



XXXII. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYI SZEKCIÓ

A BUDAI MÁRGA KÖZETFIZIKAI PARAMÉTEREINEK
STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE A BUDAI VÁRHEGY TÉRSÉGÉBŐL
SZÁRMAZÓ VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ALAPJÁN

KÉSZÍTETTE: CZINDER BALÁZS

BME, MSC, I. ÉVFOLYAM

KONZULENSEK: DR. TÖRÖK ÁKOS

EGYETEMI TANÁR

BME, ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MÉRNÖKGEOLOGIA TANSZÉK

DR. GÖRÖG PÉTER

ADJUNKTUS

BME, ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MÉRNÖKGEOLOGIA TANSZÉK

TARTALOM

1. Bevezetés.....	4
2. A Várhegy mérnökeológiai jellemzése	5
2.1. A Várhegy keletkezése, felépítése.....	5
2.2. A Várhegy hidrogeológiája	6
2.3. A Várhegyet alkotó kőzetek	7
3. Vizsgálati módszerek	9
3.1. Korábbi vizsgálatok eredményei	9
3.2. Laboratóriumi vizsgálatok.....	10
3.2.1. Minta előkészítés	10
3.2.2. Sűrűség	10
3.2.3. Ultrahang terjedési sebesség	10
3.2.4. Víztelítési vizsgálatok	11
3.2.5. Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat	11
3.2.6. Közvetett húzóvizsgálat	14
3.3. A statisztikai vizsgálatok, az alkalmazott számítógépes programok.....	16
3.3.1. Egyváltozós analízis	16
3.3.2. Többváltozós vizsgálatok	19
4. A laborvizsgálatok eredményei.....	23
4.1. A fűrészmagokat alkotó kőzettípusok meghatározása	23
4.2. A szilárdság vizsgálatok eredményei	23
4.3. A laborvizsgálatok összegzése	24
5. Statisztikai vizsgálatok – Egyváltozós analízis.....	25
5.1. A különböző helyszínekről származó minták összehasonlítása	25
5.1.1. A paraméterek átlagos értékeinek összehasonlítása	25
5.1.2. Az átlagértékek összehasonlításának értékelése a további vizsgálatok szempontjából.....	30
5.2. A 2013-as várkerti adatok egyváltozós analízise	33
5.2.1. Kiugró adatok vizsgálata	33
5.2.2. Statisztikai mutatószámok	33
5.2.3. A különböző paraméterek eloszlása	34

5.3. A teljes adatbázis vizsgálata egyváltozós analízissel (Egyirányú nyomószilárdság, húzószilárdság).....	39
6. Többváltozós analízis.....	41
6.1. A saját laborvizsgálati eredmények többváltozós elemzése.....	41
6.1.1. A korreláció vizsgálata.....	41
6.1.2. Regresszióelemzés: Testsűrűség – ultrahang terjedési sebesség.....	42
6.1.3. Regresszióelemzés: Légszáraz – Telített állapotban mért testsűrűség.....	44
6.1.4. Regresszióelemzés: Egyirányú nyomószilárdság – rugalmassági modulus...	45
6.2. A teljes adatbázis többváltozós elemzése.....	47
6.2.1. A korreláció vizsgálata.....	47
6.3. A saját mérési eredmények alapján meghatározott összefüggések alkalmazása korábbi mérési eredményeken.....	48
7. A vizsgálatok értékelése, jelentősége.....	50
8. Összefoglalás.....	52
9. Summary	53
10. Köszönetnyilvánítás	54
11. Irodalomjegyzék.....	55
12. Ábrajegyzék	57
13. Táblázatjegyzék.....	59

1. BEVEZETÉS

A közetfizikai jellemzők meghatározása fontos lépése a mélyépítésben a tervezési folyamatnak. Részletes laboratóriumi vizsgálatoknak kell megelőznie a tervek kidolgozását, hogy a területet jellemző, a további számítások alapját képező közetmechanikai paramétereket a lehetőségekhez mérten minél pontosabban megismerjük.

Dolgozatomban a budai márga közetfizikai paramétereinek vizsgálatát, statisztikai elemzését hajtottam végre. A vizsgálataim tárgyát képező adatbázis adatai, azaz a korábbi mérési eredmények különböző helyszínekről származó fúrások mintái alapján lettek meghatározva. A legnagyobb mintaszám két, 2013-ban, a Várkert területén készült fúrásból származik. Ezen fúrások magmintáinak vizsgálatát Balog Zsolt építőmérnök hallgatóval közösen végeztük el 2013 tavaszán a diplomamunkáink keretein belül.

Sok esetben nincs lehetőségünk vagy időnk a megfelelő mennyiségű vizsgálat elkészítésére. Ilyenkor az ismeretlen paramétert csupán közelíteni tudjuk egyéb vizsgálati eredmények alapján. Ez történhet a szakirodalomban fellelhető eredmények alkalmazásával valamilyen feltétel mellett vagy anélkül. Az ismeretlen mennyiség becslésére egy másik lehetőséget kínálnak a paraméterek közti összefüggések, amennyiben egy másik, már meghatározott, úgynevezett független paraméter és a keresett mennyiség között kijelenthető valamilyen kapcsolat.

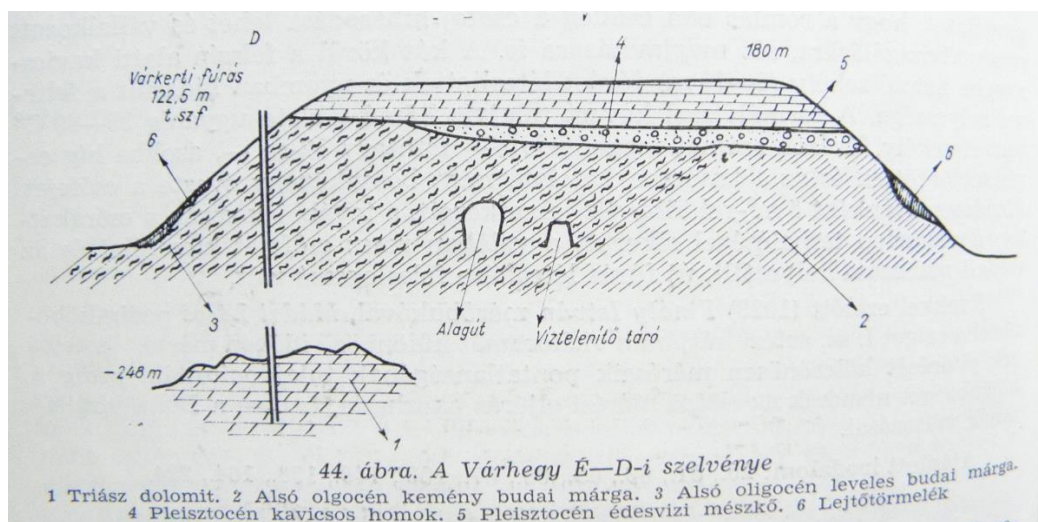
Dolgozatom megírása során ezeket, a budai márgát jellemző összefüggéseket kerestem. Ennek során végeztem korreláció- és regresszióelemzéseket, valamint az ezeket előkészítő egyváltozós vizsgálatokat. Céljaim közt szerepelt a legfontosabb közetfizikai paraméter, az egyirányú nyomószilárdság – mint függő változó – és a testsűrűség közti kapcsolat meghatározása. Az összefüggés révén becsülhető a budai márga nyomószilárdsága annak testsűrűség alapján. Ezen kívül célom volt további összefüggések kimutatása – amennyiben léteznek – és jellemzése. Korábbi szakirodalmi eredményekre támaszkodva alapvetően lineáris kapcsolattal leírható összefüggéseket kerestem.

Munkám során a Microsoft Office 2013 Excel 2013 programját és az IBM SPSS Statistics 20.0.0 programot használtam.

2. A VÁRHEGY MÉRNÖKGEOLÓGIAI JELLEMZÉSE

2.1. A VÁRHEGY KELETKEZÉSE, FELÉPÍTÉSE

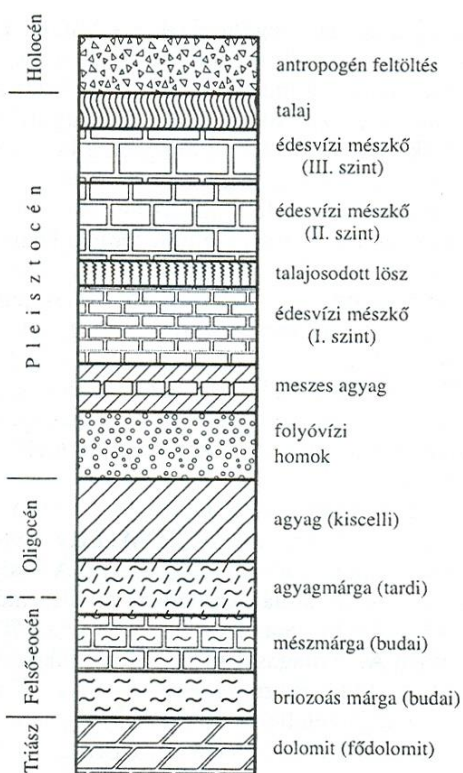
A Várhegy Budán, a Duna partján, a Gellért-hegytől északra fekszik, része Budapest I. kerületének. A Budai-hegység hegyláncának tagja, de egyik irányban sem függ össze annak más részeivel, önállóan emelkedik ki környezetéből. Kedvező földrajzi fekvése miatt már régóta lakott. Közkedvelt turisztikai célpont, amit vonzó természeti képének, valamint a rajta fekvő Budai Várnak köszönhet, ami 1987 óta az UNESCO Világörökség része. A hegy 2000 m hosszú (ebből 1500 m-t tesz ki a 120-450 m széles plató). Fennsíkja 405.000 m², lejtőinek területe 750.000 m² (Hajnal et al. 2012), más források szerint mindkét rész területe 120.000 m²-re tehető (Schafarzik et al. 1964).



1. ábra: A Várhegy felépítése (Schafarzik et al. 1964)

A hegy a pleisztocén korban alakult ki, ekkor meleg vizes forrásokból édesvízi mészkő vált ki, ami egy összefüggő platót alkotott (1. ábra). Az így kialakuló mészkő sapka védte meg a későbbiekben az alatta fekvő puhább rétegeket: az agyagos, márgás képződményeket, valamint a mélyebben fekvő kiscelli agyag és budai márga rétegeket (Török 2012). A mészkő réteg a Bécsi kapu tér környékén a legvastagabb, itt eléri a 14 m-es vastagságot, délnyugat felé vékonyodik. A sapkát a jégkorszakból visszamaradó lösz lepel fedi, amit mára az erózió teljesen felszabdalt (Schafarzik et al. 1964). A hegy a Mindel-végi szerkezeti mozgások révén emelkedett ki. A folyamat során három emelkedési fázis különíthető el: az első két emelkedés a középső-pleisztocén, a harmadik a középső pleisztocéntól napjainkig terjedő időszakban játszódtott illetve játszódik még ma is le. Ezen folyamatok eredményeként kelet-nyugat irányban egy vető húzódik végig a hegyen, mely mentén a budai márga és a kiscelli agyag érintkezik. (Hajnal et al. 2012)

A Várhegy déli végén 1938-ban feltáró fúrást végeztek, melynek mélysége 261 m volt. A vizsgálat alapján a Budai-hegységet alkotó felső-triász dolomit kőzet 238 m-es mélységben található. Fölötte fekszenek a felső-eocén kori bryozoás márga és a budai márga rétegek, melyek a Budai Márga Formációt alkotják (BME 2007). A formációra oligocén korban tardi illetve kiscelli agyag települt, majd erre az alsó-pleisztocénban folyóvízi homok rakódott. Ezt borítja pleisztocén kori mészkő sapka, majd a löszös, feltöltéses rétegek (Hajnal et al. 2012) (2. ábra).



2. ábra: A Várhegy rétegsora (Hajnal et al. 2012)

2.2. A VÁRHEGY HIDROGEOLÓGIÁJA

A Várhegy vízföldtanilag is egy elkülönülő egységet alkot kiemelkedő helyzete miatt. Ezen belül a plató és a várlejtők hidrogeológiáját kell megkülönböztetni, melyekre mára már több vízmérleget is elkészítettek.

A hegy platóján talajvíz nem fordul elő, az édesvízi mészkő sapka repedéseiben tapasztalható karsztvíz áramlás a csapadék és a közműhibák miatt elszivárgó víz mélybe való mozgásából jön létre. A Várhegy vízháztartását nagymértékben befolyásolta a hegy közművesítése. Megfigyelhető, hogy a mészkő sapkában csapadékmentes időben is jelentkezik a vízáramlás, amit a közművek vízvesztése okoz (Farkas et al. 2012). A mészkő alatti folyóvízi homokrétbe leszivárgó víz nem alkot összefüggő víztestet, az Ős-Ördögárok patak

lerakódásiban halmozódik a víz. Innen a víz a Várlejtők irányába (így a Várbazár területe felé is) szivárog el a budai márga repedésein keresztül. Mivel a víz mozgását nagymértékben befolyásoló márga rétegei uralkodóan dél-délnyugati dőlésűek, a felszín alatti vizek is ilyen irányba szivárognak – ezért volt szükség a Váralagút nagyméretű víztelenítési rendszerének kiépítésére. (BME 2007)

A Várhegy déli végénél víztelenítő művet alakítottak ki, mely víztelenítő aknák sorából áll. Az építési ideje ezeknek nem ismert, de a Váralagút építésekor (1908) már tudtak a létezésükről. Innen az összegyűjtött vizet szennyvíz csatornába vezették el. A hegy nyugati-délnyugati részén lévő aknák vízszintjei a 119-120 m B.f. értékek körül mozognak (BME 2007).

A Várhegy a Duna nyugati partján fekszik a folyótól nem messze, így a hegy délkeleti területének, azaz a Várbazár területén a felszín alatti víz szintjét és a víz mozgásának irányát a Duna vízállása befolyásolja: az alacsony vízszint leszívó, a magas visszaduzzasztó hatású. Ez a terület része a budai termális vonalnak, 248 m mélységben a felső-triász dolomit hévizet tárol. A Várkert területén 1938-ban termál kutat is létesítettek egy hévforrásra települten. A kútnál tapasztaltak szerint a terület alatt található budai márga nem termálvíz-vezető, azaz az itt létesítendő mélygarázs építését nem akadályozza a termálvíz jelenléte. Ezt támasztja alá az is, hogy a terület közelében nem tapasztaltak magasabb talajvíz-hőmérsékletet és az, hogy a folyópart mentén nem ismertek hévizű szökevény források (Scheuer et al. 2003).

2.3. A VÁRHEGYET ALKOTÓ KÖZETEK

A budai márga a Budai-hegység egyik leggyakoribb kőzete, a felső-eocén korban keletkezett. A budai Várhegy, Krisztinaváros, Rózsadomb alapkőzete, körülöleli a Gellért-hegyet és a Sas-hegyet. A Budai-hegységben a felszín közelében fekszik. Ennek oka, hogy a fölötté lévő agyagrétegek könnyebben leállottak (Pécsi 1959).

A budai márga átmenetet képez a törmelékes és a vegyi üledékes kőzetek közt (Görög 2008). Két fő alkotórésze a mész és az agyag. Ezek arányától függően beszélhetünk agyagmárgáról illetve mészmárgáról. Előbbi színe sötét, szinte fekete, míg a keményebb, ellenállóbb mészmárga fakó, világos színű. A mállott márga sárgás színű és agyagszerűen viselkedik.

A budai márga összetétele (Pécsi 1959): SiO_2 : 23,38 %, Al_2O_3 : 7,72 %, TiO_2 : nyomokban, Fe_2O_3 : 4,04 %, CaO : 39,18 %, MgO : 2,46 % és CO_2 : 23,52 %.

A Budai Márga Formációban a kemény, meszesebb rétegek gyakran váltakoznak a puhább, agyagos rétegekkel. Néhol vékony, tufás padok (andezit tufa, riolit tufa), mészkő és homokkő

betelepülések is megjelennek benne. A törési felületek közelében, a mállottabb zónákban limonitosodás figyelhető meg.

A Várhegy fedő takaróját alkotó édesvízi mészkő a pleisztocén korban keletkezett melegvizes források vizéből kiválva. A források hőmérsékletét 30-35°-ra becsülik. Vegyi üledékes kőzet, azonban néhol a korábbi források helyénél megkövesedett mohából álló részek figyelhetők meg.

A mészkő színe a fehér és a világosszürke árnyalatok közt változik. A legtöbb helyen párhuzamos rétegződésű, de előfordulnak benne tömör, rétegzetlen szakaszok is. Időtálló, szilárd kőzet, ugyanakkor jól faragható.

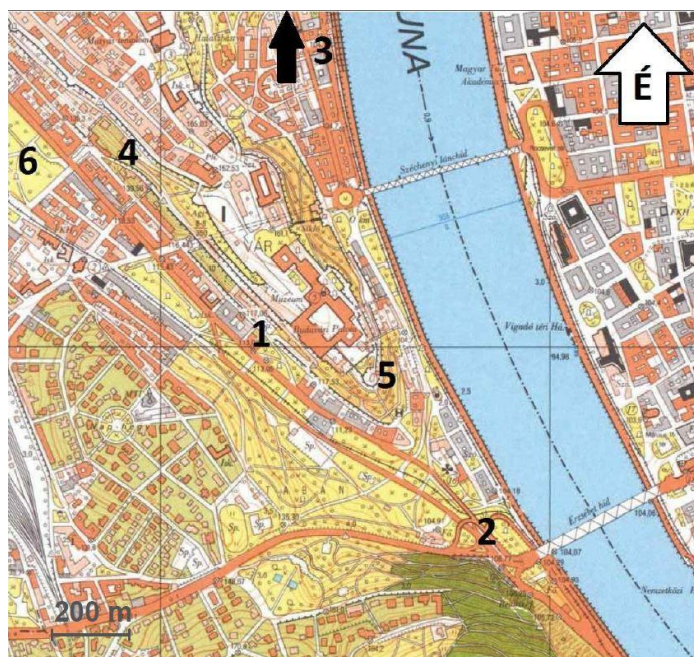
A mészkőösszlet két, jól elkülönülő részre osztható. Az északabbra eső területeken egységesebb a kőzet, míg délebben lencsés mésziszap és zöld agyagos betelepülések figyelhetők meg. Néhol aragonit (vesés-gumós és borsóköves változatok) is fellelhetők benne.

A mészkősapka vastagsága 30 cm és 10 m között változik, az átlagos értéke 5 m körül van (Krolopp et al. 1976). Közvetlenül alatta egy barna talajos réteg található. A mészkő felett legtöbb helyen feltöltéses rétegek vannak, azonban néhol lösz is fellelhető (Hajnal et al. 2012, Schafarzik et al. 1964).

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1. KORÁBBI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A statisztikai vizsgálatok tárgyát képező közetfizikai paramétereket különböző helyszínekről, különböző időpontban, különböző technológiával készített fúrásokból kaptam meg. Ezeket az eredményeket a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke bocsátotta rendelkezésemre. A fúrások elhelyezkedését a 3. ábra mutatja. (1. helyszín: Csikós udvar, 2. hsz.: Gellért-hegy, 3. hsz.: Rózsadomb, 4. hsz.: Várplató, 5. hsz.: Várkert, 6. hsz.: Vérmező.)



3. ábra: A fúrások elhelyezkedése a Várhegy körül

Az 1. táblázat a fúrások adatait, valamint az általuk nyert közetfizikai paraméterek számosságát tartalmazza. A táblázatban szereplő *l* és *t* jelölések azt jelentik, hogy az adott jellemzőt vízzel telített (*t*) vagy légszáraz (*l*) állapotban mérték. A 3. ábrán 5-tel jelölt helyszínen, a Várkert területén 2003-ban és 2013-ban is készültek fúrások. Ezeket az 1. táblázatban külön oszlopban jelöltem.

1. táblázat A fúrások és a közetfizikai paraméterek száma

Helyszín			Csikós udvar	Gellért-hegy	Rózsadomb	Várplató	Várkert 2003	Várkert 2013	Vérmező
Fúrások száma			3	8	5	2	5	2	2
Minták száma (légszáraz/telített)	Sűrűség	<i>l</i>	22	37	0	15	44	94	44
		<i>t</i>	0	37	0	13	0	23	32
	UH terjedési sebesség	<i>l</i>	0	0	0	0	0	94	0
		<i>t</i>	0	0	0	0	0	19	0
	Egyirányú nyomószilárdság	<i>l</i>	19	38	9	10	44	46	38
		<i>t</i>	0	34	9	8	0	10	27
	Rugalmassági modulus	<i>l</i>	12	28	9	10	35	46	0
		<i>t</i>	0	27	9	8	0	10	0
	Poisson-tényező	<i>l</i>	9	12	7	7	35	46	0
		<i>t</i>	0	11	6	8	0	10	0
	Közvetett húzószilárdság	<i>l</i>	25	37	9	12	41	16	34
		<i>t</i>	0	37	9	11	0	10	17

3.2. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

A Várkert területén a 2013-ban, a Geovil Kft. által mélyített (VK-1 és VK-2 jelű) fúrások közetfizikai paramétereit saját vizsgálatokkal állapítottuk meg. A laborvizsgálatokat Balog Zsolt MSc hallgatóval végeztem, aki a Várhegyen megépült Várgarázs kőzetkörnyezetének elemzésével, valamint a munkagödör munkatér-határolásával foglalkozott diplomamunkájának keretében.

3.2.1. MINTA ELŐKÉSZÍTÉS

A fúrásminták kibontása után az első teendő a tagoltság felvétele. Ezt még a minták száradása előtt meg kell tenni, hogy az emiatt keletkező repedések ne befolyásolják a vizsgálatot. A tagolt szakaszok hosszát valamint a tagoló felületek dőlését lemérve alapadatot biztosítunk a későbbi tagoltsági vizsgálatokhoz és a kőzettest osztályozásokhoz.

A próbatestek helyének kijelölése érdekében szükséges a mag kőzettípusokra való beosztása. Ez szemrevételezés alapján történik a kőzet színe, állaga, a kőzetben található ásványok és egyéb, körülményes vizsgálatok nélkül megállapítható tulajdonságok alapján. A leírás során a „Természetes kőzetek megnevezése” (MSZ EN 12670:2001) és a „Kőzettani vizsgálat” (MSZ EN 12407:2000) szabványokat kell alapul venni.

3.2.2. SŰRŰSÉG

Az egyirányú nyomószilárdság és a közvetett húzószilárdság vizsgálatokhoz kialakított próbatestek tömegét és a pontos méreteit – magasságukat és átmérőjüket – mérve kiszámolható azok test-sűrűsége. A telítésre szánt minták tömegét kiszáritás és áztatás után is le kell mérni, így a száraz és telített testsűrűséget is ki lehet számolni. A tömegösszetételi vizsgálatok (sűrűség, víztartalom meghatározása) során „Az anyagsűrűség, a testsűrűség, a nyílt porozitás és az összes porozitás meghatározása” (MSZ EN 1936:2000) szabvány utasításai követendők.

3.2.3. ULTRAHANG TERJEDÉSI SEBESSÉG

Mind az egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok, mind a közvetett húzószilárdság vizsgálatok során mértük az ultrahang (továbbiakban: UH) terjedésének idejét a próbatesten keresztül. A minta magasságának és az UH terjedési idő hányadosaként kapható meg az ultrahang terjedési sebessége a próbatesten keresztül.

A vizsgálatok során „A hangterjedés sebességének meghatározása” című (MSZ EN 14579:2005) szabványt kell alapul venni.

3.2.4. VÍZTELÍTÉSES VIZSGÁLATOK

Dolgoztunk légszáraz és telített mintákkal. A telítés előtt a mintákat 2-3 napra szárítószekrénybe helyeztük, tömegüket lemértük teljesen kiszáritott állapotban. A szárítás során a próbatestek nem károsodtak, azonban a telítés során több darab (esetenként akár a vizsgált minták fele) tönkrement vagy hajszálrepedések jelentek meg rajtuk (4. ábra). A vízben való áztatást két napig folytattuk folyamatos víztartalom mérés mellett és ezután végeztük el a szükséges méréseket, habár így nem lehettünk bizonyosak afelől, hogy a minták teljesen telítődtek. A korai vizsgálatokra azért volt szükség, mert félő volt, hogy a még ép próbatestek is tönkremennek, és így nem tudjuk a szükséges mennyiségű vizsgálatot elkészíteni.



4. ábra: Telítés közben szétesett próbatest

3.2.5. EGYIRÁNYÚ NYOMÓSZILÁRDSÁG VIZSGÁLAT

A közetek, kőzettestek legfontosabb paramétere azok egyirányú nyomószilárdsága. A szilárdsági osztályba sorolás és a minősítés a szilárdságtól függ. Ennek definiálása nehéz, hiszen a kőzet általában inhomogén és nem tekinthető izotrópnak, a mért szilárdság értékeit befolyásolják a próbatest anyagszerkezeti hibái: gyengébb zónák, zárványok, mikro-repedések jelenléte, anyagi folytonosság változások, ezek iránya és nagysága (Gálos-Vásárhelyi 2006).

A vizsgálatok során a törőerőt (F_t), valamint a hosszirányú és keresztirányú alakváltozásokat mértük. A mért nyomószilárdság egyszerűen, a törőerő és a terhelt felület (A) hányadosaként meghatározható:

$$\sigma_c = \frac{F_t}{A}.$$

A szabványok az egyirányú nyomószilárdság vizsgálatára 50 mm átmérőjű, 2/1 magasság/átmérő arányú próbatestet írnak elő. A mért nyomószilárdság erre az arányra rendkívül érzékeny, mivel a nyomófelületnél a keresztirányú alakváltozás gátlása miatt zavart feszültségviszonyok jönnek létre. A szabályos alakú, de a fenti kritériumoknak nem megfelelő alakú próbatesteken mért nyomószilárdságot lehetőségünk van átszámolni szabványos méretre vonatkozó nyomószilárdságra. Az alábbi összefüggés az ASTM (amerikai szabvány) által előírt, valamint a Hoek és Brown (1980) által meghatározott képletek összegzése (Gálos-Vásárhelyi 2006):

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

ahol σ_c a mért nyomószilárdság, d a próbatest átmérője mm-ben, h a próbatest magassága szintén mm-ben és $\sigma_{c(2:1);50}$ az 50 mm átmérőjű, 2/1 arányú próbatestre vonatkozó nyomószilárdság.

A terhelés közben szabályos időközökben mérhetőek a hosszirányú és keresztirányú alakváltozásokat függőleges illetve vízszintes elhelyezésű elmozdulásmérőkkel. Ezekből három-három állt rendelkezésre, melyek átlagával kellett dolgozni a továbbiakban. Az adatokat digitálisan rögzítjük.

Az elmozdulások és a próbatest magasságának hányadosaként kapjuk meg az alakváltozásokat, mely révén megrajzolható a minta feszültség-alakváltozás diagramja, valamint a hosszirányú-keresztirányú (axiális-laterális) alakváltozás diagramja.

Ezen görbék alapján meghatározható a közet rugalmassági modulusa valamint a Poisson-tényezője. A rugalmassági modulus kiszámítása a σ - ε diagram kezdeti, lineáris szakaszából kiválasztott két feszültség-alakváltozás értékpár segítségével történik:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_{2,ax} - \varepsilon_{1,ax}},$$

ahol E a rugalmassági modulus, σ_2 és $\varepsilon_{2,ax}$ a nagyobb, σ_1 és $\varepsilon_{1,ax}$ a kisebb összetartozó feszültség-alakváltozás pár. Meghatározása az axiális, azaz hosszirányú alakváltozás segítségével történik, értéke tulajdonképpen a σ - ε diagram vizsgált szakaszának a meredeksége.

A Poisson-tényezőt a rugalmassági modulus meghatározásánál alkalmazott hosszirányú alakváltozások és a hozzájuk tartozó keresztirányú alakváltozások segítségével határozhatjuk meg:

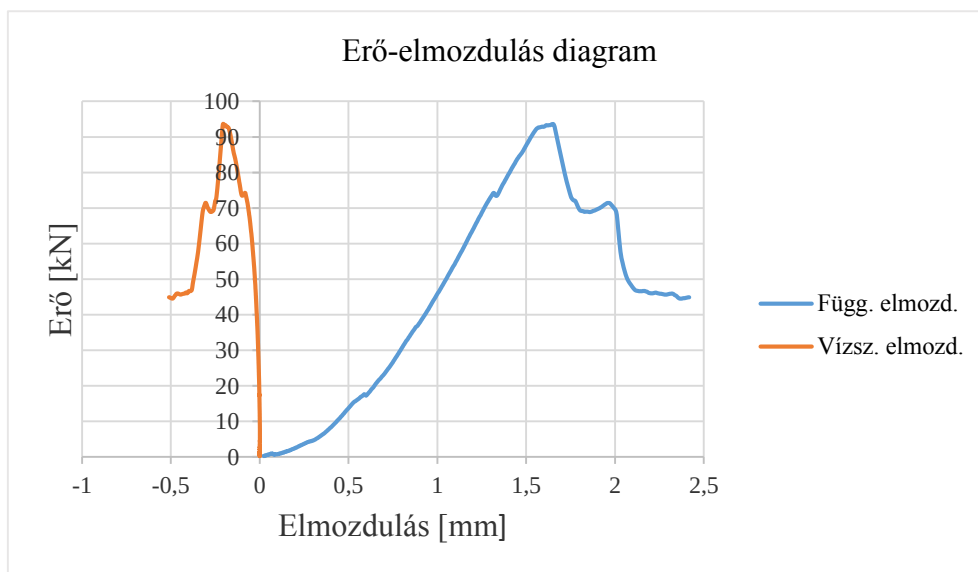
$$\nu = \frac{\varepsilon_{2,lat} - \varepsilon_{1,lat}}{\varepsilon_{2,ax} - \varepsilon_{1,ax}},$$

ahol ν a Poisson tényező (mértékegység nélküli mennyiség), $\varepsilon_{2,lat}$ és $\varepsilon_{2,ax}$ a nagyobb, $\varepsilon_{1,lat}$ és $\varepsilon_{1,ax}$ a kisebb összetartozó laterális-axiális alakváltozás pár.

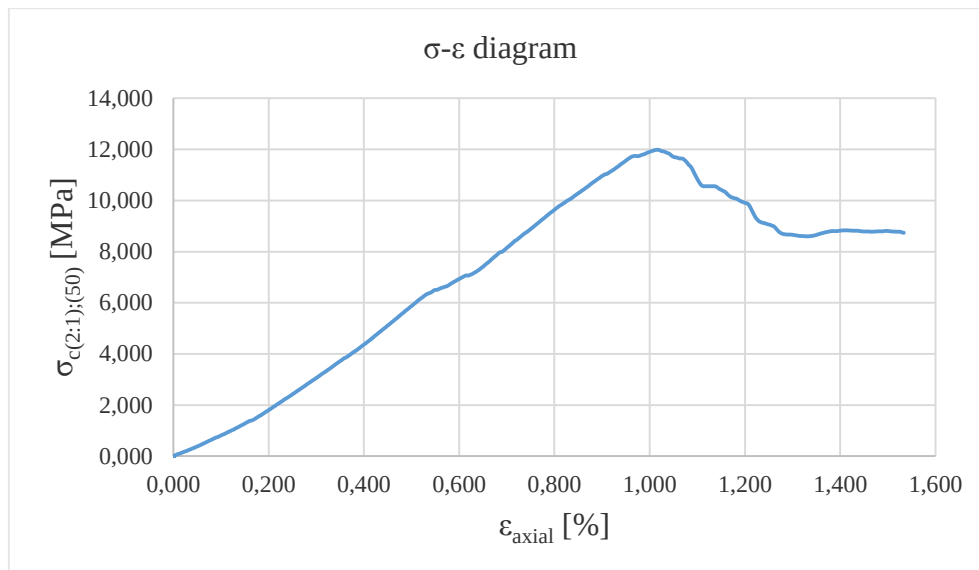
Az egyirányú nyomószilárdságot legtöbbször henger alakú próbatesten határozzák meg. Ezek kialakítása esetünkben nem okozott gondot, hiszen a fűrásmagok henger alakúak és megközelítőleg 10 cm átmérőjűek voltak, nem volt szükséges a mintákat kifűrni, elegendő volt a szükséges magasságú próbatesteket kivágni a magból. A mag „szeletelésére” gyémánt bevonatú körfűrészt használtunk.

A szabályos időközönként mért axiális és laterális elmozdulások és a hozzájuk tartozó terhelőerő értékek alapján elkészítettem a minták erő-elmozdulás diagramjait (5. ábra). A jobb láthatóság érdekében a vízszintes irányú elmozdulásokat ellentétes előjellel ábrázoltam. Látható, hogy a terhelés során megvártuk, hogy a reziduális nyomószilárdsághoz tartozó erő értékére visszaessen a törőerő. Többször előfordult, hogy ez nem volt lehetséges, mivel a próbatest hirtelen, előjel nélkül tört szét.

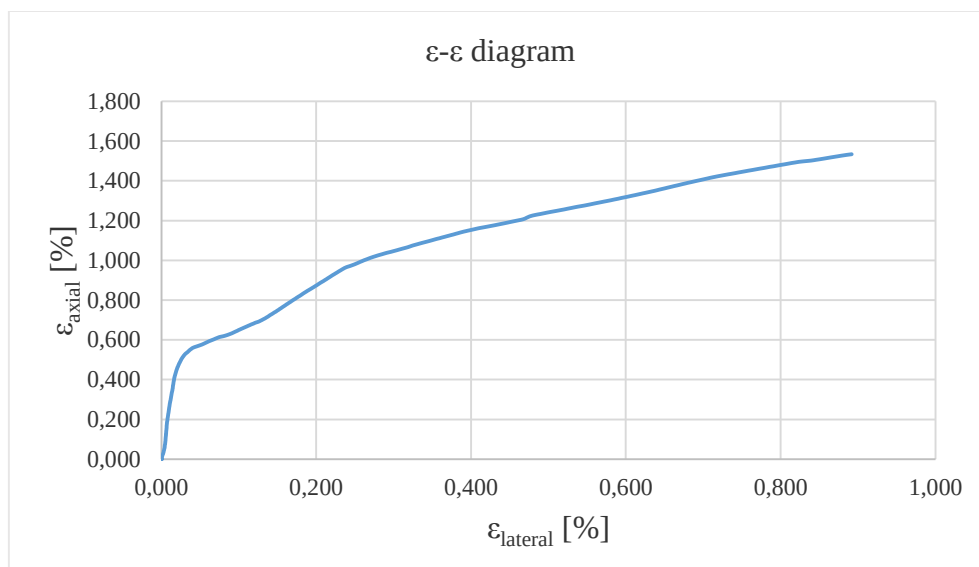
A 6. ábrán egy feszültség-alakváltozás diagram, a 7. ábrán egy axiális-laterális (hosszirányú-keresztirányú) alakváltozás diagram látható.



5. ábra: A VK-1/6 jelű próbatest erő-elmozdulás diagramja



6. ábra: A VK-1/8-1 jelű próbatest feszültség-alakváltozás diagramja



7. ábra: A VK-1/8-1 jelű próbatest axiális-laterális alakváltozás diagramja

Az egyirányú nyomószilárdság vizsgálatokat „A nyomószilárdság meghatározása” (MSZ EN 1926:2000) szabvány értelmében kell végrehajtani, a rugalmassági modulus és a Poisson-tényező meghatározására az ISRM (1978) („International Society of Rock Mechanics”, azaz Nemzetközi Kőzetmechanikai Társaság) ad iránymutatást.

3.2.6. KÖZVETETT HÚZÓVIZSGÁLAT

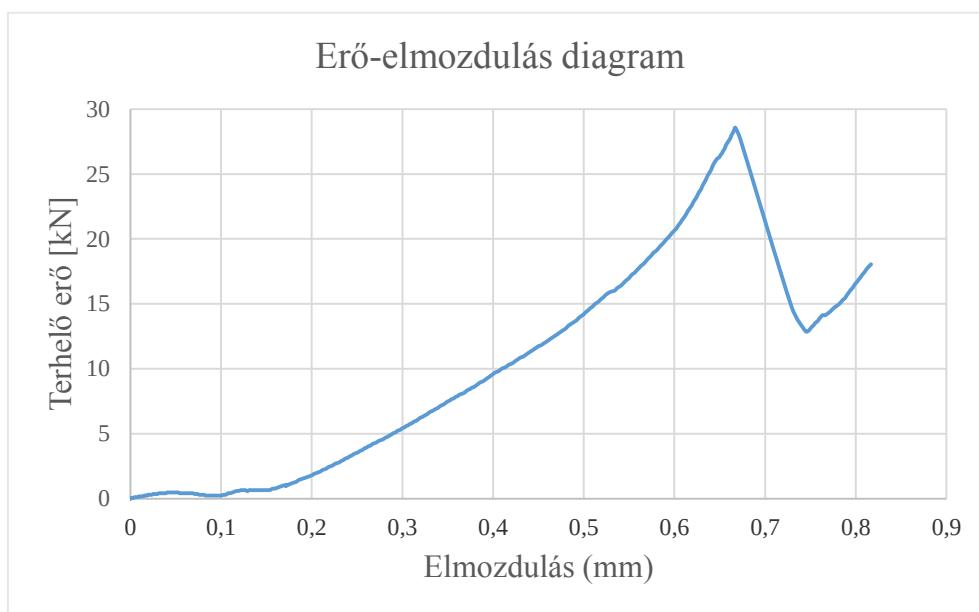
A nyomószilárdság mellett a kőzet húzószilárdsága is fontos kőzetfizikai jellemző. Ezt a közvetett húzóvizsgálat, vagy más néven a Brazil-vizsgálat révén határozhatjuk meg. Ekkor is henger alakú próbatesteket használunk, melyek átmérő-magasság arányának lehetőleg az 1/1 arány közelében kell lennie. A mintát a palástja mentén terheljük addig, amíg el nem törik, így

a próbatest a terhelő erő irányával megegyező átmérője mentén törik el a húzószilárdság kimerülése miatt (Gálos-Vásárhelyi 2006).

A próbatest húzószilárdsága (σ_t a húzószilárdság, F_t a törőerő, d a próbatest átmérője és h a magassága):

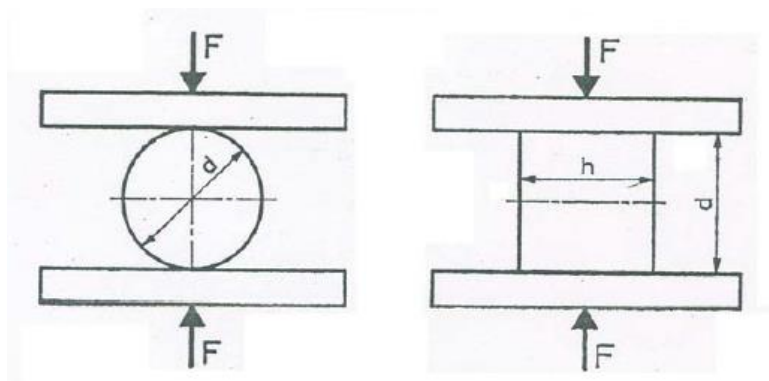
$$\sigma_t = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_t}{d \cdot h}$$

A közvetett húzóvizsgálat során is mértük az elmozdulásokat, így a tönkremeneteli folyamat erő-elmozdulás diagramját ábrázolni tudtam. A 8. ábrán látható, hogy a próbatest húzószilárdsága hirtelen merül ki, a tönkremenetel gyors.



8. ábra: Erő-elmozdulás diagram (BSz-2/7 jelű próbatest)

A próbatest vizsgálat közbeni elhelyezését a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: A próbatest elhelyezése terhelés közben Brazil-vizsgálatnál (Gálos-Vásárhelyi 2006)

A vizsgálatok során a „Közvetett húzóvizsgálat” (MSZ EN 18285/2:1989) szabvány utasításait követtük, ami egyezik az ISRM (1985) iránymutatásaival.

3.3. A STATISZTIKAI VIZSGÁLATOK, AZ ALKALMAZOTT SZÁMÍTÓGÉPES PROGRAMOK

3.3.1. EGYVÁLTOZÓS ANALÍZIS

Az eredményeket az adatok rendezése után statisztikailag elemeztem. Első lépésként összehasonlítottam a különböző helyszínekről származó mintákat, hogy a további vizsgálatok fajtáját ki tudjam választani. (Ahol az átlagértékek közt szignifikáns eltérés van, ott kevés esély van pl. korreláció kimutatására.) Erre a Microsoft Office 2013 programcsomag Excel 2013 programját használtam. Oszlopdiagramok segítségével jól szemléltethető az átlagértékek eltérése.

Ezek után a különböző paramétereket vizsgáltam meg úgynevezett egyváltozós analízissel az IBM SPSS Statistics 20.0.0 program segítségével. Az egyváltozós analízis célja, hogy betekintést nyerjünk az adatstruktúrába a változók egyenkénti, független elemzése révén. Ezekkel a vizsgálatokkal igazolhatjuk, hogy a többváltozós analízis feltételei teljesülnek (például a paraméterek normális eloszlást mutatnak). A vizsgálatok során alkalmazott leggyakoribb mutatókat négy csoportba sorolhatjuk:

1. helyzetmutatók: átlag, medián, módusz;
2. szóródási mutatószámok: terjedelem, szórás, variancia;
3. alakmutató számok: csúcsosság, ferdeség;
4. egyéb mutatószámok: összeg, elemek száma, minimum, maximum.

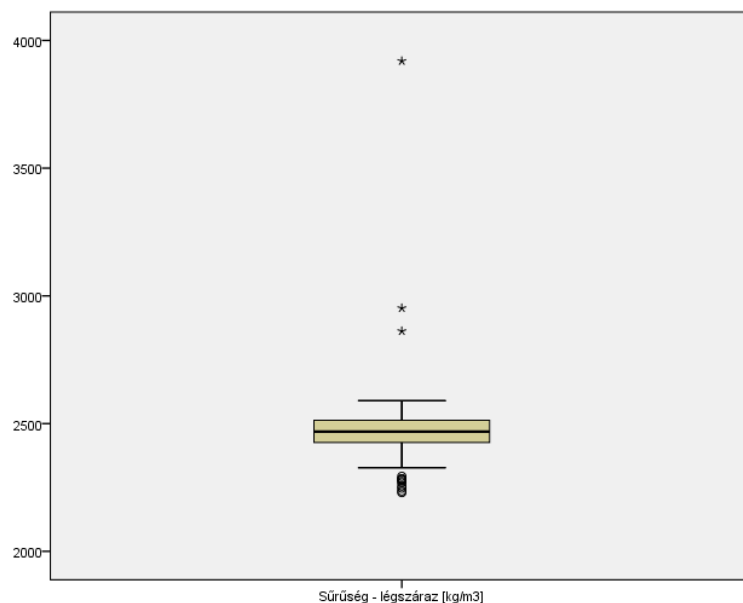
Az átlag az elemek számtani átlaga. Hátránya, hogy minden érték azonos hatással van rá, így a kiugró értékek jelentős mértékben befolyásolják őket, különösen kevesebb minta esetében. A medián olyan középérték, aminél az elemek fele kisebb, a másik fel nagyobb. A módusz a leggyakrabban előforduló elem.

A terjedelem a legkisebb és a legnagyobb elem közötti különbség. A szórás az a mennyiség, ami megmutatja, hogy az elemek az átlagos értéktől mennyire térnek el átlagosan. Ennek a négyzete a variancia.

A csúcsosság az eloszlás alakjáról szolgáltat információt. A normális eloszlás csúcsossága nulla, a csúcsos eloszlásé pozitív, a lapos eloszlásé negatív. A ferdeség az eloszlás horizontális alakját írja le, pozitív ferdeség esetében jobbra ferde, negatív ferdeség esetében balra ferde az eloszlásunk.

Az egyváltozós analízis első lépéseként a kiugró értékeket kell kiszűrni. Ezek az extrém magas vagy alacsony mennyiségek a vizsgálati eredményeket torzítják. Legtöbbjük mérési

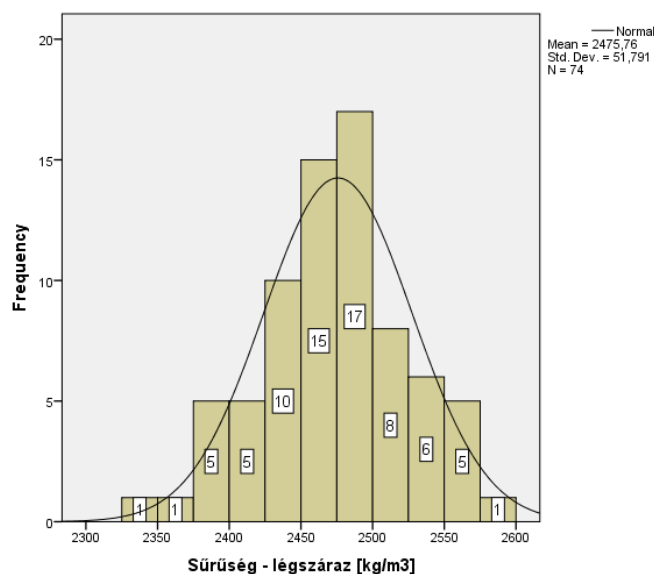
hibából származik. Az SPSS-ben a kiugró értékek meghatározására jó lehetőséget nyújt az úgynevezett BOXPLOT diagram (10. ábra).



10. ábra: Kiugró elemek vizsgálata – Légszárak testsűrűség (teljes adatbázis)

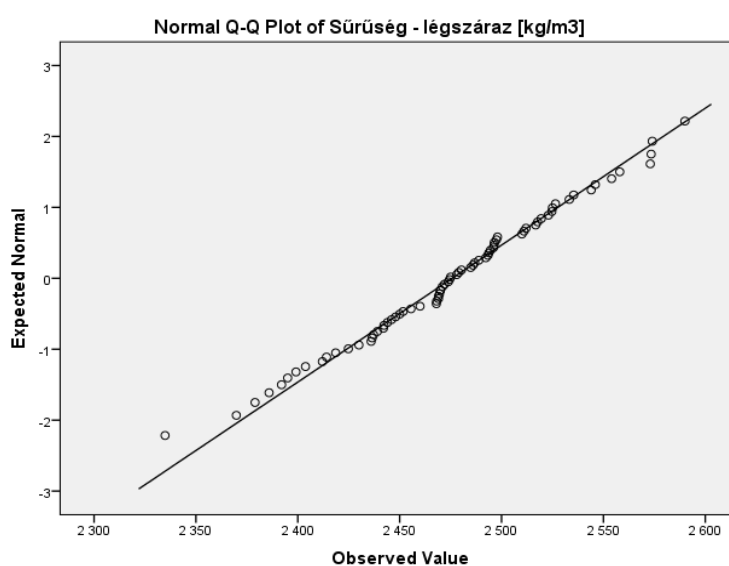
A szürke téglalapok a felső és az alsó kvartilis közötti távolságot mutatja. (Az alsó kvartilis a medián alatti adatok mediánja, tehát alatta az adatok egynegyed része van. A felső kvartilis ezzel analóg módon a medián feletti adatok mediánja.) A szürke doboz közepén található fekete vonal az adatsor mediánja. A dobozból kinyúló függőleges vonalak az interkvartilis terjedelem másfélszeresét mutatják. (Az interkvartilis terjedelem a felső és az alsó kvartilis különbsége.) Ha egy adat a doboz szélétől 1,5-3 interkvartilis terjedelmen belül van, akkor kiugró értéknek számít (körrel jelölve), ha ezen kívül, akkor extrém értéknek (csillaggal jelölve). (Sajtos-Mitev 2007)

Az adatsor eloszlásának leggyakoribb módja a hisztogrammal történő ábrázolásmód (11. ábra). Ez a változó előfordulásának a gyakoriságát mutatja meg egy adott tartományon belül. Az SPSS használata során módunkban áll az oszlopok szélességét és a tengelyek beosztását személyre szabni. A 11. ábra szerint például 17 mintánk van, aminek a légszárak állapotban mért testsűrűsége 2475 és 2500 kg/m³ közé esik. Az SPSS használatával lehetőségünk van a normális eloszlás görbáját is ábrázolni a hisztogramon. (Azonban a valós eloszlás normálisához való „közelségét” a továbbiakban igazolni kell.) A program a hisztogram bal oldalán kiírja a vizsgálati darabszámot (*N*), az átlagot (*Mean*) és a szórást (*Std. Dev.*).

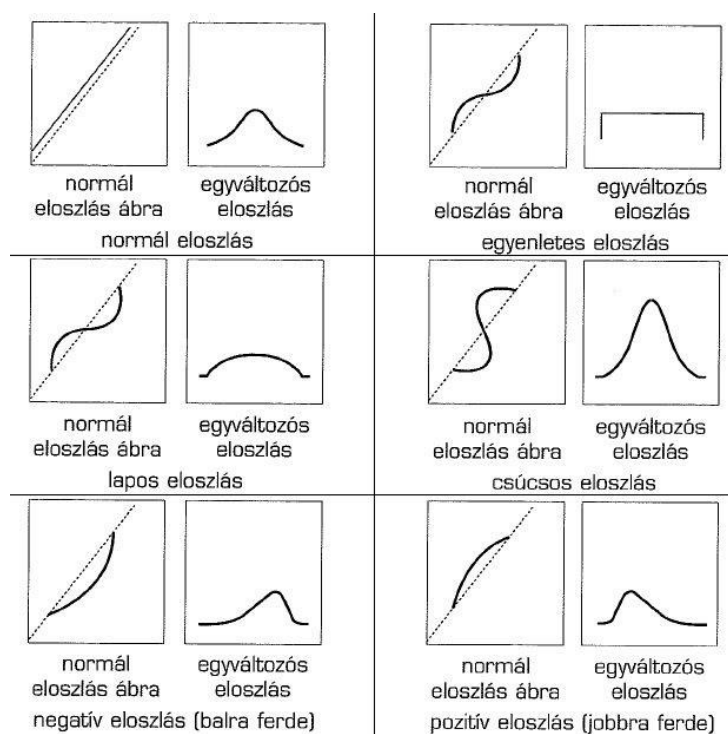


11. ábra: A légszáraz állapotban mért sűrűség eloszlása hisztogrammal ábrázolva (Várkert-2013, fakószürke mészmárga)

A vizsgált paraméter eloszlását a normális eloszlás kumulatív görbéjével való összehasonlítás révén határozhatjuk meg, azaz a normál eloszlás ábrával (12. ábra). Itt a normál eloszlást az átlós vonal szemlélteti. A vízszintes tengelyen a vizsgált érték van feltüntetve. A függőleges tengely azt mutatja meg, hogy a vízszintes tengelyen vizsgált érték a normál eloszlás szórásának hányszorosával tér el az átlagértéktől. (Normális eloszlás esetében így egy egyenest kapunk.) Minél kisebb az eltérés a körökkel jelölt adataink és az egyenes között, annál jobban megközelíti a paramétereink eloszlása a normál eloszlást. A 13. ábrán látható, hogy a különböző jellegű eltérések milyen eloszlás típust jelentenek. Az itt feltüntetett esetben (12. ábra) gyakorlatilag tökéletesen közelítjük a normál eloszlást.



12. ábra: Normál eloszlás ábra (Várkert-2013, fakószürke mészmárga)



13. ábra: A különböző eloszlás típusok (Sajtos-Mitev 2007)

3.3.2. TÖBBVÁLTOZÓS VIZSGÁLATOK

A többváltozós vizsgálatok során kettő vagy több változó összefüggését vizsgáljuk. A gyakorlatban, amennyiben ismert ez az összefüggés, becslést tudunk adni a független változó nagyságára a függő változó ismeretében. Az így kapott információ kiindulási alapot nyújthat a további vizsgálatok számára.

Az összefüggés meglétét és szorosságát, intenzitását korreláció számítással végezzük. Ekkor csupán a kapcsolat meglétét vizsgáljuk, nem tudjuk meghatározni, hogy melyik a független és melyik a függő változó, azaz nem ismert az ok-okozati viszony (Sajtos-Mitev 2007).

A korrelációs számítás során lineáris kapcsolatot feltételezünk. Amennyiben két elem közti összefüggést nézünk, lineáris korrelációról beszélünk. A lineáris korrelációs együttható – más néven a Pearson-féle együttható:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

ahol x_i és y_i a különböző változók, $\bar{x}$ és $\bar{y}$ a változók átlagértékei. A Pearson-féle együttható értéke -1 és +1 között változik. Abszolút értéke a korreláció szorosságát, előjele az irányát mutatja.

Az r jellemző értékei Sajtos-Mitev (2007) szerint:

2. táblázat: A korrelációs együttható jellemző értékei (Sajtos-Mitev 2007)

r	Kapcsolat iránya és erőssége
1	Tökéletes pozitív kapcsolat (függvényszerű lineáris kapcsolat).
0,7 - 1	Erős pozitív kapcsolat.
0,2 - 0,7	Közepes pozitív kapcsolat.
0 - 0,2	Gyenge pozitív kapcsolat.
0	Nincs lineáris kapcsolat.
(-0,2) - 0	Gyenge negatív kapcsolat.
(-0,7) - (-0,2)	Közepes negatív kapcsolat.
(-1) - (-0,7)	Erős negatív irányú kapcsolat.
-1	Tökéletes negatív kapcsolat (függvényszerű lineáris kapcsolat).

A kapcsolat szempontjából megkülönböztetjük a determinisztikus, azaz függvényszerű kapcsolatot és a sztochasztikus kapcsolatot. A determinisztikus kapcsolat esetében egy adott változóhoz (X) egy adott másik változó tartozik (Y), míg a sztochasztikus kapcsolat esetében az X -hez tartozó Y -nak több lehetséges értéke is lehet (Sajtos-Mitev 2007). Mivel a fő cél a közetfizikai paraméterek közti összefüggések kijelentése és a kapcsolatot leíró összefüggés függvényszerű leírása, ezért esetünkben a kapcsolat determinisztikus.

A korrelációt leíró, gyakran használt jellemző a korrelációs együttható négyzete (r^2), amit determinációs együtthatónak nevezünk. Ez a mennyiség megmutatja, hogy a független változó a függő változó varianciáját milyen arányban magyarázza meg.

A korreláció elemzés lépései (Sajtos-Mitev 2007):

1. A vizsgálandó paraméterek kiválasztása.
2. A kiugró adatok kiszűrése és kizárása a további lépésekből.
3. A kapcsolt ábrázolása pontfelhő diagrammal. (Ezt a lépést nem mindig az SPSS-sel végeztem el, hanem a Microsoft Excel-lel a jobb ábrázolhatóság érdekében.)
4. A korrelációs számítás elvégzése.
5. Az adatok elemzése.

A korreláció elemzés eredményeit az SPSS táblázatban foglalja össze (3. táblázat). (A program a nullánál kisebb értékek esetében a tizedesvessző előtti jegyet nem jeleníti meg.)

3. táblázat: A korreláció vizsgálat eredménye SPSS-ben (Várkert-2013 légszáraz és telített állapotban mért nyomószilárdság közti korreláció)

Correlations			
		Sűrűség - légszáraz [kg/m ³]	Sűrűség - telített [kg/m ³]
Sűrűség - légszáraz [kg/m ³]	Pearson Correlation	1	,919**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	81	20
Sűrűség - telített [kg/m ³]	Pearson Correlation	,919**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	20	20
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

A 3. táblázatot korrelációs mátrixnak is nevezik. A sorok és oszlopok fejlécében a vizsgált paraméterek találhatók. A mátrix főátlójában a korrelációs együttható értéke 1, hiszen itt egy változó önmagával számított korrelációja szerepel. A táblázat tartalmazza a Pearson-féle együtthatót (*Pearson Correlation*), a szignifikanciaszint (*Sig.*) és a vizsgált elemek számát (*N*).

Amennyiben a korreláció megléte igazolható (azaz $r > 0,7$), elkezdhető a regresszióelemzés. Ennek során egy függő és egy független metrikus változó összefüggését vizsgálhatjuk. Itt már nem csak a kapcsolat meglétét, hanem annak függőségi irányát és erősségét is kutathatjuk. A regresszióelemzés megkezdésekor definiálni kell, melyik a függő és melyik a független változó. Általában az a cél, hogy egy ismert független változó alapján megbecsüljük a hozzá tartozó ismeretlen függő változót.

Korábbi szakirodalmak alapján (Török-Vásárhelyi 2010) a közetfizikai paraméterek közti kapcsolatok az esetek többségében lineárisok, így vizsgálataim során én is elsősorban függésből indultam ki a regresszió számítás alapmodelljét, a kétváltozós lineáris-regressziót alkalmazva. A lineáris regresszió számítás nyolc lépése (Sajtos-Mitev 2007):

1. Pontdiagram vizsgálat: A függő változót a függőleges, a független változót a vízszintes tengelyen ábrázolva vizsgáljuk a pontfelhő alakját.
2. Általános modell felírása (kétváltozós lineáris modell esetében):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i,$$

ahol Y a függő, X a független változó, β_0 az egyenes és az y tengely metszéspontja, β_1 a regressziós együttható (azaz az egyenes meredeksége), e_i pedig a hibatenyező.

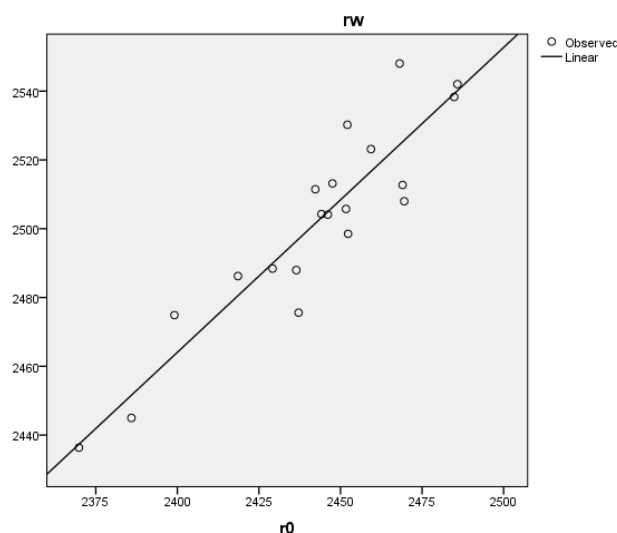
Kvadratikus modell esetében, ahol a függő változó négyzetesen függ a független változótól:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + e_i,$$

ahol Y a függő, X a független változó, β_0 az egyenes és az y tengely metszéspontja, β_1 a független változó lineáris komponensének, β_2 a független változó kvadratikus komponensének az együtthatója.

3. A paraméterbecslés a legkisebb négyzetek elve alapján történik. Eszerint az eltérések négyzetösszege minimális és a becslések standard hibái ekkor a legkisebbek.
4. A standardizált regressziós együtthatók becslése során az adatokat olyan változókká kell alakítani, melyeknek a varianciája 1, az átlaga 0.
5. A lineáris kapcsolat létének megállapítására kétoldali t -próbát alkalmazunk.
6. A kapcsolat erősségét az r^2 determinációs együtthatóval mérjük, melynek értéke 0 és 1 között változhat. Ez az együttható azt mutatja meg, hogy Y hányad része magyarázható X -szel, így a legerősebb összefüggés $r^2=1$ esetén áll fent.
7. Az előrejelzés pontosságának megállapítása a becslés standard hibájának megállapításával történik.
8. Végezetül a reziduumok, azaz a hibatagok vizsgálata során ellenőriznünk kell, hogy a függő és a független változók közt lineáris az összefüggés, a hibatenyezők eloszlása normális és a hibatenyezők egymástól függetlenek.

Az SPSS Statistics 20.0.0 program a fenti lépések többségét automatikusan elvégzi, a felhasználónak feladata csupán az eredmények ellenőrzése. A program a számítások után megadja a β változók értékét, valamint ábrázolja a keresett egyenest (14. ábra).



14. ábra: A regressziós egyenes ábrázolása (Várkert-2013, összefüggés a légszáraz és a telített állapotban mért testsűrűség között)

Fontos kiemelni, hogy a regressziós görbék által végzett becslések csupán a vizsgált tartományban adhatnak jó eredményt, azokon kívül irreális következtetésekhez vezethetnek.

4. A LABORVIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

4.1. A FÚRÁSMAGOKAT ALKOTÓ KÖZETTÍPUSOK MEGHATÁROZÁSA

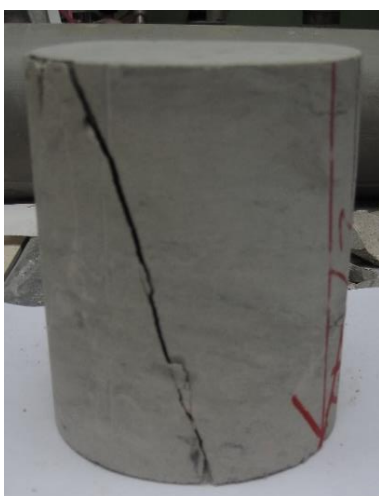
A Várbazár területén 2013-ban két fúrást végeztek. A VK-1 jelű fúrást 27,5 m mélységig, a VK-2 jelűt 30,2 m mélységig mélyítették le. Ezeket rendelkezésünkre bocsátották 3, illetve 10 m-es mélységtől. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének közetfizikai laboratóriumában a szükséges vizsgálatokat elvégezhetjük. A magok sértetlen állapotát fényképekkel dokumentáltuk.

A kőzeteket három típusra osztottuk fel, ezek: 1. sötétszürke, fekete agyagmárga; 2. fakószürke, világosszürke mészmárga; 3. középszürke, kissé rétegzett, foltos agyagmárga. A különböző típusú kőzetek határainak megállapításában Dr. Kleb Béla Tanár Úr fúrásleírását segítségül vettük.

4.2. A SZILÁRDSÁG VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok során 44 légszáraz és 10 telített próbatestet törtünk el, a törésképet lefényképezve dokumentáltuk (15. ábra). A telítés során 3 próbatest esett szét. Azt tapasztaltuk, hogy a légszáraz és telített állapotban mért rugalmassági modulus és egyirányú nyomószilárdság nem tér el jelentős mértékben, viszont a Poisson-tényező telített állapotban nagyobb.

A közvetett húzóvizsgálatok során 16 légszáraz és 9 telített próbatestet törtünk el, a törésképet fényképekkel dokumentáltuk (16. ábra). A telítés során 7 minta esett szét. A mállott, sárgásbarna meszes agyag, agyagmárga típusú kőzetből nem tudtunk próbatestet kialakítani, mivel ez a típus a vizsgálatok idejére a száradás miatt tönkrement.



15. ábra: Jellegzetes töréskép (VK-2/12-2 jelű próbatest)



16. ábra: Jellegzetes töréskép (BSz-2/7 jelű próbatest)

4.3. A LABORVIZSGÁLATOK ÖSSZEGZÉSE

A laborvizsgálatok során végeztünk egyirányú nyomószilárdság vizsgálatokat és meghatároztuk a próbatestek húzószilárdságát. A 4. táblázat tartalmazza a laborvizsgálatok számára kialakított és eltört próbatestek számát.

4. táblázat: A vizsgált próbatestek száma

	Egyirányú nyomószilárdság vizsgálat	Közvetett húzószilárdság vizsgálat
Légszáraz	44	16
Telített	10	9
Telítés során szétesett	3	7

A kőzeteket nyomószilárdságuk alapján is osztályokba sorolhatjuk. A Nemzetközi Mérnökgeológiai Egyesület (IAEG) és a Nemzetközi Kőzetmechanikai Társaság (ISRM) által készített besorolások szerint a VK-1 és VK-2 fúrások kőzeteinek osztályba sorolását az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Szilárdság alapján az osztályba sorolás

	IAEG, 1979	ISRM, 1981
Sötétszürke, fekete agyagmárga: 10,1 MPa	Gyenge	Gyenge
Fakószürke, világosszürke agyagmárga: 21,4 MPa	Alacsony szilárdságú	Gyenge
Középszürke, kissé rétegzett, foltos márga: 17,7 MPa	Alacsony szilárdságú	Gyenge

5. STATISZTIKAI VIZSGÁLATOK – EGYVÁLTOZÓS ANALÍZIS

5.1. A KÜLÖNBÖZŐ HELYSZÍNEKRŐL SZÁRMAZÓ MINTÁK ÖSSZEHAONLÍTÁSA

5.1.1. A PARAMÉTEREK ÁTLAGOS ÉRTÉKEINEK ÖSSZEHAONLÍTÁSA

A különböző helyszínekről származó minták összehasonlítására azért volt szükség, hogy a további vizsgálatok menetét meghatározhassuk. Abban az esetben, ha bizonyos közetfizikai paraméterek tulajdonságai a mérés helyétől függően nagy eltérést mutatnak, a vizsgálatokat nem a teljes adatbázisban célszerű elvégezni, hanem azokat egy adott mintaforrásra kell korlátozni.

Céлом a sűrűség, az egyirányú nyomószilárdság, a rugalmassági modulus, a Poisson-tényező, az ultrahang terjedési sebesség és a közvetett húzószilárdság közti összefüggések vizsgálata volt, így ezek jellemző mennyiségeit vetettem össze elsőként. A különböző helyekről származó minták tulajdonságainak átlagértékét oszlopdiagramokkal szemléltettem. Külön oszlopban történt a Várkert területén fúrt 2003-as és 2013-as fúrások bemutatása. Az utolsó mennyiség a teljes adatbázisunkra vonatkoztatott átlagértéket mutatja.

A 17. és a 18. ábrák a légszáraz és a telített állapotban mért testsűrűségek átlagértékeit mutatják. (Az 17-26. sorszámú ábrák az 5.1.1. fejezet végén találhatóak.) Szembetűnő hibája az adatbázisunknak, hogy egyes helyszínekről hiányoznak adatok. Ez légszáraz állapotban csupán egy, telített állapotban azonban négy helyszínt is érint. Ez gondot okoz, mivel a megállapítások általánosíthatóságát megkérdőjelezi.

Légszáraz állapotban mért testsűrűség esetében (17. ábra) a Gellért-hegyről származó minták átlagértéke mutat kiugró eredményt. A többi helyszínen megállapított paraméterek nagyságrendileg azonosak. Ez a tendencia telített állapotban is megfigyelhető (18. ábra).

A légszáraz állapotban mért egyirányú nyomószilárdságok összehasonlítása során látszik (19. ábra), hogy a kapott átlagos értékek közt jelentős eltérések jelentkeznek. A Gellért-hegy lábánál és Várkert területén 2013-ban mért értékek közt 3,5-szörös különbség van. Érdekes megfigyelés, hogy egyazon helyen, a Várkert területén 2003-ban és 2013-ban mért nyomószilárdságok közt is nagy az eltérés. Ennek oka valószínűleg az, hogy míg 2003-ban duplafalú magfúrásos technológiával dolgoztak, addig 2013-ban triplafalúval. A triplafalú magfúrás a furatmag szempontjából sokkal kíméletesebb eljárás, így olyan zónákból is lehetőségünk volt próbatestek készítésére, melyek gyengébb szilárdsági értékeket mutattak.

A vízzel telített állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek (20. ábra) jóval kisebbek a légszáraz állapotban mért értékeknél. Ez alól csupán a 2013-as várkerti fúrások

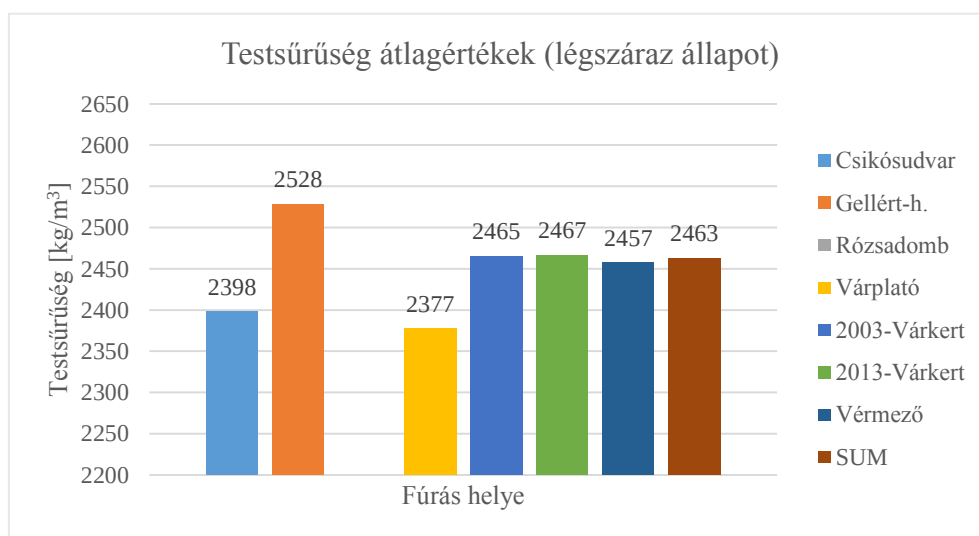
eredményei jelentenek kivételt. Ennek oka az, hogy a telítés során számos próbatest tönkrement, így azt csak a legerősebb minták „élték túl”, a gyengébbeket nem tudtuk ilyen körülmények közt vizsgálni. A Csikósudvar és a Várkert területén 2003-ban nem készültek telített állapotban mérések.

A rugalmassági modulus értékei közt is a korábbiakhoz hasonlóan nagy eltéréseket tapasztalhatunk mind légszáraz (21. ábra), mind telített állapotban (22. ábra). Kiugróan magas értéket mutat a Rózsadomb területén mért rugalmassági modulus (légszáraz és telített állapotban is), a Várplató területére ezeknek az értékeknek töredéke (tizede-harmada) jellemző. A teljes adatbázist tekintve nincs nagy eltérés az átlagértékek közt a két vizsgált állapotban.

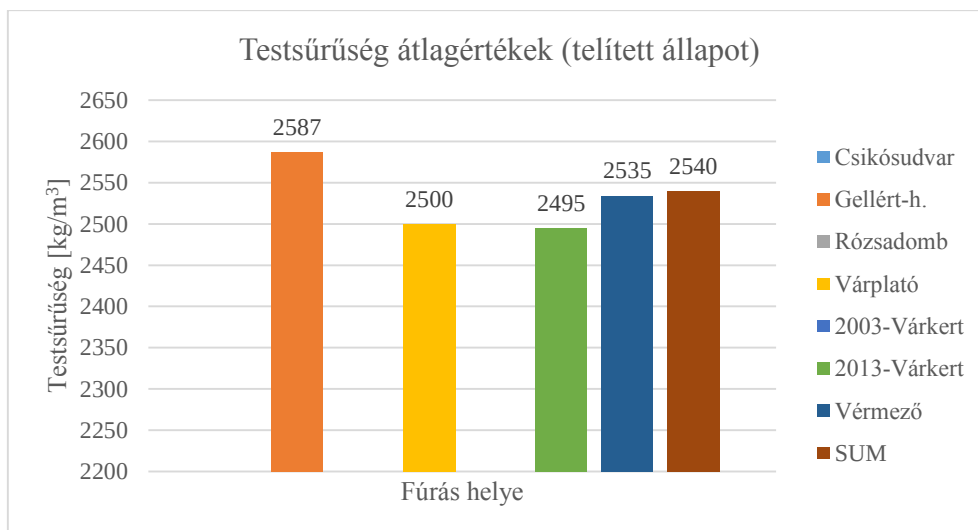
A Poisson-tényező légszáraz állapotban meghatározott átlagértékeit mutatja a 23. ábra. Az átlagos értéktől a Csikósudvarnál és a Várplatónál meghatározott értékek magasabbak, a Várkert területét jellemző értékek kisebbek. A telített állapotban meghatározott értékek kapcsán (24. ábra) nem jelenthető ki, hogy azok kisebbek vagy nagyobbak a légszáraz állapotra jellemző tényezőknél: a Gellért-hegyre és a Várkertre jellemző értékek telítés során nőnek, a Rózsadombra és a Várplatóra jellemző értékek csökkennek.

Végezetül a húzószilárdság átlagos nagyságát hasonlítottam össze (légszáraz állapotban: 25. ábra, telített állapotban: 26. ábra). Az átlagértékek itt is nagy szórást mutatnak, a különböző helyszíneken mért értékek közt szignifikáns eltérések jelentkeznek mind légszáraz, mind telített állapotban.

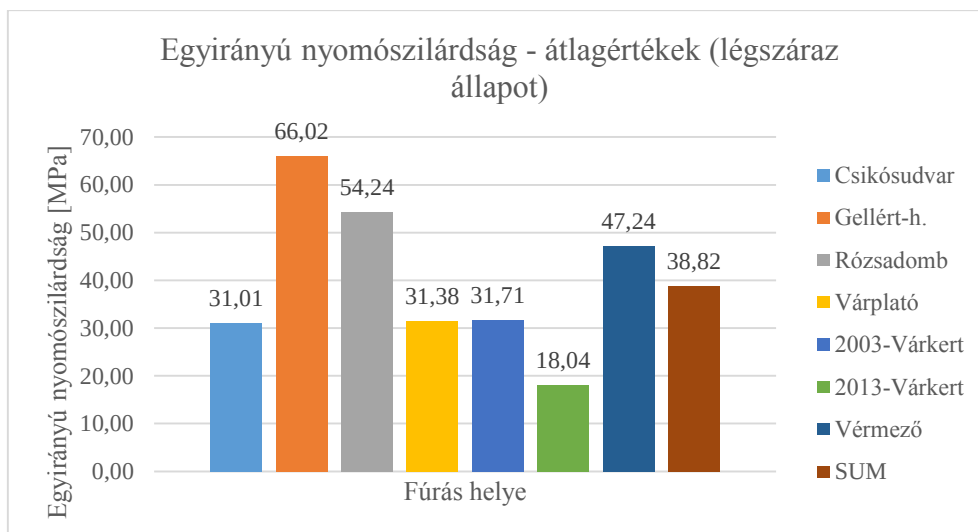
Az ultrahang terjedési tulajdonságaira vonatkozóan nincsenek adataink a 2013-as várkerti fúrások vizsgálati eredményein kívül.



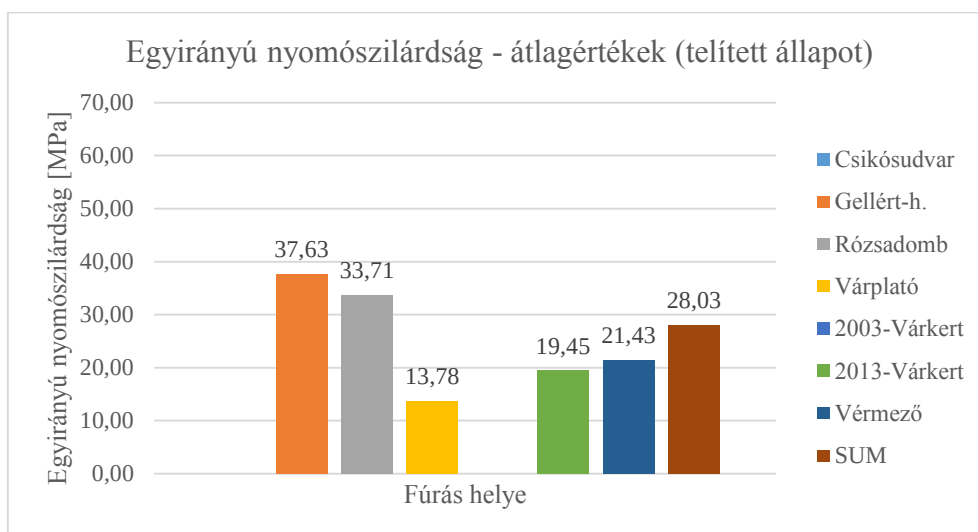
17. ábra: A testsűrűségek átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



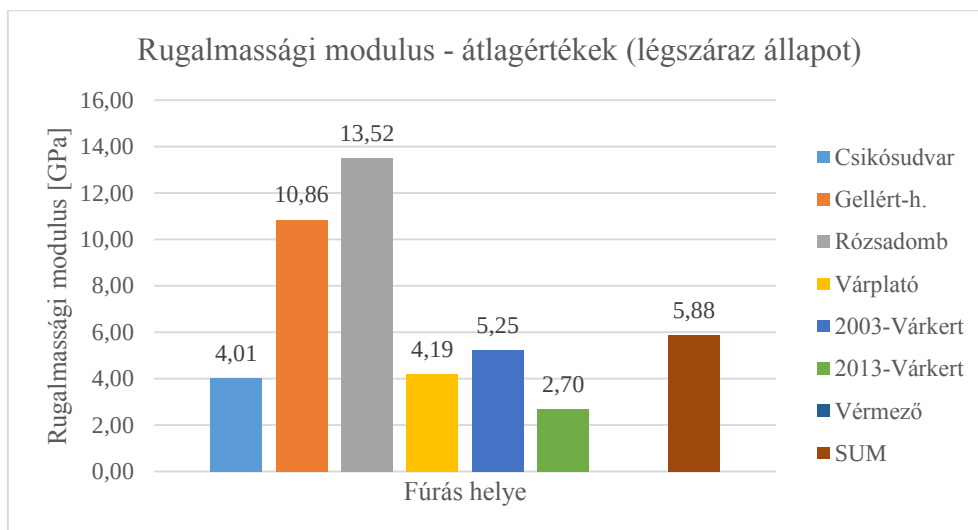
18. ábra: A testsűrűségek átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



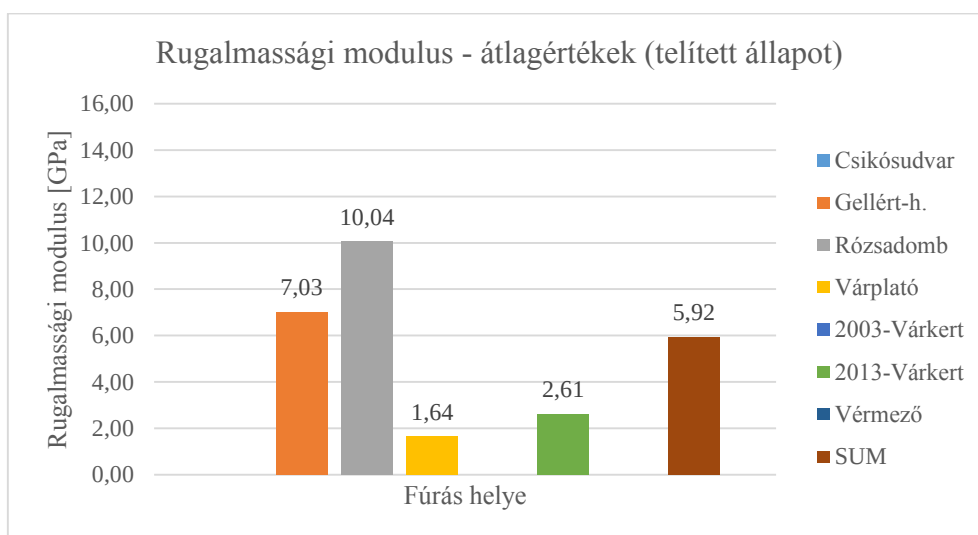
19. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



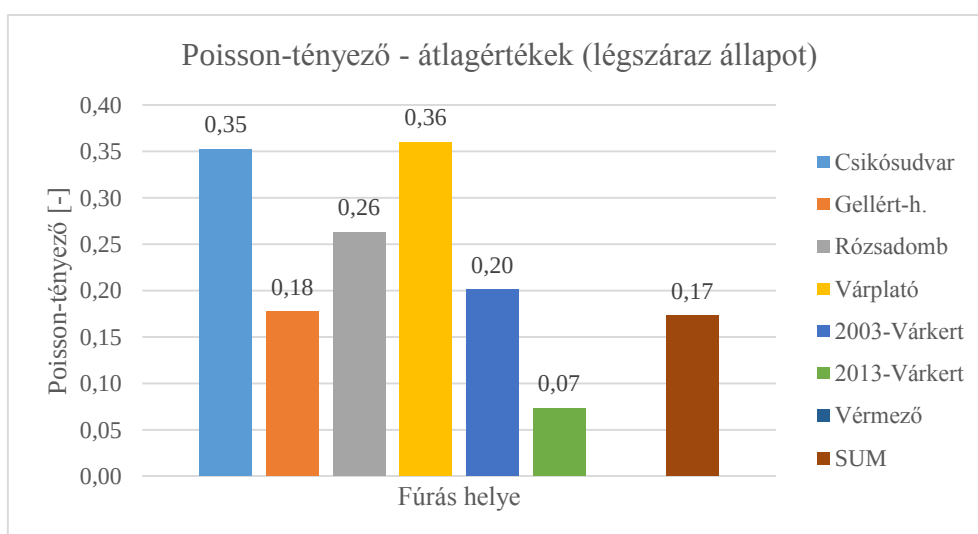
20. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban



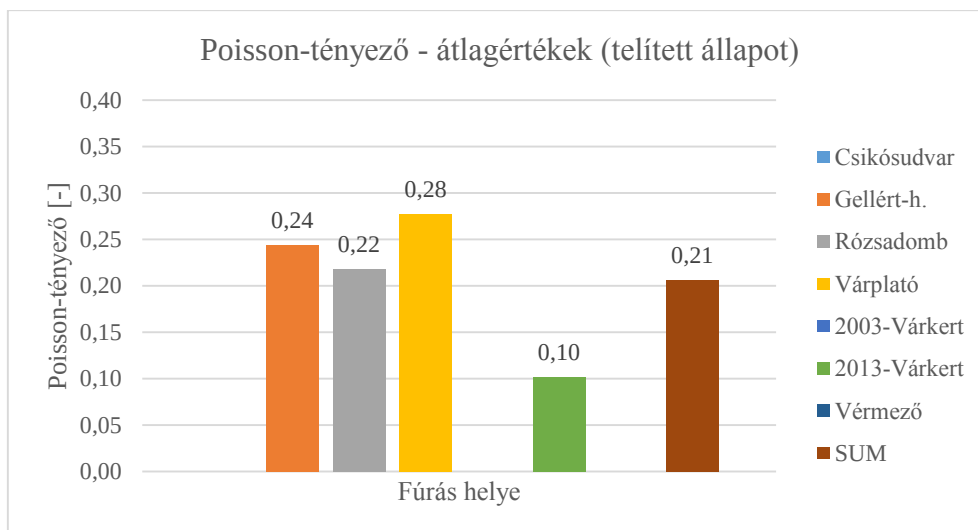
21. ábra: A rugalmassági modulus átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



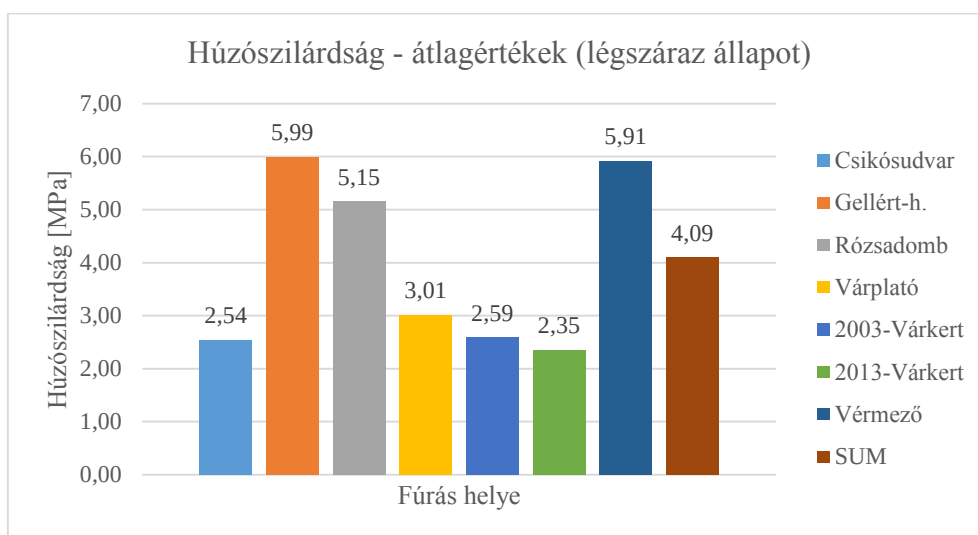
22. ábra: A rugalmassági modulus átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban



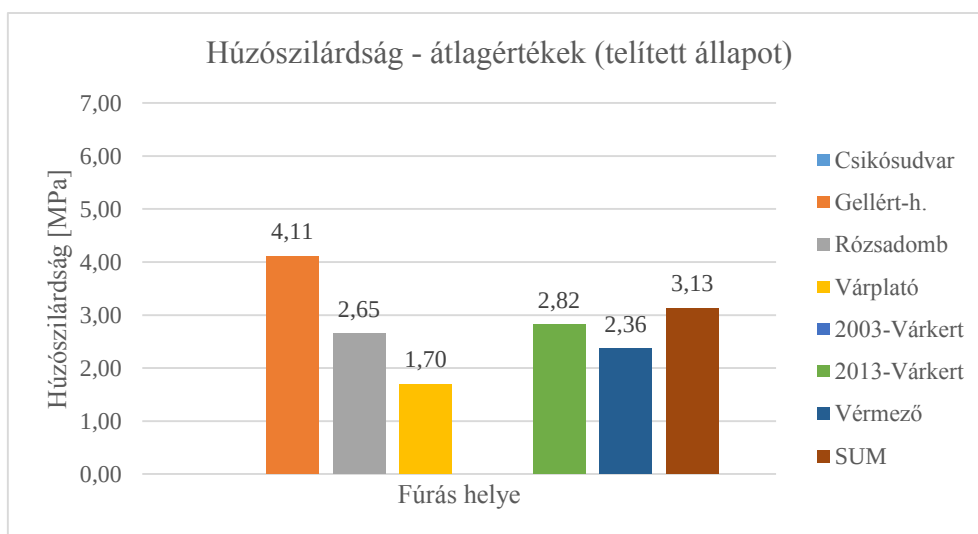
23. ábra: A Poisson-tényező átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



24. ábra: A Poisson-tényező átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban



25. ábra: A húzószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban



26. ábra: A húzószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban

Az átlagértékek összefoglalását a 6. táblázat tartalmazza. Az l és t jelölések a légszáraz és a telített állapotban meghatározott értékeket jelölik.

6. táblázat: Az átlagértékek összefoglalása

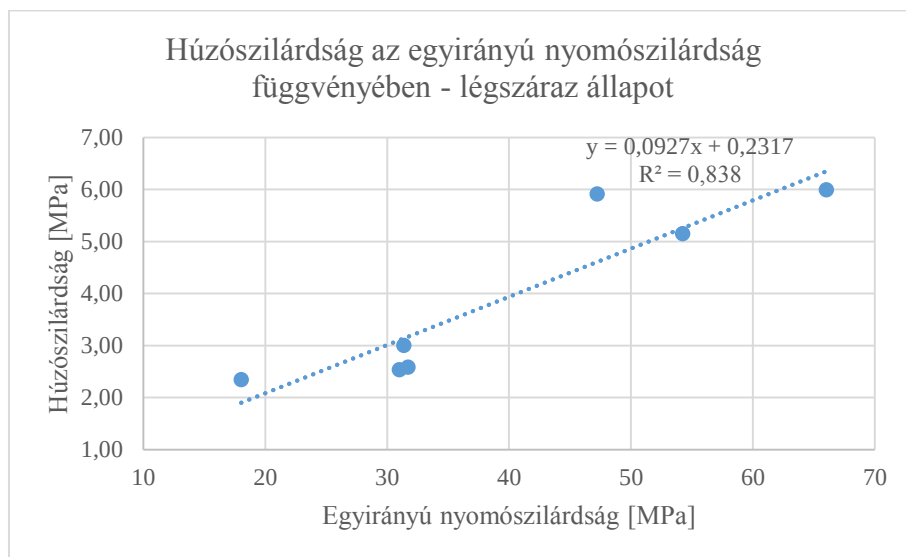
Átl./ Db	Fúrások helyszíne	Sűrűség		UH terj. seb.		Egyir. nyomószil.		Rug. mod.		Poisson- tény.		Húzószil.	
		l	t	l	t	l	t	l	t	l	t	l	t
		[kg/m ³]		[km/s]		[MPa]		[GPa]		[-]		[MPa]	
Átlag	Csikósudvar	2398	-	-	-	31,01	-	4,01	-	0,35	-	2,54	-
Darab		22	-	-	-	19	-	12	-	9	-	25	-
Átlag	Gellért-h.	2528	2587	-	-	66,02	37,63	10,86	7,03	0,18	0,24	5,99	4,11
Darab		37	37	-	-	38	34	28	27	12	11	37	37
Átlag	Rózsadomb	-	-	-	-	54,24	33,71	13,52	10,04	0,26	0,22	5,15	2,65
Darab		-	-	-	-	9	9	9	9	7	6	9	9
Átlag	Várplató	2377	2500	-	-	31,38	13,78	4,19	1,64	0,36	0,28	3,01	1,70
Darab		15	13	-	-	10	8	10	8	7	8	12	11
Átlag	2003-Várkert	2465	-	-	-	31,71	-	5,25	-	0,20	-	2,59	-
Darab		44	-	-	-	44	-	35	-	35	-	41	-
Átlag	2013-Várkert	2467	2495	2,62	2,43	18,04	19,45	2,70	2,61	0,07	0,10	2,35	2,82
Darab		94	23	94	19	46	10	46	10	46	10	16	10
Átlag	Vérmező	2457	2535	-	-	47,24	21,43	-	-	-	-	5,91	2,36
Darab		44	32	-	-	38	27	-	-	-	-	34	17
Átlag	SUM	2463	2540	2,62	2,43	38,82	28,03	5,88	5,92	0,17	0,21	4,09	3,13
Darab		256	105	94	19	204	88	140	54	116	35	174	84

5.1.2. AZ ÁTLAGÉRTÉKEK ÖSSZEHASZNÁLÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE A TOVÁBBI VIZSGÁLATOK SZEMPONTJÁBÓL

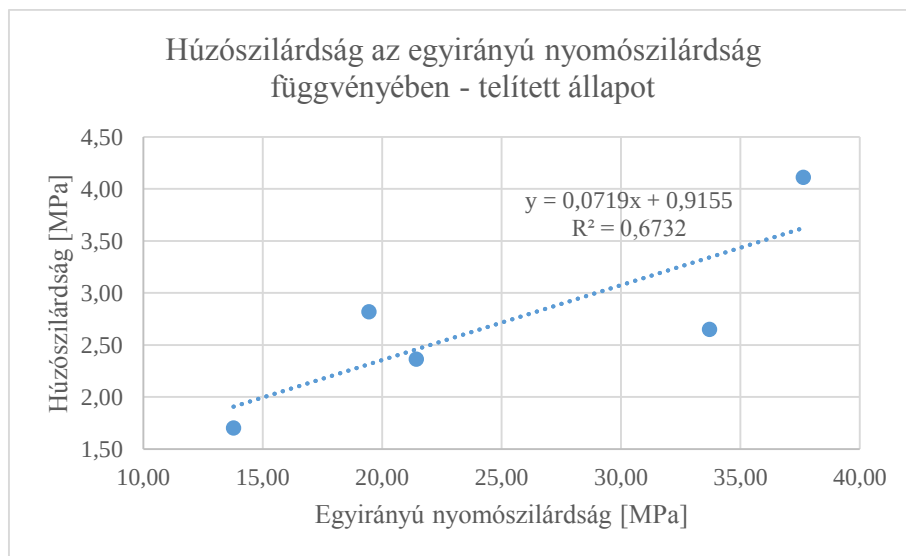
Az előző táblázatot (6. táblázat) és a 17-26. ábrákat tekintve látható, hogy az adatbázisunk hiányos, számos fúráshelyszínen esetében hiányoznak egyes közetfizikai paraméterek. Ha az összes fúráshelyszínen értelmezett összefüggéseket keresnénk, ez a hiányosság erősen torzítaná a kapott eredményt. Ezt a hatást erősíti, hogy az egyes jellemzők esetében jelentős eltérés van a különböző helyszínekről származó eredmények között.

Ezeknek az eredményt torzító hatásoknak a kiküszöbölése végett csak a saját laborvizsgálati eredményeinkre támaszkodva, azaz a Várkert területére jellemző, 2013-ban meghatározott közetfizikai paraméterek elemzésével folytattam a vizsgálatokat. A telítés során jellemző tönkremenetel miatt és a próbatestek csekély száma miatt kénytelen voltam a kutatásaimat a légszáraz állapotban meghatározott közetfizikai paraméterekre korlátozni. Ez alól csupán a testsűrűség képez kivételt, a telített állapotra vonatkozó paraméterek száma lehetővé teszi a vizsgálatokat.

A saját méréseink esetében a húzószilárdság és az egyirányú nyomószilárdságok összehasonlítása nem volt lehetséges, mivel nem minden mélységtartományhoz lett meghatározva mind a két közetfizikai paraméter, jellemzően csupán az egyik mennyiség ismert. Azonban nem kerülheti el a figyelmünket a különböző helyszínekre vonatkozó egyirányú nyomószilárdságok és húzószilárdságok átlagértékeit ábrázoló oszlopdiagramok futásának hasonlósága (légszáraz és telített állapotban egyaránt). A 27. és a 28. ábrákon a különböző helyszíneken meghatározott húzószilárdságok átlagértékeit ábrázoltam az egyirányú nyomószilárdság átlagértékeinek a függvényében. Látható, hogy a kapott pontok jól illeszthetők egy egyenesre (a determinisztikus együtthatók 0,8 és 0,7), így a továbbiakban ezt az összefüggést is vizsgálom a teljes adatbázisra vonatkoztatva (a 2013-as várkerti fúrások eredményeinek kivételével).

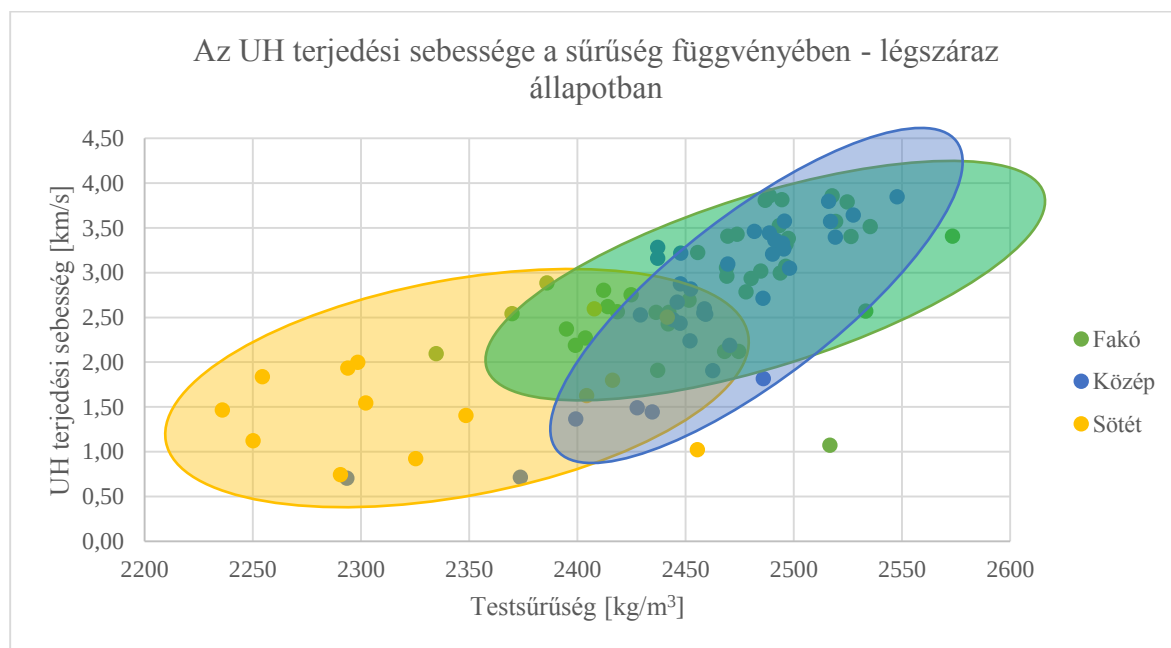


27. ábra: A szilárdsági jellemzők átlagértékeinek az összefüggése légszáraz állapotban

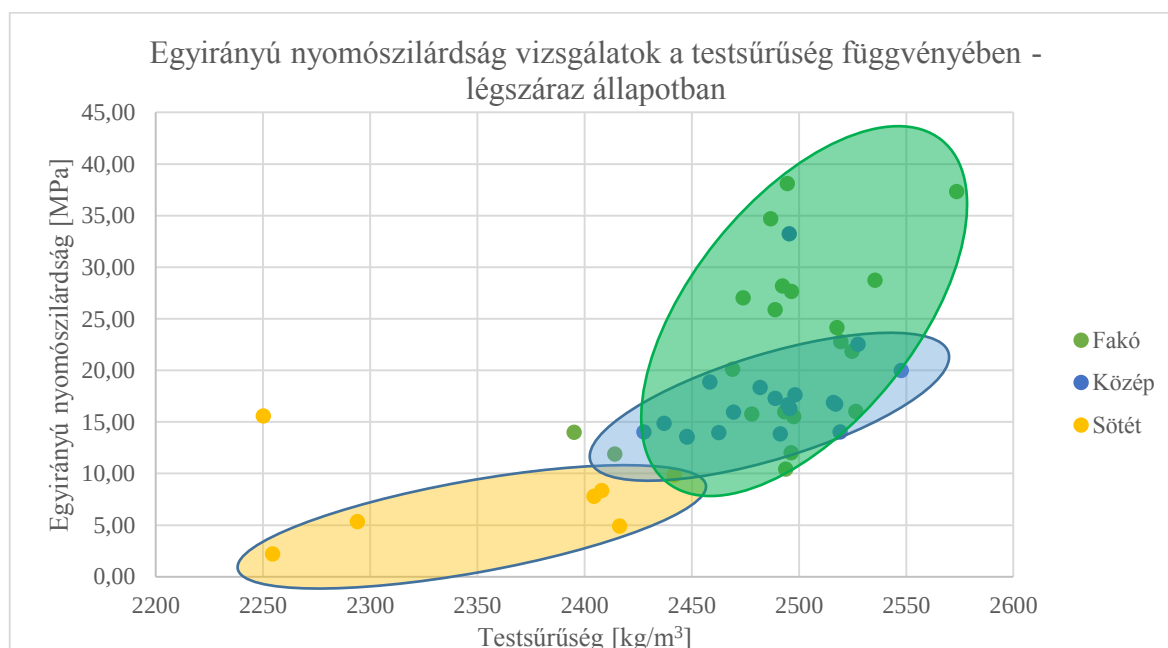


28. ábra: A szilárdsági jellemzők átlagértékeinek az összefüggése telített állapotban

A 29. ábra a 2013-as Várkert területére jellemző ultrahang terjedési sebességét, a 30. ábra az egyirányú nyomószilárdságot mutatja a testűrűség függvényében. A pontok a különböző mérési eredményeket szemléltetik légszáraz állapotban. Az ábrákon elkülönítettem a különböző kőzettípusokhoz tartozó értékeket. Látható, hogy a pontthalmazok nem jelölnek ki jól elkülöníthető tartományokat, ezért a különböző összefüggések vizsgálata nem kőzettípusonként, hanem a teljes adatbázist figyelembe véve indokolt.



29. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében a 2013-as várkert fűrésok esetében (légszáraz állapotban vizsgálva)



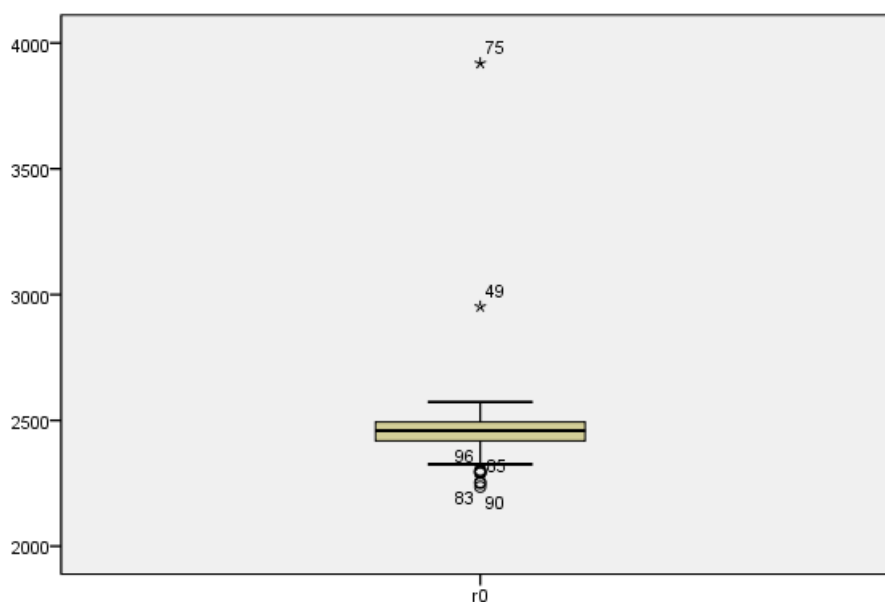
30. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság a testsűrűség függvényében a 2013-as várkert fűrésok esetében (légszáraz állapotban vizsgálva)

5.2. A 2013-AS VÁRKERTI ADATOK EGYVÁLTOZÓS ANALÍZISE

Az egyváltozós vizsgálatokat a 2013-as várkerti fúrásokon végzem el. Ezek a többváltozós vizsgálatok, azaz a korreláció és regresszió elemzések előkészítő vizsgálatai.

5.2.1. KIUGRÓ ADATOK VIZSGÁLATA

A 2013-as várkerti fúrások furatmagjaiból 94 próbatest testsűrűségét határoztuk meg légszáraz állapotban. A 31. ábra a kiugró értékek vizsgálatát mutatja be. Két esetben tapasztalhatunk extrém testsűrűség értéket (75. és 49. rekord). Itt egyértelműen mérési vagy gépelési hibáról beszélhetünk. (Jelölés: $r0$ – légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség.) A függőleges tengelyen a testűrűség értékek szerepelnek kg/m^3 mértékegységben.



31. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott testűrűség kiugró adatai

A légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság és rugalmassági modulus esetében extrém adat nem, csak kiugró adatok szerepeltek az adatsorokban. Ezzel szemben a Poisson-tényezők és a telített állapotban meghatározott testsűrűségek egy extrém adatot is tartalmaztak. A légszáraz állapotban meghatározott ultrahang terjedési sebesség és a húzószilárdság esetében nincsenek sem kiugró, sem extrém adatok.

A további vizsgálatokból az extrém adatokat kizártam. A kiugró adatokat nem torzítják számottevően az adathalmazt, így azokat figyelembe kellett vennem a későbbiekben is.

5.2.2. STATISZTIKAI MUTATÓSZÁMOK

A 7. táblázat tartalmazza a 2013-as várkerti fúrások fúrásmagjából készített próbatesteket jellemző paraméterek statisztikai mutatószámait. A táblázatban l -lel a légszáraz, t -vel a telített állapotban meghatározott mennyiségek oszlopát jelöltem. A feltüntetett 95 %-hoz tartozó alsó

határ megmutatja, hogy mi az a mennyiség, mely alatt már csak az elemek 5 %-a található meg. A felső 95 %-hoz tartozó határ ezzel analóg módon azt a mennyiséget mutatja meg, mely felett az adatoknak csupán az 5 %-a található meg. A kiterjedés a maximum és a minimum különbsége.

7. táblázat: Statisztikai mutatószámok – Várkert-2013

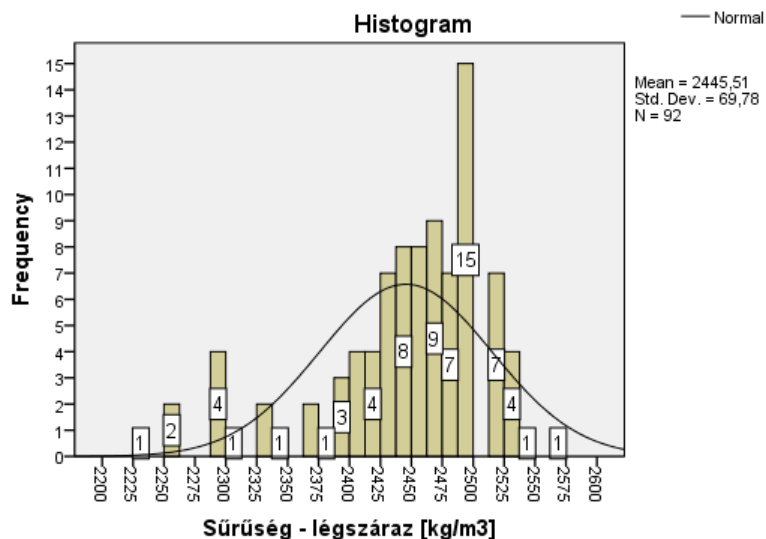
	Testsűr.	Testsűr.	UH terj. seb.	Egyir. nyomószil.	Rug. mod.	Poisson-tény.	Húzószil.
	l [kg/m ³]	t [kg/m ³]	l [km/s]	l [MPa]	l [GPa]	l [-]	l [MPa]
Minták száma	92	22	92	46	46	46	14
Átlag	2445,51	2501,30	2,640	18,036	2,7009	,0733	2,1071
Alsó határ - 95 %	2431,06	2488,07	2,469	15,615	2,1473	,0583	1,6984
Felső határ - 95 %	2459,96	2514,52	2,811	20,457	3,2545	,0882	2,5157
Medián	2458,56	2505,00	2,703	16,140	2,1509	,0629	2,0629
Szórás	69,780	29,832	,8256	8,1540	1,86427	,05034	,70774
Minimum	2236	2436	,7	2,2	,09	,00	,98
Maximum	2573	2548	3,9	38,1	8,62	,25	3,32
Kiterjedés	337	112	3,2	35,9	8,53	,25	2,34

5.2.3. A KÜLÖNBÖZŐ PARAMÉTEREK ELOSZLÁSA

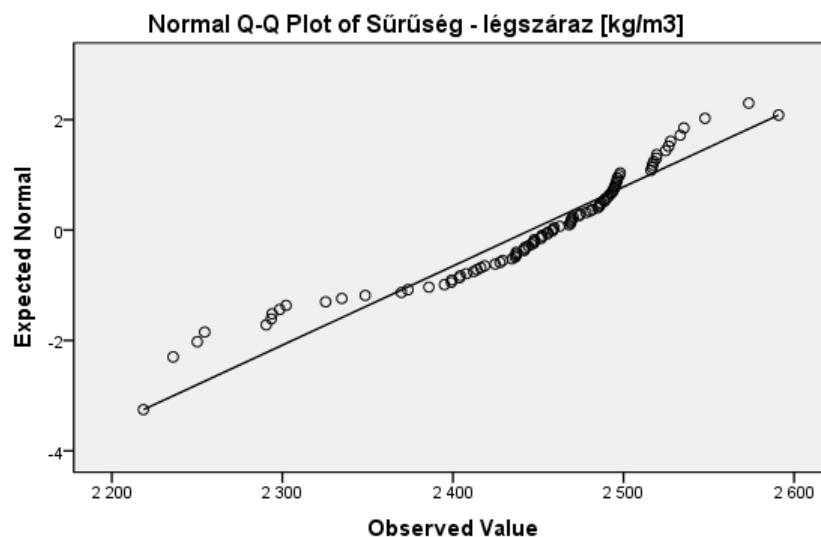
A 32-43. sorszámú ábrák a különböző paraméterek eloszlásának hisztogramjait és normál eloszlás ábráit mutatják. A 8. táblázatban ezeknek az ábráknak a sorszámát foglaltam össze, valamint azt, hogy az ábrák alapján a jellemzők mennyire követi a normális eloszlást.

8. táblázat: A paraméterek eloszlása, az eloszlást jellemző ábrák sorszáma

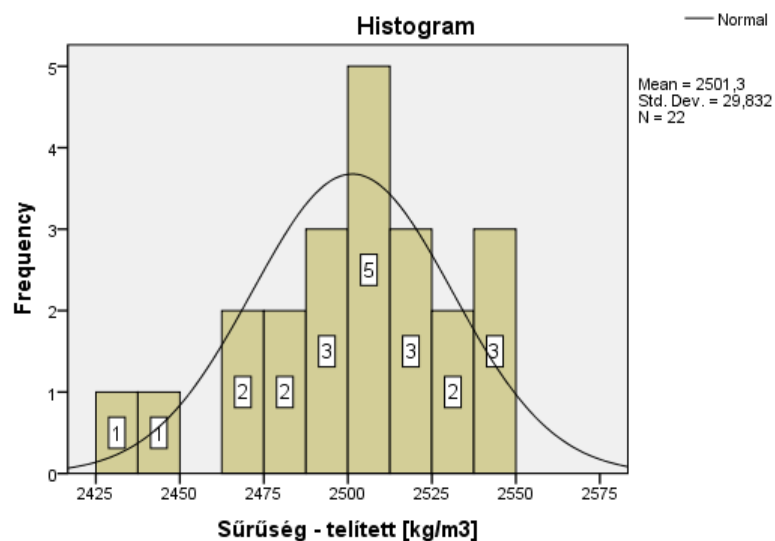
Vizsgált paraméter	Ábra sorszáma		A normál eloszlás követése
	Hisztogram	Normál eloszlás ábra	
Testsűrűség (légszáraz állapotban)	32.	33.	Követi, de nem pontosan.
Testsűrűség (telített állapotban)	34.	35.	Jól követi.
UH terjedési sebesség (légszáraz állapotban)	36.	37.	Követi.
Egyirányú nyomószilárdság (légszáraz állapotban)	38.	39.	Követi, de nem pontosan.
Rugalmassági modulus (légszáraz állapotban)	40.	41.	Követi, kissé ferde, negatív eloszlást mutat.
Poisson tényező (légszáraz állapotban)	42.	43.	Jól követi.



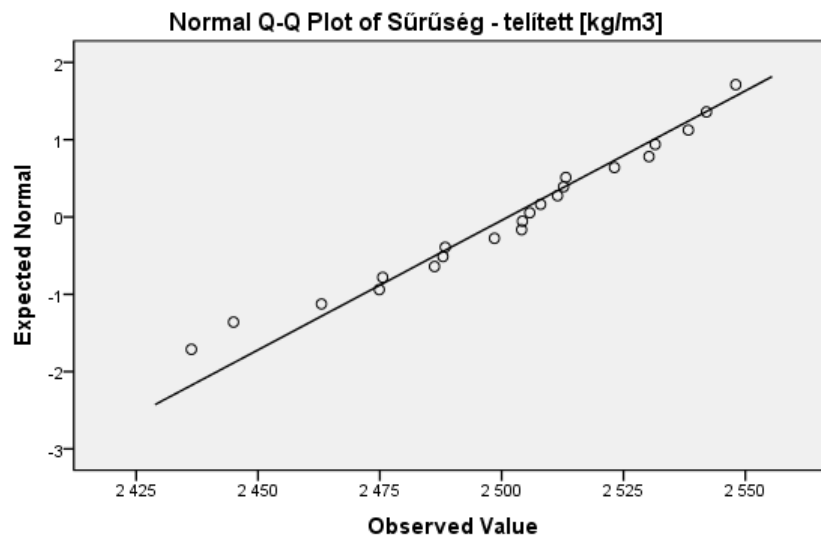
32. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség eloszlása



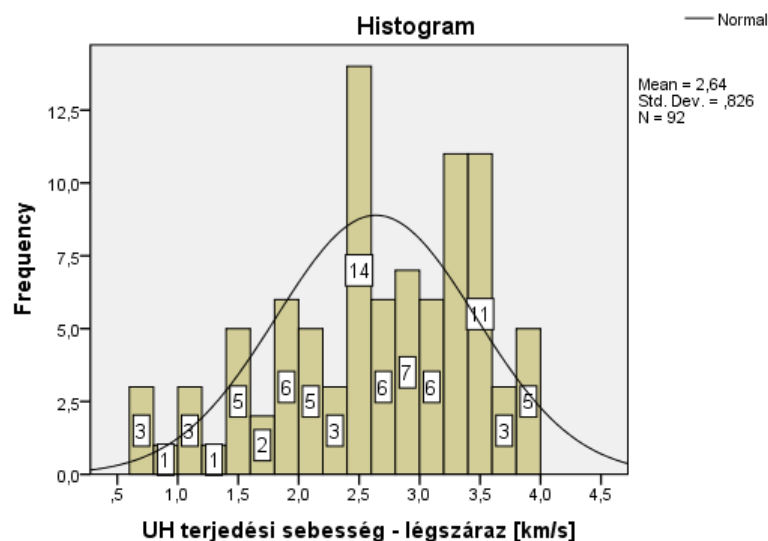
33. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség értékek normál eloszlás ábrája



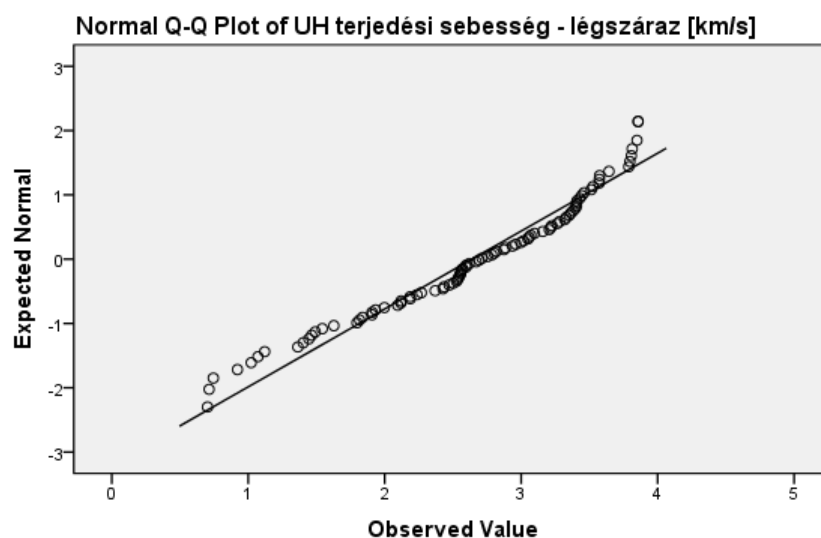
34. ábra: A vízzel telített állapotban meghatározott testsűrűség eloszlása



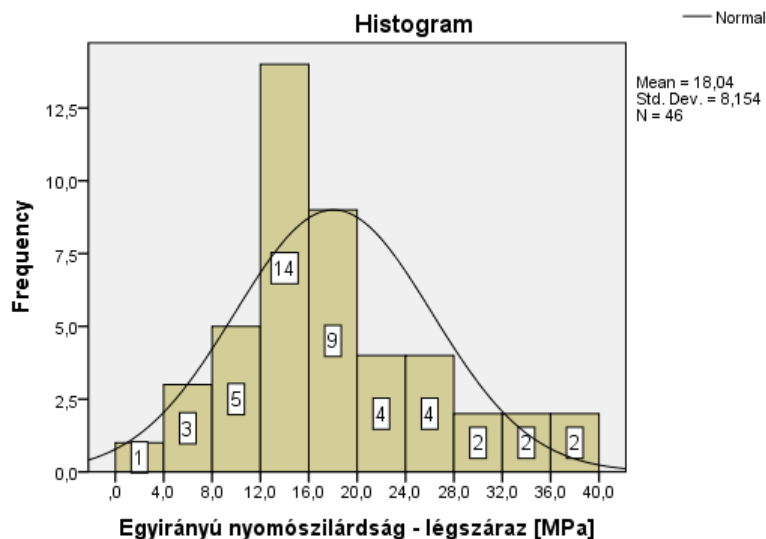
35. ábra: Vízzel telített állapotban meghatározott testsűrűség értékek normál eloszlás ábrája



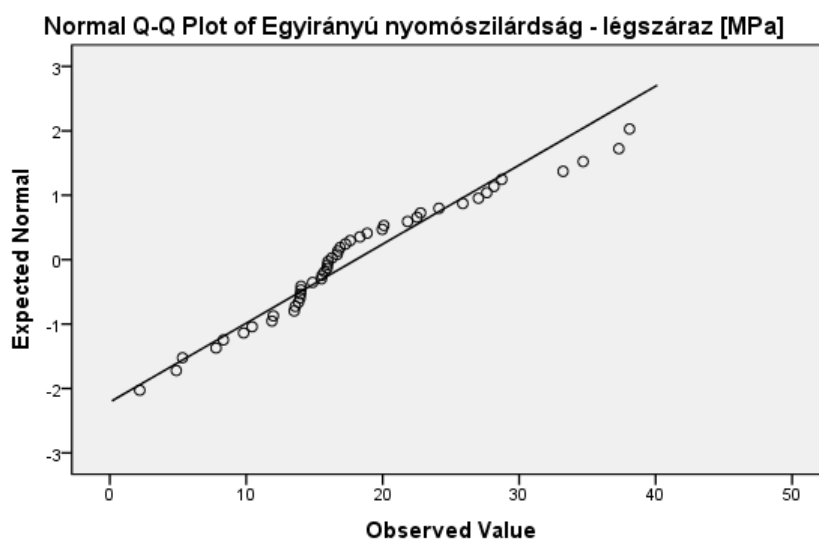
36. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott UH terjedési sebesség értékek eloszlása



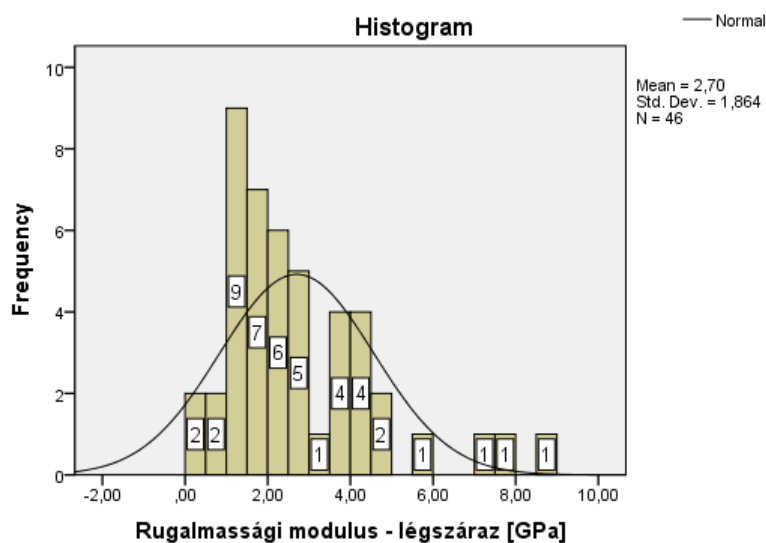
37. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott UH terjedési sebesség értékek normál eloszlás ábrája



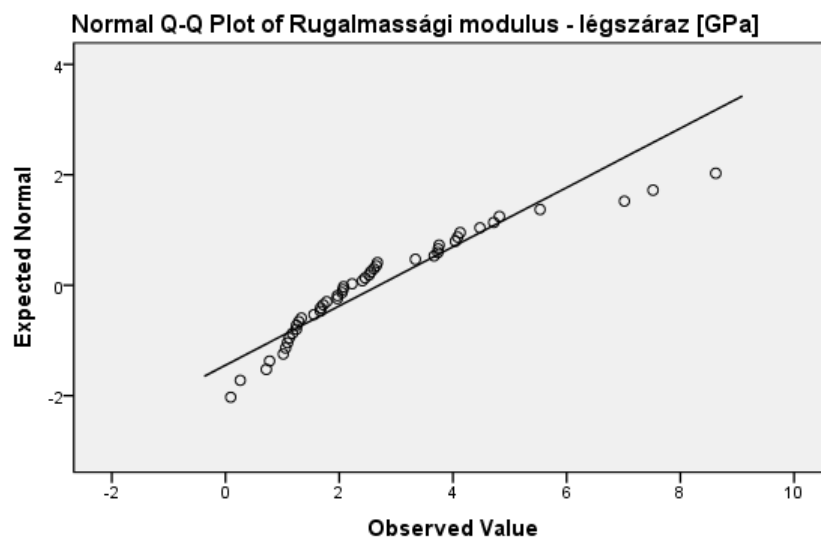
38. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek eloszlása



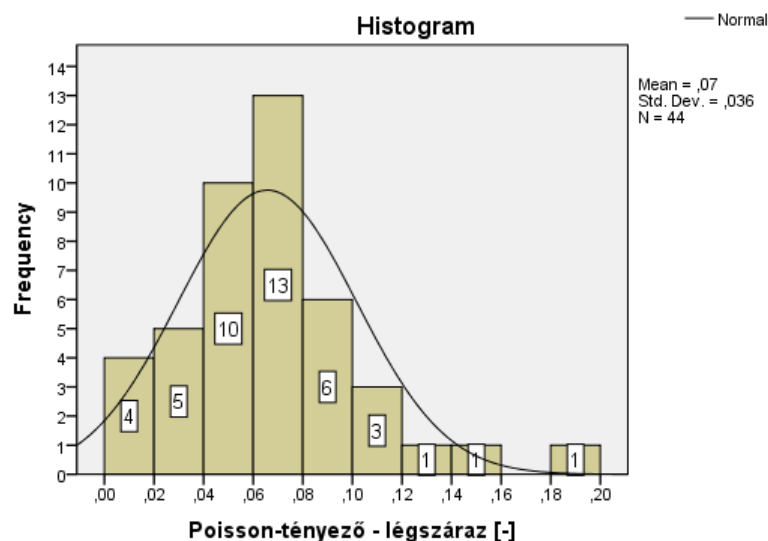
39. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek normál eloszlás ábrája



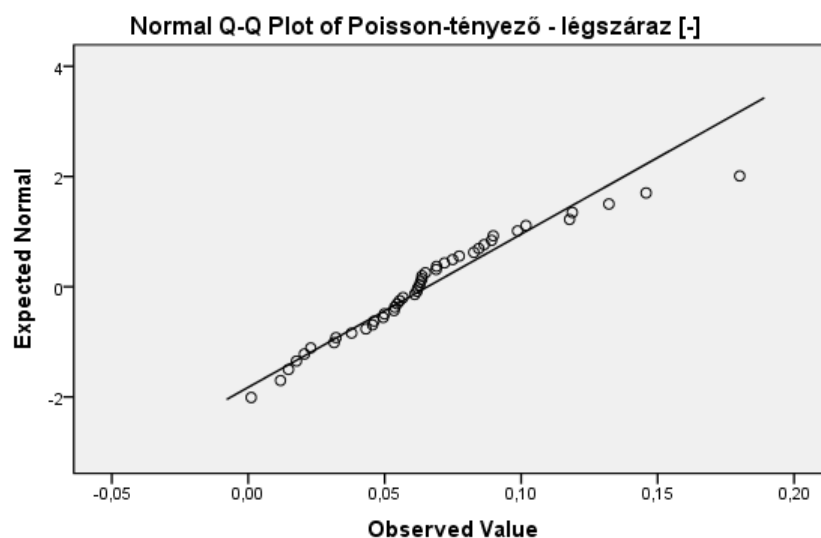
40. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus értékek eloszlása



41. ábra: Légszárak állapotban meghatározott rugalmassági modulus értékek normál eloszlás ábrája



42. ábra: Légszárak állapotban meghatározott Poisson-tényező értékek eloszlása



43. ábra: Légszárak állapotban meghatározott Poisson-tényező értékek normál eloszlás ábrája

5.3. A TELJES ADATBÁZIS VIZSGÁLATA EGYVÁLTOZÓS ANALÍZISSEL (EGYIRÁNYÚ NYOMÓSZILÁRDSÁG, HÚZÓSZILÁRDSÁG)

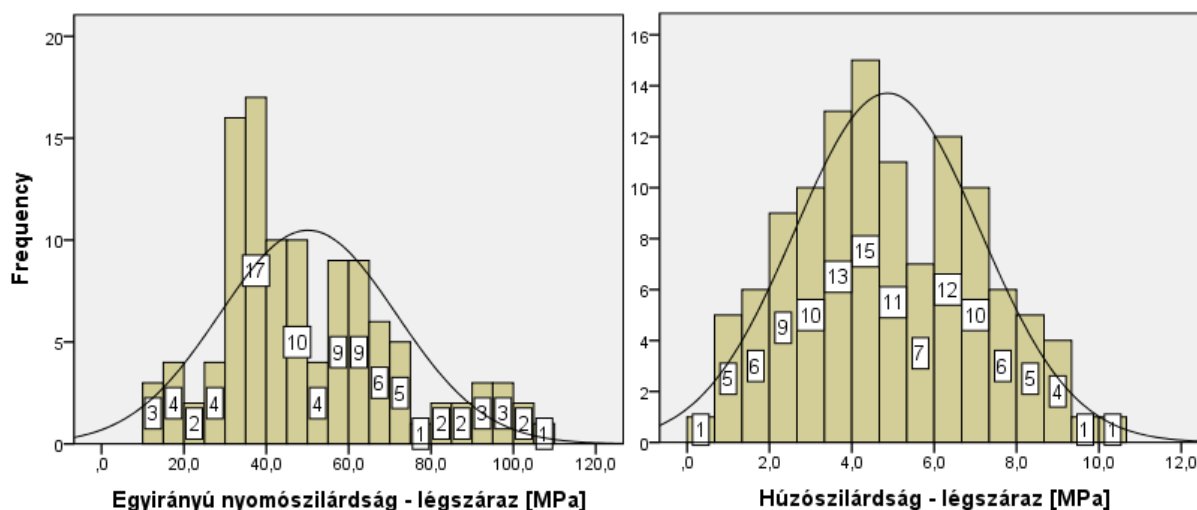
A teljes adatbázist tekintve (kivéve a 2013-as várkerti fúrásokat) a légszáraz állapotban mért egyirányú nyomószilárdságok és húzószilárdságok között nem szerepel sem kiugró, sem extrém érték, így a vizsgálatokból egy értéket sem kellett kizárni.

A 9. táblázat a két paraméter statisztikai mutatószámait tartalmazza.

9. táblázat: Statisztikai mutatószámok – teljes adatbázis

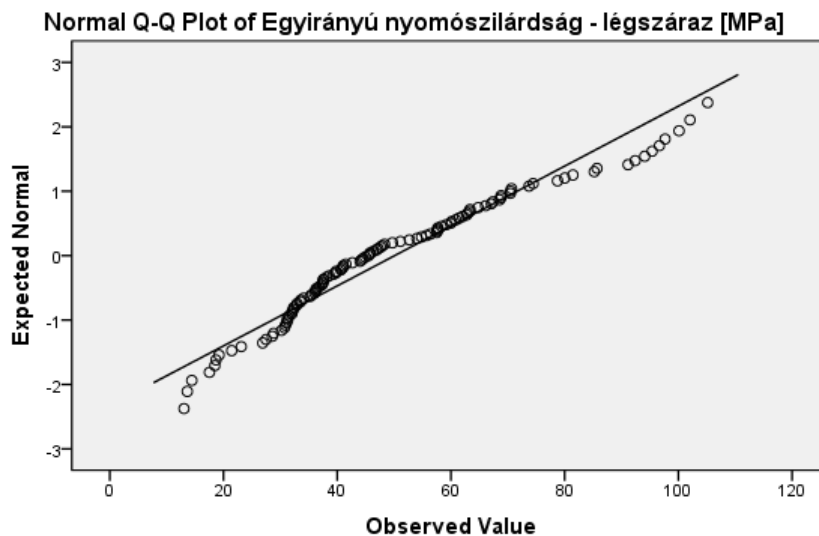
	Egyirányú nyomószilárdság [MPa]	Húzószilárdság [MPa]
Minták száma	113	116
Átlag	50,112	4,866
Alsó határ - 95 %	46,105	4,452
Felső határ - 95 %	54,120	5,280
Medián	45,486	4,570
Szórás	21,5024	2,2505
Minimum	13,1	0,6
Maximum	105,2	10,1
Kiterjedés	92,1	9,5

A 44. ábra a nyomószilárdság és a húzószilárdság értékekhez tartozó eloszlások hisztogramjait mutatja.

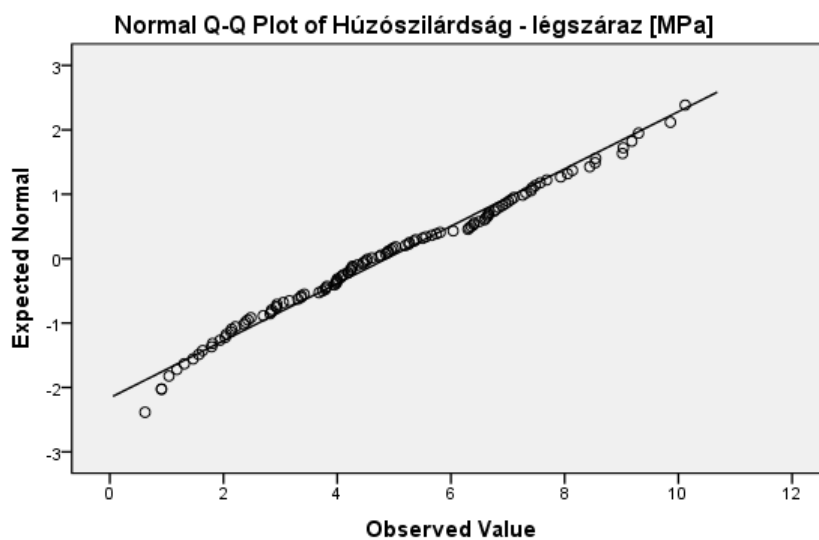


44. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság értékek eloszlása – teljes adatbázis

A 45. és a 46. ábra a szilárdsági paraméterek normál eloszlás ábrái. Látható, hogy a teljes adatbázist tekintve a húzószilárdság értékei szinte tökéletesen követik a normális eloszlást.



45. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek normál eloszlás ábrája – teljes adatbázis



46. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott húzószilárdság értékek normál eloszlás ábrája – teljes adatbázis

6. TÖBBVÁLTOZÓS ANALÍZIS

6.1. A SAJÁT LABORVIZSGÁLATI EREDMÉNYEK TÖBBVÁLTOZÓS ELEMZÉSE

6.1.1. A KORRELÁCIÓ VIZSGÁLATA

A korrelációs mátrixot az SPSS program segítségével számoltam. A korreláció vizsgálatát a kiugró adatok kizárása után lehetett elkezdni. A korrelációt változó-páronként vizsgáltam, az adatok kizárását mindig az aktuális vizsgálat során végeztem el. (Így pl. a sűrűség – Poisson-tényező összefüggés vizsgálatakor az egyirányú nyomószilárdság értékek alapján kiugrónak számító adatot nem zártam ki: a nyomószilárdság meghatározása során elkövetett mérési vagy elgépelési hiba nem befolyásolja a vizsgált kapcsolatot.)

10. táblázat: Korrelációs mátrix – légszáraz állapotban meghatározott értékek (Várkert-2013)

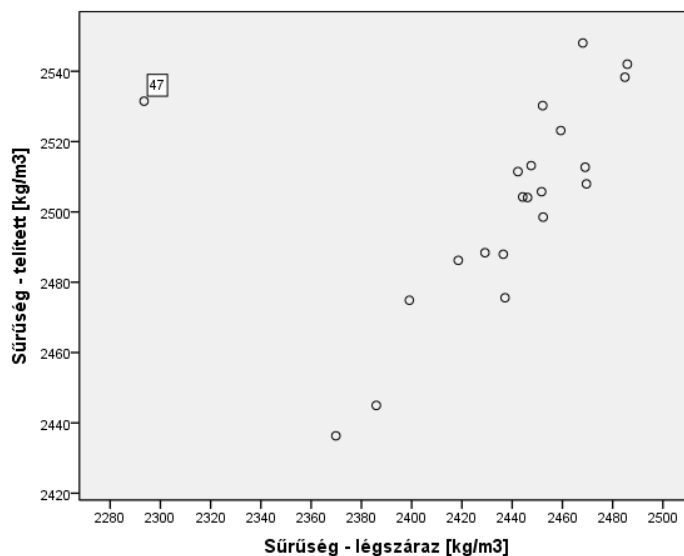
		Sűrűség - légszáraz [kg/m ³]	UH terjedési sebesség - légszáraz [km/s]	Egyirányú nyomószil. - légszáraz [MPa]	Rug. modulus - légszáraz [GPa]	Poisson- tényező - légszáraz [-]
Sűrűség - légszáraz [kg/m ³]	Pearson Correlation	1	,716	,569	,443	-,445
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,003	,004
	N	92	92	43	43	41
UH terjedési sebesség - légszáraz [km/s]	Pearson Correlation	,716	1	,613	,470	-,124
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,001	,421
	N	92	92	46	44	44
Egyirányú nyomószil. - légszáraz [MPa]	Pearson Correlation	,569	,613	1	,875	,027
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,862
	N	43	46	44	46	44
Rug. modulus - légszáraz [GPa]	Pearson Correlation	,443	,470	,875	1	,218
	Sig. (2-tailed)	,003	,001	,000		,156
	N	43	44	46	44	44
Poisson- tényező - légszáraz [-]	Pearson Correlation	-,445	-,124	,027	,218	1
	Sig. (2-tailed)	,004	,421	,862	,156	
	N	41	44	44	44	44

A 10. táblázat a korrelációs mátrixot mutatja be. Félkövér betűvel szedve jelöltem azokat az értékeket, ahol a kapcsolat erőssége Sajtos-Mitev (2007) szerint *erősnek* minősíthető, azaz a korrelációs együttható: $r > 0,7$. Látható, hogy a további regresszió elemzés céljára testsűrűség – ultrahang terjedési sebesség és az egyirányú nyomószilárdság – rugalmassági modulus

összefüggések alkalmasak. Negatív előjelű kapcsolat csak a Poisson-tényező és a testsűrűség között jelentkezik.

A korreláció vizsgálat során egyik célom a testsűrűség és az egyirányú nyomószilárdság közti kapcsolat meghatározása volt. Mivel az egész sűrűség és nyomószilárdság tartományt vizsgálva nem mondható el, hogy a tényezők közötti összefüggés létezik, ezért a továbbiakban kisebb tartományokra és a különböző közettípusokra felbontva végeztem el az elemzéseket. A várakozásommal ellentétben azonban ezekben az esetben sem volt kimutatható erős kapcsolat a két közetfizikai paraméter között.

A telített állapotban meghatározott testsűrűség értékek száma (22) lehetővé tette, hogy az ilyen állapotban mért értékekkel is elvégezzük a korreláció számítását. Ennek során arra kerestem a választ, hogy van-e összefüggés a légszáraz és a telített állapotban meghatározott testsűrűség értékek között. A két állapotban összehasonlított paraméterek által meghatározott pontfelhő-diagramot a 47. ábra szemlélteti. Látható, hogy egy kiugró érték kivételével (amit a későbbiekben kizárunk a vizsgálatokból) a pontok egy egyenes mentén helyezkednek el.

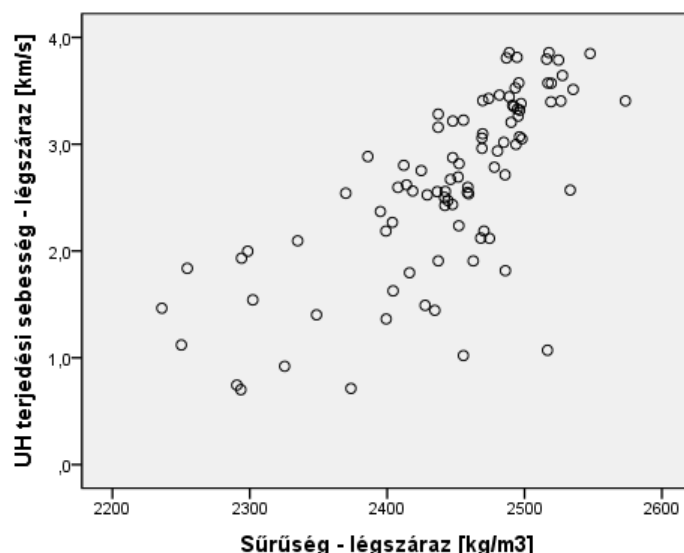


47. ábra: Légszáraz és telített állapotban meghatározott testsűrűségek összefüggésének ábrázolása – Várkert-2013

A két érték között a korrelációs együttható értéke 0,919, tehát a kapcsolat *erős pozitív kapcsolat* (Sajtos-Mitev 2007). Ezt 81 légszáraz állapotot leíró és 20 telített állapotot leíró sűrűség érték alapján határoztam meg.

6.1.2. REGRESSZIOELEMZÉS: TESTSŰRŰSÉG – ULTRAHANG TERJEDÉSI SEBESSÉG

A légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség és ultrahang terjedési sebesség értékek közti összefüggés vizsgálatát a pontfelhő ábrázolásával kezdtem (48. ábra). A független változó a testsűrűség, a függő változó az ultrahang terjedési sebessége.



48. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében – pontfelhő

A paraméterek közti összefüggést lineáris, logaritmikus, kvadratikuss és exponenciális modellek segítségével kerestem. A 11. táblázat a korrelációs együtthatókat (r) és a determinisztikus együtthatókat (r^2) tartalmazza a különböző eloszlástípusok esetében. Látható, hogy a kvadratikuss modell jobb becslést ad az ultrahang terjedési sebességére, mint a lineáris modell.

11. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a testsűrűség és ultrahang terjedési sebessége közti kapcsolat esetében (légszáraz állapot)

	Lineáris modell	Logaritmikus modell	Kvadratikuss modell	Exponenciális modell
r	0,716	0,714	0,725	0,687
r^2	0,513	0,509	0,526	0,472

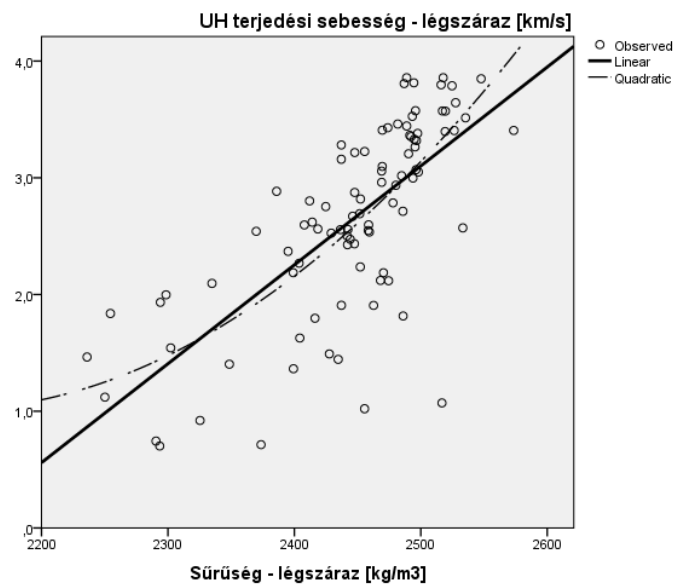
Az SPSS eredményei alapján felírható, a legjobb közelítést nyújtó regressziós görbék egyenlete:

1. lineáris görbe: $UH_0 = -18,081 + 0,008 \cdot \rho_0$,

2. kvadratikuss görbe: $UH_0 = 68,914 - 0,064 \cdot \rho_0 + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_0^2$,

ahol UH_0 a légszáraz állapotban becsülhető ultrahang terjedési sebesség km/s mértékegységben, ρ_0 a mért testsűrűség légszáraz állapotban kg/m^3 mértékegységben.

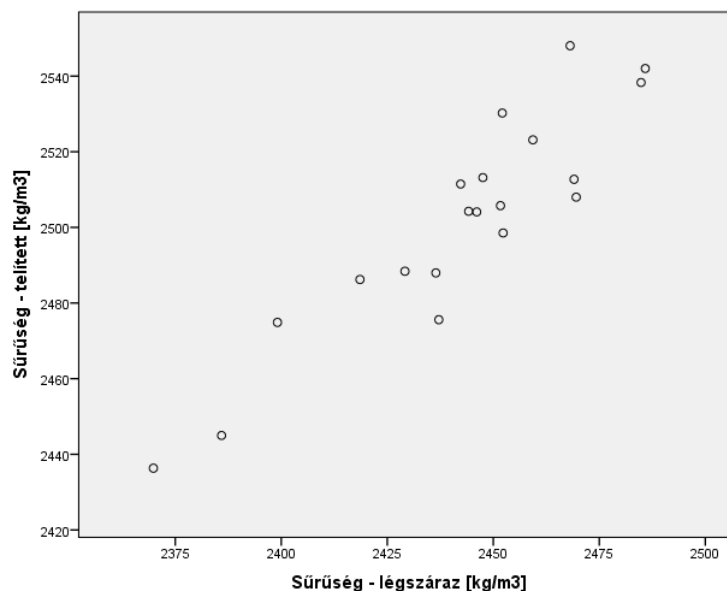
A különböző modellek alapján felírt görbéket az 49. ábra mutatja.



49. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében – regressziós görbék

6.1.3. REGRESSZIÓELEMLÉZÉS: LÉGSZÁRAZ – TELÍTETT ÁLLAPOTBAN MÉRT TESTSŰRŰSÉG

A légszáraz és a telített állapotban mért testsűrűségek pontfelhő diagramját az 50. ábra mutatja. A vizsgálatok során független paraméternek a légszáraz állapotban meghatározott testsűrűséget tekintettem, a telített állapotban meghatározott értéket függő változóként értelmeztem.



50. ábra: A telített állapotban mért testsűrűség a légszáraz állapotban mért testsűrűség függvényében – pontfelhő diagram

Az összefüggést itt is lineáris, kvadratikus, exponenciális és a logaritmikus modellekkel kerestem. Mind a négy modell nagyon hasonló eredményt adott, a determinisztikus és korrelációs együtthatók gyakorlatilag azonosak (12. táblázat).

12. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a légszáraz állapotban meghatározott és a telített állapotban meghatározott testsűrűség közti kapcsolat esetében

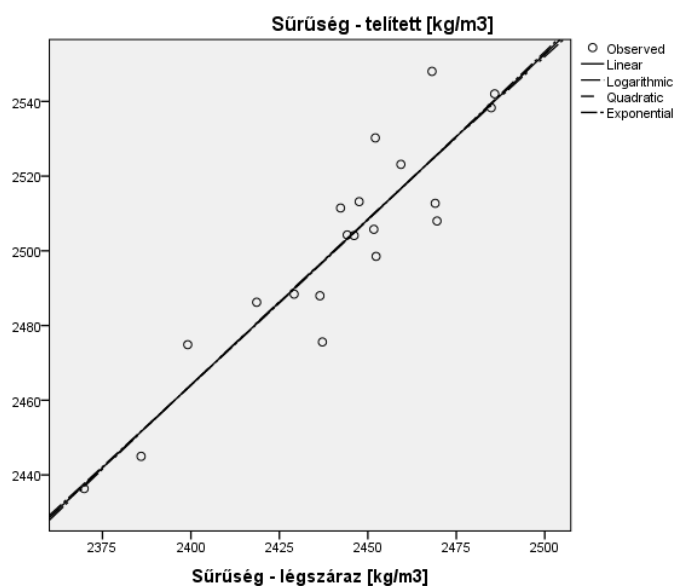
	Lineáris modell	Logaritmikus modell	Kvadratikus modell	Exponenciális modell
r	0,919	0,919	0,919	0,920
r ²	0,845	0,845	0,845	0,847

Az összefüggést leíró lineáris görbe egyenlete:

$$\rho_w = 336,787 + 0,886 \cdot \rho_0,$$

ahol ρ_w a telített állapotban becsülhető testsűrűség, ρ_0 a légszáraz állapotban becsülhető testsűrűség (kg/m^3 mértékegységben). (A kvadratikus modell esetében a négyzetes tag együtthatója közel 0, azaz a lineáris összefüggést kaptuk vissza.)

A különböző modellek alapján felírt görbéket az 51. ábra mutatja. Látható, hogy a vizsgált tartományon a görbék fedik egymást, azaz ugyan azt az eredmény adták.

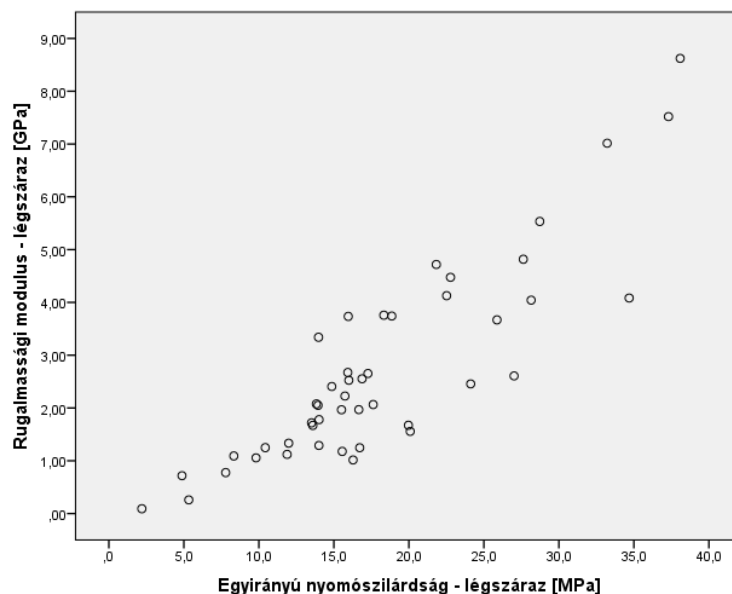


51. ábra: A telített állapotban mért testsűrűség a légszáraz állapotban mért testsűrűség függvényében – regressziós görbék

6.1.4. REGRESSZIÓELEMZÉS: EGYIRÁNYÚ NYOMÓSZILÁRDSÁG – RUGALMASSÁGI MODULUS

A saját mérések alapján az egyirányú nyomószilárdság és a rugalmassági modulus értékek közti összefüggést is vizsgáltam. A független változó az egyirányú nyomószilárdság, a függő a rugalmassági modulus. (A két változó függőségi irányának felcserélésével kapott összefüggést is vizsgáltam, így azonban alacsonyabb fokú korrelációt állapíthattam meg. Ez azt jelenti meg,

hogy helyesen feltételeztem a függőségi relációt.) Az 52. ábra a két változó által kifeszített térben ábrázolt pontfelhőt mutatja.



52. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus az egyirányú nyomószilárdság függvényében – pontfelhő diagram

A lineáris, logaritmus, kvadratus és exponenciális modellek determinisztikus és korrelációs együtthatóit a 13. táblázat tartalmazza. A legjobb eredményt a kvadratus modell adta, utána következik a lineáris modell általi összefüggés eredménye.

13. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság és rugalmassági modulus közti kapcsolat esetében

	Lineáris modell	Logaritmusikus modell	Kvadratusikus modell	Exponenciális modell
r	0,875	0,765	0,886	0,824
r²	0,766	0,585	0,784	0,680

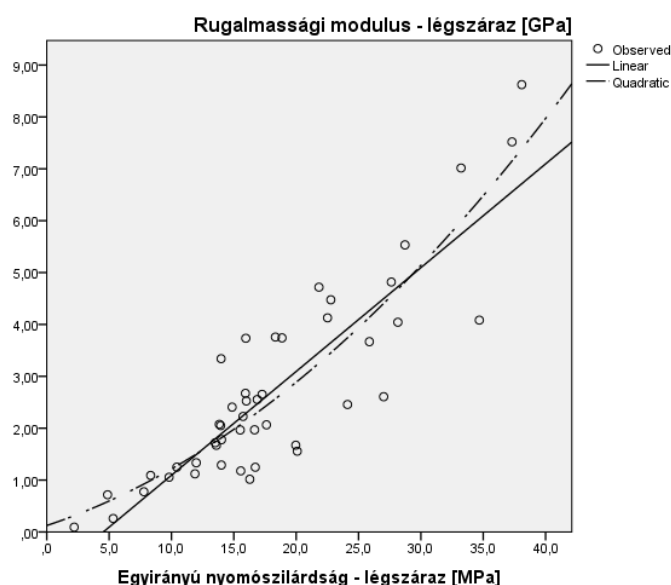
A kvadratusikus és a lineáris modellek által kapott összefüggések:

1. lineáris modell: $E_0 = -0,907 + 0,200 \cdot \sigma_{C0}$,

2. kvadratusikus modell: $E_0 = 0,124 + 0,080 \cdot \sigma_{C0} + 0,003 \cdot \sigma_{C0}^2$,

ahol E_0 a légszáraz állapotban becsülhető rugalmassági modulus értéke *GPa* mértékegységben, σ_{C0} a légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság *MPa* mértékegységben.

A kvadratikus és a lineáris modell összefüggéseit az 55. ábrán szemléltetem.



53. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus az egyirányú nyomószilárdság függvényében – regressziós görbék

6.2. A TELJES ADATBÁZIS TÖBBVÁLTOZÓS ELEMZÉSE

6.2.1. A KORRELÁCIÓ VIZSGÁLATA

A korábbiakban bemutatott átlagértékek összehasonlítása során kapcsolatot lehetett feltételezni az egyirányú nyomószilárdság és a húzószilárdság értékek között (légszáraz és vízzel telített állapotban meghatározott értékek esetében egyaránt). Erre az oszlopdiagramok hasonló tendenciája hívta fel a figyelmet.

Az ilyen jellegű többváltozós vizsgálatokra a saját mérési eredményeink nem alkalmasak, mivel egy adott mélységtartományra vagy csak az azt jellemző nyomószilárdság, vagy csak a húzószilárdság értéke ismert.

A 14. táblázat a vizsgált mennyiségek korrelációs mátrixát tartalmazza. Látható, hogy egy esetben sem éri el a korrelációs együttható a minimális 0,7-es értéket, amely felett *erős pozitív kapcsolat* feltételezhető. Így a további vizsgálatokat, a regresszió elemzést nem tudjuk elvégezni.

14. táblázat: Korrelációs mátrix: egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság értékek – teljes adatbázis

		Egyirányú nyomószil. - légszáraz [MPa]	Egyirányú nyomószil. - telített [MPa]	Húzószil. - légszáraz [MPa]	Húzószil. - telített [MPa]
Egyirányú nyomószilárdság - légszáraz [MPa]	Pearson Correlation	1	0,681	0,503	0,431
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	113	78	99	68
Egyirányú nyomószilárdság - telített [MPa]	Pearson Correlation	0,681	1	0,387	0,618
	Sig. (2-tailed)	,000		,001	,000
	N	78	78	67	59
Húzószilárdság - légszáraz [MPa]	Pearson Correlation	0,503	0,387	1	0,344
	Sig. (2-tailed)	,000	,001		,003
	N	99	67	116	73
Húzószilárdság - telített [MPa]	Pearson Correlation	0,431	0,618	0,344	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,003	
	N	68	59	73	73

6.3. A SAJÁT MÉRÉSI EREDMÉNYEK ALAPJÁN MEGHATÁROZOTT ÖSSZEFÜGGÉSEK ALKALMAZÁSA KORÁBBI MÉRÉSI EREDMÉNYEKEN

A saját mérési eredmények alapján meghatározott lineáris összefüggések:

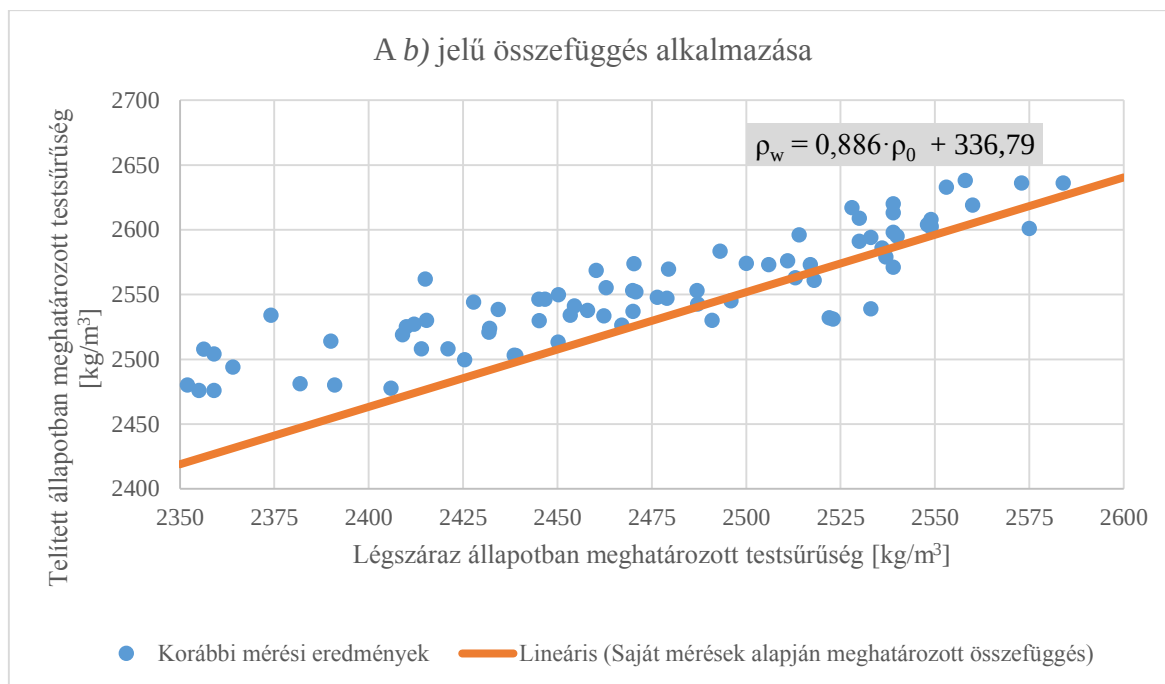
a) $UH_0 = -18,081 + 0,008 \cdot \rho_0$

b) $\rho_w = 336,787 + 0,886 \cdot \rho_0$

c) $E_0 = -0,907 + 0,200 \cdot \sigma_{c0}$

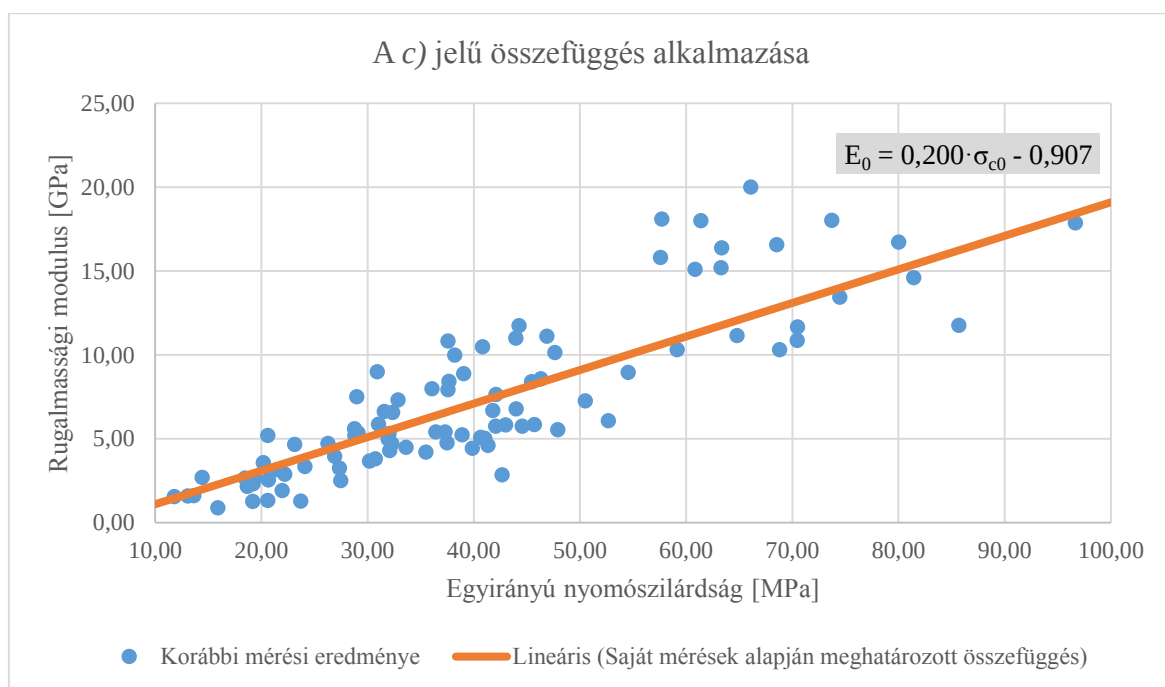
Az a) jelű összefüggést nem tudtam alkalmazni a korábbi, nem általam meghatározott testsűrűségi paraméterekre, mivel korábban nem végeztek ultrahang terjedési vizsgálatokat, vagy ha végeztek is, nekem ezek nem álltak rendelkezésemre.

Az 54. ábrán késsel jelöltem a korábbi laborvizsgálatok összetartozó – légszáraz, illetve vízzel telített állapotban – testsűrűség értékeit. A piros vonal az általam meghatározott lineáris b) összefüggés függvényyszerű ábrázolása. A meghatározott egyenes jól követi a valós mérési eredményeket.



54. ábra: A b) jelű összefüggés alkalmazása a korábbi mérési eredményeken

Az 55. ábrán a c) jelű összefüggés látható piros vonallal jelölve. Az összefüggés alapján meghatározott, becsült rugalmassági modulus értékek (azaz a piros vonal) jól követik a korábbi laboratóriumi vizsgálatok által kapott eredményeket.



55. ábra: A b) jelű összefüggés alkalmazása a korábbi mérési eredményeken

Az, hogy a b) és c) jelű összefüggések jól illeszthetők a korábbi mérések pontfelhő diagramjaira azt jelenti, hogy az összefüggések nem csak a Várkert területére érvényesek, hanem az egész Várhegyre kiterjeszthetők.

7. A VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSE, JELENTŐSÉGE

A többváltozós vizsgálatok célja, hogy összefüggéseket állapítsunk meg valamely tényezők között. Ezen összefüggések révén a későbbiekben a független változók ismeretében előzetes becslést tudunk adni a tőlük függő paraméterekre. Kőzetfizikai paraméterek esetében ezek által előzetes tervezési paraméterek határozhatóak meg. Ezeket a becsült értékeket a későbbi részletes tervezés során természetesen laboratóriumban végzett kísérletekkel igazolni vagy pontosítani kell.

A testsűrűség és az ultrahang terjedési sebessége közt lineáris kapcsolatot állapítottunk meg. Eszerint az egyik ismeretével a másik tényező becsülhető. Ez az összefüggés a földrengésre való tervezés során lehet jelentős, hiszen a kőzet sűrűségének ismeretében a rengéshullámok terjedési sebességét, és így a földrengés okozta erőhatásokat becsülni tudjuk.

A légszáraz és a vízzel telített állapotban mért testsűrűségek közt meghatározott összefüggés is rejt gyakorlati alkalmazhatóságot. Sok esetben előfordul, hogy nem áll rendelkezésünkre megfelelő számú próbatest telítéses vizsgálatokra vagy nincs elég időnk a vízzel való telítés kiváráására. Ilyenkor a vízzel telített állapotra jellemző testsűrűséget megbecsülhetjük. Ez az érték a tervezési folyamatok bemenő adatát képezi.

A harmadik általam meghatározott összefüggés a rugalmassági modulus és az egyirányú nyomószilárdság között (légszáraz állapotban meghatározva) mond ki kapcsolatot. A kőzetek rugalmassági modulusa a kezdeti, lineáris terhelési szakasz (tehát ahol a feszültség-elmozdulás diagram közel egyenes) meredeksége. Ennek értelmében a harmadik összefüggés azt jelenti, hogy a terhelés felvételének az elmozduláson értelmezett sebessége összefügg a felvehető feszültség csúcserkével. A rugalmassági modulus így becsülhető, ha a kőzet nyomószilárdsága ismert. (A nyomószilárdság Schmidt-kalapácsos vagy pontszilárdság vizsgálattal is becsülhető, ekkor azonban a terhelési folyamat, így a rugalmassági modulus is ismeretlen.)

A statisztikai vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a testsűrűség és az egyirányú nyomószilárdság értéke között nem jelentkezik korreláció. Ennek oka a budai márga eltérő mállottsági és repedezettségi foka a különböző helyszíneken. Az általunk vizsgált próbatestek a Várkert területéről kerültek ki, ahol tudjuk, hogy egy vető húzódik végig. A vető jelenléte korábbi tektonikus mozgásokra utal, amelyek során a kőzettestben a keletkező nyírófeszültségek hatására mikro-repedések, deformációk alakultak ki. (Ez magyarázza azt is, hogy a területen mért nyomószilárdsági értékek alulmaradnak a más helyszínen mértékhez

képest.) A Várhegy egyes területeit így lokálisan elkülönítendő nyomószilárdsági paraméterek jellemzik.

A Várkert területén, a kőzettestben jelentkező repedések és deformációk jelenlétére utal az, hogy az egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok során a legtöbb próbatestre nem a szabályos, homokóra alakú töréskép volt jellemző. Számos próbatest morzsalékosan ment tönkre (56. ábra), egy részük pedig egy jellemző sík mentén tört szét (57. ábra).



56. ábra: Morzsalékos tönkremenetel



57. ábra: Tönkremenetel egy adott sík mentén

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom tárgya a Várhegyet alkotó budai márga közetfizikai paramétereinek elemzése, statisztikai értékelése.

Első lépésként a rendelkezésemre álló szakirodalom alapján a Várhegy általános mérnökgeológiájával foglalkoztam. Ennek során kitértem a budai márga általános jellemzőire is.

A vizsgálatok tárgyát képező közetfizikai paraméterek adatbázisában saját mérési eredmények is szerepelnek. A fúrások, melyekből próbatesteinket készítettük a Várkert területéről származnak. Meghatároztuk a közettípusok testsűrűségét, rugalmassági modulusát, Poisson-tényezőjét, egyirányú nyomószilárdságát és a húzószilárdságát. Dolgoztunk légszáraz és vízzel telített mintákkal egyaránt.

A korábbi és a saját mérési eredmények összefoglalása után egyváltozós analízissel vizsgáltam a különböző közetmechanikai jellemzőket. Elemeztem a paraméterek eloszlását és meghatároztam az azokat leíró statisztikai mutatószámokat.

A dolgozat írása során fő célom a budai márga közetmechanikai paramétereinek közötti összefüggések keresése és meghatározása volt. A kapcsolat meglétét korreláció elemzéssel állapítottam meg. Amennyiben az így kapott korrelációs együttható elérte a minimális $r=0,7$ értéket, regresszióelemzéssel meghatároztam a köztük lévő összefüggést.

A különböző helyszínekről származó paraméterek összehasonlítása után láthatóvá vált, hogy a fúrás helyétől függően szignifikáns eltérések jelentkeznek a jellemzők átlagértékei között, emiatt a további vizsgálataimat az általunk meghatározott paraméterekre korlátoztam. Összefüggést sikerült kimutatni a légszáraz és a telített állapotban mért testsűrűség között, a légszáraz állapotban mért testsűrűség és ultrahang terjedési sebesség között, valamint a légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus és egyirányú nyomószilárdság között. Az így kapott regressziós görbéket a korábbi, más helyszínről származó mérések pontszámára illesztve azt tapasztaltam, hogy az általam meghatározott összefüggéssel becsült értékek jól közelítik a valós mérési eredményeket. A regresszióelemzés által kapott összefüggések tehát a Várhegy bármely területéről származó mintára alkalmazható.

A regresszióelemzés révén kapott összefüggések révén becslést adhatunk bizonyos közetfizikai paraméterekre. Ezek révén a laboratóriumi vizsgálatokat megelőzően lehetőségünk van előzetes tervezési paraméterek felvételére.

9. SUMMARY

The present work provides information on the statistical analyses and evaluation of rock mechanical properties of the Buda Marl. It is the main rock type of the Castle Hill, Budapest (Hungary).

During the statistical analyses several laboratory analyses were considered, but the main part of the examination is based on laboratory tests performed within the frame of this study. The examined specimens are from the southeastern part of The Castle Hill, from the area of the Várbazár. Two core drillings were analysed. The drillings were made to explore the subsurface conditions of an underground garage construction site. We determined the bulk density, the uniaxial compressive strength, the modulus of elasticity, the Poisson-ratio and the tensile strength of different types of marls.

For the statistical analyses Microsoft Excel and SPSS Statistics 20.0.0 programs were used. We determined correlation between the physical parameters of the marl of Buda. Correlation was found in between the bulk density and the velocity of the ultrasonic wave in the specimens in air-dry condition, the bulk density in air-dry condition and bulk density in water saturated condition, the modulus of elasticity and uniaxial compressive strength in air-dry condition.

According to statistical analyses the rock mechanical parameters of the marls are valid only for smaller areas, rather than in general terms.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet nyilvánítani konzulensem, Dr. Török Ákos felé, aki dolgozatom megírása során végig iránymutatással látott el, a felvetődő problémák megoldásában segítséget nyújtott. Köszönöm építő jellegű információt, kritikáit és a sokszor éjszakába nyúló konzultációkra való lehetőséget.

Köszönettel tartozom Dr. Görög Péter felé is, aki a laborvizsgálatok elkészítése és elemzése során segítséget nyújtott, valamint fő konzulensem távollétében mindig önzetlenül rendelkezésemre állt. Köszönöm, hogy az általa összegyűjtött és rendezett fúrási és laborvizsgálati adatokat felhasználhattam a dolgozatom elkészítése során.

A laborvizsgálatok előkészítésében, azok folyamatának elsajátításában a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének Kőzetfizikai Laboratóriumának munkatársai, elsősorban Pálinkás Bálint, végig segítségemre voltak, amit ezúton szeretnék megköszönni nekik.

Szeretném megköszönni Barsi Ildikónak, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének doktoranduszának, hogy bepillantást nyújtott az IBM SPSS Statistics program használatába és tanácsokkal látott el a későbbi vizsgálatokkal kapcsolatban.

Köszönettel tartozom a Geovil Kft. ügyvezetője, Dr. Horváth Tibor felé, aki a 2013-ban, a Várkert területén mélyített fúrásokat laboratóriumi vizsgálatok céljára a rendelkezésemre bocsátotta.

Végezetül szeretném köszönetemet kinyilvánítani hallgatótársam, Balog Zsolt felé, akivel a laboratóriumi vizsgálatokat közösen végeztük el, hogy a közös eredményeket felhasználhattam a dolgozat elkészítése során.

11. IRODALOMJEGYZÉK

- Bieniawski, Z.T.: Engineering classification of rock masses. In: Transactions of the South African Institution of Civil Engineers , 1973. 15. köt., p. 335-344.
- Bieniawski, Z.T.: Rock mass classification in rock engineering. In: Bieniawski, Z.T. (szerk.): Exploration for rock engineering, 1. Cape Town: Balkema, 1976. p. 97-106.
- Bieniawski, Z.T.: The geomechanics classification in rock engineering applications. 4th ISRM Congress, 2. Montreux, 1979. p. 41-48.
- Bieniawski, Z.T.: Engineering rock mass classification. New York: Wiley, 1989. 251 p. ISBN
- BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék: A Széchenyi könyvtár mellett létesítendő mélygarázs területének mérnökgeológiai vizsgálata, Szakvélemény. Budapest, 2007. 27 p.
- BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék: Előzetes adatszolgáltatás a Várbazár tervezési területén készült VK-1 és VK-2 jelű fúrások rétegsoráról. Budapest, 2013. 7 p.
- Deere, D.U.: Technical description of rock cores for engineering purposes. In: Rock Mechanics and Engineering Geology, 1964. 1 köt. p. 17-22.
- Farkas D., Hajnal G., Vasvári V.: Hidrogeológiai vizsgálatok. In: Görög P., Hajnal G. (szerk.): Mérnöki kutatások a budai Várhegyen. Budapest: Hantken Kiadó, 2012. p. 99-135.
- Gálos M., Vásárhelyi B.: Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban. Budapest: Műszaki Egyetemi Könyvkiadó, 2006. 144 p. ISBN 978-963-420-881-5
- Görög P.: Budai eocén és oligocén korú agyagtartalmú kőzetek mérnökgeológiai értékelése, Ph. D. értekezés. Budapest, 2008. 111 p.
- Hajnal G., Karay Gy., Görög P.: A Várhegy földtana. In: Görög P., Hajnal G. (szerk.): Mérnöki kutatások a budai Várhegyen. Budapest: Hantken Kiadó, 2012. p. 15-19.
- Hawkins, A.B.: Aspects of rock strength. In: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1998. 57. sz. p. 17-30.
- Hoek, E.: Strength of rock and rock masses. In: ISRM News Journal, 1994. 2. sz. p. 4-16.
- Hoek, E., Brown, E. T.: Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy. London, 1980. 527 p.
- Hoek, E., Brown, E.T.: Practical estimates of rock mass strength. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 1997. 34. sz. p. 1165-1186.
- IAEG: Report of the commission on engineering geological mapping. Bull IAEG, 1979. 19. sz. p. 364-371.
- ISRM: Suggestive methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 1978. 16. sz. p. 135-140.
- ISRM: Rock characterization testing and monitoring. In: Brown, E.T. (szerk.): Suggested methods. Oxford: Pergamon Press, 1981. p. 211.

- ISRM: Suggestive methods for determining point load strength. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 1985. 22. sz. p. 51-60.
- Kőszely Á., Görög P.: Várlejtők mozgásvizsgálata. In: Görög P., Hajnal G. (szerk.): Mérnöki kutatások a budai Várhegyen. Budapest: Hantken Kiadó, 2012. p. 67-98.
- Krolopp E., Schweitzer F., Scheuer Gy, Dénes Gy., Kordos L., Skoflek I., Jánossy D.: A budai Várhegy negyedkori képződményei. In: Földtani Közlöny, 1976. 106. köt. 3. sz. p. 193-228.
- Romana, M.R.: A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating. In: Hudson, J.A. (szerk.): Comprehensive Rock Engineering. Oxford: Pergamon Press, 1993. p. 575-599.
- Romana, M.R.: DMR (Dam Mass Rating). An adaptation of RMR geomechanics classification for use in dams foundations. ISRM 2003 – Technological roadmap for rock mechanics. South Africa: CD-Rom, 2003.
- Sajtos L., Mitev A.: SPSS kutatási és adatelemzési kézikönyv. Budapest: Alinea Kiadó, 2007. 398 p. ISBN 978-963-9659-08-7
- Schafarzik F., Vendl A., Papp F.: Geológiai kirándulások Budapest környékén. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1964. 368 p.
- Şen, Z., Sadagah, B.H.: Modified rock mass classification system by continuous rating. In: Engineering Geology, 2003. 67. sz. p. 269-280.
- Pécsi M.: Budapest természeti képe. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1959. 744 p.
- Rockscience Phase²: Manual. 2013
- Scheuer Gy., Szentirmai L., Szörényi J.: Hidrológiai szakvélemény a Várbazár mélypincéjének tervezéséhez. Budapest: Bohn Mélyépítő Kft., 2003. 21 p.
- Szörényi J.: Területismertető talajmechanikai szakvélemény a Várbazár alá tervezett mélygarázs lejáró rámpájának tervezéséhez. Budapest: Bohn Mélyépítő Kft., 2003. 6 p.
- Török Á.: A budai várhegy mérnökgeológiája és a mérnöki kutatás örökségvédelmi jelentősége. In: Görög P., Hajnal G. (szerk.): Mérnöki kutatások a budai Várhegyen. Budapest: Hantken Kiadó, 2012. p. 9-14.
- Török Á., Vásárhelyi B.: The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary. In: Engineering Geology, 2010. 115. sz. p. 237-245.
- Wein Gy.: A Budai-hegység tektonikája. Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet, 1977. 75 p.

12. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A Várhegy felépítése (Schafarzik et al. 1964).....	5
2. ábra: A Várhegy rétegsora (Hajnal et al. 2012).....	6
3. ábra: A fúrások elhelyezkedése a Várhegy körül	9
4. ábra: Telítés közben szétcsúszott próbatest	11
5. ábra: A VK-1/6 jelű próbatest erő-elmozdulás diagramja.....	13
6. ábra: A VK-1/8-1 jelű próbatest feszültség-alakváltozás diagramja	14
7. ábra: A VK-1/8-1 jelű próbatest axiális-laterális alakváltozás diagramja	14
8. ábra: Erő-elmozdulás diagram (BSz-2/7 jelű próbatest)	15
9. ábra: A próbatest elhelyezése terhelés közben Brazil-vizsgálatnál (Gálos-Vásárhelyi 2006).....	15
10. ábra: Kiugró elemek vizsgálata – Légszáraz testsűrűség (teljes adatbázis)	17
11. ábra: A légszáraz állapotban mért sűrűség eloszlása hisztogrammal ábrázolva (Várkert-2013, fakószürke mészmárga)	18
12. ábra: Normál eloszlás ábra (Várkert-2013, fakószürke mészmárga).....	18
13. ábra: A különböző eloszlás típusok (Sajtos-Mitev 2007).....	19
14. ábra: A regressziós egyenes ábrázolása (Várkert-2013, összefüggés a légszáraz és a telített állapotban mért testsűrűség között)	22
15. ábra: Jellegzetes töréskép (VK-2/12-2 jelű próbatest)	23
16. ábra: Jellegzetes töréskép (BSz-2/7 jelű próbatest).....	23
17. ábra: A testsűrűségek átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban	26
18. ábra: A testsűrűségek átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban	27
19. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban ...	27
20. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban.....	27
21. ábra: A rugalmassági modulus átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban	28
22. ábra: A rugalmassági modulus átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban.....	28
23. ábra: A Poisson-tényező átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban.....	28
24. ábra: A Poisson-tényező átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban	29
25. ábra: A húzószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása légszáraz állapotban	29
26. ábra: A húzószilárdság átlagértékeinek összehasonlítása telített állapotban.....	29
27. ábra: A szilárdsági jellemzők átlagértékeinek az összefüggése légszáraz állapotban	31
28. ábra: A szilárdsági jellemzők átlagértékeinek az összefüggése telített állapotban.....	31
29. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében a 2013-as várkert fúrások esetében (légszáraz állapotban vizsgálva).....	32
30. ábra: Az egyirányú nyomószilárdság a testsűrűség függvényében a 2013-as várkert fúrások esetében (légszáraz állapotban vizsgálva)	32
31. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott testtűrés kiugró adatai.....	33

32. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség eloszlása.....	35
33. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott testsűrűség értékek normál eloszlás ábrája	35
34. ábra: A vízzel telített állapotban meghatározott testsűrűség eloszlása.....	35
35. ábra: Vízzel telített állapotban meghatározott testsűrűség értékek normál eloszlás ábrája.....	36
36. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott UH terjedési sebesség értékek eloszlása	36
37. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott UH terjedési sebesség értékek normál eloszlás ábrája	36
38. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek eloszlása	37
39. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek normál eloszlás ábrája	37
40. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus értékek eloszlása	37
41. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus értékek normál eloszlás ábrája	38
42. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott Poisson-tényező értékek eloszlása	38
43. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott Poisson-tényező értékek normál eloszlás ábrája.....	38
44. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság értékek eloszlása – teljes adatbázis.....	39
45. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság értékek normál eloszlás ábrája – teljes adatbázis	40
46. ábra: Légszáraz állapotban meghatározott húzószilárdság értékek normál eloszlás ábrája – teljes adatbázis.....	40
47. ábra: Légszáraz és telített állapotban meghatározott testsűrűségek összefüggésének ábrázolása – Várkert-2013	42
48. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében – pontfelhő.....	43
49. ábra: Az ultrahang terjedési sebessége a testsűrűség függvényében – regressziós görbék	44
50. ábra: A telített állapotban mért testsűrűség a légszáraz állapotban mért testsűrűség függvényében – pontfelhő diagram	44
51. ábra: A telített állapotban mért testsűrűség a légszáraz állapotban mért testsűrűség függvényében – regressziós görbék.....	45
52. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus az egyirányú nyomószilárdság függvényében – pontfelhő diagram.....	46
53. ábra: A légszáraz állapotban meghatározott rugalmassági modulus az egyirányú nyomószilárdság függvényében – regressziós görbék	47
54. ábra: A b) jelű összefüggés alkalmazása a korábbi mérési eredményeken	49
55. ábra: A b) jelű összefüggés alkalmazása a korábbi mérési eredményeken	49
56. ábra: Tönkremenetel egy adott sík mentén.....	51
57. ábra: Morzsalékos tönkremenetel.....	51

13. TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A fűrészek és a közetfizikai paraméterek száma	9
2. táblázat: A korrelációs együttható jellemző értékei (Sajtos-Mitev 2007)	20
3. táblázat: A korreláció vizsgálat eredménye SPSS-ben (Várkert-2013 légszáraz és telített állapotban mért nyomószilárdság közti korreláció).....	21
4. táblázat: A vizsgált próbatestek száma.....	24
5. táblázat: Szilárdság alapján az osztályba sorolás	24
6. táblázat: Az átlagértékek összefoglalása	30
7. táblázat: Statisztikai mutatószámok – Várkert-2013	34
8. táblázat: A paraméterek eloszlása, az eloszlást jellemző ábrák sorszáma.....	34
9. táblázat: Statisztikai mutatószámok – teljes adatbázis	39
10. táblázat: Korrelációs mátrix – légszáraz állapotban meghatározott értékek (Várkert-2013)	41
11. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a testsűrűség és ultrahang terjedési sebessége közti kapcsolat esetében (légszáraz állapot)	43
12. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a légszáraz állapotban meghatározott és a telített állapotban meghatározott testsűrűség közti kapcsolat esetében	45
13. táblázat: Korrelációs és determinisztikus együtthatók a légszáraz állapotban meghatározott egyirányú nyomószilárdság és rugalmassági modulus közti kapcsolat esetében.....	46
14. táblázat: Korrelációs mátrix: egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság értékek – teljes adatbázis	48