



**A TALAJ DEFORMÁCIÓJA ÉS
CSILLAPÍTÁSA GUMIABRONCSOK ALATT**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Pillinger György

Gödöllő

2016

A doktori iskola megnevezése:

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudomány

vezetője:

Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Prof. Dr. Kiss Péter
egyetemi tanár, PhD
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Folyamatmérnöki Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	2
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	3
2.1. Vontatási kísérlet elrendezése és menete	3
2.2. Járműparaméterek mérési módszerei és eszközei	4
2.3. Talajparaméterek mérésének módszerei és eszközei.....	5
2.3.1. <i>A talajfelszín mérési módszere és eszköze</i>	<i>5</i>
2.3.2. <i>Kúpos-index mérési módszere és eszköze</i>	<i>6</i>
2.3.3. <i>Talaj fizikai összetételének meghatározási módszere és eszközei</i>	<i>6</i>
2.3.4. <i>Helyszíni nedvességtartalom mérés módszere és eszköze</i>	<i>6</i>
2.4. Közös paraméterek mérésének módszerei és eszközei	6
2.4.1. <i>Gumiabroncs felfekvési felületének meghatározási módszere.....</i>	<i>6</i>
2.4.2. <i>Lengésgyorsulások és a vonóerő mérési módszerei és eszközei.....</i>	<i>7</i>
2.5. Talajvályús kísérletek módszerei és eszközei	7
3. EREDMÉNYEK	8
3.1. A talaj csillapítása.....	8
3.2. Gumiabroncs - talaj kapcsolatában keletkező lengéscsillapítás	11
3.3. Talaj térfogati sűrűségének kapcsolata a kúpos indexszel.....	16
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	21
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	23
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	24
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK.....	25

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Doktori disszertációmban célul tűztem ki a talaj tömörödés, illetve a talaj okozta, keréken kifejtett lengéscsillapítási hatás vizsgálatát. További célom volt a talaj teherbírási vizsgálata alapján -különböző- meghatározható talajfizikai tulajdonságokra való következtetés és azok feltárása. Végül, teherbírási vizsgálat alapján történő talajsűrűség meghatározási módszer létrehozása.

A kutatás a következő kísérletekből és vizsgálatokból áll:

- Szabadföldi vontatási kísérletek különböző módokon megmunkált talajon.
- Szabadföldi talaj vizsgálatok, az érintetlen, illetve a gumibroncs terhelte területeken.
- Vontatási kísérletek betonon.
- Laboratóriumi jármű és abroncs vizsgálatok.
- Laboratóriumi talaj vizsgálatok.
- Talajvályús kísérletek.

Ezen kísérletek és vizsgálatok alapján a kutatás az alábbi kérdésekre keresi a választ:

- Milyen mélyebb okai vannak a gumibroncs alatt kialakult nyommélység nagyságának?
- Milyen hatása van a kezdeti talajsűrűség eloszlásnak a nyommélységre?
- A mélység függvényében, hogyan tömörödik a talaj a gumibroncs alatt?
- Milyen módon lehet a talaj csillapítási tulajdonságát kiszámolni?
- Szétválasztható-e a talajon mozgó abroncs csillapítása az eredő csillapítás ismeretében?
- Lehet-e a kúpos penetrométeres mérés eredményeit talaj sűrűség meghatározására használni?
- Milyen matematikai kapcsolat van a talaj térfogat sűrűsége és a CI index között?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben mutatom be az alkalmazott mérési módszereket és eszközöket. A talajdeformáció és a talajcsillapítás vizsgálatához szabadföldi és laboratóriumi kísérletek szolgáltatták az alapot.

2.1. Vontatási kísérlet elrendezése és menete

A vizsgált jármű egy Gaz 69 típusú terepjáró volt, amelyet egy John Deere 6600 típusú traktor vontatott 10 km/h állandó sebességgel (2.1. ábra). A vontatási vizsgálat betonon, egy talajtípuson, annak azonban három különböző állapotán történt. A vonószerkezet lehetővé tette, hogy a jármű még érintetlen un. szűz profilú talajon haladjon. Minden szakaszon külön beállított abroncslégnyomás volt. Az alkalmazott abroncslégnyomások. 1,5 bar, 1,8 bar, 2,1 bar és 2,4 bar.



2.1. ábra A vizsgálathoz használt járműszerelvény, vontató jármű: John Deere 6600, vizsgált jármű: Gaz 69

Minden beállított abroncsnyomáshoz tartozott egy-egy 10 m hosszúságú felprofilozott mérőszakasz, melyek előtt illetve után biztosítva volt elegendő hosszúságú gyorsítási és kifutási út. A vizsgált jármű mind a négy kereke azonos Taurus 6.50-16 típusú gumiabronccsal volt felszerelve.

2.1. táblázat katalógus szerinti abroncs terhelhetőség

Megengedett maximális terhelés 8,3 m/s (30 km/h) maximális sebességig:					
78 480 [N/m ²]	98 100	147 150	196 200	245 250	294 300
3041,1 [N]	3433,5	4365,5	5120,8	5787,9	6435,4

A jármű tömege 1310 kg, első tengelyterhelés 780 kg, hátsó tengelyterhelés, 530 kg, tengelytávolsága 2,38 m, a nyomtáv 1,47 m. A tengelyterhelések illetve a jármű tömege is tartalmazza a járművezető tömegét.

A mérés menete:

1. Mérőszakasz kijelölése (10 m), ráfutási és kifutási útszakasszal.

2. Anyag és módszer

2. Profilozás, közlekedőedények elvén működő profilozó készülékkel.
3. Talaj mintavétel és talaj vizsgálatok a mérőszakasz több pontján (CI, nedvességtartalom).
4. A vizsgált járművön az abroncsleányomás beállítása. (150 kPa (1,5 bar); 180 kPa; 210 kPa; 240 kPa)
5. Vontatási kísérlet elvégzése. ($v = \text{áll} = 2,778 \text{ m/s}$, (10 km/h))
6. A deformált mérőszakasz újra profilozása a keréknyomban (maradó profil felvétele).
7. A talaj vizsgálatok ismételt elvégzése a keréknyomban.

A fenti vizsgálati sor vályogos-homoktalaj tarló, tárcsázott tarló és kultivátorozott állapotán lett elvégezve. Profilozás nélküli vontatás betonon is történt. Továbbiakban ezen kifejezések alatt (tarló, tárcsázott tarló, kultivátorozott) az alábbi táblázatban (2.2. táblázat) szereplő paraméterekkel rendelkező vályogos-homoktalaj különböző állapotait kell érteni.

2.2. táblázat Talajállapotok megnevezéséhez tartozó talajfizikai paraméterek

	Térfogat tömeg ρ [g/cm ³]*	Nedvességtartalom, n_t [t%]	Teberbírási tényező k [N/cm ²]	Homok: 2-0,05 mm	Iszap: 0,05-0,002 mm	Agyag: <0,002 mm
Tarló	1,64	16,63	85	90,50%	3,20%	6,30%
Tárcsázott tarló	1,60	9,46	47			
Kultivátorozott	1,52	11,10	33			

*átlagos adatok, eloszlás a 3.8. ábrán.

A betonon történt vontatási vizsgálat szükségességét az indokolta, hogy legyen egy referenciamérés, amelyhez a vizsgált talajon végzett paramétereket (például a kialakult gumibroncs felfekvési felület) lehet hasonlítani. A beton nem deformálódó pályamodellnek felel meg, így azon csak a gumibroncs deformálódik. A profilja is jó közelítéssel teljesen síknak tekinthető a vizsgálat alá vont talajokéhoz képest.

2.2. Járműparaméterek mérési módszerei és eszközei

Abrons rugómerevségének a meghatározása

A jármű abroncsának rugómerevségét az abroncs adott nyomáson felvett rugókarakterisztikájából lehet kiolvasni. A talpmérlegek segítségével leolvasható volt az abroncsot terhelő erő. A rugókarakterisztikát minden vizsgált abroncsnyomáson meg kellett határozni. A megfelelő nyomás érték beállítása után a kereket tehermentesíteni kell. Majd lemérni a kerék közepe és a talaj

2. Anyag és módszer

közötti távolságot (2.2. a. ábra.). Következő lépésben az abroncsot a jármű saját súlyával kell terhelni. Majd többlet súlyok felhasználásával ismételni a mérést (2.2. b. ábra.). Minden egyes súly körülbelül 981 N többletterhelést eredményezett a vizsgált keréken. A terhelés növelésével párhuzamosan lemerésre került az abroncs deformáció is. A megfelelően társított terhelés és deformáció értékek összességének eredménye az abroncs rugókarakterisztikája.



2.2. ábra Rugómerevség meghatározás, a) kerék középpontjának és a talaj távolságának felvétele, b) többletterhelés a vizsgált abroncson

2.3. Talajparaméterek mérésének módszerei és eszközei

A vizsgált talaj típusa: vályogos-homoktalaj. A vizsgálat során a talajfelszín: gabonatarló, tárcsázott (hántott) gabonatarló és kultivátorozott talaj volt. A vizsgált talaj paraméterek: Talajfelszín (szintmérő készülék), kúpos index (penetrologger), fizikai összetétel, talajmintavétel, nedvességtartam (SMM-1 típusú talajnedvesség mérő). A talaj egyes tulajdonságai napszakon belül is jelentősen változhatnak, ezért a mérés alatt, közvetlenül előtte illetve utána lettek rögzítve. A betonon kiválasztott szakasz teljesen vízszintesnek tekinthető.

2.3.1. A talajfelszín mérési módszere és eszköze

A talajfelszín minden talajállapoton áthaladás előtt, illetve áthaladás után is felmérésre került. Így a talajdeformáció pontosan számolható. A talajfelszín alakjának felvétele (profilozása) úgynevezett profilométerrel történt, amely a közlekedőedények elvén működik. A műszer közvetlen profilmérést valósít meg. A kijelölt szakaszokon pontosan a leendő keréknyom közepében lett -egy előre meghatározott ponthoz képest- a talajfelszín magassága meghatározva. A jobb és bal nyomvonal profilja egyaránt rögzítésre került. A mintavételezési távolsága 10 cm volt. Mivel a mérési szakasz 0 cm-es pontjában volt az első mérési pont így az egész szakaszon, egy oldalon összesen 101 mérési eredmény született. A mérés pontossága $\pm 0,125$ cm volt. A közlekedő edények elvén működő eszköz lényege, hogy egy kiválasztott „bázis” ponthoz képest lehet meghatározni a profilozás pontjaiban a talajszint magasságát. A kiválasztott „bázis” pont magassága a mérés előtt és után változatlan volt.

2. Anyag és módszer

2.3.2. Kúpos-index mérési módszere és eszköze

A kúpos index a talaj teherbírására jellemző érték. Jelölése: CI. A kúpos index függvény a mélység függvényében megadja a talaj teherbíró képességét. A CI mérés az úgynevezett Ejkellkamp típusú Penetrologgerrel történt. A műszer egy erőmérő cellával és egy lézeres távolság mérővel van ellátva, ezek segítségével a mért CI függvényt digitális formában rögzíti. A mérések szabadföldön illetve talajvályúban 2 cm²-es, 60°-os és 3,3 cm², 30°-os csúcshögű nyomófejjel történtek.

2.3.3. Talaj fizikai összetételének meghatározási módszere és eszközei

A talaj fizikai összetétele laboratóriumi körülmények között került megállapításra a Talajtani Intézettel együttműködve. A fizikai összetétel megállapításához a nyomvonalak közvetlen közeléből vett talajminta szolgált. A minták segítségével első lépésben a nedvességtartalom lett meghatározva majd a szemcseösszetétel. Szabadföldi talaj és talajvályúba töltött talaj esetén egyaránt.

A talajt alkotó szemcsék szitaszűrési eljárással lettek elválasztva egymástól. A különböző szemcseméretű mennyiségének ismeretében megállapítható a talaj típusa. A mintavevő henger méreteinek ismeretében pedig a talaj térfogattömege és porozitása is számolható.

2.3.4. Helyszíni nedvességtartalom mérés módszere és eszköze

A talajminták segítségével laboratóriumban meghatározott nedvességtartalom mellett, a terepen is meghatározásra került a talaj nedvességtartalma. Erre a célra a PCE-SMM 1 típusú talajnedvesség mérő készülék szolgált. A műszer mérési tartománya 0 - 50% +/-2%.

2.4. Közös paraméterek mérésének módszerei és eszközei

A gumiabroncs-talaj kapcsolatában a haladás során kialakult jellemzők a talaj illetve jármű együttes egymásra hatásából jön létre. Például a tömeg megváltozása megváltoztatja az abroncs felfekvési felületét. A talaj teherbírása, az abroncsnyomása vagy a gumiabroncs rugalmasságának változása is hasonló eredménnyel jár. Azonban ezek a változások különböző mértékben hatnak. A mért paraméterek a gumiabroncs-talaj kapcsolatában:

Felfekvési felület (mérőszalag), talaj deformáció (profilométer), vonóerő (erőmérő cella, lengésgyorsulás (gyorsulás érzékelő).

2.4.1. Gumiabroncs felfekvési felületének meghatározási módszere

A felfekvési felületet minden abroncsnyomás és talajállapot mellett, az első tengely két kerékén a jármű álló helyzetében lett felvéve. Amikor a jármű az adott talajra állt jelző porral történő körbeszórás jelölte ki a felületet. A jármű tovább haladása után az ott maradt jelzőpormentes területnek a hossza és szélessége

2. Anyag és módszer

alajján számolható a felület. A gumiabroncs felfekvési felülete álló helyzetben illetve merevpályán ellipszis alakkal közelíthető. Deformálódó pályán történő haladás esetén az ellipszisforma torzul. A teljesen pontos felfekvési felület meghatározásához azt menetközben kellene mérni. Menet közbeni felfekvési felület mérésre nem volt lehetőség, ezért az álló helyzetben mért átlók szolgáltak a felfekvési felület meghatározásához.

$$\text{Az ellipszis felületét: } F_{x,0} = \frac{X Y \pi}{4}. \quad (2.1)$$

2.4.2. Lengésgyorsulások és a vonóerő mérési módszerei és eszközei

A lengésgyorsulásokat három különböző gyorsulásérzékelővel a jármű három különböző helyén lettek mérve. A jobb féltengelyen egy háromirányú érzékelő volt elhelyezve. A bal féltengelyen egy kétirányú gyorsulás érzékelő. A vezető ülés mellett pedig egy egyirányú gyorsulás érzékelő kapott helyet, amely csak a függőleges gyorsulásokat mérte. A mért gyorsulás értékek korrigálás nélkül közvetlenül kerültek felhasználásra a számítások során.

2.5. Talajvályús kísérletek módszerei és eszközei

A talajvályú 1,8 x 1,0 x 0,7 m nagyságú volt. Méreteit az indokolja, hogy a mérési ponttal kellő távolságot kell tartani az oldalfalaktól, mert a kúposindex mérésre hatással van mind az oldalfal, mind pedig a padló jelenléte. A feltöltése ugyanazon talajjal történt, mint amin a szabadföldi vontatási vizsgálatok zajlottak. Azzal a különbséggel, hogy a vályú feltöltéshez átszitált, növényi részekről mentes tiszta talaj került. A talajvályú kétféleképpen lett megtöltve:

1. Többször, adott sűrűségűre tömörített talajjal feltöltve. $\rho_6 = 1,65 \text{ g/cm}^3$; $\rho_5 = 1,45 \text{ g/cm}^3$; $\rho_4 = 1,25 \text{ g/cm}^3$; $\rho_3 = 1,1 \text{ g/cm}^3$; $\rho_2 = 0,95 \text{ g/cm}^3$; $\rho_1 = 0,9 \text{ g/cm}^3$.
2. Rétegenként különböző sűrűségekre tömörített talajjal feltöltve. A vályú aljától felfelé haladva: 10 cm, $\rho_1 = 1,65 \text{ g/cm}^3$; a következő négy réteg 5 cm vastag, $\rho_2 = 1,45 \text{ g/cm}^3$; $\rho_3 = 1,25 \text{ g/cm}^3$; $\rho_4 = 1,1 \text{ g/cm}^3$; $\rho_5 = 0,95 \text{ g/cm}^3$.

A talajvizsgálatok a korábban említett eszközökkel történtek. Kúposindex meghatározás, nedvességtartalom mérés, illetve talajmintavétellel talaj térfogati sűrűség meghatározás.

A mérések során kétféle penetrációs kúp került alkalmazásra. Az egyik kúp nyílásszöge 30° , a másik kúp nyílásszöge 60° . A 30° -os kúp átmérője 2,05 cm, ami egy $3,3 \text{ cm}^2$ felületet jelent. A 60° -os kúp átmérője 1,6 cm, aminek a felülete $2,01 \text{ cm}^2$. Az eltérő nyílásszögű kúpok előtt másképpen viselkedik a talaj.

3. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben bemutatom a kísérletekből megállapított új tudományos eredmények levezetésének módját, valamint szakirodalmi ismeretekre támaszkodva, elméleti következtetéseket vonok le a jelenség fontos paramétereinek könnyebb meghatározásához, melyeket nomogramok formájában közlök.

3.1. A talaj csillapítása

A gumiabroncs alatt a talaj tömörödése nem csak függőleges irányú. A terhelés hatására oldal irányban is folyik ki talaj a nyomó felület alól. Adott százaléku besüllyedéshez tehát bizonyos százaléknyi oldalkifolyás tartozik. Kohezív talajoknál kevesebb, míg kohézió nélküli talajoknál nagyobb százalékban van oldalkifolyás.

A függőleges relatív deformáció az alábbi megfontolások alapján számolható. A talaj térfogati sűrűsége a porozitás és nedvességtartalom függvényében:

$$\rho_v = \rho(1 - n_v)(1 - X_n). \quad (3.1)$$

A (3.1) n_v -re rendezve, ha $X_n = 10\%$ és $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$:

$$n_v = 1 - \frac{\rho_v}{2,4}. \quad (3.2)$$

A porozitás változást „ n_ε ” az „ ε ” relatív nyúlással az alábbi módon lehet kifejezni:

$$n_\varepsilon = \frac{n_v - \varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (3.3)$$

A (3.2) és a (3.3) felhasználva közvetlen egyenletet lehet létre hozni a tömörödés előtti „ ρ_0 ” és a tömörödés utáni „ ρ_ε ” térfogat sűrűségű talaj relatív nyúlásának meghatározására:

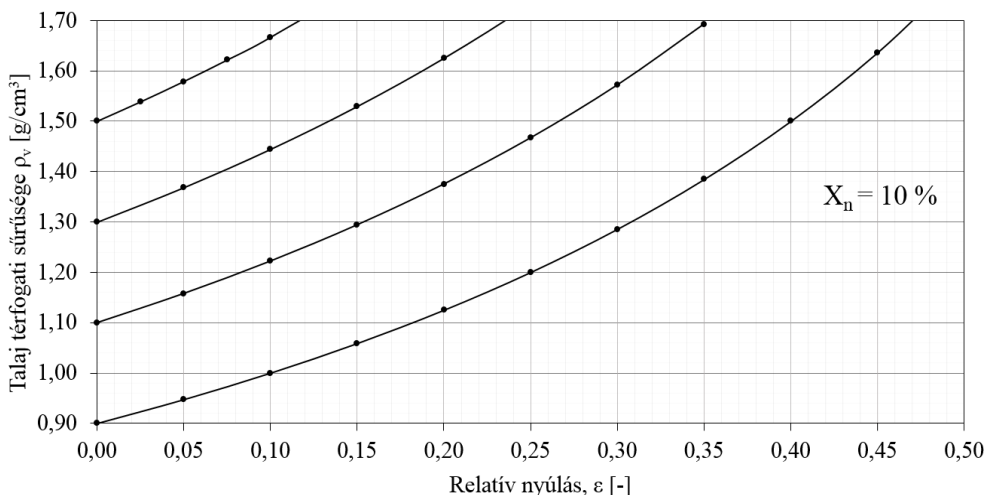
$$\rho_\varepsilon = 2,4 - 2,4 \left(\frac{1 - \frac{\rho_0}{2,4} - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right). \quad (3.4)$$

A (3.4) leegyszerűsített alakja:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_\varepsilon}. \quad (3.5)$$

3. Eredmények

A (3.5) egyenletet felhasználva nomogram készíthető a tömörödés jellemzésére.



3.1. ábra Segéddiagram a térfogat sűrűségek alapján történő relatív nyúlás meghatározásához

A teherbírási tényező meghatározása

A „k” talaj teherbírási tényezőt jó közelítéssel az abroncs talaj kapcsolatában kialakult felfekvési felület és az áthaladás okozta nyommélységből lehet meghatározni. Ehhez a Szaakjan formulát felhasználva az alábbi egyenlet írható:

$$p = k \left(\frac{z}{d} \right)^n \rightarrow p = \sigma_{\text{köz}} \text{ és } d = d_e; \quad k = \frac{\sigma_{\text{köz}}}{\left(\frac{z}{d_e} \right)^n}. \quad (3.6)$$

A teherbírási tényező ilyen módszerrel történő megállapításának előnyei a bevaméteres vizsgálatokkal szemben:

- Nincs szükség nagy berendezéshez, ami a nyomólap talajba nyomásához kellene.
- A „k” teherbírási tényező csak abban az esetben független a „d” átmérőtől, ha a talaj sűrűsége „ρv” és a talaj rugalmassági modulusa „E” állandó. A gyakorlatban ez nem fordul elő. E módszer viszont „d” értékül a tényleges felület egyenértékű átmérőjét veszi figyelembe.
- A gördülő kerék alatti talajdeformáció jobban megfelel a valóságnak, mint a csak függőleges mozgást végző nyomólapnál.

Egyedüli csekély hátránya, hogy az „n” kitevő egy típusú kerékkel nem határozható meg a nyommélységből. A megállapításához kétféle szélességű

3. Eredmények

kerék használatára lenne szükség. Azonban a kitevő jól becsülhető a már meglévő adatok alapján.

Csillapítások szétválasztása

A gumiabroncs-talaj kapcsolatban a keréken elhelyezett lengésgyorsulás érzékelő által rögzített lengésgyorsulás értékek alapján meghatározható csillapításra jellemző érték két komponensből tevődik össze. Az egyik a gumiabroncs csillapítása a másik pedig a talaj csillapítása. Az alábbi levezetés a két komponens egymástól való szétválasztásának módját mutatja be.

A kerékterhelés "F" egyrészt abroncs „x₁”, másrészt talajdeformációt „x₂” okoz. Az abroncs „K₁” és a talaj „K₂” rugómerevségéből kiindulva:

$$F = K_1 x_1 = K_2 x_2. \quad (3.7)$$

A szétválasztás kiinduló pontja a logaritmikus dekrementum kiszámításának alap összefüggése, amelyből „y₂” kell kifejezni:

$$\delta = \ln\left(\frac{y_0}{y_2}\right) \rightarrow y_2 = \frac{y_0}{e^{\delta}}. \quad (3.8)$$

A kerék teljes illetve induló besüllyedése az abroncs és a talajdeformáció összege:

$$y_0 = x_1 + x_2 = \frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2}. \quad (3.9)$$

A következő periódusban a besüllyedés a (3.8) és (3.9) alapján:

$$y_2 = \frac{y_0}{e^{\delta}} = \frac{\frac{F}{K_1}}{e^{\delta}} + \frac{\frac{F}{K_2}}{e^{\delta}} = \frac{F}{K_1 e^{\delta}} + \frac{F}{K_2 e^{\delta}}. \quad (3.10)$$

A (3.9)-et és a (3.10)-et a (3.8) miatt elosztva egymással, levezetve és egyszerűsítve:

$$\delta_{1+2} = \ln\left[\frac{\left(\frac{K_1}{K_2} + 1\right) e^{\delta_1} e^{\delta_2}}{\frac{K_1}{K_2} e^{\delta_1} + e^{\delta_2}}\right]. \quad (3.11)$$

A (3.11) bal oldalán látható a kimért gumiabroncs és talaj együttes logaritmikus dekrementum értéke. A jobb oldalon a talaj és az abroncs rugómerevsége mellett pedig a gumiabroncs logaritmikus dekrementum értéke, -ami betonon történő

3. Eredmények

lengetés alapján kimérhető- illetve a keresett talaj logaritmikus dekrementum értéke. A (3.11)-et δ_2 -re kell rendezni. Rendezés után:

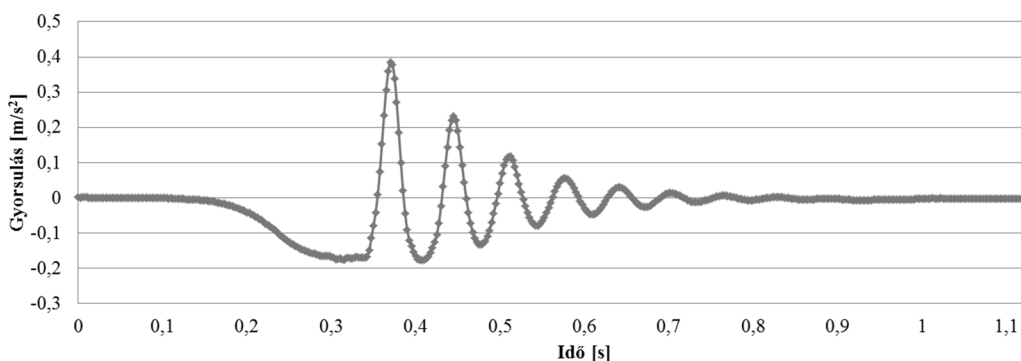
$$\delta_2 = \ln \left[\frac{\frac{K_1}{K_2} e^{\delta_1} e^{\delta_{1+2}}}{\left(\frac{K_1}{K_2} + 1 \right) e^{\delta_1} - e^{\delta_{1+2}}} \right]. \quad (3.12)$$

A rendezett egyenlet segítségével nomogramot lehet alkotni, mely az abroncs logaritmikus dekrementum értékének, valamint a talaj és az abroncs rugóállandójának az ismeretében eredményül a talaj logaritmikus dekrementum értékét adja.

3.2. Gumiabroncs - talaj kapcsolatában keletkező lengéscsillapítás

Az abroncs és talaj együtt leng, melynek csillapodása az abroncstól és a talajtól is függ. Azonos talajállapot mellett eltérő abroncsnyomás esetén eltérő csillapodás keletkezik. Az abroncsra a talajon történő gördülése során is ilyen csillapítások hatnak. Az abroncsot az adott talajra ejtve lehet az együttes csillapodási görbét felvenni, mely görbe alapján számíttással lehet a logaritmikus dekrementumot meghatározni. A függőleges irányú gyorsulás-érzékelő által mért csillapodási görbe a 3.2. ábrán látható. A görbe segítségével a 3.13 képlet alapján a logaritmikus dekrementum kiszámítható. Különböző talajokon -a talaj illetve az abroncs csillapító képességétől függően- eltérően csillapodik a lengés.

$$\delta = \ln \left(\frac{y_n}{y_{n+1}} \right). \quad (3.13)$$



3.2. ábra Csillapodási görbe tarlón, $p_i = 2,1$ bar, $F = 3826$ N, $\delta = 0,58$

A vizsgálatokat minden talajállapoton és betonon is elvégeztem, melynek eredményét táblázatos formában a 3.1. táblázat mutatja.

3. Eredmények

3.1. táblázat Abroncs talaj kapcsolatban mért logaritmikus dekrementum, δ [-]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	0,22	0,35	0,81	1,31
1,8	0,16	0,45	1,02	1,56
2,1	0,12	0,58	1,18	1,85
2,4	0,09	0,72	1,36	2,2

A továbbiakban számba veszem a gumiabroncs-talaj kapcsolatában szerepet játszó paramétereket, amelyek segítségével dimenzió analízist végzek, mértékegység nélküli jellemzők megalkotásához. Minden felsorolt jellemzőt a méréseim során kimértem, illetve meghatároztam.

Gumiabroncs-talaj kapcsolatában szerepet játszó paraméterek:

1. Kerék okozta közepes talajnyomás: $\sigma_{köz}$, [N/m²]
2. Csillapítási tényező: η , [Ns/m]
3. Rugómerevség: K , [N/m]
4. Lengő tömeg: m , [Ns²/m]
5. Teherbírási tényező: k , [N/m²]

3.2. táblázat A dimenziómátrix

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	η	k	m	K	$\sigma_{köz}$
N	1	1	1	1	1
m	-1	-2	-1	-1	-2
s	1	0	2	0	0

A változók száma: 5 db, dimenziók száma: 3 db, dimenzió nélküli mennyiségek száma: 2 db.

A dimenziómátrix megoldása után a hasonlósági számok mátrixa:

3. Eredmények

3.3. táblázat A hasonlósági számok mátrixa

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	η	k	m	K	$\sigma_{köz}$
Π_1	1	0	-1/2	-1/2	0
Π_2	0	1	0	0	-1

A két dimenzió nélküli mennyiség:

$$\Pi_1 = \frac{\eta}{\sqrt{K m}}, \quad \Pi_2 = \frac{k}{\sigma_{köz}} \text{ vagy } \frac{\sigma_{köz}}{k}. \quad (3.14)$$

Ezek alapján egy lehetséges hasonlósági egyenlet:

$$\frac{\eta}{\sqrt{K m}} = f\left(\frac{\sigma_{köz}}{k}\right). \quad (3.15)$$

A hasonlósági egyenlet megoldása

A szabadföldi vontatások alkalmával mért paramétereket felhasználva számolhatók a hasonlósági egyenlet egyes tényezői. A számolt pontokra görbét illesztve eredményül a 3.3. ábrán látható függvénykapcsolatot kapjuk. A 3.4, 3.5, 3.6. és 3.7.-es táblázatok tartalmazzák a mért induló paramétereket, amelyek a továbbiakban felhasználásra kerülnek.

3.4. táblázat Áthaladás után mért talajdeformáció, z [cm]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	0	1,7	4,2	6,0
1,8	0	2,2	4,7	6,4
2,1	0	2,6	5,1	6,8
2,4	0	3,1	5,5	7,1

3.5. táblázat Kerék lengésének saját körfrekvenciája, ω_0 [1/s]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	7,72	7,32	4,71	3,43
1,8	8,94	5,74	3,86	3,23
2,1	7,54	4,98	3,69	3,02
2,4	9,12	4,12	3,23	2,89

A gumibroncs-talaj kapcsolatában kialakult rugómerevséget a lengés saját körfrekvenciájából számolom, $m = 390$ kg:

3. Eredmények

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \rightarrow K = m \omega_0^2. \quad (3.16)$$

3.6. táblázat Abroncs-talaj kapcsoltában keletkező rugómerevség, (K) [N/m]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	228018	205001	84874	45011
1,8	305780	126054	57004	39915
2,1	217509	94884	52094	34894
2,4	318217	64942	39915	31954

A csillapítási tényezőt a mért logaritmikus dekrementum és a sajátkőrfrekvencia segítségével határozom meg. Ez egyben az összefüggés a csillapítási tényező és a logaritmikus dekrementum között:

$$\eta = \frac{\delta}{\pi} m \omega_0. \quad (3.17)$$

3.7. táblázat Abroncs talaj kapcsoltában keletkező csillapítás, η [kg/s]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	211	318	474	558
1,8	178	321	489	626
2,1	112	359	540	695
2,4	102	368	546	790

A közepes talajnyomás a kerékterhelés és a felfekvési felület ismeretében

számolható:

$$\sigma_{köz} = \frac{F}{F_{x,0}}. \quad (3.18)$$

3.8. táblázat Kerék alatti közepes talajnyomás, $\sigma_{köz}$ [N/m²]

p_i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	170040	144374	129691,5	115936
1,8	206805	171565	153036	131928
2,1	239119	195199	167803	150035
2,4	273279	218623	182186	163500

A Szaakjan formulát felhasználva lehet az adott talajállapot teherbírasi tényezőjét meghatározni:

3. Eredmények

$$p = \frac{F}{F_x} = k \left(\frac{z}{d} \right)^n \rightarrow k = \frac{F}{F_x \left(\frac{z}{d} \right)^n} \quad (3.19)$$

3.9. táblázat Talaj teherbírási tényezője, k [bar]

p _i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	0	10	4	3
1,8	0	9	4	3
2,1	0	8	4	3
2,4	0	8	4	3

A Szaakjan formulában a nyomólap átmérőjét „d”, most a felfekvési felületből számolt ekvivalens átmérővel kell helyettesíteni:

$$d_e = \sqrt{\frac{4F_{x,0}}{\pi}} \quad (3.20)$$

3.10. táblázat Felfekvési felületből számolt ekvivalens átmérő, d_e [cm]

p _i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	16,9	18,4	19,38	20,5
1,8	15,3	16,9	17,84	19,2
2,1	14,3	15,8	17,0	18,0
2,4	13,4	14,9	16,4	17,3

3.11. táblázat Mértékegység nélküli abroncs-talaj jellemző, σ_{köz}/k [-]

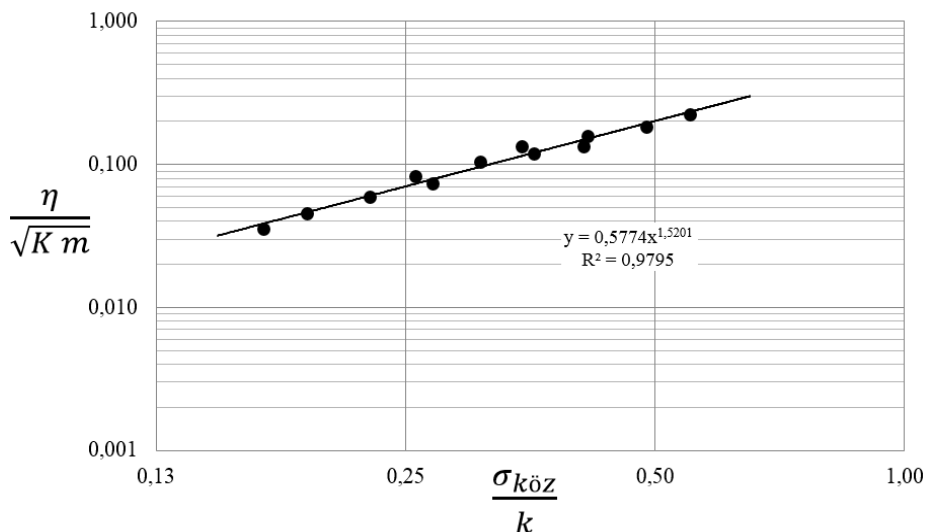
p _i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	-	0,15	0,29	0,37
1,8	-	0,20	0,34	0,41
2,1	-	0,24	0,38	0,46
2,4	-	0,28	0,42	0,49

3.12. táblázat Abroncs-talaj csillapítási tényező, η/((K m)^{0,5}) [-]

p _i [bar]	Beton	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
1,5	0,0224	0,0356	0,0823	0,1331
1,8	0,0163	0,0457	0,1037	0,1585
2,1	0,0122	0,0589	0,1199	0,1880
2,4	0,0091	0,0732	0,1382	0,2236

3. Eredmények

A (3.21) összefüggés segítségével és a megfelelő paraméterek ismeretében meghatározható az „ η ” abroncs talaj együttes csillapítási tényezője. A (3.17)-est felhasználva a csillapítás kifejezhető logaritmikus dekrementum formájában. Illetve a (3.12)-es segítségével el is választható a talaj lengéscsillapítására jellemző logaritmikus dekrementum értéke.



3.3. ábra. A hasonlósági számok közötti függvénykapcsolat.

A hasonlósági számok közötti függvénykapcsolat:

$$\frac{\eta}{\sqrt{K m}} = B \left(\frac{\sigma_{köz}}{k} \right)^h. \quad (3.21)$$

A konstansok értékei: $B = 0,58 [-]$, $h = 1,52 [-]$.

3.3. Talaj térfogati sűrűségének kapcsolata a kúpos indexszel

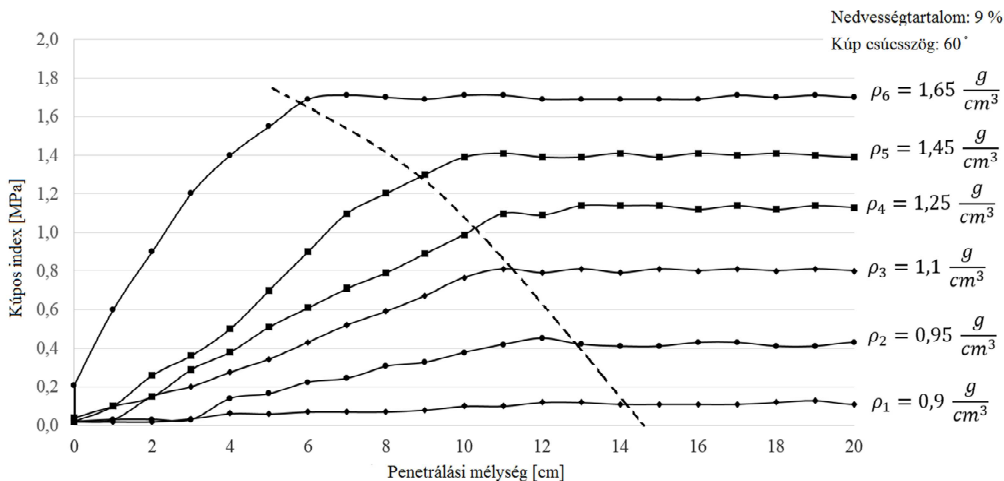
Ezeket a vizsgálatokat ellenőrzött körülmények között talajvályóban végeztem. Ugyanazt a talajt használtam, amelyen a szántóföldi mérések történtek. A mérések eredményeit a 3.4. és a 3.5. ábra szemlélteti. Érdekes eredmény, hogy a kúp ellenállása mintegy 10 cm mélységig lineárisan növekedett, majd egy maximális értéken stabilizálódott. A lineárisan növekvő szakasz hossza többszörösen meghaladta a kúp hosszát. A lineáris szakasz hossza a tömörség növekedésekor egyértelműen csökkent. Ez a jelenség bonyolítja az értékelést és a gyakorlati felhasználást is a sűrűség meghatározásához.

A CI (kúpos index) görbék lefutása és azok értékei függenek a mérésnél használt kúp típusától. A mérések során a 2.5 fejezetben említett kúpok kerültek

3. Eredmények

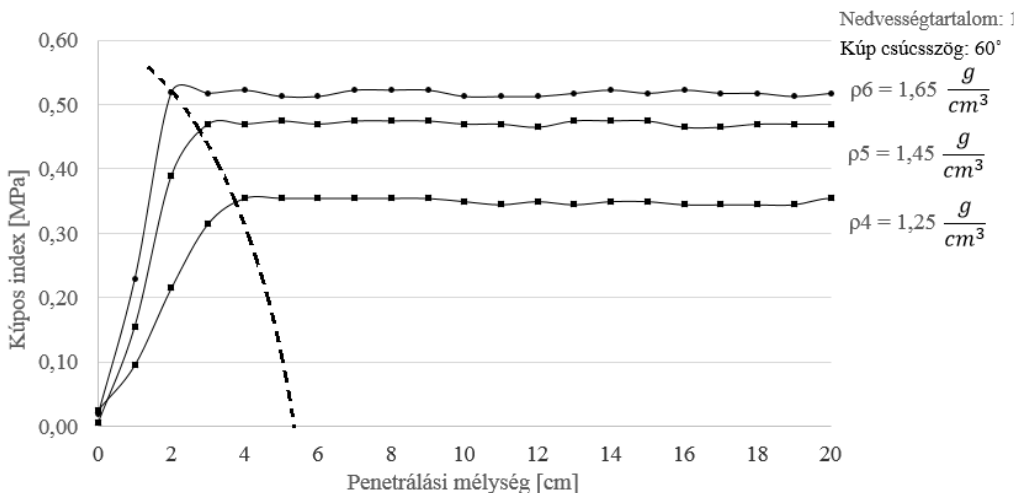
alkalmazásra. A CI görbe feldolgozásához a klasszikus Boussinesq probléma nyomófejre vonatkozó összefüggését célszerű használni, amely itt, a következő

$$\text{alakba írható fel: } CI = R \left(\frac{z}{d_k} \right). \quad (3.22) \quad \text{és} \quad CI_{\max} = R \left(\frac{z_{\max}}{d_k} \right). \quad (3.23)$$



3.4. ábra Talajvályúban mért, különböző sűrűségűre tömörített talaj CI görbéi, 9%-os nedvességtartalomnál

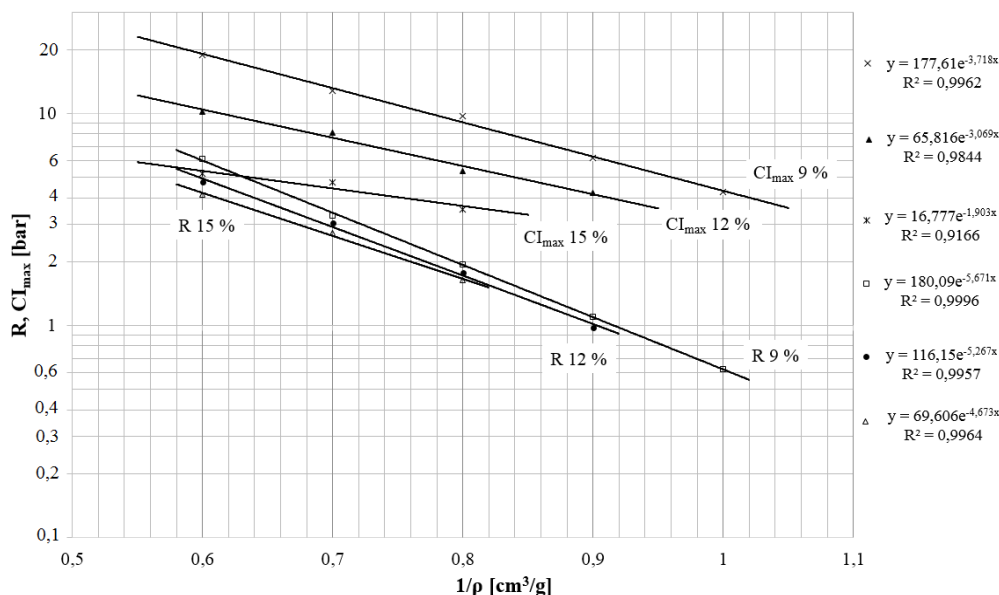
A 3.4. és 3.5. ábrán penetrációs vizsgálatok eredményei láthatóak eltérő nedvességtartalmak esetén. A megemelt nedvességtartalom hatására a talaj jobban összeállt, ezért kis sűrűség értékek előállítására nem volt kivitelezhető.



3.5. ábra Talajvályúban mért, különböző sűrűségűre tömörített talaj CI görbéi, 15%-os nedvességtartalomnál

3. Eredmények

A különböző nedvességtartalmú talajon felvett görbék egyértelműen mutatják, hogy a töréspont helye mind kisebb penetrálási mélységnél van, amint a nedvességtartalom növekszik.



3.6. ábra Kapcsolat az R, CI_{max} és a sűrűség inverze között

A 3.6. ábra a talajvályúban mért penetrációs vizsgálatok feldolgozott eredményeit mutatja (3.4., 3.5.). A függőleges tengelyen a CI_{max} és az R értékek láthatók különböző nedvességtartalmak esetén, a talajsűrűség inverzének függvényében, fél logaritmikus skálán megjelenítve. Ebben az ábrázolási módban az egy nedvességtartalomhoz tartozó CI_{max} és R értékek -a szórást figyelembe véve- egy egyenesre esnek.

Az emelkedő lineáris szakaszt jellemző „R” érték a talajsűrűség függvénye és a mérések alapján (3.6. ábra) negatív exponenciális függvény:

$$R = A e^{-\frac{B_2}{\rho_v}} \quad (3.24)$$

A (3.22) és (3.23) alapján a kúposindex és a talaj sűrűség közötti kapcsolat az alábbi úton vezethető le (emelkedő szakasz):

$$\frac{dCI}{dz} d_k = A e^{-B_2 \frac{1}{\rho_v}} \quad (3.25)$$

Osztunk A-val, majd vesszük a természetes alapú logaritmusát mind két oldalnak:

3. Eredmények

$$\ln\left(\frac{dCI}{dz} \frac{d_k}{A}\right) = -B_2 \frac{1}{\rho_v} \quad (3.26)$$

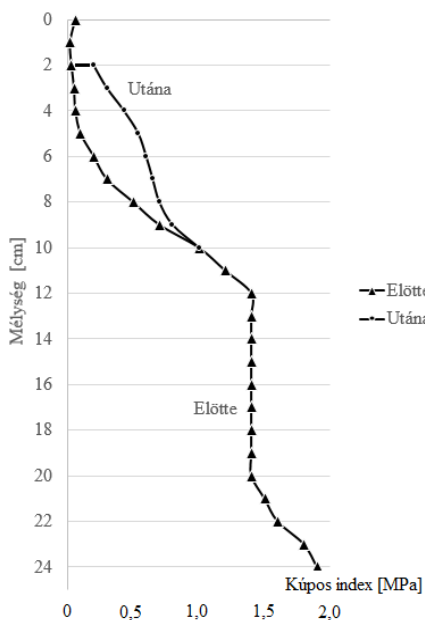
Osztunk $-B_2$ -vel és rendezzük ρ_v -re:

$$\rho_v = \frac{-B_2}{\ln\left(\frac{dCI}{dz} \frac{d_k}{A}\right)} \quad (3.27)$$

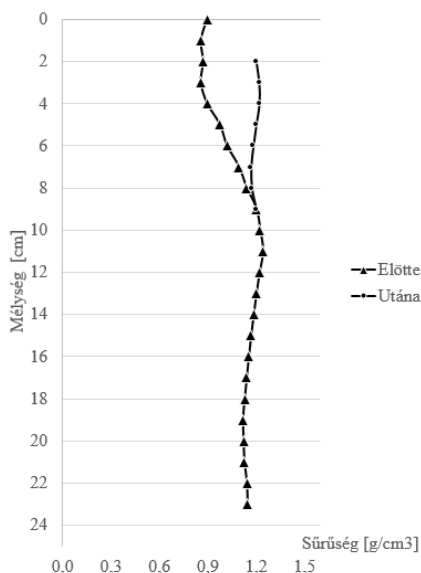
Végül megállapítható, hogy az ln-es részben nem CI/z -vel, hanem dCI/dz -vel, vagyis a kúposindex mélység szerinti első deriváltjával kell számolni (meredekség). Az állandósult szakaszon „R” értéke a (3.24) egyenletből

számolható. Ekkor.

$$\rho_v = \frac{-B_2}{\ln\left(\frac{CI_{max}}{A} \frac{d_k}{z_{max}}\right)} \quad (3.28)$$



3.7. ábra Kúposindex mérés Tarlón áthaladás előtt és áthaladás után



3.8. ábra Kúposindex alapján számolt talaj sűrűség változás a mélység függvényében

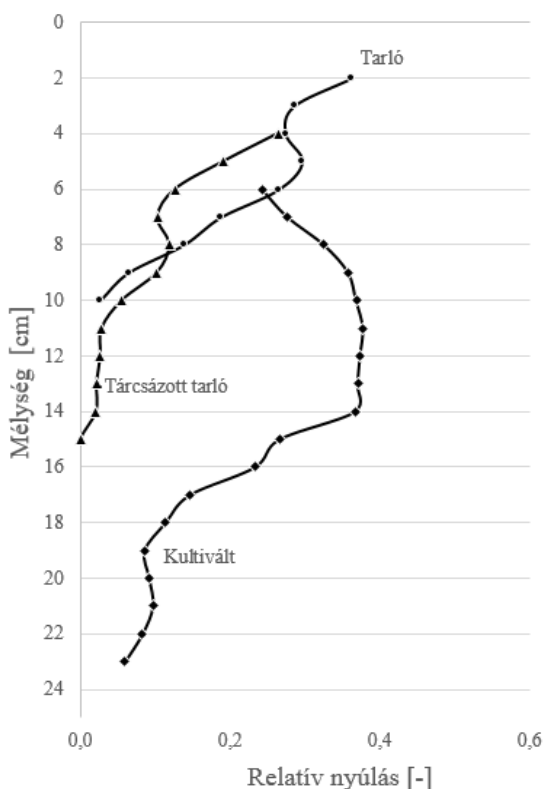
A 3.7. ábrán látható a jobb nyomban mért áthaladás előtti CI görbe valamint az áthaladás után felvett CI görbe. Látható, hogy az áthaladás hatására a kúposindex értékek növekedtek. A (3.28) egyenletet felhasználva a sűrűség számolható. Ehhez a CI értéket és az alkalmazott kúp méretei szolgáltattak bemenő adatként. A

3. Eredmények

3.8. ábrán a számolt talajsűrűség értékek láthatóak a mélység függvényében. Az első két cm volt a nyommélység. A talajsűrűség értékek áthaladás után ezt követően jelennek meg. Az áthaladás hatására -a megfelelő rétegekben- a talaj sűrűsége is növekedett. Két összetartozó pont (pl. 4 cm mélyen a talaj sűrűség áthaladás előtt és azt követően) közötti különbség a tömörödés mértékét adja meg, amit a relatív nyúlással lehet kifejezni.

A (3.5) egyenletet felhasználva, a sűrűség értékek segítségével rétegenként számolható a talaj áthaladás hatására bekövetkezett relatív nyúlása. A vizsgált állapotok esetén a talaj relatív nyúlása (tömörödése) a mélység függvényében a 3.9. ábrán látható.

A relatív nyúlások rétegenkénti összege adja a talaj függőleges deformációját, a talaj oldalirányú mozgása nélkül. Ez utóbbi pontos számbavétele további speciális vizsgálatokat igényel.



Ezek alapján megállapítható, hogy a kúpos penetrométer megfelelő kísérleti adatok birtokában alkalmas a talajsűrűség eloszlásának becslésére, amely alapul szolgálhat egy pontosabb teherbírási tényező meghatározásához, figyelembe véve a talaj mélység szerinti sűrűség eloszlását.

3.9. ábra Az áthaladás hatására kialakult relatív nyúlás (tömörödés) a mélység függvényében

4. Új tudományos eredmények

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Teherbírási tényező meghatározása

A talaj teherbírási tényezőjének (k) meghatározására új módszert fejlesztettem ki. A módszer a jármű áthaladása során hagyott nyomból fejt vissza az teherbírási tényezőt úgy, hogy a felfekvési felület alapján számolt egyenértékű átmérőt helyettesíti a Szaakjan formula nyomólap átmérőjének helyébe. Így a kerék terhelés valamint a nyommélység ismeretében a (k) talaj teherbírási tényező számolható.

2. Gumiabroncs-talaj kapcsolat lengéscsillapítása

Összefüggést dolgoztam ki a talajon gördülő gumiabronccsal szerelt kerék, talaj és gumiabroncs okozta lengéscsillapításának (η) meghatározására, dimenzió nélküli alakban:

$$\frac{\eta}{\sqrt{K m}} = B \left(\frac{\sigma_{\text{köz}}}{k} \right)^h, \quad \text{vagy} \quad \eta = B \left(\frac{\sigma_{\text{köz}}}{k} \right)^h \sqrt{K m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right].$$

A lengéscsillapítás meghatározásához szükség van a közepes talajnyomásra ($\sigma_{\text{köz}}$), a talaj teherbírási tényezőjére (k), az abroncs-talaj kapcsolat rugómerevségére (K), a kerékterhelés tömegére (m) és két állandóra, amely $B = 0,58 [-]$ és $h = 1,52 [-]$.

3. A talaj csillapítása

Összefüggést dolgoztam ki a gumiabroncs-talaj kapcsolatában keletkező eredő logaritmikus dekrementum (δ_{1+2}) alapján történő talaj csillapítás megállapítására:

$$\delta_2 = \ln \left[\frac{\frac{K_1}{K_2} e^{\delta_1} e^{\delta_{1+2}}}{\left(\frac{K_1}{K_2} + 1 \right) e^{\delta_1} - e^{\delta_{1+2}}} \right].$$

Az összefüggés segítségével, az abroncs és a talaj rugómerevségének (K_1 , K_2) ismeretében valamint a gumiabroncs logaritmikus dekrementumának (δ_1) ismeretében kiszámolható a talaj logaritmikus dekrementuma (δ_2).

4. Talaj térfogati sűrűségének kapcsolata a kúpos indexszel

Megállapítottam a kapcsolatot a talajban mért kúposindex (CI) érték és a talaj sűrűsége (térfogat tömege) (ρ_v) között, az emelkedő lineáris szakaszra:

4. Új tudományos eredmények

$$\rho_v = \frac{-B_2}{\ln\left(\frac{dCI}{dz} \frac{d_k}{A}\right)}, \text{ az állandósult szakaszra: } \rho_v = \frac{-B_2}{\ln\left(\frac{CI_{\max}}{A} \frac{d_k}{z_{\max}}\right)} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right].$$

A CI index érték alapján történő talaj sűrűség meghatározáshoz szükség van a penetráláshoz használt kúp átmérője (d_k) valamint a talajtól függő konstansokra, amelyek ebben az esetben $A = 185$ [MPa] és $B_2 = 5,7$ [g/cm^3]. Illetve szükséges még a CI_{\max} értékhez tartozó mélység (z_{\max}).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szabadföldi talaj nagy inhomogenitása és a benne lévő egyéb zavaró elemek (növényzet, kavicsok) miatt talajvályús kísérleteket érdemes végezni. A vályúba csak megfelelően tisztított és beállított nedveségtartalmú talaj kerül. Így az ott végzett, például kúpos penetrométeres vizsgálatok eredményei a kis szórásuk miatt sokkal jobban felhasználhatók törvényszerűségek megállapítására.

Új módszerként javaslom a talaj teherbírási tényezőjének meghatározását a gumibroncs okozta nyommélység alapján. Ez a klasszikus bevaméteres mérésekhez képest egyszerű módszer. Nagy előnye, hogy a „k” érték meghatározásához magát a gumibroncsot használjuk, amely jobban megfelel a valóságnak, mint a csak függőlegesen mozgó nyomólap. Két különböző szélességű broncs használatkor a jellemző „n” kitevő is meghatározható.

A jármű felépítményének mozgástani és energetikai számításainak bemenő paramétere a gumibroncs csillapító képessége és rugómerevsége, valamint a jármű hord rugójának és csillapító elemének a megfelelő tulajdonságai. Ezen elemek egymással soros elrendezésben, kapcsolatban vannak. Terepen haladva a rendszer kiegészül a talaj csillapítási tulajdonságával, amely erősen befolyásolja a jármű mozgástani és energetikai tulajdonságait. A dolgozatban meghatározott „ η ”, a keréken keletkezett gumibroncs és talaj okozta lengéscsillaptási érték az ilyen jellegű számításokhoz szolgálhat bemenő paraméterként.

Az abroncs és talaj csillapítása energiát nyel el és növeli a mozgás energiaszükségletét. A talajprofil okozta függőleges lengések járulékos deformációkat hoznak létre, mind az abroncsban, mind a talajban. A 4 fejezet harmadik pontjában leírt eredmény segítségével a talajban elnyelt energiahányad meghatározására nyílik új lehetőség. Az itt nyert adatok így többek között segíthetik a függőleges lengésgyorsulások okozta járulékos veszteségek mélyebb feltárását is.

A kúpos penetrométeres mérés segítségével most már nem csak talajjellenállást lehet meghatározni, hanem a mélység függvényében a talajsűrűséget is. A 4 fejezet, négyes pontjában közölt eredményeket felhasználva a helyszínen, azonnal megállapítható a talaj sűrűsége, a talaj életébe történő kismértékű beavatkozás árán. A klasszikus talajsűrűség megállapítási módszerhez talajminta vétele szükséges. A mintavétel a talaj jelentős megbontását, bolygatását jelentette, illetve maga a sűrűség meghatározása is több időt vett igénybe. Ami alatt az eredeti talaj sűrűsége akár meg is változhatott. Az elért eredményeknek köszönhetően most pontos képet lehet alkotni a talajsűrűség változásáról az idő függvényében és -az adott tartományon belül- tetszőleges mélységben egyaránt. A módszer részletesebb ismeretet nyújt a rétegenkénti talajsűrűség változás milyenségéről is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A disszertáció elején kitűzött célok megvalósításához a megfelelő kísérleti vizsgálatokat megterveztem és elvégeztem. Figyelembe vettem és felhasználtam a szakirodalomban megtalálható, ezen a területen elért eddigi eredményeket. A kísérleti vizsgálatok átölelték a szabadföldi, talaj, és gumibroncs-talaj, valamint laboratóriumi körülmények között végzett abroncs illetve talaj kísérleteket és vizsgálatokat egyaránt. Részletes szakirodalmi következtetéseket tettem a számomra releváns pontokban, melyek alapján a vizsgálódásaimat és kísérleteket a megfelelő irányba tereltem.

Szabadföldi vontatási kísérleteket a Szent István Egyetem erre alkalmas területén végeztem. A terület talajfizikai összetételét pontosan meghatároztam. A kísérlethez használt terepjáró járművet egy John Deere 6600-as traktorral, erre a célra megfelelően kialakított egyedi vonószerkezet segítségével vontattam. Vontatásokat eltérő talajállapotokon és különböző abroncs légnyomások mellett végeztem. A vizsgált gumibroncs tulajdonságait (például az abroncs rugómerevsége) laboratóriumi körülmények között mértem ki.

Az eredmények fejezetben megtalálható a kísérleti eredmények feldolgozásának részletes leírása illetve az eredmények alapján levonható következtetések. A 3.1. alfejezet a talaj csillapítása címet viseli. Ebben olyan elméleti úton megállapított levezetések olvashatók, melyeknek egy része önmagában is új tudományos eredmény lehet, illetve segítik a mérési eredmények gyors feldolgozását, például segéddiagram formájában. Ilyen például a 3.1. ábrán mutatott nomogram, amely segítségével a tömörödés előtti és tömörödés utáni talaj térfogat tömegek ismeretében a relatív talajnyúlás (tömörödés) könnyen leolvasható.

A megvalósított kísérletek és vizsgálatok feldolgozásának eredményeként, a talaj tömörödése és csillapítása témakörében négy új tudományos eredmény született:

Új módszert javasoltam a talaj teherbírási tényezőjének megállapításához, mely számos előnnyel rendelkezik a jelenleg alkalmazott módszerekkel szemben.

Számítási és leírási módszert alkottam a talaj csillapítási tulajdonságának meghatározásához. A vizsgált talajra meghatároztam a csillapítást, melyet a logaritmikus dekrementummal lehet kifejezni.

Feltártam az összefüggést a kúpos penetrációs talaj vizsgálat során felvett CI érték és a talaj térfogat sűrűsége között.

A kísérletek során tett észrevételeimet, illetve a feltárt összefüggéseket és új módszereket a következtetések és javaslatok fejezetben ismertettem részletesen.

Összegezve, a dolgozat elején a célkitűzések fejezetben feltett kérdésre sikerült válaszokat megfogalmazni.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ
KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven

1. Laib, L. - Máthé, L. - **Pillinger, Gy.** (2010): The effects of the off-road vehicle on the soil cohesion and internal friction. Mechanical Engineering Letters, Vol. 4., pp. 73-91. HU ISSN 2060-3797
2. Máthé, L. - Kiss, P. - Laib, L. - **Pillinger, Gy.** (2013): Computation of run-off-road vehicle velocity from terrain tracks in forensic investigations. Journal of Terramechanics, Vol. 50. Issue 1., pp. 17-27. (IF: 0,803*)
3. Máthé, L. - Kiss, P. - Laib, L. - **Pillinger, Gy.**- Magdics, G. (2013): Run-off-road vehicle speed analysis from terrain tracks. Mechanical Engineering Letters, Vol. 10., pp. 81-90. HU ISSN 2060-3797
4. Máthé, L. - **Pillinger, Gy.** (2014): Examination of an overturned towed vehicle. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, Vol. 11. Issue 1., pp. 63-66. ISSN 1302-7050

Lektorált cikk magyar nyelven

5. **Pillinger, Gy.** (2011): Vályogos homoktalaj terepprofil mérése. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (http://www.on-and-off-road-vehicles.hu/pdf/15_152_161.pdf domain név alatt), III. évf., 1. sz., 152-161. o., HU ISSN 2060-4408
6. **Pillinger, Gy.** (2014): Talajdeformáció meghatározása gumiabroncs-talaj kapcsolat reológiai modelljével. Mezőgazdasági Technika, LV. évfolyam, április, 2-5. o., HU ISSN 0026-1890
7. **Pillinger, Gy.** (2014): Függőleges lengések hatására keletkezett járulékos teljesítmény veszteség megoszlása a gumiabroncsabroncs és talaj között. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (http://www.on-and-off-road-vehicles.hu/pdf/pillinger_2014.pdf domain név alatt), VI. évf., 1. sz., 1-7. o., HU ISSN 2060-4408