



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia

2021

Jet-habarczosított talaj mechanikai tulajdonságainak modellezési lehetőségei

Készítette:

Manninger Borka Dorottya

Szerkezet-építőmérnök BSc

Konzulens:

Dr. Vásárhelyi Balázs

egyetemi docens

Budapest, 2021

Összefoglalás

A speciális mélyépítésben talajbetonok előállítására széleskörben elterjedt a jet habarcsosítós talajszilárdítás módszere, melyet a szaknyelvben jet grouting technológiának nevezünk. A talajbetonokat elsősorban meglévő alapok megerősítésére, földpartok megtámasztására alkalmazzuk, ugyanakkor használhatók alagutak biztosításánál vagy nagytömegű szigetelésnél is. A tervezői gyakorlat számára lényeges kérdés a talajbetonok (cementtel habarcsosított talajok) korszerű geotechnikai modellekbe illesztése, amihez azok megfelelő paraméterezése szükséges. A korszerű talajmodellekhez tartozó anyagjellemzők felvétele egyelőre igen bizonytalan, aminek oka egyrészt az anyag ismerethiánya, másrészt a természetes talajok változékonysága.

Mivel a talajbetonok változatos anyagjellemzőinek meghatározása laboratóriumi törésvizsgálatok segítségével történhet, dolgozatomban különböző körülmények között, különböző jet habarcsosítás technológiával készült talajbetonok mintáit vizsgáltam a Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék Közetmechanikai Laboratóriumában mind roncsolásos, mind roncsolás mentes vizsgálatokkal.

A tanulmány célja, hogy a kivitelezés alatt készített talajbetonokból (jet-oszlopokból) vett eltérő minták karakterisztikus Mohr-Coulomb paramétereit meghatározzuk, ezzel segítséget nyújtva a megfelelő modellezési eljárás kialakításához, és a tervezésben felmerülő kérdések lehetőség szerinti megválaszolásához.

Abstract

On the field of special deep foundation, jet grouting is widely used for the production of soil concrete which is used to strengthen existing foundations and support working pits. An important issue of design practice today is the incorporation of soil concretes (cement-grouted soils) into modern geotechnical models. That requires their proper parameterization. The inclusion of material properties belonging to modern soil models is still very uncertain due to the lack of knowledge and the variability of natural soils.

As the cognition of the diverse material characteristics of soils may be specifically facilitated by laboratory fracture tests, in my thesis I examined samples of soil concrete made under different conditions with different jet grouting technology in the laboratory of the Department of Engineering Geology and Geotechnics.

The aim of the study is to determine the characteristic Mohr-Coulomb parameters of the samples taken from soilconcrete (jet columns) during construction. This will help to develop an appropriate modelling process and to answer the questions of design as far as possible.

Tartalomjegyzék

Összefoglalás.....	1
Abstract	2
1. Bevezetés	4
2. Jet grouting technológia ismertetése	5
2.1. Jet technológia alkalmazása	5
2.2. Jet technológia története.....	8
3. A vizsgálat helyszíne	9
3.1. Talajrétegződés, talajviszonyok	10
3.2. Talajvízviszonyok	11
4. A vizsgálatok bemutatása.....	12
4.1. A minták előkészítése.....	12
4.2. Mintatörések előtt vizsgált paraméterek.....	14
4.3. Roncsolásos vizsgálatokkal meghatározott paraméterek	14
4.3.1. Nyomó- és húzószilárdság.....	14
4.3.2. További számított paraméterek ^[13]	16
5. Az eredmények ismertetése	18
6. Az eredmények értékelése	23
6.1. Sűrűség	23
6.2. Ultrahang terjedési sebesség.....	23
6.3. Nyomószilárdság.....	23
6.4. Húzószilárdság	24
6.5. Nyomó- és húzószilárdság hányadosa (Brinke szám)	24
6.2. Rugalmassági modulus és nyomószilárdság aránya.....	25
6.3. Belső súrlódási szög	25
6.4. Kohézió	25
6.5. Poisson-tényező.....	26
6.6. Összegzés	26
7. Javaslattétel	27
8. Irodalomjegyzék	29
Függelék.....	30
1. Melléklet.....	46
2. Melléklet.....	48

1. Bevezetés

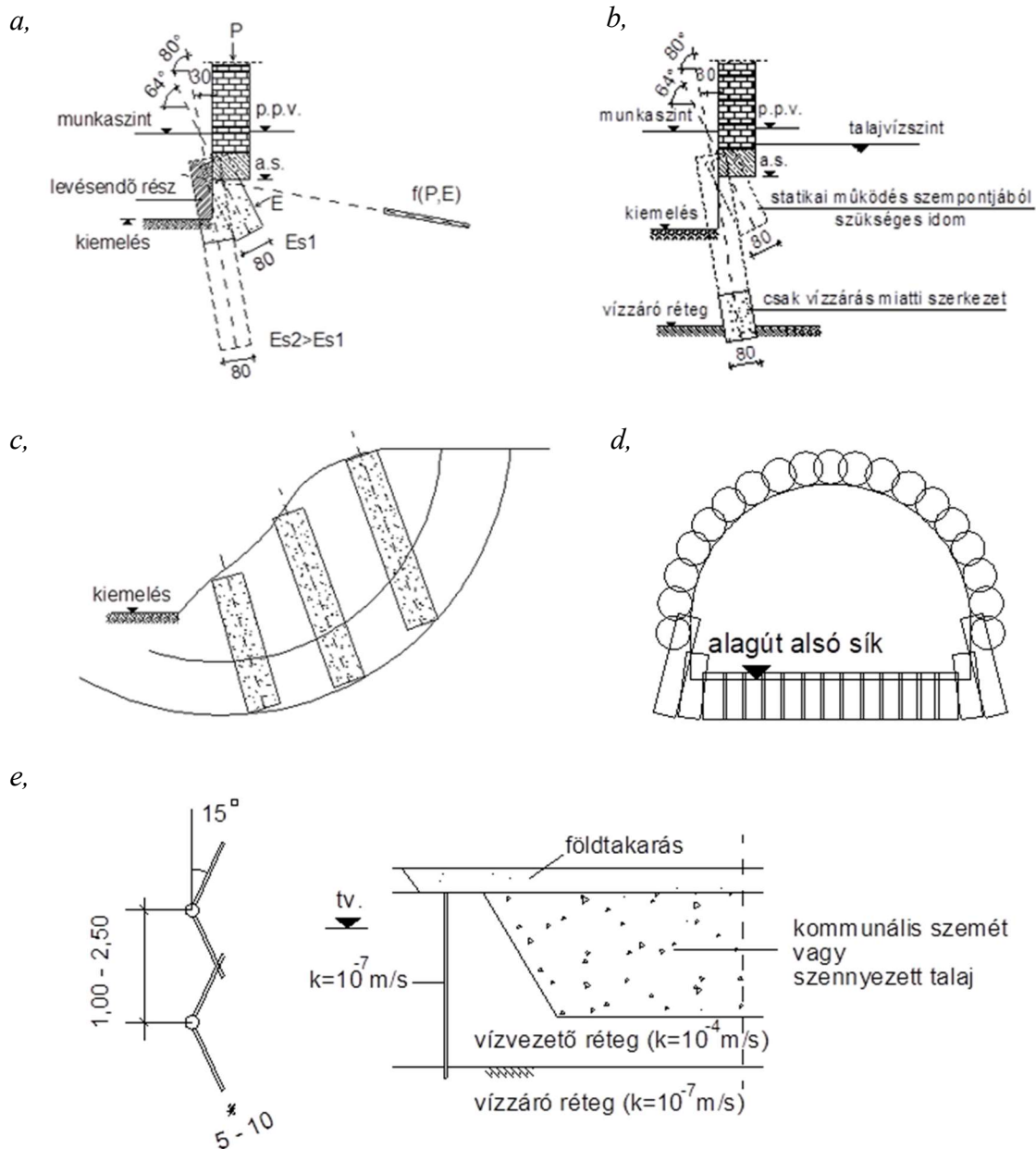
A speciális mélyépítésben jelenleg is gyakran alkalmaznak jet grouting technológiát, többek között alapok megerősítésére, földpartok megtámasztására, vízzáró szerkezet építésére. A jet oszlopok anyagát adó talajbeton szilárdságtani tulajdonságai a talajkörnyezet, cementtartalom és egyéb kivitelezésből származó jellemzők miatt jelentős eltéréseket mutatnak. Emiatt vált szükségessé ezek laboratóriumi vizsgálata.

Dolgozatom célja a jet grouting technológiával készült talajbeton próbatestek mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. A tanulmány célja, hogy a próbatestek Mohr-Coulomb paramétereit laborvizsgálati törésekkel meghatározzuk, és ezen adatok mentén rendszerezni, majd csoportosítani tudjuk, hogy az egyes szilárdsági tényezők meghatározásával elősegítsük a modellezés folyamatát. Ehhez tizenöt, eltérő körülmények között készült próbatest részvételével mind roncsolás-mentes, mind roncsolásos laboratóriumi vizsgálatokat végeztem, melyek eredményeivel a mechanikai tulajdonságok összefüggéseit vizsgáltam.

2. Jet grouting technológia ismertetése

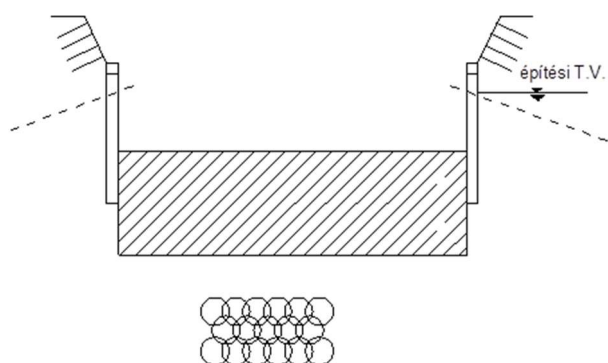
2.1. Jet technológia alkalmazása

A jet habarcsosítás a speciális mélyépítésben a talajok mechanikai tulajdonságainak javítására, alapok megerősítésére, földpartok megtámasztására, alagutak biztosítására, munkatérhatárolásra használt technológia. Különböző felhasználási köreit foglalja össze a 1. ábra.^[1]



1. ábra: Jet grouting technológia alkalmazásai: a, Alapmegerősítés horgonnyal b, Alapmegerősítéshorgony nélkül c, Földpart megtámasztás d, Alkalmazás alagútépítésben e, Szennyezett talaj vagy kommunális szemét elzárása

f,



1. ábra: Jet grouting technológia további alkalmazásai: f, Munkatérhatárolás és alaplemez alatti zóna kiinjektálása

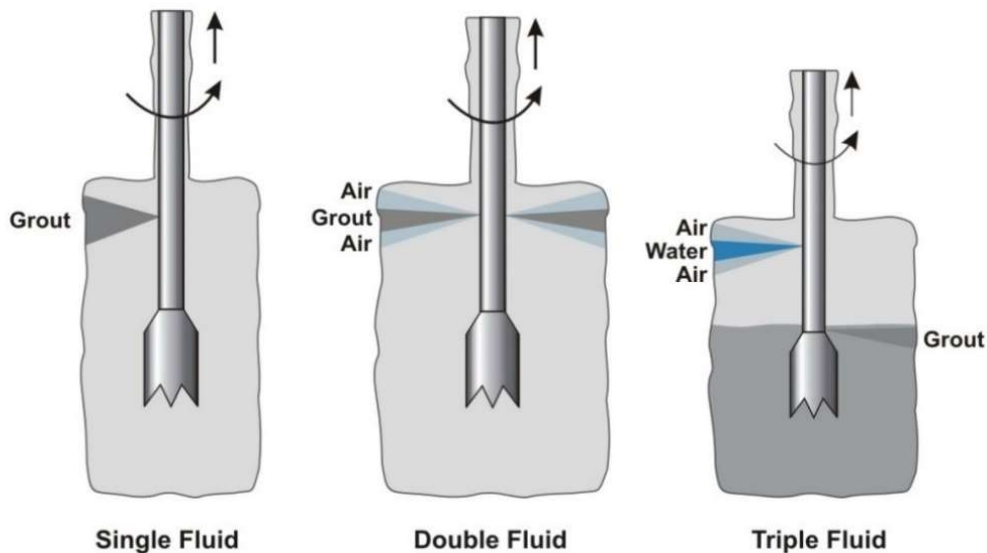
Az eljárás során a fúrószárat folyadék (rendszerint cementhabarcs) öblítés mellett juttatják a kívánt alapozási síkra. A fúrószárat annak kihúzásával együtt a fúróberendezés egyenletesen forgatja is, miközben nagynyomású (400-500 bar) cementhabarcsot juttat a talajba. A nagynyomású cementhabarcs megbontja a talaj szerkezetét, és a felaprózott talajszemcsék összekeverednek a cementhabarccsal, ezáltal a cementkötést követően szilárdított talajoszlopok jönnek létre. A folyamat során a talajjal keveredett cementhabarcs a felszínre is visszaáramlik, amivel később az esetlegesen elfolyó anyagot visszatölthetik. ^{[1][2]}



1. kép: 400 bar nyomású vízsugár ^[3]

Anyaghasználatától függően egy-, két- vagy háromfázisú rendszerről beszélhetünk. Egyfázisú rendszer esetén egyféle folyadék aprózza fel és köti meg a talajt. Kétfázisú a rendszer, ha a

folyadékot levegőburok kíséri (levegős rendszer), vagy, ha a talajaprítást nagynyomású vízsugár végzi, és ezzel egyidejűleg, a monitor másik fúvókáján kiáramló cementsugár köti meg azt (vizes rendszer). Háromfázisú rendszerben levegőburokkal körbevett vízsugár bontja meg a talajt, a kötőanyag pedig vele egyidőben, külön fúvókán érkezik. [4]



2. kép: Jet grouting technológiák [5]: egy-, két- és háromfázisú eljárás

A jet oszlop tulajdonságait a kivitelezés során az alábbi tényezők befolyásolhatják:

- jet grouting alkalmazott technológiája,
- fajlagos cementtartalom,
- fúvókaátmérő
- folyadéknomás,
- kihúzási és forgatási sebesség. [1]

Ezeket felül pedig, a tervezéshez

- a húzó- és nyomószilárdságot,
- a két szilárdság érték hányadosát,
- a rugalmassági modulust,
- a belső súrlódási szöveget,
- a kohéziót és
- a Poisson-tényezőt

is figyelembe kell vennünk, így dolgozatomban ezeket a paramétereket vizsgálom.

2.2. Jet technológia története

A technológia az 1970-es években Japánban jelent meg és fejlesztése követte a technika fejlődését. Yahiro és Nakanishi kutatómunkájára támaszkodva az eljárást fokozatosan, más országokban is alkalmazni kezdték. [6]

Az évtized végén Amerikában az egyfázisú rendszer kezdett terjedni, később közepén a háromfázisú rendszert is bevezették. Költséghatékonysága miatt végül a kétfázisú rendszer alkalmazása vált igazán népszerűvé. [6]

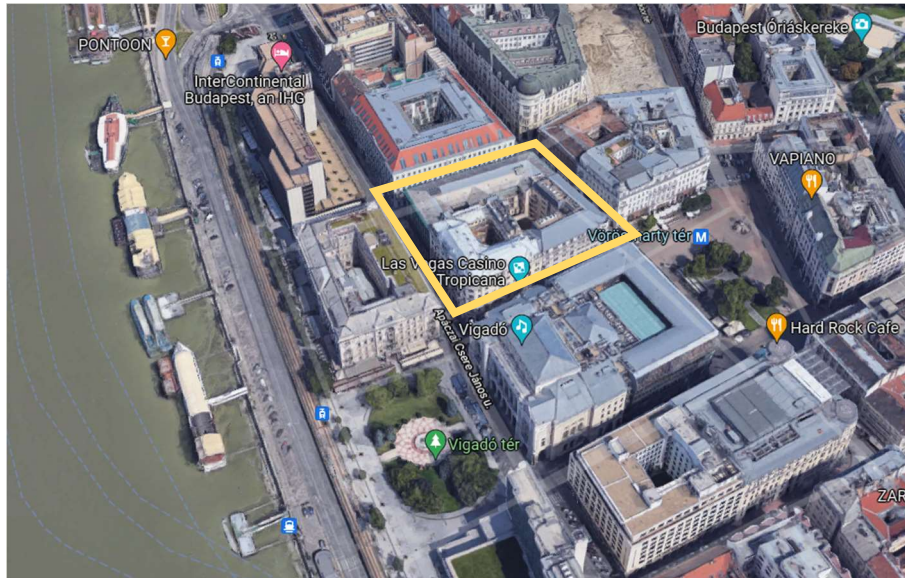
Európában szintén az 1970-es években kezdett ismertté válni, leginkább vízi műtárgyak telepítése és az alagútépítés területein. Fejlesztése elsősorban Olaszországban zajlott, és főként az egyfázisú rendszer tervezésével foglalkozott. [6]

Kínában elsőként tartószerkezet építésre alkalmazták Sanghajban, és azóta Kína a nemzetközi építőiparban a jet grouting technológiát tekintve vezető országgá vált. [6]

A jet grouting külön fejlődési ága a horizontális/vízszintes jet habarcsosítás eljárása. A felhasználás köre igen széles, gyakorlati alkalmazása az alagutak határoló tartófalának ilyen módon történő kialakítása, nagy felszíni terhelés, városi környezet esetén. Azonban az eljárás nem csak a horizontális jet habarcsosítás útján kapcsolódik az alagútépítési feladatokhoz, sok esetben vízszintes jet oszlopok segítségével akadályozzák meg, hogy az alagútépítési munkálatokhoz szükséges nehézgépek mozgásukkal előnytelenül roncsolják az építési területet. [7][8]

3. A vizsgálat helyszíne

A vizsgálatokhoz 2020. október 13-án a Dunától kb. 150 m-re található V. kerületi Dorottya utca 4. szám alatt épülő Dorottya Hotel Budapest alapozásának kivitelezési munkái során vettünk mintákat, az egy szint pincével rendelkező, padlósík süllyesztéssel érintett épületrész szerkezeti jét falaiból, illetve külön, a tanulmány céljára készített a résfallal körülvett munkagödörben készített próba jet oszlopokból.



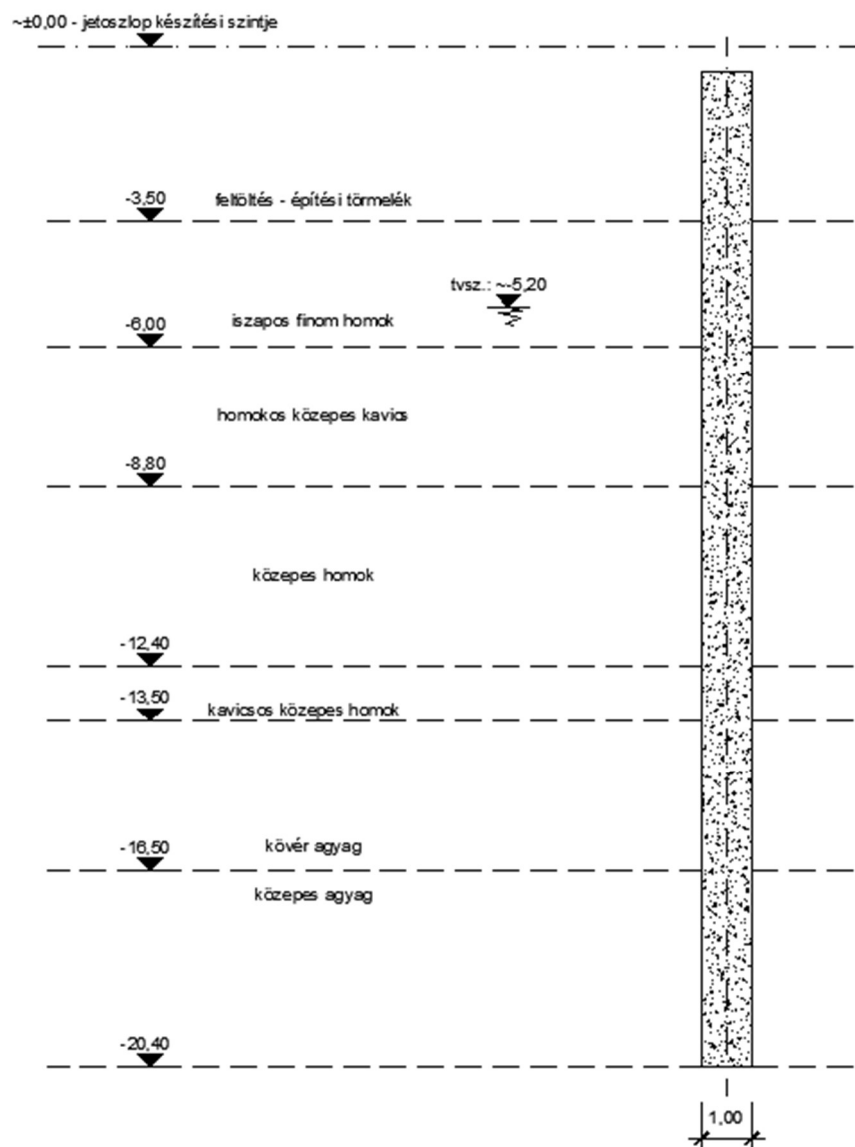
3. kép: Mintavétel helyszíne [9]



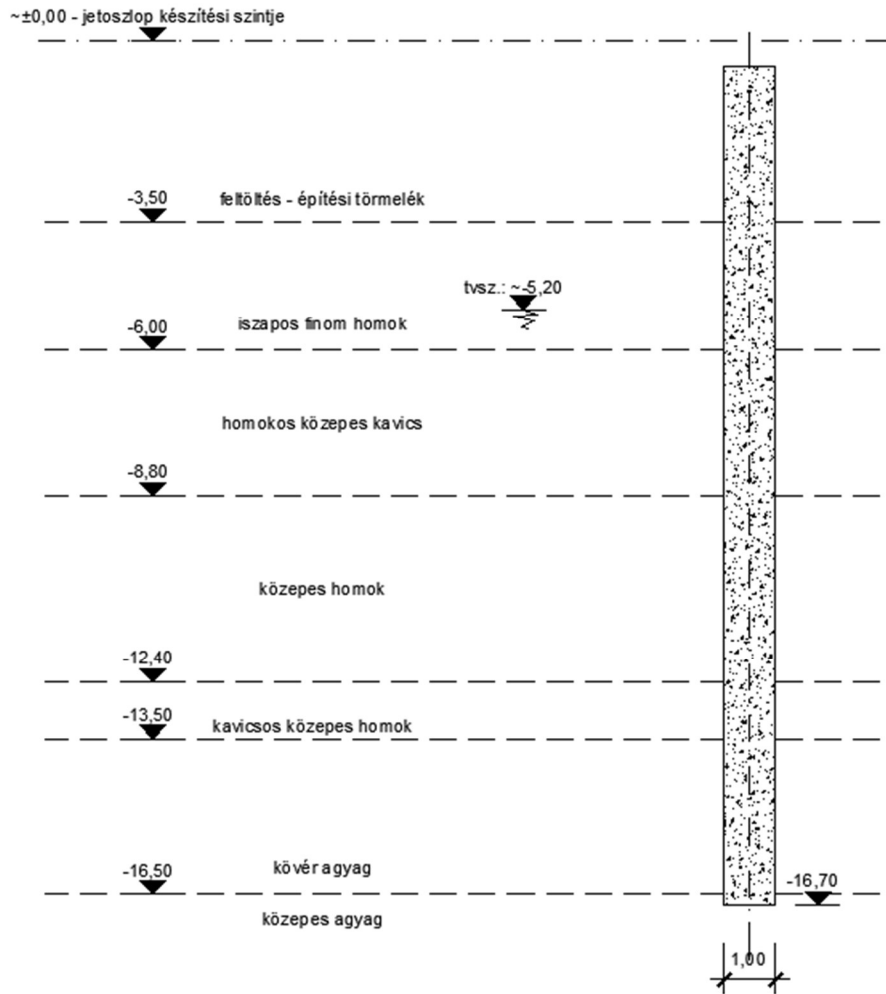
4. kép: Próbaoszlop (saját kép)

3.1. Talajrétegződés, talajviszonyok

A kivitelezés megkezdése előtt a területről részletes talajvizsgálati jelentés készült, így a rétegződések, a rétegek talajfizikai paraméterei ismertek voltak. A talajrétegződést mutató fúrásszelvényt az *1. melléklet* tartalmazza. A terület alapkőzetét felső oligocén korú homokos agyag alkotja. Bár a térség az oligocént követően a miocénben is részben tenger alá került, a kor homokos, agyagos rétegei ezen a területen lepusztultak. Az alapkőzet felett vastag homokos kavicsréteg épült a Duna teraszanyagaként. Ezen gradált réteg felett iszapos homok, homokos iszap anyagú üledékrétegek települtek, a felszínen pedig több méter vastag építési törmelékes feltöltés található. A jet oszlopok talajkörnyezete vázlatosan a *2. és 3. ábrán* látható. ^[10]



2. ábra: Próba jet oszlopok talajkörnyezetének vázlata (saját ábra)



3. ábra: Szerkezeti falban készült jet oszlop talajkörnyezetének vázlatja (saját ábra)

3.2. Talajvízviszonyok

A mintavétel helyszíne a Vigadó téri vízmérce közelében helyezkedik el. Mivel a terület a Dunához igen közel fekszik, a talajvízszintet a folyó vízállása nagyban befolyásolja. A területen készült fúrások és Budapest Építéshidrológiai Atlasza alapján a tervezési vízszintet 102,0 mBf, a karakterisztikus vízszintet 101,5 mBf lehet felvenni. Az átlagos talajvízszintet 99,2 mBf-re adják. A kivitelezési munkák során a terület abszolút nulla szintje 104,42 mBf volt, a Vigadó téri vízmérce nullpontja 94,97 mBf. ^[10]

4. A vizsgálatok bemutatása

A megfelelő modellezhetőség érdekében célunk volt a minták minél szélesebb körű vizsgálata, melyek a következők voltak:

a) Roncsolás-mentes vizsgálatok

- sűrűség
- ultrahang terjedési sebesség

b) Roncsolásos vizsgálatok

- rugalmassági modulus
- húzószilárdság
- nyomószilárdság

A mért két szilárdsági érték arányából meghatározható a belső súrlódási szög, kohézió, illetve következtetni lehet a Poisson-tényezőre is.

4.1. A minták előkészítése

A mintavétel során három próba jet oszlopból és két, a szerkezeti jet falhoz tartozó oszlopból vettünk zavartalan mintákat. A mintavétel pontos helyét a Bohn Mélyépítő Kft. geotechnikai adatszolgáltatásában szereplő fúrások, illetve a 2. *melléklet* statikus (CPTu) szondaeredményei alapján jelöltük ki. Ezek megközelítően biztosan határozzák meg a talajrétegződést.

Mivel a próbaoszlopok egymáshoz közel készültek, ezek esetében csaknem azonos talajrétegződésről beszélhetünk, hasonlóan a szerkezeti falból vett minták talajkörnyezete is közel azonosnak tekinthető. Az azonosíthatóság érdekében a próbatesteket a mintavételi mélység szerint (fentről lefelé növekvő sorrendben) sorszámoztuk.

A nagyméretű próbatesteket (10-12 cm átmérővel), előkészítve őket a vizsgálatokhoz, a Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék Kőzetmechanikai Laboratóriumában méretre vágtuk és szárítókemencében kiszárítottuk. A vágás során a vizsgálandó próbatesteket úgy alakítottam ki, hogy az eredetileg vett mintákhoz tartozóan egy nyomó- és egy húzóvizsgálatot el tudjak végezni.



5. kép: Mintavételezett próbatetek (saját kép)



6. kép: Kiszáritott próbatetek a laboratóriumban (saját kép)

4.2. Mintatörések előtt vizsgált paraméterek

A minták kiszárítása után rögzítettem minden henger átmérőjét (d), magasságát (h) és száraz tömegét (m), amiket felhasználva térfogatukat (V) és sűrűségüket (ρ) is ki tudtam számítani.

$$V = \frac{d^2\pi}{4} \cdot h \quad (1)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Az alapvető mérések után az ultrahang terjedési sebesség (v) vizsgálatát is elvégeztem, amihez először az ultrahang-sebességmérő műszer segítségével mértem meg az egyes próbatestekhez tartozó terjedési időt (T).

$$v_{UH} = \frac{H}{T} \quad (3)$$



7. kép: Ultrahang terjedési sebesség vizsgálat (saját kép)

4.3. Roncsolásos vizsgálatokkal meghatározott paraméterek

4.3.1. Nyomó- és húzószilárdság

A próbatestek előkészítése után az egyirányú nyomó- és brazil húzóvizsgálat elvégzése következett. Az egyirányú nyomóvizsgálatokhoz az előkészített próbatesteket terhelőgépbe

helyeztem. Az ehhez tartozó műszer folyamatosan méri a mintákra kifejtett erőt és a felső terhelt lap elmozdulását. Amennyiben a henger két lapja párhuzamos, azonos felületű (A) és mindkettő a henger palástjára merőleges, illetve a kifejtett központi nyomóerő egyenletesen, a lapokra merőlegesen hat, a nyomószilárdság az alábbi képlettel (4) számítható:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

A műszer által mért elmozdulásokból (e) fajlagos alakváltozás értéket számítottam (5).

$$\varepsilon = \frac{e}{h} * 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Ezen paraméterekből rajzolódott ki az egyes próbatestek feszültség-alakváltozás diagramja, amiknek meredeksége kiadta a hozzájuk tartozó rugalmassági modulus értéket (6).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (6)$$



8. kép: Egyirányú nyomóvizsgálat (saját kép)

A brazil húzóvizsgálathoz a próbatestet 90 fokkal elforgatva helyeztem a két acéltárcsa közé. A módszer lényege, hogy a terhelőgép a próbatestet a függőleges átmérője mentén egyenletesen nyomóerővel (F) terheli, ami által a henger húzási tönkremenetelt szenved.^[11]

A vizsgálat sikerességéhez feltételezzük, hogy a kialakuló nyomófeszültség a húzófeszültségnél kisebb, így a próbatest valóban húzásra megy tönkre, az alábbiakban (7) számítottak szerint.^[12]

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot h} \quad (7)$$

A vizsgálat szempontjából fontos lehet továbbá a két szilárdság érték aránya, az ún. Brinke-szám (8), ami a további számításaim alapját is adja:

$$B = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (8)$$

A fenti arányszámból (B) következik, hogy (9)

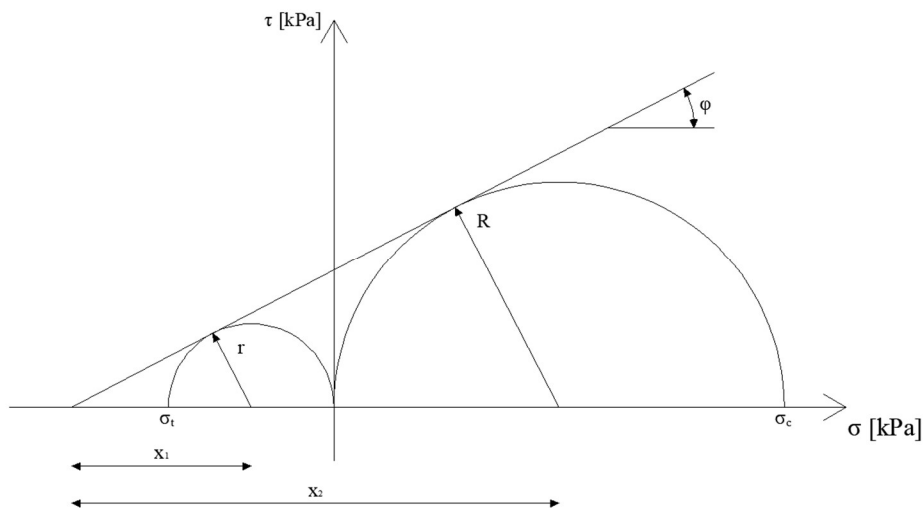
$$\sigma_t = \frac{\sigma_c}{B}, \quad (9)$$

így az egyirányú nyomószilárdsághoz tartozó Mohr-kör sugara (10)

$$R = \frac{\sigma_c}{2}, \quad (10)$$

a húzószilárdsághoz tartozó pedig (11)

$$r = \frac{\sigma_c}{2B}. \quad (11)$$



4. ábra: Általános Mohr-kör vázlata (saját ábra)

4.3.2. További számított paraméterek^[13]

Dolgozatomban a fentiekén túl a próbatestek további tulajdonságait is vizsgálom, amelyek szintén szükségesek a talajbetonok megfelelő modellezéséhez. Ide tartozik a belső súrlódási szög, a kohézió, illetve a Poisson-tényező.

A fentebb levezetett összefüggéseket felhasználva belátható, hogy (12), (13)

$$x_1 = \frac{r}{\sin \varphi} \quad (12)$$

$$x_2 = \frac{R}{\sin \varphi}, \quad (13)$$

illetve (14)

$$x_2 - x_1 = r + R, \quad (14)$$

tehát (15)

$$\frac{R}{\sin \varphi} - \frac{r}{\sin \varphi} = r + R. \quad (15)$$

Rendezve az egyenletet a következő összefüggést (16) kapjuk:

$$r = R - (r + R) \cdot \sin \varphi \quad (16)$$

Ezt átrendezve, és a két szilárdság érték összefüggését alkalmazva (17)

$$\sin \varphi = \frac{\frac{\sigma_c}{2} - \frac{\sigma_c}{2B}}{\frac{\sigma_c}{2} + \frac{\sigma_c}{2B}}, \quad (17)$$

így (18)

$$\sin \varphi = \frac{B-1}{B+1}, \quad (18)$$

amiből a belső súrlódási szög értéke (19) az alábbiak szerint számítható:

$$\varphi = \arcsin \frac{B-1}{B+1} \quad (19)$$

A Brinke-számot felhasználva a kohéziót (20) is számítani tudjuk,

$$c = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_c \cdot \sigma_t} = \frac{\sigma_c}{2} \sqrt{\frac{1}{B}} \quad (20)$$

$$c = \frac{\sigma_t}{2} \sqrt{B}.$$

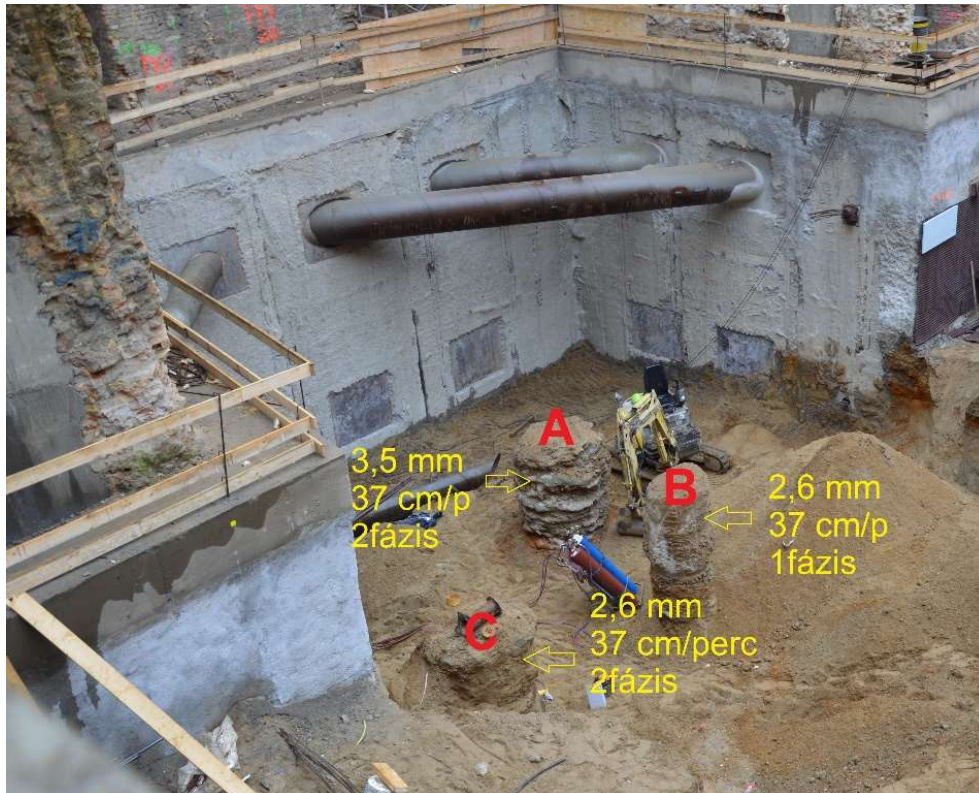
A Poisson-tényező (21) közelítő kiszámítása ^[13]

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{B-1}} \quad (21)$$

szerint történik.

5. Az eredmények ismertetése

Az eredmények összegzésekor az előző pontban részletezetteken felül még néhány tényezőt figyelembe kell vennünk. A technológia, a fajlagos cementtartalom, a fűvóka átmérője és a forgószár forgatási sebessége kihúzáskor ugyanis szintúgy befolyásolhatják a készülő talajbeton tulajdonságait, minőségét.



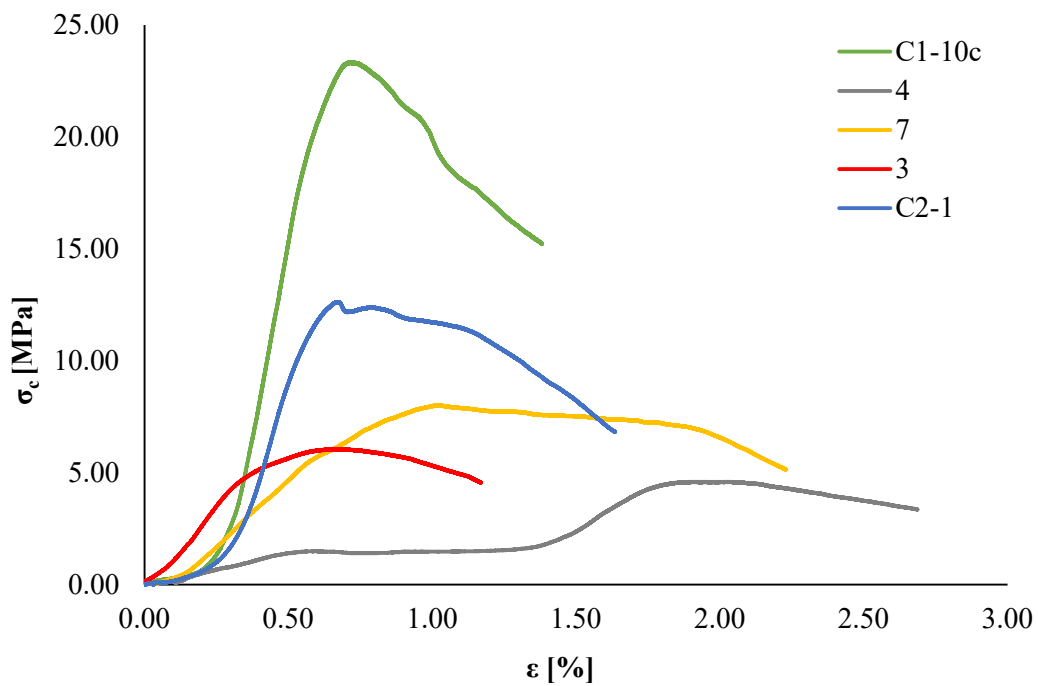
9. kép: A mintavételre készült próbaoszlopok (saját kép)

A bemutatott vizsgálatok eredményeit az 1. táblázatban összegeztem.

Mivel a kapott értékek szórása igen nagy, a meghatározóbb feszültség-elmozdulás diagramokat az 5. ábrán összefoglalva is ábrázoltam.

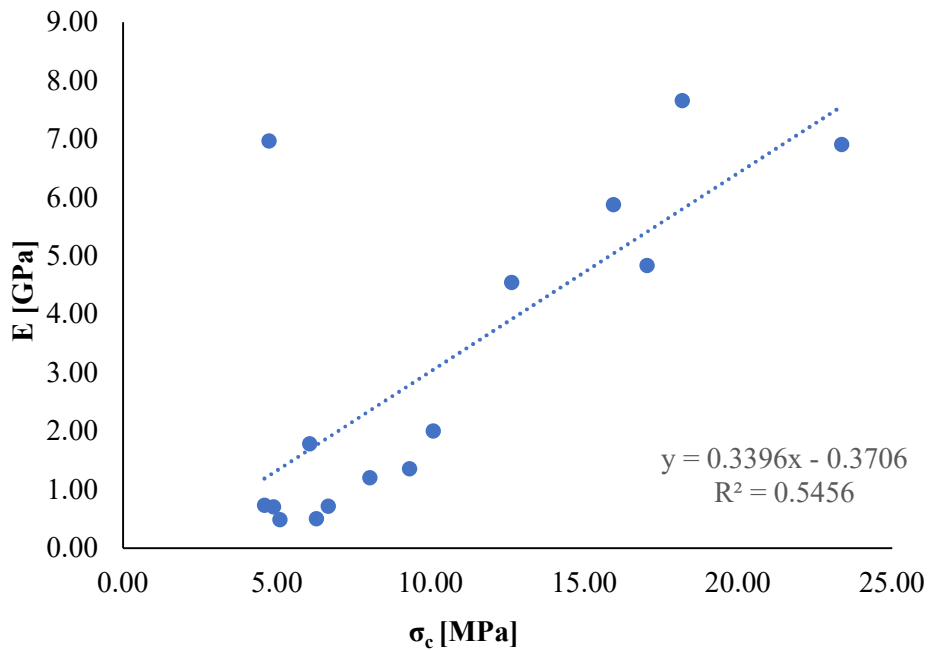
1. táblázat: A vizsgálat eredményei összefoglalva

Oszlop jele	Minta jele	Talajréteg	Technológia	Fajlagos cementtartalom [kg/fm]	Fúvóka átmérő D [mm]	Próbatest átmérője d [cm]	Próbatest magassága h [cm]	Próbatest térfogata V [cm ³]	Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} [km/s]	Próbatest tömege m [g]	Sűrűség ρ [g/cm ³]	Nyomószilárdság σ_c [MPa]	Húzószilárdság σ_t [MPa]	σ_c/σ_t B [-]	Rugalmassági modulus E [GPa]	E/ σ_c MR [-]	Belső súrlódási szög ϕ [°]	Kohézió c [kPa]	Poisson-tényező ν [-]
C	1	iszapos homok	2 fázis	333	2.6	10.44	12.76	1092.30	2.80	2317.60	2.12	4.89	0.44	11.22	0.71	145.60	56.76	729.82	0.16
	2	homok	2 fázis	333	2.6	10.44	12.30	1052.92	2.75	2241.20	2.13	6.28	0.31	20.46	0.51	81.21	65.07	694.17	0.11
	3	kavicsos homok	2 fázis	333	2.6	10.45	12.17	1043.79	2.49	2163.60	2.07	6.06	0.67	9.02	1.79	295.38	53.17	1008.96	0.18
B	4	iszapos homok	1 fázis	350	2.6	10.89	12.25	1140.99	2.53	2356.20	2.07	4.60	0.45	10.21	0.74	160.87	55.24	719.86	0.16
	5	homok	1 fázis	350	2.6	10.91	12.83	1199.41	2.38	2570.30	2.14	5.10	0.52	9.87	0.49	96.08	54.69	811.57	0.17
	6	kavicsos homok	1 fázis	350	2.6	10.93	12.78	1199.12	2.75	2584.10	2.16	6.67	0.63	10.63	0.72	107.95	55.90	1022.76	0.16
A	7	iszapos homok	2 fázis	650	3.5	10.90	12.38	1155.22	2.36	2261.60	1.96	8.02	1.02	7.83	1.21	150.87	50.68	1432.77	0.19
	8	homok	2 fázis	650	3.5	10.93	12.64	1185.98	2.64	2518.20	2.12	10.08	0.72	14.04	2.01	199.40	60.11	1345.07	0.14
	9	kavicsos homok	2 fázis	650	3.5	10.96	12.45	1174.57	2.63	2537.40	2.16	9.31	0.74	12.64	1.36	146.08	58.58	1309.47	0.15
Szerkezeti fal	C1-3	iszapos homok	2 fázis	650	3.5	12.33	14.61	1744.48	3.80	3792.80	2.17	18.17	1.84	9.86	7.66	421.57	54.67	2893.50	0.17
	C1-10c	homokos kavics	2 fázis	650	3.5	10.08	12.90	1029.44	2.97	2153.70	2.09	23.35	2.37	9.84	6.91	295.93	54.64	3721.47	0.17
	C1-11	homok	2 fázis	650	3.5	10.11	12.52	1005.07	3.08	2166.00	2.16	17.03	1.62	10.54	4.84	284.20	55.76	2622.83	0.16
	C1-15	kavicsos homok	2 fázis	650	3.5	9.85	12.39	944.13	3.37	2136.10	2.26	4.74	0.84	5.62	6.97	1470.46	44.26	999.69	0.23
	C2-1	homokos kavics	2 fázis	650	3.5	12.34	14.70	1758.08	2.93	3488.20	1.98	12.63	1.40	9.00	4.55	360.25	53.13	2105.05	0.18
	C2-2b	homok	2 fázis	650	3.5	12.37	14.77	1775.05	3.10	3462.80	1.95	15.94	0.97	16.44	5.88	368.88	62.29	1965.60	0.13

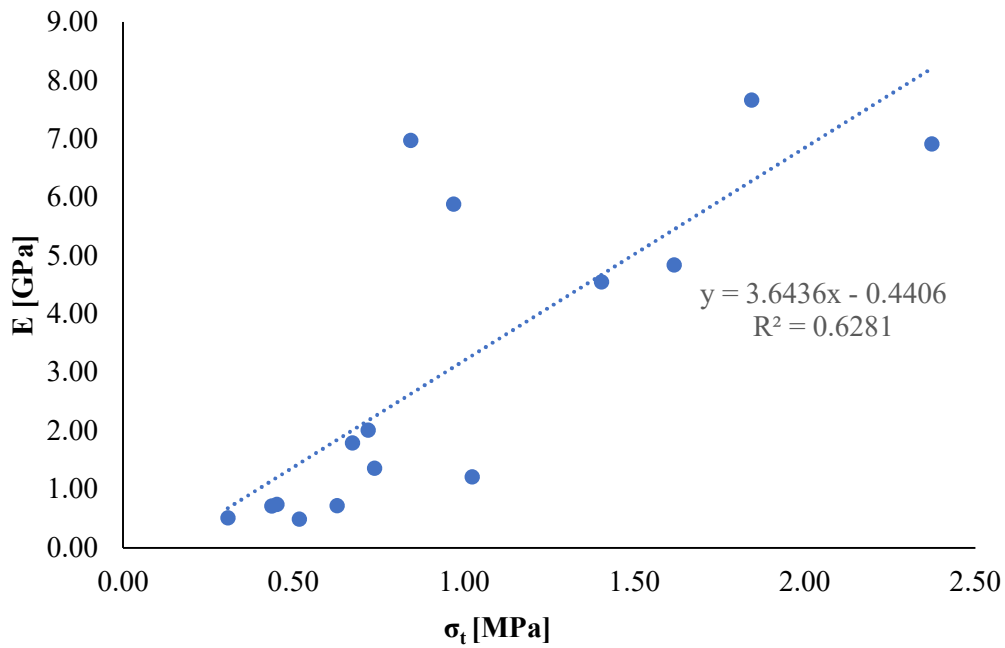


5. ábra: Meghatározó nyomószilárdság-alakváltozás görbék

A következőkben az egyes paraméterek közötti lehetséges összefüggést vizsgálom, diagramok formájában. A 6. és 7. ábra a rugalmassági modulus értékét mutatja a nyomó-, illetve húzószilárdság függvényében.

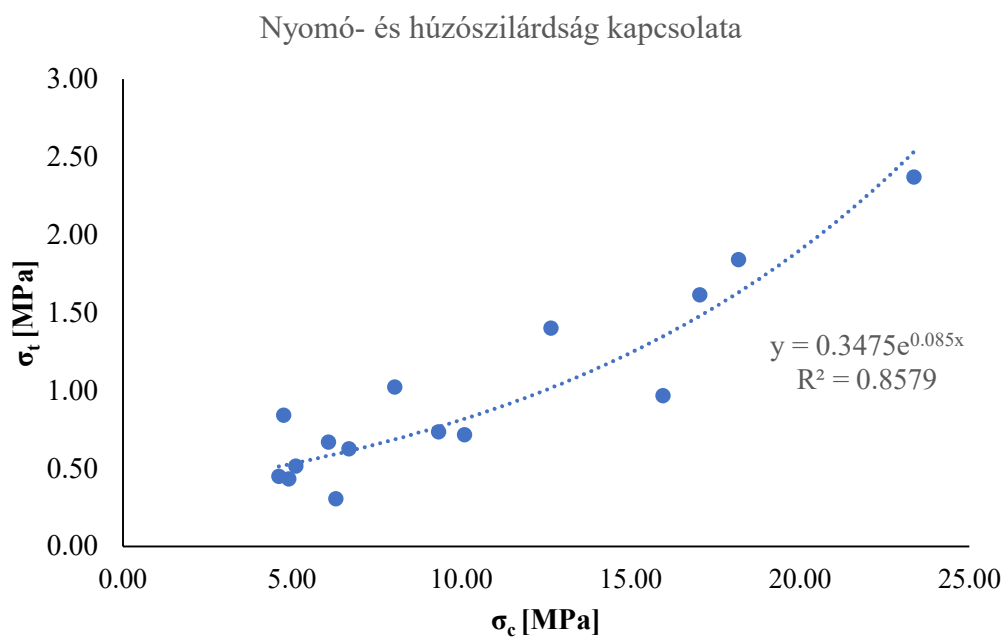


6. ábra: Rugalmassági modulus a nyomószilárdság függvényében



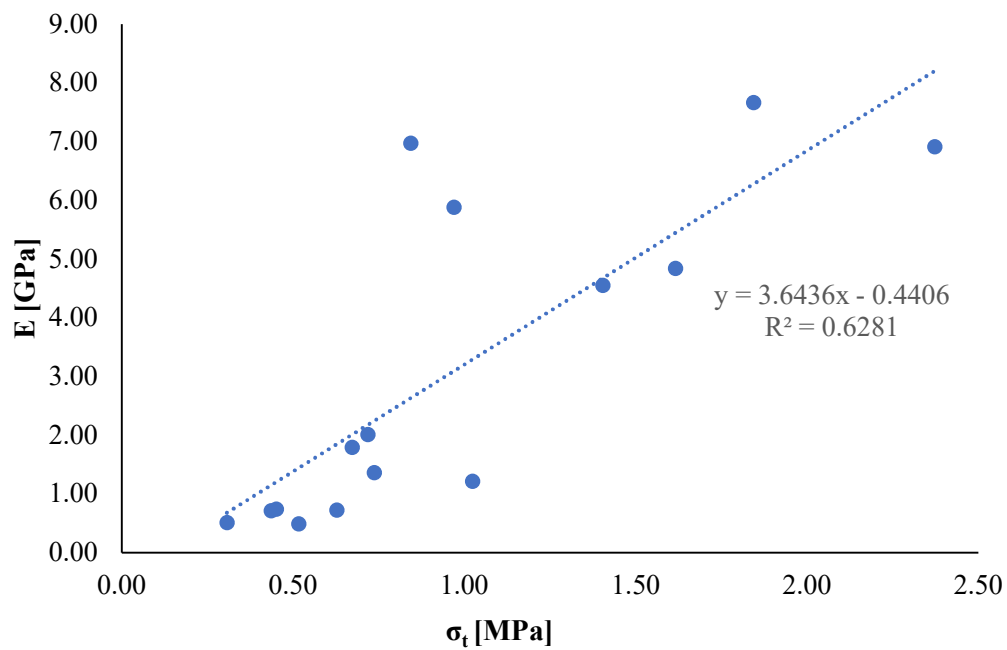
7. ábra: Rugalmassági modulus a húzószilárdság függvényében

A 8. ábrán a húzó- és nyomószilárdság értékek összefüggését ábrázoltam.



8. ábra: Húzószilárdság a nyomószilárdság függvényében

A sűrűség és a rugalmassági modulus kapcsolatát a 9. ábrán mutatom be.



9. ábra: Rugalmassági modulus a sűrűség függvényében

Az eredmények részletes jegyzőkönyvét próbatestenként a *Függelék* tartalmazza.

6. Az eredmények értékelése

6.1. Sűrűség

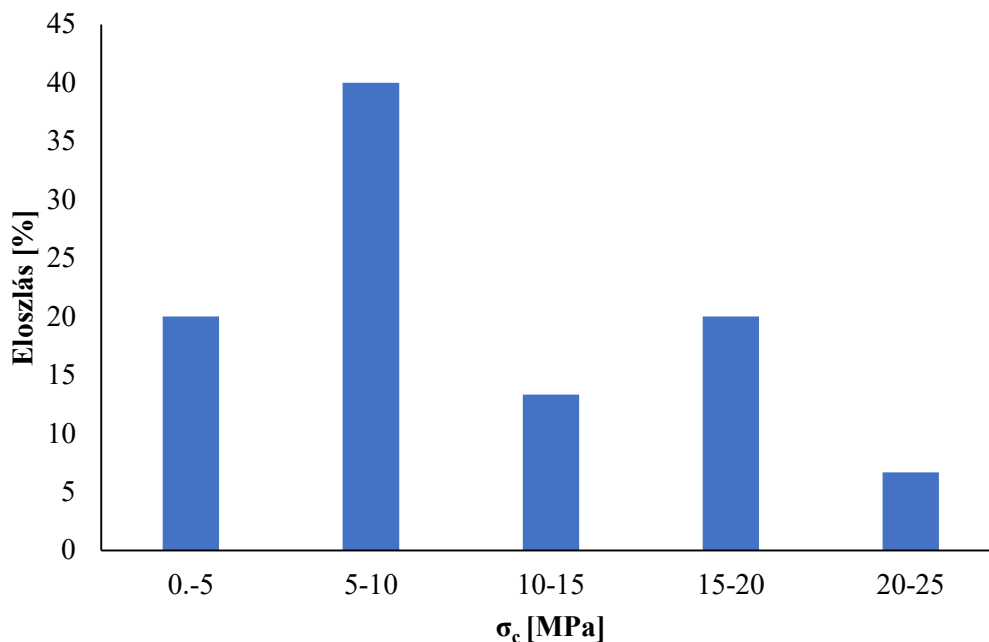
A próbatestek mind hasonló sűrűségértékeket mutattak, a legmagasabb $2,26 \text{ g/cm}^3$, a legalacsonyabb $1,95 \text{ g/cm}^3$ volt. Az eredmények átlaga $2,10 \text{ g/cm}^3$, szórásuk pedig $0,09$ lett. Az átlagérték a szerkezeti falból és a próba jet oszlopokból vett minták esetében egyaránt $2,10 \text{ g/cm}^3$.

6.2. Ultrahang terjedési sebesség

Az ultrahang terjedési sebességek maximumértéke $3,80 \text{ km/s}$ -re, minimumértéke pedig $2,36 \text{ km/s}$ -ra adódott. Átlaguk $2,94 \text{ km/s}$, szórásuk $0,39 \text{ km/s}$. A szerkezeti falból vett próbatestekre nagyobb ultrahang terjedési sebesség jellemző, ezek átlaga $3,21 \text{ km/s}$, míg a próbaoszlopokból vett mintáké $2,59 \text{ km/s}$.

6.3. Nyomószilárdság

A nyomószilárdság értékek maximuma $23,35 \text{ MPa}$ -ra adódott, a legkisebb érték $4,60 \text{ MPa}$. Az átlagérték $10,19 \text{ MPa}$, az eredmények szórása pedig $5,90 \text{ MPa}$.



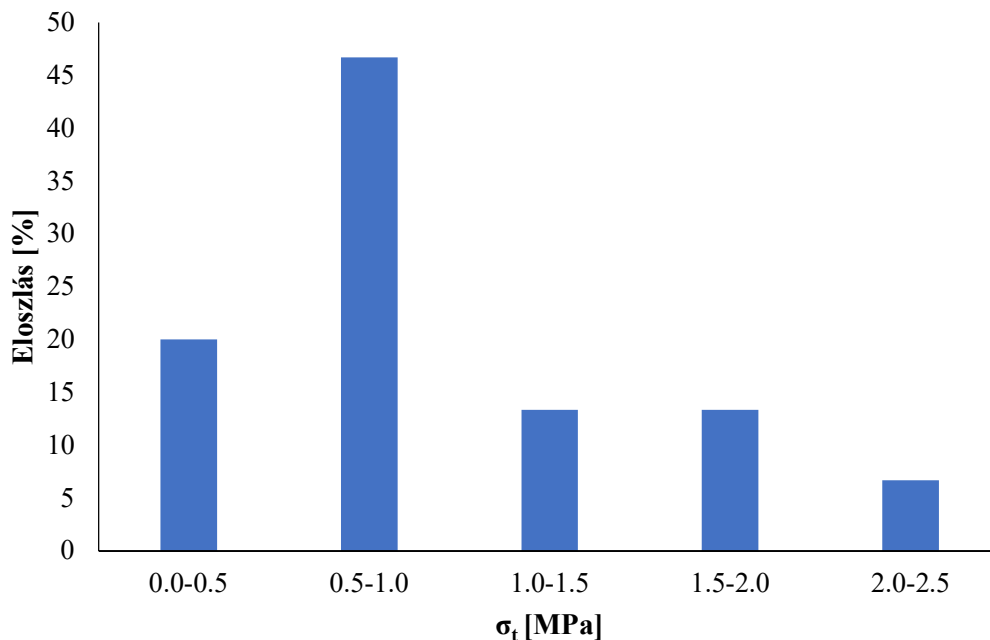
10. ábra: Nyomószilárdságok eloszlása

A próba jet oszlopok nyomószilárdsága a 650 kg/fm fajlagos cementtartalommal rendelkező talajbeton esetén láthatóan magasabb, átlagosan $1,62$ -szerese a másik két oszlopénak. Bár a

szerkezeti fal oszlopainak átlagos nyomószilárdsága (15,31 MPa) magasabb, az egyik legalacsonyabb érték, 4,74 MPa mégis itt adódott.

6.4. Húzószilárdság

A legalacsonyabb húzószilárdság érték 0,31 MPa, a legmagasabb 2,37 MPa, átlaguk pedig 0,97 MPa-ra adódott. A szórás itt is jelentős, értéke 0,59 MPa.



11. ábra: Húzószilárdságok eloszlása

A fentebb említett arány itt is megfigyelhető, a magasabb fajlagos cementtartalommal rendelkező talajbeton oszlop átlagos húzószilárdsága 0,83 MPa, a másik kettőnek közel 1,65-szerese. A szerkezeti fal oszlopainak húzószilárdságának átlaga ez esetben is az összes próbaoszlopnál jóval magasabb, 1,51 MPa.

6.5. Nyomó- és húzószilárdság hányadosa (Brinke szám)

Betonok húzó- és nyomószilárdságának aránya általában 1:10-re vehető fel, jelen esetben is hasonlóan alakul, σ_c/σ_t értéke átlagosan 11,15, azonban előfordulnak kiugró eredmények, a minimumérték 5,62, a maximum 20,46.

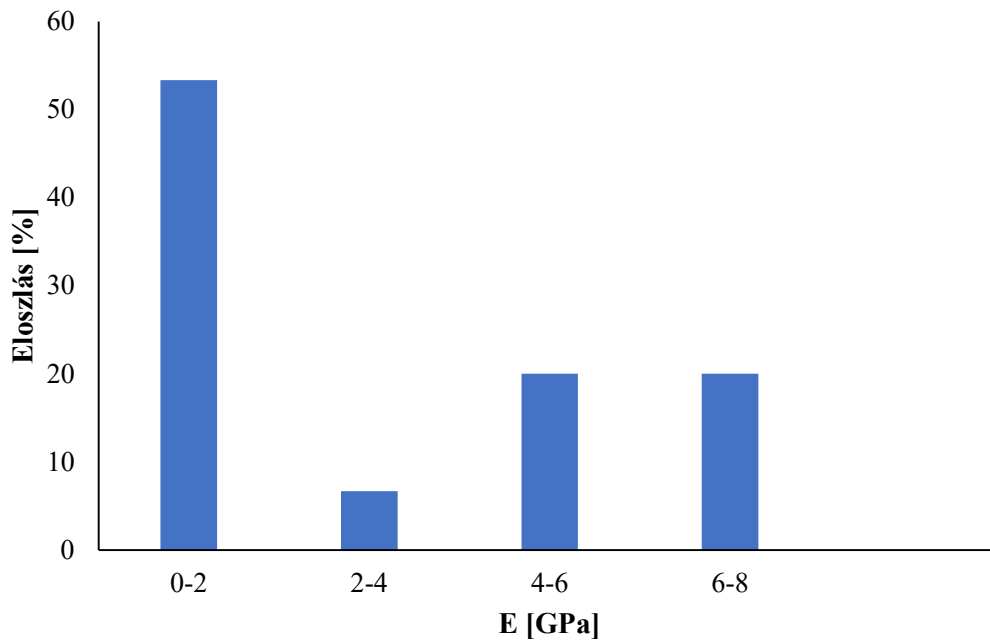
6.1. Rugalmassági modulus

A rugalmassági modulusok terén közel kétszeres a különbség a különböző fajlagos cementtartalmú próbaoszlopok közt, a magasabb cementtartalmú oszlopok javára. A

próbaoszlopok rugalmassági modulusainak átlaga 1,06 GPa, a szerkezeti fal oszlopaié 6,14 GPa. Szórásuk 2,71 GPa, a legalacsonyabb érték 0,49 GPa, a legmagasabb pedig 7,66 GPa.

6.2. Rugalmassági modulus és nyomószilárdság aránya

A rugalmassági modulus és nyomószilárdság összefüggése (MR érték) is különböző a szerkezeti fal és a próbaoszlopok esetén. A szerkezeti falból vett próbatestek esetében az átlagérték 533,55, a próbaoszlopok esetében 153,72. Az eredmények szórása 340,01.



12. ábra: Rugalmassági modulusok eloszlása

6.3. Belső súrlódási szög

A belső súrlódási szögek tekintetében nem mutatkozott akkora különbség a szerkezeti fal és a próbaoszlopok között. Szórásuk $4,87^\circ$, az átlagérték $55,66^\circ$ -ra, a minimum $44,26^\circ$ -ra, a maximum pedig $65,07^\circ$ -ra adódott.

6.4. Kohézió

A kohézió esetében nem beszélhetünk ennyire homogén eredményekről, a legmagasabb érték 3721,47 kPa, a legalacsonyabb pedig 694,17 kPa lett. A próba oszlopok átlagos kohéziója 1008,27 kPa, a szerkezeti falé ennek több, mint kétszerese: 2384,69 kPa. Az eredmények szórása 917,20 kPa.

6.5. Poisson-tényező

A Poisson-tényező értéke szinte minden esetben 0,1 és 0,2 közé esett, ez alól csak a maximális érték (0,23) kivétel. A legalacsonyabb eredmény 0,11, a tényezők átlaga pedig 0,16.

6.6. Összegzés

Minden paraméter vizsgálata igen különböző eredményeket mutatott, így rendszert jelenleg a fajlagos cementtartalom mentén tudunk felállítani. Látható, hogy magasabb cementtartalom esetén jobb szilárdsági értékeket kaptunk.

A szilárd betonéval ellentétben a Magyar Építőanyagipari Szövetség *Beton és vasbeton készítése* című előírása szerint a talajbetonok szilárdsága tervezési értékének számításához az eredmények szórása helyett a legkisebb tapasztalt értéket kell felhasználnunk, mivel a talajbeton oszlopokból vett minta nem laboratóriumi körülmények között készült próbatestekből származik. Az előírás szerinti képlet (22): ^[14]

$$R_b = 1,15 \cdot R_{\min} \quad (22)$$

Ezzel az alacsonyabb fajlagos cementtartalommal rendelkező talajbetonok nyomószilárdságának tervezési értékét $R_{c,b}=5,29$ MPa-ra, húzószilárdságát $R_{t,b}=0,31$ MPa-ra vehetjük fel.

Az eredmények alapján a magasabb, 650 kg/fm fajlagos cementtartalmú minták esetében a legalacsonyabb szilárdsággal rendelkező próbatest feltehetően egy, a talajbetonba keveredett nagyméretű szemcsének köszönhetően jóval gyengébb nyomószilárdsági értéket mutat a többinél, így ezt a tervezési érték meghatározásakor nem vettem figyelembe. Így a nyomószilárdság $R_{c,b,650}=9,22$ MPa-ra, a húzószilárdság pedig $R_{t,b,650}=0,72$ MPa-ra adódik.

Ugyanakkor, pontosabb szilárdság tervezési érték meghatározásához szélesebb mintacsoportú kísérleti vizsgálatokra van szükség. Ehhez hasonlóan a belső súrlódási szög, a kohézió, illetve a Poisson-tényező megadásához is nagyobb mintaszám szükséges, mivel a kis mennyiségű próbatest a számított értékeket valamely szélsőérték irányába befolyásolhatja.

7. Javaslat

Pontosabb modellezési rendszer felállításához nagyobb mennyiségű mintára van szükség. A vizsgált tartomány szélesítésével lehetőség nyílik a minták csoportosítására, különböző talajok, technológia, fajlagos cementtartalom és fűvókaátmérő szerint, hogy a továbbiakban az egyes csoportok szilárdsági paraméterei tervezési értékét minél érzékenyebben tudjuk meghatározni.

Ehhez különböző munkaterületekről további mintákat veszünk, amik mechanikai tulajdonságait az eddigiekhez hasonlóan, a fenti szempontok szerint fogom vizsgálni, hogy a meglévő eredményeket bővíteni tudjam.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani Dr. Vásárhelyi Balázs egyetemi docensnek, aki szakmai tudásával és türelmével segítette munkámat.

Köszönettel tartozom továbbá Pálincás Bálintnak, a Budapesti Műszaki Egyetem Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék Kőzetmechanikai Laboratóriuma technikusának, aki a mérések végrehajtásában volt segítségemre.

Köszönöm a Bohn Mélyépítő Kft.-nek, hogy lehetőséget biztosítottak a kutatás létrejöttére.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Útmutató talajjavítási módszerek alkalmazásához, Chovanyecz Enikő, Koch Edina, Szendefy János, Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat, Budapest, 2015
- [2] Műszaki leírás, 1051 Budapest Dorottya u. 4., Molnár György, Bohn Mélyépítő Kft., Budapest, 2020
- [3] www.bohn.hu/
- [4] MSZ EN 12716:2002
- [5] www.railsystem.net/jet-grouting/
- [6] Jet Grouting Practice: an Overview, Z.F. Wang, S.L. Shen, C.E. Ho, Y.H. Kim, Department of Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University and State Key Laboratory of Ocean Engineering, China, 2013
- [7] www.theconstructor.org/geotechnical/
- [8] G. Guatteri, A. Koshima, R. Lopes, A. Ravaglia, M.R. Pieroni: Historical cases and use of horizontal jet grouting solutions with 360° distribution and frontal septum to consolidate very weak and saturated soils, In: Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground – Ng, Huang & Liu (eds), 2009, 287-293
- [9] www.google.com/maps/
- [10] Dorottya Hotel Budapest (DHB) Budapest V. kerület, Wekerle Sándor utca - Apáczai Csere János utca - Vigadó utca - Dorottya utca Talajvizsgálati jelentés, GEOPLAN Mérnökiroda Kft., Budapest, 2020
- [11] Hui Li, Bitao Hai, Huihai Liu: Determination of Tensile Elastic Parameters from Brazilian Tensile Test: Theory and Experiments, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2019, 2551-2568.
- [12] Diyuan Li, Louis Ngai Yuen Wong: The Brazilian Disc Test for Rock Mechanics Applications: Review and New Insights, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2013, 269-287.
- [13] B. Vásárhelyi, B. Lógó: Estimation of the Poisson's rate of the intact rock in the function of rigidity. Periodica Polytechnica – Ser. Civil Engng. 2019, 1030-1037.
- [14] MÉASZ ME-04.19:1995

Függelék

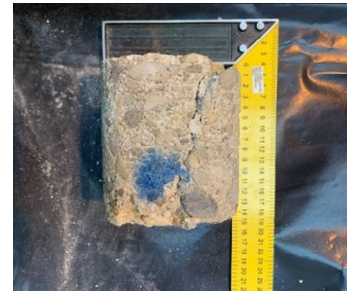
Az eredmények jegyzőkönyve próbatestenként

Próbatest jele 1
Oszlop jele C

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg iszapos homok
Technológia kétfázisú
Fajlagos cementtartalom 333 kg/m³
Fúvóka átmérő d 2,6 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,44 cm
Magasság h 12,76 cm
Tömeg m 2317,60 g
Térfogat V 1092,30 cm³
Sűrűség ρ 2,12 g/cm³
Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,80 km/s

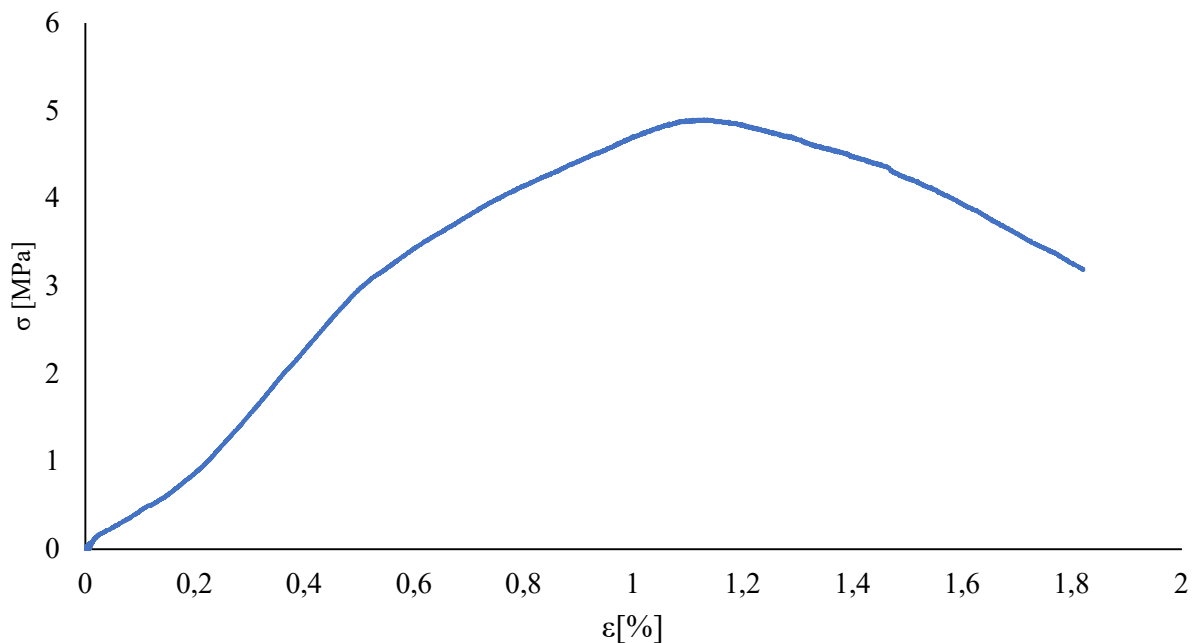
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

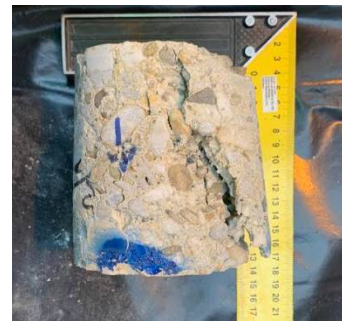
Nyomószilárdság σ_c 4,89 Mpa
Húzószilárdság σ_t 0,44 MPa
 σ_c/σ_t arány B 11,22 -
Rugalmassági modulus E 0,71 GPa
E/ σ_c arány MR 145,60 -
Belső súrlódási szög ϕ 56,76 °
Kohézió c 729,82 kPa
Poisson-tényező ν 0,16 -

σ - ϵ diagram



Próbatest jele 2
Oszlop jele C

Törésképek
Nyomóvizsgálat



Készítés körülményei

Talajréteg homok
 Technológia 2 fázis
 Fajlagos cementtartalom 333 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 2,6 mm

Húzóvizsgálat



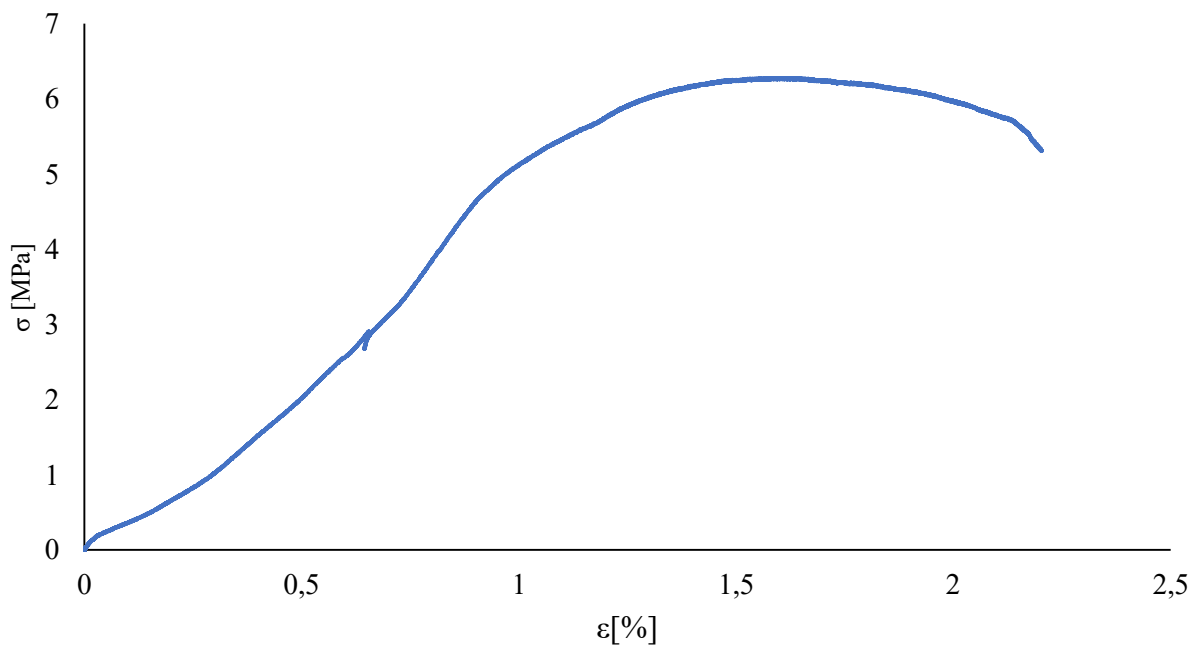
Próbatest adatai

Átmérő D 10,44 cm
 Magasság h 12,30 cm
 Tömeg m 2241,20 g
 Térfogat V 1052,92 cm³
 Sűrűség ρ 2,13 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,75 km/s

Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 6,28 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 0,31 MPa
 σ_c/σ_t arány B 20,46 -
 Rugalmassági modulus E 0,51 GPa
 σ_c/E arány MR 81,21 -
 Belső súrlódási szög φ 65,07 °
 Kohézió c 694,17 kPa
 Poisson-tényező ν 0,11 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 3
Oszlop jele C

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

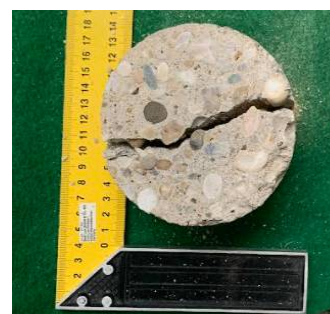
Talajréteg kavicsos homok
 Technológia 2 fázis
 Fajlagos cementtartalom 333,00 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 2,6 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,45 cm
 Magasság h 12,17 cm
 Tömeg m 2163,60 g
 Térfogat V 1043,79 cm³
 Sűrűség ρ 2,07 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,49 km/s

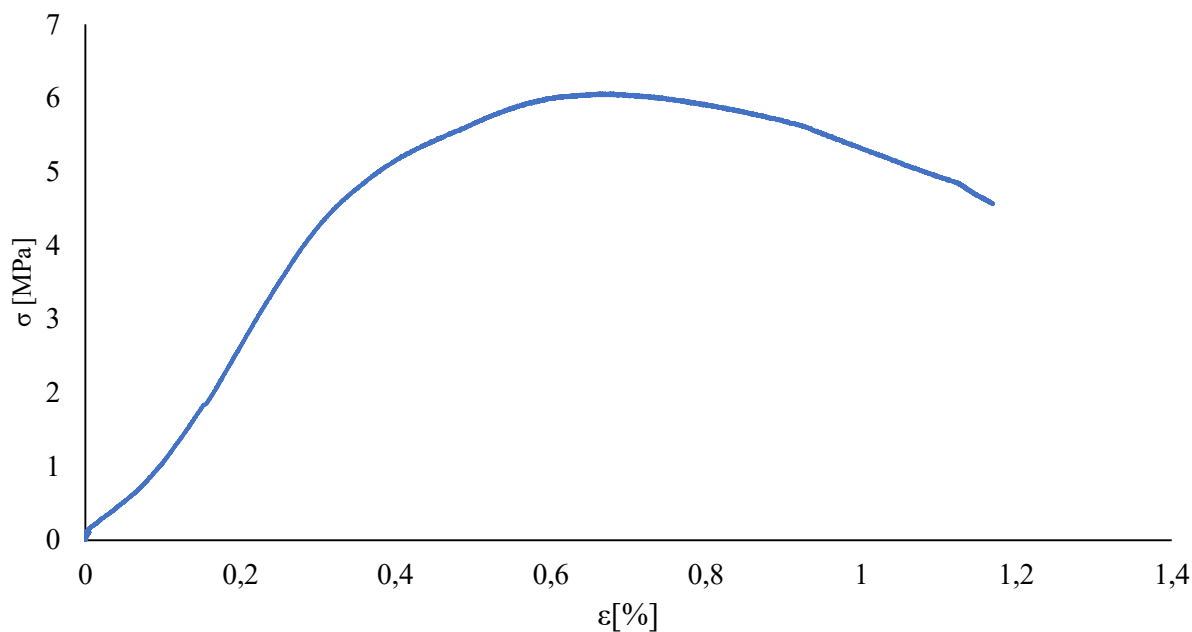
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 6,06 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 0,67 MPa
 σ_c/σ_t arány B 9,02 -
 Rugalmassági modulus E 1,79 Gpa
 σ_c/E arány MR 295,38 -
 Belső súrlódási szög φ 53,17 °
 Kohézió c 1008,96 kPa
 Poisson-tényező ν 0,18 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 4
Oszlop jele B

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg iszapos homok
 Technológia 1 fázis
 Fajlagos cementtartalom 350,00 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 2,6 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,89 cm
 Magasság h 12,25 cm
 Tömeg m 2356,20 g
 Térfogat V 1140,99 cm³
 Sűrűség ρ 2,07 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,53 km/s

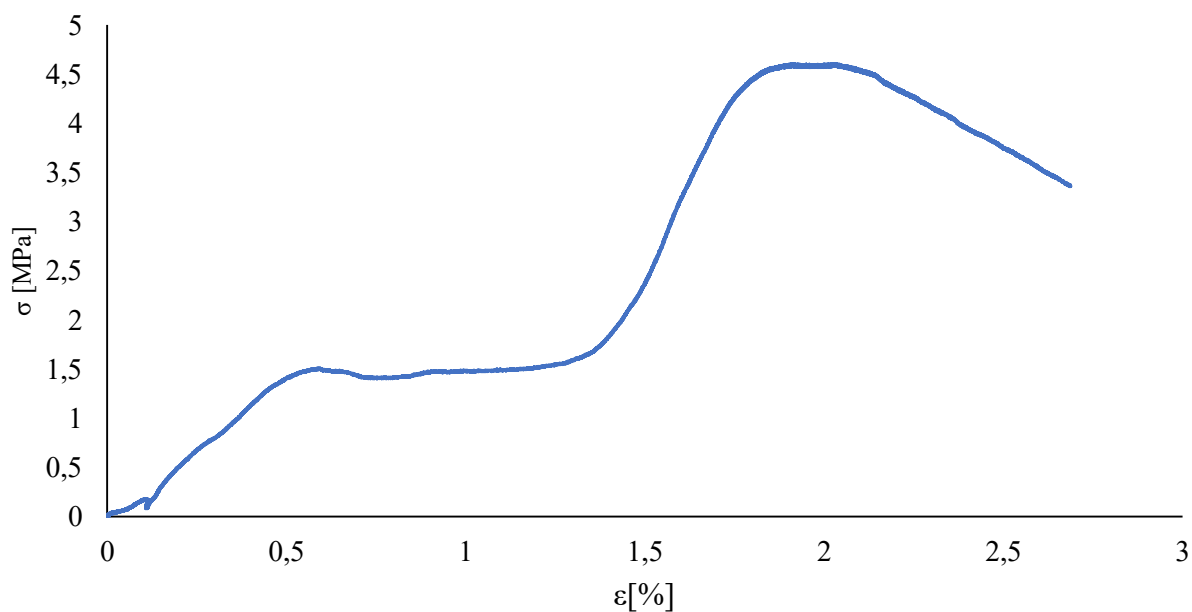
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 4,60 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 0,45 MPa
 σ_c/σ_t arány B 10,21 -
 Rugalmassági modulus E 0,74 Gpa
 σ_c/E arány MR 160,87 -
 Belső súrlódási szög φ 55,24 °
 Kohézió c 719,86 kPa
 Poisson-tényező ν 0,16 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 5
Oszlop jele B

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg homok
Technológia 1 fázis
Fajlagos cementtartalom 350,00 kg/m³
Fúvóka átmérő d 2,6 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,91 cm
Magasság h 12,83 cm
Tömeg m 2570,30 g
Térfogat V 1199,41 cm³
Sűrűség ρ 2,14 g/cm³
Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,38 km/s

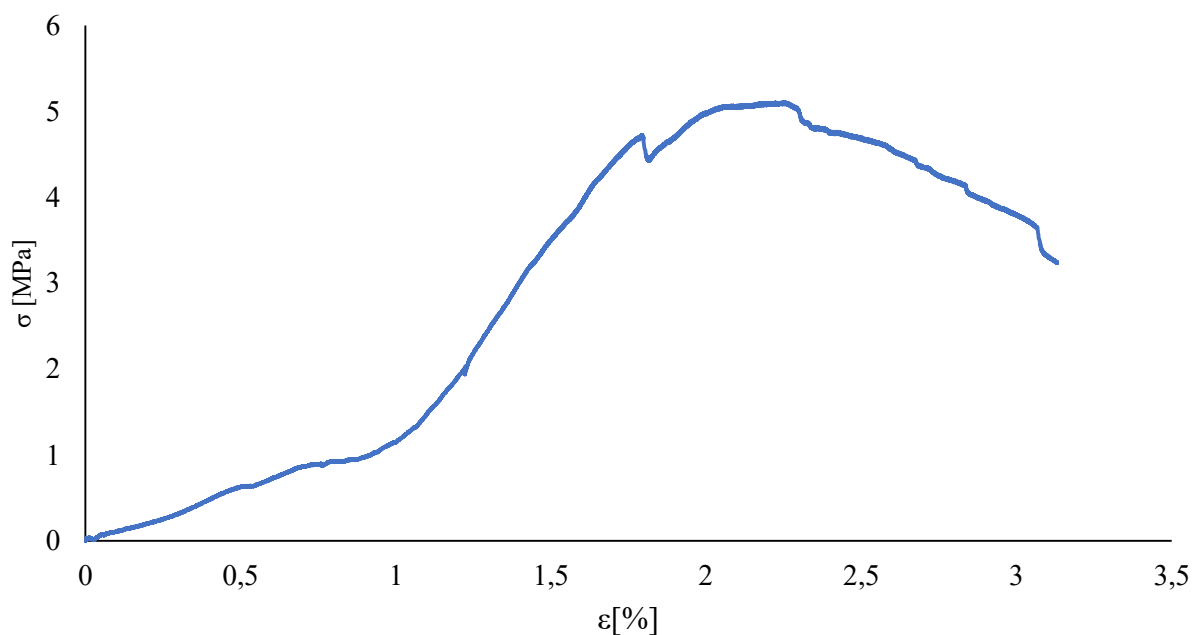
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 5,10 Mpa
Húzószilárdság σ_t 0,52 MPa
σ_c/σ_t arány B 9,87 -
Rugalmassági modulus E 0,49 Gpa
σ_c/E arány MR 96,08 -
Belső súrlódási szög φ 54,69 °
Kohézió c 811,57 kPa
Poisson-tényező ν 0,17 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 6
Oszlop jele B

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg kavicsos homok
 Technológia 1 fázis
 Fajlagos cementtartalom 350,00 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 2,6 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,93 cm
 Magasság h 12,78 cm
 Tömeg m 2584,10 g
 Térfogat V 1199,12 cm³
 Sűrűség ρ 2,16 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,75 km/s

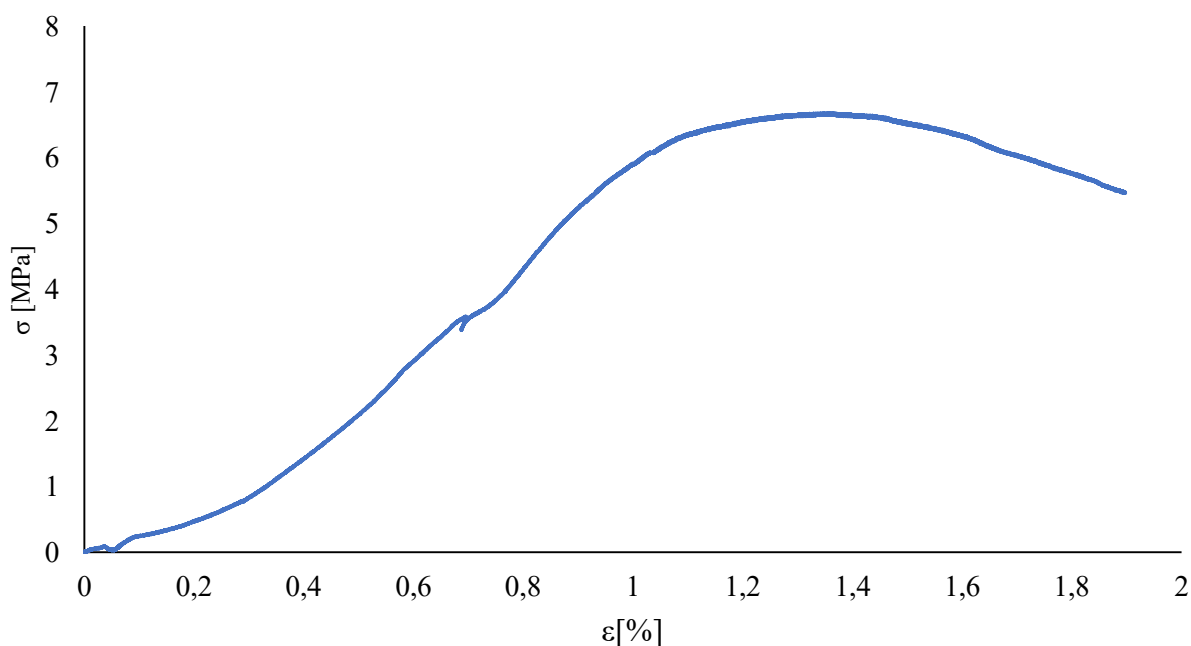
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 6,67 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 0,63 MPa
 σ_c/σ_t arány B 10,63 -
 Rugalmassági modulus E 0,72 Gpa
 σ_c/E arány MR 107,95 -
 Belső súrlódási szög φ 55,90 °
 Kohézió c 1022,76 kPa
 Poisson-tényező ν 0,16 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 7
 Oszlop jele A

Törésképek
 Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg iszapos homok
 Technológia 2 fázis
 Fajlagos cementtartalom 650,00 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 3,5 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,90 cm
 Magasság h 12,38 cm
 Tömeg m 2261,60 g
 Térfogat V 1155,22 cm³
 Sűrűség ρ 1,96 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,36 km/s

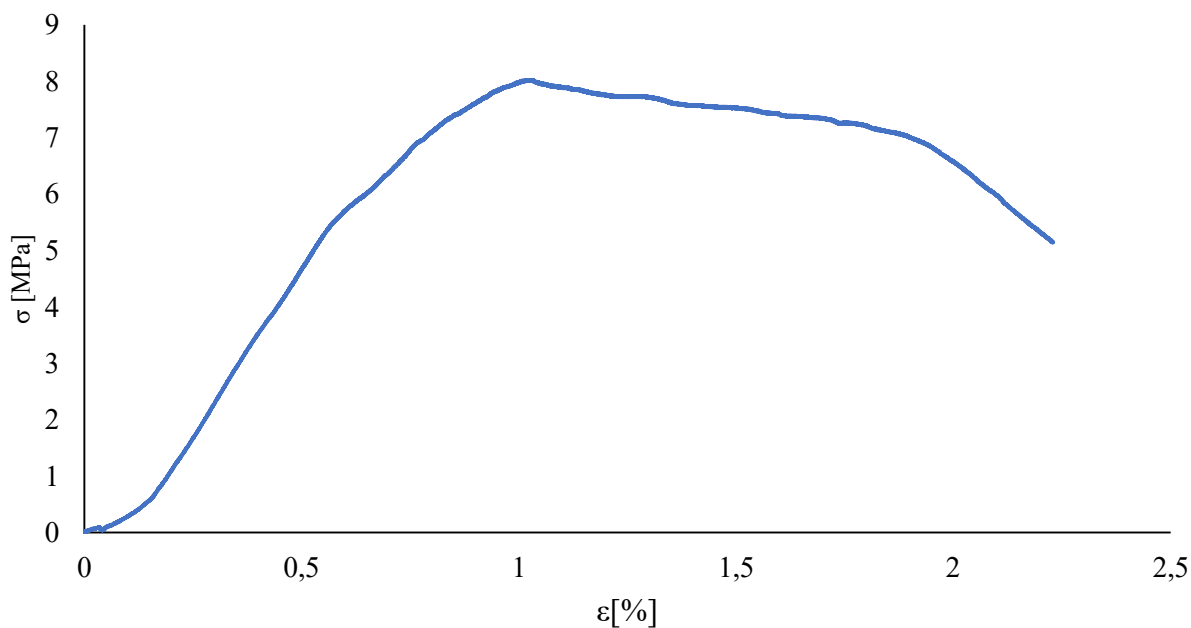
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 8,02 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 1,02 MPa
 σ_c/σ_t arány B 7,83 -
 Rugalmassági modulus E 1,21 Gpa
 σ_c/E arány MR 150,87 -
 Belső súrlódási szög φ 50,68 °
 Kohézió c 1432,77 kPa
 Poisson-tényező ν 0,19 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 8
Oszlop jele A

Törésképek
Nyomóvizsgálat



Készítés körülményei

Talajréteg homok
 Technológia 2 fázis
 Fajlagos cementtartalom 650,00 kg/m³
 Fúvóka átmérő d 3,5 mm

Próbatest adatai

Átmérő D 10,93 cm
 Magasság h 12,64 cm
 Tömeg m 2518,20 g
 Térfogat V 1185,98 cm³
 Sűrűség ρ 2,12 g/cm³
 Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,64 km/s

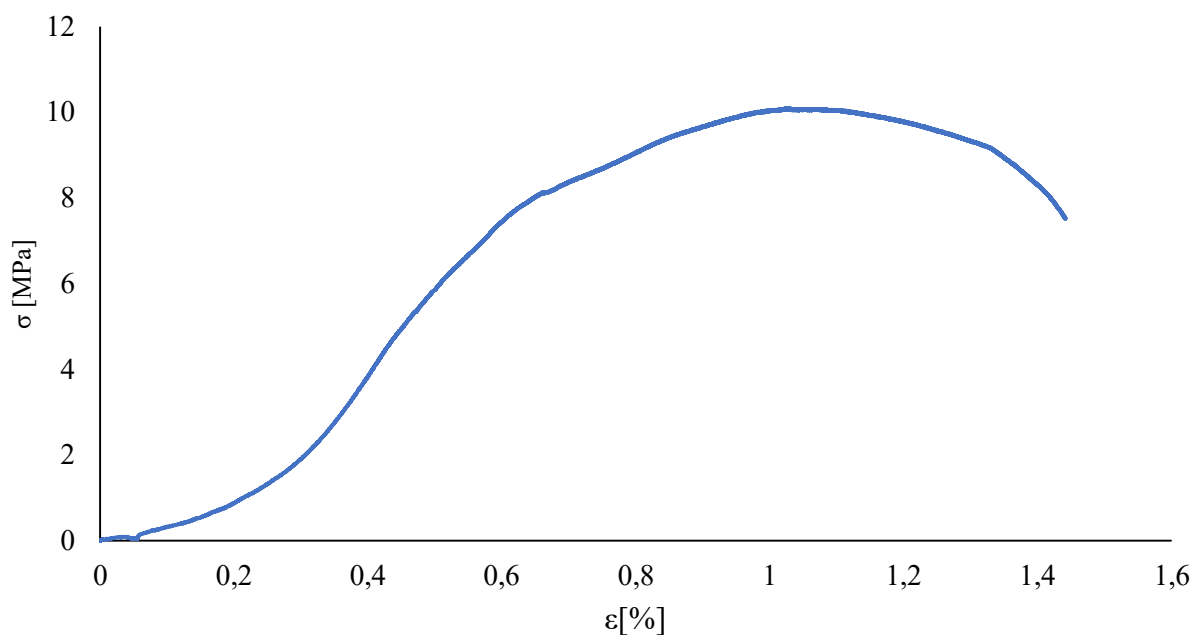
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 10,08 Mpa
 Húzószilárdság σ_t 0,72 MPa
 σ_c/σ_t arány B 14,04 -
 Rugalmassági modulus E 2,01 Gpa
 σ_c/E arány MR 199,40 -
 Belső súrlódási szög φ 60,11 °
 Kohézió c 1345,07 kPa
 Poisson-tényező ν 0,14 -

σ-ε diagram



Próbatest jele 9
Oszlop jele A

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg kavicsos homok
Technológia 2 fázis
Fajlagos cementtartalom 650,00 kg/m³
Fúvóka átmérő d 3,5 mm



Próbatest adatai

Átmérő D 10,96 cm
Magasság h 12,45 cm
Tömeg m 2537,40 g
Térfogat V 1174,57 cm³
Sűrűség ρ 2,16 g/cm³
Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,63 km/s

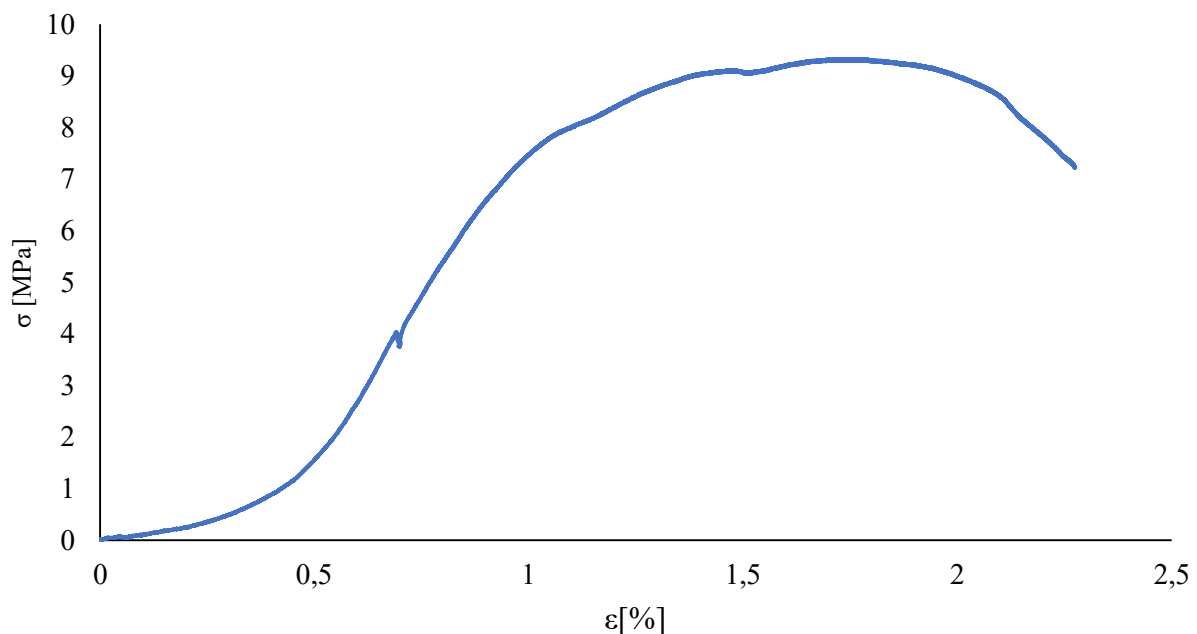
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 9,31 Mpa
Húzószilárdság σ_t 0,74 MPa
σ_c/σ_t arány B 12,64 -
Rugalmassági modulus E 1,36 Gpa
σ_c/E arány MR 146,08 -
Belső súrlódási szög φ 58,58 °
Kohézió c 1309,47 kPa
Poisson-tényező ν 0,15 -

σ-ε diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C1-3
Szerkezeti fal

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg	iszapos homok	
Technológia	2 fázis	
Fajlagos cementtartalom		650,00 kg/m ³
Fúvóka átmérő	d	3,5 mm



Próbatest adatai

Átmérő	D	12,33 cm
Magasság	h	14,61 cm
Tömeg	m	3792,80 g
Térfogat	V	1744,48 cm ³
Sűrűség	ρ	2,17 g/cm ³
Ultrahang terjedési sebesség	v_{UH}	3,80 km/s

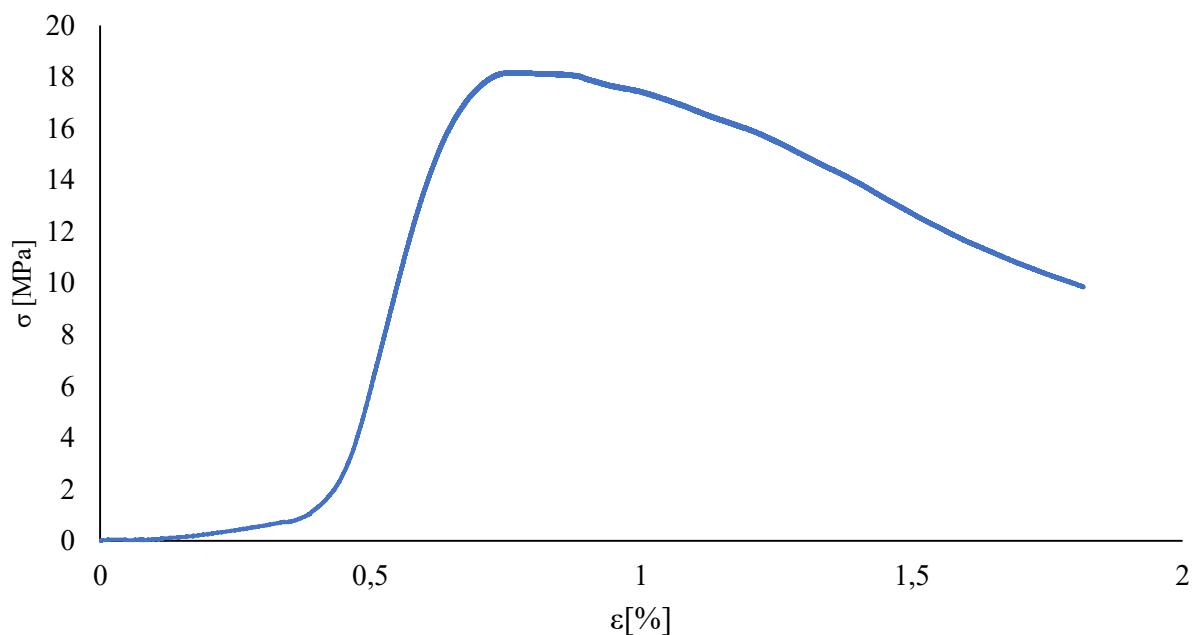
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság	σ_c	18,17 Mpa
Húzószilárdság	σ_t	1,84 MPa
σ_c/σ_t arány	B	9,86 -
Rugalmassági modulus	E	7,66 Gpa
σ_c/E arány	MR	421,57 -
Belső súrlódási szög	ϕ	54,67 °
Kohézió	c	2893,50 kPa
Poisson-tényező	ν	0,17 -

σ - ϵ diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C1-10c
Szerkezeti fal

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg	homokos kavics
Technológia	2 fázis
Fajlagos cementtartalom	650,00 kg/m ³
Fúvóka átmérő	d 3,5 mm



Próbatest adatai

Átmérő	D	10,08 cm
Magasság	h	12,90 cm
Tömeg	m	2153,70 g
Térfogat	V	1029,44 cm ³
Sűrűség	ρ	2,09 g/cm ³
Ultrahang terjedési sebesség	v_{UH}	2,97 km/s

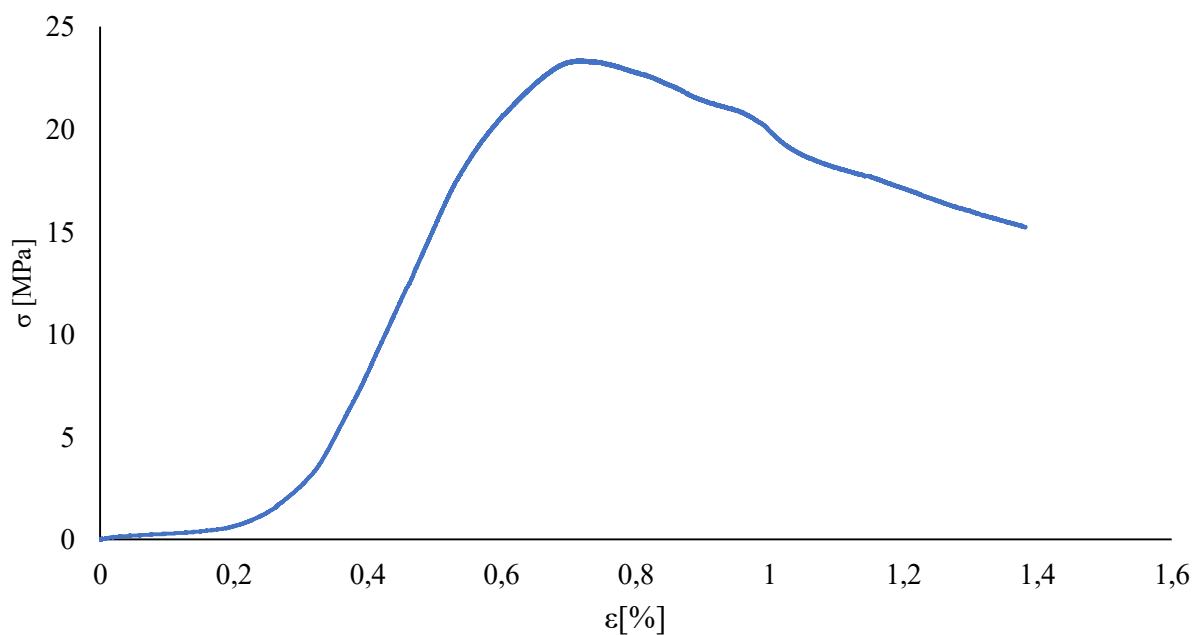
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság	σ_c	23,35 Mpa
Húzószilárdság	σ_t	2,37 MPa
σ_c/σ_t arány	B	9,84 -
Rugalmassági modulus	E	6,91 Gpa
σ_c/E arány	MR	295,93 -
Belső súrlódási szög	ϕ	54,64 °
Kohézió	c	3721,47 kPa
Poisson-tényező	ν	0,17 -

σ - ϵ diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C1-11
Szerkezeti fal

Törésképek
Nyomóvizsgálat

Készítés körülményei

Talajréteg	homok	
Technológia	2 fázis	
Fajlagos cementtartalom		650,00 kg/m ³
Fúvóka átmérő	d	3,5 mm



Próbatest adatai

Átmérő	D	10,11 cm
Magasság	h	12,52 cm
Tömeg	m	2166,00 g
Térfogat	V	1005,07 cm ³
Sűrűség	ρ	2,16 g/cm ³
Ultrahang terjedési sebesség	v_{UH}	3,08 km/s

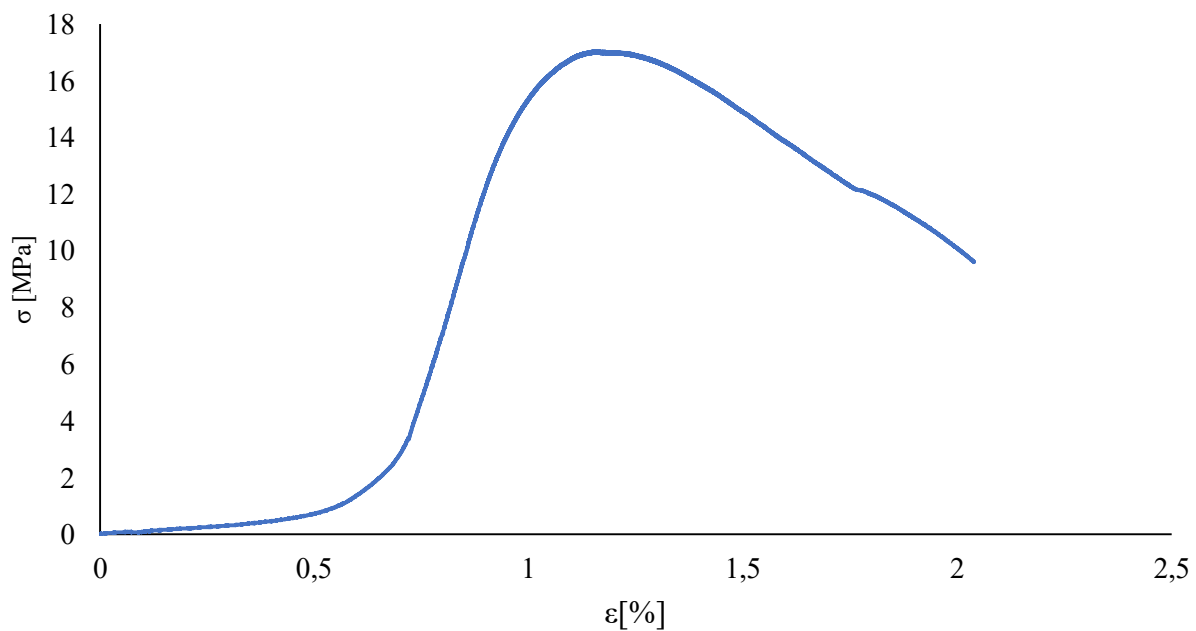
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság	σ_c	17,03 Mpa
Húzószilárdság	σ_t	1,62 MPa
σ_c/σ_t arány	B	10,54 -
Rugalmassági modulus	E	4,84 Gpa
σ_c/E arány	MR	284,20 -
Belső súrlódási szög	ϕ	55,76 °
Kohézió	c	2622,83 kPa
Poisson-tényező	ν	0,16 -

σ - ϵ diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C1-15
kavicsos homok

Törésképek
Nyomóvizsgálat



Készítés körülményei

Talajréteg	kavicsos homok
Technológia	2 fázis
Fajlagos cementtartalom	650,00 kg/m ³
Fúvóka átmérő	d 3,5 mm

Próbatest adatai

Átmérő	D	9,85 cm
Magasság	h	12,39 cm
Tömeg	m	2136,10 g
Térfogat	V	944,13 cm ³
Sűrűség	ρ	2,26 g/cm ³
Ultrahang terjedési sebesség	v_{UH}	3,37 km/s

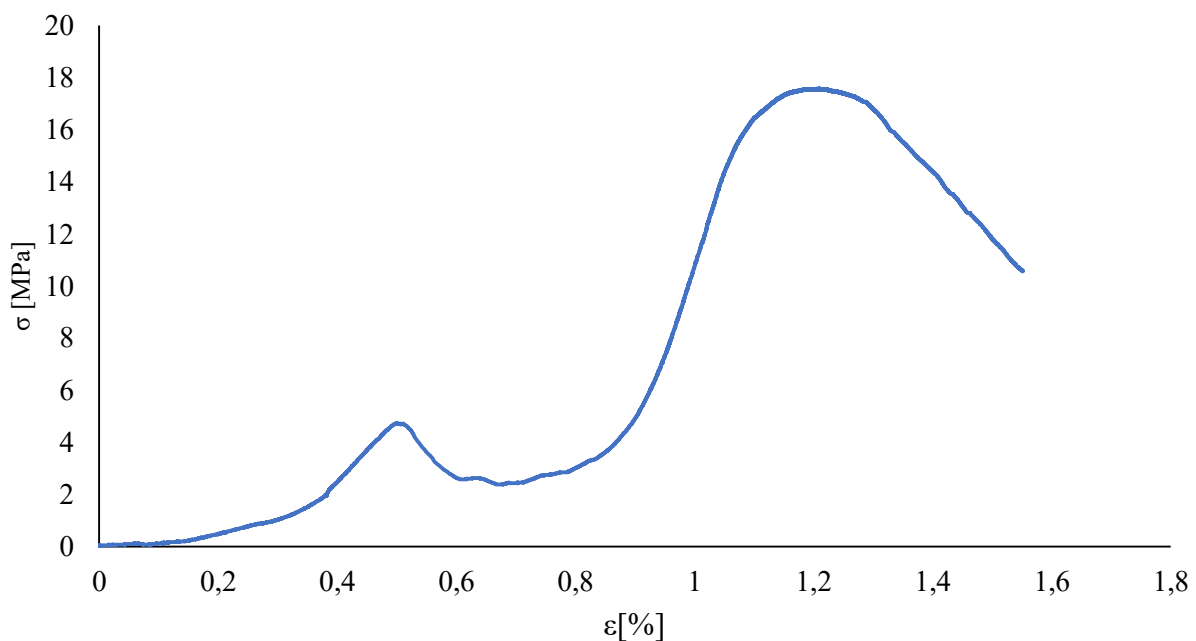
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság	σ_c	4,74 Mpa
Húzószilárdság	σ_t	0,84 MPa
σ_c/σ_t arány	B	5,62 -
Rugalmassági modulus	E	6,97 Gpa
σ_c/E arány	MR	1470,46 -
Belső súrlódási szög	ϕ	44,26 °
Kohézió	c	999,69 kPa
Poisson-tényező	ν	0,23 -

σ - ϵ diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C2-1
homokos kavics

Törésképek
Nyomóvizsgálat



Készítés körülményei

Talajréteg homokos kavics
Technológia 2 fázis
Fajlagos cementtartalom 650,00 kg/m³
Fúvóka átmérő d 3,5 mm

Próbatest adatai

Átmérő D 12,34 cm
Magasság h 14,70 cm
Tömeg m 3488,20 g
Térfogat V 1758,08 cm³
Sűrűség ρ 1,98 g/cm³
Ultrahang terjedési sebesség v_{UH} 2,93 km/s

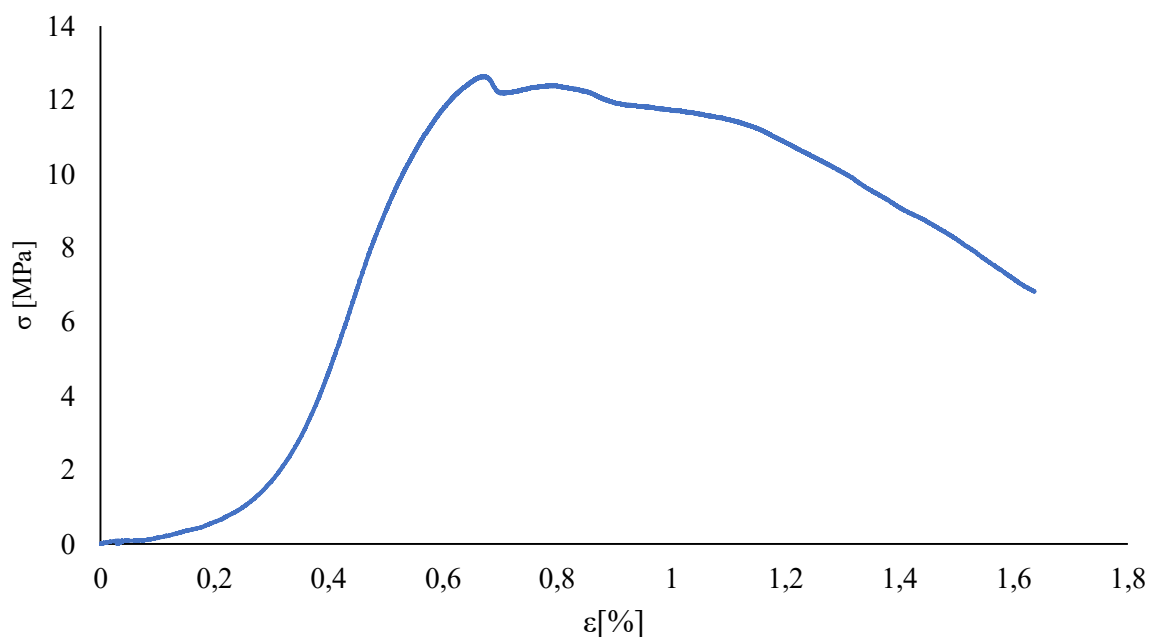
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság σ_c 12,63 Mpa
Húzószilárdság σ_t 1,40 MPa
σ_c/σ_t arány B 9,00 -
Rugalmassági modulus E 4,55 Gpa
σ_c/E arány MR 360,25 -
Belső súrlódási szög φ 53,13 °
Kohézió c 2105,05 kPa
Poisson-tényező ν 0,18 -

σ-ε diagram



Próbatest jele
Oszlop jele

C2-2b
homok

Törésképek
Nyomóvizsgálat



Készítés körülményei

Talajréteg	homok	
Technológia	2 fázis	
Fajlagos cementtartalom		650,00 kg/m ³
Fúvóka átmérő	d	3,5 mm

Próbatest adatai

Átmérő	D	12,37 cm
Magasság	h	14,77 cm
Tömeg	m	3462,80 g
Térfogat	V	1775,05 cm ³
Sűrűség	ρ	1,95 g/cm ³
Ultrahang terjedési sebesség	v_{UH}	3,10 km/s

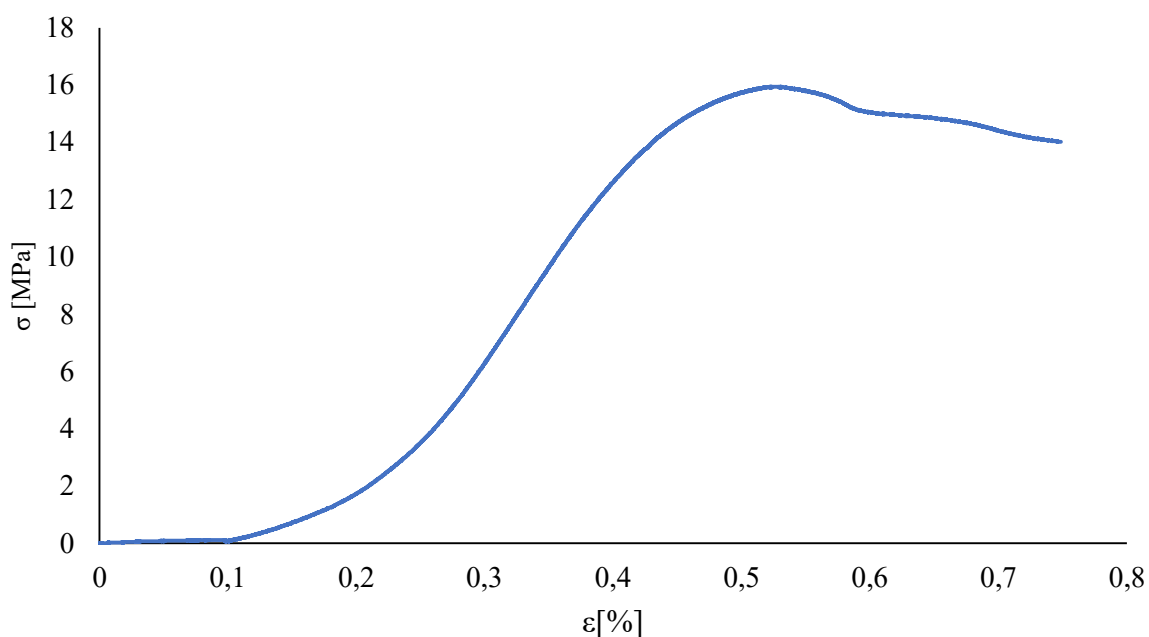
Húzóvizsgálat



Számított mechanikai paraméterek

Nyomószilárdság	σ_c	15,94 Mpa
Húzószilárdság	σ_t	0,97 MPa
σ_c/σ_t arány	B	16,44 -
Rugalmassági modulus	E	5,88 Gpa
σ_c/E arány	MR	368,88 -
Belső súrlódási szög	ϕ	62,29 °
Kohézió	c	1965,60 kPa
Poisson-tényező	ν	0,13 -

σ - ϵ diagram



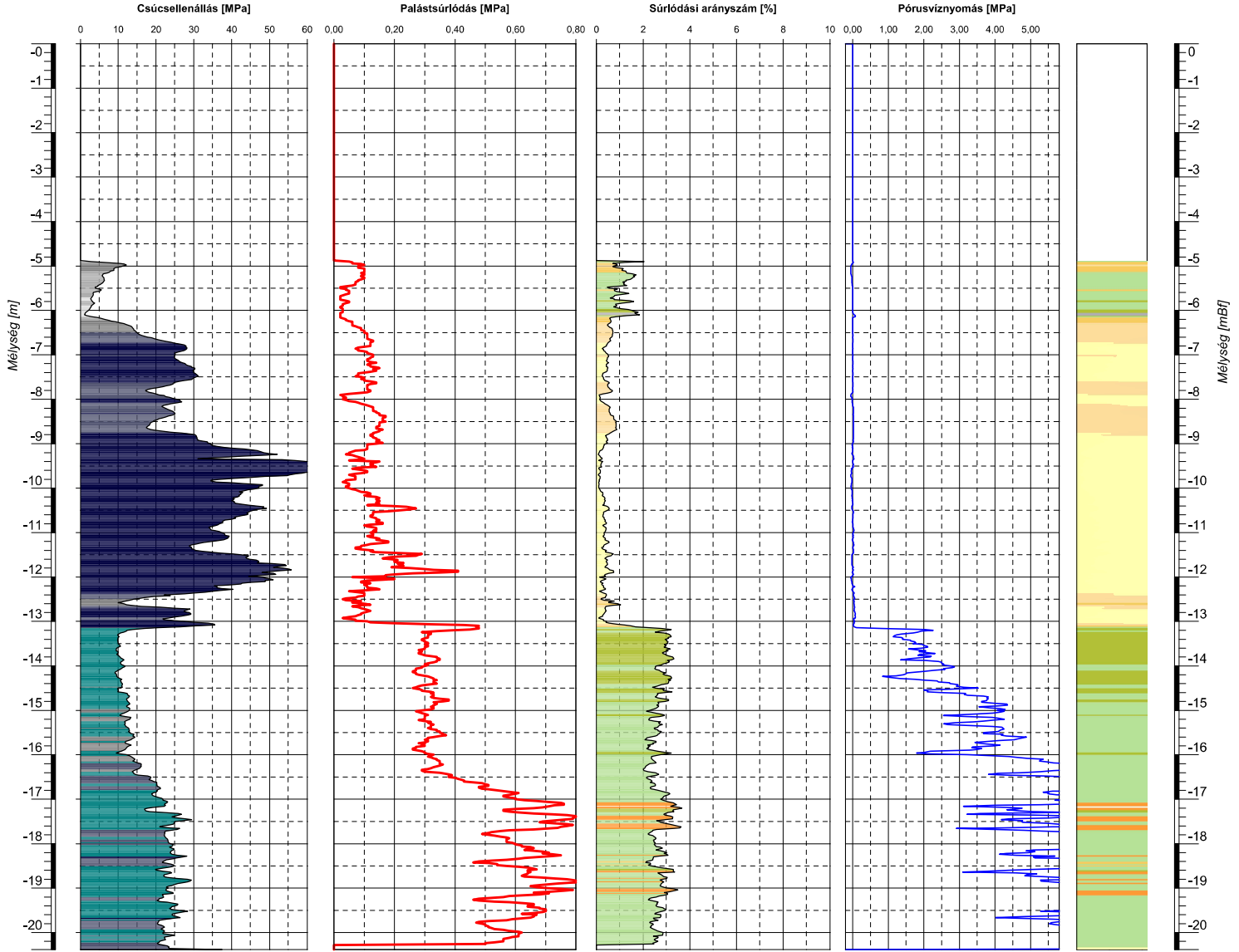
1. Melléklet

2. Melléklet

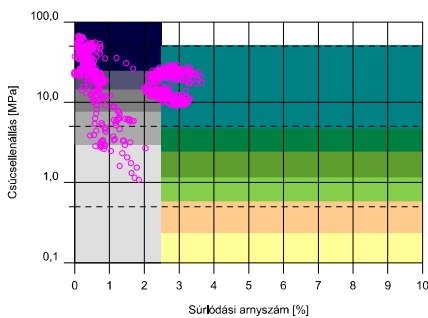
**VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV
STATIKUS SZONDÁZÁS
MSZ EN ISO 22476-1:2013**

A vizsgálatot végezte: FUGRO Consult Kft.
Geotechnikai Vizsgálólaboratórium
1115 Budapest, Kelenföldi u. 2, T.: 06 1 382 00 42

Megbízó: Geoplan Kft	Projekt: Budapest, Apáczai Csere János utca	
Vizsgálati jk. száma: CPTu_1	Helyszín: Budapest, Apáczai Csere János utca	Méretarány: M=1:100
Mérési lap jelle: FCH-20040_L_01_CPTu_1_CP	Projekt ikatatószám: FCH-20040	Terepszint [mBf]: 104,40
Szondázás dátuma: 2020/02/22	Szonda száma: 2956	Koordinátszám: EOY
	Kalibrálás dátuma: 2020.01.22	Koordinátszám: X/Y: 239190,00 / 650116,00
		Szondázást készítette: Vantulek Balázs
		Megjegyzés: A szondázás az első 6 m-ben beléscsőben haladt. Nagy ellenállás miatt a mérést leállítottuk.
		Vizsgálati jk. kiadva: 2020/02/24



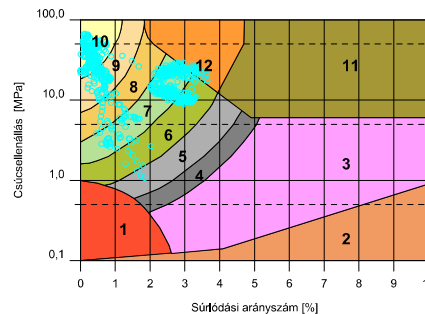
Talaj tömörség és konzisztencia (kiértékel)



JELÖLÉS (Csúcsellenállás diagramon ábrázolva)

- nagyon laza
- laza
- közepesen tömör
- tömör
- nagyon tömör
- nagyon puha
- puha
- gyúrható
- merev
- nagyon merev
- kemény

Robertson-féle talajosztályozás (módosított)



JELÖLÉS (Sűrűdési arányszám diagramon ábrázolva)

- 1 Érzékeny, finom szemcsés talaj
 - 2 Szerves talaj, tőzeg
 - 3 Agyag
 - 4 Iszapos agyag-agyag
 - 5 Agyagos iszap-iszapos agyag
 - 6 Homokos iszap-agyagos iszap
 - 7 Iszapos homok-homokos iszap
 - 8 Homok-iszapos homok
 - 9 Homok
 - 10 Kavicsos homok-homok
 - 11 Nagyon merev-finom szemcsés homok*
 - 12 Nagyon merev homok-agyagos homok*
- *tülkonszolidált vagy cementált

Felhasznált eszközök: Fugro Engineers B.V. gyártmányú szonda	A kiértékelést végezte, a jegyzőkönyvet összeállította: Szilva András Geotechnikai mérnök	Jóváhagyta: Nyári István laboratóriumvezető
Dokumentum azonosító: CP2_v4		