



A mérethatás vizsgálata kőzetek közvetett húzószilárdságának mérésénél.

TDK dolgozat

2019



Készítették: Németh Benedek
Zombó Dávid

Konzulensek: Dr. Bögöly Gyula
Dr. Vásárhelyi Balázs
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Absztrakt	3
2. Bevezetés.....	4
3. A Gránit anyagi tulajdonságai	5
3.1. Szövege:	5
4. A közvetett húzószilárdság vizsgálat háttere [⁴].....	7
4.1. Bevezetés.....	7
4.2. Módszertan [⁵]	10
4.3. Hátér [⁶]	11
4.3.1. Feltételek	11
4.3.2. Fogalmak	13
4.3.3. A közetek repedésének kezdőpontja	14
5. Mérési eljárások, szabványok.....	16
5.1. Magyar Szabvány Közvetett húzóvizsgálatra [MSZ 18285/2-79] [⁷]	16
5.2. ASTM [⁸].....	17
6. Kutatási eredmények	20
6.1. Vizsgálatunk menete	20
6.2. Vizsgálatunk eredményei	21
6.2.1. Mérethatás nyomószilárdsági vizsgálat esetén	23
6.2.2. Mérethatás húzószilárdsági vizsgálat esetén	24
6.2.3. Mérethatás összegzése.....	27
6.2.4. Rugalmassági modulus mérése és kiértékelése	29
6. Összegzés	31
7. Köszönetnyilvánítás	32
8. Hivatkozások listája	33
9. Mellékletek.....	35
9.1. Húzóvizsgálat jegyzőkönyvei.....	35
9.2. Nyomóvizsgálat jegyzőkönyvei	92

1. Absztrakt

Tudományos kutatásunkban a kétféle gránit húzószilárdságát vizsgáljuk különböző átmérők függvényében. A régi magyar szabvány (EN 1926:2006 (E)) és az Eurocode (EC1) meghatározza, hogy húzószilárdság mérése esetén a henger palástjának és az átmérőjének aránya 1:1 legyen. A húzószilárdság becslését adott méret függvényében határozza meg. Azonban feltételezhető, hogy a mérethatás valamint az anyagi hibák eloszlásának következtében egyes építőköveknél a nagyobb méretű próbatestek szilárdsága alacsonyabb, mint a kisebb méretű próbatesteké.

A magyar mérnöki gyakorlatban nagy igény van a mérethatás vizsgálatára, ugyanis számos vizsgálat során nincs lehetőség a szabványban előírt 50 mm -s 1:1-es arányú fűrt minták vételezésére.

Laboratóriumi kutatásunk fő célja, hogy megvizsgáljuk, hogy van-e bármilyen összefüggés a kisebb átmérőjű fűrt próbatestek húzószilárdsága és a szabványos próbatestek húzószilárdsága között.

Investigation of dimensional effect in measuring the indirect tensile strength of rocks.

In our scientific research, we investigated the tensile strength of two types of granite as a function of different diameters. The old Hungarian standard (EN 1926: 2006 (E)) and the Eurocode (EC1) stipulate that the ratio of the circumference of the cylinder to the diameter must be 1: 1 when measuring the tensile strength. Estimate the tensile strength for a given size. However, due to the size effect and the distribution of material defects, it is assumed that the strength of larger specimens is lower than that of smaller building blocks.

In the Hungarian engineering practice there is a great need for dimension testing as many drilling tests do not allow the standard 50mm-1: 1.

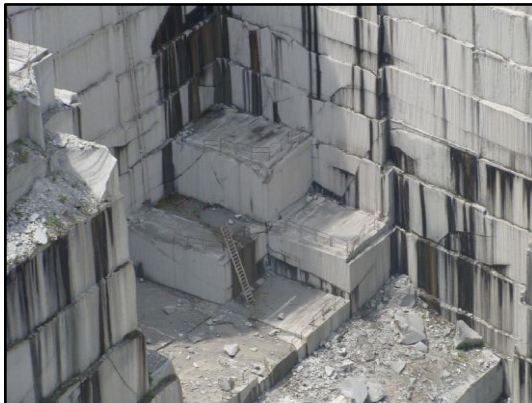
The main purpose of our laboratory research is to investigate the relationship between the tensile strength of smaller diameter drilled specimens and the tensile strength of standard specimens

2. Bevezetés

Laboratóriumi méréseink keretében kétféle gránittal (G602 jelű szürke és G636 jelű élénk vörös) dolgoztunk. A mintáinkat a Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumától kaptuk. A kőzetek származási helye Kína, Xiamen város melletti bányák.



1. ábra. Xiamen város melletti
gránitbányák, Kína [1]



2. ábra. Xiamen város melletti
szürke gránitbányák, Kína [1]



3. ábra. Xiamen város melletti
vörös gránitbányák, Kína [1]

A mérnökgeológiai gyakorlatban idáig csak a nyomószilárdság konvertálására volt mérethatás összefüggés. Már régóta nagy igény volt, hogy húzóvizsgálatra is legyen egy hasonló mérethatás összefüggés, ugyan is számos olyan helyzet van a mindennapi gyakorlatban, hogy nem tudunk 50 mm-es szabványos mintát vételezni, csak kisebbet (pl.: lapburkolatok, szegélykövek, homlokzatok vizsgálata esetén).

Laboratóriumi méréseink keretében a 91 fűrt próbatestnek határoztuk meg a húzó- és nyomószilárdságát. Három különböző átmérőt alkalmaztunk, a szabványos 50 mm -est, hogy legyen referenciánk, valamint 37,45 mm -est és 33,05 mm -est. A henger alakú mintáink minden esetben 1:1-es arányúak voltak.

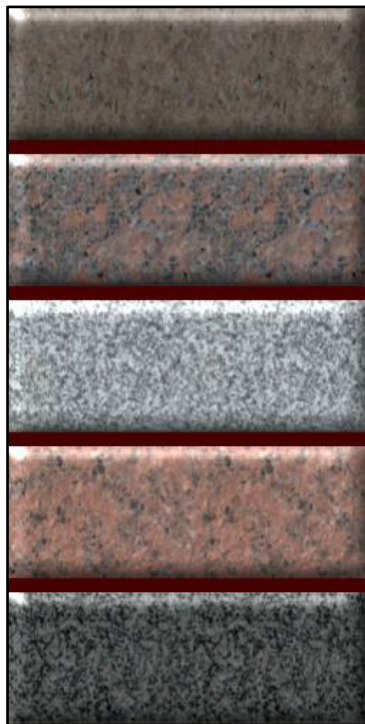
A különböző átmérők segítségével vizsgáltuk a mérethatás változását, vagyis a húzószilárdság és a rugalmassági modulus változását a különböző méretű próbatestek között.

Tudományos diákköri kutatásunkban részletezzük a méréseink és a tapasztalataink eredményét.

3. A Gránit anyagi tulajdonságai

A világon a leggyakoribb mélységi magmás kőzet a gránit. Körülbelül 300 millió éve keletkeztek a Karbon időszakban. A magmakamrában a forró kőzetolvadék megszilárdulása folyamán alakul ki kristályos szemcsés kőzetszövege. A ásványiszemcsék mérete a magma kihűlésének sebességétől függ: minél lassabban hűl ki, annál nagyobbak a kristályok.

3.1. Szövege:



4.ábra. Xiamen város
melletti vörös
gránitbányák, Kína [1]

[2] Viszonylag könnyű, szilárd, durvakristályos kőzet. Három fő ásványa: az áttetsző, szürkés kvarc, a fehér vagy sárga plagioklász (oligoklász, illetve albit) és a rózsaszínű vagy fehér káliföldpát (ortoklász, néha mikrolin) többnyire nagyjából egyenlő arányban fordul elő benne.

Kevesebb kvarcot tartalmazó változata a granoszienit; a kvarc nélkül, döntően föld földpátokból álló kőzet a szienit. Az olyan gránitot, amelyekben a káliföldpátot plagioklász helyettesíti, plagiogránitnak nevezzük. Színét általában a földpátok határozzák meg.

vörös Színes elegyrészként többnyire csillámokat tartalmaz: gyakrabban biotitot (biotit-gránit), ritkábban muszkovitot

(muszkovit-gránit), esetleg mindkettőt (kétcsillámos gránit, mint például a Magas-Tátrában), néha-néha lítiumcsillámot.

A csillám helyett vagy mellett kőzetalkotó mennyiségig szaporodhat fel benne az amfibol (a leggyakrabban hornblende) is - ilyenkor amfibol-gránitról beszélünk. Jellemző opak ásványa a magnetit (titanomagnetit). A színes és opak ásványok együttes mennyisége 5% körüli; ha ennél kevesebb, a gránit leukokrata, ha ennél több, a gránit melanokrata.

Ha még több benne a színes és opak ásvány, továbbá kevesebb a kálföldpát és több, bázikusabb a plagioklász, úgy a kőzetet granodioritnak nevezünk: mint neve is mutatja, ez a gránit és a diorit közötti összetételű, átmeneti kőzet.

Leggyakoribb akcesszórius ásványai: apatit, fluorit.

Ritkább akcesszórius ásványai: andaluzit, berill, topáz, epidot, klorit, pirit, kalcit, kordierit, titanit, leukoxén, cirkon, turmalin (turmalin-gránit), hematit, kassziterit, grafit; nagyon ritka az augit.

Az iparban történő alkalmazása rendkívül kedvelt már az őskortól kezdve, ugyanis nagy szilárdság, időtállóság, jó ütési és kopási ellenállóképesség, valamint homogenitása miatt fagyállóság is jellemezi. Napjainkban leggyakrabban a szobrászatban, burkolatok- lábzetatok- és sírok készítésénél használják. De rendkívül népszerű az út és vasútépítésben is.

Mi is azért választottuk ezt a fantasztikus kőzetet, ugyanis rendkívül érdekes az ásványi összetétele és a különböző igénybevételekre való viselkedése. Valamint a rendkívül gyakori alkalmazása miatt, úgy éreztük, hogy aktuális lenne a húzóvizsgálat mérethatását vizsgálni.

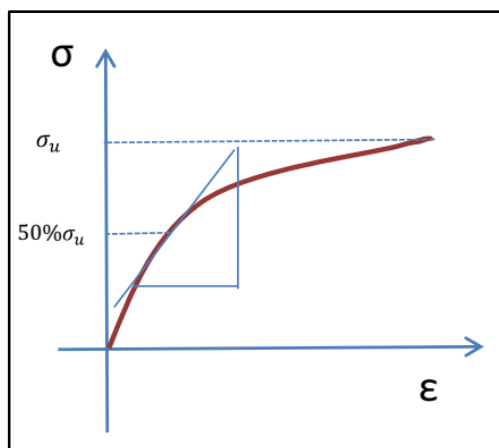
4. A közvetett húzószilárdság vizsgálat háttere [4]

A kőzetek elasztikus tulajdonságait, ideértve a Young-féle modulust (rugalmassági modulus) és a Poisson-tényezőt, általában egytengelyű nyomószilárdság vizsgálattal (UCS) határozzuk meg, míg a húzószilárdságot közvetlen vagy közvetett (brazil) húzóvizsgálattal kapjuk meg. A tudományos diákköri értekezésünk keretében egy továbbfejlesztett vizsgálati eljárással, az úgynevezett módosított brazil húzóvizsgálattal (MBT) foglalkozunk, mely vizsgálati eljárással egyszerre tudunk mérni a húzószilárdságot, a rugalmassági modulus is.

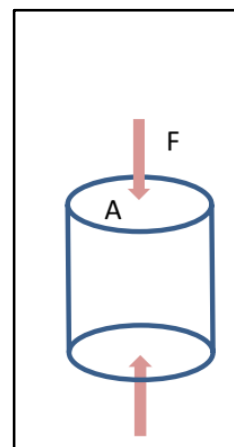
4.1. Bevezetés

A kőzetek elasztikus tulajdonságait, ideértve a rugalmassági modulus és a Poisson-tényezőt is, általában 2:1 magasság-átmérő arányú próbatestek nyomószilárdság vizsgálatából lehet megkapni.

Az 5. é a 6. ábra egy tipikus feszültség-alakváltozás vizsgálat eredményét mutatja, UCS módszer esetén.



6. ábra. Feszültség-alakváltozás diagram. [4]



5. ábra. Nyomószilárdság vizsgálat sematikus ábrája. [4]

Számos módszerrel határozható meg egy kőzetnek a Young-modulusa. Általában ezt egytengelyű nyomószilárdsági vizsgálattal határozzuk meg, mely vizsgálat elvégzésére nemzetközi ajánlást az ASTM (ASTM D7012-14, 2014). A széles körben használt rugalmassági vagy érintő modulus arányos az egyirányú nyomószilárdsággal. Ezért a rugalmassági modulus/egytengelyű nyomószilárdság hányados is jellemzi a kőzetminőséget, illetve sok esetben ezen arányszám ismerete elengedhetetlen a különböző tervezési

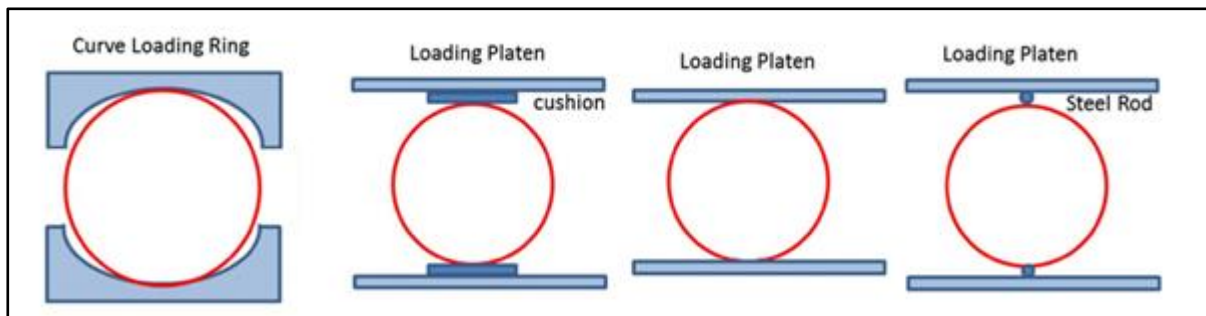
feladatoknál. Az eddigi vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy víz hatására ez az arányszám nem változik (Deere 1969).

A szilárd testek mechanikájában a feszültség – alakváltozás meredekségét nevezzük érintő modulusnak. Az átlagos modulus az érintő modulusok átlaga.

A Poisson tényező a keresztirányú- és a hosszirányú deformáció hányadosa.

A brazil teszt, vagy más néven közvetett húzó vizsgálat vagy hasító vizsgálat az 1940-es évek óta használják különböző anyagok húzószilárdságának meghatározásához, beleértve a kőzeteket és a betonokat is.

A brazil vizsgálat során két, egymással szemben elhelyezkedő koncentrált egytengelyű kompressziós terhelést adunk a mintára. A tipikus közvetett húzószilárdság mérésekor 4 fajta terhelési módszert alkalmazhatunk. Ezt mutatja a 7. ábra:



7.ábra. Brazil vizsgálat terhelési esetei. [4]

Számos kutató foglalkozott már a témával korábban

- Hondros (1959): kifejlesztette e teljes feszültségű megoldást henger próbatestekre véges terhelésnél és alternatívát javasolt a Poisson – tényező és a Young-féle modulus meghatározására a próbatest középpontjában keletkező feszültségek számításával és a deformáció mérésével. [11]
- Headley (1998): összefüggéseket fogalmazott meg a rugalmassági modulus és a Poisson-tényező becslésére, ha a terhelések sáv szerűen adódnak a próbatestre. Mindkét esetben a Young-modulust és a Poisson hányadost numerikus módszerrel, és a központos deformáció kapott teljes deformációk x- és y irányban. [12]
- Amadei (1983): közzétették a zárt formájú megoldást a feszültségek és deformációk elemzésére, ahol egy anizotróp anyagú lemez átlósan vonal vagy sáv szerűen biztosítja a terhelést. Kiszámolták a rugalmas állandókat és kőzetek húzószilárdságát, amely

- ideálisan közelíthető, mint lineárisan rugalmas, homogén, ortotróp vagy keresztirányban izotóp continuum. [13]
- Chau and Wei (2001): 3D analitikai megoldást javasolt a hengerekben a feszültség eloszlásának elemzésére brazil tesztelés során. [14]
 - Wang (2004): kidolgozott egy közelítő megoldást a Young-modulus számolásához, a húzószilárdság és a törési szívósság meghatározásához a brazil vizsgálat keretein belül. A modellben a Young-modulust a terhelés – elmozdulás függvényében lehet leolvasni. Wang modelljének a legnagyobb hátránya, hogy a Poisson-tényezőt nem lehet meghatározni közvetlenül. [15]
 - Ye (2009): analitikai megoldást és kísérleti módszert javasolt a rugalmassági modulus meghatározása brazil próbatesteken. Két feszültségmérőt rögzítettek a minta közepére, hogy mérjék a feszültséget vízszintes és függőleges irányban és egy erőmérőt használtak az erő rögzítéséhez. A Young-modulusát közvetlenül a közvetett húzószilárdság vizsgálatából nyerjük. A Poisson-féle arányszámot külön kell meghatározni az egyirányú nyomószilárdsági vizsgálat alapján. [16]
 - Nakashima (2013): Közzétett egy részecskeáramlási törvényt a brazil vizsgálat terhelési és repedési körülményeinek modellezésére. [17]
 - Serati (2013): analitikai megoldást fejlesztett ki egy három dimenziós tárcsa modellezésére, melyet brazil és pont szilárdsági vizsgálatnak vetették alá a kettős Fourier sorozat módszerével. [18]
 - Kwok and Duan (2015): Kétdimenziós diszkrét elem módszerrel vizsgálták az anizotróp kőtárcsák törési folyamatát brazil tesztkörülmények között. A kőzetmátrixot az érintkezésükhöz kötött merev részecskék együtteseként reprezentálják, és a belső anizotrópia jelenlétét kifejezetten modellezik az egyedi, sima kapcsolatok bevezetése révén. [19]
 - Winograd (2015): bemutatta a numerikus szimulációkon alapuló módszertant és képanalízis (vékony részek és/vagy mikrográfia) a brazil vizsgálatok mechanikai tulajdonságaik modellezésére. [20]
 - Li (2017): brazil húzószilárdsági vizsgálatokat is végzett a szerves gázpala húzószilárdságának mérésére, eredményeit nem a szokásos szimulációkból nyerte. [21]

4.2. Módszertan [5]

A brazil vizsgálat egyszerű közvetett vizsgálati módszer különféle szilárd anyagok; kőzetek és kőzetszerű anyagok húzószilárdságának meghatározására. Ebben a vizsgálatban két acél befogópofa, hidraulika segítségével az átmérő mentén összenyomja a próbatestet, mely húzási tönkremenetelt fog szenvedni. A nyomás a függőleges átmérő mentén normál húzófeszültségeket indukál, amelynek értéke lényegében konstansnak tekinthető függőleges irányban, ahogy ez a 8. ábrán látható. A közvetett húzószilárdságot általában abból a feltételezésből számítjuk, hogy a tönkremenetel a legnagyobb húzószilárdság pontján, azaz a próbatest középpontjában jön létre. A húzószilárdságot a következő képletből határozhatjuk meg a brazil vizsgálat esetén:

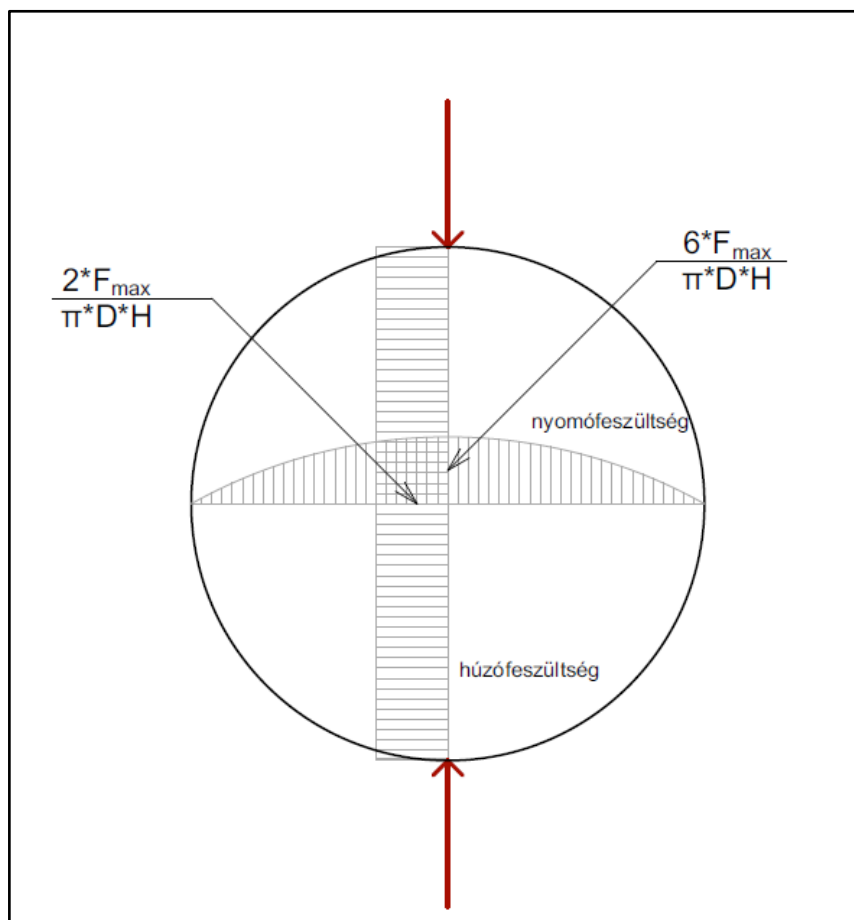
$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} = 0,636 \frac{P}{Dt} [Mpa]$$

ahol P a terhelés mértéke a tönkremenetel pillanatában (N), D a Próbatest átmérője (mm), t pedig a próbatest közepén mért átmérő (mm).

4.3. Háttér [6]

4.3.1. Feltételek

A brazil vizsgálat során feltételezzük, hogy egy henger alakú próbatestet egyenletes nyomással terhelünk az átmenő mentén. A vizsgálatban a befogó pofák és a minta közötti súrlódási feszültségeket elhanyagoljuk. A mérés során feltételezzük, hogy a húzófeszültséggel egyidejűleg keletkező nyomófeszültség értéke kisebb, így a tönkremenetel húzásra fog megtörténni. Ennek a feszültség eloszlását szemlélteti a 8. ábra:



8.ábra. Brazil vizsgálat,
feszültség eloszlás.

A mérés során a vizsgált kőzetet homogénnek, izotrópnak és lineárisan rugalmasnak feltételezzük.

A vizsgált próbatestek oldal-átmérő aránya 1:1 a hajdani Magyar Szabvány és a hatályban lévő ASTM nemzetközi javaslat alapján is.

Általunk vizsgált próbatetek:

- 19 darab 50,00 mm-es 1:1 arányú próbatest
- 23 darab 37,45 mm-es 1:1 arányú próbatest
- 29 darab 33,05 mm-es 1:1 arányú próbatest



9.ábra. Brazil vizsgálat,
próbatest elhelyezkedése a
törőgépből



10.ábra. Húzóvizsgálat
próbatestjei.



11.ábra. Húzóvizsgálat
próbatestjei.

4.3.2. Fogalmak

A brazil vizsgálati módszert széles körben alkalmazzák a mérés egyszerűsége és gyorsasága miatt, a különböző kőzetek és a kőzetekhez hasonló anyagok közvetett húzószilárdságának mérésére. Az ISRM által javasolt brazil mérési technika alátámasztja azon kísérleti tényeket, hogy a biaxiális feszültségek nem nagyobbak az egyaxiális húzószilárdságnál. Ilyenkor az egyik fő feszültség húzó, a másik nyomó, amelynek nagysága nem haladja meg a húzófeszültség háromszorosát (ISRM 1978). Az évek során kialakultak bizonyos észlelések a brazil vizsgálattal kapcsolatban; például a próbatestnek a kompressziós átmérő mentén, kell meghasadnia, ugyanis ez mutatja meg, hogy a tönkretételt a húzás okozta. A repedéseknek, majd a törésnek a henger keresztmetszetének középső részén kell kezdődnie, ugyanis ott maximális a húzófeszültség (Colback 1966). Többek között azt is megfigyelték, hogy a nyomófeszültség-koncentráció alakulhat ki a befogó pofák közvetlen környezetében így nemzetközi mérési eljárások javasolják az ívelt acél pofák vagy kartonpárnák használatát a ennek elkerülése érdekében. (ISRM 1978; ASTM 2008).

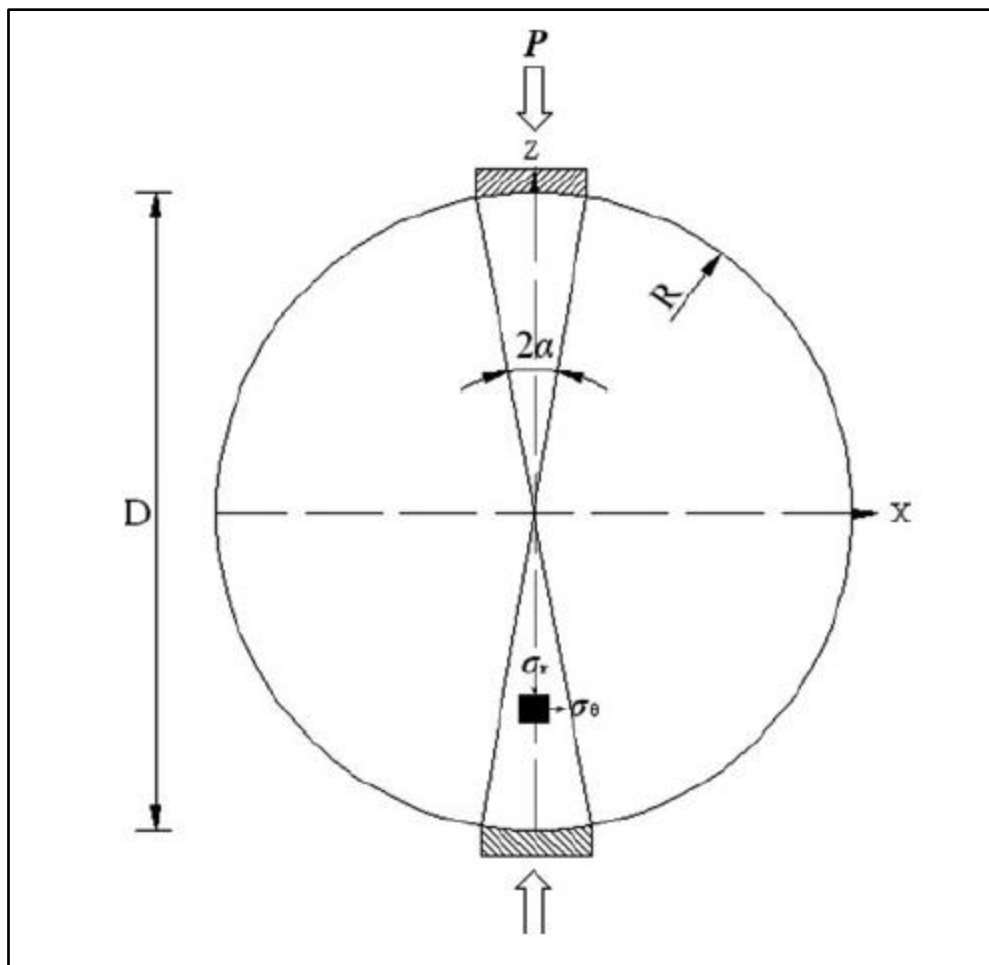
A kőzetmechanika tudományága a brazil vizsgálattal kapcsolatos kutatásait az elmúlt 70 évben végezte részletesen, amikor is a következő öt kérdésre keresték a választ.

- Miért lehet a brazil vizsgálatot alkalmazni a kőzet húzószilárdságának meghatározására?
- Mi a valós feszültség eloszlása egy próbatesten belül?
- Hol fog az első repedés megjelenni?
- Hogyan lehet megállapítani és modellezni a repedés várható terjedését?
- Hogyan lehetne javítani a vizsgálati módszert a pontosabb vizsgálati eredmények, hogy pontosabb vizsgálati eredményeket és egyéb hasznos információkat szerezzünk a sziklákról?

Sok vizsgálatot követően kimutatták, hogy a brazil vizsgálati módszer egy picit túlbecsüli a kőzet húzószilárdságának valós értékét. Azonban ez az eltérés a biztonság javára közelít, így ennek ellenére a brazil vizsgálat továbbra is népszerű módszer a geológusok körében a kőzetek húzószilárdságának meghatározására; ugyanis a minta előkészítése és a kísérleti eljárás könnyen, gyorsan és eredményesen elvégezhető.

4.3.3. A kőzetek repedésének kezdőpontja

Megállapították, hogy az egytengelyű koncentrált nyomóerő hatására az első mikro repedések az erő irányával párhuzamosan alakulnak ki, mely normál síkban terjed tovább az erő növekedésével arányosan. Végül a minta két részre válik szét a tönkremenetel pillanatában. Hawkes és Mellor (1970) számos kísérlet következtében bebizonyította, hogy a végső törési felület még nagyon pontos mérések során sem tökéletes, a kőzetben lévő ásványi eloszlás miatt. Rendkívül homogén kőzeteknél figyelhető meg leginkább a két tönkrement minta párhuzamossága, de meg ott is találunk eltéréseket a sítól. Azonban a központi repedés nem ad információt a repedés kezdeti helyzetéről. A kutatók már régóta kíváncsiak voltak arra, hogy tudják, hol kezdődik az első repedés és az hogyan terjed. Az egyenletes terhelés átmérő mentén a végtelen ívekre osztható, melyet a 12. ábra is mutat.



12.ábra. Repedés kialakulása a terhelés hatására. [6]

ahol P az alkalmazott terhelés nagysága [N], R a próbatest sugara [mm], t a próbatest magassága, 2α a szögtávolság, amelyen keresztül feltételezzük, hogy P sugárirányban eloszlik. A húzó feszültséget pozitívnak tekintik. Elméletileg, Grif-ötödik kritériuma szerint a próbatest pontos középpontja az egyetlen repedés-kezdeménnyezési pont, ahol teljesülnek az egytengelyű szilárdsággal megegyező értékű húzó képesség feltételei.

Ahol a fő feszültség értéke a következő:

$$\sigma_r = -\frac{P}{\pi R t} \left\{ \frac{\sin 2\alpha}{\alpha} + 1 \right\} \approx -\frac{3P}{\pi R t}.$$

A vizsgált anyagok esetében lineáris deformációs viselkedést, alakváltozást feltételezünk a következő képlet alapján:

$$\varepsilon_{ax} = \frac{e_{ax}}{D} * 100 = [\%]$$

Ahol e_{ax} az axiális eltolódás értéke [mm], D az átmérő nagysága [mm].

$$\sigma_\theta = +\frac{P}{\pi R t \alpha} \left\{ \frac{[1 - (r/R)^2] \sin 2\alpha}{1 - 2(r/R)^2 \cos 2\alpha + (r/R)^4} - \tan^{-1} \left[\frac{1 + (r/R)^2}{1 - (r/R)^2} \tan \alpha \right] \right\},$$
$$\sigma_r = -\frac{P}{\pi R t \alpha} \left\{ \frac{[1 - (r/R)^2] \sin 2\alpha}{1 - 2(r/R)^2 \cos 2\alpha + (r/R)^4} + \tan^{-1} \left[\frac{1 + (r/R)^2}{1 - (r/R)^2} \tan \alpha \right] \right\},$$

5. Mérési eljárások, szabványok

5.1. Magyar Szabvány Közvetett húzóvizsgálatra [MSZ 18285/2-79] [7]

Hatálya: 1979.10.01. – 2019.08.01.

Vizsgálati anyag

A vizsgálatot az MSZ 18282/4 szerinti, $d = 5,0 + 0,5$ cm átmérőjű, 1:1 átmérő – magasság arányú hengeres próbatesteken elvégezni. A próbatesteket az MSZ 18282/1-3 által előírt vizsgálati állapotban kell vizsgálni.

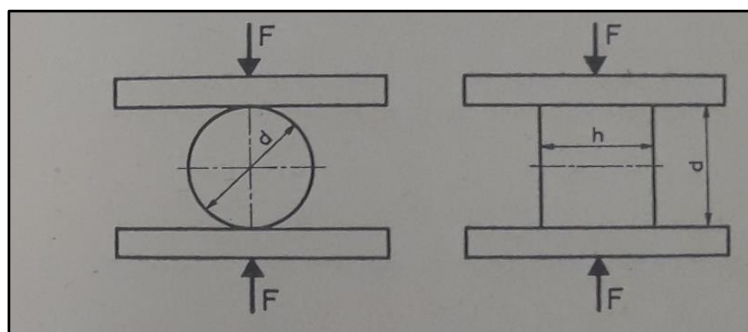
Vizsgáló berendezés

A vizsgálatot az MSZ 104/2 szerinti 1%-os pontosságú laboratóriumi nyomógépen kell végrehajtani.

A nyomógép terhelési tartománya olyan legyen, hogy a várható törőerő a nyomógép teljes terhelési tartománynak legalább 1/3-át elérje. A várható törőerőt tájékoztató kísérletekkel kell meghatározni.

Vizsgálat

A henger alakú próbatestet a nyomógép nyomólapjai közé kell elhelyezni a 13. ábra szerint.



13.ábra. Magyar szabvány szerinti terhelésetek.

A nyomógép teherátadó lapjai és a próbatest alkotói közé teherközvetítő elemet elhelyezni, kenőanyagot felhordani nem szabad.

A terhelést folyamatosan és egyenletesen, legfeljebb 1,5 MPa /s sebességgel, törésig kell fokozni. A törőerő (F_t) értékét fel kell jegyezni.

Szemmel látható irányítottság esetén a vizsgálatot mind azzal párhuzamosan, mind arra merőlegesen kialakított próbatesteken el kell végezni.

Eredmény kiszámítása

A húzószilárdságot (σ_t) MPa-ban az alábbi képlettel kell kiszámítani:

$$\sigma_t = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_t}{d \cdot h} = [MPa]$$

ahol:

F_t a törőerő (N),

d a próbatest átmérője (mm),

h a próbatest magassága (mm)

A vizsgálati eredmény

Egy vizsgálat eredménye a próbatest húzószilárdsága 0,1 MPa pontossággal.

Mértékadó eredmény azonos származású és közetfizikai állapotú legalább öt próbatest húzószilárdságának számtani átlaga 0,1 MPa pontossággal.

5.2. ASTM [8]

Hatálya: 1977. 10. 01-től

Vizsgálati kritériumok

a) A próbatest tengelyirányú terhelésének méréséhez megfelelő gépet kell használni. Mely megfelelő sebességgel képes terhelni. Adott időközönként ellenőriztetni kell a gépeket, hogy megfelelnek e az a hatályban lévő nemzeti követelményeknek (ASTM E4).

b) A henger alakú fém nyomópofa minta végéhez kell illeszteni, olyan módon, melyek révén a közvetlen, egytengelyes húzóterhelés alkalmazható. A szabvány meghatározza, hogy a fém

nyomópofák átmérője nem lehet kisebb, mint a próbatest átmérője, és nem haladhatja meg a próbatest átmérőjét több mint 2 mm-rel. A pofák vastagsága legalább 15 mm kell, hogy legyen.

Eljárás menete

a) A próbatesteket vizes mechanizmusú vágóval kell fúrni és vágni. A hengeres felületnek mentesnek kell lennie minden szennyeződéstől (pl.: szerszámnyomok). A mintadarab vastagságában a szabálytalanságok nem haladhatják meg a 0,025 mm-t. A végfelületeknek párhuzamosnak kell lenniük.

b) A próbatesteknek szabályos kör alakú hengereknek kell lenniük, amelyek magasság és átmérő aránya 1:1 és az átmérő nem lehet kisebb, mint 54 mm. Valamint a kőzetben található legnagyobb átmérőjű ásvány nem lehet nagyobb, mint a KM 1/10-e.

c) A próbatesteknek simának és szabálytalanságoktól mentesnek kell lenniük. Egyenesen a minta teljes hosszában 0,1 mm-nél nem lehet nagyobb eltérés.

d) A próbatest átmérőjét 0,1 mm-es pontossággal meg kell mérni a két átmérő átlagolásával, melyet egymásra merőlegesen kell elvégezni. A további számításokban ezzel az átlagos átmérővel kell számolni. A próbatest magasságát 1,0 mm-es pontossággal kell meghatározni.

e) A mintákat legfeljebb 30 napig lehet tárolni azért, hogy a természetes víztartalmuk a lehető legnagyobb mértékben megmaradjon a vizsgálat elvégzéséig. Az előkészítést követően a mintákat a vizsgálat napja előtt 5-6 napig +20 °C ~ + 2 °C és + 50% - + 5% páratartalmú környezetben kell tárolni. Ilyenkor érdemes a kőzetminták víztartalmának megmérése.

F) A fém befogó pofákat a mintákhoz oly módon kell rögzíteni, hogy a pofák függőleges tengelyeinek meghosszabbítása a próbatest súlypontját metsszék.

g) A próbadarabot folyamatosan állandó sebességgel kell terhelni úgy, hogy a tönkremenetel 15-30 másodpercen belül megtörténjen. Az ajánlott a terhelési sebesség 200 N / s.) A mérés közben egy mérőműszerrel rögzíti és ábrázolni kell az Erő/Elmozdulás arányát, melyről leolvasható a törőerő maximális- és az axiális elmozdulás értéke. Egyes esetekben a terhelés hatására korai repedések jelennek meg a keresztmetszeten, melyek teherbíráscsökkenést eredményeznek. Azonban, ha ez a repedés nem folyamaton a teljes felületen a teherbírás tovább növekedhet. Az elsődleges teherbírásvesztés és a végső teherbíró képesség között legfeljebb 5% lehet.

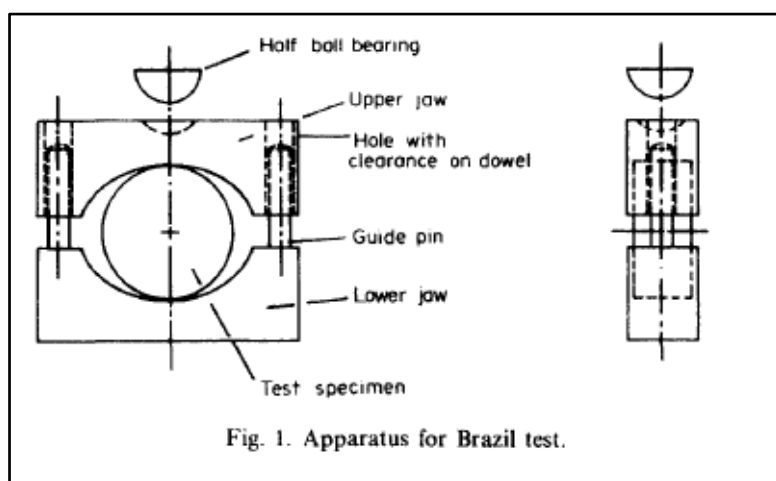
h) A próbatest maximális terhelését 1% -on belül kell rögzíteni.

i.) Minimálisan öt próbatest törése javasolt, azonban a darabszám körülmények függvényében egyedi belátás szerint változtatható.

Számítások

A minta húzószilárdságát σ_t -t az alábbi képlettel kell meghatározni:

$$\sigma_t = \frac{2F_{max}}{\pi DH} = 0,636 \frac{F_{max}}{DH} [Mpa]$$



13.ábra. ASTM szerinti terhelési
eset módja.[8]

Beszámolás az eredményekről

a) A kőzet litológiai leírása.

b) A terhelési tengely tájolása az anizotropia szempontjából. [Vagyis, hogy a minta kristályrácsszerkezete az egyes irányokban, az eltérő rácspontsűrűség miatt (a fizikai tulajdonságaik pl. vezetőképesség, keménység stb.) változik.

c) A minta forrásának meghatározása, ideértve: földrajzi elhelyezkedést, mélységet és tájolást, a mintavétel dátumait, valamint a tárolási előzményeket és a környezetet.

d) A vizsgált minták száma.

e) A minta átmérője és magassága.

- f) Víztartalom és a telítettség mértéke a vizsgálat idején.
- g) A vizsgálat időtartama.
- h) A vizsgálat dátuma és a feszültség típusa.
- i). A tönkremenetel módja és rövid leírása, pl. törésikép iránya és helye.
- j) Egyéb megfigyelések vagy rendelkezésre álló fizikai adatok, például a fajsúly, a porozitás és az áteresztőképesség.
- k) Az egyes minták húzószilárdsága, három számjegyre kerekítve. A feszültség és az erő mértékegysége a pascal (Pa), kilopascal (kPa) vagy a megapascal (MPa).
- l) Ha bizonyos esetekben szükség van a fenti előírástól eltérő próbatestek vizsgálatára akkor azt fel kell jegyezni a vizsgálati jelentésben.

6. Kutatási eredmények

6.1. Vizsgálatunk menete

A törési eredményeink kiértékelését a Microsoft Excel program segítségével végeztük (melyek eredményeit mellékletben csatoltunk).

Elsőként minden egyes próbatestnek megmértük és rögzítettük az átmérőjét a magasságát és a súlyát, melyből térfogatot ($V = \frac{D^2\pi}{4} * h$ [cm³]) és sűrűséget ($\rho = \frac{m}{V}$ [$\frac{g}{cm^3}$]) számítottunk. Ezt követően jegyzőkönyvbe vettük, minden egyes próbatestnek a $\sigma - \varepsilon$ -diagrammját, ahol σ -t és ε -t következő képlettel számoltunk, a hatályban lévő ASTM nemzetközi mérési eljárás szerint:

$$\sigma_t = \frac{2F_{max}}{\pi DH} \text{ [Mpa]}; \varepsilon_{ax} = \frac{e_{ax}}{D} * 100 = [\%]$$

Kutatásunkat minél inkább hitelesebben szeretnénk volna elvégezni, így végeztünk tizennyolc darab nyomószilárdsági mérést is a Magyar Szabvány utasításai szerint (MSZ 18285-1:1989). Ennek a vizsgálatnak a során is három átmérővel dolgoztunk (50mm, 37,45mm, 33,05mm), itt azonban nem 1:1 -es oldal aránnyal, hanem 2:1 -es aránnyal, ahogyan azt a szabvány előírja.

Jelen minták esetében is szintén készítettünk jegyzőkönyveket, meghatároztuk a térfogatukat, sűrűségüket, $\sigma - \varepsilon$ -diagramjukat és a rugalmassági modulusukat.



13.ábra. Nyomó vizsgálat próbatestjei.



14.ábra. Próbatest a törőgépből.



15.ábra. Tönkremenetel pillanata.

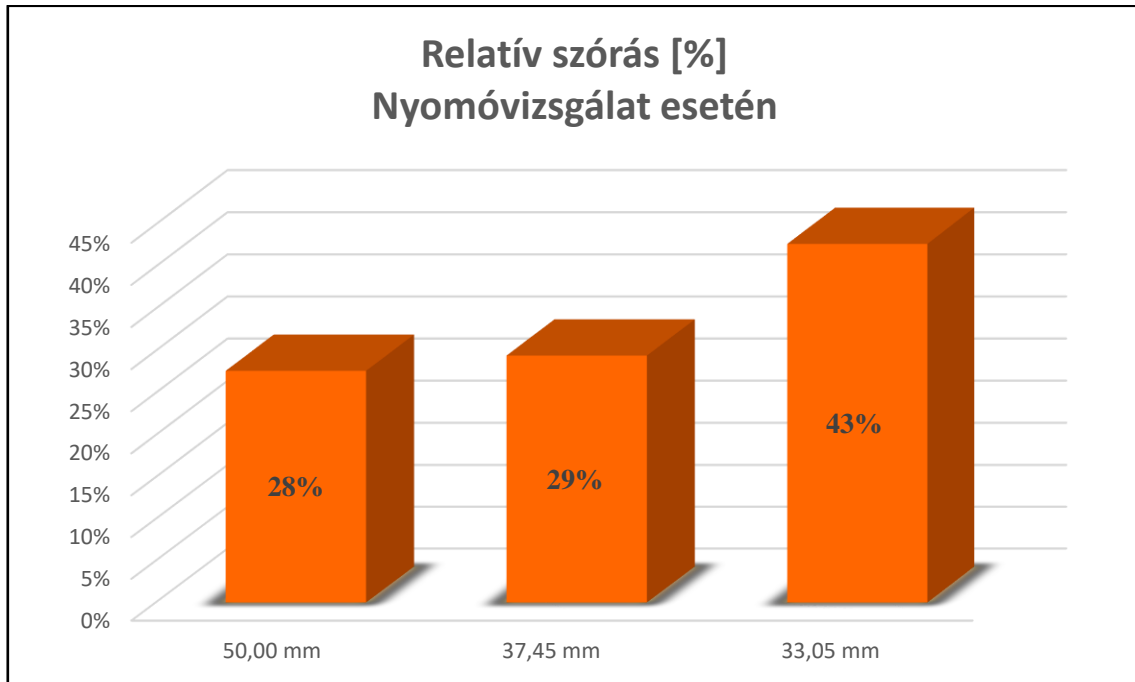
6.2. Vizsgálatunk eredményei

Kíváncsiak voltunk, hogy milyen közel is van dolgunk valójában, ezért kiszámítottuk, mindkét törési mechanizmus szilárdságának relatív szórását a különböző átmérők szerint elkülönítve. Ezt következő táblázat (17. ábra) a húzó- és a nyomószilárdságok átlagos értékét, a szórásnégyzetet és a relatív szórásokértékeit mutatja átmérők szerint elkülönítve.

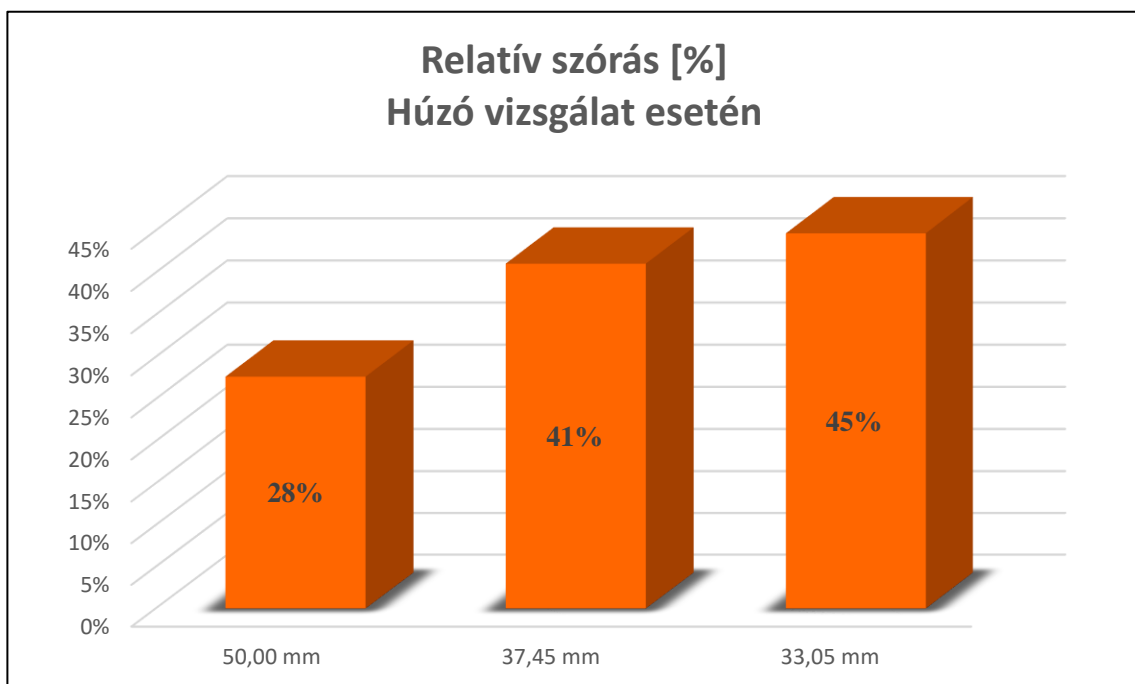
	σ_{avg} [MPa]	Szórásnégyzet	Relatív szórás [%]
H 50,00 mm	6,14	1,70	28%
H 37,45 mm	4,96	2,04	41%
H 33,05 mm	3,80	1,70	45%
Ny 50,00 mm	68,96	19,05	28%
Ny 37,45 mm	65,02	19,14	29%
Ny 33,05 mm	59,27	25,31	43%

16.ábra. Húzó- és a nyomószilárdságok átlagos értékei, a szórásnégyzetet és a relatív szórások értékei átmérők szerint

A következő két oszlopdiaagram (17., 18. ábra) a Nyomóvizsgálat és a húzóvizsgálat relatív szórásait mutatja:



17.ábra. Relatív szóráseloszlása
Nyomóvizsgálat esetén



18.ábra. Relatív szóráseloszlása
húzóvizsgálat esetén

Mindkét oszlopdiagram szépen mutatja, ahogyan csökken a próbatestek mérete úgy növekszik a relatív szórás értéke. Ez azért van, mert a kis átmérőjű próbatestekben az ásványok mérete megegyezik a nagyobb próbatestekben találhatókcal, így sokkal nagyobb a valószínűsége, hogy kis átmérőjű próbatesteknek a szokványostól eltérő húzó szilárdságát kaptuk meg. Ezt a későbbiekben részletezzük.

6.2.1. Mérethatás nyomószilárdsági vizsgálat esetén

[²] Ahhoz, hogy összefüggést tudjunk találni mérési eredményeink között elővettük Hoek & Brown (1980) mérethatás összefüggését. $\sigma_{c50} = \frac{\sigma_c}{(50/d)^{0,18}} = [MPa]$

Ezt az összefüggés 50 mm átmérőjű henger alakú próbatestnek a nyomószilárdságát határozza meg. Ezt a formulát napi szinten használja a szakma oly esetekben, ha valamilyen okból nem tudnak szabványos próbatestet vételezni egy vizsgálat során ($d = 50\text{mm}$, $h = 100\text{mm}$).

Tüzetesen megvizsgáltuk Hoek & Brown képletét és annak pontosságát.

	Átlag σ_c :	Min σ_c :	Max σ_c :	Képlet szórásnégyzete:	20,32
50-es	68,96	38,27	93,30	Relatív szórás:	35%
Képlettel átszámított:	58,37	30,80	92,77		
λ :	85%	80%	99%		

18.ábra. Hoek & Brown képletét szórása

Az általunk végzett statisztikákból megállapítható, hogy a képlet a mi 50 mm-nél kisebb átmérőjű próbatesetjeink esetében átlagosan 85%-os pontossággal becsülte a nyomószilárdságot. A képlet a legkisebb szilárdság esetén 80%-os egyezést mutatott, míg a legnagyobb szilárdság esetén 99%-os volt az egyezés.

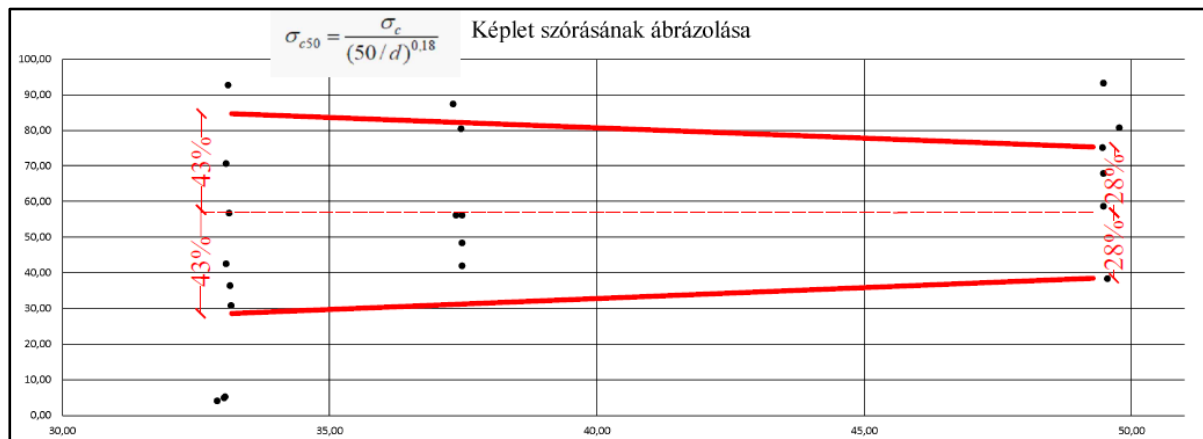
Továbbá megállapítottuk, hogy a képletből kapott eredmények átlagos relatív szórása különböző átmérők esetén 35%.

Az általunk mért 50 mm-es átmérőjű próbatesteknek a nyomószilárdság értékei között a relatív szórás: 28%.

Az általunk használt legkisebb átmérővel (33,05 mm) mért, majd a képlettel átszámított nyomószilárdságok szórása: 43%.

A két százalékos érték közötti növekmény, szintén az ásványok méretének és elhelyezkedésének köszönhető, ahogy az korábban is leírtuk.

A következő ábra a képlet szórását mutatja, a képlettel meghatározott nyomószilárdsági értékek és az átmérők függvényében.



19.ábra. Hoek & Brown képletét szórásának vizuális ábrázolása

6.2.2. Mérethatás húzószilárdsági vizsgálat esetén

[²] Számos mérés és statisztikai elemzésünk után találtunk egy hasonló szemempirikus összefüggést húzóvizsgálat esetére is, mely kisebb átmérőjű próbatesteknek a közvetett húzószilárdságmérésből kapott, húzószilárdsági értékét váltja át egy szabványos próbatest (d = 50 mm, h = 50 mm) húzószilárdságára.

Az általunk elnevezett N&Z formula a következő:

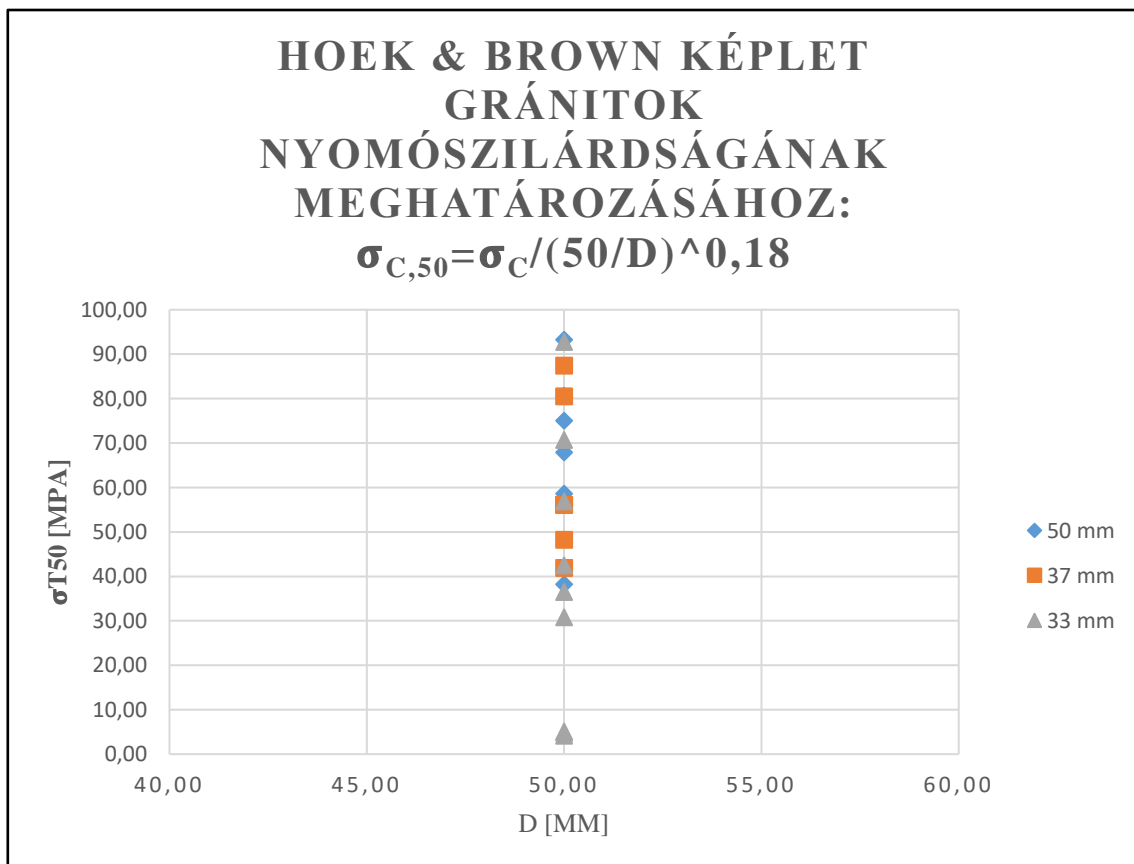
$$\sigma_{t,50} = \frac{\sigma_t}{(4,6/d)^{0,171}} = [\text{MPa}]$$

, ahol σ_t az 50 mm-nél kisebb próbatest húzószilárdsága [MPa], d pedig az 1:1 oldalárányú minta átmérője [mm].

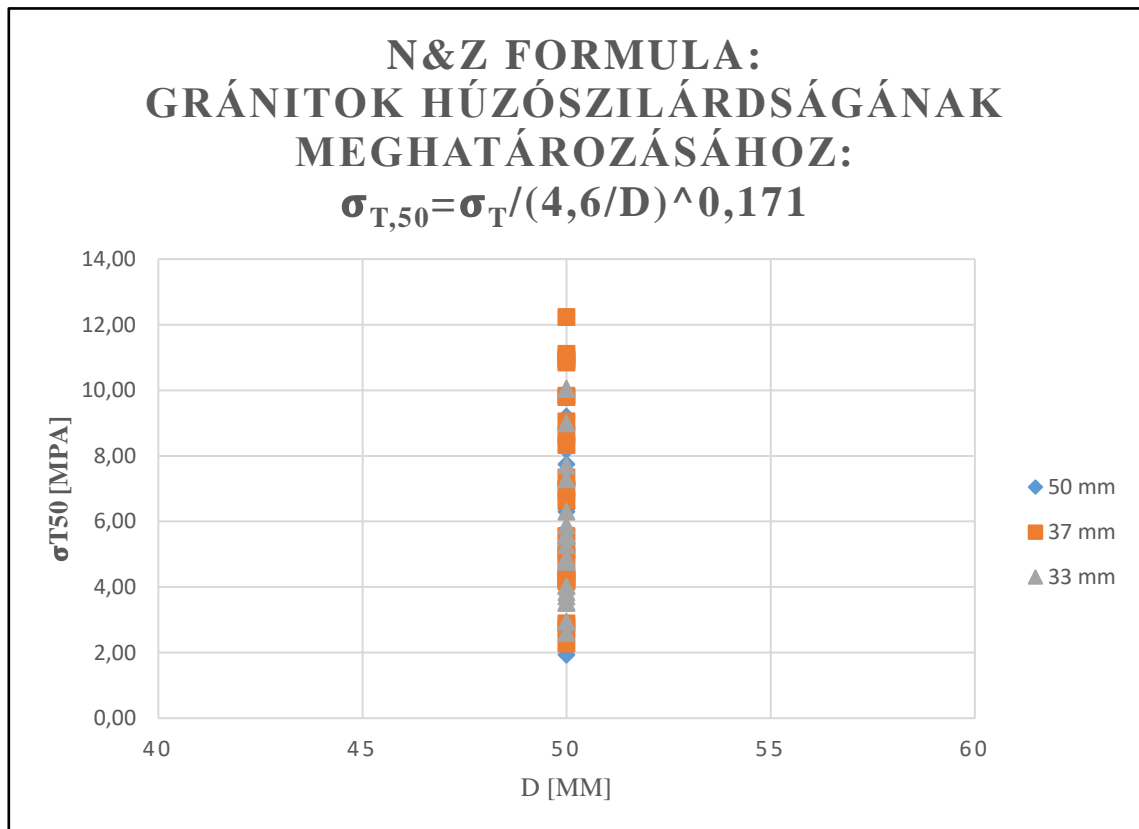
Általunk vizsgált kisebb átmérőjű (37,45 mm, 33,05 mm) próbatestek esetén az átlagos húzószilárdság rendkívül magas egyezést mutatott a szabványos (50 mm) minták átlagos húzószilárdságához képest (6,37-6,37 Mpa).

A formulánk az átváltást követően 46%-os relatív szórást mutatott a húzószilárdsági értékekre. Azt minden egyes használatnál figyelembe kell venni, hogy ez a relatív szórás a kőzetek szórásából ered. Tudjuk, hogy ez a relatív szórás érték nem alacsony, de figyelembe véve azt, hogy a nemzetközi gyakorlatban használt Hoek & Brown képlet használatát követően a relatív szórás értéke 35% volt, mely közvetett nyomóvizsgálatra igaz, közvetett húzószilárdság esetére meglehetősen releváns értéknek számít. Továbbá figyelembe kell venni, hogy jelen összefüggés csak gránitok esetére igaz, melynek kristályos szemcsés szövete van, mely nagyban befolyásolja a méréseket, így ezen összefüggés rendkívül nagy segítség brazil vizsgálatok esetén. Fontos, hogy a képlet használatakor mérnöki megítélés szerint elegendő mennyiségű próbatesttel dolgozzunk. Ahhoz, hogy kielégítő eredményeket kapjunk, mi minimum harminc darab próbatest vizsgálatát ajánljuk átmérőnként.

A következő két diagram (20., 21. ábra) a Hoek & Brown képlet és az N&Z formula hatásosságát mutatja, már a σ_{50} -re történő váltásokat követően.

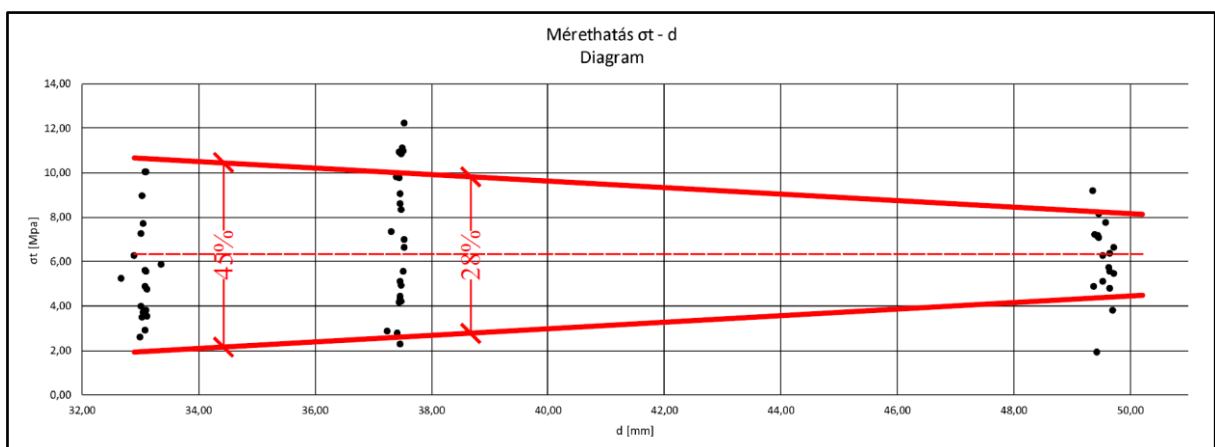


20.ábra. Hoek & Brown képlettel
kapott értékek



21.ábra. Az N&Z formulával
kapott értékek

Ahogy az fentiekben is említettük a formulánk 46%-os relatív szórással határoz meg helyes értéket. Ez az érték természetesen arányosan változik, ahogyan csökken a próbatest mérete. Ezt szeretné szemléltetni a következő ábra, melyen látszik, hogy 37,45 mm-nél ez az érték 28%, 33,05 mm-nél pedig 45%.



22.ábra. Az N&Z formula
relatív szórása

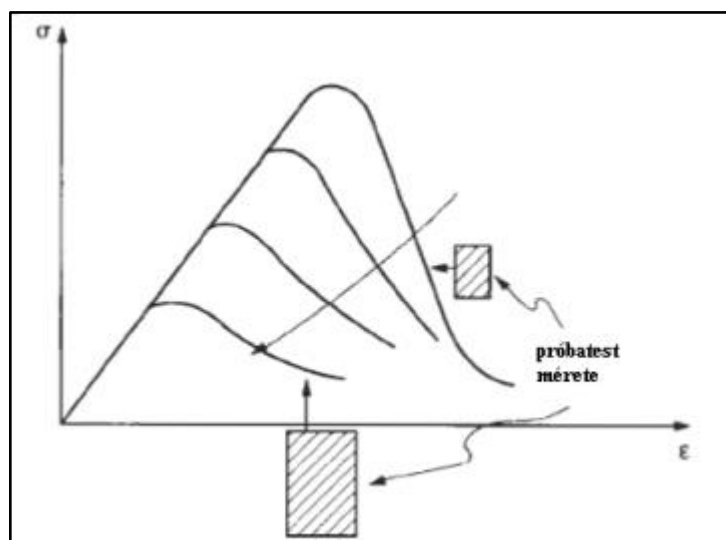
6.2.3. Mérethatás összegzése

Vizsgálataink során kínai bányákból származó gránitból többféle átmérővel fűrt mintákat vettünk, majd a szabványoknak megfelelően alakítottunk ki belőlük közvetett húzószilárdsági vizsgálatnak megfelelő próbatesteket, melyeknek magasság és átmérő aránya 1:1 volt. A következő átmérőket alkalmaztuk: 50,00 mm; 37,45 mm és 33,06 mm.

Méréseink fő kérdése az volt, hogy hogyan változik a mérethatás brazil vizsgálat esetén, ha nem tudunk, illetve nincs lehetőségünk a szabványos próbatest (50 mm) kialakítására.

Azt feltételeztük, melyet a szakirodalom is említ, hogy a méret csökkenésével a szilárdság nőni fog, ahogyan ezt több forrás is megemlítette már. Ennek oka, hogy a kőzetekben található szabálytalanságok, mint például a repedések vagy a légzárványok nagyobb valószínűséggel fordulnak elő nagyobb méretű próbatestek esetén, mint a szabvány által előírt kisebb hengerek esetében.

Méréseink ezt a feltételezést kétségbe vonták, ugyanis ahogy az várható volt a minták szilárdsági értékeinek relatív szórása az átmérő csökkenésével növekedett, míg a szilárdsága a vártakkal ellentétben csökkent. Ez azt jelenti, hogy a szabálytalanságok feltehetően ugyanakkora valószínűséggel vannak jelen az 50 mm átmérőjű próbatestekben, mint az ennél kisebbekben.



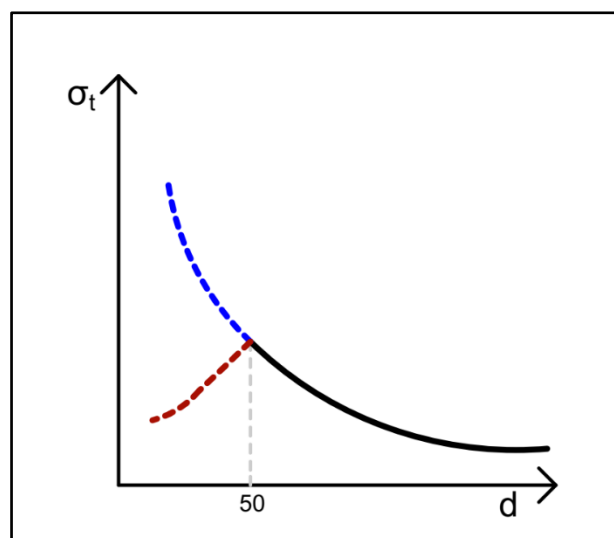
23.ábra. A szilárdság változása a mérethatás függvényében a szakirodalom szerint. [9]

A magyarázat a gránit ásványi összetételére vezethető vissza, mely szerint a henger hasításakor a kialakuló repedések a gyengébb ásványokat "keresik meg", így találva meg a legkisebb energiájú utat a kőzetben keresztül. Mivel a legerősebb ásvány a gránitban a kvarc ($K=7$), amely csak törik, hasadni nem képes, a többi ásvány pedig nem közelíti meg a kvarc keménységét, illetve sokkal jobban hasadnak nála, ezért a törések ezeken az ásványokon keresztül halad. Ezek a gyengébb ásványok a következők: plagioklász ($K=6$), kálföldpát ($K=6$), amfibol ($K=5-6$), biotit ($K=2-3$). Ezek az ásványok a kvarccal ellentétben a gyengébb rácssíkok mentén igen jól hasadnak.

A kisebb próbatestek esetén már nem igaz az érvényben lévő szabvány által leírt feltétel, hogy az ásványok mérete a próbatest átmérőjének maximum a tizede lehet. A szabványos méretű henger esetén ($d = 50$ mm), ez teljesül, míg a 2 kisebb próbatest esetén már ez nem mondható el.

Ennek az a magyarázata továbbá, hogy az ásványi eloszlás miatt valószínűsíthetőleg kevesebb keményebb rész (kvarc ásvány) kerül a fűrt mintába, így annak a valószínűsége, hogy a henger próbatesten áthaladó erő pont gyengébb ásványokat talál meg, magasabb, mint ha a szabványos méretet vagy annál nagyobb átmérőjű próbahengereket vizsgálunk.

Összegzésként elmondható, ahogy a lenti ábrán is látszik, a szabványos méretű próbatestnél nagyobb átmérő esetén érvényesül a mérethatás, míg kisebb átmérőnél a konvencionális mérethatás nem érvényesül.



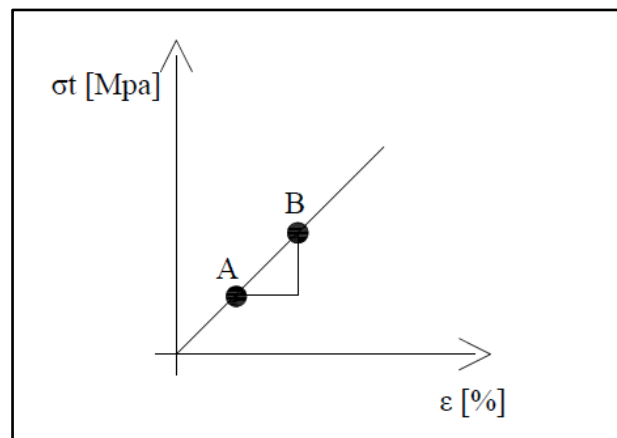
24.ábra. A gránitok húzószilárdsága a mérethatás függvényében a valóságban.

6.2.4. Rugalmassági modulus mérése és kiértékelése

Vizsgálataink során kísérletet tettünk a rugalmassági modulus meghatározására is, a közvetett húzófeszültségből a nyomófeszültség mérésénél számítható rugalmassági modulusra.

A tesztek folyamán a hatályba lévő szabványok betartásával készítettünk 50 mm átmérőjű, 100 mm magas henger alakú próbatesteket a nyomóvizsgálathoz, valamint 1:1 arányú henger próbatesteket a közvetett húzóvizsgálathoz, ismertebb nevén a brazil vizsgálathoz.

A törések után a törőerő és a függőleges elmozdulás mérésével kiszámítottunk a húzófeszültséget és az axiális alakváltozást, majd e két paraméter egy diagramon ábrázoltuk. A σ - ε ábráról meghatároztuk a rugalmassági szakaszok érintőjének meredekségét, mely megadta a rugalmassági modulus, az alábbi képlettel:



25.ábra. A rugalmassági modulus meghatározása az érintő mentén.

$$E = \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\varepsilon_B - \varepsilon_A}$$

A képlet segítségével meghatároztuk a rugalmassági modulus nyomó- illetve húzóvizsgálathoz. Mivel az építőmérnöki gyakorlatban a közvetett húzóvizsgálatok során számított összenyomódási modulus nem tudjuk használni érdemben, ezért szükség volt arra, hogy egy lineáris összefüggéssel lehessen összekapcsolni a húzó és nyomó vizsgálatot. Sok esetben ugyanis nincs lehetőség szabványos és statisztikailag elegendő, nyomóvizsgálathoz alkalmas próbatest kialakítására, ezért a következő összefüggés adja az átszámítási képletet:

$$E_{c,50} = E_{t,50} \cdot x$$

Az adatelemzések és számítások után a következő lineáris összefüggést kaptuk meg:

$$E_{c,50} = E_{t,50} \cdot 9,15$$

ahol: $E_{c,50}$ – szabványos nyomópróbatest rugalmassági modulusa

$E_{t,50}$ – szabványos húzóvizsgálatból számított rugalmassági modulus

Figyelembe kell vennünk, hogy ez az összefüggés szintén csak gránitok esetére és nagy elemszámú (minimum 30 próbatest) mérés esetén mutat pontos közelítést.

6. Összegzés

Tudományos diákköri értekezésünkben megvizsgáltuk a nyomószilárdsági mérethatás konvertálására használatos Hoek & Brown összefüggést és ez alapján sikeresen meghatároztunk egy saját formulát a gránitok húzószilárdsági mérethatásának átszámítására.

Megállapítottuk, hogy a szabványok által előírt próbatestnél nagyobb átmérő esetén érvényesül a mérethatás, míg kisebb átmérőnél a konvencionális mérethatás nem érvényesül. Ugyanis az ásványi eloszlás miatt kevesebb keményebb rész (kvarc ásvány) kerül a fűrt mintába, így annak a valószínűsége, hogy a henger próbatesten áthaladó erő útja gyengébb ásványokat talál meg, magasabb, mint ha a szabványos méretet vagy annál nagyobb átmérőjű próbatesteket vizsgálnánk.

Végül lineáris összefüggést találtunk a húzószilárdsági vizsgálat során számított σ - ϵ diagram szekánt modulusa és a nyomószilárdsági vizsgálat Young modulusa között.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani konzulenseinknek, Dr. Bögöly Gyulának és Dr. Vásárhelyi Baláznak, akik végig türelemmel és segítőkészen segítették munkánkat. Hálásak vagyunk, hogy a sokszor egyértelműnek tűnő kérdéseinket is gondos átbeszéléssel tisztáztuk. Köszönjük a tanácsaikat, őszinte kritikáikat.

A laborvizsgálatok előkészítésében, a mérések végrehajtásában Páinkás Bálint technikus Úrnak a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszél laboratóriumának vezetőjének, aki végig segítségünkre volt, amit ezúton szeretnénk megköszönni neki.

A méréseink a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékének Kővágó és Anyagvizsgáló Laboratóriumában kerültek rögzítésre.

8. Hivatkozások listája

- [¹] <http://www.xiamenmarblegranite.com/quarry/> (2019)
- [²] <http://www.kocentrum.hu/hu/anyagtar/granit.html> (2019)
- [³] http://www.kocentrum.hu/images/kepek/granit_mintak.jpg (2019)
- [⁴] Li, H., Lai, B. & Liu, H. Rock Mech Rock Eng, 52: 2551.
<https://doi.org/10.1007/s00603-019-1738-8>_2019
- [⁵] Hui Li · Bitao Lai · Huihai Liu: Determination of Tensile Elastic Parameters from Brazilian Tensile Test: Theory and Experiments_2019
- [⁶] Li, D. & Wong, L.N.Y. Rock Mech Rock Eng (2013) 46: 269.
<https://doi.org/10.1007/s00603-012-0257-7>
- [⁷] MSZ 18285-2:1979, Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbatesten. Közvetett húzóvizsgálat
- [⁸] INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS
- [⁹] Vásárhelyi Balázs: AZ ALKALMAZOTT KŐZETMECHANIKA ALAPJAI, HANTKEN KIADÓ, PÉCS, 2016
- [¹⁰] Vásárhelyi Balázs: AZ ALKALMAZOTT KŐZETMECHANIKA ALAPJAI, HANTKEN KIADÓ, PÉCS, 2016
- [¹¹] Hondros G (1959) Materials of a low tensile resistance by the Brazilian (indirect tensile) test with particular reference to concrete. Aust J Appl Sci 10(3):243–268
- [¹²] Hadley WO, Hudson WR, Kennedy. TW (1998) A method of estimating tensile properties of materials tested in indirect tension. Research report number 98-7 of evaluation of tensile properties of subbases for use in new rigid pavement design
- [¹³] Amadei B, Rogers JD, Goodman RE (1983) Elastic constants and tensile strength of anisotropic rocks. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, pp 189–196
- [¹⁴] Chau KT, Wei XX (2001) A three-dimensional analytic solution for the Brazilian test. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, Beijing, China, pp 141–144, 11–14 September 2001

- [14] Wang QZ, Jia XM, Kou SQ, Zhang ZX, Lindqvist PA (2004) The flattened Brazilian disc specimen used for testing elastic modulus, tensile strength and fracture toughness of brittle rocks: analytical and numerical results. *Int J Rock Mech Min Sci* 41(2):245–253. [https://doi.org/10.1016/s1365-1609\(03\)00093-5](https://doi.org/10.1016/s1365-1609(03)00093-5)
- [15] Ye JH, Wu FQ, Sun JZ (2009) Estimation of the tensile elastic modulus using Brazilian disc by applying diametrically opposed concentrated loads. *Int J Rock Mech Min Sci* 46:568–576
- [16] Nakashima S, Taguchi K, Moritoshi A, Shimizu N, Funatsu T (2013) Loading conditions in the Brazilian test simulation by DEM. American Rock Mechanics Association, San Francisco, pp 1–6, 23–26 June 2013
- [17] Serati M, Alehossein H, Erarslan N, Williams DJ (2013) 3D elastic solutions for point load and Brazilian indirect tensile strength tests. *Int Soc Rock Mech Rock Eng*
- [18] Kwok CY, Duan K (2015) DEM simulation of fracture process of inherently anisotropic rock under Brazilian test condition. American Rock Mechanics Association, San Francisco, pp 1–7, 28 June–1 July 2015
- [19] Winograd EA, Bosco S, Álvarez JP, Mendoza Álvarez M, Hryb D, Sánchez M (2015) Characterization of mechanical properties of rocks using numerical simulations and image analysis. American Rock Mechanics Association, San Francisco, pp 1–7, 28 June–1 July 2015
- [20] Li H, Lai B, Liu H-H, Zhang J, Georgi D (2017c) Experimental Investigation on Brazilian tensile strength of organic-rich gas shale. *Soc Pet Eng*. <https://doi.org/10.2118/17764-4-PA>
- [21] Li B, Zhou F, Li H, Tian Y, Yang X, Zhang Y, Feng Y (2018a) Experimental Investigation on the fracture conductivity of ultradeep tight gas reservoirs: especially focus on the unproped fractures. *American Rock*

9. Mellékletek

9.1. Húzóvizsgálat jegyzőkönyvei

Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_1

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,52	[mm]
Magasság (h):	64,63	[mm]
Tömeg (m):	246,04	[g]

Felület (A):	19,26	[cm ²]
Térfogat (V):	124,48	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	1976,61	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,860	[MPa]
ϵ_1 :	0,137	[%]
σ_2 :	6,010	[MPa]
ϵ_2 :	0,574	[%]

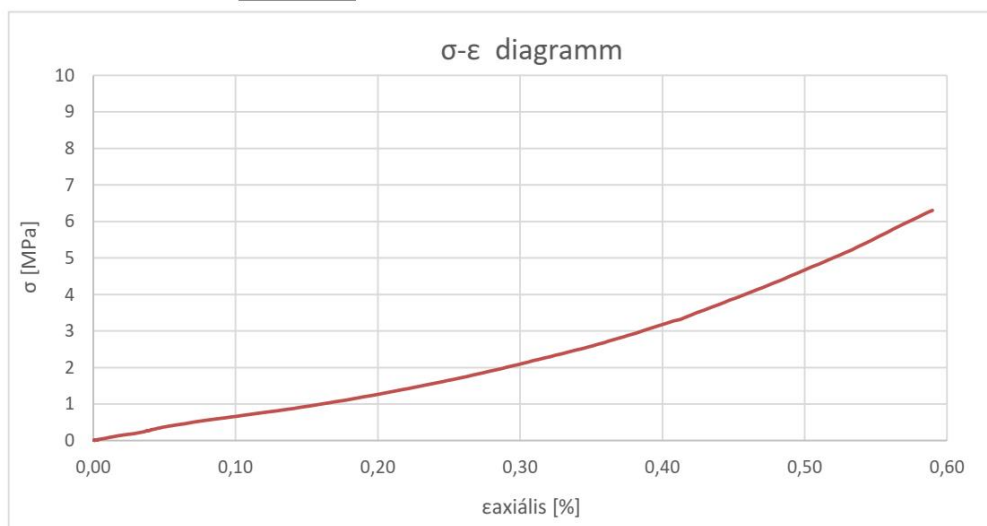
Törőerő [kN]:

31,68 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,30 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,18 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_2

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,44	[mm]
Magasság (h):	50,49	[mm]
Tömeg (m):	256,56	[g]

Felület (A):	19,20	[cm ²]
Térfogat (V):	96,93	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2646,90	[kg/m ³]



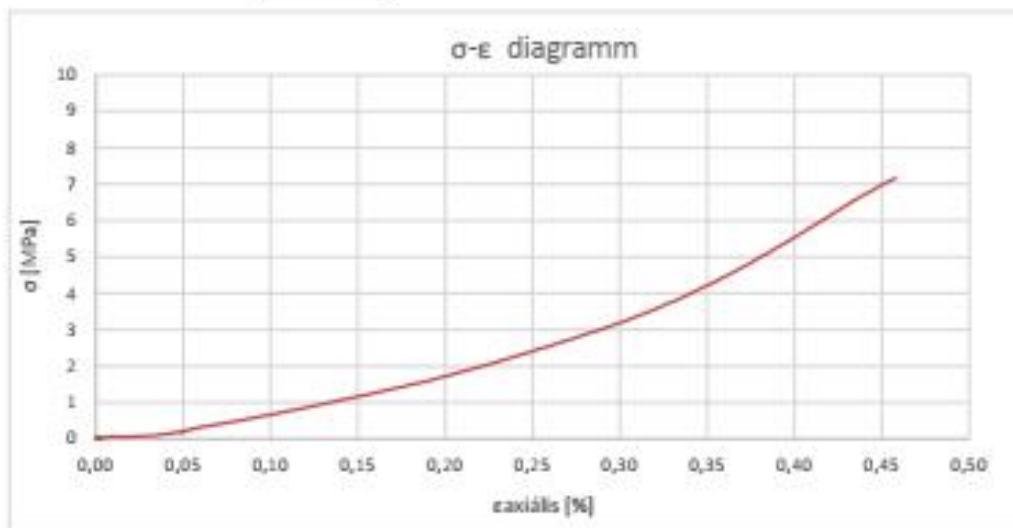
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]:	28,06	[kN]
Közvetett húzószilárdság (σ):	7,16	[MPa]

Arányos szakasz:

σ ₁ :	1,2300	[MPa]
ε ₁ :	0,1570	[%]
σ ₂ :	6,7800	[MPa]
ε ₂ :	0,4430	[%]

Rug. modulus (E): 1,94 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_3

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,44	[mm]
Magasság (h):	47,71	[mm]
Tömeg (m):	246,60	[g]

Felület (A):	19,20	[cm ²]
Térfogat (V):	91,59	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2692,38	[kg/m ³]



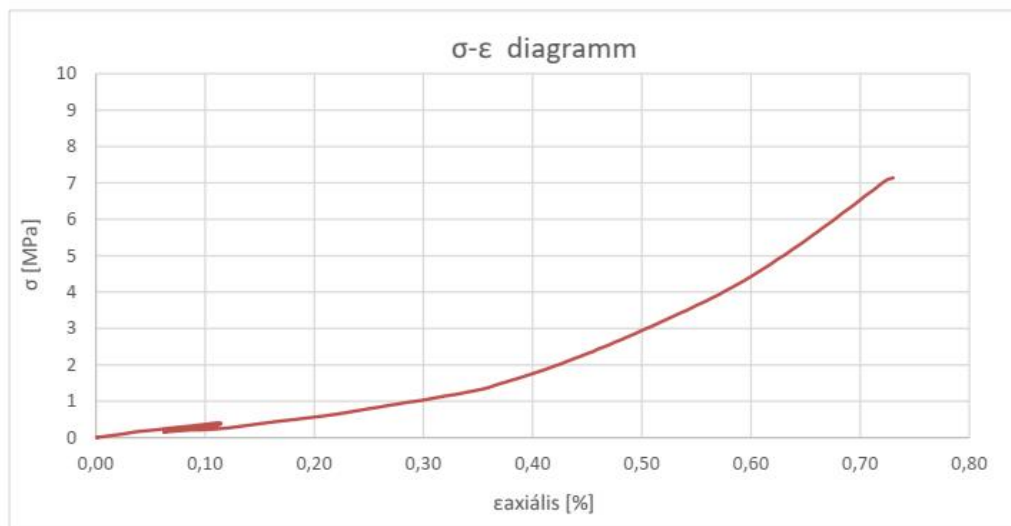
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	1,3600	[MPa]
ε_1 :	0,3580	[%]
σ_2 :	6,1900	[MPa]
ε_2 :	0,6850	[%]

Rug. modulus (E): 1,48 [GPa]

Törőerő [kN]:	26,45	[kN]
Közvetett húzószilárdság (σ):	7,14	[MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_4

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,46	[mm]
Magasság (h):	47,73	[mm]
Tömeg (m):	241,55	[g]

Felület (A):	19,21	[cm ²]
Térfogat (V):	91,70	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2634,01	[kg/m ³]



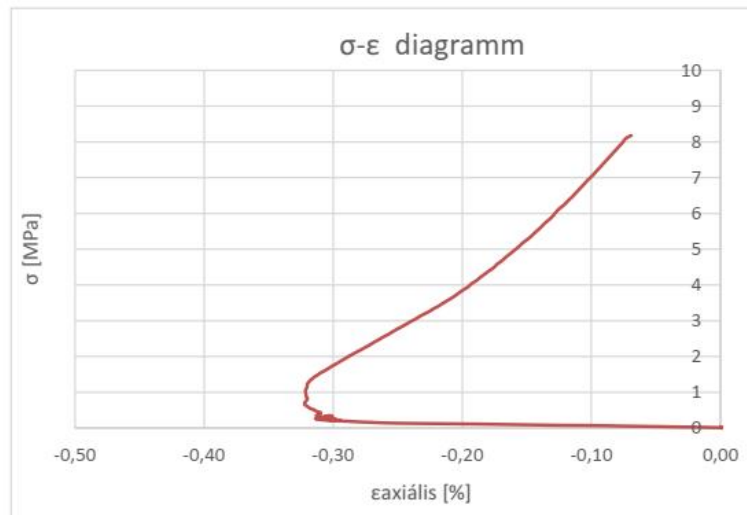
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 30,33 [kN]
Közvetett húzószilárdság (σ): 8,18 [MPa]

Arányos szakasz:

σ ₁ :	2,0500	[MPa]
ε ₁ :	-0,2860	[%]
σ ₂ :	7,9800	[MPa]
ε ₂ :	-0,0760	[%]

Rug. modulus (E): 2,82 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_5

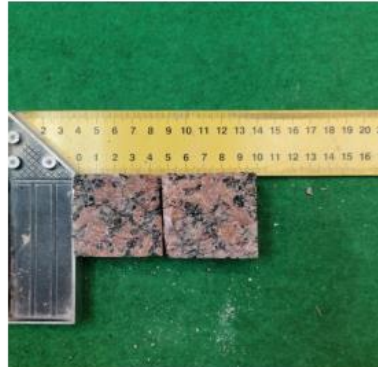
Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,38	[mm]
Magasság (h):	48,73	[mm]
Tömeg (m):	244,80	[g]

Felület (A):	19,15	[cm ²]
Térfogat (V):	93,32	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2623,15	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

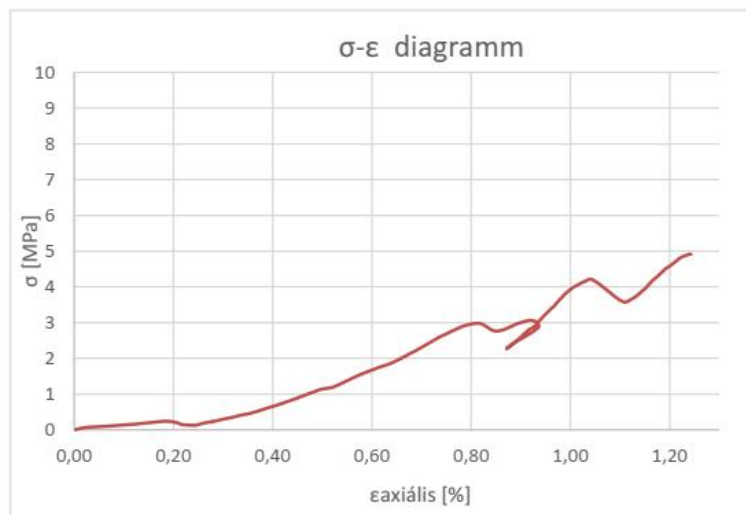
σ_1 :	0,7800	[MPa]
ϵ_1 :	0,4270	[%]
σ_2 :	2,8300	[MPa]
ϵ_2 :	0,7720	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

18,57	[kN]
4,91	[MPa]

Rug. modulus (E): 0,59 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_6

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,39	[mm]
Magasság (h):	48,52	[mm]
Tömeg (m):	243,27	[g]

Felület (A):	19,16	[cm ²]
Térfogat (V):	92,96	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2616,98	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,3500	[MPa]
ϵ_1 :	0,0200	[%]
σ_2 :	2,1000	[MPa]
ϵ_2 :	0,1210	[%]

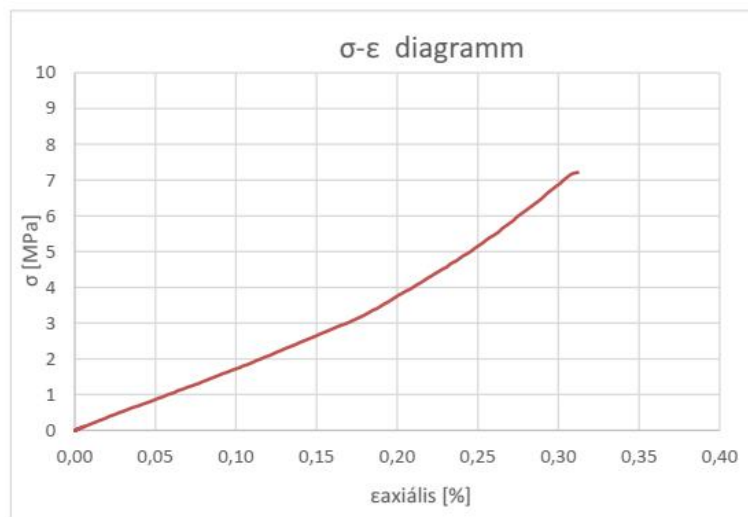
Rug. modulus (E): 1,73 [GPa]

Törőerő [kN]:

27,16	[kN]
-------	------

Közvetett húzószilárdság (σ):

7,22	[MPa]
------	-------



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_7

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,35	[mm]
Magasság (h):	47,77	[mm]
Tömeg (m):	271,27	[g]

Felület (A):	19,13	[cm ²]
Térfogat (V):	91,37	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2968,81	[kg/m ³]



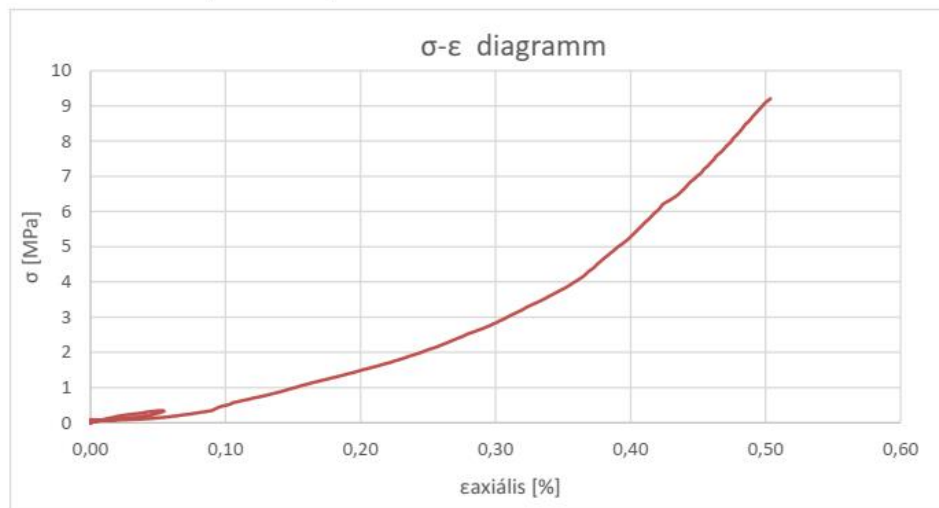
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]:	34,08	[kN]
Közvetett húzószilárdság (σ):	9,20	[MPa]

Arányos szakasz:

σ ₁ :	0,5800	[MPa]
ε ₁ :	0,1070	[%]
σ ₂ :	3,7200	[MPa]
ε ₂ :	0,3460	[%]

Rug. modulus (E): 1,31 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_7

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,43	[mm]
Magasság (h):	48,84	[mm]
Tömeg (m):	245,56	[g]

Felület (A):	19,19	[cm ²]
Térfogat (V):	93,72	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2620,06	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,2900	[MPa]
ϵ_1 :	0,0450	[%]
σ_2 :	0,9800	[MPa]
ϵ_2 :	0,1020	[%]

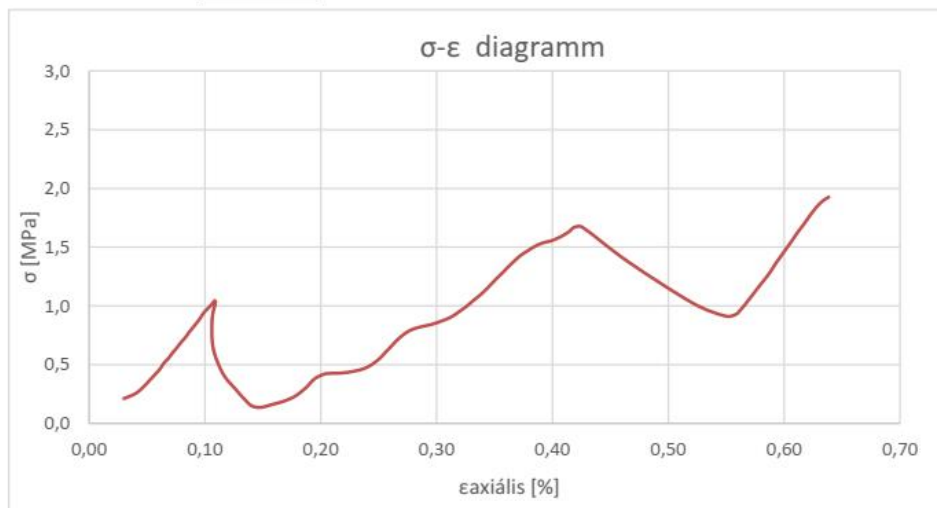
Törőerő [kN]:

7,31	[kN]
------	------

Közvetett húzószilárdság (σ):

1,93	[MPa]
------	-------

Rug. modulus (E): 1,21 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_9

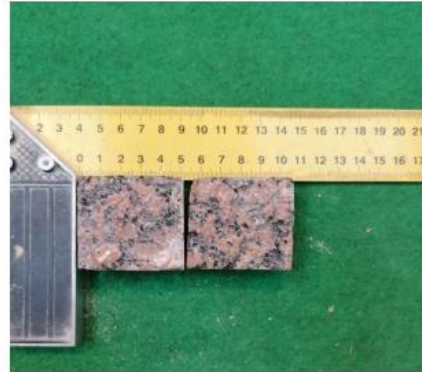
Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,53	[mm]
Magasság (h):	48,47	[mm]
Tömeg (m):	244,22	[g]

Felület (A):	19,27	[cm ²]
Térfogat (V):	93,39	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2615,06	[kg/m ³]



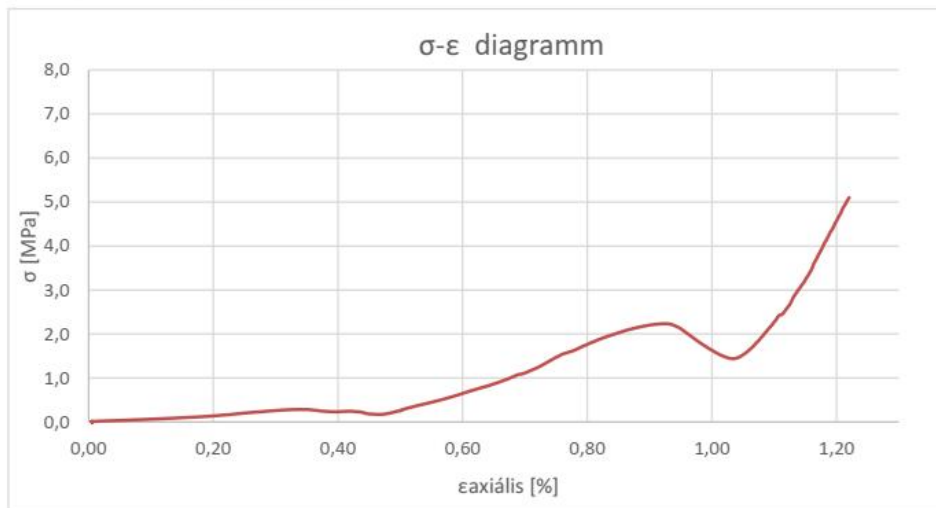
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 19,23 [kN]
Közvetett húzószilárdság (σ): 5,10 [MPa]

Arányos szakasz:

σ_1 :	1,8000	[MPa]
ϵ_1 :	1,0500	[%]
σ_2 :	4,7000	[MPa]
ϵ_2 :	1,2110	[%]

Rug. modulus (E): 1,80 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_10

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,65	[mm]
Magasság (h):	47,59	[mm]
Tömeg (m):	243,21	[g]

Felület (A):	19,36	[cm ²]
Térfogat (V):	92,14	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2639,60	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,4100	[MPa]
ϵ_1 :	0,0230	[%]
σ_2 :	3,9600	[MPa]
ϵ_2 :	0,1690	[%]

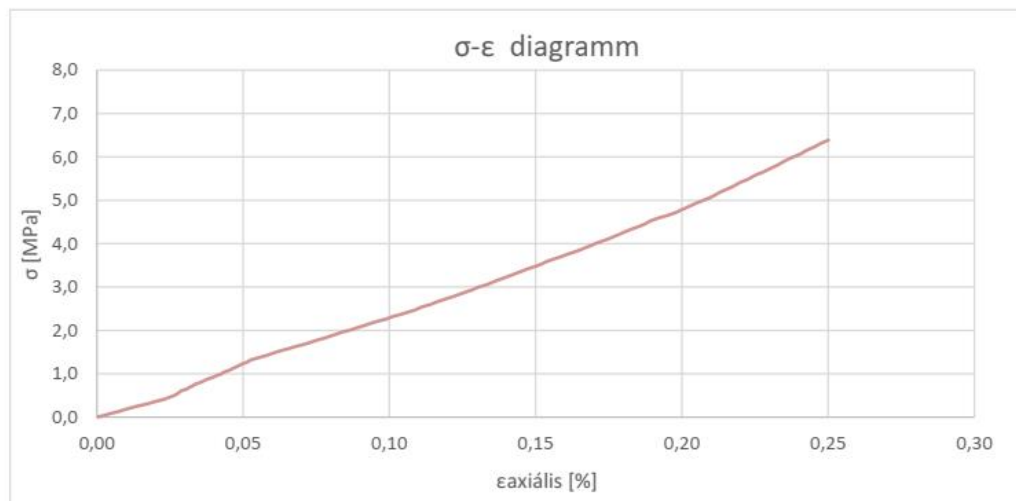
Törőerő [kN]:

23,69 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,38 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,43 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_11

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,71	[mm]
Magasság (h):	50,59	[mm]
Tömeg (m):	259,09	[g]

Felület (A):	19,41	[cm ²]
Térfogat (V):	98,18	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2638,81	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,7300	[MPa]
ϵ_1 :	0,5180	[%]
σ_2 :	4,0100	[MPa]
ϵ_2 :	0,8350	[%]

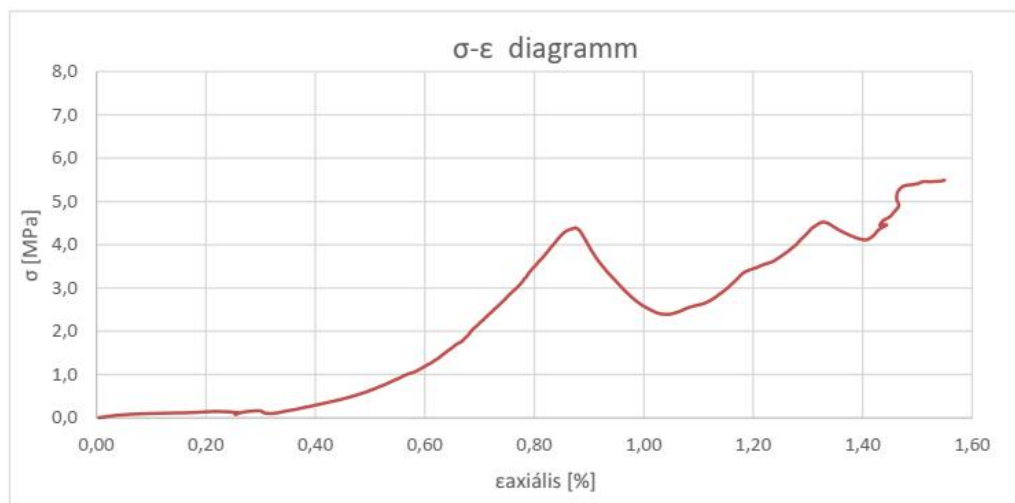
Törőerő [kN]:

21,68	[kN]
-------	------

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

5,49	[MPa]
------	-------

Rug. modulus (E): 1,03 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_12

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,62	[mm]
Magasság (h):	49,89	[mm]
Tömeg (m):	255,17	[g]

Felület (A):	19,34	[cm ²]
Térfogat (V):	96,48	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2644,92	[kg/m ³]

Törési kép:



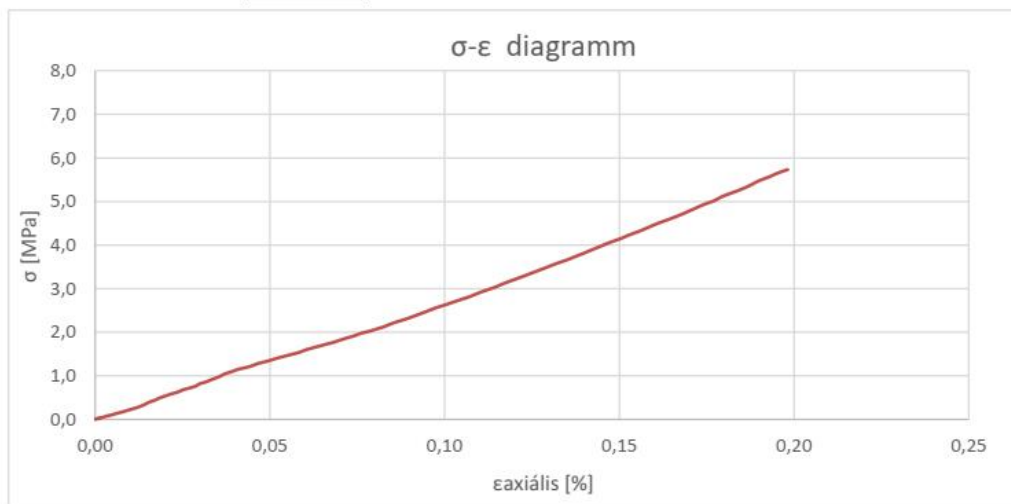
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]:	22,29	[kN]
Közvetett húzószilárdság (σ):	5,73	[MPa]

Arányos szakasz:

σ ₁ :	0,5900	[MPa]
ε ₁ :	0,0220	[%]
σ ₂ :	3,1900	[MPa]
ε ₂ :	0,1190	[%]

Rug. modulus (E): 2,68 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_13

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): [mm]
Magasság (h): [mm]
Tömeg (m): [g]

Felület (A): [cm²]
Térfogat (V): [cm³]
Testűrűség (ρ): [kg/m³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : [MPa]
 ϵ_1 : [%]
 σ_2 : [MPa]
 ϵ_2 : [%]

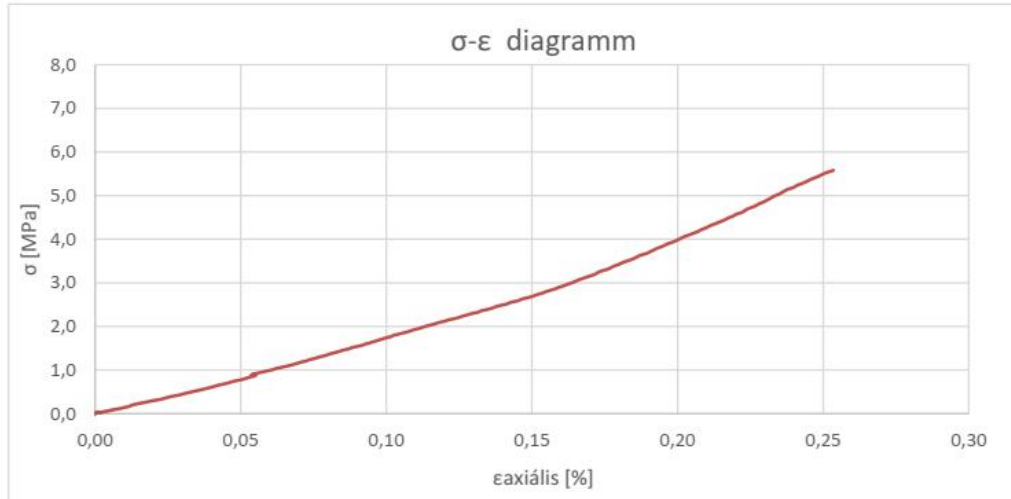
Törőerő [kN]:

[kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

[MPa]

Rug. modulus (E): [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_14

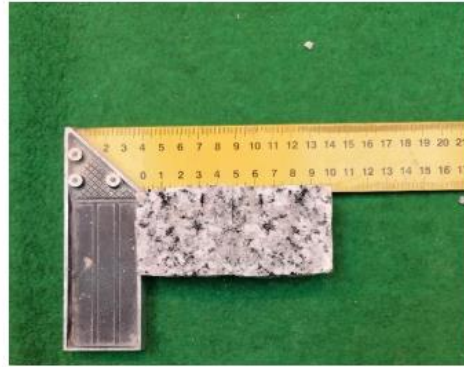
Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,71	[mm]
Magasság (h):	44,52	[mm]
Tömeg (m):	228,17	[g]

Felület (A):	19,41	[cm ²]
Térfogat (V):	86,40	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2640,74	[kg/m ³]



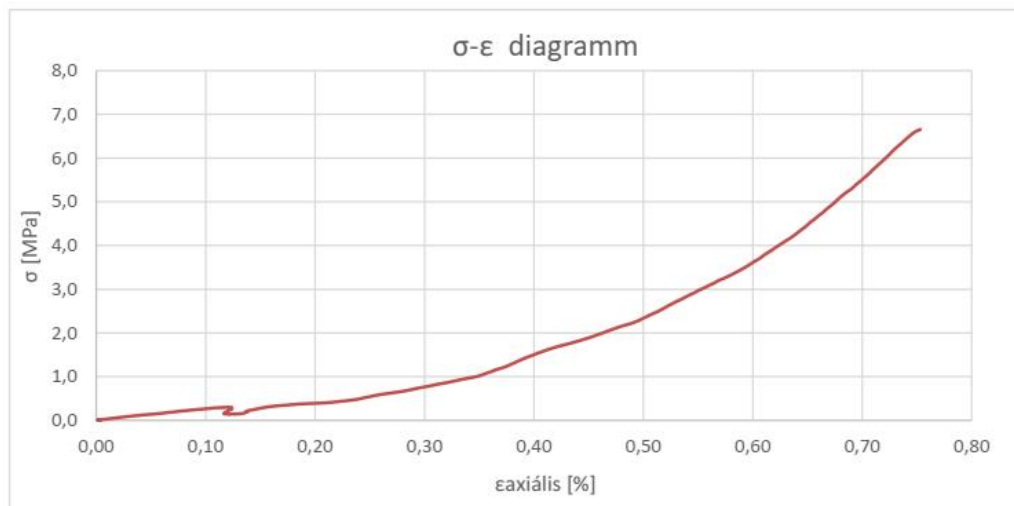
Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]:	23,13	[kN]
Közvetett húzószilárdság (σ):	6,65	[MPa]

Arányos szakasz:

σ ₁ :	2,2800	[MPa]
ε ₁ :	0,4960	[%]
σ ₂ :	5,9800	[MPa]
ε ₂ :	0,7200	[%]

Rug. modulus (E): 1,65 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_16

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,64	[mm]
Magasság (h):	46,37	[mm]
Tömeg (m):	234,91	[g]

Felület (A):	19,35	[cm ²]
Térfogat (V):	89,74	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2617,65	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	1,0500	[MPa]
ϵ_1 :	0,5000	[%]
σ_2 :	2,5400	[MPa]
ϵ_2 :	0,7600	[%]

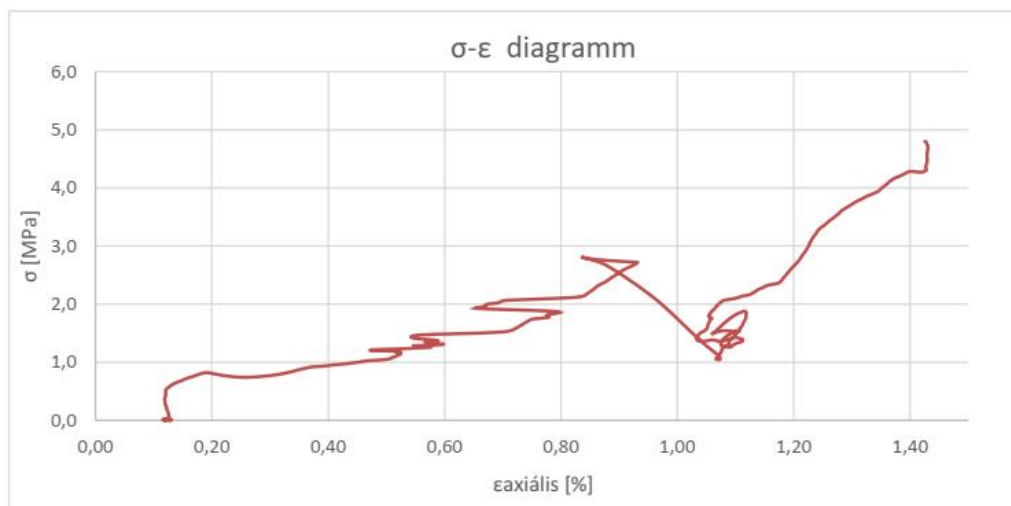
Rug. modulus (E): **0,57** [GPa]

Törőerő [kN]:

17,36 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

4,80 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_17

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): [mm]
Magasság (h): [mm]
Tömeg (m): [g]

Felület (A): [cm²]
Térfogat (V): [cm³]
Testűrűség (ρ): [kg/m³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : [MPa]
 ϵ_1 : [%]
 σ_2 : [MPa]
 ϵ_2 : [%]

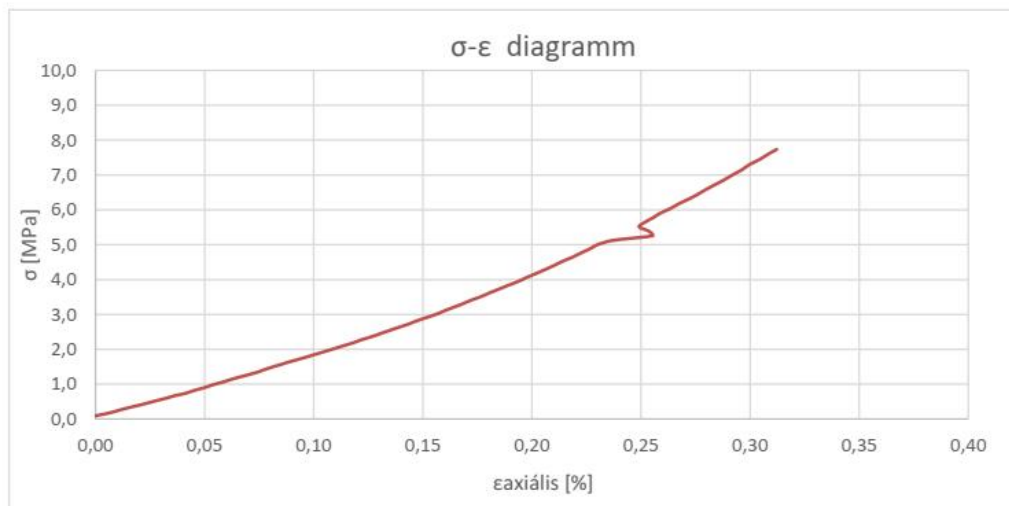
Törőerő [kN]:

[kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

[MPa]

Rug. modulus (E): [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_18

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): [mm]
Magasság (h): [mm]
Tömeg (m): [g]

Felület (A): [cm²]
Térfogat (V): [cm³]
Testűrűség (ρ): [kg/m³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : [MPa]
 ϵ_1 : [%]
 σ_2 : [MPa]
 ϵ_2 : [%]

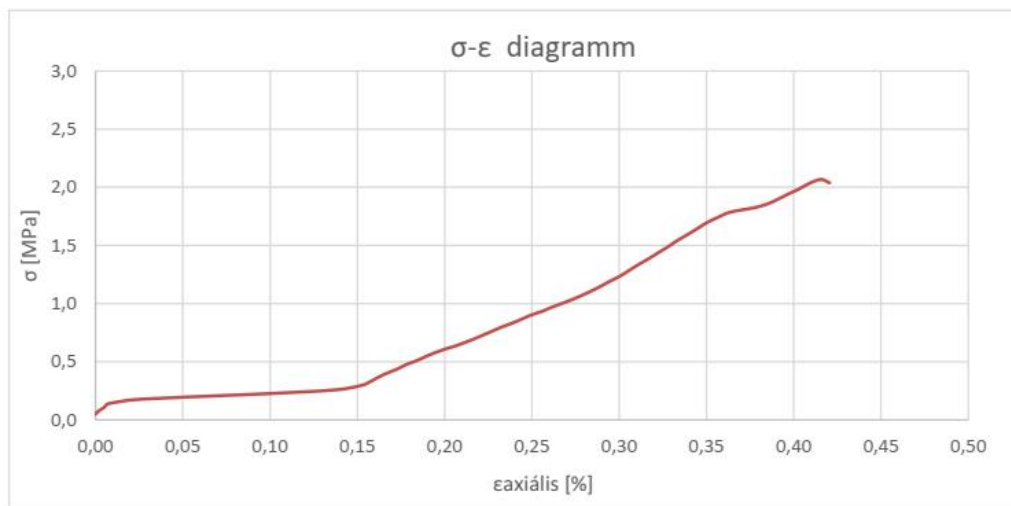
Törőerő [kN]:

[kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

[MPa]

Rug. modulus (E): [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B1_19

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): 49,46 [mm]
Magasság (h): 46,15 [mm]
Tömeg (m): 231,94 [g]

Felület (A): 19,21 [cm²]
Térfogat (V): 88,67 [cm³]
Testűrűség (ρ): 2615,81 [kg/m³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : 0,5400 [MPa]
 ϵ_1 : 0,0240 [%]
 σ_2 : 1,9600 [MPa]
 ϵ_2 : 0,0860 [%]

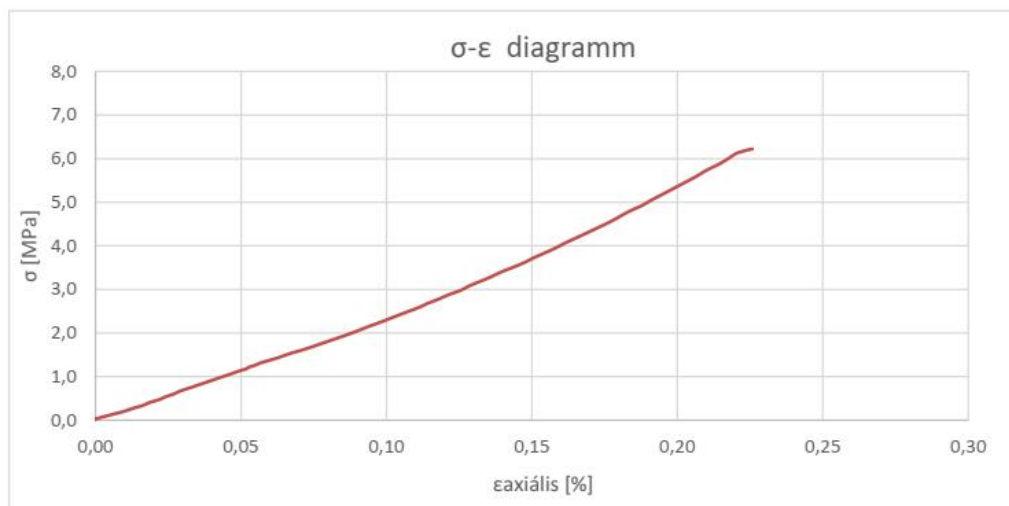
Rug. modulus (E): 2,29 [GPa]

Törőerő [kN]:

22,31 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,22 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_1

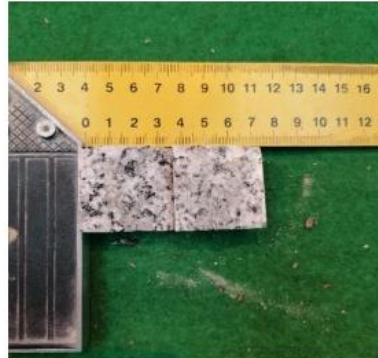
Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,52	[mm]
Magasság (h):	37,58	[mm]
Tömeg (m):	109,47	[g]

Felület (A):	11,06	[cm ²]
Térfogat (V):	41,55	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2634,65	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,5100	[MPa]
ϵ_1 :	0,0670	[%]
σ_2 :	4,5100	[MPa]
ϵ_2 :	0,5520	[%]

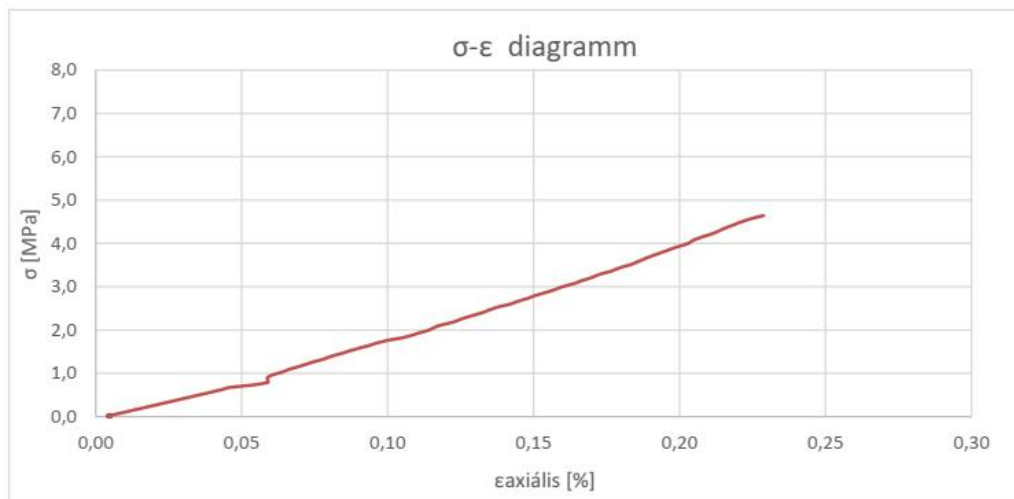
Törőerő [kN]:

10,28	[kN]
-------	------

Közvetett húzószilárdság (σ):

4,64	[MPa]
------	-------

Rug. modulus (E): 0,82 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_2

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,53	[mm]
Magasság (h):	37,40	[mm]
Tömeg (m):	108,26	[g]

Felület (A):	11,06	[cm ²]
Térfogat (V):	41,37	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2616,67	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,8100	[MPa]
ϵ_1 :	0,0520	[%]
σ_2 :	3,2500	[MPa]
ϵ_2 :	0,1680	[%]

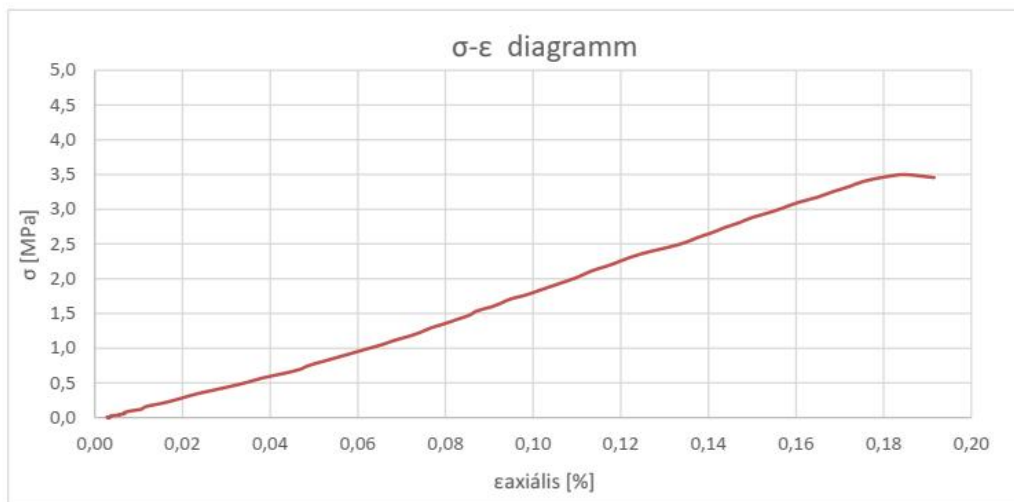
Rug. modulus (E): 2,10 [GPa]

Törőerő [kN]:

7,71 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

3,50 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_3

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,48	[mm]
Magasság (h):	37,66	[mm]
Tömeg (m):	109,47	[g]
Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	41,55	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2634,67	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,3000	[MPa]
ϵ_1 :	0,0100	[%]
σ_2 :	1,9800	[MPa]
ϵ_2 :	0,2000	[%]

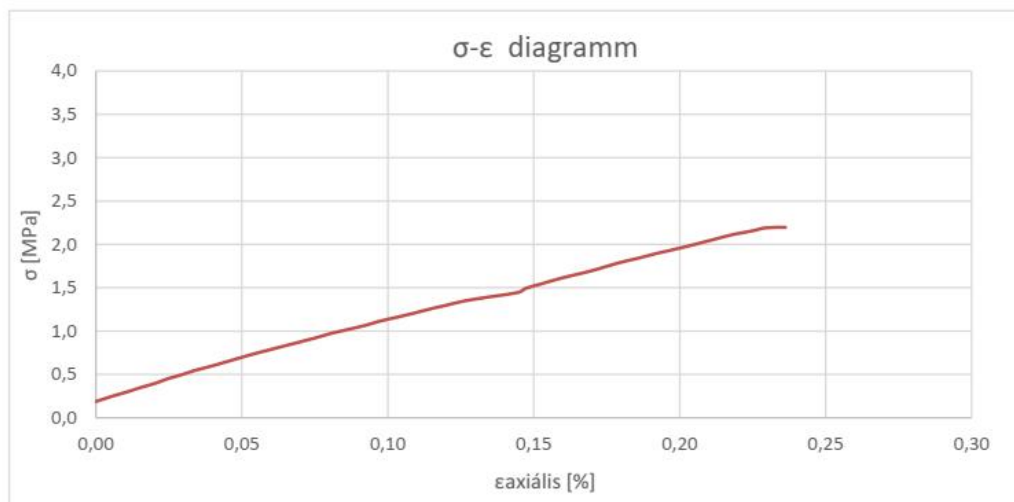
Törőerő [kN]:

4,87 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

2,20 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,88 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

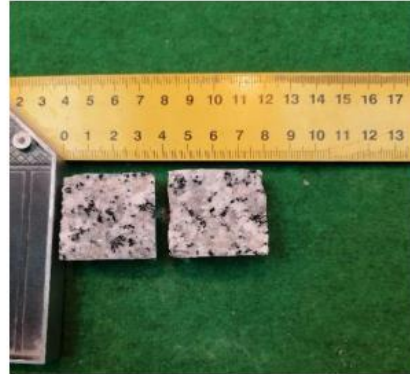
Próbatest száma: B2_4

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,52	[mm]
Magasság (h):	37,40	[mm]
Tömeg (m):	109,02	[g]
Felület (A):	11,06	[cm ²]
Térfogat (V):	41,35	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2636,45	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,9000	[MPa]
ε_1 :	0,0080	[%]
σ_2 :	2,0800	[MPa]
ε_2 :	0,1450	[%]

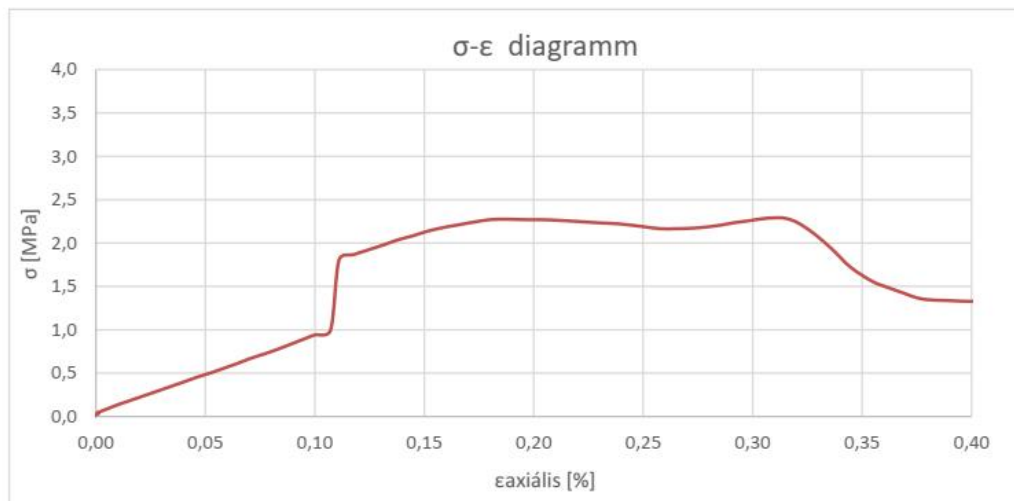
Törőerő [kN]:

8,52 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

3,86 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,86 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_5

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,50	[mm]
Magasság (h):	37,22	[mm]
Tömeg (m):	108,28	[g]
Felület (A):	11,04	[cm ²]
Térfogat (V):	41,11	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2634,02	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,5900	[MPa]
ε_1 :	0,0380	[%]
σ_2 :	3,4100	[MPa]
ε_2 :	0,3190	[%]

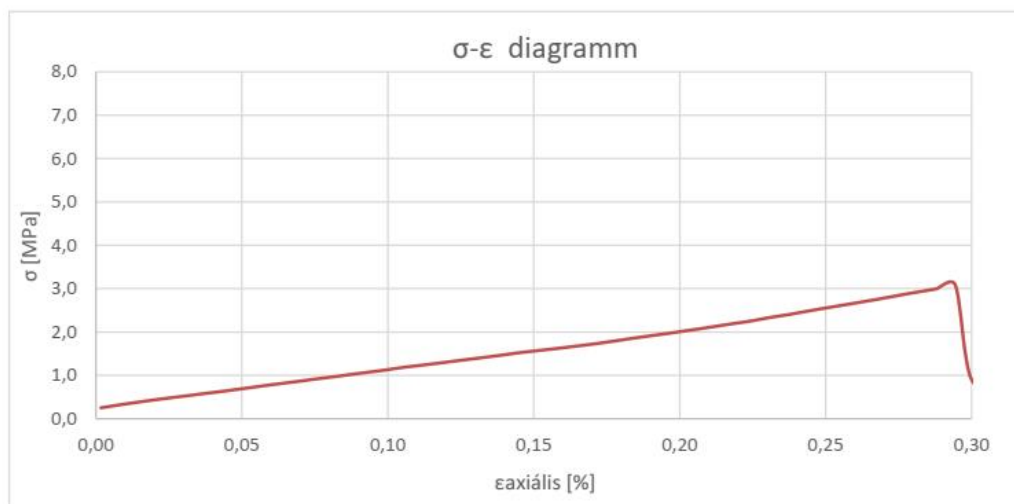
Törőerő [kN]:

17,02 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

7,76 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,00 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_6

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,52	[mm]
Magasság (h):	37,27	[mm]
Tömeg (m):	107,90	[g]

Felület (A):	11,06	[cm ²]
Térfogat (V):	41,21	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2618,46	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,3300	[MPa]
ϵ_1 :	0,0280	[%]
σ_2 :	3,2400	[MPa]
ϵ_2 :	0,2820	[%]

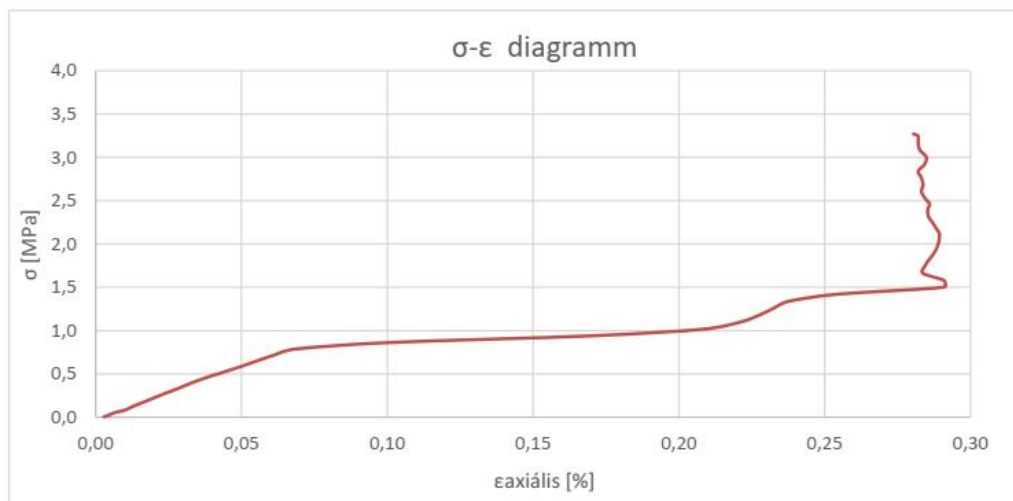
Rug. modulus (E): 1,15 [GPa]

Törőerő [kN]:

7,19 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

3,27 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_7

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,48	[mm]
Magasság (h):	38,39	[mm]
Tömeg (m):	111,44	[g]

Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	42,36	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2631,08	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,0800	[MPa]
ϵ_1 :	1,1000	[%]
σ_2 :	0,6000	[MPa]
ϵ_2 :	1,2500	[%]

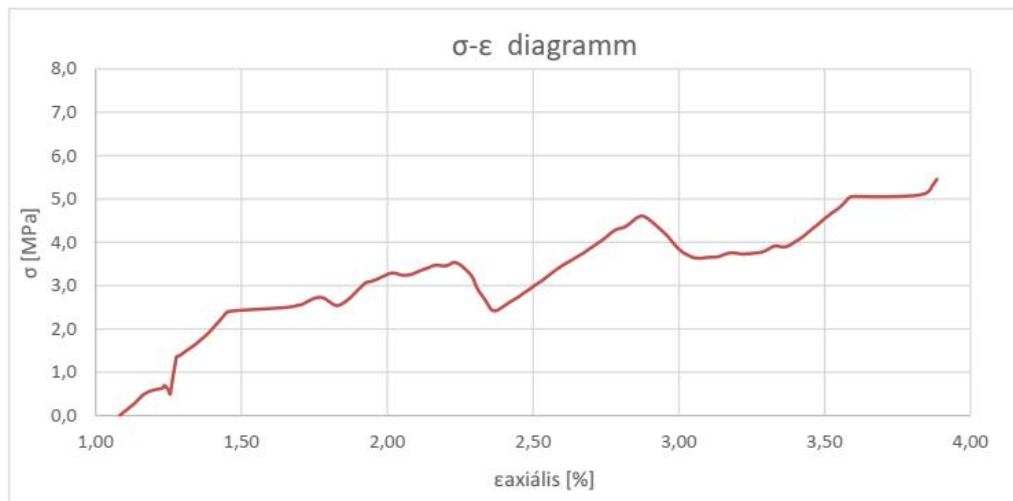
Törőerő [kN]:

12,33 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

5,46 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,35 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_8

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,46	[mm]
Magasság (h):	38,20	[mm]
Tömeg (m):	111,08	[g]
Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	42,10	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2638,44	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,49	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	3,46	[MPa]
ϵ_2 :	0,24	[%]

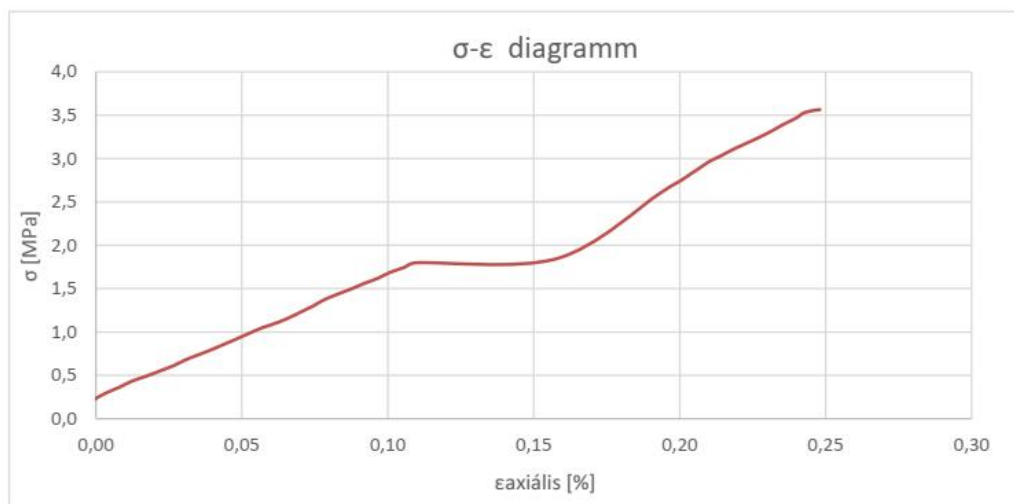
Törőerő [kN]:

8,01 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,57 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,35 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

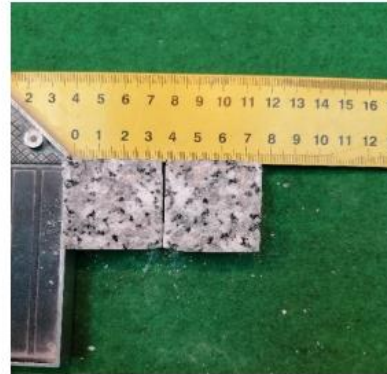
Próbatest száma: B2_9

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,47	[mm]
Magasság (h):	39,12	[mm]
Tömeg (m):	113,39	[g]
Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	43,14	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2628,56	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,38	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	7,53	[MPa]
ϵ_2 :	0,33	[%]

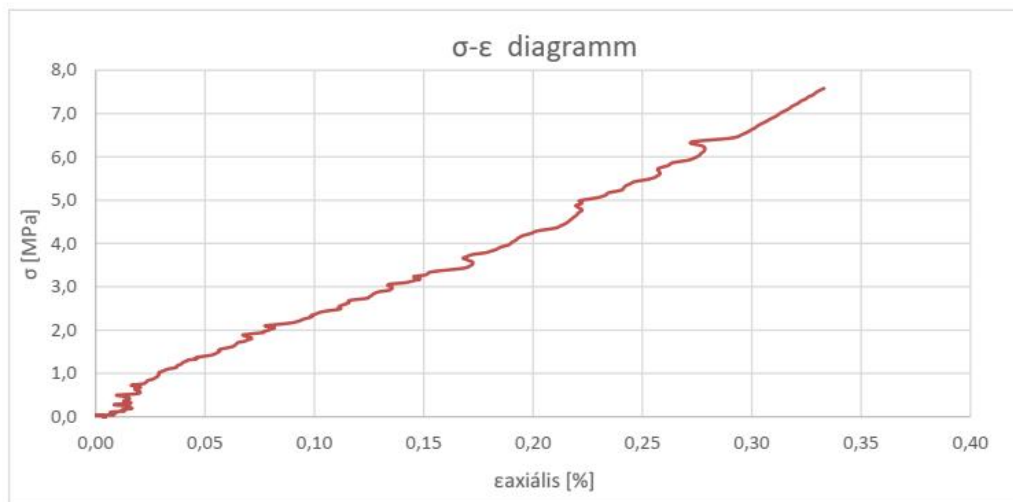
Törőerő [kN]:

17,45 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

7,58 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,23 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_10

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,45	[mm]
Magasság (h):	36,86	[mm]
Tömeg (m):	107,14	[g]
Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	40,60	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2638,78	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,41	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	2,97	[MPa]
ϵ_2 :	0,28	[%]

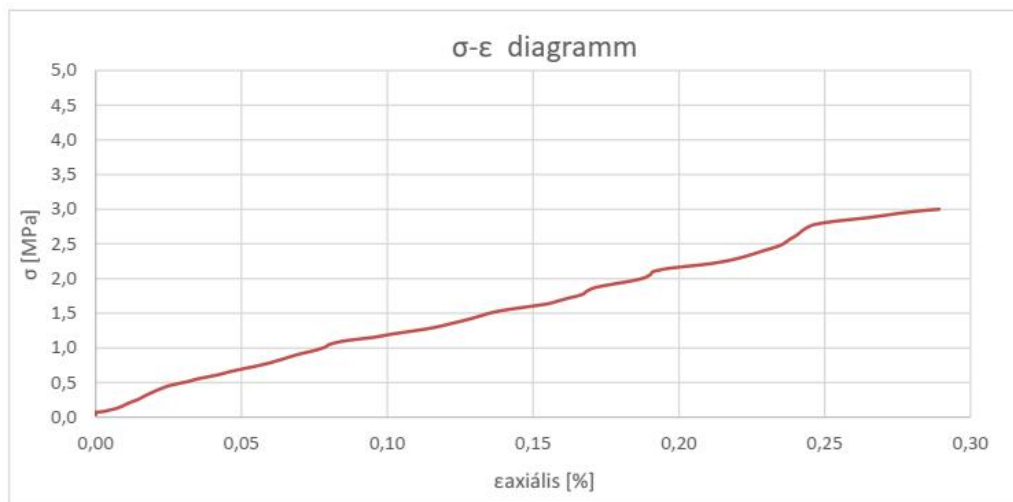
Törőerő [kN]:

6,50 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,00 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,98 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_11

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,46	[mm]
Magasság (h):	32,26	[mm]
Tömeg (m):	92,98	[g]
Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	35,55	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2615,17	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,88	[MPa]
ϵ_1 :	0,04	[%]
σ_2 :	5,22	[MPa]
ϵ_2 :	0,21	[%]

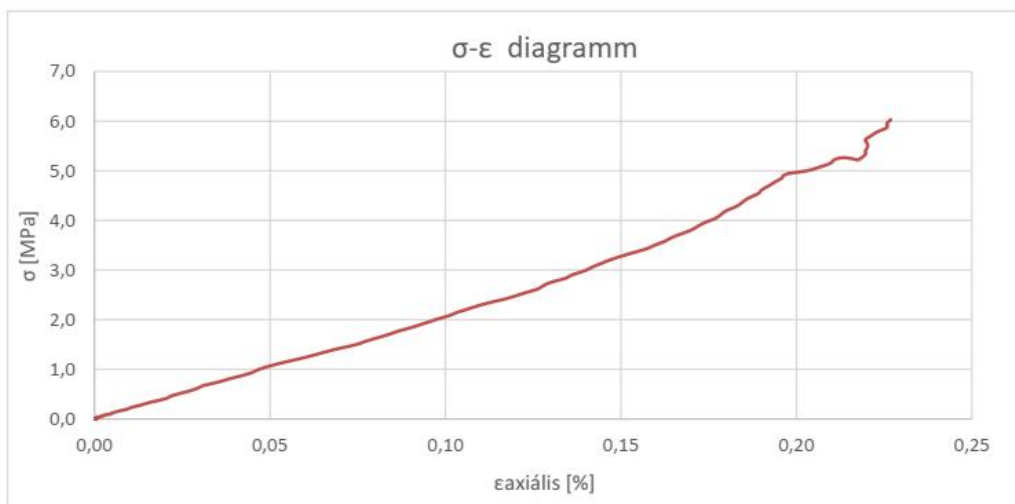
Törőerő [kN]:

11,44 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,03 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,55 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_12

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,53	[mm]
Magasság (h):	33,89	[mm]
Tömeg (m):	97,50	[g]
Felület (A):	11,06	[cm ²]
Térfogat (V):	37,49	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2600,67	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,40	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	4,59	[MPa]
ϵ_2 :	0,27	[%]

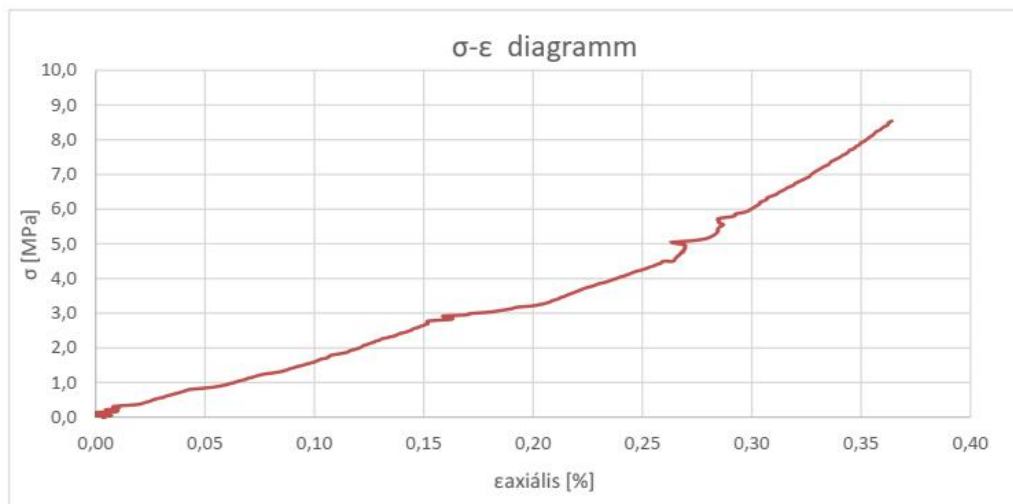
Törőerő [kN]:

17,06 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

8,54 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,68 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_13

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,45	[mm]
Magasság (h):	35,89	[mm]
Tömeg (m):	103,42	[g]
Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	39,53	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2616,00	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,52	[MPa]
ϵ_1 :	0,06	[%]
σ_2 :	2,21	[MPa]
ϵ_2 :	0,19	[%]

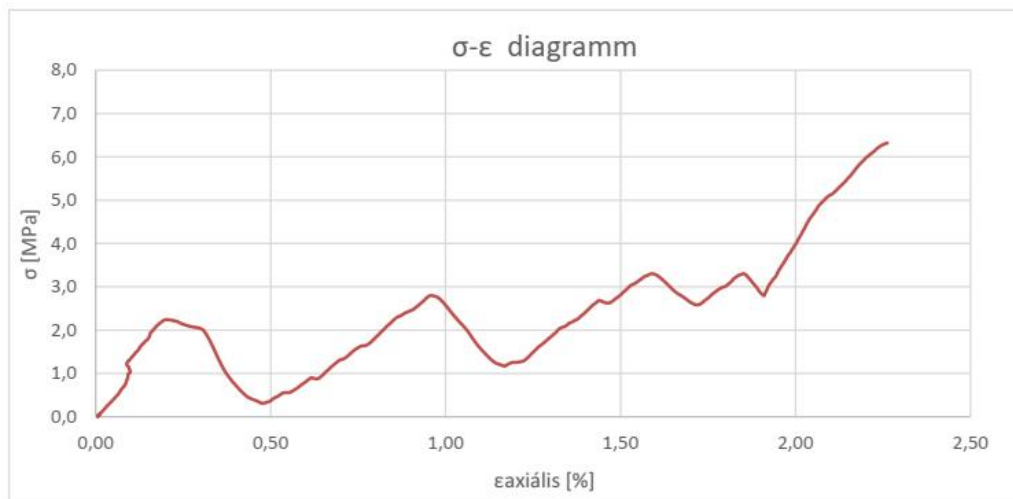
Törőerő [kN]:

13,34 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,32 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,30 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_14

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,44	[mm]
Magasság (h):	33,48	[mm]
Tömeg (m):	97,50	[g]

Felület (A):	11,01	[cm ²]
Térfogat (V):	36,86	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2645,19	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,16	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	2,81	[MPa]
ϵ_2 :	0,24	[%]

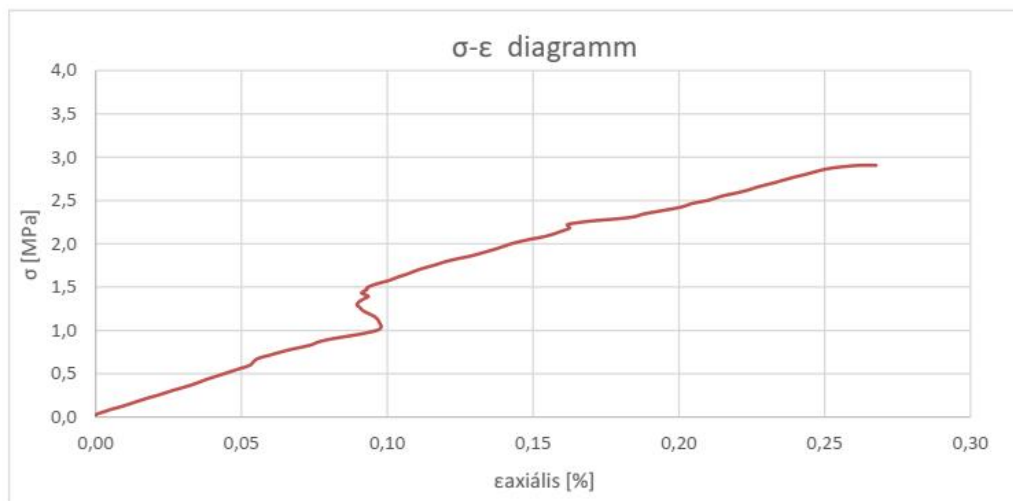
Rug. modulus (E): 1,15 [GPa]

Törőerő [kN]:

5,72 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

2,91 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_15

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,30	[mm]
Magasság (h):	33,39	[mm]
Tömeg (m):	94,78	[g]
Felület (A):	10,93	[cm ²]
Térfogat (V):	36,49	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2597,72	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,58	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	4,91	[MPa]
ϵ_2 :	0,16	[%]

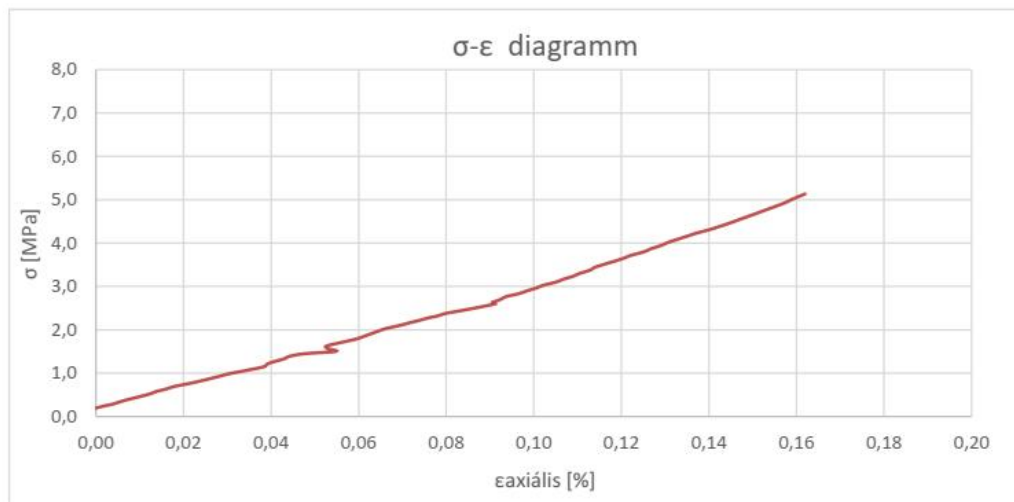
Törőerő [kN]:

10,04 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

5,13 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,89 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_16

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,45	[mm]
Magasság (h):	31,74	[mm]
Tömeg (m):	91,88	[g]

Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	34,96	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2627,97	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,79	[MPa]
ϵ_1 :	0,05	[%]
σ_2 :	4,90	[MPa]
ϵ_2 :	0,24	[%]

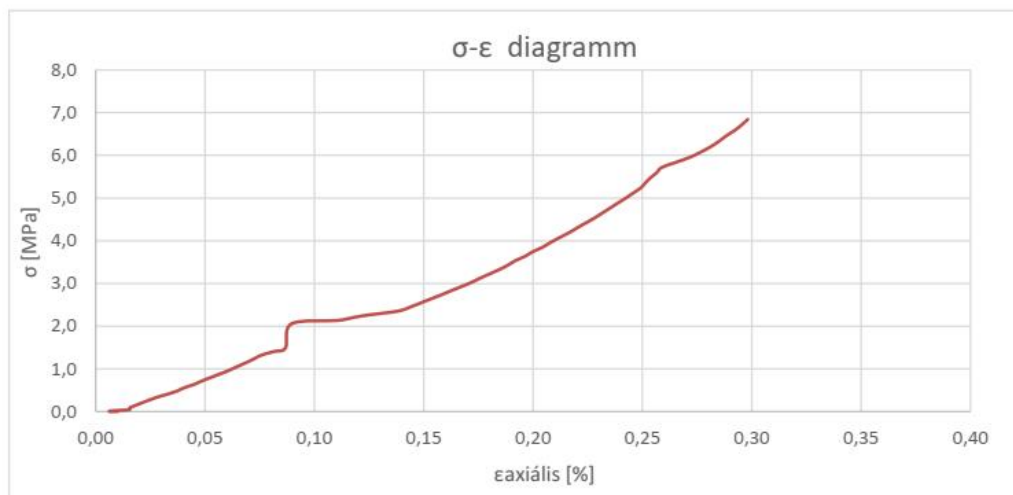
Rug. modulus (E): 2,16 [GPa]

Törőerő [kN]:

12,78 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,84 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_17

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,39	[mm]
Magasság (h):	33,52	[mm]
Tömeg (m):	94,91	[g]
Felület (A):	10,98	[cm ²]
Térfogat (V):	36,80	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2578,74	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	2,08	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	6,36	[MPa]
ϵ_2 :	0,35	[%]

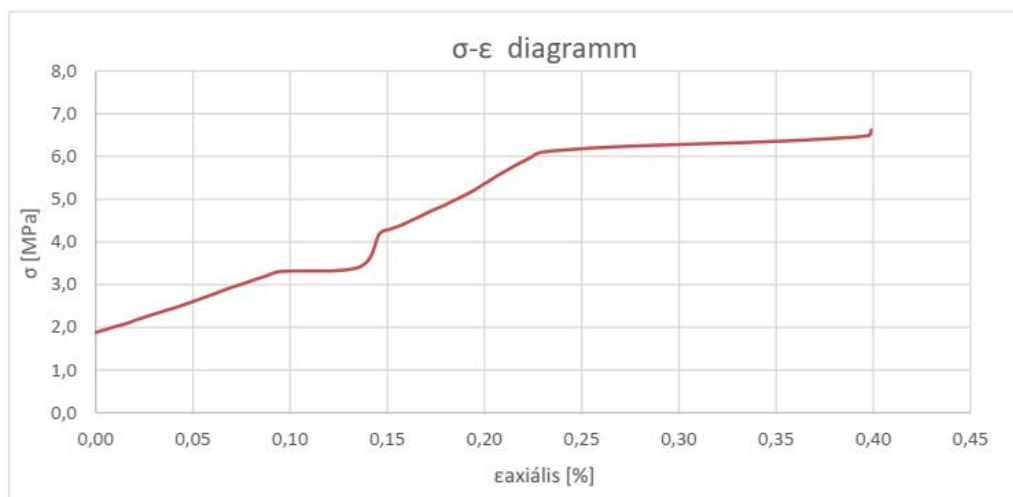
Törőerő [kN]:

13,03 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,62 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,30 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_18

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,24	[mm]
Magasság (h):	32,62	[mm]
Tömeg (m):	83,58	[g]

Felület (A):	10,89	[cm ²]
Térfogat (V):	35,53	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2352,39	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,38	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	1,87	[MPa]
ϵ_2 :	0,10	[%]

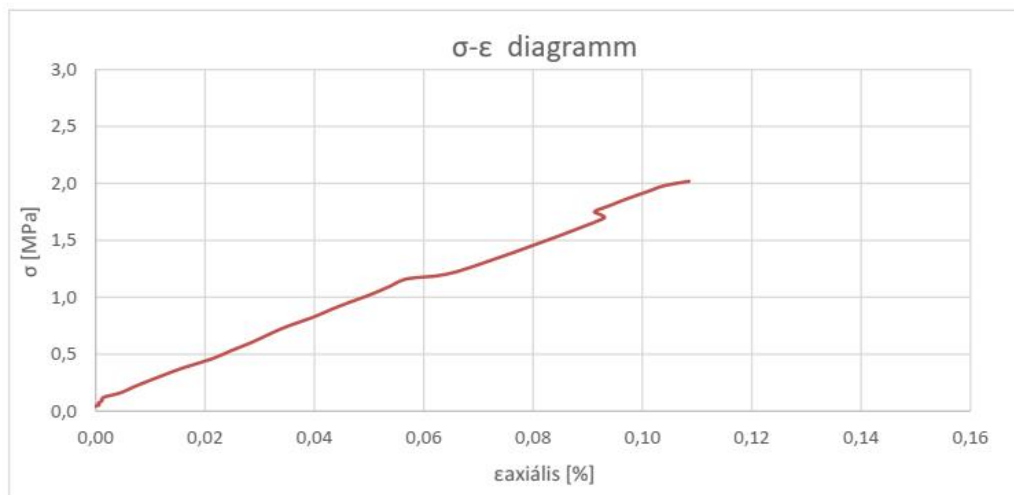
Rug. modulus (E): 1,86 [GPa]

Törőerő [kN]:

3,85 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

2,02 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_19

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,48	[mm]
Magasság (h):	33,53	[mm]
Tömeg (m):	96,17	[g]

Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	36,99	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2599,66	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,29	[MPa]
ϵ_1 :	0,04	[%]
σ_2 :	2,84	[MPa]
ϵ_2 :	0,51	[%]

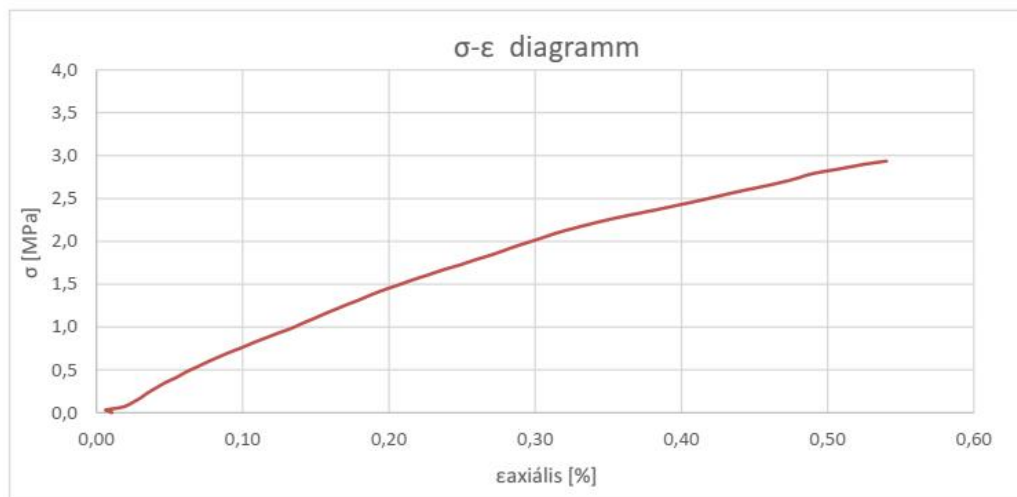
Rug. modulus (E): 0,54 [GPa]

Törőerő [kN]:

5,79	[kN]
------	------

Közvetett húzószilárdság (σ):

2,94	[MPa]
------	-------



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_20

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,41	[mm]
Magasság (h):	32,88	[mm]
Tömeg (m):	91,31	[g]
Felület (A):	10,99	[cm ²]
Térfogat (V):	36,14	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2526,51	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,29	[MPa]
ε_1 :	0,03	[%]
σ_2 :	1,86	[MPa]
ε_2 :	0,14	[%]

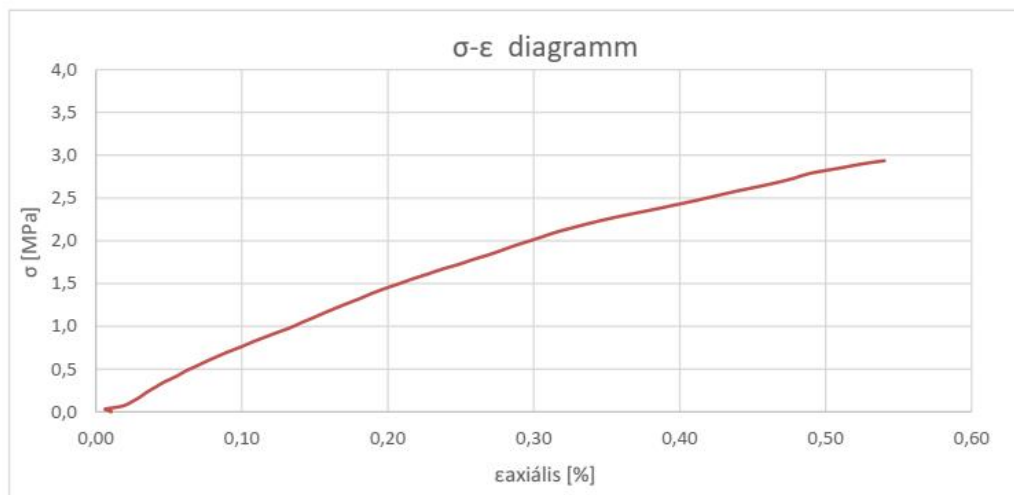
Törőerő [kN]:

3,74 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

1,94 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,43 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_21

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,46	[mm]
Magasság (h):	33,57	[mm]
Tömeg (m):	96,93	[g]
Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	37,00	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2619,88	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,39	[MPa]
ϵ_1 :	-0,16	[%]
σ_2 :	3,05	[MPa]
ϵ_2 :	0,00	[%]

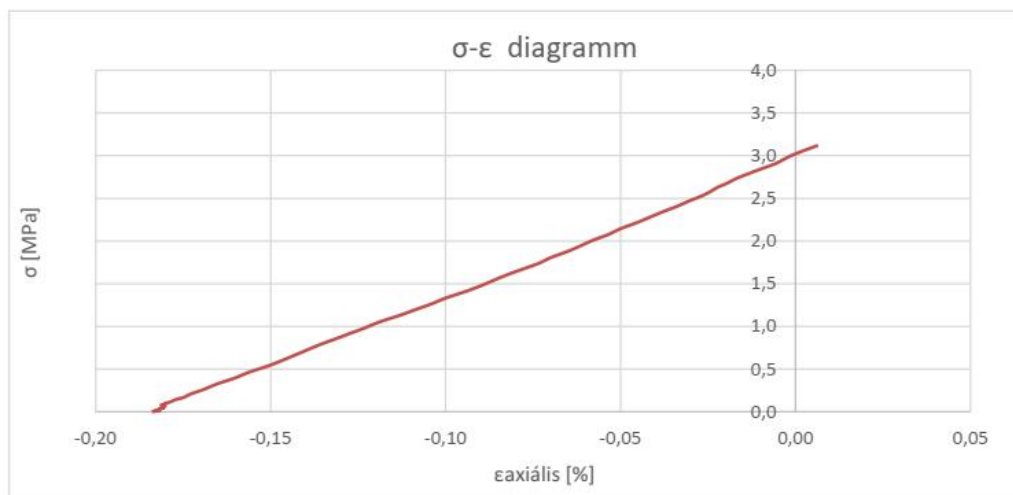
Törőerő [kN]:

6,15 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,12 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,66 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_22

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,44	[mm]
Magasság (h):	37,58	[mm]
Tömeg (m):	107,85	[g]
Felület (A):	11,01	[cm ²]
Térfogat (V):	41,37	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2606,76	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	1,30	[MPa]
ϵ_1 :	0,06	[%]
σ_2 :	6,22	[MPa]
ϵ_2 :	0,20	[%]

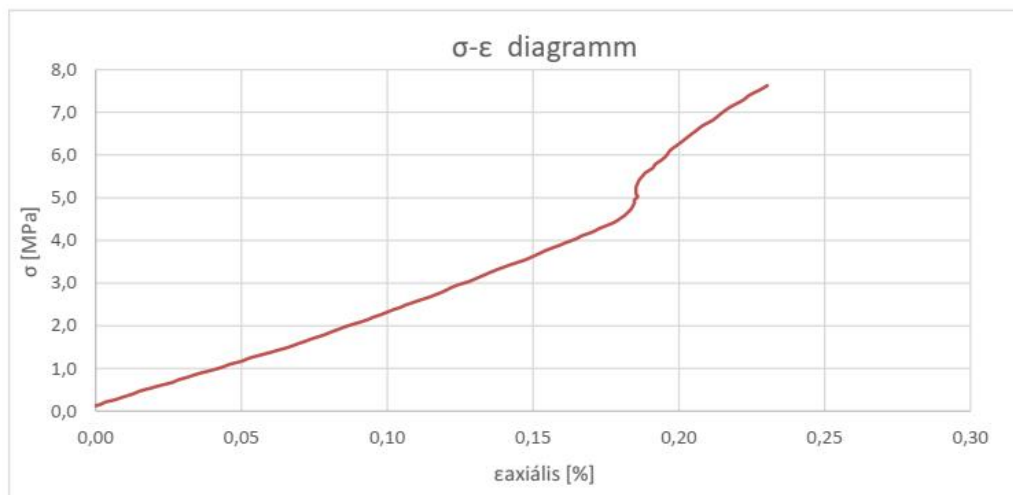
Törőerő [kN]:

16,85 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

7,63 [MPa]

Rug. modulus (E): 3,51 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B2_23

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,46	[mm]
Magasság (h):	32,36	[mm]
Tömeg (m):	93,58	[g]

Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	35,66	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2623,91	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,23	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	1,56	[MPa]
ϵ_2 :	0,13	[%]

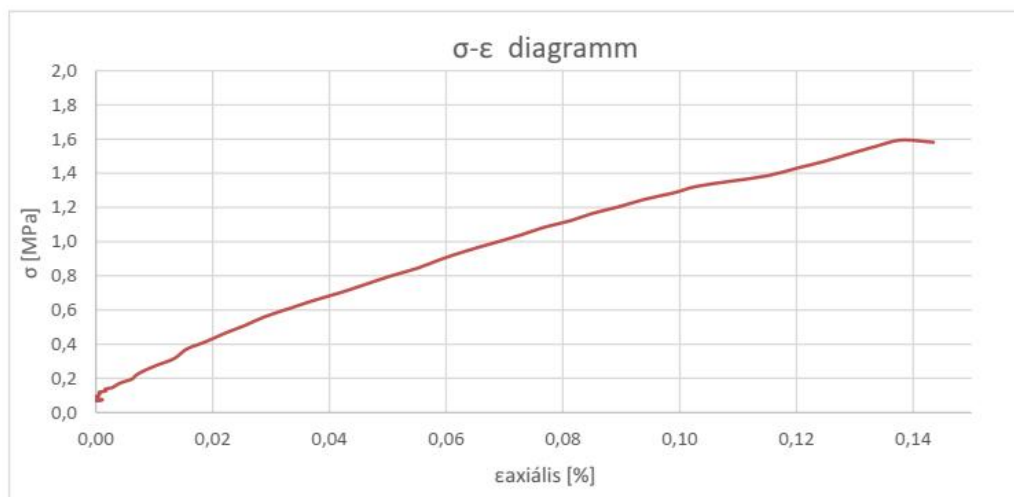
Rug. modulus (E): 1,11 [GPa]

Törőerő [kN]:

3,04 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

1,59 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_1

Próbatest állapota: légszáraz

Törési kép:

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,11	[mm]
Magasság (h):	39,21	[mm]
Tömeg (m):	72,99	[g]
Felület (A):	8,61	[cm ²]
Térfogat (V):	33,76	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2162,01	[kg/m ³]



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,46	[MPa]
ε_1 :	-0,13	[%]
σ_2 :	3,31	[MPa]
ε_2 :	0,03	[%]

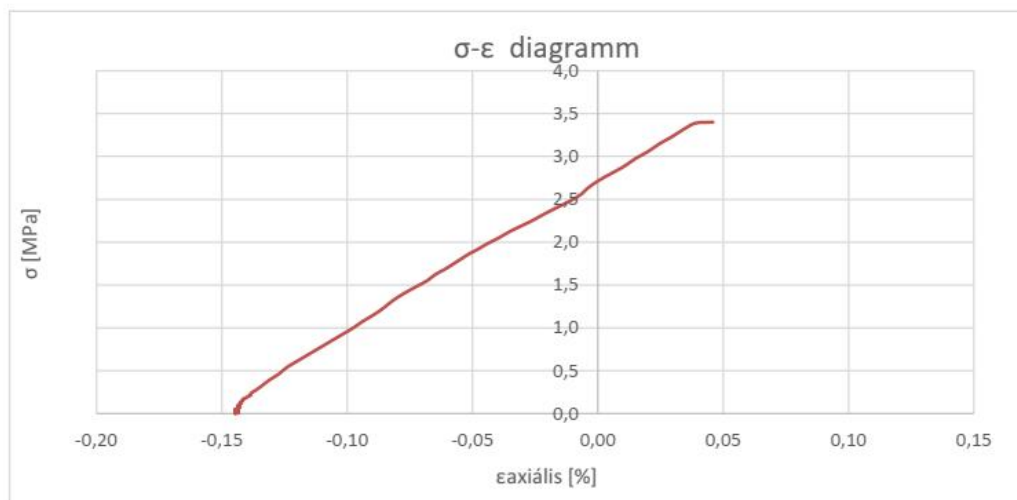
Törőerő [kN]:

6,93 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,40 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,78 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_2

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	32,67	[mm]
Magasság (h):	32,90	[mm]
Tömeg (m):	73,96	[g]

Felület (A):	8,38	[cm ²]
Térfogat (V):	27,58	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2681,72	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,44	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	3,65	[MPa]
ϵ_2 :	0,15	[%]

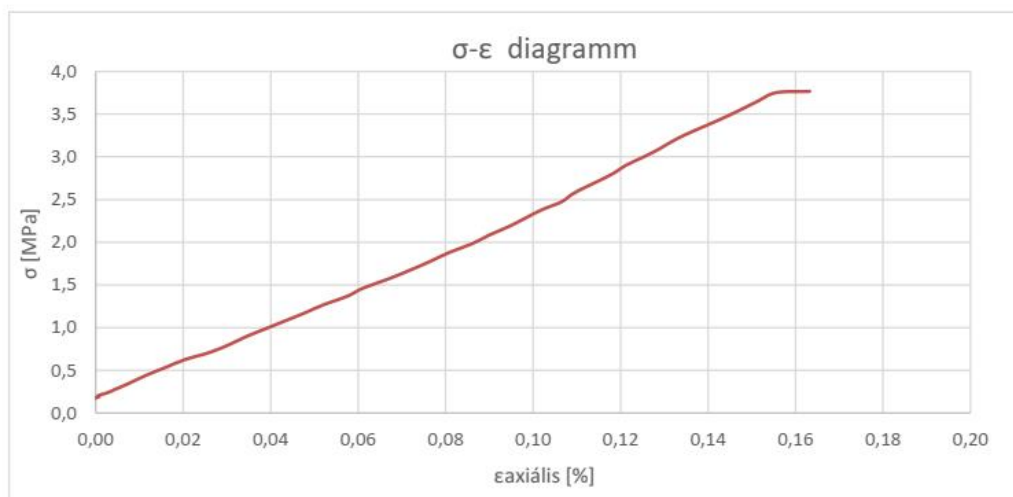
Rug. modulus (E): 2,29 [GPa]

Törőerő [kN]:

6,36 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,77 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_3

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,08	[mm]
Magasság (h):	31,94	[mm]
Tömeg (m):	92,26	[g]
Felület (A):	8,59	[cm ²]
Térfogat (V):	27,45	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	3360,92	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

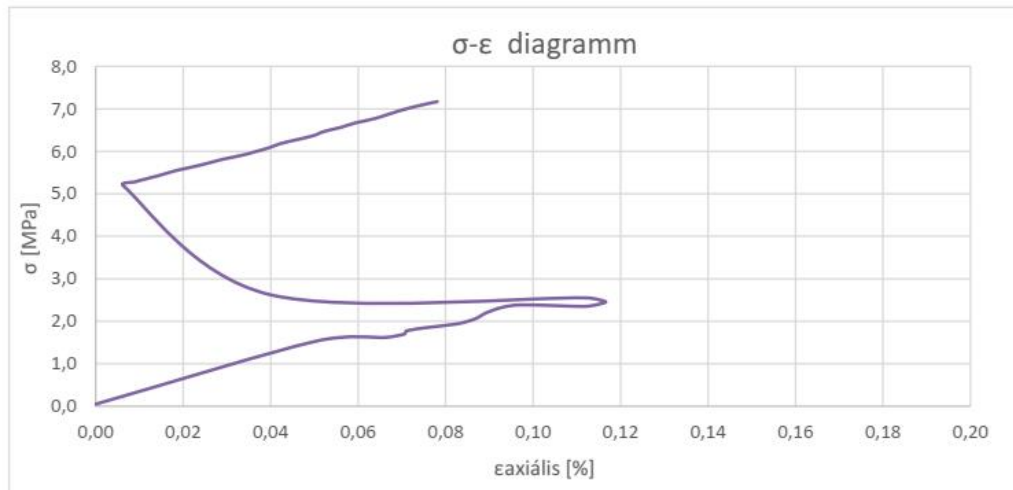
σ_1 :	0,72	[MPa]
ε_1 :	-0,19	[%]
σ_2 :	2,37	[MPa]
ε_2 :	0,10	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

11,90	[kN]
7,17	[MPa]

Rug. modulus (E): 0,57 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

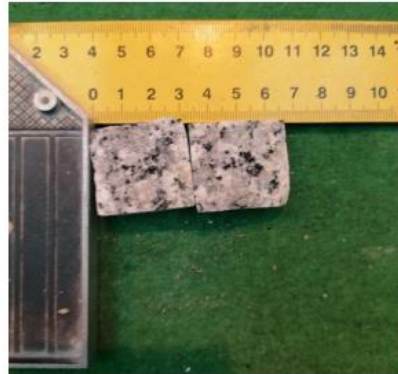
Próbatest száma: B3_4

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,03	[mm]
Magasság (h):	32,47	[mm]
Tömeg (m):	72,86	[g]
Felület (A):	8,57	[cm ²]
Térfogat (V):	27,82	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2618,79	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,61	[MPa]
ϵ_1 :	0,03	[%]
σ_2 :	4,79	[MPa]
ϵ_2 :	0,21	[%]

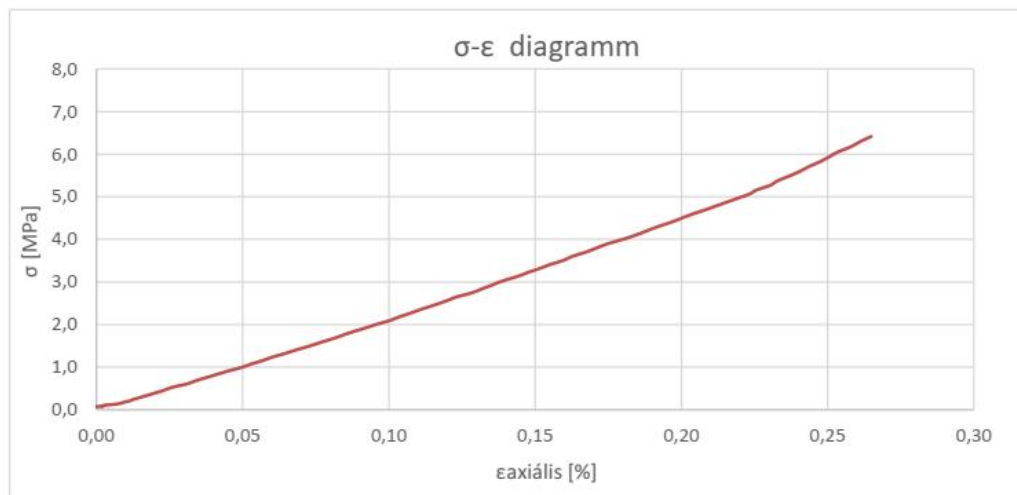
Törőerő [kN]:

10,81 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

6,42 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,32 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_5

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,10	[mm]
Magasság (h):	32,55	[mm]
Tömeg (m):	74,13	[g]
Felület (A):	8,60	[cm ²]
Térfogat (V):	28,01	[cm ³]
Testtűréség (ρ):	2646,65	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,78	[MPa]
ϵ_1 :	0,04	[%]
σ_2 :	4,76	[MPa]
ϵ_2 :	0,20	[%]

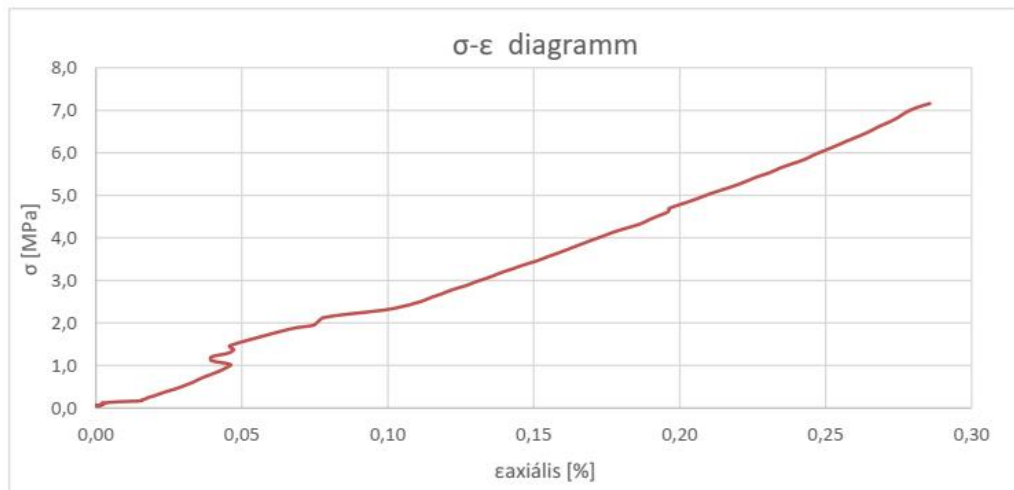
Törőerő [kN]:

12,12 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

7,16 [MPa]

Rug. modulus (E): 2,49 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_6

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,10	[mm]
Magasság (h):	34,07	[mm]
Tömeg (m):	77,38	[g]

Felület (A):	8,60	[cm ²]
Térfogat (V):	29,32	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2639,43	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

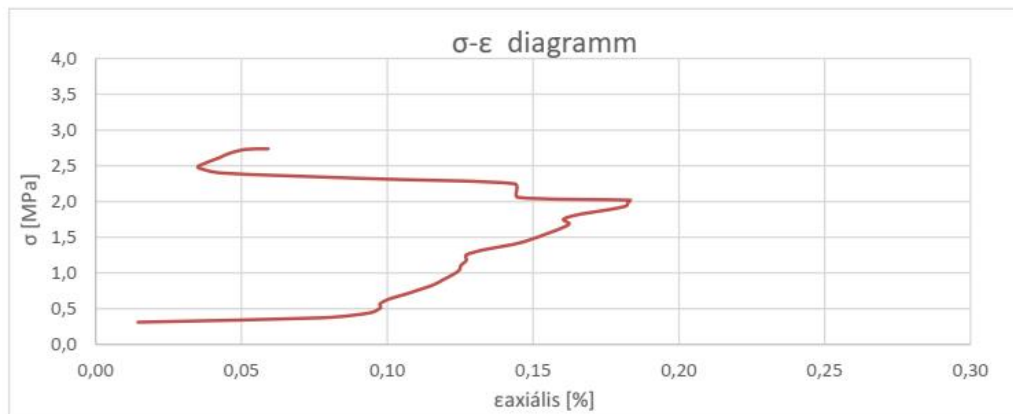
σ_1 :	0,31	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	2,10	[MPa]
ϵ_2 :	0,05	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

4,85	[kN]
2,74	[MPa]

Rug. modulus (E): 4,48 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_7

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,08	[mm]
Magasság (h):	31,88	[mm]
Tömeg (m):	71,91	[g]

Felület (A):	8,59	[cm ²]
Térfogat (V):	27,40	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2624,52	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,50	[MPa]
ϵ_1 :	0,30	[%]
σ_2 :	3,66	[MPa]
ϵ_2 :	0,45	[%]

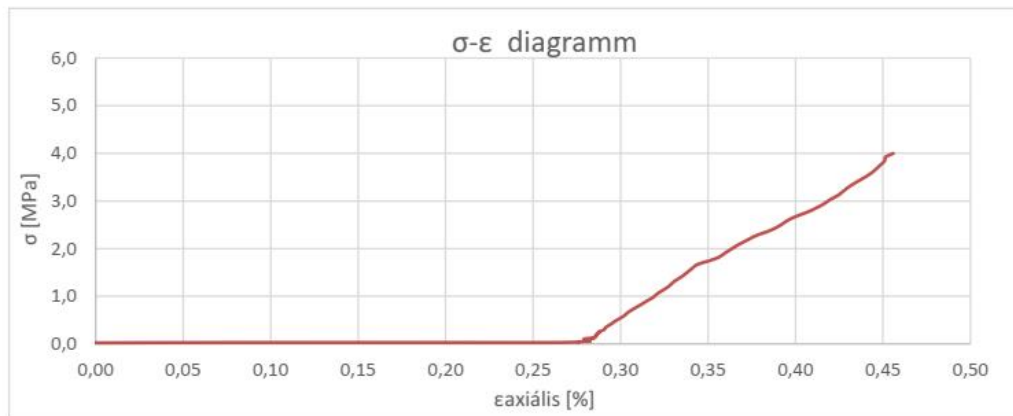
Rug. modulus (E): 2,11 [GPa]

Törőerő [kN]:

6,62 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

4,00 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_8

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,08	[mm]
Magasság (h):	32,90	[mm]
Tömeg (m):	74,51	[g]

Felület (A):	8,59	[cm ²]
Térfogat (V):	28,28	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2635,10	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

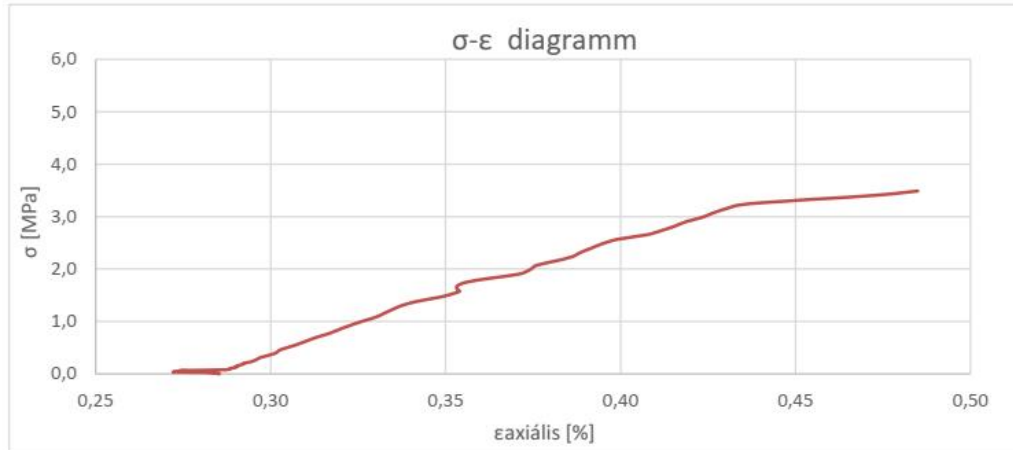
σ_1 :	0,54	[MPa]
ϵ_1 :	0,31	[%]
σ_2 :	3,07	[MPa]
ϵ_2 :	0,43	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ_t):

5,96	[kN]
3,49	[MPa]

Rug. modulus (E): 2,11 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_9

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,35	[mm]
Magasság (h):	32,32	[mm]
Tömeg (m):	73,32	[g]

Felület (A):	8,74	[cm ²]
Térfogat (V):	28,23	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2596,99	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,47	[MPa]
ϵ_1 :	-0,22	[%]
σ_2 :	4,10	[MPa]
ϵ_2 :	0,27	[%]

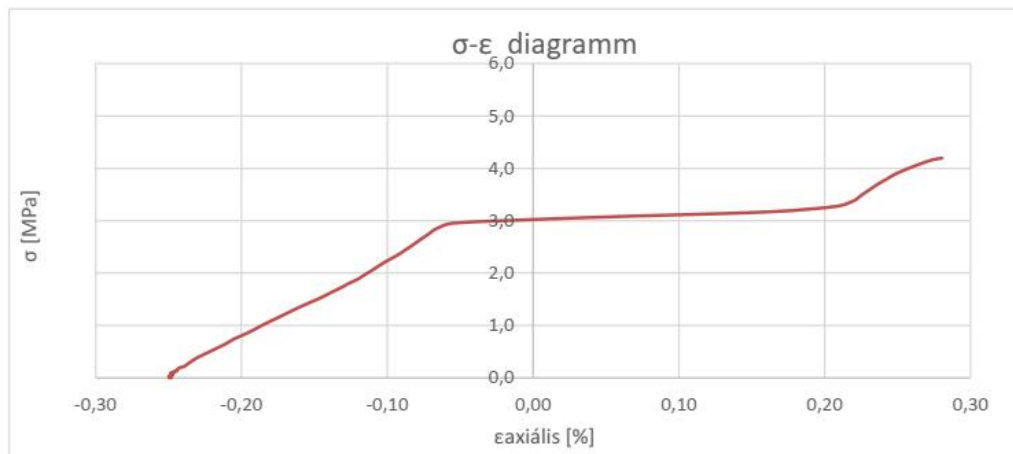
Rug. modulus (E): 0,74 [GPa]

Törőerő [kN]:

7,10 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

4,19 [MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_10

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,09	[mm]
Magasság (h):	42,62	[mm]
Tömeg (m):	73,81	[g]
Felület (A):	8,60	[cm ²]
Térfogat (V):	36,65	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2013,81	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,34	[MPa]
ϵ_1 :	0,01	[%]
σ_2 :	3,77	[MPa]
ϵ_2 :	0,25	[%]

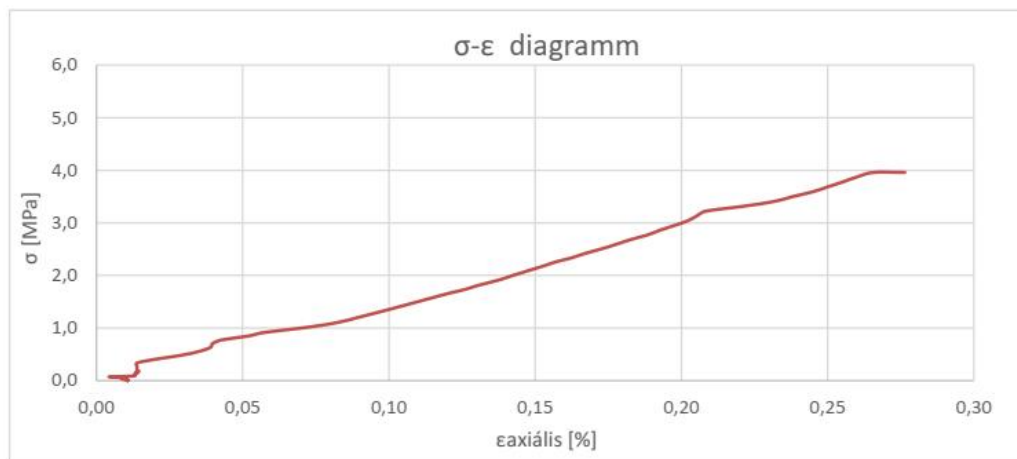
Törőerő [kN]:

8,77 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,96 [MPa]

Rug. modulus (E): 1,43 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_11

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,08	[mm]
Magasság (h):	31,53	[mm]
Tömeg (m):	70,85	[g]

Felület (A):	8,59	[cm ²]
Térfogat (V):	27,10	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2614,54	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

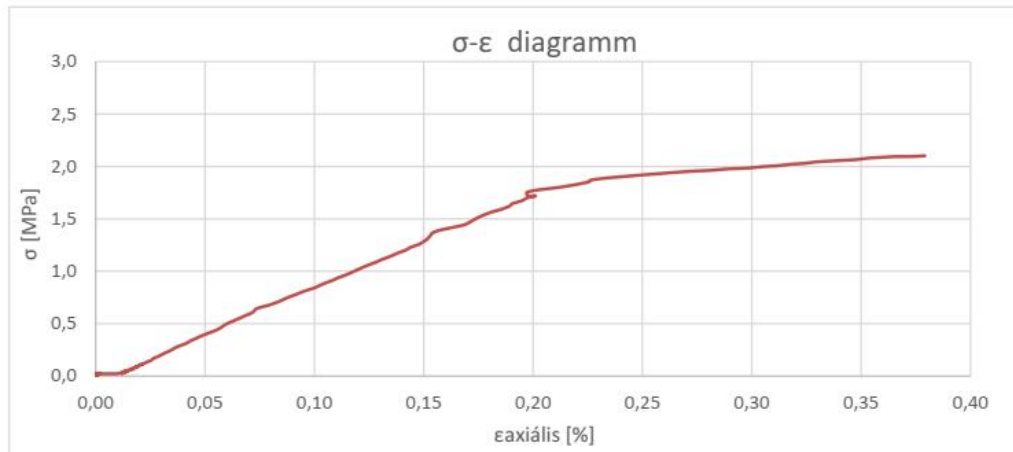
σ_1 :	0,42	[MPa]
ε_1 :	0,05	[%]
σ_2 :	1,67	[MPa]
ε_2 :	0,19	[%]

Rug. modulus (E): 0,89 [GPa]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,44	[kN]
2,10	[MPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_12

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,12	[mm]
Magasság (h):	32,99	[mm]
Tömeg (m):	74,40	[g]
Felület (A):	8,62	[cm ²]
Térfogat (V):	28,42	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2617,70	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,19	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	1,25	[MPa]
ϵ_2 :	0,26	[%]

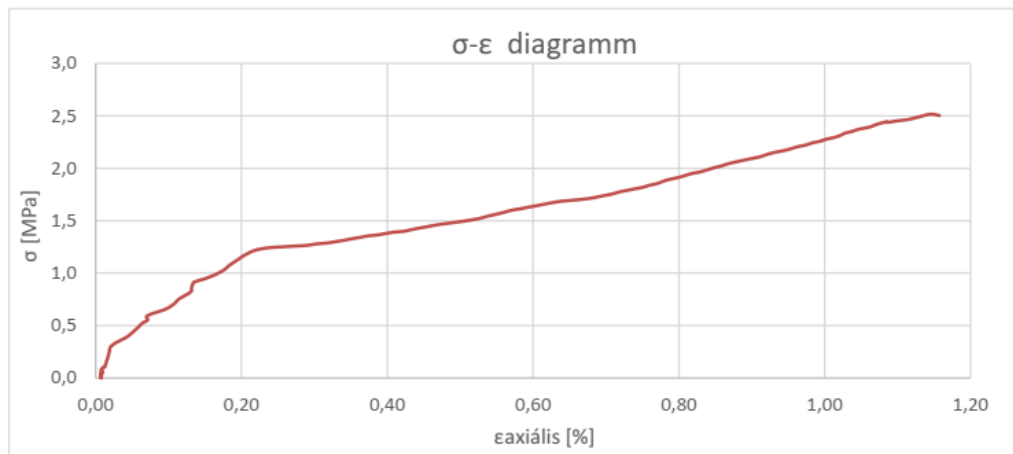
Törőerő [kN]:

4,32 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

2,52 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,44 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_13

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	32,99	[mm]
Magasság (h):	33,31	[mm]
Tömeg (m):	74,46	[g]

Felület (A):	8,55	[cm ²]
Térfogat (V):	28,47	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2615,13	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

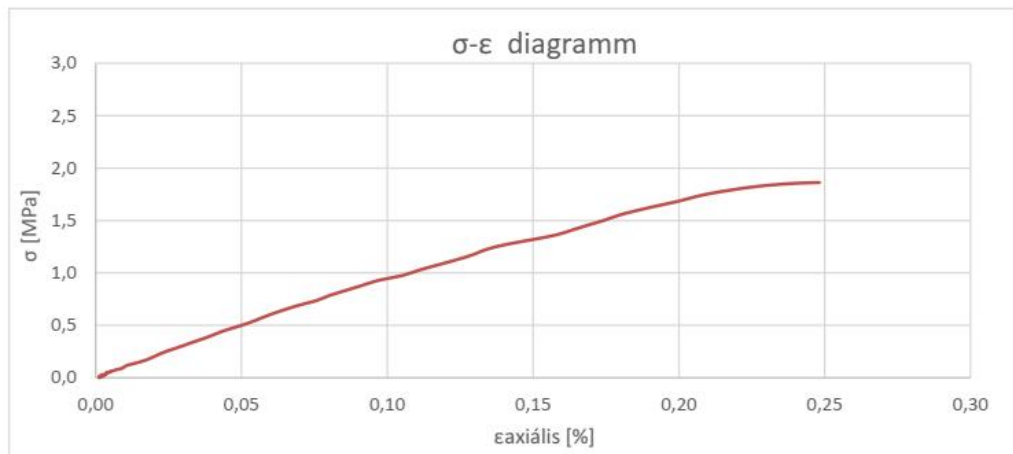
σ_1 :	0,18	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	1,82	[MPa]
ϵ_2 :	0,23	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

3,22	[kN]
1,86	[MPa]

Rug. modulus (E): 0,78 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_14

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,01	[mm]
Magasság (h):	34,99	[mm]
Tömeg (m):	78,61	[g]
Felület (A):	8,56	[cm ²]
Térfogat (V):	29,95	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2625,14	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

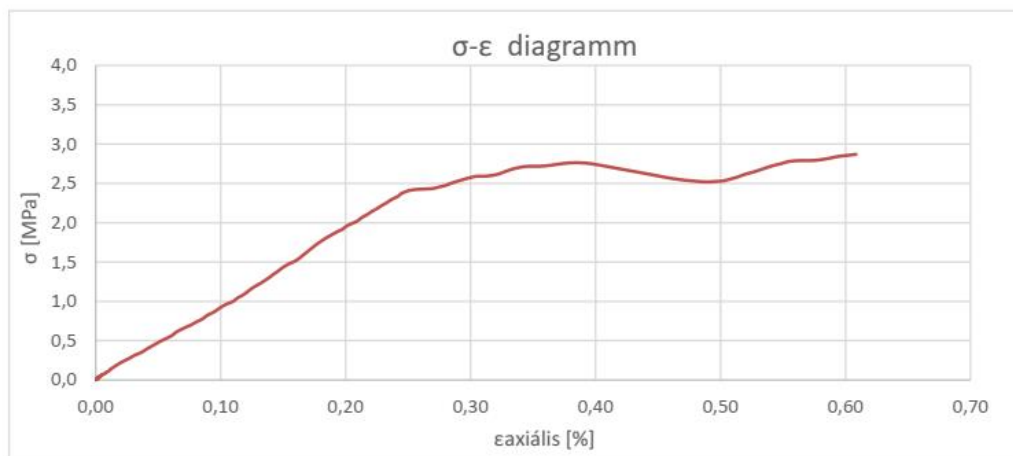
σ_1 :	0,28	[MPa]
ϵ_1 :	0,03	[%]
σ_2 :	2,37	[MPa]
ϵ_2 :	0,24	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

5,21	[kN]
2,87	[MPa]

Rug. modulus (E): 1,00 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_15

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,03	[mm]
Magasság (h):	33,02	[mm]
Tömeg (m):	73,63	[g]
Felület (A):	8,57	[cm ²]
Térfogat (V):	28,29	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2602,38	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	0,25	[MPa]
ϵ_1 :	0,02	[%]
σ_2 :	2,49	[MPa]
ϵ_2 :	0,42	[%]

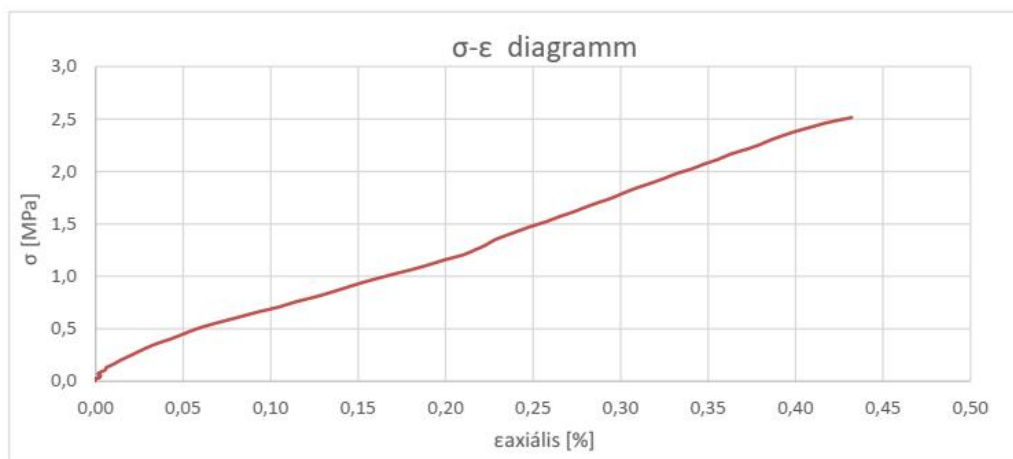
Törőerő [kN]:

4,31 [kN]

Közvetett húzószilárdság (σ):

2,51 [MPa]

Rug. modulus (E): 0,56 [GPa]



Közvetett húzószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: B3_16

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,04	[mm]
Magasság (h):	31,83	[mm]
Tömeg (m):	71,10	[g]

Felület (A):	8,57	[cm ²]
Térfogat (V):	27,29	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2605,33	[kg/m ³]

Törési kép:



Közvetett húzószilárdság meghatározása:

Arányos szakasz:

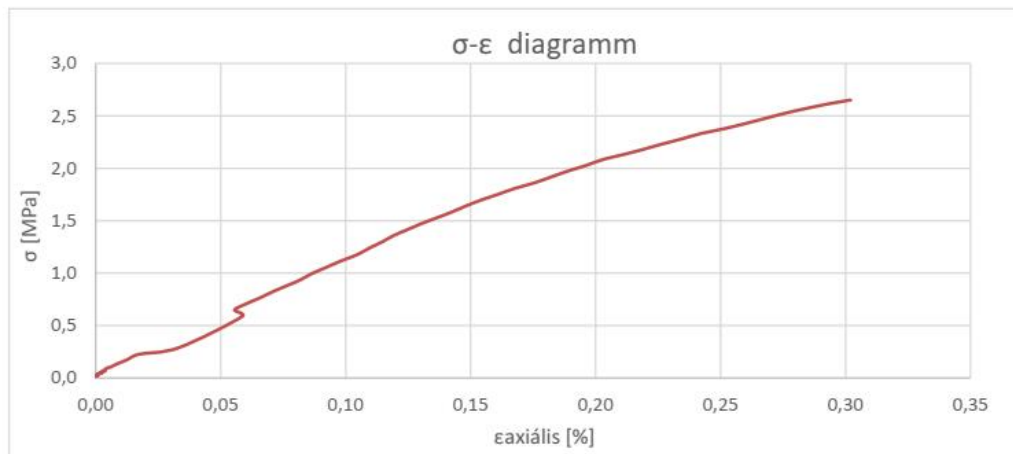
σ_1 :	0,35	[MPa]
ϵ_1 :	0,12	[%]
σ_2 :	2,61	[MPa]
ϵ_2 :	0,29	[%]

Törőerő [kN]:

Közvetett húzószilárdság (σ):

4,38	[kN]
2,65	[MPa]

Rug. modulus (E): 1,33 [GPa]



9.2. Nyomóvizsgálat jegyzőkönyvei

Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY1.1

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,45	[mm]
Magasság (h):	58,77	[mm]
Tömeg (m):	329,86	[g]
Felület (A):	19,21	[cm ²]
Térfogat (V):	112,86	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2922,65	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 156,205

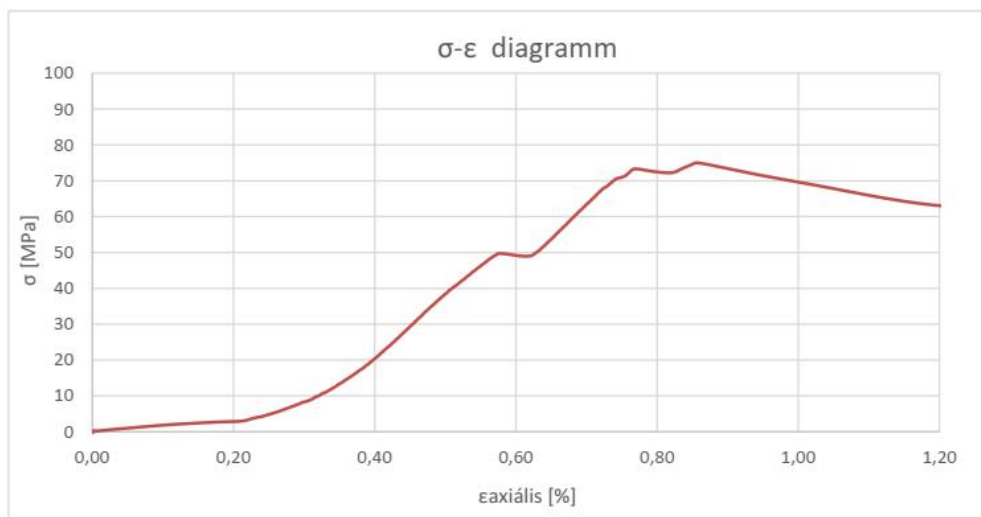
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 75,02 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	10,4600	[MPa]
ϵ_1 :	0,3230	[%]
σ_2 :	49,0700	[MPa]
ϵ_2 :	0,5640	[%]

Rug. modulus (E): 16,02 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY1_2

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,48	[mm]
Magasság (h):	83,64	[mm]
Tömeg (m):	423,65	[g]

Felület (A):	19,23	[cm ²]
Térfogat (V):	160,83	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2634,17	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **115,429**

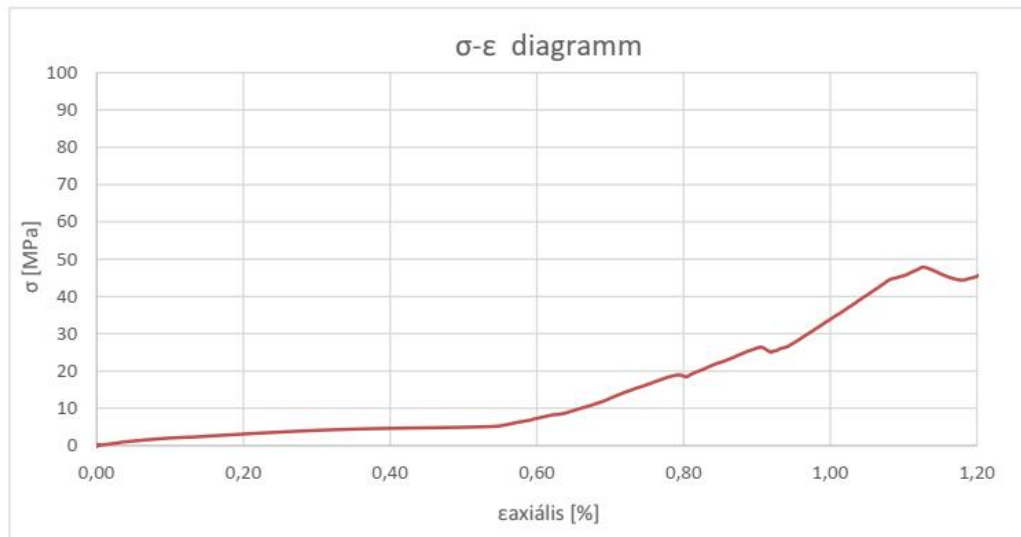
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **58,62** [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	5,8300	[MPa]
ϵ_1 :	0,5640	[%]
σ_2 :	43,2300	[MPa]
ϵ_2 :	1,0740	[%]

Rug. modulus (E): **7,33** [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY1_3

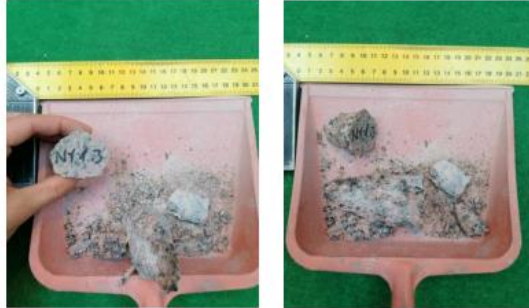
Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,48	[mm]
Magasság (h):	97,45	[mm]
Tömeg (m):	493,49	[g]

Felület (A):	19,23	[cm ²]
Térfogat (V):	187,38	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2633,58	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **180,114**

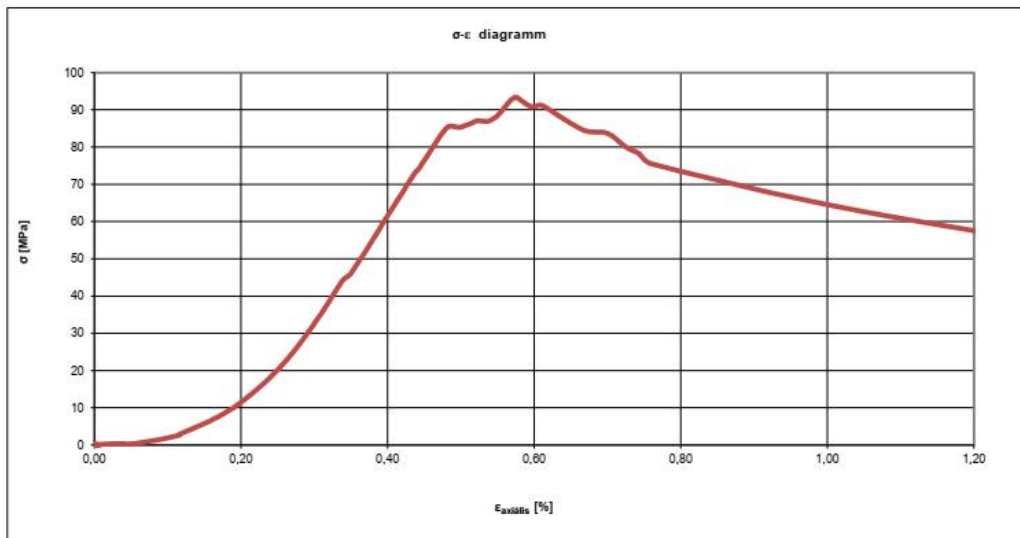
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **93,30** [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	12,3800	[MPa]
ϵ_1 :	0,2060	[%]
σ_2 :	85,3000	[MPa]
ϵ_2 :	0,4960	[%]

Rug. modulus (E): **25,14** [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

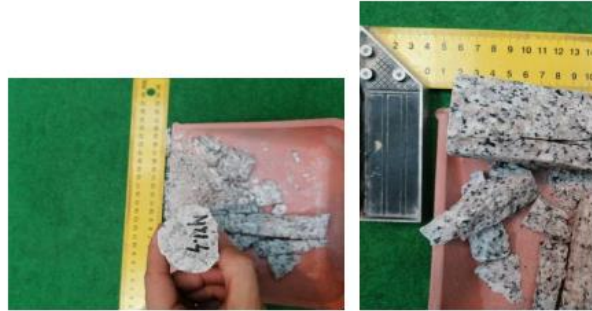
Próbatest száma: NY1_4

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,78	[mm]
Magasság (h):	102,2	[mm]
Tömeg (m):	522,55	[g]
Felület (A):	19,46	[cm ²]
Térfogat (V):	198,91	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2627,10	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 156,589

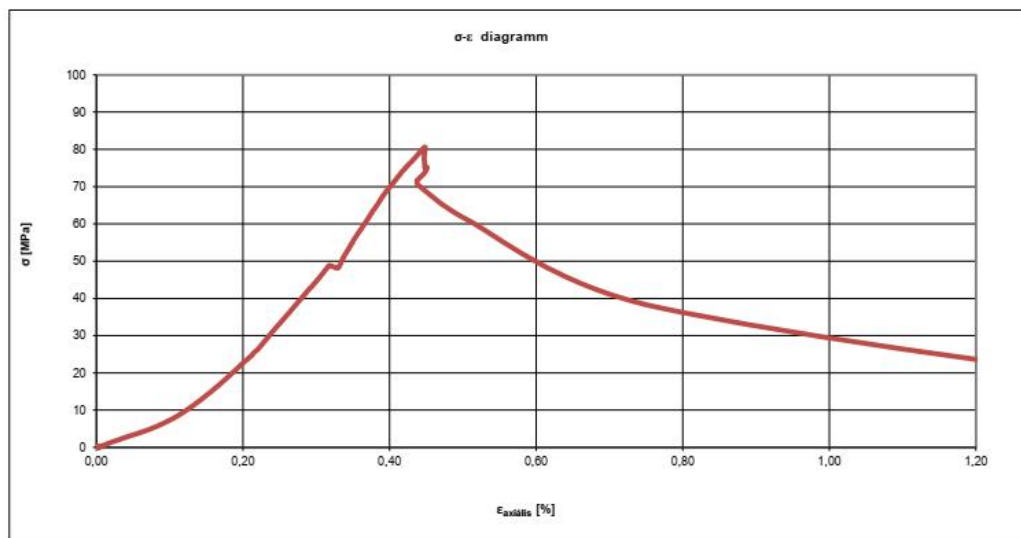
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 80,63 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	7,1800	[MPa]
ε_1 :	0,0990	[%]
σ_2 :	73,9000	[MPa]
ε_2 :	0,4160	[%]

Rug. modulus (E): 21,05 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY1_5

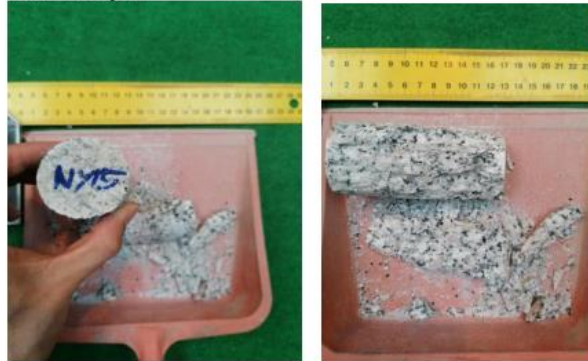
Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,47	[mm]
Magasság (h):	101,74	[mm]
Tömeg (m):	517,54	[g]

Felület (A):	19,22	[cm ²]
Térfogat (V):	195,55	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2646,54	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **130,341**

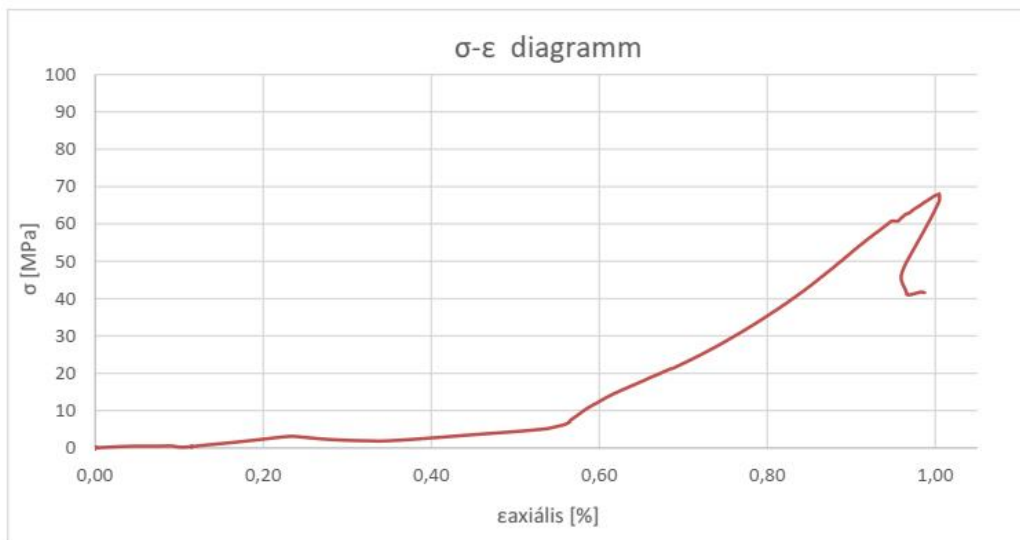
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **67,89** [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	15,0500	[MPa]
ε_1 :	0,6220	[%]
σ_2 :	56,4000	[MPa]
ε_2 :	0,9220	[%]

Rug. modulus (E): **13,78** [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY1_6

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	49,55	[mm]
Magasság (h):	101,86	[mm]
Tömeg (m):	515,41	[g]
Felület (A):	19,28	[cm ²]
Térfogat (V):	196,42	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2624,05	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 73,694

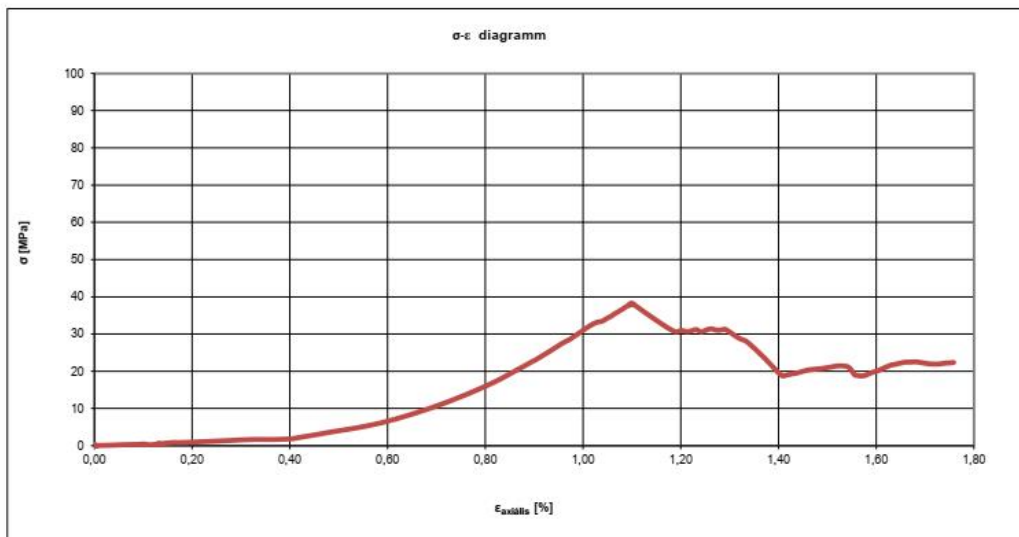
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 38,27 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	12,8500	[MPa]
ϵ_1 :	0,7440	[%]
σ_2 :	32,3000	[MPa]
ϵ_2 :	1,0150	[%]

Rug. modulus (E): 7,18 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

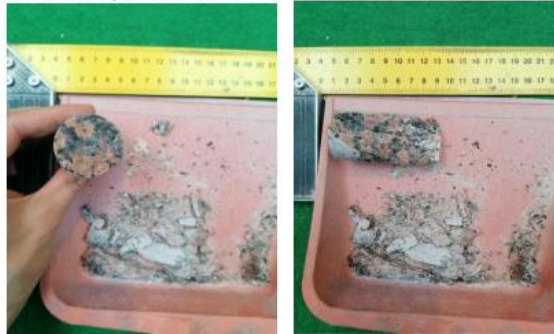
Próbatest száma: NY2_1

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,37	[mm]
Magasság (h):	74,15	[mm]
Tömeg (m):	214,19	[g]
Felület (A):	10,97	[cm ²]
Térfogat (V):	81,33	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2633,61	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 68,403

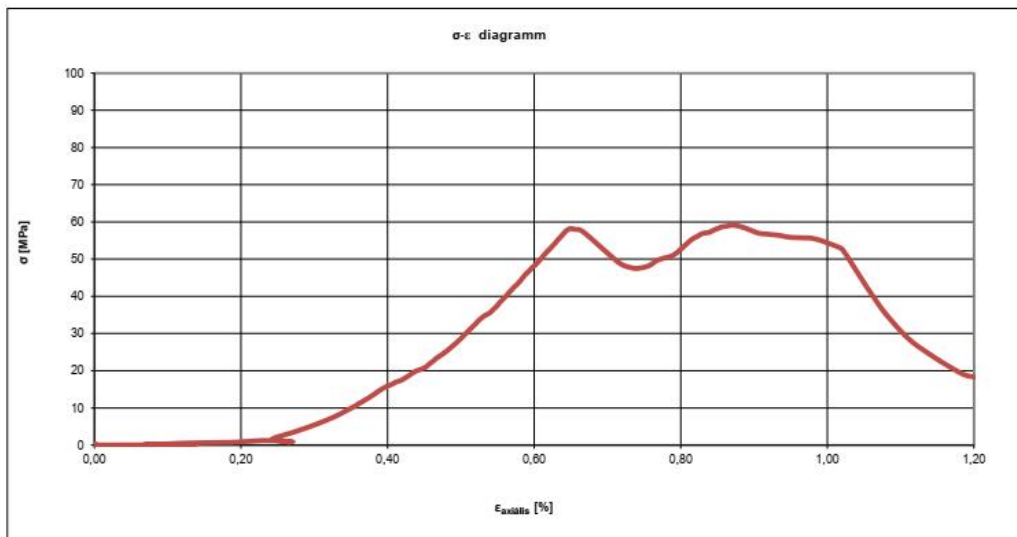
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 59,11 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	11,9800	[MPa]
ϵ_1 :	0,3680	[%]
σ_2 :	52,7200	[MPa]
ϵ_2 :	0,6210	[%]

Rug. modulus (E): 16,10 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY2_2

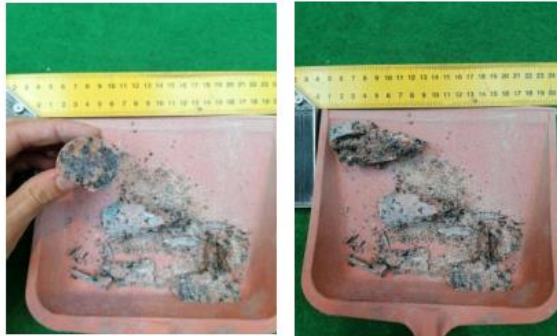
Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): 37,31 [mm]
Magasság (h): 71,7 [mm]
Tömeg (m): 205,37 [g]

Felület (A): 10,93 [cm²]
Térfogat (V): 78,39 [cm³]
Testűrűség (ρ): 2619,86 [kg/m³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 106,720

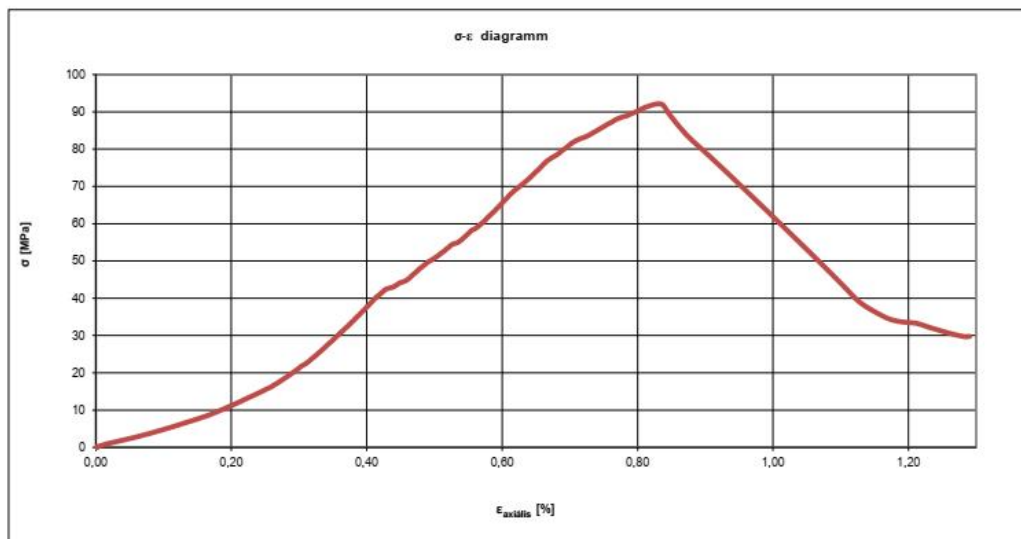
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 92,14 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : 18,5400 [MPa]
 ε_1 : 0,2790 [%]
 σ_2 : 77,4700 [MPa]
 ε_2 : 0,6710 [%]

Rug. modulus (E): 15,03 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY2_3

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,45	[mm]
Magasság (h):	74,05	[mm]
Tömeg (m):	213,77	[g]

Felület (A):	11,02	[cm ²]
Térfogat (V):	81,57	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2620,77	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **98,191**

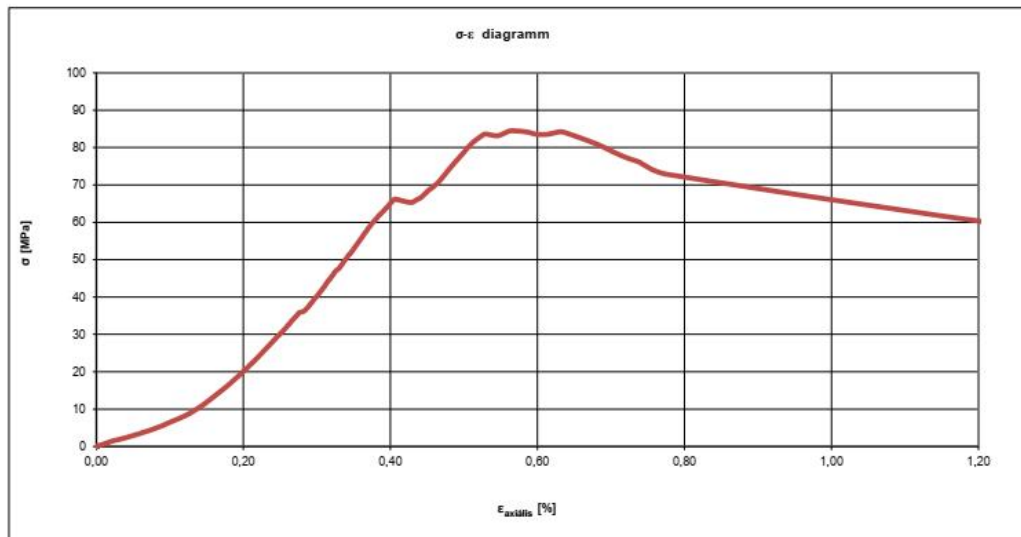
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **84,49** [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	24,1600	[MPa]
ε_1 :	0,2210	[%]
σ_2 :	62,4700	[MPa]
ε_2 :	0,3880	[%]

Rug. modulus (E): **22,94** [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY2_4

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): 37,49 [mm]
Magasság (h): 73,68 [mm]
Tömeg (m): 214,23 [g]

Felület (A): 11,04 [cm²]
Térfogat (V): 81,33 [cm³]
Testűrűség (ρ): 2633,96 [kg/m³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 68,847

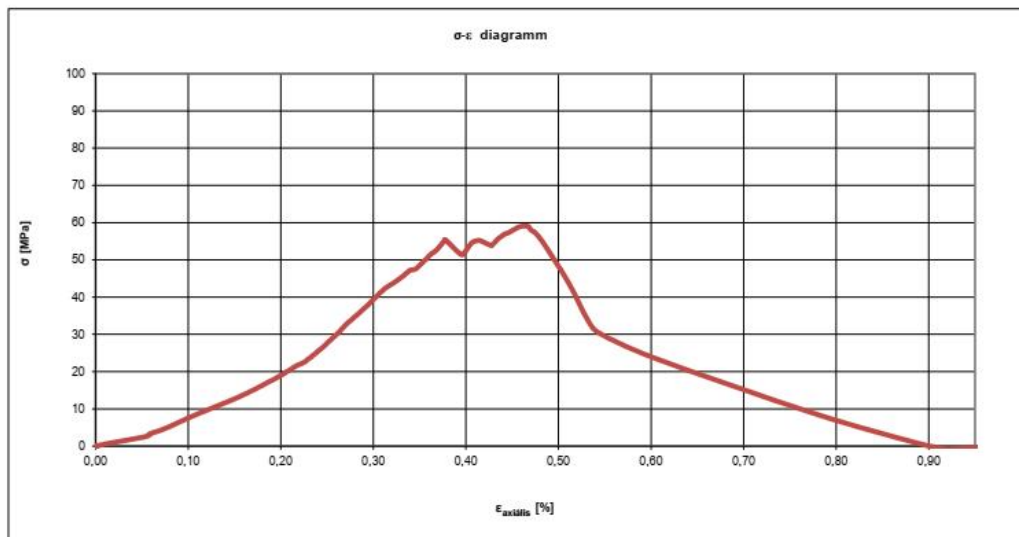
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 59,08 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : 23,5100 [MPa]
 ε_1 : 0,2300 [%]
 σ_2 : 49,5600 [MPa]
 ε_2 : 0,3540 [%]

Rug. modulus (E): 21,01 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY2_5

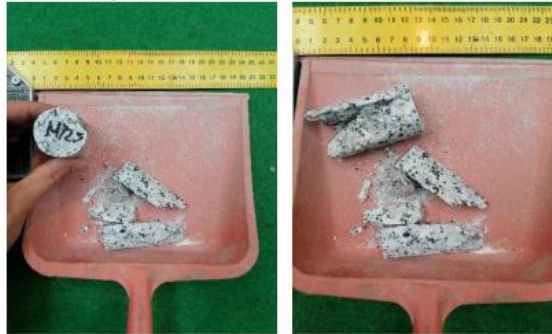
Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,47	[mm]
Magasság (h):	72,97	[mm]
Tömeg (m):	211,89	[g]

Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	80,46	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2633,35	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **51,465**

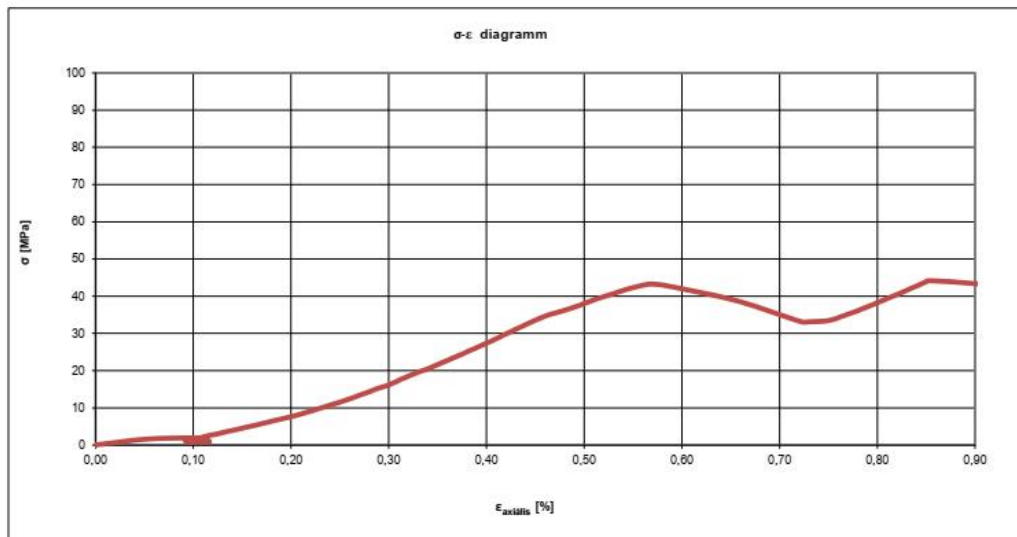
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **44,16** [MPa]

Rugalmissági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	12,7300	[MPa]
ε_1 :	0,2640	[%]
σ_2 :	36,1900	[MPa]
ε_2 :	0,4800	[%]

Rug. modulus (E): **10,86** [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY2_6

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	37,47	[mm]
Magasság (h):	72,97	[mm]
Tömeg (m):	211,89	[g]
Felület (A):	11,03	[cm ²]
Térfogat (V):	80,46	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2633,35	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 59,262

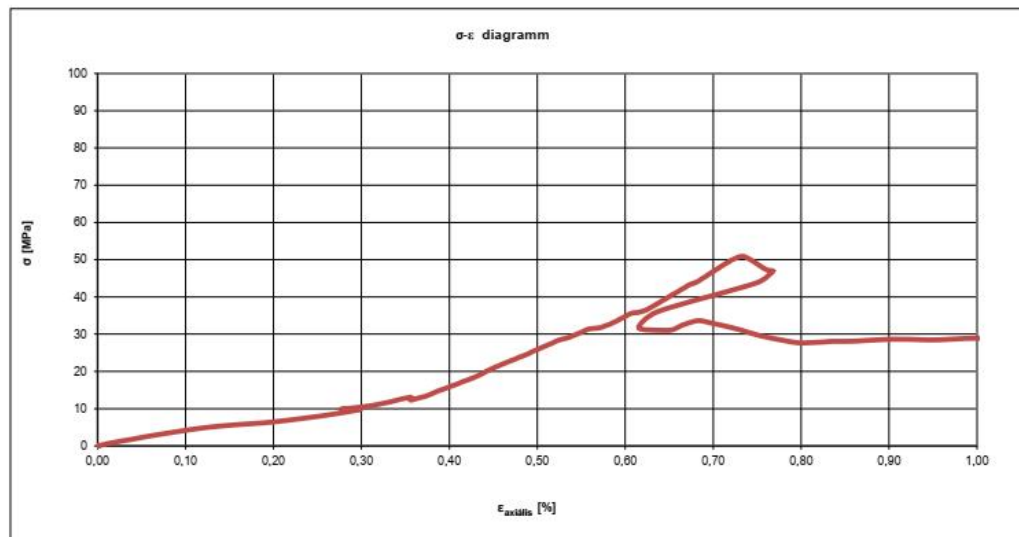
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 50,85 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	35,9000	[MPa]
ε_1 :	0,6160	[%]
σ_2 :	49,8500	[MPa]
ε_2 :	0,7210	[%]

Rug. modulus (E): 13,29 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_1

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,11	[mm]
Magasság (h):	65,53	[mm]
Tömeg (m):	148,82	[g]
Felület (A):	8,61	[cm ²]
Térfogat (V):	56,42	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2637,62	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 56,875

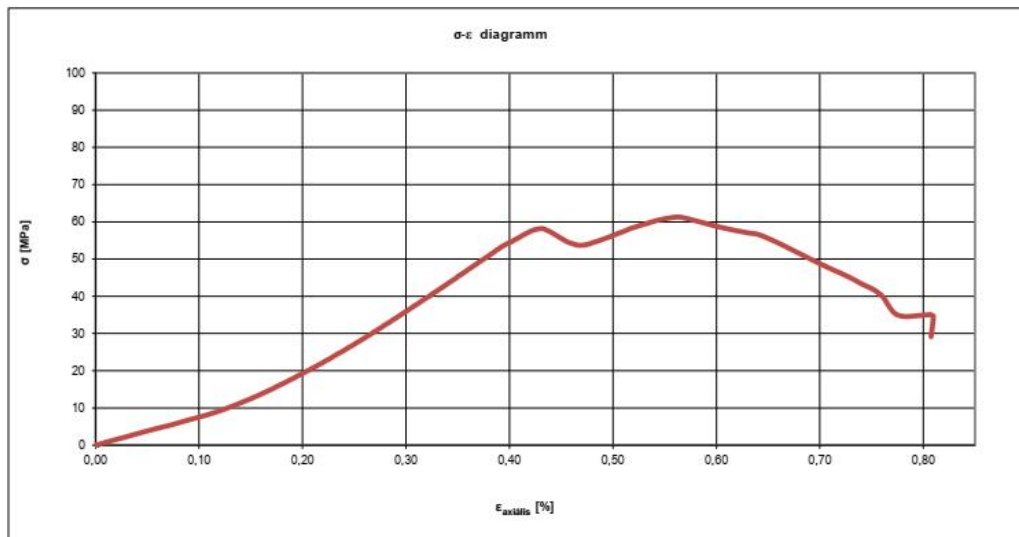
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 61,24 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	15,6100	[MPa]
ε_1 :	0,1740	[%]
σ_2 :	58,8200	[MPa]
ε_2 :	0,4030	[%]

Rug. modulus (E): 18,87 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_2

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,16	[mm]
Magasság (h):	64,67	[mm]
Tömeg (m):	145,97	[g]
Felület (A):	8,64	[cm ²]
Térfogat (V):	55,85	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2613,62	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 30,939

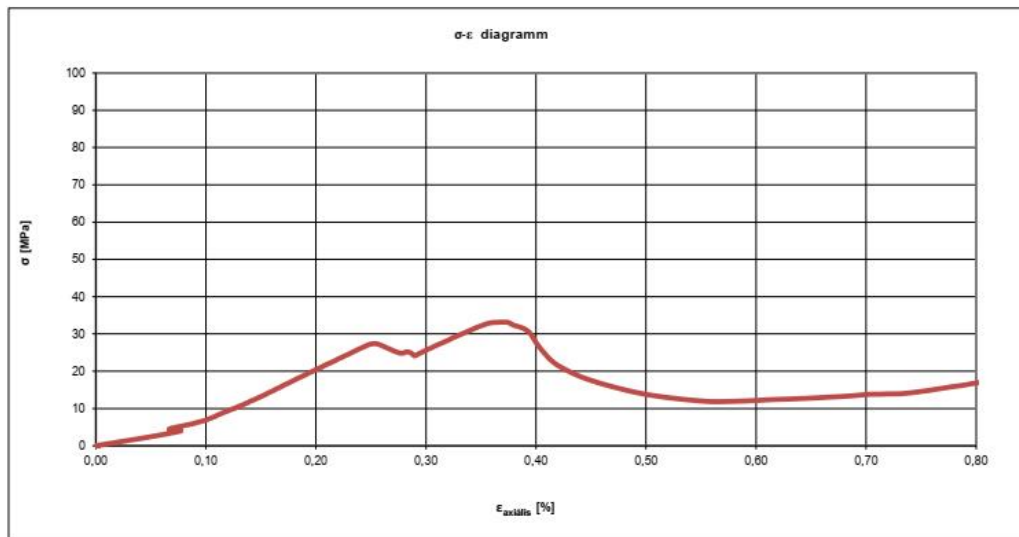
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 33,16 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	5,3500	[MPa]
ε_1 :	0,0790	[%]
σ_2 :	27,0300	[MPa]
ε_2 :	0,2470	[%]

Rug. modulus (E): 12,90 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_3

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,11	[mm]
Magasság (h):	74,4	[mm]
Tömeg (m):	147,03	[g]
Felület (A):	8,61	[cm ²]
Térfogat (V):	64,06	[cm ³]
Testtűrség (ρ):	2295,22	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 36,001

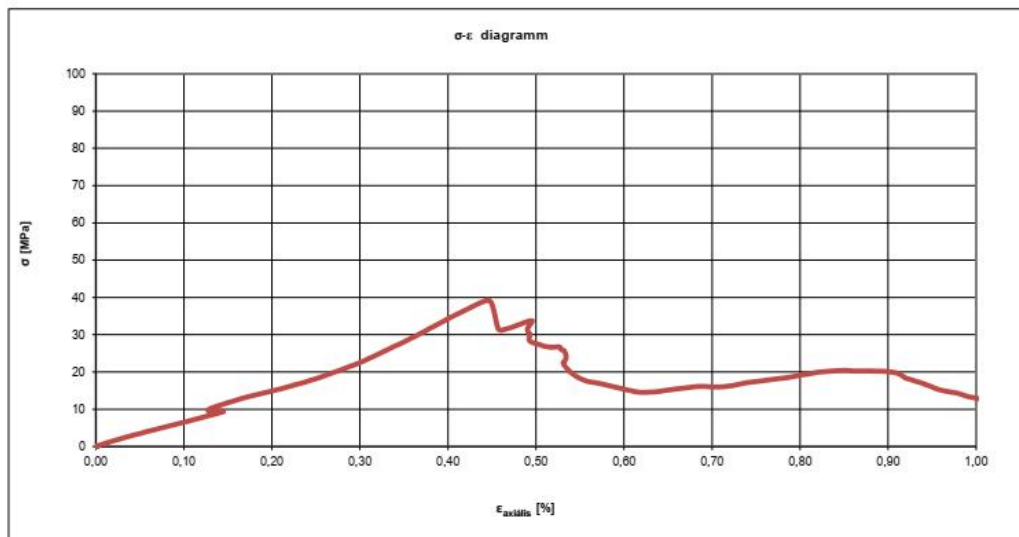
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 39,33 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	13,2000	[MPa]
ε_1 :	0,1700	[%]
σ_2 :	35,7800	[MPa]
ε_2 :	0,4130	[%]

Rug. modulus (E): 9,29 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_4

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,11	[mm]
Magasság (h):	74,4	[mm]
Tömeg (m):	147,03	[g]
Felület (A):	8,61	[cm ²]
Térfogat (V):	64,06	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2295,22	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: 91,449

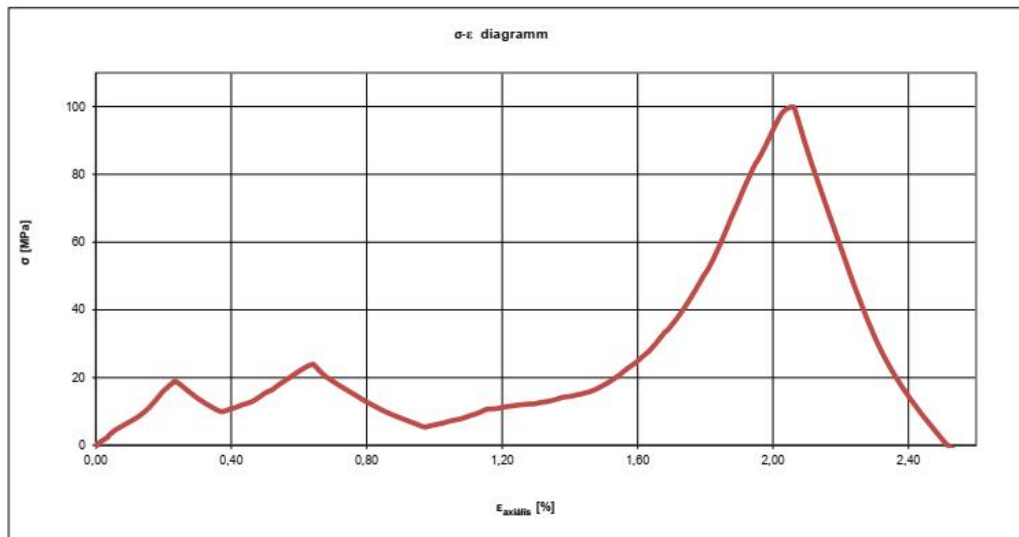
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): 99,92 [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	2,1000	[MPa]
ϵ_1 :	0,0310	[%]
σ_2 :	18,4300	[MPa]
ϵ_2 :	0,2270	[%]

Rug. modulus (E): 8,33 [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_5

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a): [mm]
Magasság (h): [mm]
Tömeg (m): [g]

Felület (A): [cm²]
Térfogat (V): [cm³]
Testűrűség (ρ): [kg/m³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]:

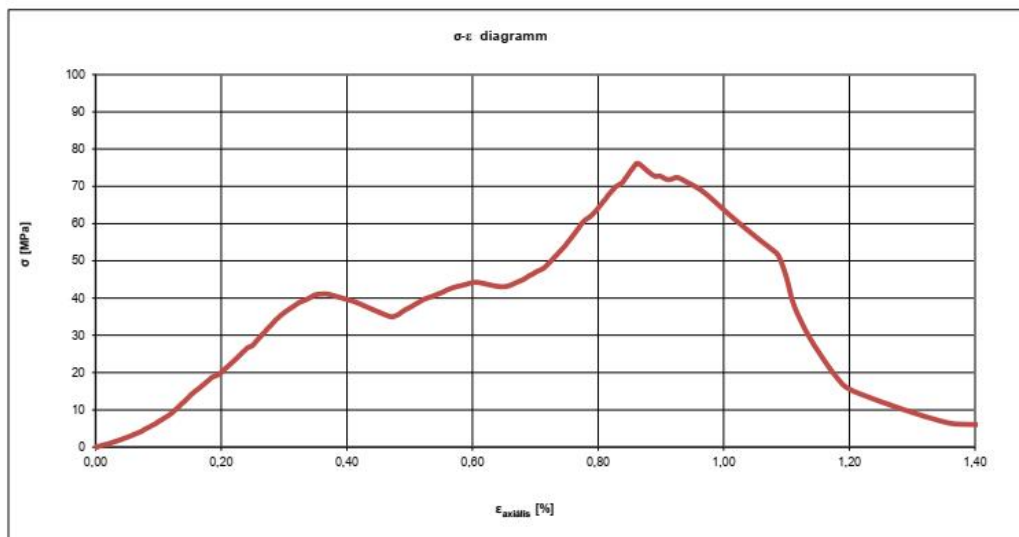
Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 : [MPa]
 ε_1 : [%]
 σ_2 : [MPa]
 ε_2 : [%]

Rug. modulus (E): [GPa]



Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat

Próbatest száma: NY3_6

Próbatest állapota: légszáraz

Próbatest jellemzői:

Átmérő (a):	33,06	[mm]
Magasság (h):	65,44	[mm]
Tömeg (m):	147,19	[g]
Felület (A):	8,58	[cm ²]
Térfogat (V):	56,17	[cm ³]
Testűrűség (ρ):	2620,23	[kg/m ³]

Törési kép:



Egyirányú nyomószilárdság meghatározása:

Törőerő [kN]: **42,407**

Egyirányú nyomószilárdság (σ_c): **45,79** [MPa]

Rugalmassági modulus és poisson tényező meghatározása:

Arányos szakasz:

σ_1 :	11,3900	[MPa]
ε_1 :	0,9280	[%]
σ_2 :	24,7300	[MPa]
ε_2 :	1,1660	[%]

Rug. modulus (E): **5,61** [GPa]

