



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola

**Talajok statisztikai paramétereinek vizsgálata a
geotechnikai tervezésben**

Kádár István

okl. építőmérnök

Ph.D. értekezés tézisei

Tudományos vezető:

Dr. Nagy László

egyetemi docens

Budapest, 2018.

1. BEVEZETÉS

A geotechnikai tervezés által szolgáltatott eredmények megbízhatósága elsősorban a számításban felhasznált kiindulási talajjellemzők függvénye. Ezen paraméterek meghatározása a geotechnikai tervezés egyik kritikus kérdése. A természetes talajok – főleg a mesterséges építőanyagokhoz viszonyítva – meglehetősen heterogének. A talajjellemzők még kis területen belül is pontról-pontra eltérhetnek, jelentős szórásuk van egy-egy homogénnek tekinthető rétegen belül.

A valószínűségi számítások alapján álló alkalmazások az Eurocode 7 szabvány elterjedésével nagyobb hangsúlyt kapnak a geotechnikában. Az ún. megbízhatósági elven történő méretezésnél lényegi kérdés, hogy az egyes talajfizikai jellemzőket az elérhető legnagyobb pontossággal és biztonsággal ismerjük. Ehhez kísérleteket, kísérletsorozatokat végzünk és a statisztika eszközeivel a tervezés alapjául szolgáló karakterisztikus értékeket állapítunk meg. A különböző volumenű feladatoknál a rendelkezésre álló adatok mennyisége eltérő. Kisebb tervezési munkánál, nagy ipari beruházásnál, irányított laboratóriumi kísérletsorozatnál eltérő az adathalmaz, amely elemzésre kerül. Ez alapján célszerű megválasztani a statisztikai feldolgozás mértékét és meghatározni a jellemzőkben rejlő elfogadható bizonytalanságot.

A legtöbb geotechnikai probléma szempontjából a talajok egyik legfontosabb jellemzője a nyírószilárdság, illetve a nyírószilárdsági paraméterek értékei, melyek nagyságát összetett természeti törvények határozzák meg. Ismeretük a legtöbb geotechnikai feladatnál nélkülözhetetlen. A tervezés és ellenőrzés szempontjából nem mindegy, hogy hány vizsgálatot végzünk, milyen a keresett jellemző átlagértéke és szórása. Egyes esetekben azonban még fontosabb, hogy mekkora az átlagértékhez tartozó szórás aránya, a variációs tényező, amivel jól jellemezhetjük a talajjellemző megbízhatóságát, meghatározhatóságának pontosságát. A variációs tényező (relatív szórás) nagy szerepet játszik a talajjellemzők statisztikai értékelése és a geotechnikai feladatok megoldása során. Ez a stabilizálódási hajlamon túlmenően azzal is magyarázható, hogy számszerű értéke ugyanazon a talajrétegen belül talajjellemzőnként más és más. A Föld különböző pontjain végzett vizsgálatok azt bizonyítják, hogy az ugyanazon jellemzőre kapott variációs tényezők viszonylag szűk tartományon belül mozognak. A nyírószilárdsági paraméterek meghatározásának pontossága alapvető kihatással van a karakterisztikus érték meghatározására, ami pedig befolyásolja a vizsgált szerkezet gazdaságosságát. Nem elégedhetünk meg kevés számú méréssel, mert ez negatív hatást gyakorol a tervezett mű biztonságára. A túl sok mérés gazdaságtalanná teszi a tervezést. Ennek a problémának a feloldásához nyújt segítséget a nyírószilárdsági paraméterek variációs tényezőjének pontosabb ismerete.

A tervezés bemenő paramétereinek változékonysága ismeretében lehetséges részletes számításokat végezni. A műszaki létesítmények oldaláról kutatásom során síkalapozások teherbírásának és árvízvédelmi gátak állékonyságának számításával foglalkoztam megbízhatósági alapon. A geotechnika fejlődése során különböző biztonsági megfontolások alakultak ki, terjedtek el. Az egyre szofisztikáltabb biztonsági ideológiák megfogalmazása az elméleti síkon történő megközelítés fejlődését követi le. Már a mérnöki társadalom számára sem követhető, hogy az újabb biztonsági elméletek alapján milyen irányban és mértékben változik az abszolút biztonság. Ennek elemzéséhez nyújt segítséget a különböző szabványok és módszerek biztonsági szintjének összehasonlítása a tönkremeneteli valószínűségek alapján. Kutatásomban hangsúlyt fektettem a különböző jellemzők eloszlásának vizsgálatára is, amely hiszem, hogy egyre inkább rutinszerű feladattá fog válni az informatikai háttér és a komoly statisztikai apparátust kínáló, mérnökök számára is felhasználóbarát szoftverek terjedésével.

2. A DISSZERTÁCIÓ CÉLKITŰZÉSEI ÉS FELÉPÍTÉSE

2.1. A VÁLASZTOTT TÉMA INDOKLÁSA ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Magyarországon az építőmérnöki tervezésben, azon belül is a geotechnika területén a valószínűségelméleti megoldások használata alulértékelt, kevesebb kutatás foglalkozik velük. A valószínűségi elméletek ismerete és alkalmazása az MSZ EN 1997-1:2006 szabvány (röviden: Eurocode 7) 2006. december 1-jei bevezetésével nagyobb hangsúlyt kapott a geotechnikában. Az ún. megbízhatósági elven történő méretezésnél lényegi kérdés, hogy az egyes talajfizikai jellemzőket minél nagyobb pontossággal és biztonsággal ismerjük. Ehhez kísérleteket, kísérletsorozatokat végzünk és a statisztika eszközeivel a tervezési feladatok alapjául szolgáló karakterisztikus értékeket állapítunk meg. Ennek érdekében a rendelkezésre álló adatok statisztikai feldolgozása és értékelése szükséges. A különböző feladatoknál a rendelkezésre álló adatok mennyisége jelentősen eltérhet. Kisebb tervezési munkáknál, nagy ipari beruházásnál vagy irányított laboratóriumi kísérletsorozatnál eltérő az az adathalmaz, amelyet statisztikailag elemezve karakterisztikus értékeket lehet megállapítani.

A tönkremeneteli valószínűség bemenő paraméter a kockázatszámításhoz. Tönkremeneteli valószínűség számítással egy rendszert tudunk jellemzeni, míg a determinisztikus biztonsági tényezővel csupán a rendszer egyes elemeit. Az így elvégzett számítások segítségével a különböző műszaki létesítmények biztonságát össze tudjuk hasonlítani a természeti jelenségek előfordulási valószínűségével.

2.2. AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE

Az értekezésben a bevezető és a módszertant taglaló fejezetek után négy, a statisztikai feldolgozást és a statisztikai adatokra épülő számítást mutatók be önálló fejezetekben:

- talajfizikai paraméterek variációs tényezői és új osztályozási módszer ajánlása, illetve adott variációs tényező intervallumok lehetséges határai;
- tönkremeneteli valószínűség számítása árvízvédelmi gát példáján, illetve az Eurocode 7 és MSZ 15292:1997 szabványok biztonsági szintjének összehasonlítása;
- tönkremeneteli valószínűség számítása alaptestek teherbírása esetén, illetve az Eurocode 7, MSZ 15004-89/2.3.1 szabványok és Brinch Hansen, illetve Meyerhof módszere alapján számított biztonsági szintek összehasonlítása;
- egyes talajfizikai paraméterek eloszlásának vizsgálata és az alkalmazott eloszlásfüggvény hatása a karakterisztikus értékre.

3. A VIZSGÁLT ADATHALMAZOK ÉS ALKALMAZOTT MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

A disszertációban bemutatott eredmények alapvetően három nagyméretű adathalmaz alapján kerültek megállapításra. Ezek az adathalmazok a saját laboratóriumi kísérletsorozat, az ajkai mintacsoport és a paksi mintacsoport.

A laboratóriumi kutatás keretében ötféle talajon (homok, agyagos homok, homokos iszapos agyag, kövér agyag és pernye) végeztem közvetlen nyíróvizsgálatot, kétféle függőleges terhelés mellett. A célzott kísérletsorozatban mindegyik talajminta és terhelés esetében legalább harminc mérést végeztem, ami összesen ~300 db vizsgálatot jelent.

Az ajkai mintacsoportoz tartoznak a vörösiszapot tároló pernye anyagú gátak és a gátak altalajának vizsgálatok végzett nyírószilárdsági kísérletek eredményei. Összesen négyféle talaj (kavics, agyagos iszapos homok, kövér agyag és pernye) ~60 db nyíródobozos kísérlete tartozik az adathalmazba.

A paksi mintacsoport 39 db fúrásnak a laboratóriumi eredményeit és 39 db CPT szondázást foglal magában. A laboratóriumi vizsgálatok 5192 mérést jelentenek, amelyek közül jelen munkában a nyírószilárdsági vizsgálatokra fókuszáltam. Statisztikai elemzésre alkalmas mennyiségű nyírószilárdsági vizsgálat a futóhomok és öntéshomok rétegekben készült (elsősorban közvetlen nyírás, de háromtengelyű nyomóvizsgálat is). A CPT szondázási eredmények vizsgálatát is elsősorban erre a két rétegre vonatkoztatom, kiegészítve a kavics

rétegbe eső mérések vizsgálatával. A szondázások figyelembe vett összhossza 1338 fm, minimális hossza 23,0 m, maximális hossza 40,2 m volt. Az átlagos szondázási hossz 34,3 m volt.

Az adathalmazok feldolgozása során alapvetően a Microsoft Excel program, kiegészülve a @RISK statisztikai és szimulációs bővítménnyel volt segítségemre. Az árvízvédelmi gátak rézsúállékonyságának vizsgálatát a GeoStudio 7.10. GeoSlope moduljának és a Plaxis programnak a használatával végeztem el. Síkalapok tönkremenetelét Monte Carlo szimulációval számoltam @RISK környezetben.

A variációs tényező vizsgálatával egy-egy talajjellemzőre vonatkozóan kiemelten foglalkozom a disszertációban. A variációs tényező (C_v)¹ a szórás (s) és az átlag (\bar{x}) hányadosa:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Ha az adathalmazból vett mintákat folyamatosan megvizsgáljuk, majd egy tetszőleges k mintaszám elérése után kiszámítjuk az addig kapott $k, k+1, k+2, \dots$ mérési eredmény átlagát és szórását, azt tapasztaljuk, hogy az ezek hányadosából képzett C_v értékek egyre kisebb ingadozást mutatnak. Ezt stabilizálódási hajlamnak nevezzük. A variációs tényező segítségével a szóban forgó fizikai jellemző várható szórásáról már a feltárások, illetve a laboratóriumi vizsgálatok megkezdése előtt megbízható adatok állnak rendelkezésünkre.

A talajjellemzők eloszlásának vizsgálatánál a Pearson-rendszerbe való besoroláson kívül Kolmogorov-Szmirnov-próba segítségével végeztem illeszkedésvizsgálatot.

¹ Elterjedt jelölése a COV és v_x is

4. TÉZISEK

1. TÉZIS

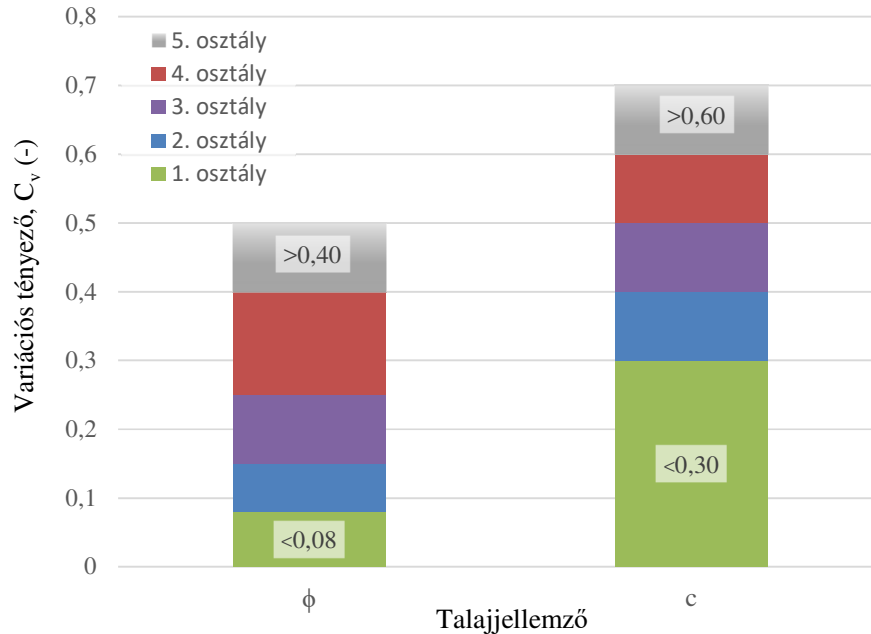
A variációs tényező jó indikatív mérőszám a talajok tulajdonságainak meghatározásánál. A talajok különböző jellemzőire nem adható meg egyetlen variációs tényező. Ugyanakkor a különböző talajok ugyanazon talajjellemzője sem minősíthető egy variációs tényezővel.

Saját méréseim és hazai, valamint nemzetközi szakirodalmi adatok alapján 5 db minőségi osztályt definiáltam a nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek meghatározhatóságának pontosságára, különböző talajok esetén.

Ilyen minőségi osztályokat mutat be az 1. táblázat és a hozzá tartozó 1. ábra. Ezek alapján például homok talaj esetén a variációs tényező 0,08 érték alatt 1. osztályúnak, [0,08-0,15[intervallumon 2. osztályúnak, [0,15-0,25[intervallumon 3. osztályúnak, [0,25-0,40[intervallumon 4. osztályúnak, míg 0,40 vagy annál nagyobb érték esetén 5. osztályúnak minősül.

Osztály	$C_v(\varphi)$	$C_v(c)$
1. osztály	$< 0,08$	$< 0,3$
2. osztály	$[0,08-0,15[$	$[0,30-0,40[$
3. osztály	$[0,15-0,25[$	$[0,40-0,50[$
4. osztály	$[0,25-0,40[$	$[0,50-0,60[$
5. osztály	$0,40 \leq$	$0,60 \leq$

1. táblázat. Ajánlott variációs tényező intervallumok belső súrlódási szög és kohézió esetén



1. ábra. Ajánlott variációs tényező intervallumok belső súrlódási szög és kohézió esetén

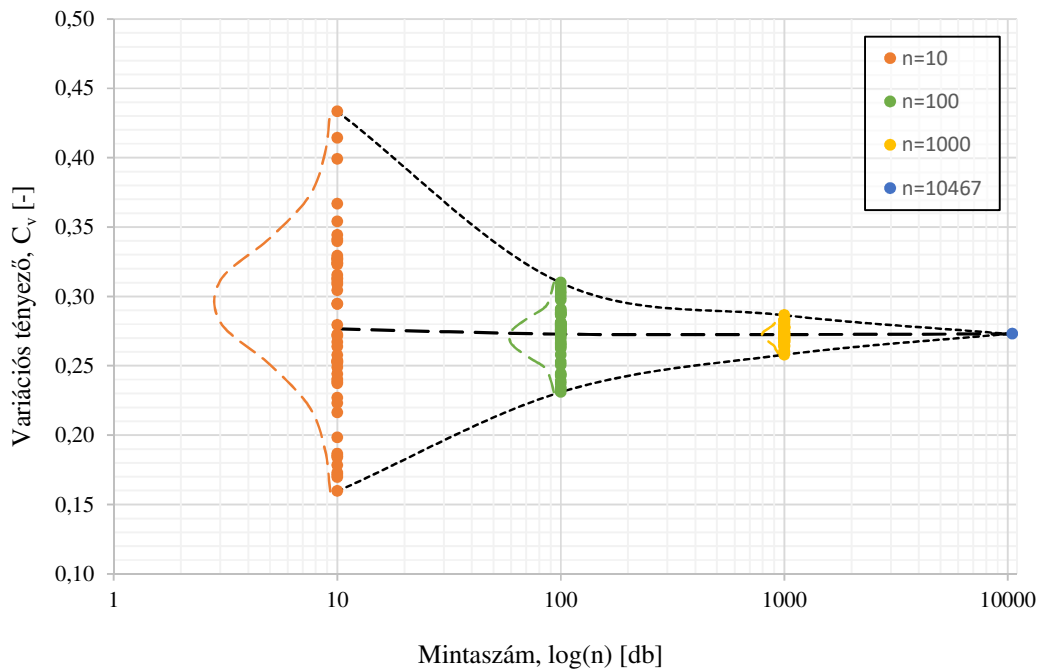
Az 1. tézishez kapcsolódó publikációk: Kádár I., Nagy L., Takács A. (2010a), Kádár I. (2013), Kádár I. (2014).

2. TÉZIS

A kísérleti elemszám növelésével kapcsolatban vizsgáltam a variációs tényező változását.

CPT szondázási eredményekből megállapítottam, hogy az egyes talajjellemzőkre végzett mérések elemszámának minden észszerű határon túli növelése sem eredményezi a variációs tényező nullához történő konvergálását, de a konvergencia kialakul. Azt az értéket, amelyikhez a talajjellemző variációs tényezője az elemszám növelésével konvergál a vizsgált talaj adott elemszámához tartozó alap-bizonytalanságának neveztem el.

A tézis jól szemléltethető statikus nyomószondázási eredmények példáján, köszönhetően a rendelkezésre álló nagyméretű adathalmaznak. A 2. ábrán statikus nyomószondázás öntéshomok rétegben mért csúcscellenállás értékeinek különböző mintaszámok ($n = 10$ db, $n = 100$ db, $n = 1000$ db, $n = 10467$ db) alapján meghatározott variációs tényezői láthatók (további talajokhoz tartozó értékek a 2. táblázatban láthatók). Az egyes mintaszámokhoz tartozó pontok a teljes adathalmazból (öntéshomoknál $n = 10467$ db) véletlenszerűen választott n -elemű részhalmazok variációs tényezői.



2. ábra. Öntéshomok talaj CPT csúcscellenállásának ($n = 10467$ db) variációs tényezői különböző mintaszámok esetén (mintaszámonként 50 db részhalmaz)

Talaj	Mintaszám (db)	Variációs tényezővel kifejezett alap-bizonytalanság
Futóhomok	9195	0,318
Öntéshomok	10467	0,273
Kavics	18709	0,441

2. táblázat. Variációs tényező alap-bizonytalansága különböző talajok CPT csúcscellenállásaihoz tartozóan

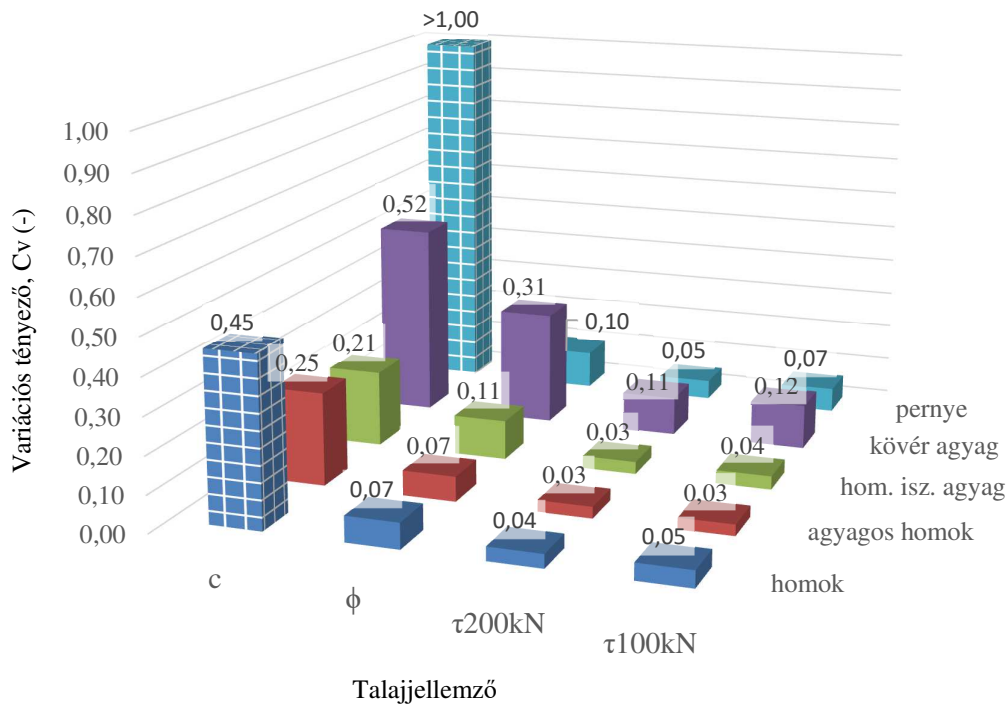
A 2. tézishoz kapcsolódó publikáció: Kádár I., Nagy L. (2016).

3. TÉZIS

Nyírószilárdság meghatározást végeztem homok, agyagos homok, homokos iszapos agyag, kövér agyag és pernye mintákon (3. ábra). A vizsgálatok kétféle terhelés mellett, közvetlen nyírással készültek.

Nagyszámú laboratóriumi kísérletet végeztem közvetlen nyíróvizsgálattal a nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek meghatározására, melyek eredményeiből megállapítottam, hogy a nyírószilárdság (τ) variációs tényezője kisebb, mint az ugyanazon vizsgálatokból származtatott belső súrlódási szög (ϕ) és kohézió (c) értékének variációs tényezője.

Ez azt jelenti, hogy a vizsgálati eredmények feldolgozásának módszerével többlet bizonytalanságot állítunk elő. Azt javaslom, hogy amennyiben lehetséges, akkor a nyírószilárdsági értékeket használjuk a további számításokhoz, ne a többlet hibával terhelt nyírószilárdsági paramétereket.



3. ábra. Nyírószilárdság és nyírószilárdsági paraméterek variációs tényezői különböző talajok esetén

A 3. tézishez kapcsolódó publikációk: Kádár I., Nagy L. (2010a), Kádár I., Nagy L., Takács A. (2010b), Kádár I., Nagy L. (2012a), Kádár I., Nagy L. (2012b), Kádár I., Nagy L. (2014).

4. TÉZIS

A hagyományos biztonsági tényezővel kifejezett rézsúállékonyság nem fejezi ki pontosan a megbízhatóságot. Az *MSZ 15292:1997* és *MSZ EN 1997-1:2006* szabványokban az előírt biztonsági (parciális) tényezők mellett a számítás kiindulási paraméterei is eltérnek (3. táblázat). Ebből következik, hogy a két szabvány determinisztikus módon számolt biztonsági tényezői nem mutatják azt, hogy melyik szabvány nyújt nagyobb biztonságot. Mindkét szabvány előírt peremfeltételei alapján elvégeztem a tönkremeneteli valószínűség meghatározását.

Árvízvédelmi gátak rézsúállékonyságát vizsgálva megállapítottam, hogy a különböző szabványok által szolgáltatott biztonsági szintek összehasonlítása a tönkremeneteli valószínűség számításával lehetséges.

A számítási példa azt mutatta, hogy az *MSZ 15292:1997* szabvány adja a magasabb biztonsági szintet ($P_f = 0,0056$ MÁSZ esetére). Az *MSZ EN 1997-1:2006* szabvány alapján végzett számításokhoz magasabb tönkremeneteli valószínűség tartozik ($P_f = 0,0252$ MÁSZ esetére). Az arány nem változik a koronaszinttel megegyező vízszint esetén. Az *MSZ EN 1997-1:2006* szabvány nemzetközi előírásában szereplő biztonsági tényező (1,25) és a *Magyar Nemzeti Mellékletben* foglalt biztonsági tényező (1,35) eltérnek. Az 1,25-ös biztonsági tényező mellett $P_f = 0,0825$ a számított tönkremeneteli valószínűség.

Szabvány	Biztonsági tényező		Kiindulási érték
	MÁSZ esetén	koronaszinttel megegyező vízállásra	
MSZ 15292:1997	1,50	1,30	átlagérték
MSZ EN 1997-1:2006 (EU)	1,25	1,25	karakterisztikus érték
MSZ EN 1997-1:2006 (HU)	1,35	1,35	karakterisztikus érték

3. táblázat. Különböző szabványok által előírt biztonsági tényezők, számítás kiindulási értékei

A 4. tézishez kapcsolódó publikációk: Kádár I., Nagy L. (2015a), Kádár I., Nagy L. (2015b), Kádár I., Nagy L. (2017a).

5. TÉZIS

Síkalapok teherbírásának meghatározására négy számítási módszert vizsgáltam (Meyerhof, Brinch Hansen, MSZ 15004-89/2.3.1, MSZ EN 1997-1:2006. Meyerhof módszerénél a teherbírási tényezők származtatása grafikonról történt, nem álltak rendelkezésre zárt képletek.

Síkalapok teherbírásának vizsgálatával kapcsolatban megállapítottam, hogy a különböző számítási eljárásoknál a biztonsági szintek a tönkremeneteli valószínűség számításával hasonlíthatók össze.

A számítási eredmények (4-5. táblázatok) jelentős eltéréseket mutatnak, nemcsak a számítási eljárások, hanem annak függvényében is, hogy melyik nyírószilárdsági paramétert tekintjük valószínűségi változónak. A legmagasabb tönkremeneteli valószínűséget minden esetben az MSZ EN 1997-1:2006 szabvány alapján végzett számítás adja.

Számítási eljárás	Valószínűségi változó		
	φ	c	φ és c
MSZ EN 1997-1:2006	1,824%	0,018%	3,358%
MSZ 15004-89/2.3.1	0,074%	≈ 0	0,247%
Brinch Hansen	0,524%	≈ 0	1,131%
Meyerhof	2,020%	≈ 0	3,060%

4. táblázat. Tönkremeneteli valószínűség értékei (iszapos homok talaj; 500 000 db szimuláció)

Számítási eljárás	Valószínűségi változó		
	φ	c	φ és c
MSZ EN 1997-1:2006	0,226%	0,512%	2,459%
MSZ 15004-89/2.3.1	0,204%	0,009%	0,484%
Brinch Hansen	0,135%	0,111%	1,238%
Meyerhof	≈ 0	0,033%	1,180%

5. táblázat. Tönkremeneteli valószínűség értékei (közepes agyag talaj; 500 000 db szimuláció)

Az 5. tézishez kapcsolódó publikációk: Kádár I., Nagy L. (2010b), Kádár I., Nagy L., Nagy R. (2016).

6. TÉZIS

A CPT szondázási eredmények (csúcscellenállás és súrlódási arányszám) eloszlásának vizsgálata kimutatta, hogy a normális eloszlás feltételezése az esetek nagy részében nem helytálló. Az Eurocode 7 a karakterisztikus érték származtatását az átlagértékhez köti. A vizsgált esetek mintegy háromnegyedében a lognormális eloszlásfüggvény a mintahalmaz leírására az illeszkedésvizsgálat szerint jobb közelítést ad. Lognormális eloszlás esetén az átlagérték és a módusz jelentősen eltérhet egymástól (T4 ábra). A lognormális eloszlás módusza pontosabb közelítést adja a várható értéknek, mint a normális eloszlás átlaga (T6. ábra).

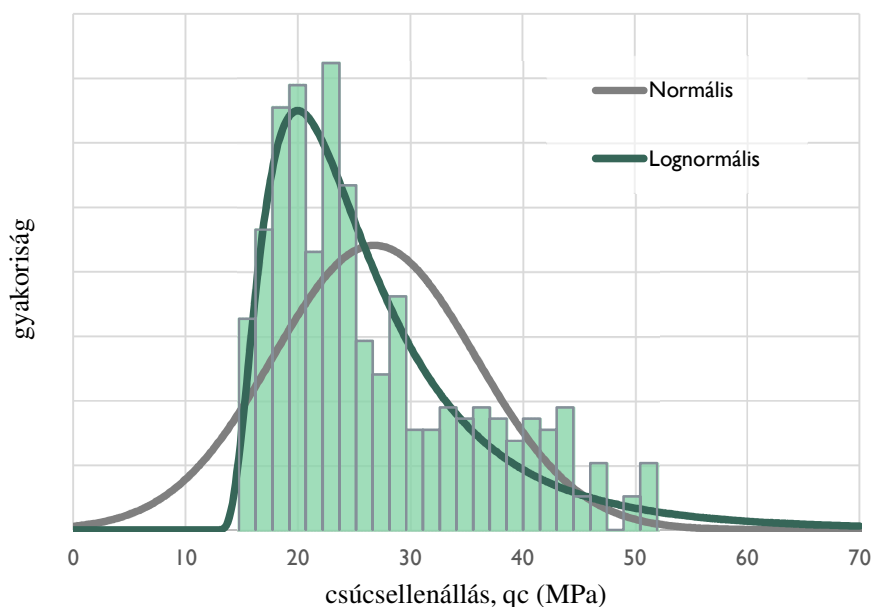
CPT szondázási eredmények értékelésénél lognormális eloszlás esetén a karakterisztikus értéket az alábbi egyenlet alapján javaslom meghatározni:

$$X_k = e^{\mu - \sigma^2} \cdot (1 - k \cdot \sigma)$$

ahol X_k jelöli a karakterisztikus értéket, μ az átlagértéket, σ a szórást. k értéke a 6. táblázat szerint vehető fel.

Feltétel	k
$1,36 \cdot \sqrt{n} > D_n^{0,05}$	0
$1,36 \cdot \sqrt{n} < D_n^{0,05}$	0,1

6. táblázat. A k tényező figyelembe vehető értéke a karakterisztikus érték számításához ($D_n^{0,05}$ a Kolmogorov–Szmirnov-próba eredménye 95%-os konfidenciaszinten; n jelöli a vizsgálati elemszámot)



4. ábra. Példa mért CPT csúcscellenállás értékek közelítése Normális és Lognormális eloszlás illesztésével, sűrűségfüggvényként ábrázolva

A 6. tézishez kapcsolódó publikációk: Kádár I., Nagy L. (2017b), Kádár I., Nagy L. (2018a), Kádár I., Nagy L. (2018b)

5. HASZNOSÍTHATÓSÁG, JÖVŐBELI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A dolgozatban nagyszámú laboratóriumi és in-situ vizsgálat eredményét foglaltam össze, mely a témát kutatók számára hasznos adatbankként szolgálhat a jövőben. Kifejezetten fontosnak tartom a gyakorlat szempontjából a meghatározott variációs tényezőket.

A definiált minőségi osztályok a további kutatásokban kiterjeszthetők további talajjellemzőkre és az Eurocode szabványban foglalt geotechnikai kategóriákhoz, az épületek fontossági kategóriáihoz, valamint tönkremenetekhez tartozó károkhoz is rendelhetők. A geotechnikai kategóriákhoz előírt variációs tényező kritériumként és egyben ellenőrzésként szolgálhat annak eldöntésére, hogy megfelelő részletezettségűek-e a feltárások és az elvégzett laboratóriumi kísérletek.

Továbbfejlesztési lehetőség a talajjellemzőkben rejlő bizonytalanságok összetevőkre bontása és ezen tényezők hatásának numerikus meghatározása. A mérési módszerekből, a mérőeszközökből, a személyzetből, a mintavételből vagy a talaj saját anyagából stb. eredő hibák összesítése a hibaterjedés törvénye alapján szuperponálódik, és az eredő adja az alap-bizonytalanságot.

A számítási módszerekben előrelépést hozhat a belső súrlódási szög és a kohézió közötti korreláció figyelembevétele. A két nyírószilárdsági paraméter együttes kezelése egyben csökkentheti a nyírószilárdsághoz viszonyított külön-külön rájuk jellemző magasabb variációs tényezőt. Ez egyben jelentheti azt is, hogy a meglévő számítási módszereink (pl. részűállékonysági biztonság, alapok törőteherbírása) és azok képletrendszere felülvizsgálandók. A bemutatott megbízhatóságon alapuló számításokban a rendelkezésre álló determinisztikus képleteket alkalmaztam, bennük az egyes geotechnikai paramétereket valószínűségi változóként kezelve. Ez a szemi-probabilisztikus megközelítés kiterjeszhető olyan módon, hogy együttesen vegye figyelembe az altalajjal, az alapozással és a felszerkezettel kapcsolatos bizonytalanságokat azok egymásra hatásával együtt.

A talajjellemzőket leíró egyes eloszlásfüggvények vizsgálatával kapcsolatosan hiszem, hogy egyre inkább rutinszerű feladattá fog válni az informatikai háttér és a komoly statisztikai apparátust kínáló, mérnökök számára is felhasználóbarát szoftverek terjedésével.

PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISPONTJAIHOZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

- Kádár I. (2013):** Some characteristic values of the stability analysis of MAL dams. Proceedings of the Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2013.06.17-2013.06.18., pp. 100-104.
- Kádár I. (2014):** Talajmechanikai paraméterek meghatározása a matematikai statisztika eszközeivel. XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Csíksomlyó, Románia, 2014.06.12-2014.06.15., pp. 137-140.
- Kádár I., Nagy L. (2010a):** Determination of the Statistical Analysis of Shear Strength and Shear Strength Parameters. Proceedings of the XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering. Konferencia helye, ideje: Bratislava, Szlovákia, 2010.06.02-2010.06.04. Bratislava: Slovak University of Technology. ISBN:978 80 227 3279 6, pp. 1-7.
- Kádár I., Nagy L. (2010b):** Alapadatok az Eurocode 7 alkalmazásához: A nyírószilárdság statisztikai paraméterei. Mélyépítő Tükörkép Magazin, 2010: (október) pp. 46-47.
- Kádár I., Nagy L. (2012a):** Talajfizikai jellemzők változékonyságának jellemzése a műszaki ellenőrzés szempontjából. Műszaki Ellenőr Magazin, 2012: (május) pp. 38-40.
- Kádár I., Nagy L. (2012b):** Hogyan vegyük figyelembe a különböző talajok nyírószilárdsági paramétereit? Magyar Hidrológiai Társaság, XXX. Országos Vándorgyűlés. Konferencia helye, ideje: Kaposvár, Magyarország, 2012.07.04-2012.07.06. ISBN:978-963-8172-29-7, pp. 1-10.
- Kádár I., Nagy L. (2014):** Tanulságok a nyírószilárdsági paraméterek statisztikai értékeléséből. Geotechnika 2014 Konferencia. Konferencia helye, ideje: Ráckeve, Magyarország, 2014.10.13-2014.10.15. ISBN:978-615-80006-2-8. 8 p.
- Kádár I., Nagy L. (2015a):** Evaluation and Application of Characteristic Values Based on Eurocode 7 Design Methodology. Geotechnical Safety and Risk V. Konferencia helye, ideje: Rotterdam, Hollandia, 2015.10.13-2015.10.16. ISBN:978-1-61499-579-1, pp. 492-496. DOI: [10.3233/978-1-61499-580-7-496](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-580-7-496).
- Kádár I., Nagy L. (2015b):** The Statistical Analysis of Hydrological Disasters. Geotechnical Safety and Risk V. Konferencia helye, ideje: Rotterdam, Hollandia, 2015.10.13-2015.10.16. ISBN:978-1-61499-579-1, pp. 499-504. DOI: [10.3233/978-1-61499-580-7-503](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-580-7-503).
- Kádár I., Nagy L. (2016):** Geotechnikai vizsgálatok minimálisan szükséges számának meghatározása. Műszaki Ellenőr Magazin V.:(4.) p. 42. 4 p.
- Kádár I., Nagy L. (2017a):** Comparison of different standards based on computing the probability of failure of flood protection dikes. PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 61:(1) pp. 146-153. DOI: [10.3311/PPci.9501](https://doi.org/10.3311/PPci.9501).
- Kádár I., Nagy L. (2017b):** The examination of different soil parameters' coefficient of variation values and types of distributions. Proceedings of the 6th INTERNATIONAL YOUNG GEOTECHNICAL ENGINEERS' CONFERENCE. Konferencia helye, ideje: Seoul, Dél-Korea, 2017.09.16-2017.09.17. pp. 98.
- Kádár I., Nagy L. (2018a):** Comparison of determination of oedometric modulus based on CPT and laboratory testing in case of pleistocene sand layers. Proceedings of XVI. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering: Geotechnical Hazards and Risks. DOI: [10.1002/cepa.749](https://doi.org/10.1002/cepa.749).

- Kádár I., Nagy L. (2018b):** CPT szondázási eredmények értékelése különböző eloszlások figyelembevételével. Műszaki Ellenőr Magazin (elfogadva, megjelenés alatt).
- Kádár I., Nagy L., Nagy R. (2016):** Síkalapok teherbírásának megbízhatósági vizsgálata. Geotechnika 2016 Konferencia. Konferencia helye, ideje: Ráckeve, Magyarország, 2016.10.10-2016.10.12., 13 p.
- Kádár I., Nagy L., Takács A. (2010a):** Talajok nyírószilárdságának statisztikai értékelése. Mérnökgeológia - Kőzetmechanika 2010 Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2010.03.25. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2010. pp. 107-112. ISBN:978-963-313-001-8.
- Kádár I., Nagy L., Takács A. (2010b):** A nyírószilárdság karakterisztikus értékének statisztikai meghatározása. Geotechnika 2010 Konferencia. Konferencia helye, ideje: Ráckeve, Magyarország, 2010.10.26-2010.10.27. ISBN:978-963-89016-0-6, 7 p.

EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

- Bán Z., Kádár I., Nagy G. (2015a):** Malajzia multifunkcionális alagútja, a SMART. Mérnök Újság XXII.:(12) p. 28. 4 p.
- Bán Z., Kádár I., Nagy G. (2015b):** Malajzia "okos" alagútja: a SMART, Műszaki Ellenőr Magazin IV:(11) pp. 43-46.
- Berinkei O., Kádár I. (2013):** Mobil árvízvédekezés. Magyar Építőipar 63:(5) pp. 213-219.
- Ivicsics F., Horkai A., Kádár I., Nagy L., Nagy M., Nagy Z., Vona M. (2016):** Mobil árvízvédelmi falak minősítése. Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., 169 p.
- Kádár I. (2009):** A nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek statisztikai jellemzése. BME Építőmérnöki Kar TDK, Építőanyagok és geotechnika szekció, pp. 1-41.
- Kádár I. (2011):** A nyírószilárdság és a nyírószilárdsági paraméterek statisztikai jellemzése (absztrakt). XXX. OTDK Műszaki Tudományi Szekció Kiadványa, ISBN: 978-963-720-85-5. Konferencia helye és ideje: Baja, Magyarország, 2011.04.27-2011.04.29.
- Kádár I. (2015):** Mobile Flood Protection Walls. POLLACK PERIODICA: An International Journal For Engineering and Information Sciences 10:(1) pp. 133-142. DOI: [10.1556/Pollack.10.2015.1.13](https://doi.org/10.1556/Pollack.10.2015.1.13).
- Kádár I., Mahler A., Móczár B., Takács A. (2015a):** Kötött talajok szilárdsági és alakváltozási jellemzőinek statisztikai értékelése. XIX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia: ÉPKO 2015. Konferencia helye, ideje: Csíksomlyó, Románia, 2015.06.04-2015.06.07., pp. 89-92.
- Kádár I., Mahler A., Móczár B., Takács A. (2015b):** Gyöngyös környéki agyagok szilárdsági és alakváltozási paraméterei karakterisztikus értékeinek meghatározása. 4. Kézdi Árpád Emlékkonferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.05.21. Budapest: BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék. ISBN:978-963-313-180-0, pp. 115-122.
- Kádár I., Nagy L. (2015c):** Az árvízvédekezés "fantom" szerkezetei: mobil árvízvédelmi fal. Műszaki Ellenőr Magazin IV:(12) 4 p.
- Kádár I., Szatmári T., J. H. van den Berg, D. Woods (2016):** Comparison of deep foundation solutions for embankments with sensitivity analysis using finite element method. Proceedings of 6th European Geosynthetics Congress, Ljubljana. Konferencia helye, ideje: Ljubljana, Szlovénia, 2016.09.25-2016.09.28., pp. 1226-1237.
- Kádár I., Szatmári T., J. H. van den Berg, D. Woods (2017):** Gevoeligheidsanalyse toepassing van geokunststoffen voor fundering van aardebanen, GEOTECHNIEK 21:(2) pp. 40-45.