

**Hozzászólás a „FÖLDMŰVEK ÉS KÖTŐANYAG NÉLKÜLI ALAPRÉTEGEK
TEHERBÍRÁSÁNAK ÉS TÖMÖRSÉGÉNEK ELLENŐRZÉSE KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS
MÓDSZEREKKEL** című Ph.D. értekezéshez” (Tompai Zoltán BMGE UVT, 2008 június)

Subert István

1.) A matematikai statisztika alkalmazásának módszerei

A T-próba próba alkalmazhatóságának feltétele a **szórások egyezése**, amit külön statisztikai próba, az F-próba segítségével ellenőrzünk. Csak akkor alkalmazhatjuk a kétmintás t -próbát ha az F-próba a szórások között szignifikáns különbséget nem tud kimutatni. Ha szignifikáns különbséget mutat ki, akkor a kétmintás t -próbát nem lehet alkalmazni, de *helyette alkalmazható az ugyanezt a nullhipotézist vizsgáló **Welch-próba**, ami nem igényli a szórások egyezését.*

T-próba:

Nullhipotézis: a két vizsgált változó átlaga statisztikai szempontból megegyezik.

X és Y valószínűségi változók várható értékei megegyeznek, ($\mathbf{E}(X) = \mathbf{E}(Y)$)

A "statisztikai szempontból" kifejezés itt arra utal, hogy az eltérés a két átlag között olyan minimális, hogy pusztán csak a véletlen ingadozásnak tulajdonítható (ekkor a két átlag statisztikai szempontból azonosnak tekinthető), vagy jelentősen nagyobb, mint ami a véletlennel magyarázható (ekkor a két átlag statisztikai szempontból nem tekinthető azonosnak). Lépések:

- Az t próbastatisztika értékének kiszámítása.
- A p szignifikancia szint megválasztása. (Ez a legtöbb vizsgálat esetén 0,05 vagy 0,01.)
- A p szignifikancia szinttől függő tp érték kiválasztása a próbának megfelelő táblázatból. A táblázatjelen esetben a t -eloszlás táblázata, mely eloszlásra szoktak úgy is utalni, mint Student-eloszlás, illetve Student-féle t -eloszlás. A táblázat étdimenziós, a p szignifikancia szint és az f szabadsági fok ismeretében azonnal megkapjuk a táblázatbeli tp értéket. Az f szabadsági fokot a kétmintás t -próba esetén az $f = n + m - 2$ képlettel számítjuk.
- A nullhipotézisre vonatkozó döntés meghozása. Ha $|t| \geq tp$, akkor a **nullhipotézist elvetjük**, az alternatív hipotézist tartjuk meg, és az eredményt úgy interpretáljuk, hogy *a két mintában a valószínűségi változók átlagai szignifikánsan eltérnek egymástól* (p szignifikancia szint mellett).

Welch-próba vagy más néven ***d-próba*** a statisztikai hipotézisvizsgálatok közül a paraméteres próbák közé tartozik. A próba azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e.

Nullhipotézis: a két mintában a két átlag statisztikai szempontból megegyezik.

H_0 : Az X és Y valószínűségi változók várható értékei megegyeznek, ($\mathbf{E}(X) = \mathbf{E}(Y)$)

Welch-próba bizonyos tekintetben a kétmintás u -próba párja. A kétmintás u -próba ugyanezt a nullhipotézist vizsgálja, csak feltétele az szórások értékének előzetes ismerete is, s nem a minták adatai alapján becsli azokat. A próbastatisztika képlete is nagyon hasonló, csak benne az becsült s_x és s_y szórások helyett az eleve ismert σ_x és σ_y szórások szerepelnek. A két próba matematikai háttere is nagyon hasonló. Szintén szoros a kapcsolat a Welch-próba és a kétmintás t -próba között. Ez a két próba is ugyanazt a nullhipotézist teszteli, ugyanolyan adottságok mellett, csak a kétmintás t -próba feltételezi, hogy a két valószínűségi változó szórásai megegyeznek, míg a Welch-próbahoz nincs szükségünk ilyen feltételezésre. Ennek a két próbának a képlete viszont jelentősen különbözik egymástól.

(Fazekas I. szerk. 2000: Bevezetés a matematikai statisztikába. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen)

Lépések:

- Az t próbastatisztika értékének kiszámítása
- p szignifikancia szint megválasztása
- A p szignifikancia szinttől függő t_p érték kiválasztása a próbának megfelelő táblázatból. A táblázat jelen esetben a t -eloszlás táblázata, mely eloszlásra szoktak úgy is utalni, mint Student-eloszlás, illetve Student-féle t -eloszlás. A táblázat kétdimenziós, a p szignifikancia szint és az f szabadsági fok ismeretében azonnal megkapjuk a táblázatbeli t_p értéket. Az f szabadsági fok a Welch-próba esetén számítandó. Mivel ezt láthatóan meglehetősen bonyolult számolni, a gyakorlatban helyette sokszor egy – a Megjegyzésekben bemutatott – egyszerűsítéssel élnek.

Egy másik lehetőség az f fáradságos kiszámításának megkerülésére annak a felhasználása, hogy ha m és n elég nagy (általában az $m > 40$, $n > 40$ feltételt szokták megadni), akkor a t -táblázat helyett lehet a standard normális eloszlás táblázatát használni ugyanúgy, mint például az egymintás u -próba (vagy egyébként bármely u -próba) esetén. Ezt azért lehet megtenni, mert ilyen magas n és m értékek mellett a t -eloszlás nagyon közel van a normális eloszláshoz (a t -eloszlás a szabadsági fok növelésével aszimptotikusan normális eloszlású).

2.) A matematikai statisztikai számítások felülvizsgálata

Forrás: FÖLDMŰVEK ÉS KÖTŐANYAG NÉLKÜLI ALAPRÉTEGEK TEHERBÍRÁSÁNAK ÉS TÖMÖRSÉGÉNEK ELLENŐRZÉSE KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS MÓDSZEREKKEL (Ph.D. értekezés Tompai Zoltán)

Terepi vizsgálatok statisztikai felülvizsgálata

Laborok szerint BME-UTV 39db, Andreas 108db, H-TPA+ÁKMI+Andreas 95db, KTI 19db, H-TPA+ÁKMI+KTI+SZE 74db, KTI+SZE 19db, BME-UTV 12db, HTPA 90db, összesen 437 db méréspár. A talajfajták esetében rendelkezésre álló mérési pontok megoszlása a következő volt: Durva- és finomszemcsés talajok: 230 db, átmeneti talajok: 119 db, zúzottkő és stabilizációs alaprétegek: 88 db, összesen 437db.

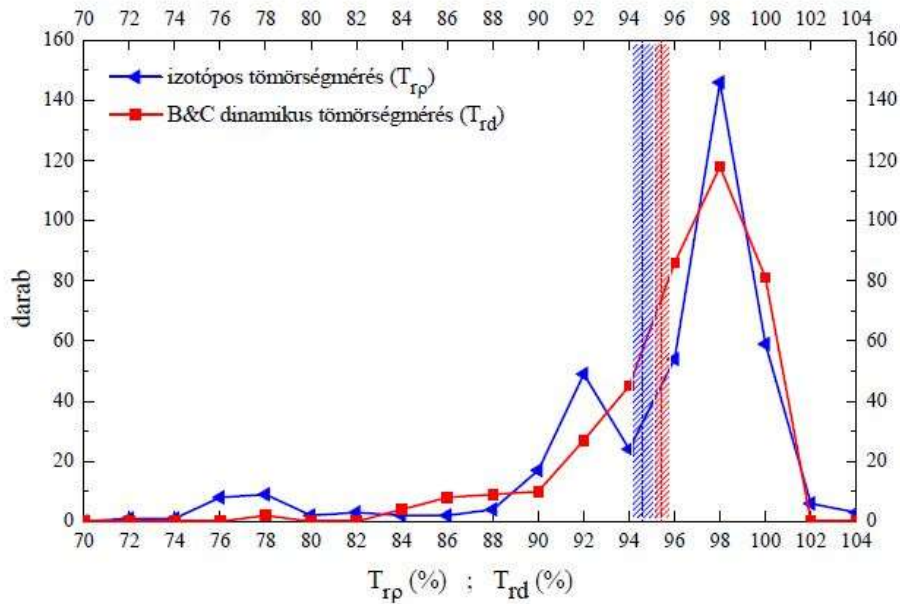
69 oldal 8.2. táblázat (CWA15846 módosítása előtti feldolgozás)

8.2. táblázat: Statisztikai feldolgozás adatai (izotópos és dinamikus tömörségmérés)

Mérési módszer	Adatok száma	Várható érték (átlag)	Szórás	Relatív szórás	Várható érték 95 %-os megbízhatósági szinten
Izotópos tömörségmérés	390	94,6	5,7	6,0	94,0 – 95,2
B&C dinamikus tömörségmérés	390	95,4	3,6	3,8	95,1 – 95,8

70.oldal 8.3. ábra

Az ábrában az izotópos mérések kék vonal-háromszög, BC piros vonal négyzet. Rétháti professzor szerinti (1985) várható érték: $X \pm s/\sqrt{n}$ számítva, sraffozva. A két sáv fedt egymást azaz a két mérés várható értéke azonos (a feltüntetett értékek a CWA15846 módosítása előttiék).



8.3. ábra: Mért adatok eloszlása (átlaggal és megbízhatósági-intervallummal)

Analízisbe bevont terepi mérések 390db

Mérés típusa	N (db)	Átlag	szórás	s^2	s^2/N
Izotópos (n)	390	94,9	5,7	32,5	0,083
dinamikus (m)	390	95,4	3,6	13,0	0,009

F-próba: Szórás-azonosság vizsgálata

$$F = \frac{s_x^2}{s_y^2} = \frac{32,5}{13,0} = 2,5 > F_{p, 389, 389} = 1,17 \text{ azaz a szórások nem tekinthetők egyezőnek.}$$

Ellentétben a Phd értekezéssel, a T-próba próba ezért **nem alkalmazható**, mert annak feltétele a **szórások egyezése**. Csak akkor alkalmazhatnánk a kétmintás t -próbát ha az F -próba a szórások között szignifikáns különbséget nem tudna kimutatni. Ilyen esetben a kétmintás t -próbát nem lehet alkalmazni, **de helyette alkalmazható az ugyanezt a nullhipotézist vizsgáló Welch-próba (d-próba), ami nem igényli a szórások egyezését, ez a következő.**

$$t_{\text{Welch}} = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}} = \frac{(95,4 - 94,9)}{\sqrt{0,009 + 0,083}} = \frac{0,5}{0,303} = 1,64$$

A szabadságfokot számítani kell, mivel $n > 40$ és $m > 40$ az egyszerűsített képlet használható,

Mivel $\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m} = 0,092$ (az előbbi nevezőben a gyök alatt) és az s^2/N értékek táblázatban fenn.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{n-1} \cdot \left[\frac{\frac{s_x^2}{n}}{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}} \right]^2 + \frac{1}{m-1} \cdot \left[\frac{\frac{s_y^2}{m}}{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}} \right]^2 = 0,0026 \text{ szabadságfok } f=389, \quad t_{0,05;389}=1,96$$

azaz $t_{Welch} = 1,64 < t_{0,05;778} = 1,96$ azaz a nullhipotézis **elfogadható**.

Fentiek alapján a Phd. értekezésben közölt izotópos és dinamikus tömörségmérés nullhipotézise elfogadható és a két mérési eredmény sor azonos halmaznak tekinthető.

3 HATÁSMÉLYSÉG KÉRDÉSE

A Phd értekezés a talajláda alján elhelyezett hungarocell lapot úgy tekinti, mint a tömörítés hatékonyságát jelentősen befolyásoló lehetőséget, melynek van több szakirodalmi előzménye, ebből az alábbi emeljük ki, mint az egyik ilyen tanulmányt.

Investigation of the Dynamic Plate Loading Test with the Light-Weight Deflectometer using the Boundary Element Method (Dipl.-Ing. Dr.techn. Fritz KOPF, Univ.Do. Dipl.-Ing. Dr.techn., Dietmar ADAM, Dipl.-Ing. Ivan PAULMICHL). A cikk a BP-LFWD nagytárcsás mérőeszközt elemzi, de lényegét tekintve a következtetéseinkre ennek nincs hatása. Az ábra érdekessége, hogy a tanulmányban alkalmazott (házánkban szokatlan) Poisson-tényező 0,212 volt.

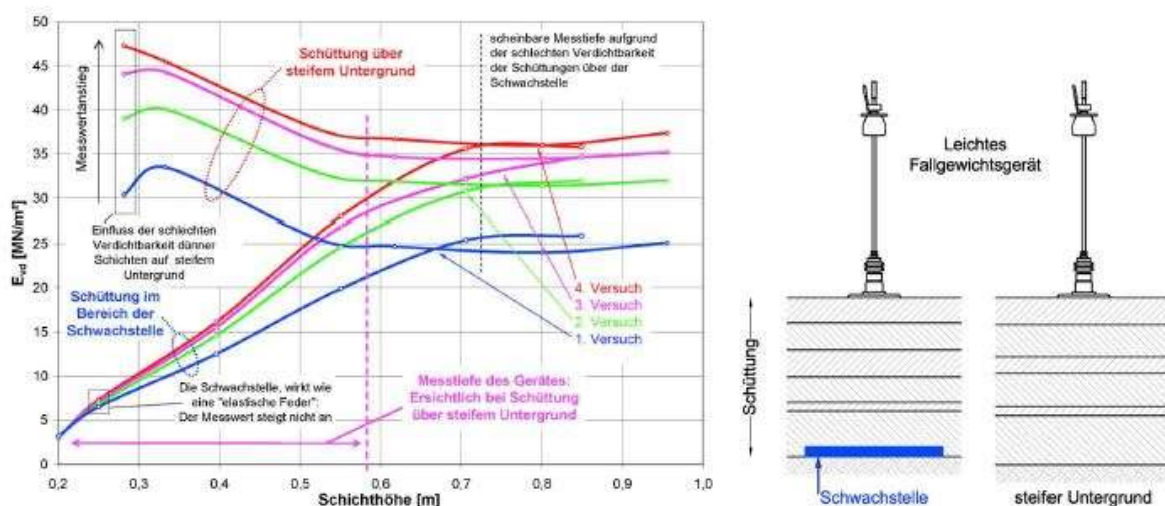
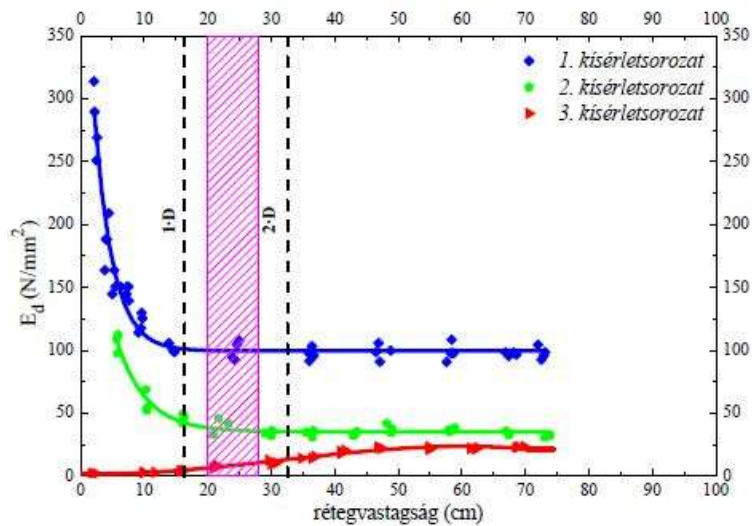


Fig. 9: Testing for weak spots: Experimental determination of the measuring depth of the dynamic load plate by covering a weak spot by layers of material

A hatásmélység kimérése tehát azon az elven alapul, hogy egy végtelenül merev aljzat hatása mikor veszik el a mérési eredményben, illetve a nagyon lágy alaprég hatása mikor nem érvényesül már. Ebből az ábrából látható, hogy a két görbe elvileg találkozik, hiszen – a mérési hibától eltekintve – egy vastagság után kizárólag a talajfizikai paraméterek befolyásolják a dinamikus teherbírás eredményét.

A CWA 15846 szerinti SP-LFWD-vel mérni lehet a hungarocell-táblán is (ha az e példa szerinti kemény aljzaton helyezkedik el), melyet ki is próbáltunk. Az összenyomódása ugyanis nem akkora, hogy az lényeges hatást okozzon, inkább jelentős az alacsony sűrűsége, mely a mérést – az impulzustörvény alapján – valóban jelentősen befolyásolja. A sűrűség hatására külön tanulmányt készítettünk (Sűrűségi korrekció alkalmazása dinamikus ejtősúlyos berendezéseknél).

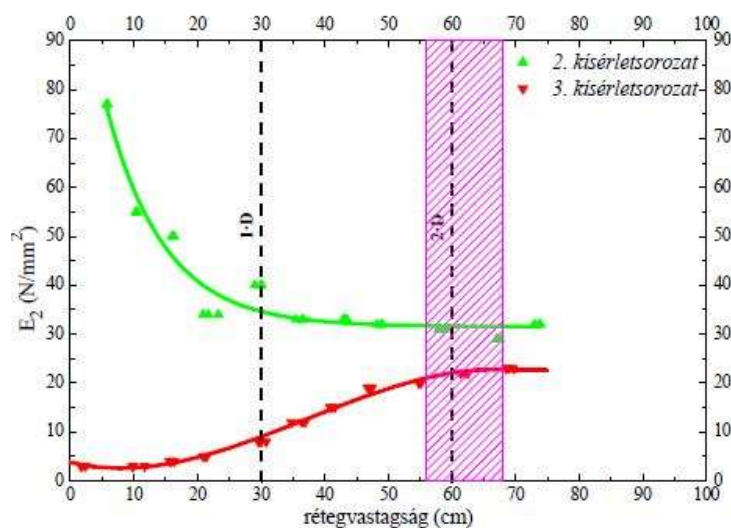
A Phd disszertáció 87 oldala (9.7. ábra) szerint: „, a esetén merev aljzaton 20-28cm-es mérési határt lehetett kimutatni. A mérési határ ebben az esetben 1,3-1,7D...” .. Érdekes, hogy a a kisebb merevségű alsó réteg esetén a mérések a B&C berendezésnél is 60cm körüli hatásmélységet jeleztek.”



9.7. ábra: B&C berendezés mérési határának vizsgálata laboratóriumban (iszapos finomhomok)

Az ábrához – véleményünk szerint - az alábbi magyarázat hasznos lehet:

- Nem a tárcsaátmérő számít, hanem a tárcsa alatti terhelés és a tárcsa-átmérő együtt. Ezt Andreas tanulmányaiban többször jelezte azzal, hogy a D300-as tárcsa a $p=0,1\text{Mpa}$ terheléssel más teherelosztású, mint a D163-as tárcsa $p=0,35\text{Mpa}$ tárcsa alatti terheléssel.
- Az ábrán a feltüntetett sraffozás nem jelentheti a hatásmélységet, hiszen a lágylágy jelző piros vonal még nő. A német példát tekintve a hatásmélységet a merev-lágylágy görbék találkozási pontja adná, mely esetünkben kimerül abban, hogy honnan tekinthető párhuzamosnak.
- A piros vonallal jelzett teherbírás növekedés a mi értelmezésünkben 65cm körül kezdi el mutatni az aljzattól való függetlenséget, ami előnyös a B&-t tekintve.
- Nem a kemény aljzat hatása a mértékadó, hanem a lágylágy aljzat hatásának kimerülése
- az ábrán két különböző anyag teherbírás-vizsgálati eredményei láthatóak a merev aljzat vizsgálatakor, az egyik $E_d=100\text{MPa}$, a másik $E_d=40\text{MPa}$ körüli. A lágylágy aljzaton egy anyag lett elhelyezve. Ez utóbbi a német példával csak számszakilag egyező, mert az E_{vd} mérés volt, azaz $E_2 \approx 80-100\text{MPa}$ lehetett a vizsgált réteg.
- a merev beton-aljzat hatása nem a mérési határmélységet jelenti, hanem azt, hogy a beépített anyag teherbírását meddig befolyásolja. Mivel merev aljzaton a réteget jobban be lehet tömöríteni, annak teherbírása is magasabb.



9.5. ábra: Statikus tárcsás mérés mérési határának vizsgálata laboratóriumban (iszapos finomhomok)

Érdeemes a statikus (talajlédás) mérésekre is egy pillantást vetni, hogy fentieket kontrollálni lehessen.

4 ÖSSZEFÜGGÉSEK

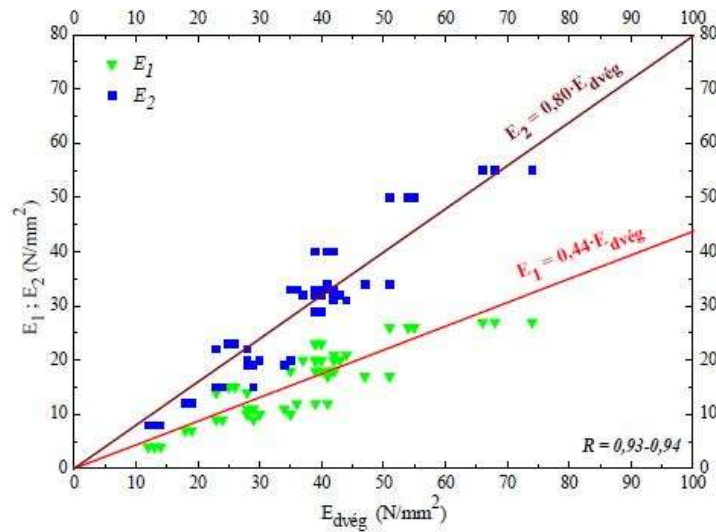
A Phd értekezés a B&C vizsgálatok számos összefüggést talált, melyet érdemes kiemelni, hogy az Andreas Kft által végzett nagy adatbázisú összefüggés-vizsgálatokkal való hasonlóságot kimutassuk. Ezek:

6.9.1. E_1 , E_2 ÉS E_d KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS

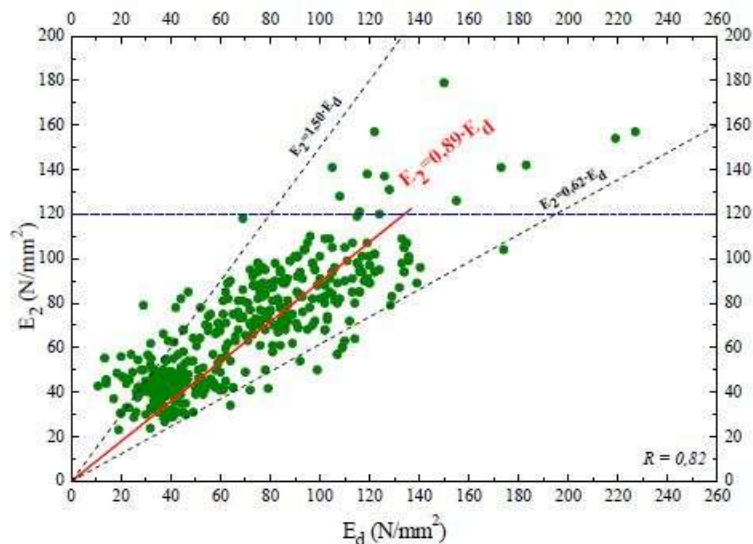
A B&C berendezés által mért modulus és a statikus modulusok kapcsolatát a 6.6. ábra és a 6.7. ábra mutatják.

Az origón áthaladó regressziós egyenesek korrelációja szintén nagyon jóra, $R=0,94-0,97$ -re adódott.

A helyszíni mérési adatok feldolgozása $E_1 = 0,46 \cdot E_d$ és $E_2 = 0,89 \cdot E_d$ összefüggést adott, tehát a két eredmény gyakorlatilag megegyezik.



6.8. ábra: Összefüggés E_1 , E_2 és E_d között (laboratóriumi vizsgálatok – iszapos finomhomok)



6.3. ábra: $E_2 - E_d$ összefüggés helyszíni mérések alapján (minden talaj- és alaprégteg típusra)

Az itt bemutatottak mind összefüggésekben, mind a korrelációk szorosságában az Andreas által feldolgozott, akkreditált laborok által mért adatsorokkal jól egyezőnek mondhatók.

Ha a jövőben a dinamikus teherbírás mérésekre a javasolt sűrűségi korrekciók alkalmazásra kerülnek, akkor ezek szórása várhatóan tovább csökken.

Az, hogy talajtípusonként csoportosítunk mérési halmazokat, gyakorlatilag azok eltérő halmazsűrűségt is jelezheti, ezért ezekből nem lehet határértékeket szabni. A mérési módszernek kell lekezelni azt, hogy az impulzus más, ha a mért anyag sűrűsége más.

Irodalomjegyzék

- CWA 15846 Measuring Method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD
ÚT 2-2.124 Dinamikus tömörség és teherbírás mérés kistárcsás könnyűejtősúlyos berendezéssel (Dynamic compactness and bearing capacity measurement with small-plate light falling deflectometer)
- Tompai Zoltán FÖLDMŰVEK ÉS KÖTŐANYAG NÉLKÜLI ALAPRÉTEGEK TEHERBÍRÁSÁNAK ÉS TÖMÖRSÉGÉNEK ELLENŐRZÉSE KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS MÓDSZEREKKEL Ph.D. értekezés
BMGE UVT, 2008 június
- Tompai Zoltán: New light-weight device for measuring degree of compaction and dynamic load bearing capacity, Loughborough, 18 April, 2007.
- Dipl.-Ing. Dr.techn. Fritz KOPF, Univ.Do. Dipl.-Ing. Dr.techn., Dietmar ADAM, Dipl.-Ing. Ivan PAULMICH
Investigation of the Dynamic Plate Loading Test with the Light-Weight Deflectometer using the Boundary Element Method .
- Sanjeev Kumar Verma, Pradeep Kumar Jain, Rakesh Kumar PREDICTION OF BEARING CAPACITY OF GRANULAR LAYERED SOILS BY PLATE LOAD TEST
- D.Adam, F.Kopf (2004) Operational devices for compaction optimization and quality control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device). *Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction*, Rotterdam.
- Brandl, H. and Adam, D. (2004) Basics and Application of the Dynamic Load Plate Test in Form of the Light Falling Weight Device. *A.W. Skempton Memorial Conference. Proc. of Imperial College*, London.
- Ms. Panarat (2007): Comparison of B&C LFWD and sand filling method Ramkhamhaeng University, Thailand. *Calibration Report*
- Dr Boromisza Tibor (2005) Megjegyzések Subert István: A dinamikus tömörség- és teherbírás mérés újabb paramétereit és modulusok átszámíthatósági kérdései c.cikkéhez. *Közúti és mélyépítési Szemle* 55.évf 2.szám. p.:35-36.
- Subert (2006) Method for measuring Compactness-rate with New Dynamic LFWD. *XIIIth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering Ljubljana*, Slovenia 2006, V.2. p:125-130.
- Subert (2006) CWA15846-WS33 Measuring method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD (Small - plate Light Falling Weight Deflectometer) WS33 Draft. p.26
- Subert (2014) Isotope-free Compaction-rate & Bearing Capacity Measure on Lime Stabilization – Self control. Article and Presentation. *Carause Conference*. 09 sept 2014 Vecsés, Hungary p.:10
- Subert (2014) Izotópmentes tömörség- és teherbírás mérése – Önellenőrzés. *2014EPB Konferencia Gyergyószentmiklós, Románia*, p:14, á 6.
- Subert I., Phong T.Q.: Az izotópos és dinamikus tömörségi fok szórás-analízise (Analysis of Standard deviation of the isotopic and the dynamic compactness rate)
- Subert I., Phong T.Q.: Proctor-vizsgálatok új értelmezési lehetőségei. (Options for new interpretations of Proctor-tests) *Mélyépítéstudományi Szemle*, 2007.
- Király Á.: Földmunkák minősítő vizsgálatainak hatékonysági kérdései Magyarországon (Efficiency issues of qualification tests used for earthworks, in Hungary)
- Subert I.: „Dinamikus tömörségmérés a hazai autópályákon és városi helyreállításokon” (Dynamic compactness measurement on Hungarian highways and urban reconstructions) *Geotechnika Konferencia 2006 Ráckeve*. (2006. október 17-18.)
- Subert I., Fáy M., Király Á.: Közúti forgalom igénybevételének modellezése új, dinamikus tömörség- és teherbírás-méréssel. (Modelling of the straining of public road traffic by the new, dynamic compactness and bearing capacity measurement) *Városi Közlekedés* 2006
- Subert I. Fáy M., Király Á.: Egy földmű-tömörségi anomália feltárása és megoldása. (Presentation and solution of an anomaly of earthwork density) *Mélyépítéstudományi Szemle* 2006
- Subert I.: „A dinamikus tömörség- és teherbírás-mérés újabb paramétereit és a modulusok átszámíthatósági kérdései” (Recent parameters of dynamic compactness and bearing capacity measurement and recalculation issues of modules) *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 55. évf. 2005. 1. sz. (5 oldal)