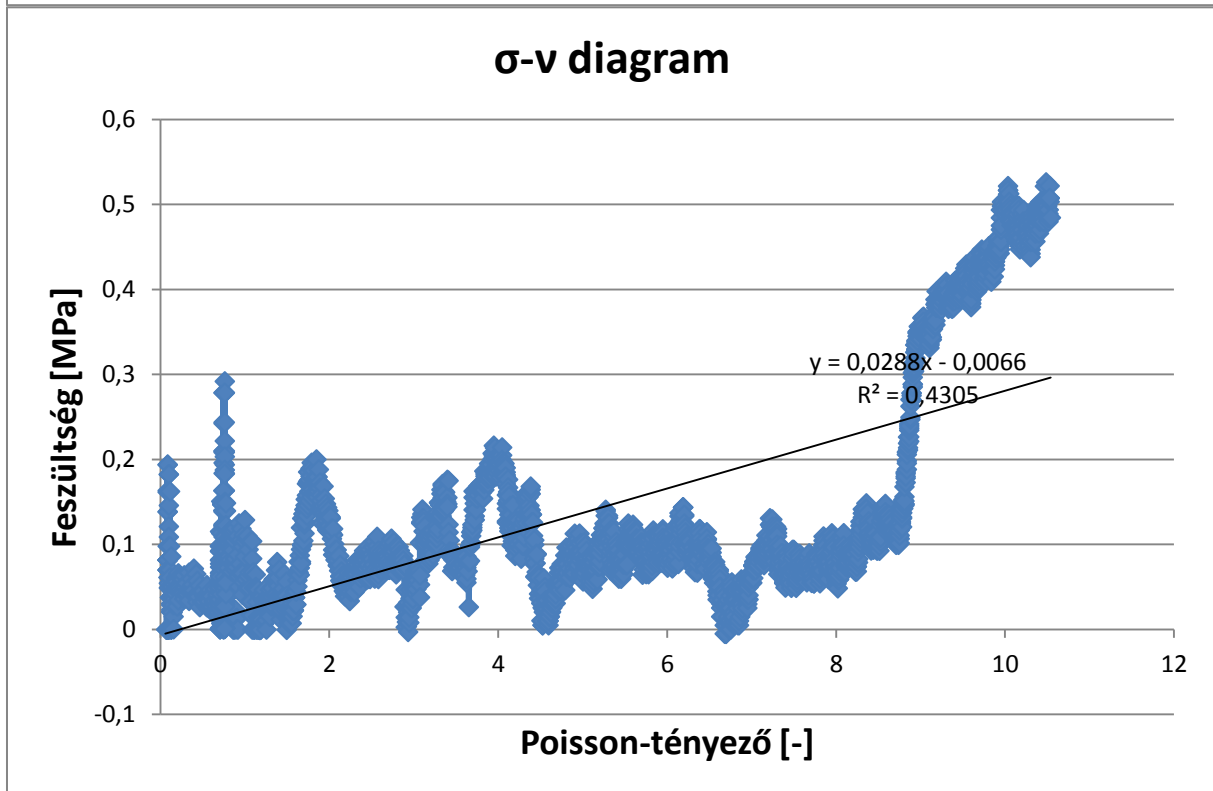
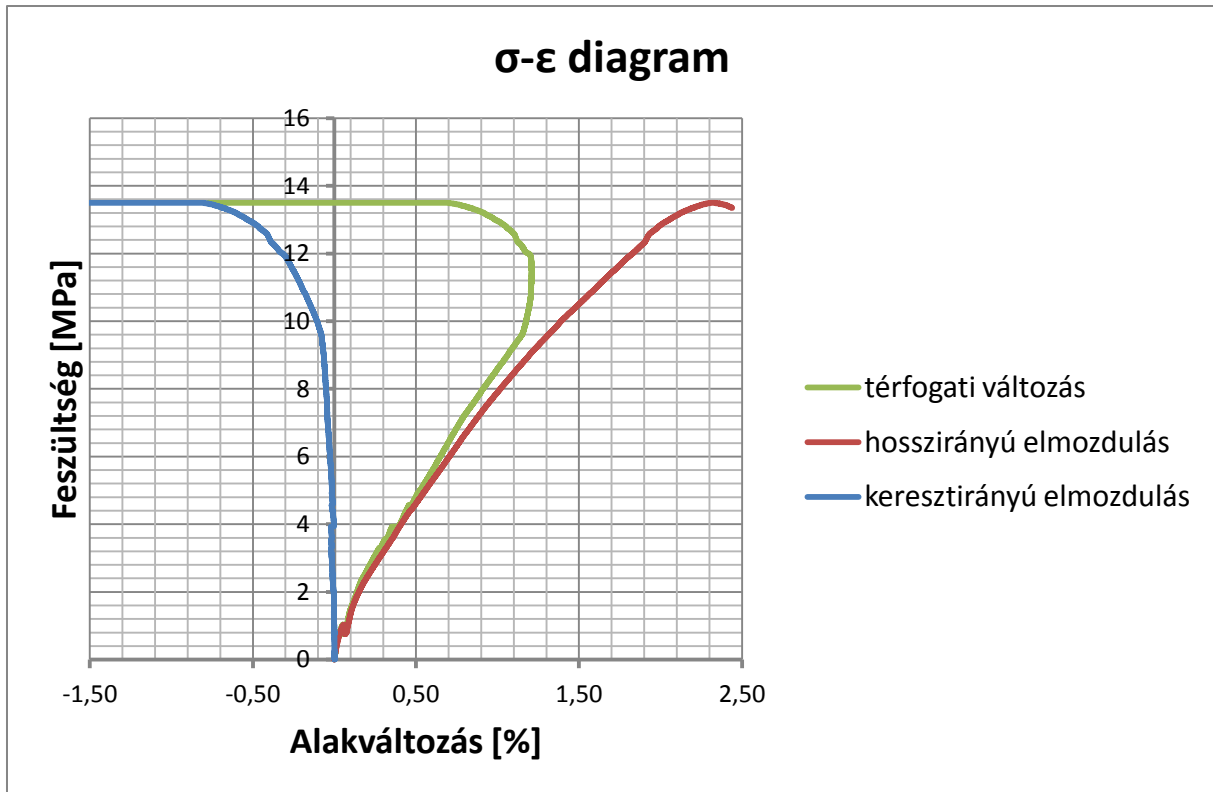
1.5. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
13. számú próbatest vizsgálati eredményei



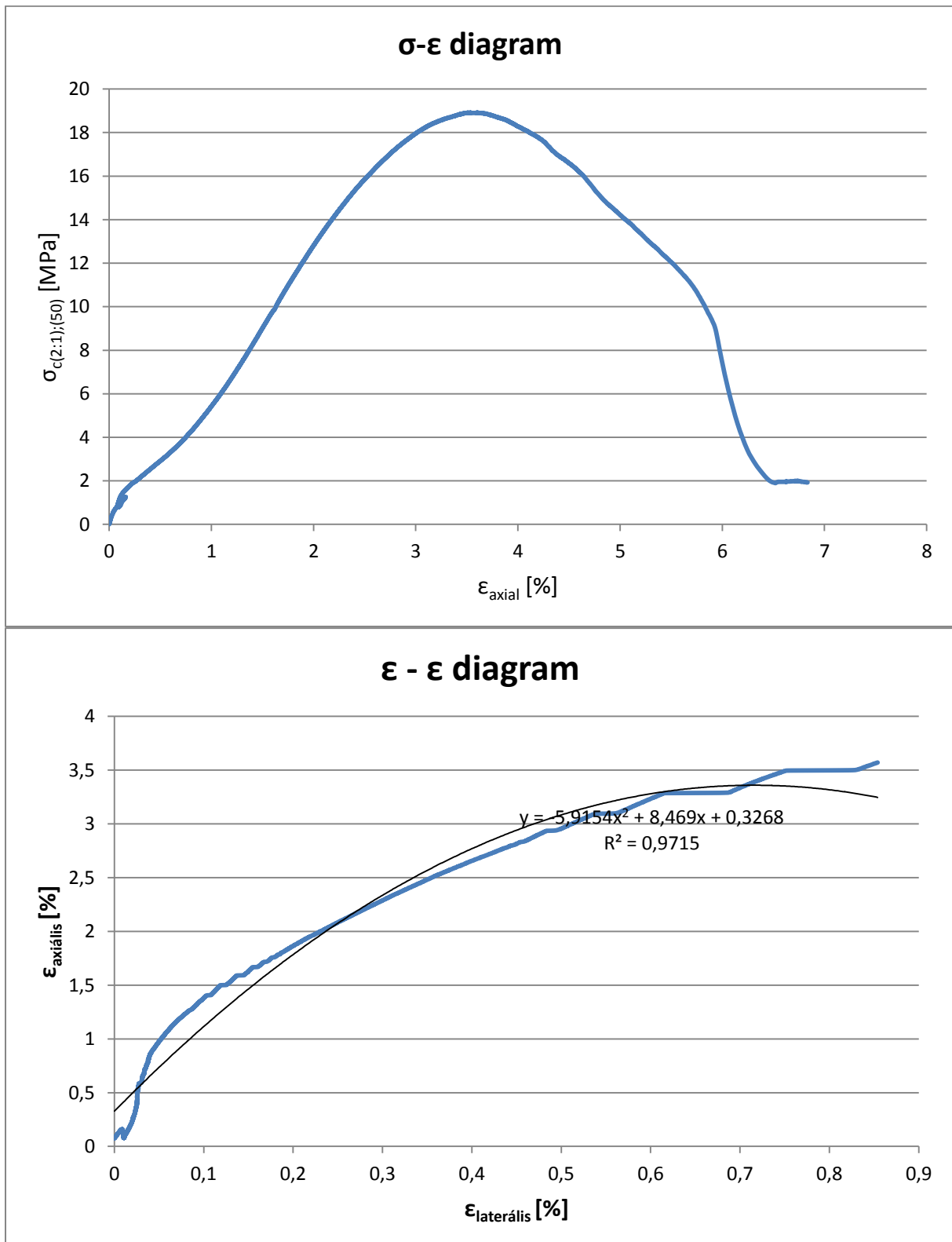


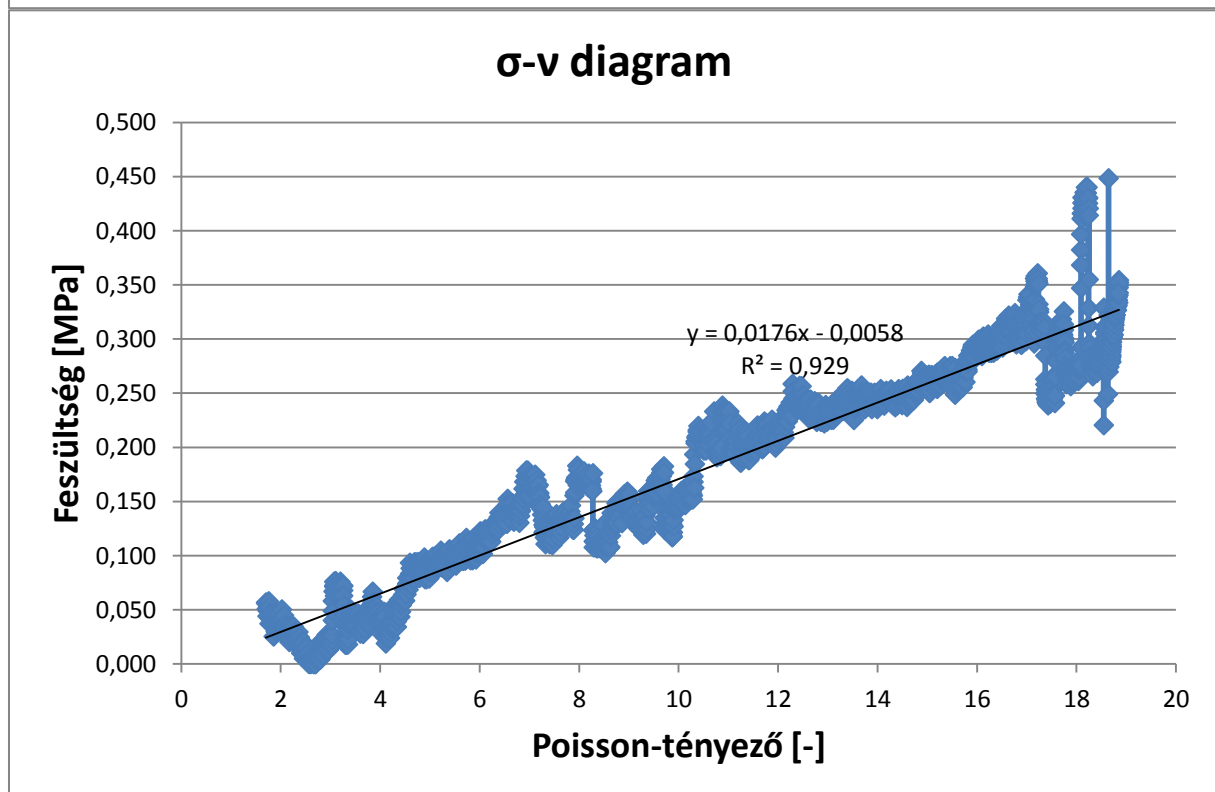
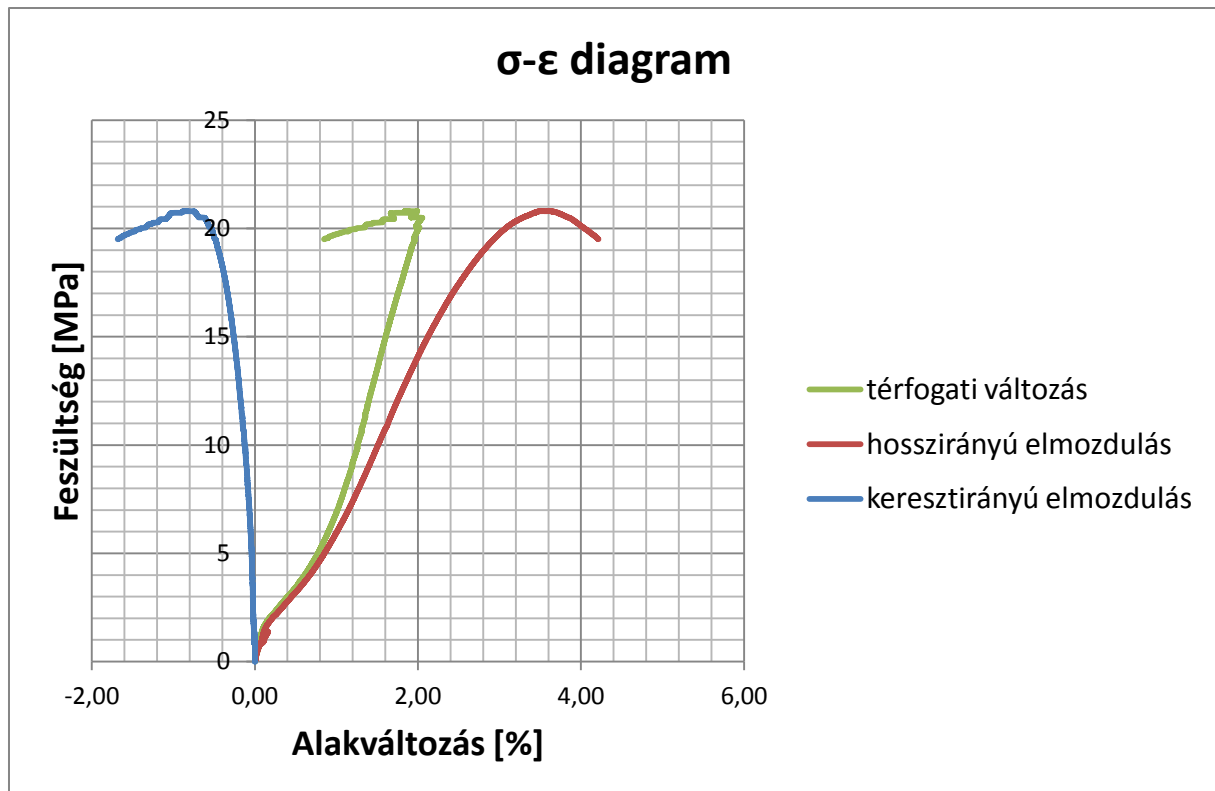
1.6. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
14. számú próbatest vizsgálati eredményei



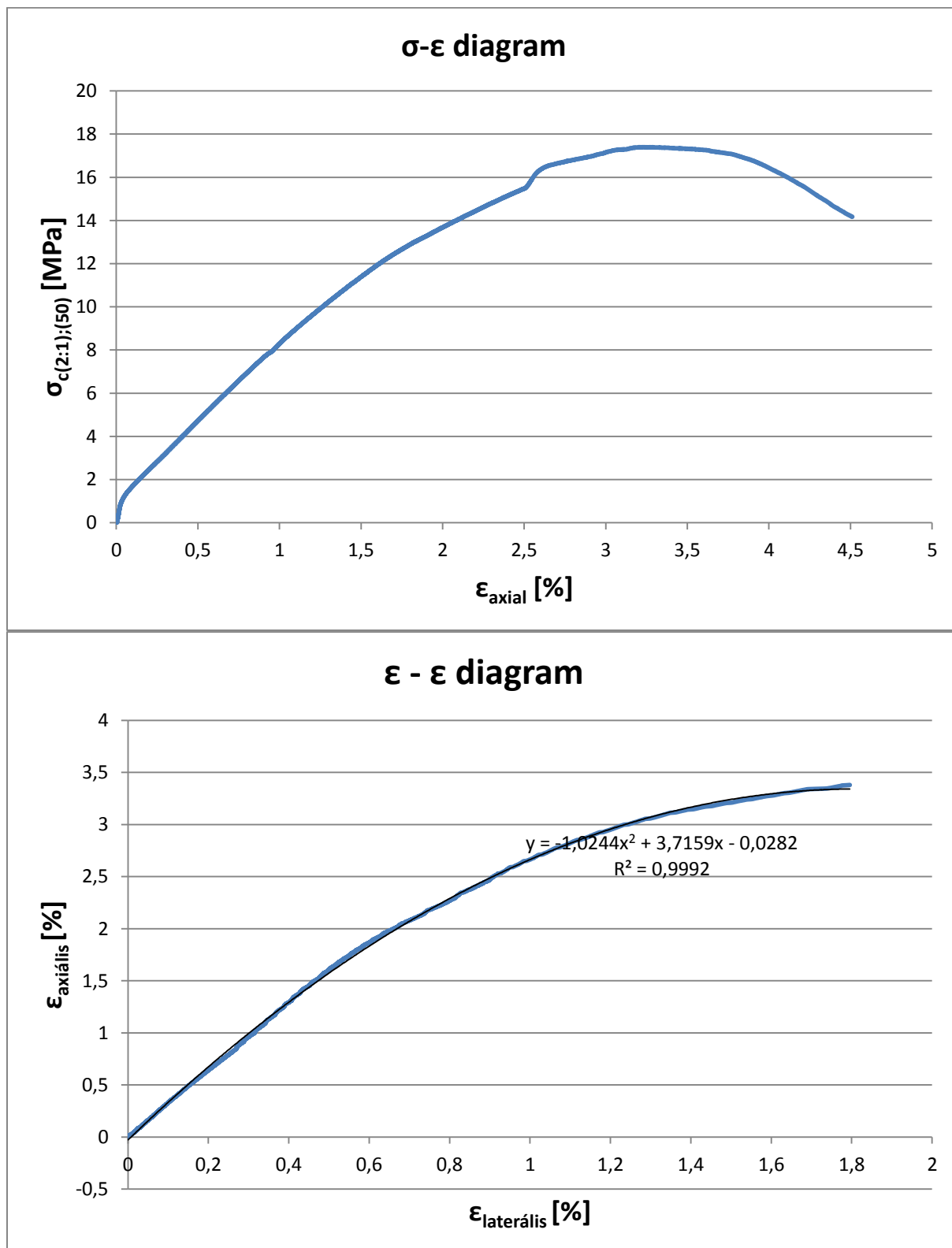


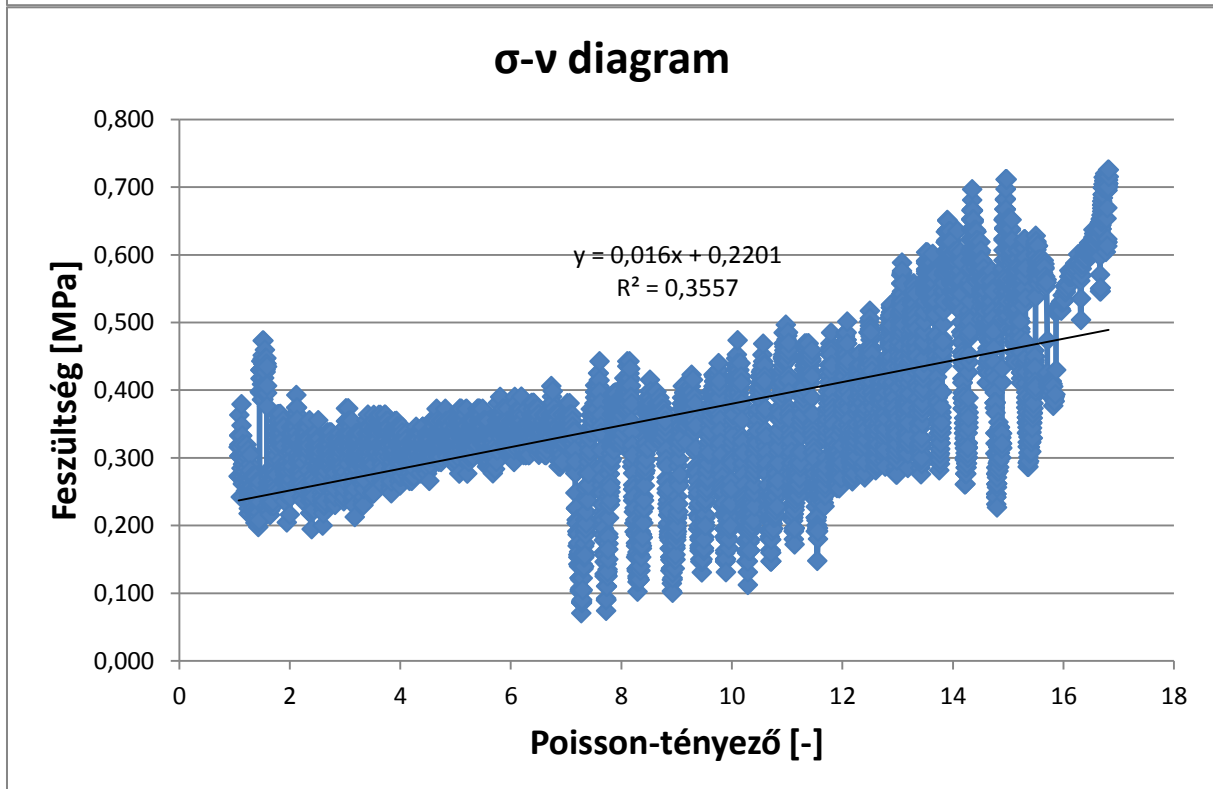
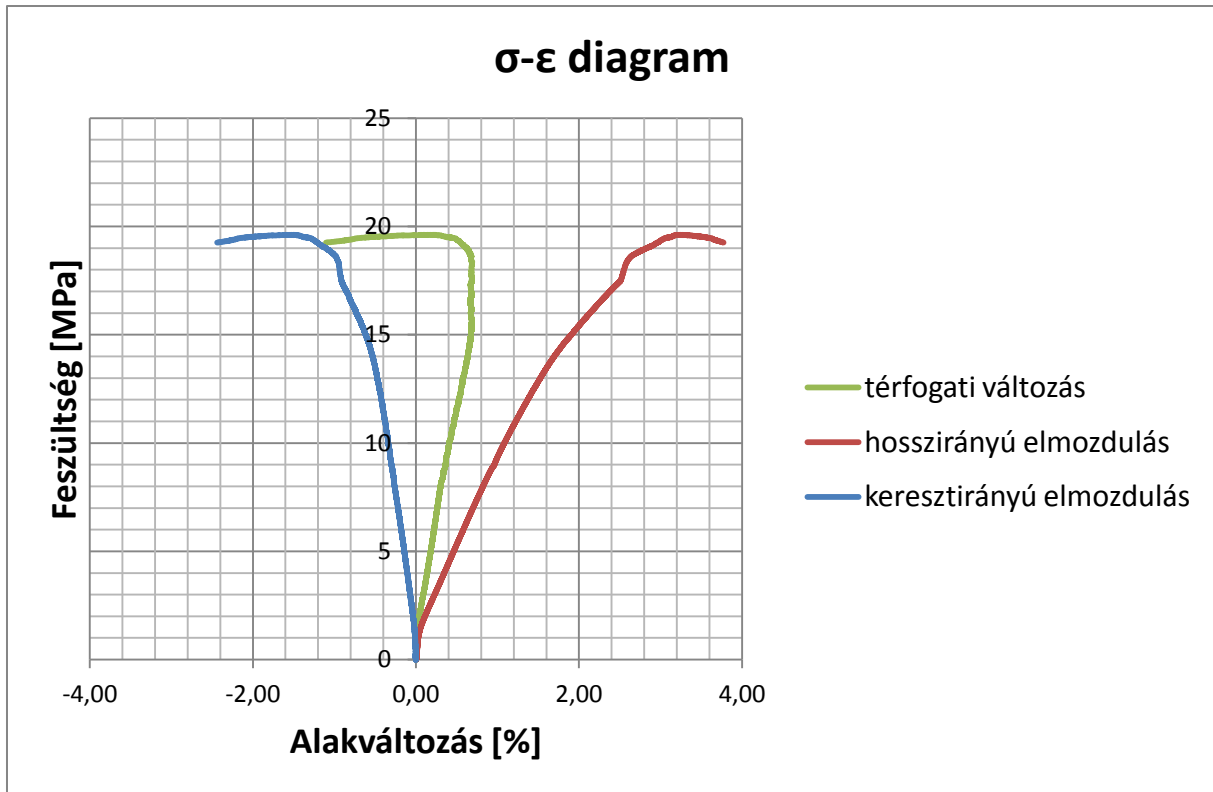
1.7. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
15. számú próbatest vizsgálati eredményei



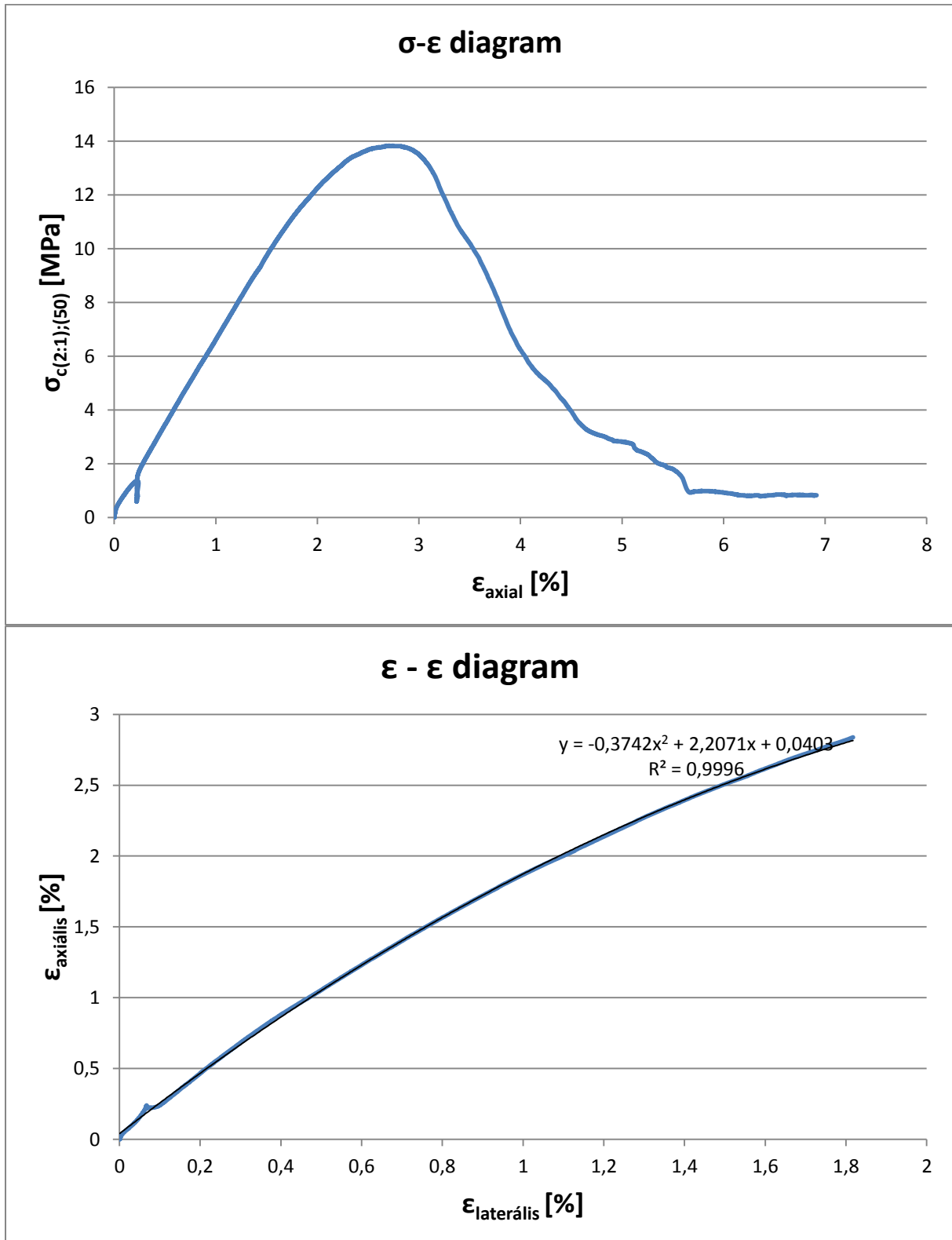


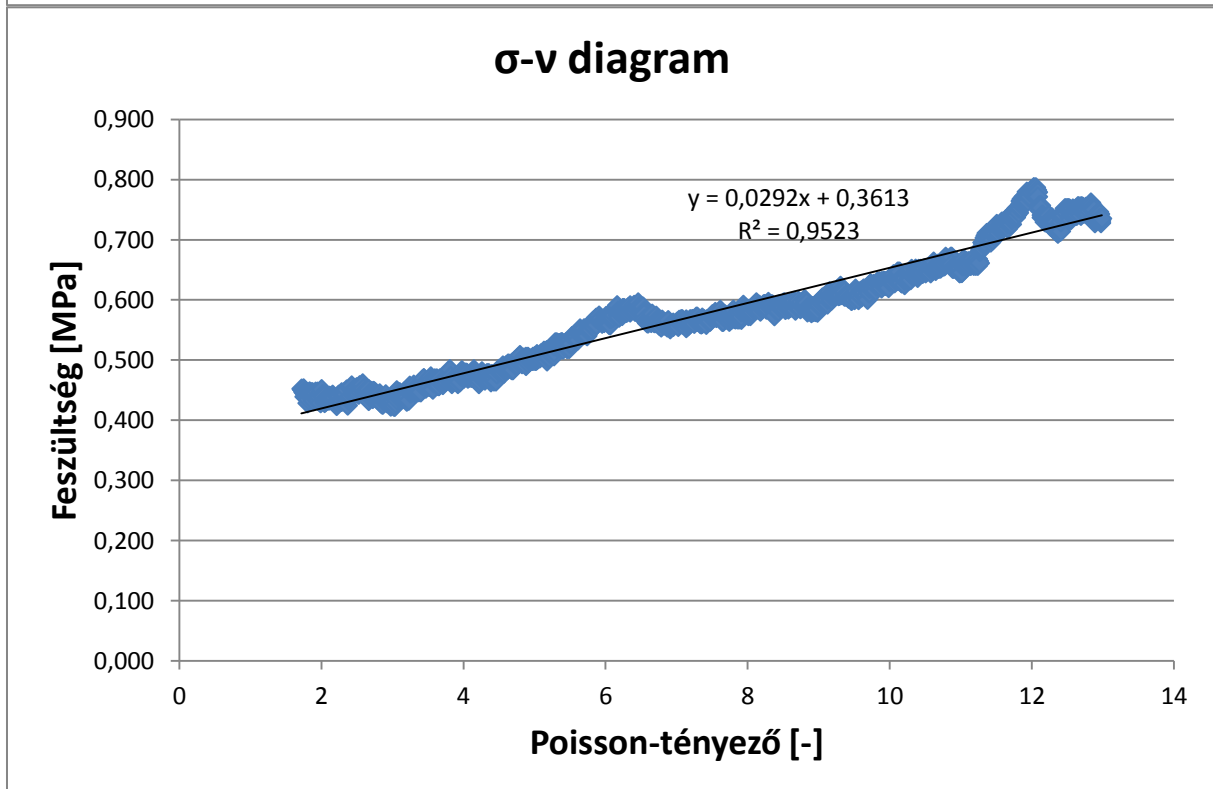
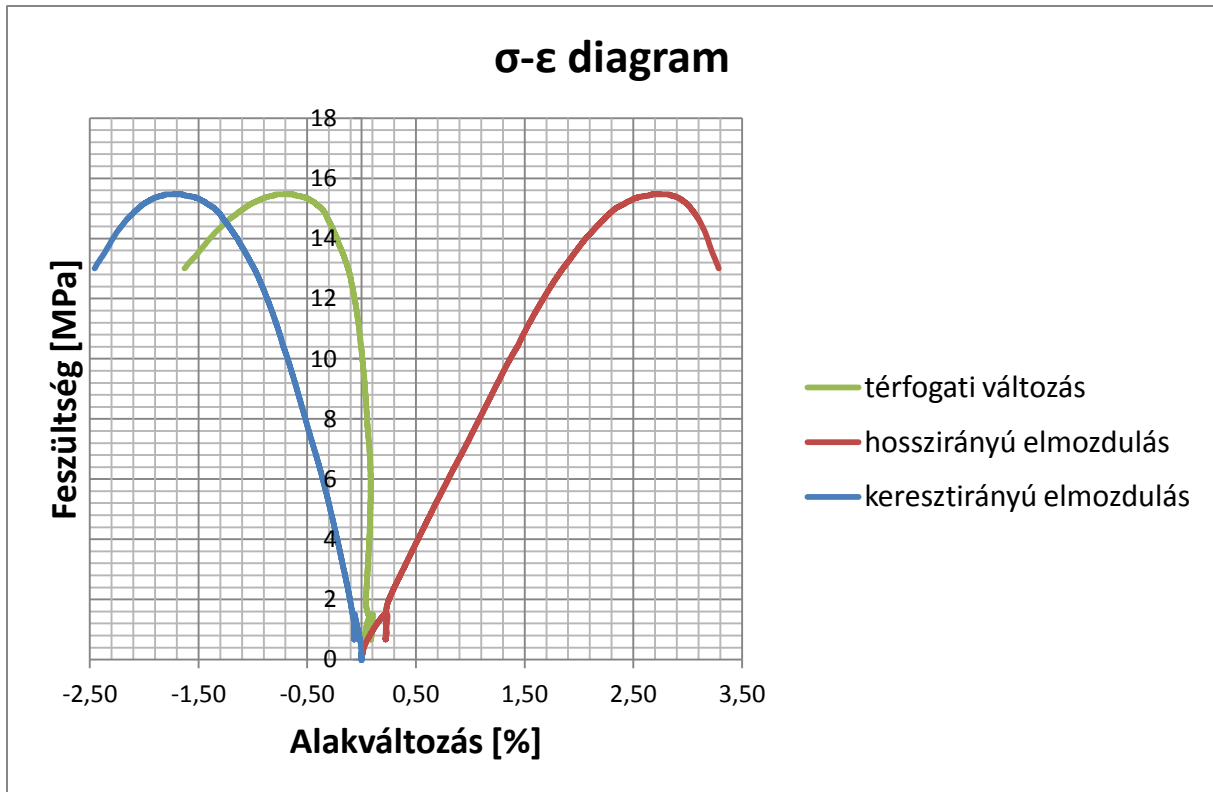
1.8. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
18. számú próbatest vizsgálati eredményei



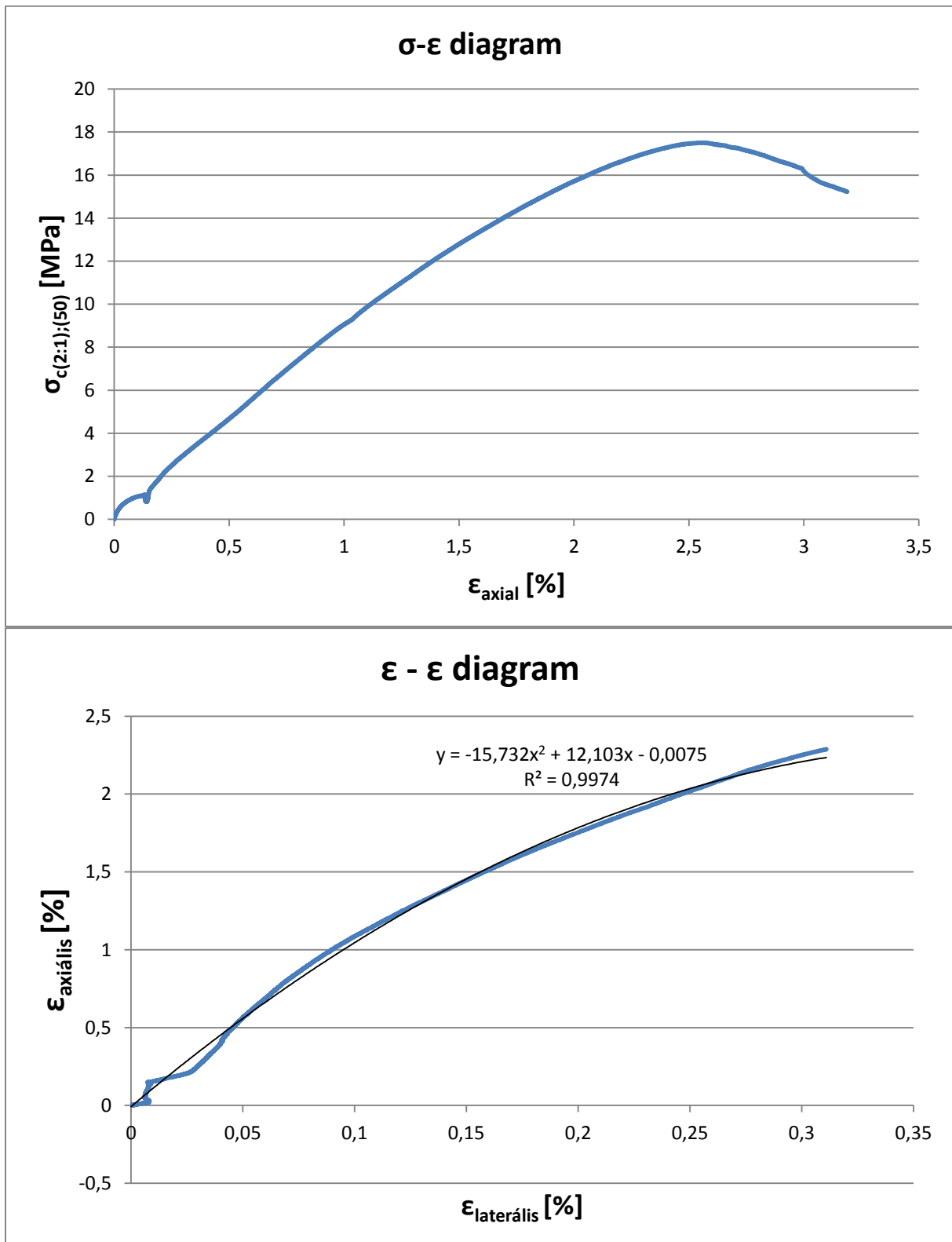


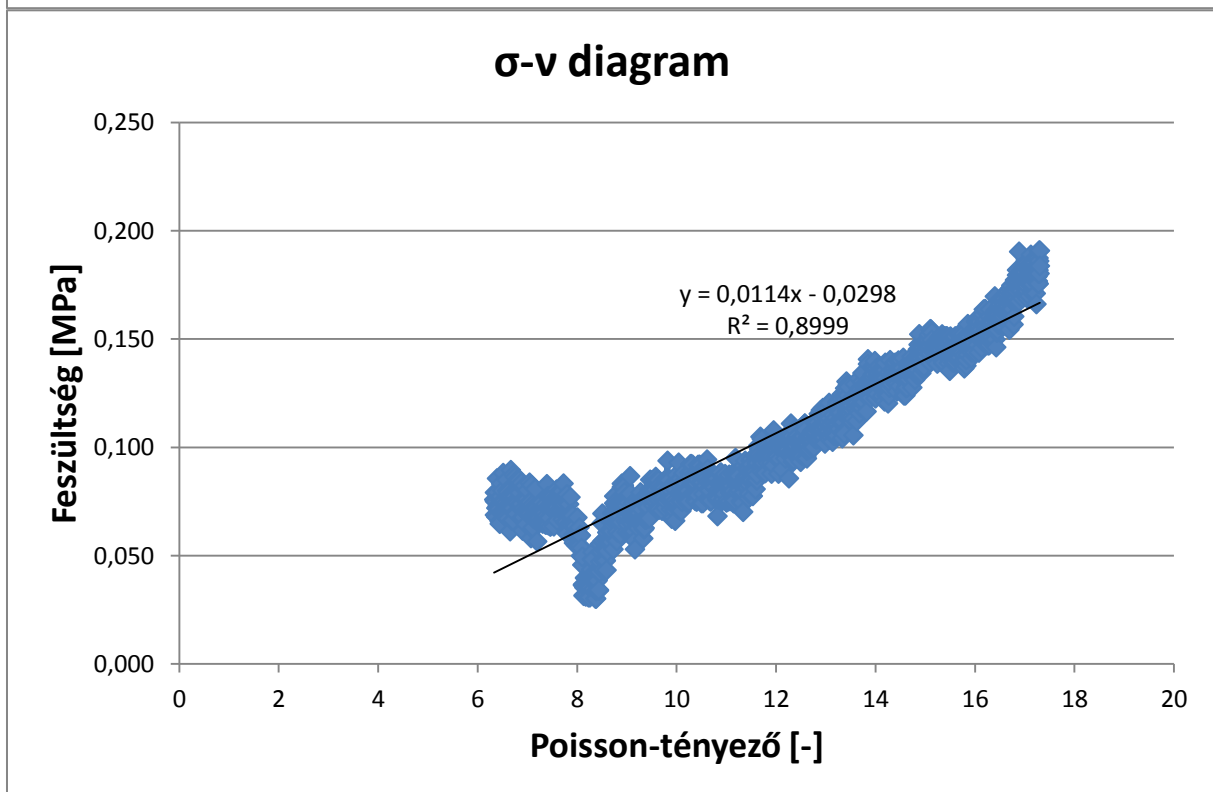
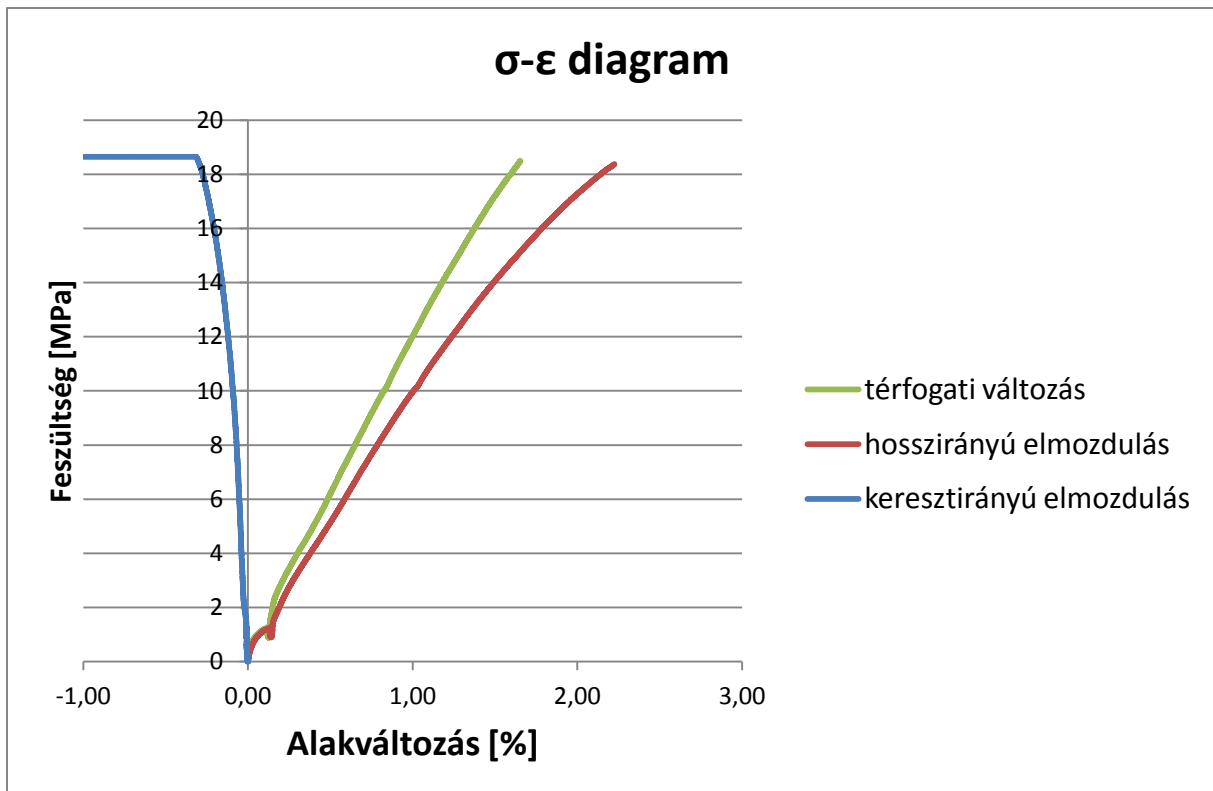
1.9. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
19. számú próbatest vizsgálati eredményei



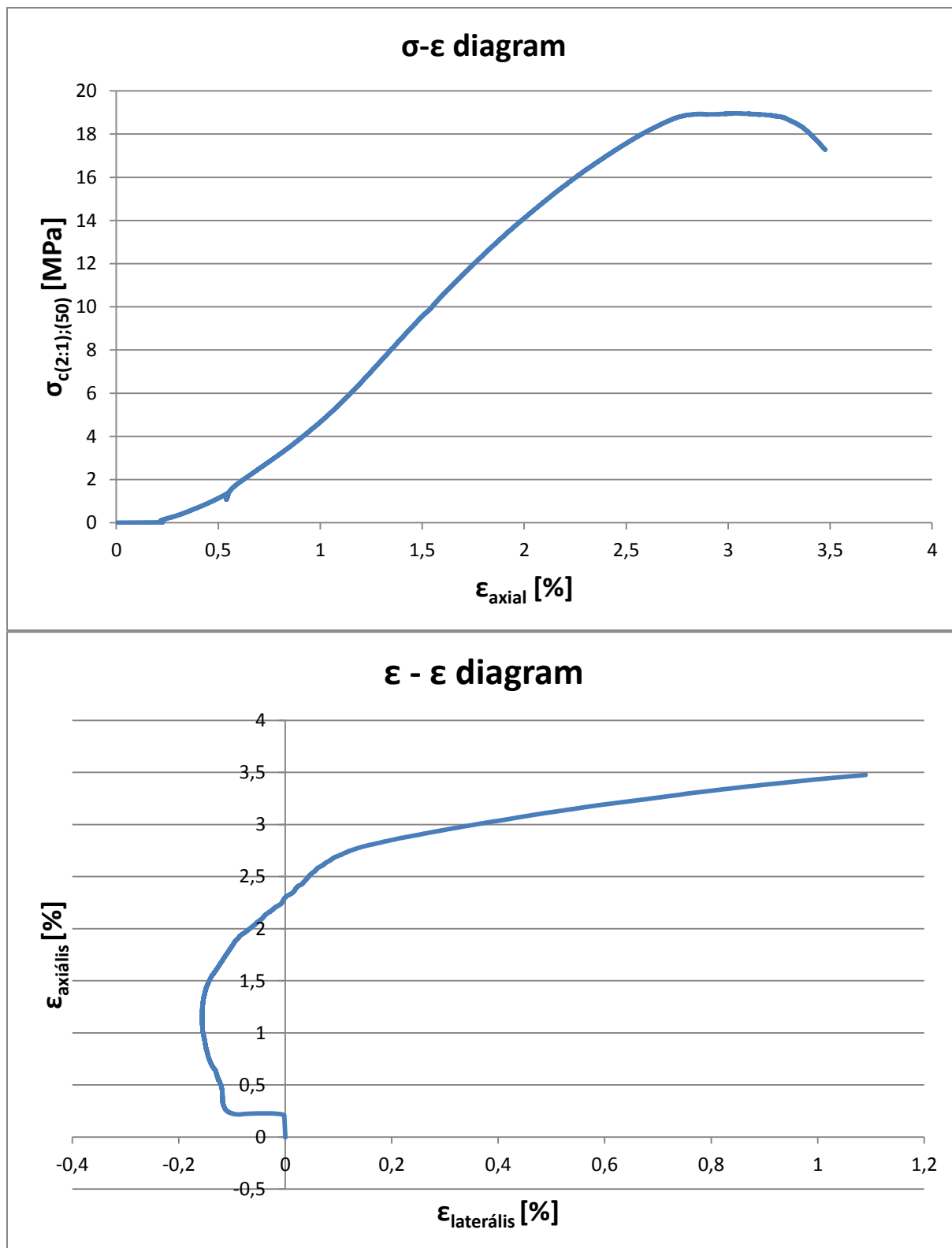


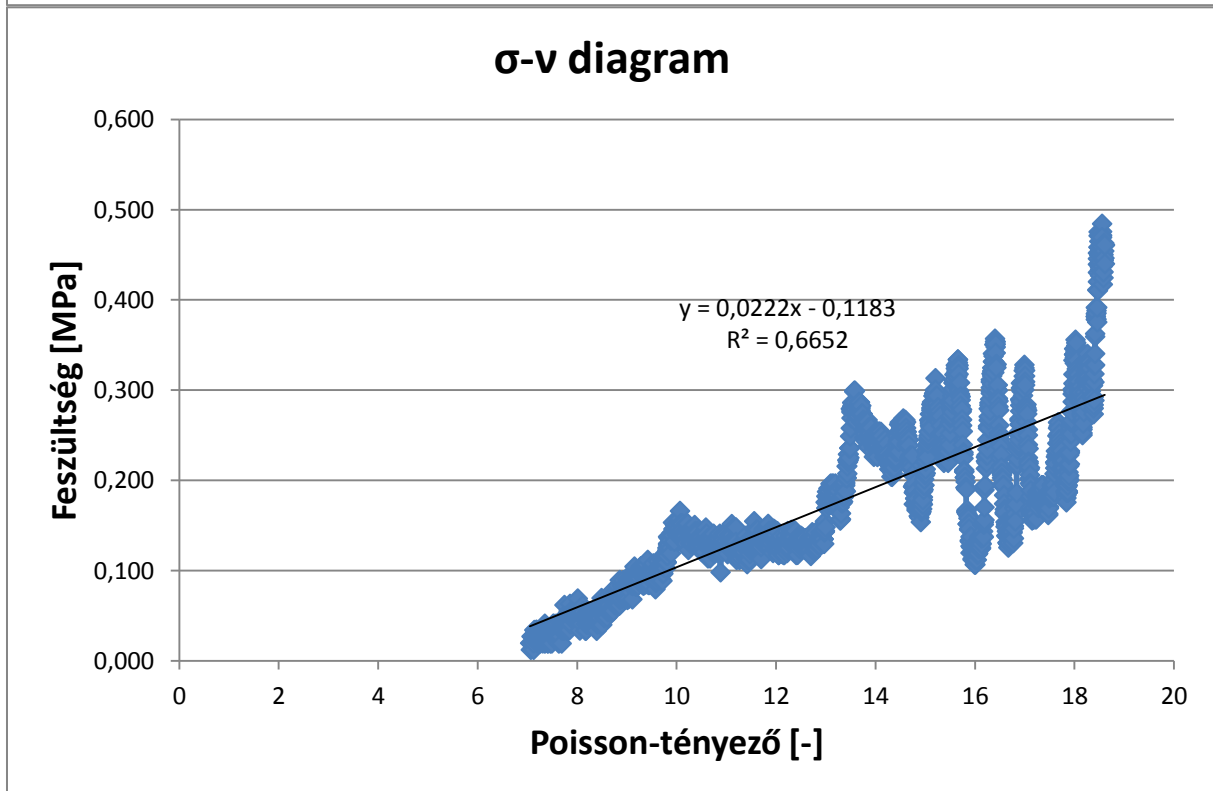
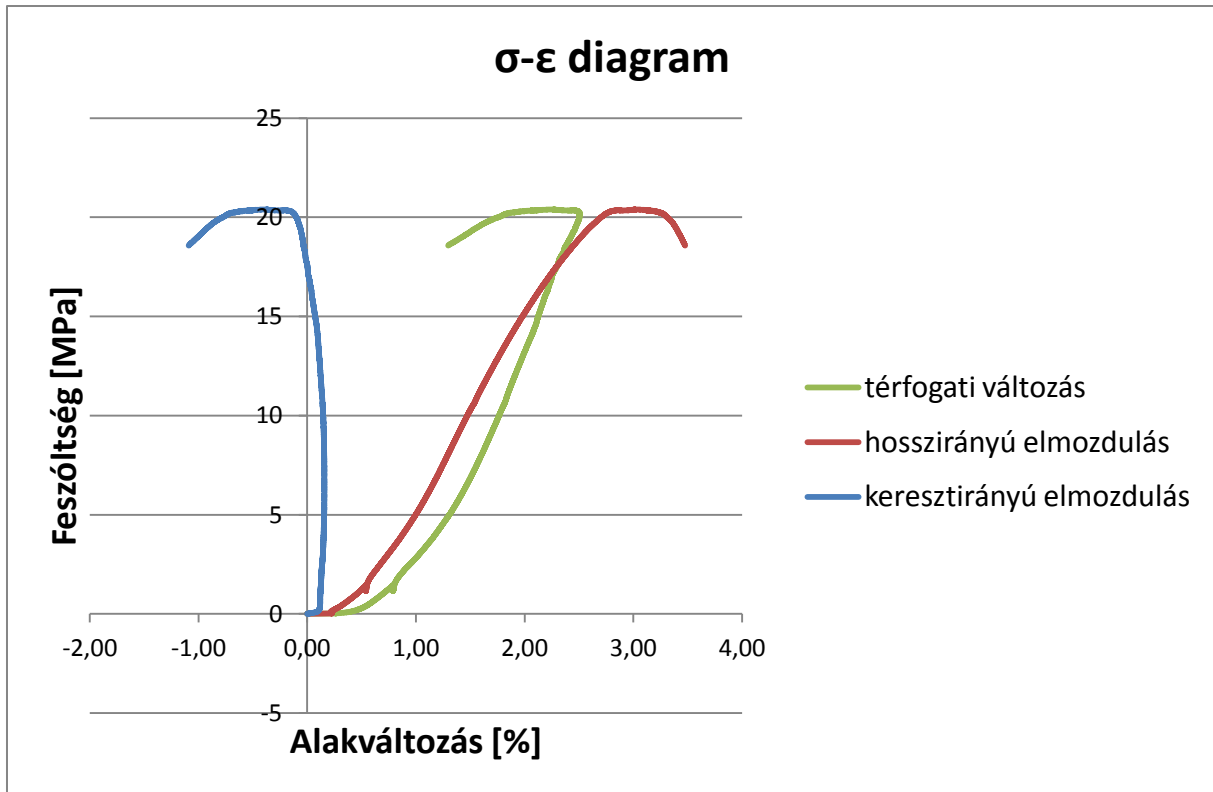
1.10. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
20. számú próbatest vizsgálati eredményei



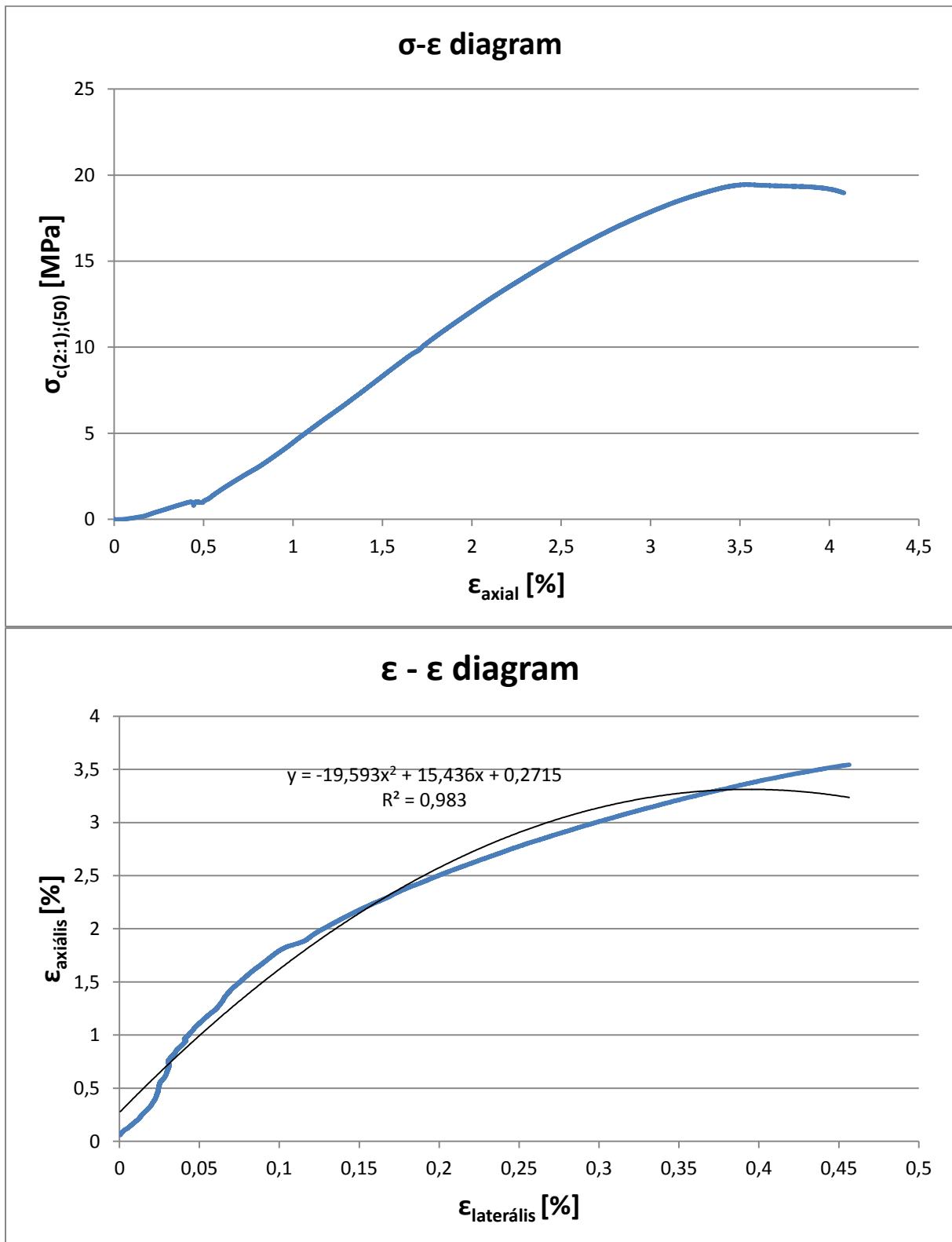


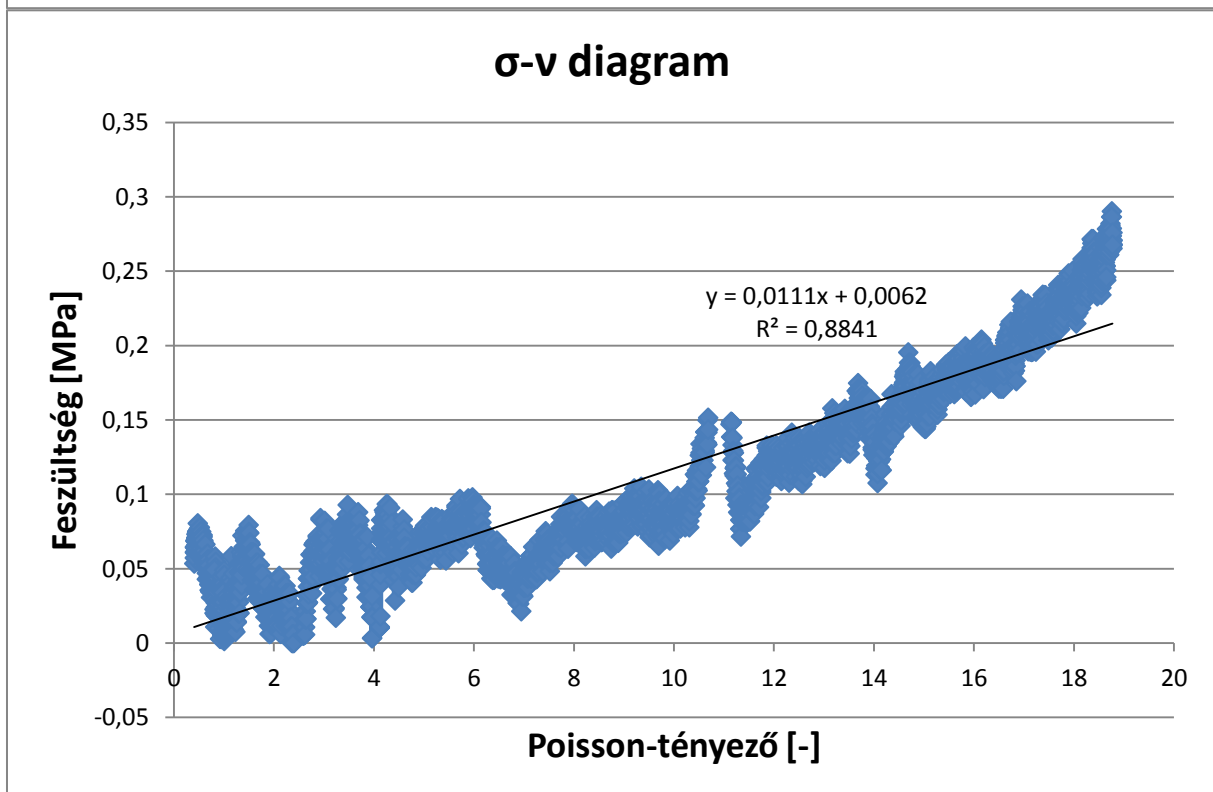
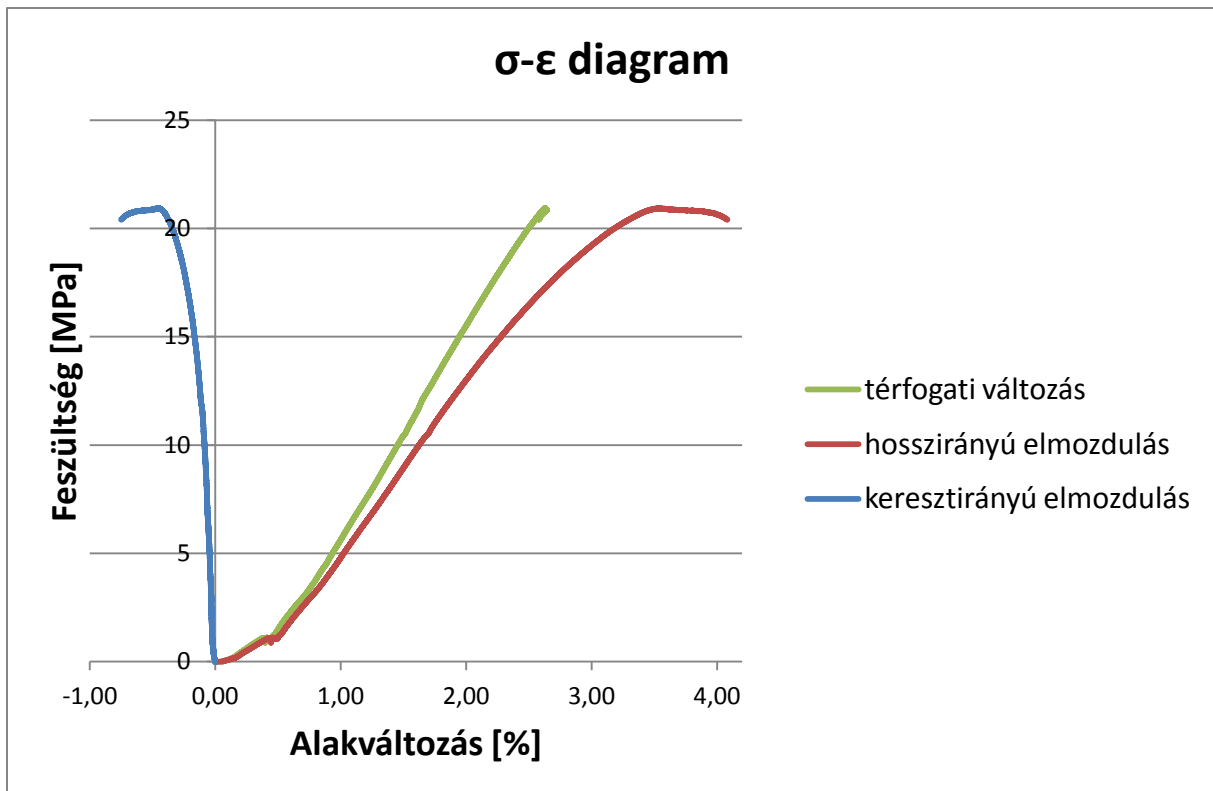
1.11. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
21. számú próbatest vizsgálati eredményei



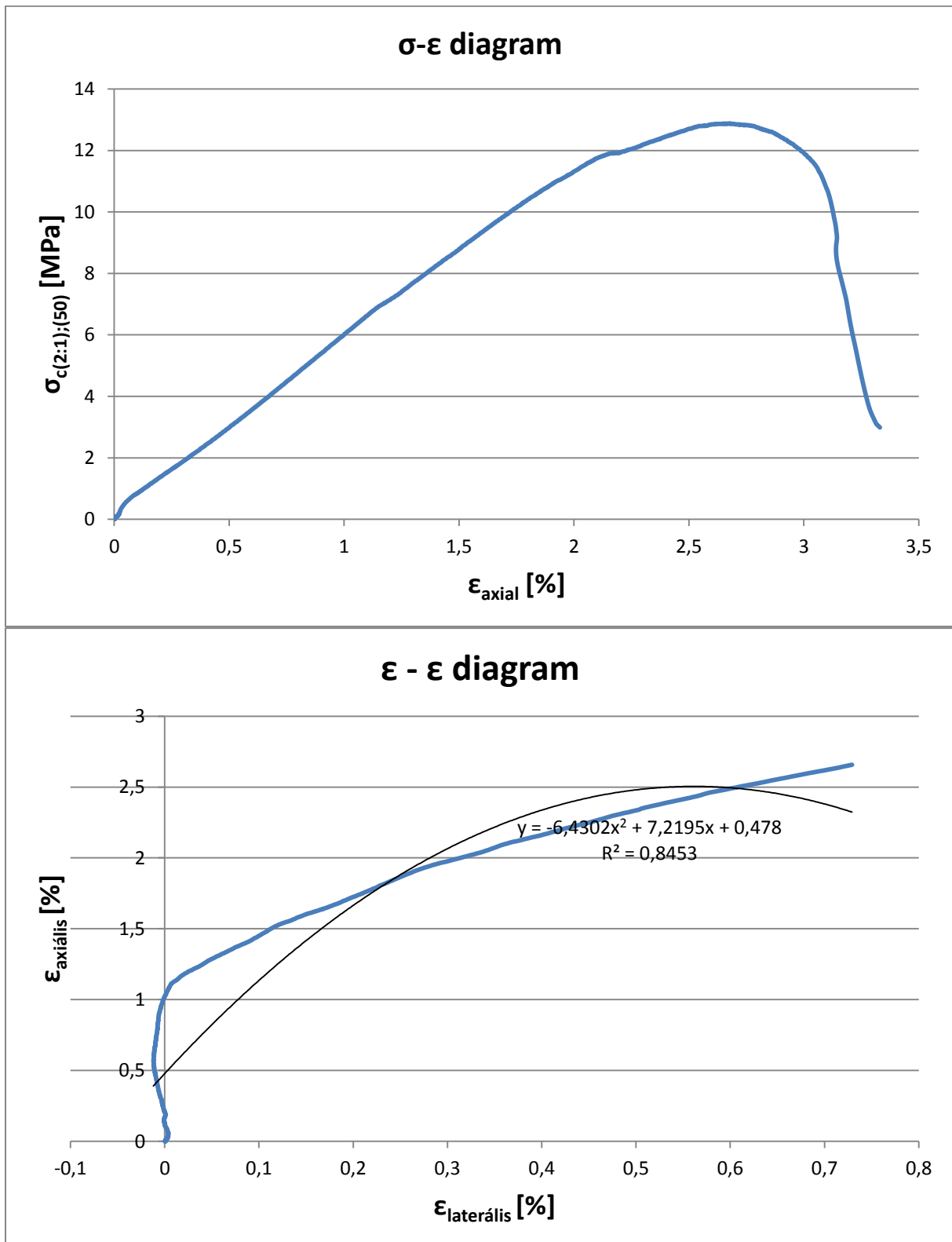


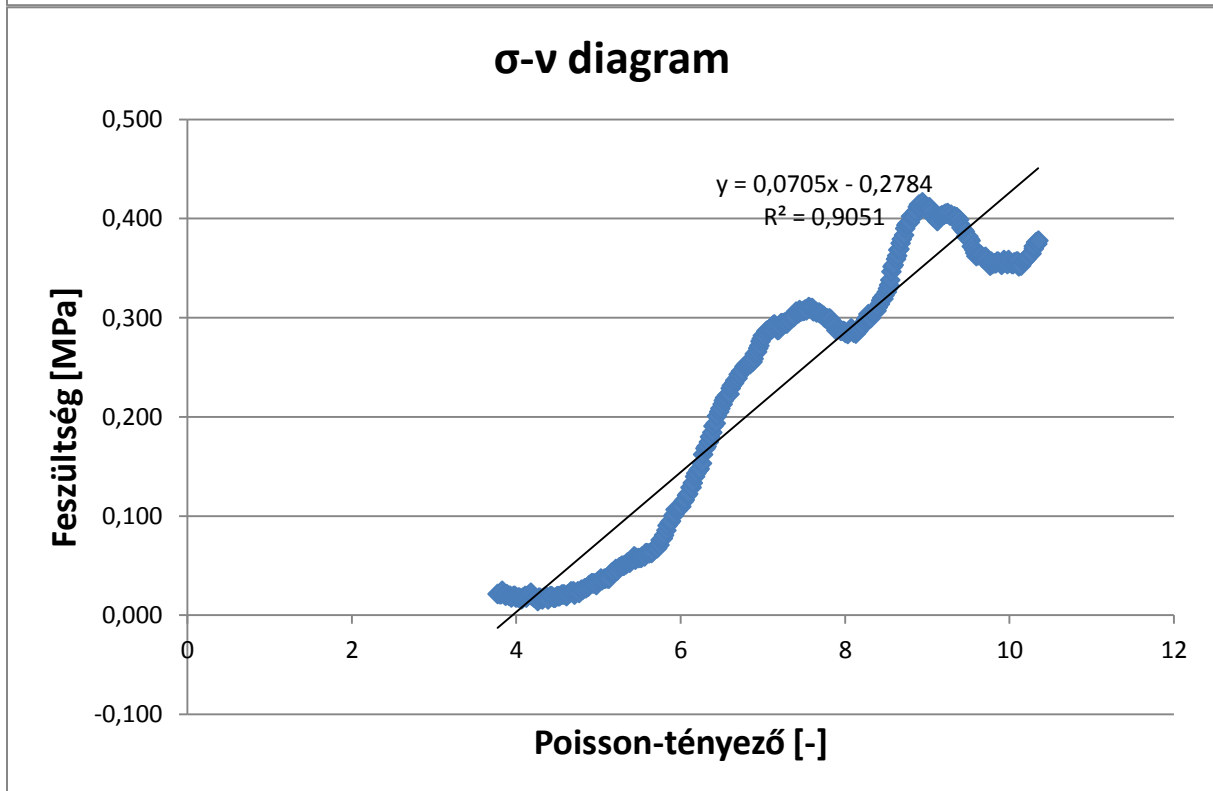
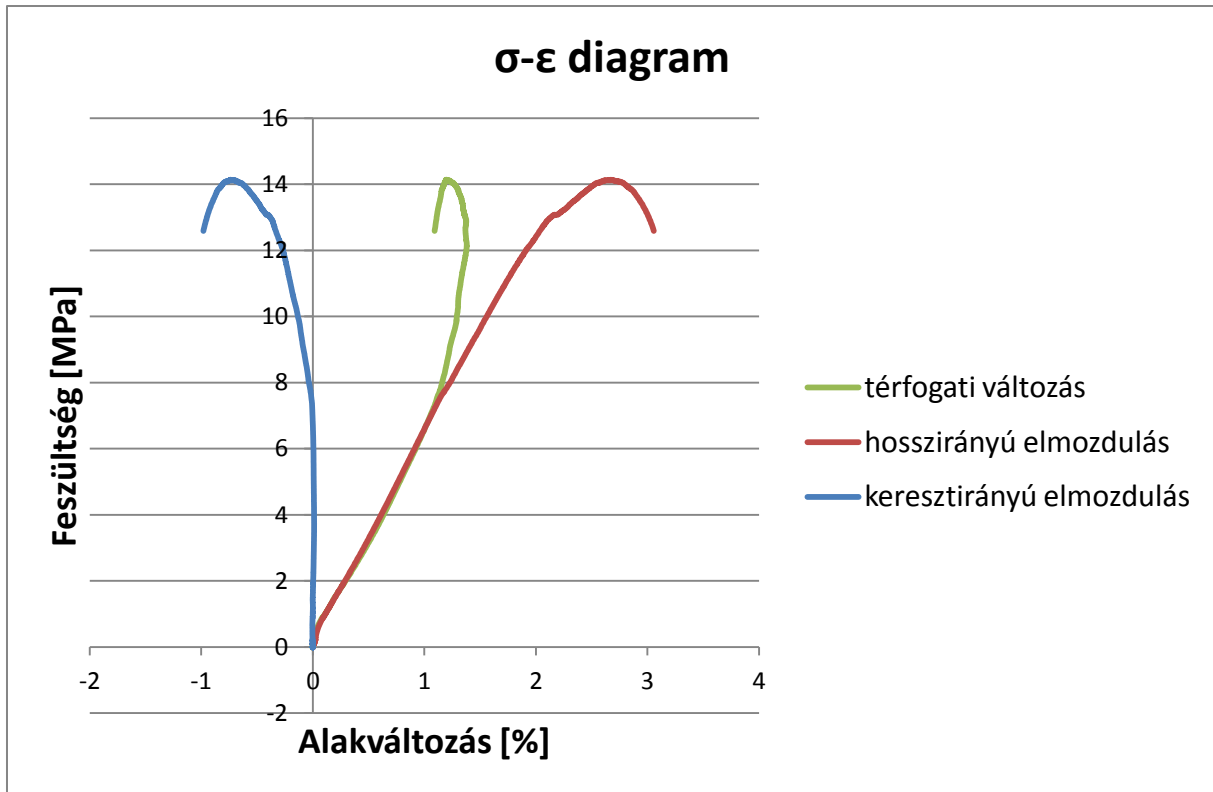
1.12. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
25. számú próbatest vizsgálati eredményei





1.13. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
28. számú próbatest vizsgálati eredményei





1.14. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok
54. számú próbatest vizsgálati eredményei

