

# Talajmechanikai paraméterek megbízhatóságának elemzése

## Reliability analysis of soil parameters

Kádár István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, kadar.istvan@mail.bme.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Az Eurocode 7 szabvány elterjedésével megjelent az ún. megbízhatósági elven történő tervezés, amelynél lényegi kérdés, hogy az egyes talajfizikai jellemzőket minél nagyobb pontossággal és biztonsággal ismerjük. Ehhez kísérleteket, kísérletsorozatokat végzünk és a statisztika eszközeivel karakterisztikus értékeket állapítunk meg. Munkámban különböző talajok vizsgálata és szakirodalmi adatok alapján határoztam meg összefüggéseket a nyírószilárdsági paraméterek variációs tényezőire vonatkozóan.

*Kulcsszavak:* statisztika, variációs tényező, karakterisztikus érték, Eurocode 7

**ABSTRACT:** With the presence of Eurocode 7 standards the reliability-based design appeared in geotechnics in which it is essential that we know the physical parameters of the soils as accurately and safely as possible. Therefore experiments and series of experiments are carried out and characteristic values are determined with the tools of statistics. Different kind of soils were investigated. This article aims to show the values of coefficient of variation of shear strength parameters based on these results and according to literature.

*keywords:* statistics, coefficient of variation, characteristic value, Eurocode 7

## 1 BEVEZETÉS

Minden geotechnikai számítás kiinduló alapadata és egyben egyik legkritikusabb feladatrésze a talajjellemzők felvétele. Ezek helyes meghatározása direkt hatással van a végeredményre. 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).

## 2 KARAKTERISZTIKUS ÉRTÉKEK MEGHATÁROZÁSA EUROCODE 7 ALAPJÁN

A talaj vagy a tervezett szerkezet valamely jellemzőjének a vizsgálandó tervezési állapotra vonatkozóan jellemző értéke, melyet vizsgálatok alapján az átlagos értéktől a biztonság irányába eltérve kell az adatok változékonyságát, a vizsgálandó jelenség sajátosságait és a határállapot bekövetkezésének körülményeit is mérlegelve, óvatosan felvenni. 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):

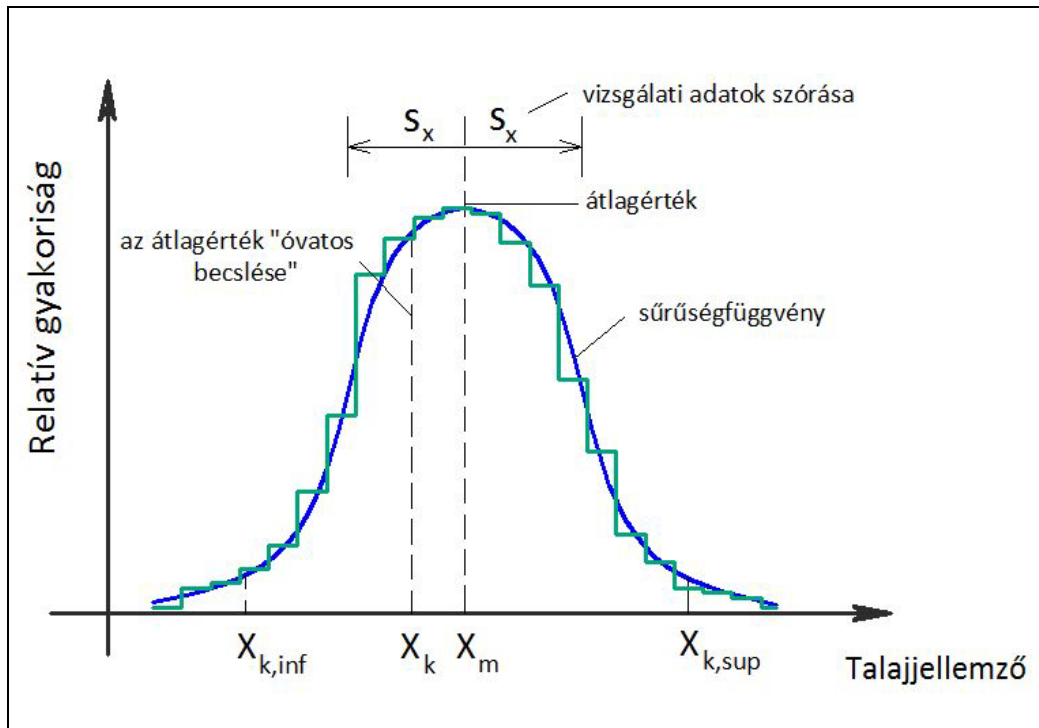
$$X_k = X_m \cdot (1 - k_n \cdot C_v) \quad (1)$$

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;  $C_v$  a variációs tényező (relatív szórás), 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:

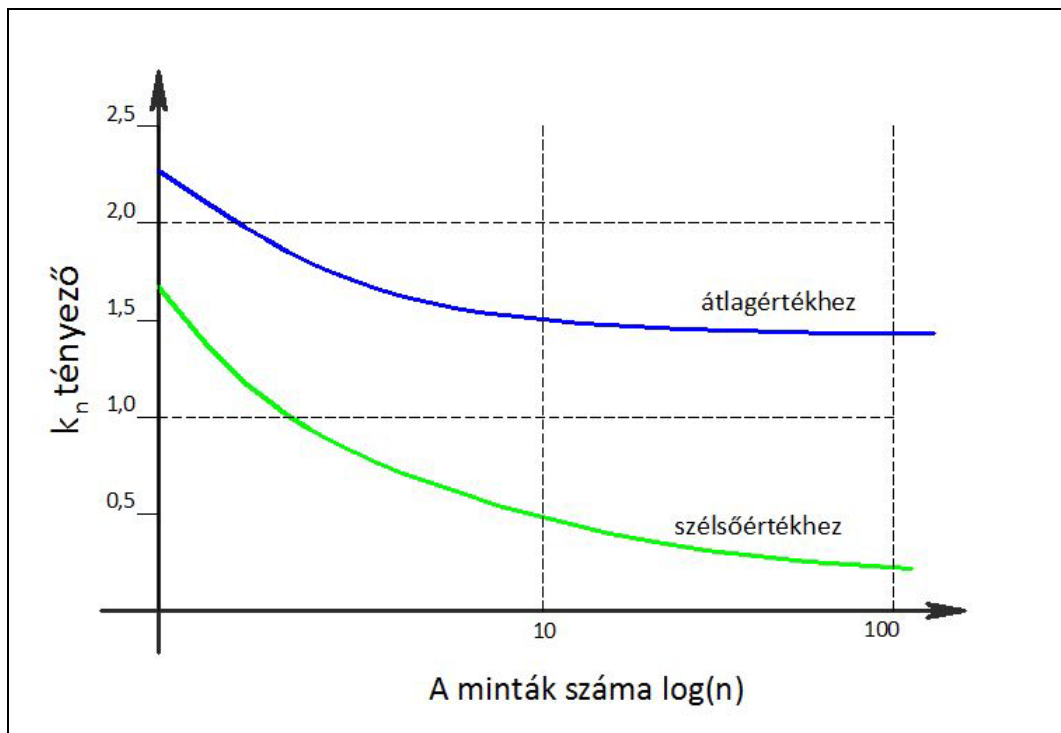
$$C_v = \frac{S_x}{X_m} \quad (2)$$

A variációs tényező jól jellemzi egy talajparaméter meghatározásának a megbízhatóságát. Segítségével összehasonlíthatóak a különböző nemzetközi mérések eredményei.



**1. ábra.** Karakterisztikus érték meghatározása (Determination of characteristic value)

Az átlagértékekhez és a szélsőértékekhez tartozó  $k_n$  tényezőket szemléletesen a 2. ábra tartalmazza statisztikailag „ismert” paraméterek esetén. A  $k_n$  tényező értéke a vizsgált minták számától függ.



**2. ábra.** A  $k_n$  paraméter értékei (The values of  $k_n$  parameter)

Konkrét esetekben gyakran nincs elegendő adat a variációs tényező megállapításához. Ilyenkor közelítőleg a következők vehetők figyelembe (Szepesházi 2009):

– $\varphi'$ hatékony belső súrlódási szög	$C_v(\varphi') = 0,1$
– $c'$ hatékony kohézió	$C_v(c') = 0,3$
– $c_u$ drénezetlen nyírószilárdság	$C_v(c_u) = 0,4$
– $E_s$ összenyomódási modulus	$C_v(E_s) = 0,4$

### 3 VIZSGÁLT TALAJOK

Vizsgálataim során hatféle talajjal végeztem laboratóriumi kísérleteket. Ezeknek a listáját tartalmazza az 1. táblázat. Az első három minta, a szemcsés talajok csoportjába sorolható, a negyedik talaj kövér agyag, az ötödik minta pernye. A pernye nem talaj, ám tulajdonságai hasonlítanak ahhoz. Ezt mutatja az, hogy szemeloszlási görbéje meghatározható, valamint az, hogy földművekkel azonos rendeltetésű szerkezetekben használható.

**1. táblázat.** Vizsgált talajok – laboratóriumi tesztsorozat (Examined soils - laboratory tests)

Sorszám	Talaj megnevezése
1/1.	száraz homok [Sa]
1/2.	iszapos homok [siSa]
1/3.	homokos iszap [saSi]
1/4.	kövér agyag [Cl]
1/5.	fekete száraz pernye

A kísérletsorozatnál nyírodobozos és triaxiális vizsgálatokat végeztem. Minden mérési sorozat legalább 30 kísérletet tartalmazott, mely elegendő adatot biztosított az eredmények statisztikai elemzésére. A nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek meghatározása és statisztikai elemzése kiemelkedő jelentőségű, mert e jellemzők minden állékonysági feladat kiindulási adatai. A vizsgálatssorozatnál 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.

Saját méréseim mellett rendelkezésemre álltak a MAL gátak állékonyságvizsgálataihoz készített fúrési jegyzőkönyvek is. Ezek elemzéséből négy különböző talajréteghez sikerült kellő mérési eredményt társítanom, amely lehetővé tette a statisztikai értékelést.

**2. táblázat.** Vizsgált talajok – szakvéleményből (Examined soils - from soil reports)

Sorszám	Talaj megnevezése
2/1.	pernye
2/2.	agyagos, iszapos homok [clsiSa]
2/3.	kavics [Gr]
2/4.	kövér agyag [Cl]

## 4 EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A rendelkezésre álló eredményekből 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.

**3. táblázat.**  $C_v$  értékek az első mintacsoportra ( $C_v$  values for the first sample group)

Sorszám	Talaj megnevezése	$C_v$			
		$\tau_{100kN}$	$\tau_{200kN}$	$\varphi$	c
1/1.	száraz homok [Sa]	0,0455	0,0369	0,0686	0,1535
1/2.	iszapos homok [siSa]	0,0299	0,0310	0,0719	0,2568
1/3.	homokos iszap [saSi]	0,0364	0,0329	0,1055	0,2047
1/4.	kövér agyag [Cl]	0,1199	0,1048	0,3088	0,5211
1/5.	fekete száraz pernye	0,0780	0,0659	0,1194	(1,8644)

Az eredmények statisztikai értékelésének első lépése a hibás adatok kiszűrése. A kiugró értékek többféleképpen kezelhetők: a kiugró mérési eredményeket 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).

A fúrési jegyzőkönyvek adatai alapján is meghatározhatóak a variációs tényezők értékei, ezeket tartalmazza a 4. táblázat.

**4. táblázat.**  $C_v$  értékek a jegyzőkönyvi mintacsoportra ( $C_v$  values for the soil report samples)

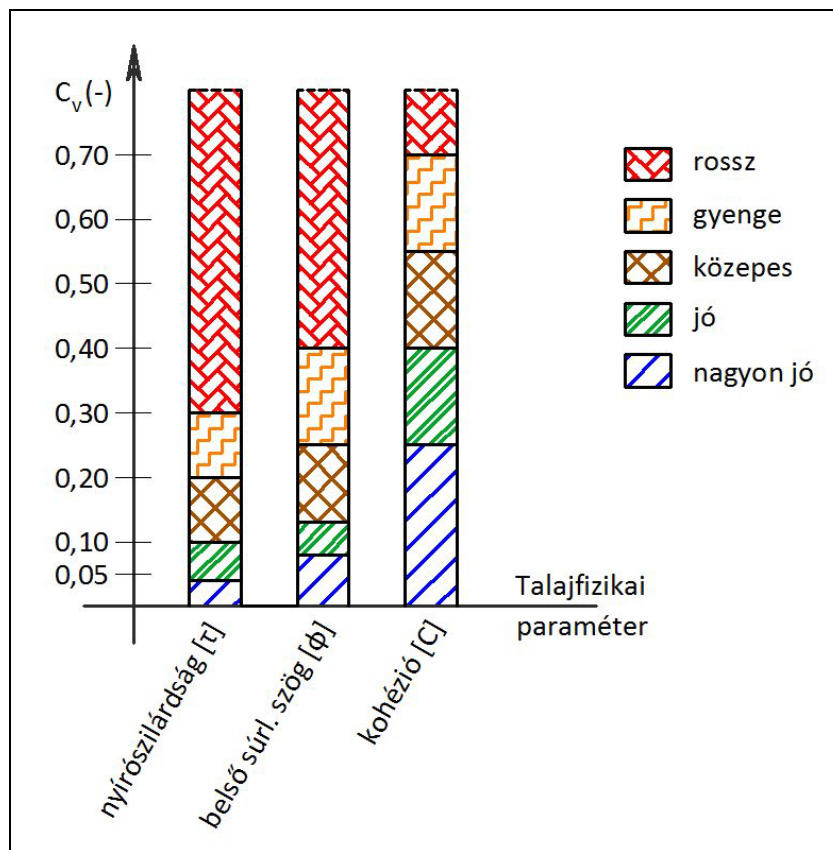
Sorszám	Talaj megnevezése	$C_v$	
		$\varphi$	c
2/1.	pernye	0,42	0,79
2/2.	agyagos, iszapos homok [clsiSa]	0,43	1,06
2/3.	kavics [Gr]	0,08	(3,46)
2/4.	kövér agyag [Cl]	0,72	0,57

A meghatározott variációs tényezőket több tényező befolyásolja. A statisztikai elemzésre készített mérési sorozat eredményei jóval jobban közelítik egymást minden paraméter esetében. Ez érthető, hiszen a vizsgálatra kerülő minták azonos helyről származtak és homogénnek tekinthetőek az akkurátus előkészítés miatt. Ezzel ellentétben, a MAL szakvéleményekben szereplő talajok ugyan azonos rétegekre bonthatóak, ám lehetséges, hogy egymástól nagy távolságból származnak és részletesebb vizsgálatnál különbségeket mutatnak.

A kapott értékekből és a szakirodalmi adatokból kitűnik, hogy nagy kihívás egy konkrét variációs tényezővel jellemezni egy adott talajfizikai paramétert. A gyakorlati alkalmazások mégis megkívánnak olyan ajánlásokat a variációs tényezőre, amelyek segítségével egyszerűen számíthatóak a karakterisztikus értékek. A rendelkezésemre álló adathalmazból állítottam össze egy demonstrációs ábrát (3. ábra), amely intervallumokra bontva jellemzi egy nyírószilárdsági paraméter variációs tényezőjének a jó-ságát. Az intervallumok határait az 5. táblázat tartalmazza.

**5. táblázat.** Ajánlott intervallumok a variációs tényező értékére (Intervals of coefficient of variation for shear strength, angle of friction and cohesion)

Besorolás	$C_v$		
	$\tau$	$\varphi$	c
nagyon jó	0,000-0,040	0,000-0,080	0,000-0,250
jó	0,041-0,100	0,081-0,130	0,251-0,400
közepes	0,101-0,200	0,131-0,250	0,401-0,550
gyenge	0,201-0,300	0,251-0,400	0,551-0,700
rossz	0,301-	0,401-	0,701-



3. ábra. Ajánlott intervallumok a variációs tényező értékeire (Intervals for coefficient of variations)

## 5 MEGÁLLAPÍTÁSOK

A következő megállapítások tehetőek a nyírószilárdsági paraméterek megbízhatóságával és a variációs tényezővel kapcsolatban a mérési eredményekből kiegészítve a szakirodalmi adatokkal:

1. A meghatározott variációs tényező értékek összhangban vannak a nemzetközi mérési eredményekkel.
2. A nyírószilárdsághoz tartozó variációs tényező értékek alacsonyabbak, mint a belső súrlódási szögé. A talajok kohéziójához tartozó variációs tényezők a legmagasabbak.
3. A variációs tényező értéke mindkét nyírószilárdsági paraméter esetén a kötött talajok irányába nő.
4. Ha a nyírószilárdság ( $\tau$ ) helyett annak paramétereivel, azaz a belső súrlódási szöggel és a kohézióval számolunk, akkor többlet bizonytalanságot viszünk számításainkba.
5. A statisztikai értékelésre készített vizsgálatsorozatból kapott variációs tényező értékek jóval a szakvéleményekből gyűjtött adatok alapján számolt értékek alatt maradnak.
6. Szemcsés talajok belső súrlódási szöge nagy biztonsággal megállapítható alacsony kísérletszámból is.
7. A felmerülő igényekhez igazodóan adhatóak ajánlások a talajparaméterek variációs tényezőire, ám javasolt a talajféleségnek megfelelő további pontosítás.
8. A nyírószilárdsági paraméterekhez rendelt variációs tényezőnek differenciált kezelése fontos a biztonság és gazdaságosság ellentétes követelményeinek kielégítésénél (Takács 2008).

## IRODALOMJEGYZÉK

- Bond A., Harris A. 2008: *Decoding EuroCode 7*. Taylor & Francis, London and New York, 151-153.  
 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.  
 Nagy L.: Árvízi kockázat az árvízvédelmi gát tönkremenete alapján, PhD értekezés, 2006.

- Nagy L. 2008: Hydraulic failure probability of a dike cross section, *Periodica Polytechnica, Civil Engineering*, **52**(2): 83-89.
- Olsi Koreta, Erdi Myftaraga, 2013. Selection of characteristic values from cone penetration test, Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference, Paris, 375-378.
- Rétháti L. 1985: Valószínűségelméleti megoldások a geotechnikában. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Schneider, H. R. 1997: *Definition and determination of characteristic soil parameters*. Proc. of the 14th Int. Conf. on Geotechnical and Foundation Engineering, Hamburg, 2271–2277.
- Schultze E. 1975: Frequency Distributions and Correlations of Soil Properties. Proceedings of the 1st. 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? *Mély-építő Tükörkép Magazin*, 5. szám.
- Weber E.; Gehrisch M. 1980: Ein Beitrag zur Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten für homogene Lockergesteinsböschungen. Proc. of the 6th Danube-European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Section 3, Varna.