

Talajok nyírószilárdságának statisztikai értékelése

Kádár István

BME, egyetemi hallgató, e-mail: isti1388@freemail.hu

Nagy László

BME, Geotechnikai Tanszék, egy. docens, e-mail: lacinagy@mail.bme.hu

Takács Attila

BME Geotechnikai Tanszék, egy. tanársegéd, e-mail: atakacs@mail.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A talajfizikai jellemzők ismerete az építőmérnöki tervezésnél elengedhetetlen, meghatározásuk elméleti úton nem, csak kísérletileg lehetséges. A geotechnikában az EUROCODE 7 szabvány megjelenésével tervezési és méretezési módszereknél lényegi kérdés, hogy az egyes talajfizikai jellemzőket minél nagyobb pontossággal ismerjük, minél kevesebb vizsgálat alapján. Az alapadatok megbízhatósága direkt kihatással van a végeredményre. A kísérletek, kísérletsorozatok a statisztika eszközeivel megmutatják a tervezési alapadatokat, a karakterisztikus értékeket. Általánosságban elmondható, hogy az EUROCODE 7 alapján történő tervezéshez felhasználható talajjellemzők karakterisztikus értékeinek megállapítása a geotechnikai tervezés egyik legkritikusabb feladata. A téma azért aktuális, mert 2010. április 1.-től egyes feladatoknál kizárólagosan csak az EUROCODE szerint lehet tervezni.

Kulcsszavak: karakterisztikus érték, Eurocode, statisztika, talajjellemzők, nyírószilárdság,

1 BEVEZETÉS

A geotechnikai számítások legkritikusabb feladatrésze a talajjellemzők felvétele. Az Eurocode szabványsorozat pontosan meghatározza azokat a statisztikai módszereket, amelyek használhatók a talajjellemzők karakterisztikus értékeinek meghatározásához. A geotechnikai számításokban használt paraméterek túlnyomó többsége normális vagy lognormális eloszlást követ (Bond és Harris 2008), de itt csak a normális eloszlású paraméterek statisztikai feldolgozásával foglalkozunk.

2 A KARAKTERISZTIKUS ÉRTÉK MEGHATÁROZÁSA

A karakterisztikus értékek lehetnek alsó értékek, melyek a legvalószínűbb értékeknél (általában az átlagnál) kisebbek, és lehetnek felső értékek, melyek azoknál nagyobbak. Mindegyik számítást a független paraméterek alsó és felső értékeinek legkedvezőtlenebb kombinációjával is el kell végezni, de általában az alsó értékek lehetnek kritikusak. A karakterisztikus értéket célszerű úgy származtatni, hogy a vizsgált határállapotot meghatározó kedvezőtlen érték valószínűsége ne legyen nagyobb 5%-nál.

Normális eloszlás esetén statisztikai módszerekkel a karakterisztikus érték (X_k) számítása (a statisztikai módszert az 1. ábra szemlélteti):

$$X_k = X_m \cdot (1 - k_n \cdot \nu_x) \quad (1)$$

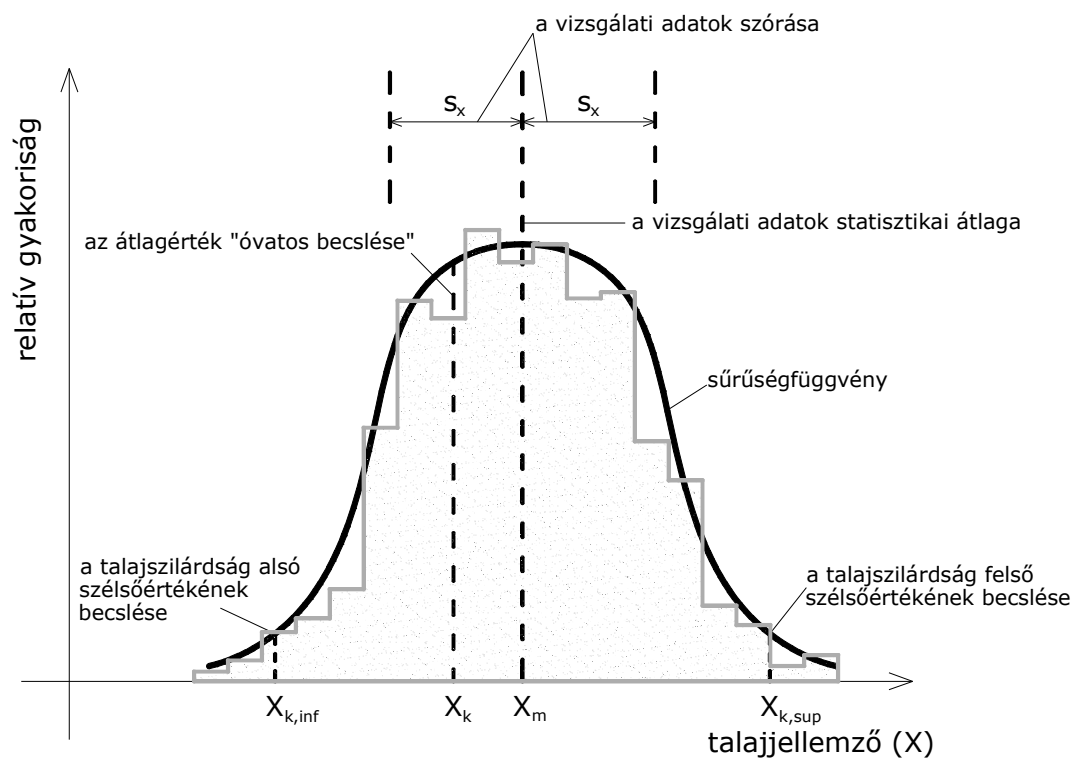
A képletben szereplő tényezők: X_m a várható érték, amely minden esetben az adatok átlagával egyezik meg; k_n a minták számától függő statisztikai paraméter; ν_x a relatív szórás (variációs tényező), amelyet előzetes ismeretek alapján veszünk fel, azaz statisztikailag „ismertnek” tételezzük fel, vagy mérési eredményekből számítunk, azaz statisztikailag (előzetesen) „ismeretlennek” tekintünk.

A variációs tényező a szórás és az átlagérték hányadosa:

$$\nu_x = \frac{s_x}{X_m} \quad (2)$$

A szórás képlete:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n - 1}} \quad (3)$$



1. ábra. Szemléltető ábra a talajparaméterek karakterisztikus értékének meghatározásához

Az átlagértékekhez és a szélsőértékekhez tartozó k_n tényezőket az 1. táblázat és szemléletesen a 2. ábra tartalmazza statisztikailag „ismert” paraméterek esetén.

1. táblázat. A k_n tényező értékei

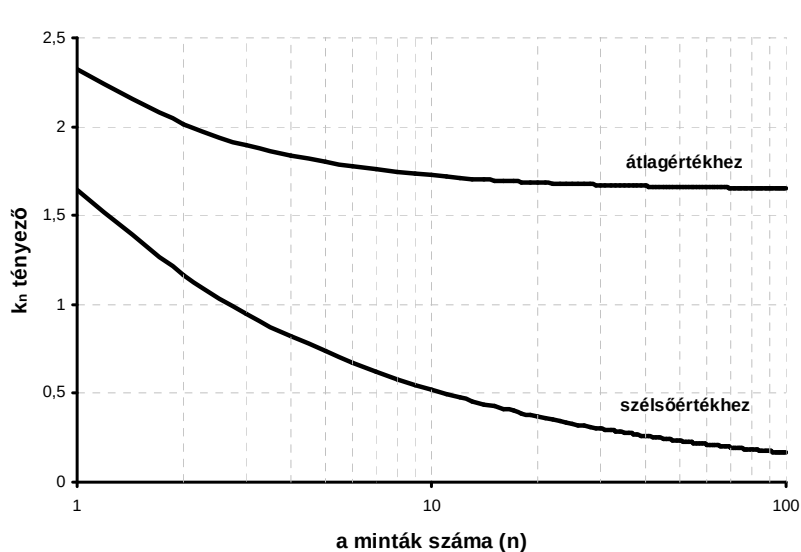
n	statisztikailag "ismert" paraméterek	
	átlagértékhez	szélsőértékhez
	k_n	$k_{n,s}$
2	1,163	2,015
3	0,950	1,899
4	0,822	1,839
5	0,736	1,802
6	0,672	1,777
7	0,622	1,758
8	0,582	1,745
9	0,548	1,734
10	0,520	1,725
11	0,496	1,718
12	0,475	1,712
13	0,456	1,707
14	0,440	1,703
15	0,425	1,699
20	0,368	1,685
30	0,300	1,672
50	0,233	1,661
100	0,164	1,653
∞	0,000	1,645

Közelítő módszerként a variációs tényező segítségével tudjuk egyszerűen számolni a karakterisztikus értéket „Schneider (1997) Európa-szerte elfogadott javaslata szerint” (Szepesházi, 2009):

$$X_k = X_m \cdot (1 - 0,5 \cdot v_x) \quad (4)$$

ahol X_k a talajjellemző karakterisztikus értéke, X_m a talajjellemző átlag értéke és v_x a variációs tényező értéke. Konkrét esetekben gyakran nincs elegendő adat a variációs tényező megállapításához. Ilyenkor közelítőleg a következők vehetők figyelembe (Szepesházi 2009):

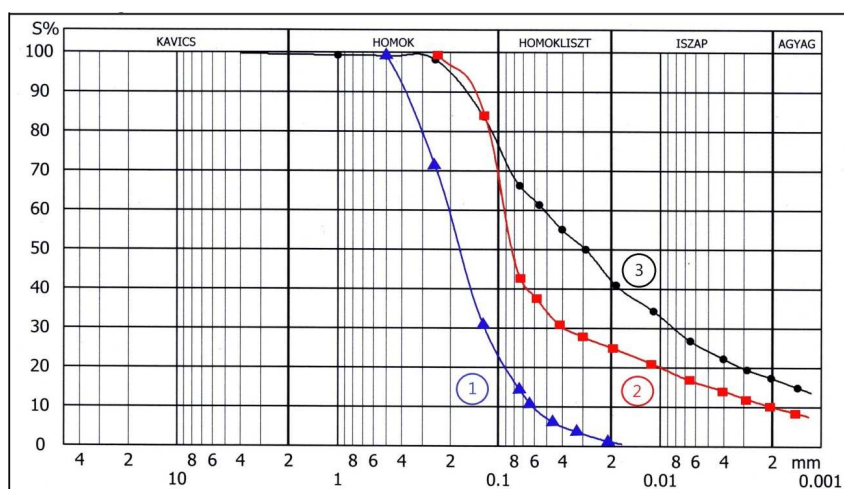
- φ' hatékony belső súrlódási szög $v_{\varphi'} = 0,1$
- c' hatékony kohézió $v_{c'} = 0,3$
- c_u drénezetlen nyírószilárdság $v_{cu} = 0,4$
- E_s összenyomódási modulus $v_{Es} = 0,4$



2. ábra. A k_n tényező értékei

3 KÍSÉRLETSOROZAT

A talajok nyírószilárdságának és nyírószilárdsági paramétereinek variációs tényezőjének meghatározására kísérletsorozatot végeztünk négy különböző talajjal (1. kísérleti sorozat: homoklisztes homok; 2. homokos iszapos homokliszt; 3. homokos homoklisztes iszap; 4. kövér agyag). Mindegyik kísérletsorozat legalább harminc darab nyíródobozos vizsgálatból állt, melyek alapján megállapításra kerültek a nyírószilárdságok értékei, a belső súrlódási szögek, és a kohéziók statisztikai paraméterei. A szemcsés talajok (1-3. jelűek) azonosítása szemeloszlási görbéjük alapján történt (ld. 3. ábra). A negyedik minta kövér agyag volt, melynek konzisztencia jellemzői a következők: $I_p=37,6\%$, $w_L=60,4\%$, $w_p=22,8\%$. A minta víztartalma $w=24,8\%$ körüli érték volt, a relatív konzisztencia index értéke $I_C=0,88-0,99$ között változott.



3. ábra. Vizsgált szemcsés talajok görbéi

A nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek meghatározása és statisztikai elemzése kiemelkedő jelentőségű, mert e jellemzők minden állékonysági feladat kiindulási adatai. A bemutatásra kerülő vizsgálatssorozatonál a talajminta csoportok esetén meghatározásra kerültek:

- a vizsgálati eredmények halmazába nem illő adatok,
- a legfontosabb statisztikai paraméterek,

- a mért értékekre a legjellemzőbb eloszlás típusa,
- minden mintacsoportnál a minimálisan szükséges vizsgálati szám.

A mérést a talajok alapos előkészítése előzte meg. Lényegi kérdés volt, hogy sikerül-e biztosítani a mérések során az azonos körülményeket, mint például az azonos sűrűséget és víztartalmat. Ez utóbbi elsősorban az agyag talajnál jelentett fontos szempontot, hiszen a víztartalom nagymértékben befolyásolja a talajok nyírószilárdságát.

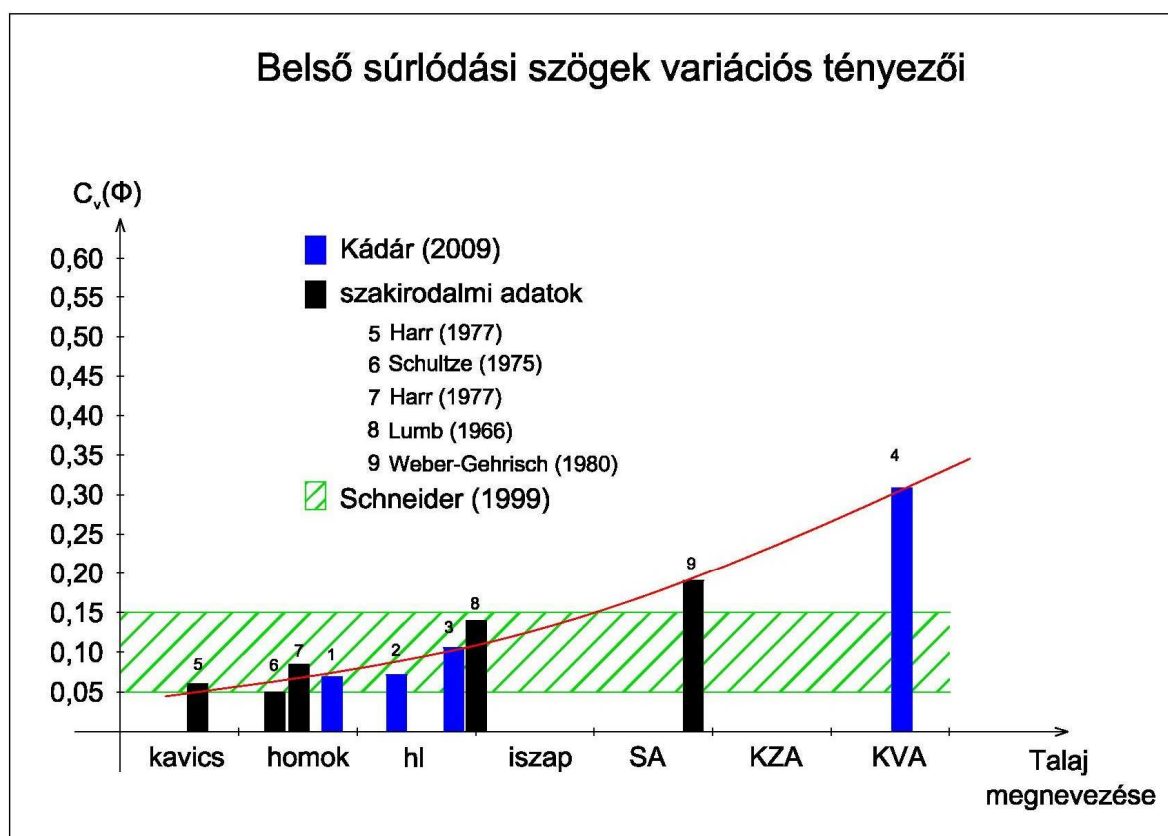
4 AZ EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

A mérések eredményeiből számolhatók a nyírószilárdság értékeinek és a meghatározott nyírószilárdsági paramétereknek a statisztikai jellemzői. Ezek közül a legfontosabbak az átlag, szórás, és a variációs tényező, valamint a ferdeségi és lapultsági együtthatók. Külön ki kell emelni a variációs tényező értékét, mely nagy jelentőséggel bír a statisztikai paraméterek között, hiszen értékével jól közelíthetjük egy talajjellemző meghatározásának a megbízhatóságát.

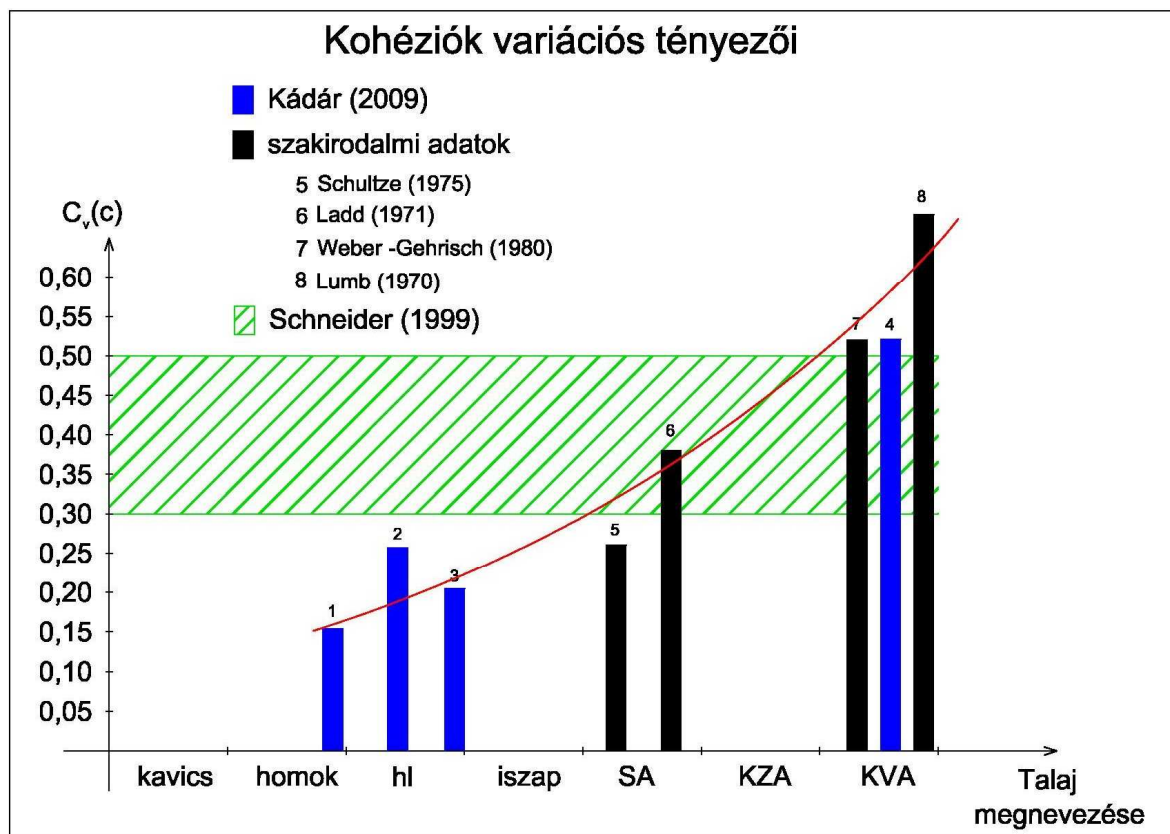
2. táblázat. A meghatározott variációs tényezők

	T_{100kN}	T_{200kN}	Φ	C
Homoklisztes homok	0,0455	0,0369	0,0686	0,1535
Homokos homokliszt	0,0299	0,0310	0,0719	0,2568
Iszapos homokos homokliszt	0,0364	0,0329	0,1055	0,2047
Kövér agyag	0,1199	0,1048	0,3088	0,5211

Az eredmények statisztikai értékelésének első lépése a hibás adatok kiszűrése. A kiugró értékek többféleképpen kezelhetők: a kiugró mérési eredmény(ek)e)t el lehet vetni; statisztikai módszerekkel korrigálhatóak, helyettük új vizsgálatokat lehet végezni, vagy a megmaradt értékeket „csonkított” mintacsoportként lehet kezelni. A vizsgálat során Grubbs (1969) módszerével, az extrém értékek eltávolításra kerültek. A mérési eredmények kellően homogének voltak, mivel csak a 2. vizsgálat sorozatnál egy értékét kellett kizárni (Kádár 2009). Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy rendkívül gondos vizsgálatok készültek, ami azt is jelentheti, hogy a variációs tényező alulbecslésre kerülhetett mind a négy mérési sorozatnál (2. táblázat).



4. ábra. Belső súrlódási szög variációs tényezői



5. ábra. Kohézió variációs tényezői

A statisztikai jellemzők alapján meghatározható az egyes mérési eredményeknek és a számolt paramétereknek az eloszlás típusa, milyen eloszlással közelíthető legpontosabban a nyírószilárdság, a belső súrlódási szög és a kohézió. A kis mintaszám (30-30 vizsgálat minden talajból minden alkalmazott függőleges feszültség mellett) ellenére is már erősen körvonalazódott a minták eloszlása, statisztikai értékei. Ehhez segítséget nyújtottak az irodalomkutatás eredményei is.

Az illeszkedés vizsgálat csak az eloszlás típusának meghatározása alapján végezhető el. A számítások szerint a nyírószilárdság és nyírószilárdsági paraméterek értékeinek eloszlása Pearson-grafikon szerint az esetek nagyobb számában szimmetrikus eloszlással írható le a legjobban, néhány esetben béta eloszlás használandó.

A különböző talajokra meghatározott variációs tényezők önmagukban is értékelhetők, azonban új eredményre hívja fel a figyelmet, ha a variációs tényezőt az egyre finomabb szemcséket tartalmazó talajok „függvényében” ábrázoljuk. Jelen vizsgálat sorozat előtt is az volt az érzéke a gyakorló talajmechanikusnak, hogy egy szemcsés talajok nyírószilárdságának és nyírószilárdsági paraméterek megbízhatósága jobb, mint egy kötött talajoké. Feltételezhető volt az is, hogy a kohézió értékének megbízhatósága is alatta marad a belső súrlódási szög megbízhatóságának.

5 MEGÁLLAPÍTÁSOK

A mérési eredmények alapján, felhasználva a szakirodalmi adatokat is a következő lényeges megállapítások tehetők a nyírószilárdsági paraméterek megbízhatóságával kapcsolatban (ld. a 4. és az 5. demonstrációs ábrákat):

1. A mérési eredmények jól illeszkednek a nemzetközi irodalomban meghatározott értékek trendjébe, vagyis a meghatározott variációs tényező nem tér el jelentősen az irodalmi adatoktól.
2. Az összes talaj, a kavicstól az agyagig nem jellemezhető egy variációs tényezővel, sem a belső súrlódási szögnél, sem a kohéziónál.
3. A variációs tényező értéke mindkét nyírószilárdsági paraméter esetén a kötött talajok irányába nő.
4. Előzetes várakozásnak megfelelően a belső súrlódási szög variációs tényezője kisebbre adódott, mint a kohézióé, amely szélesebb határok között változik (ld. 4. és 5. ábrák).

5. Fontos megjegyezni, hogy a mérések variációs tényezői jóval alatta maradtak a kohézió és belső súrlódási szög variációs tényezőinek (2. táblázat), tehát a két nyírószilárdsági paraméter nagyobb bizonytalansága nem a mérési adatok bizonytalanságából adódik.

6. Az EUROCODE 7 bevezetésével kapcsolatban nem kell félni a szemcsés talajok belső súrlódási szögének variációs tényezőjére $C_v(\varphi) = 0,04-0,07$ érték felvételétől, ugyanakkor az erősen kötött talajok kohéziójának variációs tényezőjénél esetenként a $C_v(c) = 0,5-0,6$ értékek alkalmazásától sem szabad megriadni!

A nyírószilárdsági paraméterekhez rendelt variációs tényezőnek differenciált kezelése fontos a biztonság és gazdaságosság ellentétes követelményeinek kielégítésénél (Takács 2009). A vizsgálati eredmények azt sugallják, hogy a Schneider (1999) által javasolt átlagos $C_v(\varphi) = 0,1$ és $C_v(c) = 0,4$ értékek alkalmazása az Eurocode 7-nél nem történhet meg kellő műszaki kritika nélkül az összes talajfélésegre.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bond A., Harris A. 2008: Decoding EuroCode 7. Taylor & Francis, London and New York, pp. 151-153.
- Harr M.E. 1977: Mechanics of Particulate Media - a Probabilistic Approach. McGraw-Hill, New York,.
- Grubbs F.E. 1969: Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, No. 1.
- Kádár, I. 2009: A nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek statisztikai jellemzése, TDK dolgozat,. Konzulens: Nagy L.
- Ladd Ch.C.; Moh Z.; Gifford, D.G. 1971: Statistical Analysis of Undrained Strength of Soft Bangkok Clay. Proceedings of the 1st Intern. Conf. on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering. Hong Kong.
- Lumb P. 1970: Safety Factors and the Probability Distribution of Soil Strength. *Canadian Geotechnical Journal*, 7(3): 225,.
- Lumb, P. 1975: Spetial Variability of Soil Properties. Proceedings of the 2nd Intern. Conf. on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, Vol. II, Aachen
- Nagy L. 1996: Árvízi kockázati térképezés műszaki előkészítés I. ütem. Kockázat az árvízvédelmi földműveknél. Zárójelentés. OMFB által támogatott kutatás..
- Nagy L. 2008: Hydraulic failure probability of a dike cross section, *Periodica Polytechnica, Civil Engineering*, 52(2): 83-89.
- Rétháti L. 1985: Valószínűségelméleti megoldások a geotechnikában. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Schneider H.R. 1999: Definition and determination of characteristic soil properties. Proceedings of the fourteenth international conference on soil mechanics and foundation engineering Hamburg. pp. 2271-2278.
- Schultze E. 1975: Frequency Distributions and Correlations of Soil Properties. Proceedings of the Ist. Intern. Conf. on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, Hong Kong,.
- Szepesházi R. 2009: Geotechnikai tervezés, Tervezés az EUROCODE 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján. Business Media Magyarország Kft.,
- Takács A. 2009: Talajjellemzők geotechnikai számításokhoz. Biztonság vagy gazdaságosság? *Mélyépítő Tükörkép Magazin*, 5. szám.
- Weber E.; Gehrish M. 1980: Ein Beitrag zur Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten für homogene Lockergesteinsböschungen. Proceedings of the 6th Danube-European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Section 3, Varna.