

# PRÓBAMÉRÉSEK TEREPI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS DINAMIKUS TERHELŐTÁRCSÁVAL

**Makó Ágnes**

*PhD hallgató, I. évfolyam*

*Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási intézet,*

*Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék*

*3515 Miskolc-Egyetemváros*

[makoagnes@gmail.com](mailto:makoagnes@gmail.com)

## **Összefoglalás**

*A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kara által beszerzett ZORN, ZFG 3000 GPS típusú, könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsás terepi mérőberendezés a talajkutatások egyik fontos eszköze. Az eszközt a gyakorlati használatban különböző földművek (gátak, út- és épületalapok) tömörödöttségi állapotainak vizsgálatára szolgál. Ez a dinamikus ejtősúlyos teherbírásmérő berendezés fokozatosan terjed nem csak a világon, hanem hazánkban is ezért fontosnak tartjuk az eszköz minél pontosabb megismerését.*

**Kulcsszavak:** *Alakváltozás, rugalmassági modulus, dinamikus terhelőtárcsa, teherbírásmérő, talaj*

## **Abstract**

*The University of Miskolc, Faculty of Earth Science, obtained by Zorn, ZFG 3000 GPS-type, Light Falling Weight Deflectometer is an important tool of the soil researches. These tools are used for examination of the compaction state of various earthworks (embankments, roads and building base). We use the dynamic falling weight equipment gradually spread not only in the world, but also in Hungary.*

**Keywords:** *Deformation, resilient modulus, dynamic loading measurement, soil*

## **1. A talaj teherbírása és alakváltozása**

A talaj, mint anyag, terhelés hatására a többi szilárd építőanyagtól egészen eltérő módon viselkedik: kezdetben a szilárdsági tulajdonságai nőnek, terhelés hatására tömörödik, konszolidálódik, s ez fokozza a teherbírást. Ez azonban csak egy bizonyos határig van így, s a terhelés növelésével a feszültségek egyre jobban meghaladják a maximálisan kialakítható szilárdsági tényezőket és a talaj tönkremegy [1].

Az elemi derékszögű hasáb két, szemben levő lapján, melynek oldalai párhuzamosak a koordinátatengellyel, a  $\sigma_x$  egyenletesen megoszló feszültség működik. Izotróp anyag esetén a fajlagos alakváltozás [2]:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \quad (1)$$

A (1) képletben szereplő  $E$  értéket rugalmassági modulusnak neveztük, mely azt az elméleti feszültséget jelenti, melynek hatására egységnyi fajlagos alakváltozás következik be.

A síkbeli rugalmassági modulus – egy  $r$  sugarú hengeres talajminta esetén – egytengelyű nyomókísérletből az alábbi egyszerű összefüggéssel számítható:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot \frac{1}{2 \cdot r} \cdot \frac{F}{z} \quad (2)$$

Ahol:

- $\nu$  – Poisson-tényező (-),
- $r$  – a hengeres minta sugara (mm),
- $F$  – terhelőerő (N),
- $z$  – alakváltozás (mm).

Állandó terhelőfeszültség mellett ( $\sigma = F/r^2\pi$ ) az alábbi egyszerű összefüggés adódik.

$$E = (1 - \nu^2) \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\sigma}{z} \quad (3)$$

A klasszikus talajmechanika a rugalmassági modulus helyett inkább a kompressziós (összenyomódási) modulusot használja.

Az összenyomódási modulus ( $E_s$ ) számítható a rugalmassági modulusból is a Poisson-tényező segítségével.

$$E_s = \frac{(1 - \nu^2)}{1 - 2\nu} \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\sigma}{z} = \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \cdot E \quad (4)$$

A talaj  $\sigma$ - $\varepsilon$  görbéje nem lineáris, és a gyakorlatban nem határozzuk meg a teljes görbét. E helyett azt diszkrét mérési pontok segítségével vesszük fel. Így a teherbírás modulus számításakor egy tulajdonképpeni húr-modulust vezetünk, melyet az alakváltozási, vagy teherbírás modulus ( $E_a$ ) jellemez [3].

$$E_a = (1 - \nu^2) \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta z} \quad (5)$$

## **2. Könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsával végzett próbamérések**

A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kara által beszerzett ZORN, ZFG 3000 GPS típusú, könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsás terepi mérőberendezés a talajkutatások egyik fontos eszköze. Az eszközt a gyakorlati használatban különböző földművek (gátak, út- és épületalapok) tömörödöttségi állapotainak vizsgálatára szolgál.

### **2.1 A ZORN, ZFG 3000 GPS könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsa bemutatása**

#### Műszaki leírás

Az eszköz GPS vevővel van ellátva a terepi mérések adatainak koordinátához rendelésének megkönnyítése érdekében. A mérőberendezés főbb tulajdonságai:

- ejtősúly tömege:  $m = 10 \text{ kg}$
- ejtési magasság:  $h = 720 \text{ mm}$
- terhelőtárcsa átmérője:  $d = 300 \text{ mm}$

#### Az eszköz által rögzített adatok

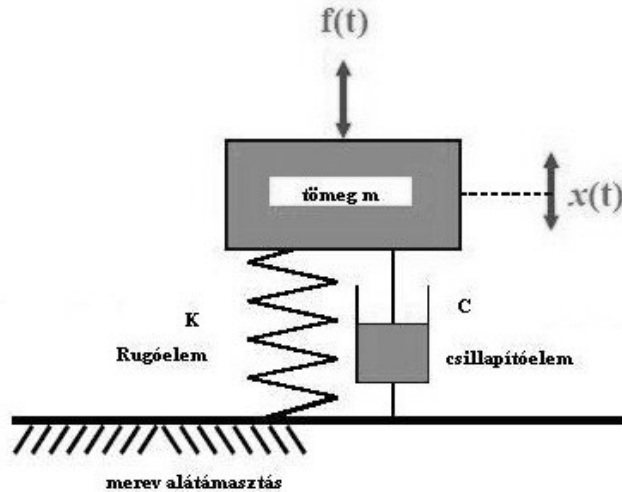
-s	-	behajlás	[mm]
-v	-	sebesség	[mm/s]
-s/v	-	behajlás / sebesség	[ms]
-E <sub>vd</sub>	-	dinamikus alakváltozási tényező	[MN/m <sup>2</sup> ]

#### Mérés elméleti áttekintése

Lényeges különbség a statikus és a dinamikus mérés között, hogy a statikus mérés során a tárcsára közvetlenül adjuk a terhelést, míg a dinamikus teherbírás mérés során az  $m$  tömegű súly ejtése során a helyzeti energia közvetítőelemeken keresztül alakul át dinamikus, rövid ideig tartó terheléssé [4].

A teherátadás elméleti modellje szerint az ejtésből származó  $F_{max}$  terhelést egy Kelvin-Voight-féle,  $K$  tényezőjű rugóból és egy  $c$  tényezőjű csillapítóelemből álló rendszer közvetíti a tárcsára majd azon keresztül a talajra (**1. ábra**).

Ennek a komplex csillapításnak a megfelelő beállítása szükséges ahhoz, hogy a talajra kb. 18-20 ms időtartamban hasson a terhelés. Korábbi vizsgálatok szerint ez az az időtartam, amely alatt egy 60 km/h-val haladó nehézgépjármű ke-reke elhalad és terhelést ébreszt a földműben és a pályaszerkezetben [3].



1. ábra A teherátadás elméleti modellje

## 2.2 Terepi mérések

A méréseket a Miskolci Egyetem környékén kollegáim – Fejes Zoltán, Kántor Tamás és Lux Marcell – három különböző helyen végeztük.

Az 1. számmal jelölt terület egy régi, salakos tenispálya a Kémiai Kutatóintézet mögött. A tenispálya salakja az előzetes feltevések szerint tömörítve volt, ezért itt a laborvizsgálatok alapján nagyobb  $E_{vd}$  értékekre számítottunk, mint a tömörítetlen talajokon. A pályát a növényzet már benőtte, a mérési pontokon azonban ez eltávolításra került.

A 2. számmal jelölt terület a Kémiai Kutatóintézzel szemben található füves terület, amely a mérést megelőző napok esőzései miatt erősen felázott. A talaj agyagos és vízzel telített volt. Itt a méréseket elvégeztük a növénytakaró eltávolításával és anélkül is.

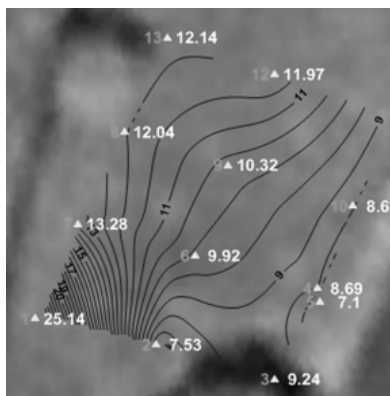
A 3. mérési terület az egyetemi étterem előtt található letaposott terület, gyér növényborítottsággal, agyagos, a mérés idején magas víztartalmú talajjal.

## 2.3 Mérési eredmények bemutatása

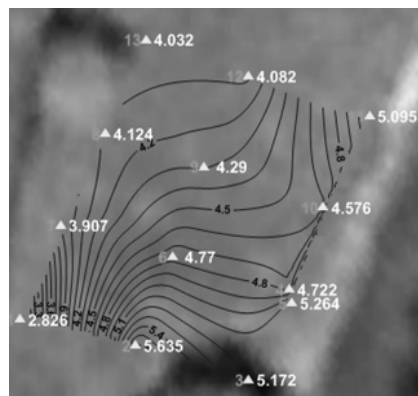
### 1. Salakpálya

A salakpályán a méréseket 3X4-es rácshálóban végeztük, ennek megfelelően az  $E_{vd}$  illetve  $s/v$  értékekből izovonalas térképeket készítettünk. Ezeket a 2. és 3. ábra mutatja.

Az 1. mérési pontban a kiugró értékeket a felszín alatt kb. 2-3 centiméterre található nagyméretű szilárd kőtest okozta.



2. ábra Dinamikus alakváltozási tényezők ( $E_{vd}$ ) térképe



3. ábra Alakváltozási idők térképe (milliszekundumban)

A salakpályán a fenti méréseket száraz időszakban végeztük, majd egy nagyobb eszést követően három ponton (3, 7, 8 pontok) megismételtük a méréseket, a víztartalom hatásának vizsgálatára. A kapott eredményeket az **1. táblázatban** foglaltuk össze. Ebből látható, hogy a víztartalom növekedése az  $E_{vd}$  értékének csökkenését vonta maga után. A víztartalom és az  $E_{vd}$  értékek kapcsolatának vizsgálatához több mérés szükséges. A továbbiakban különböző nedvességtartalmú, de azonos típusú talajokon tervezzük a mérések végrehajtását a víztartalom hatásának vizsgálatához.

1. táblázat Víztartalom hatása az  $E_{vd}$  értékre

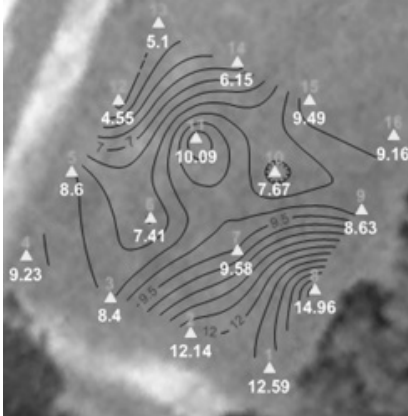
Mérés sorszáma	Esőzés előtt			Esőzés után		
	w [%]	s/v [ms]	$E_{vd}$ [MPa]	w [%]	s/v [ms]	$E_{vd}$ [MPa]
3	23,47	5,172	9,24	34,43	5,575	8,79
7	7,59	3,907	13,28	31,72	5,234	9,07
8	7,63	4,124	12,04	28,97	4,89	9,14

## 2. Fűves, vizes terület

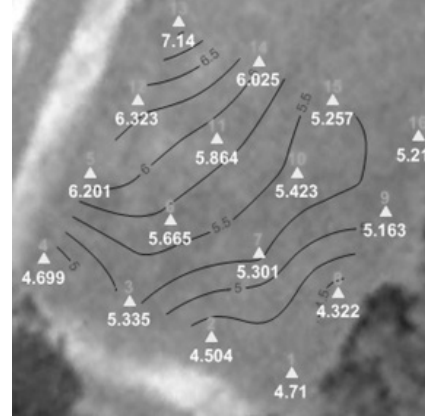
Ezen a területen a méréseket egy vonal mentén végeztük. Az első mérési sorozatot a fű eltávolítása nélkül hajtottuk végre (F-jelű mérések), majd azzal párhuzamosan a mérési pontoktól kb. egy méter távolságban egy újabb sorozatot mértünk a fű eltávolításával (FN-jelű mérések).

A kapott értékek alapján nem lehet egyértelműen megállapítani a növényzet hatását a mérési eredményekre, mivel az eltérés nagysága nem jelentős illetve az eltérés iránya sem egyöntetű.

Ugyanezen a területen egy 10 m x 10 m oldalhosszúságú cellákból álló rácsháló pontjaiban végeztünk 16 db mérést, melyek eredményei a 4. és 5. ábrán láthatók.



4. ábra Dinamikus alakváltozási tényezők (Evd) térképe



5. ábra Alakváltozási idők térképe (milliszekundumban)

### 3. Letaposott terület

Ez a terület egy gyalogosok által letaposott rész az egyetemi étterem előtt, növényborítottsága ritka. Méréseinket 5 ponton végeztük, véletlenszerű eloszlásban olyan helyeken, ahol nem volt növényzet.

## 2.4 Ejtési magasság változtatása

Szakemberek segítségével megoldottuk, hogy a ZFG 3000 GPS típusú könnyű ejtősúlyos teherbírásmérő ejtési magassága változtatható legyen egy úgynevezett szekunder ejtéskapcsolóval.

A fenti fejezetben említett Boussinesq által felállított összefüggés alkalmazhatósága érvényben maradt, de az eszköz által szolgáltatott adatok korrigálása szükségessé vált.

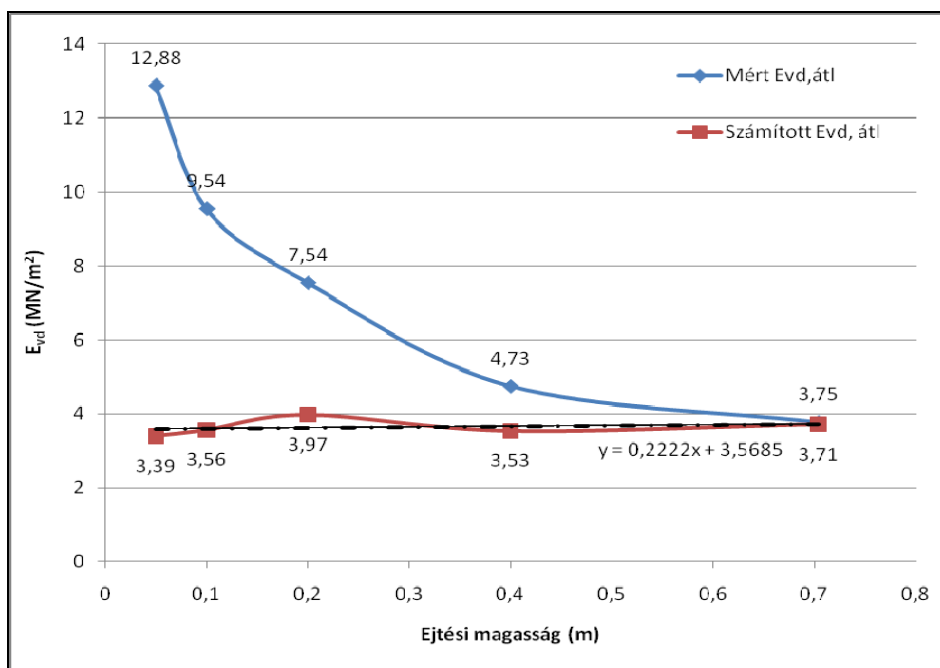
$$K = \frac{\left( \frac{E_{din} \cdot s \cdot A}{c \cdot (1 - \nu)^2 \cdot R} \right)^2}{2 \cdot m \cdot g \cdot h} \quad (6)$$

Az elmúlt egy évben közel 600 mérést végeztünk az eszközzel, ezekből az eredményekből kapott K értékek adatfeldolgozásra kerültek és a továbbiakban  $K=5,16 \cdot 10^{-6}$  N/m értékkel számoltam tovább.

Kollégáim öt különböző ejtési magassággal végeztek próbaméréseket. Az eszköz által mért eredmények, és a számított értékeket a következő táblázat tartalmazza, illetve a 6. ábrán látható.

**2. táblázat** Az eszköz által mért és a valós értékek

h (m)	Mért $E_{vd, \text{átl}}$ (MN/m <sup>2</sup> )	Számított $E_{vd, \text{átl}}$ (MN/m <sup>2</sup> )
0,05	12,877	3,393
0,1	9,543	3,557
0,2	7,537	3,973
0,4	4,7333	3,530
0,704	3,753	3,713



**6. ábra** Mért és számított értékek

A számított értékekre egy lineáris közelítő egyenes jól illeszkedik, ez homogenitásra enged következtetni, helytálló kijelentésekhez azonban további mérések elvégzése szükséges.

### 3. Összefoglalás

A földművek építési idejének csökkentése irányában mutatkozó kivitelezői és megrendelői igények miatt a földművek minőségének vizsgálatát is felgyorsult tempó jellemzi, így a gyors és hatékony minőségellenőrzési berendezések és eljárások egyre inkább előtérbe kerülnek.

Az általunk használt dinamikus ejtősúlyos teherbírásmérő berendezés fokozatosan terjed nem csak a világon, hanem hazánkban is. Előnye kis súlyában, könnyű hordozhatóságában és a gyors mérésben jelentkezik elsősorban.

A jövőben tervezzük különböző talajok vizsgálatát eltérő nedvességtartalom és ejtési magasság mellett a műszer teljes mértékű megismerése érdekében.

### 4. Köszönetnyilvánítás

*A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.*

### 5. Irodalomjegyzék

- [1] Kézdi, Á.: *Talajmechanika I.*, Tankönyvkiadó, Bp.
- [2] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Hooke-t%C3%B6rv%C3%A9ny>
- [3] Tompai, Z.: *Földművek és kötőanyag nélküli alaprétegek teherbírásának és tömörségének ellenőrzése könnyű ejtősúlyos módszerekkel*, PhD értekezés, Bp. 2008
- [4] Dr. Szabó, I.: *Alapozás*, Tankönyvkiadó, Bp.