

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Közútról lefutó járművek mozgásának  
elemzése

Doktori (PhD) értekezés

Máthé László

Gödöllő  
2014

**A doktori iskola  
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:**

Agrárműszaki tudományok

**vezetője:**

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

**témavezető:**

Prof. Dr. Laib Lajos  
professor emeritus, CSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar  
Folyamatmérnöki Intézet

**társ témavezető:**

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

.....  
az iskolavezető jóváhagyása

.....  
a témavezetők jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSJEGYZÉK	5
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	9
1.1. A téma időszerűsége és jelentősége	9
1.2. Célkítűzések	10
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	13
2.1. Balesetek típusainak és jellemzőinek bemutatása	13
2.1.1. <i>Balesetek értékelése súlyosság szerint</i>	14
2.1.2. <i>Pályaelhagyásos balesetek típusai</i>	15
2.1.2.1. <i>Felugrás, „repülés és leszállás”</i>	15
2.1.2.2. <i>Kisodródás</i>	17
2.1.2.3. <i>Borulásos balesetek</i>	19
2.1.2.4. <i>Ütközés terepakadállyal</i>	21
2.1.3. <i>Balesetrekonstrukció</i>	22
2.1.3.1. <i>Rekonstrukciós módszerek</i>	22
2.1.3.2. <i>Baleset rekonstrukciót megalapozó kísérletek</i>	24
2.2. Terepi baleseteket befolyásoló tényezők	26
2.2.1. <i>A lejtőszög hatásának összefüggései</i>	27
2.2.2. <i>Makroakadályok hatása a jármű mozgására</i>	28
2.2.3. <i>Mikroakadályok hatása a jármű függőleges lengéseire</i>	29
2.2.4. <i>A talaj hatása a jármű mozgásképességére</i>	30
2.3. Terepjáráseleméleti kutatások	32
2.3.1. <i>Terepen mozgó járművek mozgásának vizsgálata</i>	32
2.3.2. <i>Talajvizsgálat eszközei</i>	35
2.3.2.1. <i>Talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata</i>	35
2.3.2.2. <i>Talaj teherbíró képességének vizsgálata</i>	36
2.3.2.3. <i>A talaj nyírószilárdságának mérése</i>	37
2.3.2.4. <i>Víz tartó képesség és nedvességtartalom meghatározása</i>	39
2.3.2.5. <i>Talajprofil mérése</i>	40
2.4. <i>A terepen mozgó járművek mozgásképességét leíró modellek</i>	43
2.4.1. <i>Nyomás-besüllyedés összefüggések</i>	44
2.4.2. <i>Mobilitást leíró összefüggések</i>	44
2.4.3. <i>Gördülési ellenállási tényezőt leíró összefüggések</i>	45
2.5. <i>A szakirodalmi áttekintés kritikai elemzése</i>	45
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	47
3.1. <i>Mérések helyszíne</i>	47
3.2. <i>Talajjellemzők meghatározása</i>	48
3.2.1. <i>A talaj fizikai tulajdonságainak meghatározása</i>	48
3.2.2. <i>A talaj hordképességének vizsgálata</i>	48
3.3. <i>A mérések során alkalmazott járművek</i>	48
3.3.1. <i>John Deere 6600-as traktor</i>	48
3.3.2. <i>GAZ-69</i>	49

<b>3.4. A mérésekhez használt műszerek, eszközök bemutatása</b>	50
<b>3.5. A vizsgálatok módszere</b>	54
3.5.1. <i>Mérés betonon</i>	55
3.5.2. <i>Szántóföldi mérés</i>	55
3.5.3. <i>Keréktúrás vizsgálata</i>	57
3.5.4. <i>Mérés hajtott járművel</i>	58
3.5.5. <i>Terepprofil mérés</i>	58
3.5.6. <i>A besüllyedés mértékének meghatározása</i>	62
3.5.7. <i>Felfekvési felületek meghatározása</i>	62
<b>3.6. Modell a sebesség meghatározására</b>	68
<b>3.7. A mérési adatok értékelésénél alkalmazott összefüggések</b>	71
<b>4. EREDMÉNYEK</b>	73
<b>4.1. A talajvizsgálatok eredményei</b>	73
4.1.1. <i>A talaj fizikai tulajdonságainak meghatározása</i>	73
4.1.2. <i>Kúpos index mérések eredménye</i>	76
<b>4.2. GAZ-69 makroakadály leküzdő képességének meghatározása</b>	81
<b>4.3. Gördülési ellenállási tényezők meghatározása</b>	84
<b>4.4. A túrás jelenségének vizsgálata</b>	90
<b>4.5. Terepre behatoló jármű sebességének meghatározására</b>	94
4.5.1. <i>A modell input adatai</i>	94
4.5.2. <i>A modell output adata</i>	95
4.5.3. <i>A számítások során felhasznált összefüggések</i>	96
<b>4.6. A modell ellenőrzése szabadföldi mérésekkel</b>	97
4.6.1. <i>Lassulási úthossz ellenőrzése</i>	97
4.6.2. <i>A modell pontosságának ellenőrzése</i>	97
4.6.3. <i>A modell használatának bemutatása egy példán keresztül</i>	100
<b>4.7. Új tudományos eredmények</b>	103
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK</b>	107
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS</b>	109
<b>7. SUMMARY</b>	111
<b>8. MELLÉKLETEK</b>	113
<b>M1: Irodalomjegyzék</b>	113
<b>M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk</b>	127
<b>M3: Mérési adatok</b>	133
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b>	151

## JELÖLÉSJEGYZÉK

$\alpha$	lejtőszög	[°]
$\beta$	talaj paraméter	[-]
$\gamma$	talajra jellemző paraméter	[-]
$\delta$	gumiabroncs deformáció	[m]
$\delta$	forgó tömegek redukciós állandója	[-]
$\Delta$	eltérés	[%]
$\Phi_0$	kúpos index átszámításához szükséges integrál	[-]
$\Phi_1$	kúpos index átszámításához szükséges integrál	[-]
$\rho$	talaj paraméter	[-]
$\rho_{\text{levegő}}$	levegő sűrűsége	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	szórás	[-]
$\mu$	súrlódási ellenállási tényező	[-]
$\mu_t$	tapadási ellenállási tényező	[-]
$a$	gyorsulás	[m/s <sup>2</sup> ]
$A$	jármű homlokfelülete	[m <sup>2</sup> ]
$a_1$	súlypont távolsága az első tengelytől	[m]
$a_2$	súlypont távolsága a hátsó tengelytől	[m]
$A_{\text{abroncs}}$	gumiabroncs felfekvési felülete	[m <sup>2</sup> ]
$b$	nyomólap átmérő	[m]
$B$	kerékszélesség	[m]
$b_1$	anyag káros baleset	[-]
$b_2$	könnyű sérüléssel baleset	[-]
$b_3$	súlyos sérüléssel baleset	[-]
$b_4$	halálos kimenetelű baleset	[-]
$B_s$	súlyozással összegzett balesetszám	[-]
$c$	kohézió	[Pa]
$C_1$	talajra vonatkozó konstans	[-]
$C_2$	talajra vonatkozó konstans	[-]
$CI$	kúpos index	[Pa]
$CI_{z_0=0}$	kúpos index $z_0=0$ cm mélységben	[Pa]

$CI_{z_0=L}$	kúpos index $z_0=L$ cm mélységben	[Pa]
$c_w$	légellenállási tényező	[-]
$d$	a jármű által a levegőben megtett út vízszintes síkban	[m]
$d$	szemcseátmérő	[m]
$D$	kerékátmérő	[m]
$E$	lejtő meredksége	[%]
$E_D$	deformációval felemésztett energia	[J]
$EES$	energia egyenértékű sebesség	[m/s]
$E_i$ lengések	lengések okozta energiaveszteség	[J]
$E_i$ makroakadályok	makroakadályok okozta energiaveszteség	[J]
$E_i$ perdület	perdület okozta energiaveszteség	[J]
$F_c$	centrifugális erő	[N]
$f_{cs}$	oldalt csúszó kerék ellenállási tényezője	[-]
$F_D$	járműre ható deformációs erő	[N]
$F_e$	emelkedési ellenállás	[N]
$F_f$	fékezési ellenállás	[N]
$F_g$	gördülési ellenállás	[N]
$F_g'$	gördülési ellenállás egy kerék esetén	[N]
$f_g$	gördülési ellenállási tényező	[-]
$f_g'$	gördülési ellenállási tényező egy kerék esetén	[-]
$f_{g(def)}$	gumiabroncs deformáció okozta ellenállás	[-]
$F_{gy}$	gyorsítási ellenállás	[N]
$F_h$	hajtáslánc okozta ellenállás	[N]
$f_h$	hajtáslánc ellenállási tényező	[-]
$F_{lég}$	légellenállás	[N]
$F_{mf}$	motorfék okozta ellenállás	[N]
$f_{mf}$	motorfék ellenállási tényező	[-]
$F_{súrl}$	súrlódási ellenállás	[N]
$F_t$	tapadási erő	[N]
$F_t$	túrasi ellenállás	[N]
$F_v$	vonóerő	[N]
$F_{v max}$	maximális vonóerő	[N]

$F_{x1}$	lejtővel párhuzamos erő az első tengelynél	[N]
$F_{x2}$	lejtővel párhuzamos erő a hátsó tengelynél	[N]
$F_{z1}$	lejtőre merőleges erő az első tengelynél	[N]
$F_{z2}$	lejtőre merőleges erő a hátsó tengelynél	[N]
$g$	gravitációs gyorsulás	[m/s <sup>2</sup> ]
$G$	gravitációs erő	[N]
$G$	kúpos index gradiens	[Pa/m]
$h$	a jármű tömegközéppont távolsága az elrugaszkodás pillanatában és a legmagasabb repülési helyzetben	[m]
$h$	súlypont magassága az útfelülettől	[m]
$h$	gumiabroncs profilmagassága	[m]
$h$	feltúrt földmennyiség magassága	[m]
$H$	kerékbesüllyedés és feltúrt földmennyiség magasságának összege	[m]
$H_{huf}$	kritikus terepszöghöz tartozó, még áthatolható lépcsőmagasság	[m]
$H_{krit\ els\o}$	első konzolhoz tartozó kritikus magasság	[m]
$H_{krit\ h\ats\o}$	hátsó konzolhoz tartozó kritikus magasság	[m]
$K'_c$	dimenzió nélküli talajparaméter	[-]
$K'_\phi$	dimenzió nélküli talajparaméter	[-]
$K_c$	dimenzió nélküli talajparaméter	[-]
$K_\phi$	dimenzió nélküli talajparaméter	[-]
$L_t$	tengelytáv	[m]
$L$	penetrométer fej hossza	[m]
$m$	jármű tömege	[kg]
$M$	mobilitási szám	[-]
$M_c$	mobilitási szám (vályog talaj)	[-]
$M_{Bn}$	mobilitási szám (Brixius féle)	[-]
$M_s$	mobilitási szám (homok talaj)	[-]
$n$	dimenzió nélküli talajparaméter	[-]
$n$	teherbírási görbe kitevője	[-]
$p_{abr}$	abroncslégnyomás	[bar]
$p_{talaj}$	talajnyomás	[Pa]

Q	jármű egy kerékre eső súlya	[N]
Q <sub>R</sub>	névleges gumibroncs terhelés	[N]
r	kanyarodási ív sugara	[m]
s	megtett út	[m]
S	szlip (decimális)	[-]
S <sub>1</sub>	az anyagi káros balesetek száma	[-]
S <sub>2</sub>	a könnyű sérüléssel balesetknél a könnyű sérültek száma	[-]
S <sub>3</sub>	a súlyos balesetknél a súlyos sérültek száma	[-]
S <sub>4</sub>	a halálos balesetknél a halottak száma	[-]
s <sub>D</sub>	deformációs úthossz	[m]
T <sub>s</sub>	térfogattömeg	[kg/m <sup>3</sup> ]
V	gumibroncs térfogata	[m <sup>3</sup> ]
v	jármű sebessége	[m/s]
Δv	sebességkülönbség	[m/s]
v <sub>0</sub>	kezdeti sebesség	[m/s]
v <sub>1</sub>	pillanatnyi sebesség	[m/s]
v <sub>behatolási</sub>	pályaelhagyási sebesség	[m/s]
W	nedvességtartalom	[%]
z	talajdeformáció, kerékbesüllyedés	[m]
z <sub>0</sub>	maximális talajdeformáció	[m]
z <sub>0</sub>	penetrométer fej és a felszín közötti távolság	[m]
Z <sub>átlag</sub>	jobb és bal kerék besüllyedésének átlaga	[m]
Z <sub>bal</sub>	bal kerék besüllyedésének mértéke	[m]
Z <sub>jobb</sub>	jobb kerék besüllyedésének mértéke	[m]



## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Ebben a fejezetben a választott témakör aktualitását kívánom bemutatni, és a dolgozat célkitűzéseit foglalom össze.

A kutatás a Nemzeti Technológiai Program „Crash” projecthez kapcsolódva, a Nemzeti Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

### 1.1. A téma időszerűsége és jelentősége

Ha egy jármű közúton balesetet okoz vagy elszenved, a haladási sebesség meghatározása a műszaki szakértő feladata. Ehhez rendelkezésére áll a baleset helyszínrajza, a fékút hossza, a sérült jármű, illetve a résztvevők esetleges beszámolóí. A sebesség meghatározására a szakirodalom szerint több szimulációs módszer is alkalmas. Ezek közös tulajdonsága, hogy közúton a fékút, a tapadási tényező, és a jármű műszaki adatai ismeretében képesek a haladási sebesség közelítő meghatározására.

A másik módszer szerint a jármű sérülésének mérete alapján az ütközés energiáját számítják, és ennek ismeretében határozzák meg a járművek haladási sebességét. A fenti eljárások, mint minden szimuláció, bizonyos hibával számítják a járművek haladási sebességét.

A közúti baleseteket elemezve megállapítható, hogy igen gyakran a jármű a baleset következtében elhagyja az épített utat, azaz behatol a terepre. A behatoló jármű a terepre érkezés pillanatában mozgási energiával rendelkezik. Mozgását a továbbiakban a terep-jármű kapcsolat fizikai és mechanikai törvényei határozzák meg.

A járműre ható különféle menetellenállások hatására a jármű hosszabb rövidebb utat megtéve a terepen megáll, miközben sebessége és mozgási energiája nullára csökken. A jármű mozgását a menetelleállások mellett befolyásolja a terep egyenetlenségei által gerjesztett lengésgyorsulás, továbbá a terepen lévő és a jármű útjába eső egy vagy több nagyméretű terepakadály (KISS és LAIB 1997, 1999). A tapasztalat szerint, ha a jármű áthatol egy nagyméretű terepakadályon, azaz makroakadályon, akkor mozgási energiájának kb. 10% -át használja fel. Ezzel a kérdéskörrel többek között BEKKER (1969), JÁNOSI és EILERS (1962) foglalkozott. A terep-egyenetlenség által gerjesztett lengésgyorsulás, ha eléri a  $\sigma = 0,3g - 0,5g$  gyorsulás szórás értékét akkor a jármű vezetője képtelenné válik a jármű irányítására (FREITAG et al. 1975; POPP és SCHIEHLEN 2010). A jármű mozgási energiáját jelentősen csökkentheti a jármű egyes részegységeinek leszakadása, a karosszéria sérülése.

A baleset és ennek következtében a terepre történő behatolás rekonstruálásánál nagyon körültekintően kell eljárni. A rekonstrukció célja a jármű haladási

## 1. Bevezetés, célkitűzések

---

sebességének meghatározása, a mechanika törvényeinek alkalmazásával, és matematikai szimulációval. Az ehhez szükséges bemenő adatokat a baleset helyszínén felvett rendőrségi jegyzőkönyvekből, valamint a rendelkezésünkre álló adatbázisból tudjuk meghatározni.

A terepen bekövetkező balesetek számos problémát jelentenek az igazságügyi szakértők számára. HUGEMANN (2007) szakértői könyvében kijelenti, hogy a terepi balesetek számítógépes szimulációval történő elemzése jelenleg csak közelítő eredményt szolgáltat. Szükséges a talajmechanikai paraméterek vizsgálata (LIU és SUBRAMANIA 2009), ami a terepi balesetek értékelését segíteni tudja. A balesetelemzések során szükséges megvizsgálni a talaj és a gumiabroncs kapcsolatát, a talajmechanikai paraméterek hatását a jármű mozgására.

A pályaelhagyásos balesetek az összes baleset számának kb. 16 %-a (KSH 2012). Más országok statisztikái (LIU és SUBRAMANIA 2009; KSH 2012) azt bizonyítják, hogy az útelhagyásos balesetek jelentős része nagyon súlyos kimenetelű.

### 1.2. Célkitűzések

A járművek biztonságával, a balesetek elemzésével foglalkozó hazai és külföldi szakemberek megerősítettek abban, hogy nem tisztázott a terepre behatoló járművek mozgását befolyásoló talajmechanikai paraméterek hatása. Ezzel elősegítem a rekonstrukciós munkákat, azaz a sebesség meghatározását a baleset után.

**Célom**, hogy számítással meghatározzam a pályát elhagyó és terepre behatoló jármű sebességét. A számításhoz olyan összefüggést dolgozok ki, amelyben a bemenő paraméterek könnyen mérhető vagy megadható adatok. Az igazságügyi szakértők számára korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre, ezért a baleset helyszínén felvehető és egyszerűen meghatározható paraméterekre van szükség.

A terepre behatoló jármű, mozgási energiával rendelkezik, ami terepen a menetellenállások, lengésgyorsulások és nagyméretű terepakadályok okozta energiavesztés következtében nullára csökken. A pályaelhagyástól a megállásig a sebességváltozás  $\Delta v$ . Ennek meghatározása a számítás célja.

A módszer lényege, hogy a behatolás során a járműre ható ellenállásokat összegezve, a terepen megtett út ismeretében számítom a jármű behatolásának és megállásának sebesség különbségét. Mivel a véghelyzetben a jármű sebessége nulla, a sebességváltozás megegyezik a behatolási sebesség értékével. A terepre behatoló jármű sebességét az útelhagyás módja jelentősen meghatározza, ezért fontos szakaszokra bontani a jármű útját a pályaelhagyástól a végső pozícióig.

## 1. Bevezetés, célkitűzések

---

További célom, hogy szabadföldi kísérletekkel megvizsgáljam a gördülési ellenállás, keréktúrás esetén a túrási ellenállás, kerékbesüllyedés, abroncs felfekvési felület, abroncs belső légnyomás és talaj hordképesség hatását a jármű mozgására. Ezek a terepre és járműre vonatkozó paraméterek egy pályaelhagyásos baleset során felvehetőek.

Munkám során arra törekszem, hogy olyan módszert vezessek be, amelyet az igazságügyi szakértők egyszerűen tudnak alkalmazni, és ugyanakkor a gyakorlat számára megfelelő pontosságot biztosít.



## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A járműtechnika fejlődésének köszönhetően, számos aktív és passzív biztonsági elem került beépítésre a modern járművekbe, amelyek feladata a baleset megelőzése, vagy a baleset bekövetkezése után az utasok védelme. Ennek ellenére a balesetek száma növekszik, ez köszönhető annak, hogy egyre több gépjármű kerül az utakra (KSH 2012). Az évek során, számos előírás, szabályzat keletkezett a közlekedés elősegítésére, illetve a balesetek számának visszaszorítására (1/1975. II. 5. KPM-BM együttes rendelet; EK-Szerződés 71. cikke).

### 2.1. Balesetek típusainak és jellemzőinek bemutatása

SCHUMANN és KISGYÖRGY (2001) értelmezésében a közúti baleset olyan váratlanul bekövetkező, nem szándékosan előidézett forgalmi esemény, amelyben legalább egy mozgó járműnek vagy igavonásra alkalmas állatnak szerepe van, és amely következtében anyagi kár keletkezik, vagy személyi sérülés, illetve haláleset történhet. A terepen bekövetkező balesetek értelmezése ehhez hasonló, kiegészítve azzal, hogy a jármű a baleset során valamilyen módon, kapcsolatba kerül a tereppel (HUGEMANN 2007; BURG 2007; LAIB 2009).

A terep az épített úton kívüli, föld- vagy talajréteggel borított terület, amely a településeket elhagyva, jellemzően megtalálható az épített utak körül. Ennek köszönhetően számos baleset terepen következik be, vagy az esemény során adott időre kapcsolatba lép a jármű a tereppel, amely jelentősen képes befolyásolni a baleset kimenetelét (2.1. ábra).



2.1. ábra. Terepre behatoló gépjármű. (HUGEMANN 2007)

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1.1. Balesetek értékelése súlyosság szerint

A balesetek egyik lehetséges értékelése súlyosság szerint történik (SCHUMANN és KISGYÖRGY 2001). Ez érvényes a terepen bekövetkező balesetekre is. Ezeket a balesetscsoportokat súlyossági egyenértékkel jellemezzük:

- Anyagi káros  $b_1 = 1$
- Könnyű személy sérüléses  $b_2 = 5$
- Súlyos személy sérüléses  $b_3 = 70$  (8 napon túl gyógyulókra vonatkozik)
- Halálos kimenetelű baleset  $b_4 = 130$  (48 órán belül elhunytakra vonatkozik)

A súlyozással összegzett balesetszám ( $B_s$ ) ezek után:

$$B_s = b_1 \cdot S_1 + b_2 \cdot S_2 + b_3 \cdot S_3 + b_4 \cdot S_4, \quad (2.1.)$$

ahol:

- $S_1$  az anyagi káros balesetek száma,
- $S_2$  a könnyű sérüléses baleseteknél a könnyű sérültek száma,
- $S_3$  a súlyos baleseteknél a súlyos sérültek száma,
- $S_4$  a halálos baleseteknél a halottak száma.

SCHUMANN és KISGYÖRGY (2001) tanulmányából kiderül, hogy bizonyos baleseti jellemzők és egyenértékek segítségével statisztikák írhatók fel egyes útszakaszokra, vagy csomópontokra, amelyek a közlekedésmérnökök munkáját hivatott segíteni.

Számos kutató foglalkozott és jelenleg is foglalkozik (SCHMIDT és NEGAL 1971; IGNÁCZ 2007; LIU és SUBRAMANIA 2009; MCLAUGHLIN et al. 2009; JUN et al. 2009; KŐFALVI és IGNÁCZ 2011; DONNELLY és MOORHOUSE 2012, BURG et al. 2012) a balesetek során bekövetkező személyi sérülésekkel, azok súlyosságával illetve az elütött személyek által a járművön hagyott nyomok vizsgálatával (FUNK et al. 2008; HALLMAN 2011; RIDELLA et al. 2012). SCHNEIDER et al. (2011) módszert javasolt a sérülések elemzésére, dokumentálására, számítógépes rendszerbe való egyszerű bevitelére. IGNÁCZ (2009) végelem számítási programok alkalmazási lehetőségeit vizsgálta a gépjármű ütközések elemzése során. CRAIG et al. (2011) a járműben utazók sérüléseit értékelte, valamint számítógépes elemző program fejlesztését segítette munkájával. NEUMAN et al. (2003) többek között a pályaelhagyásos balesetek során keletkező sérülésnyomokat és azok rögzítésének lehetőségét kutatta.

HUANG (2002), KWASNOSKI (2003), BURG (2007) és HUGEMANN (2007) szakértői könyvében összefoglalta a balesetek rekonstrukciójához

## 2. Szakirodalmi áttekintés

szükséges alap tudnivalókat, összefüggéseket és tapasztalatokat. M. CSIZMADIA és NÁNDORI (2001), LAIB (2002), DUKKIPATI et al. (2008), JAZAR (2008), WONG (2008), POPP és SCHIEHLEN (2010) közúton és terepen mozgó járművek elméletével, dinamikájával foglalkoztak. Az általuk összefoglalt fizikai, mechanikai és matematikai összefüggések nagy segítséget jelentenek a balesetek elemzésével foglalkozó szakértők, valamint a különböző számítógépes balesetelemző programok fejlesztői számára.

### 2.1.2. Pályaelhagyásos balesetek típusai

#### 2.1.2.1. Felugrás, „repülés és leszállás”

A 2.2. ábrán egy olyan eset látható, amikor a jármű felugrása után, az eredeti útvonaltól magasabb terepen landol. A 2.3. ábra hasonló helyzetet mutat be, de itt a landolás mélyebb terepen történik. A 2.4. ábrán a jármű a völgy felett „átrepülve” a völgy alján landol. A 2.5. ábrán minimális elemelkedést követően landol a jármű, majd továbbgurul, míg a 2.6. ábra azt a szituációt mutatja, amikor lejtős területről elrugaszkodás történik.

A fizika ferde hajítás elméletét alkalmazva valamint a 2.2. – 2.6. ábrák jelöléseit felhasználva, a jármű haladási sebessége az útfelszín elhagyása pillanatában a következő általános egyenlettel számítható:

$$v = d \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (d \cdot \sin \alpha - h \cdot \cos \alpha)}} \quad [\text{m/s}]. \quad (2.2.)$$

Amennyiben a lejtőszög kicsi:  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ ,  $\tan \alpha = E$ , valamint  $\cos \alpha \approx 1$ .

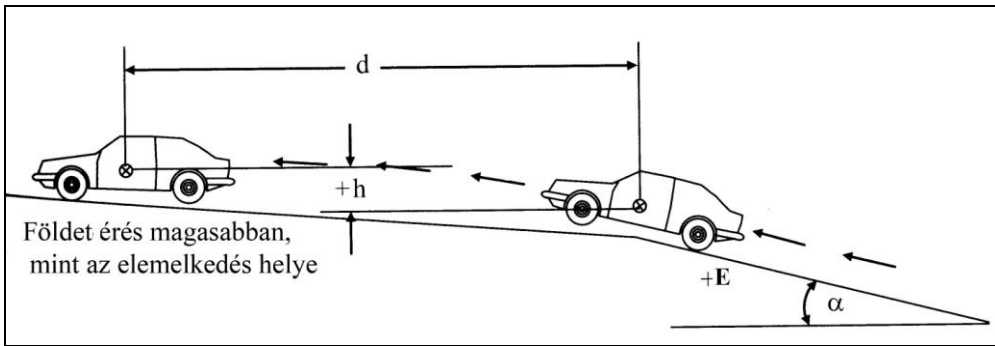
Kis lejtőszög esetén 2.2. képlet az alábbiak szerint módosul:

$$v = d \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot (d \cdot E - h)}} \quad [\text{m/s}], \quad (2.3.)$$

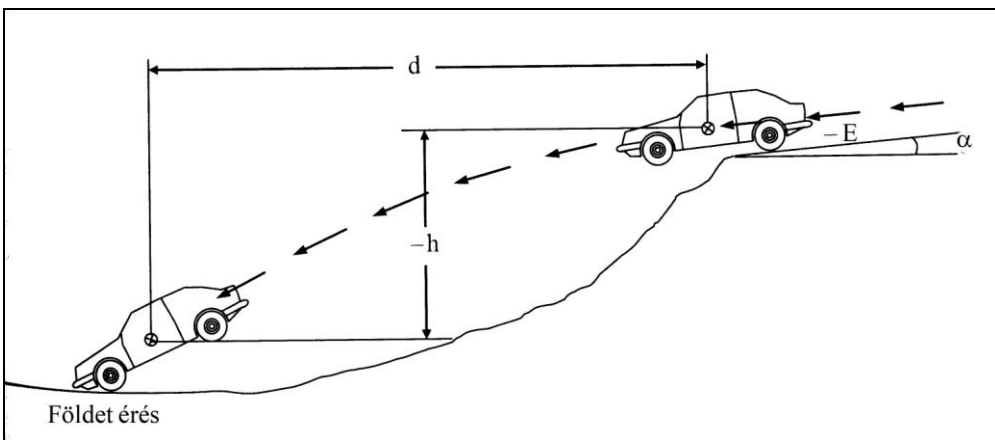
ahol:

- $v$  = a jármű sebessége az útfelszín elhagyása pillanatában [m/s]
- $d$  = a jármű által a levegőben megtett út vízszintes síkban [m]
- $g$  = nehézségi gyorsulás [ $\text{m/s}^2$ ]
- $h$  = a jármű tömegközéppont távolsága az elrugaszkodás pillanatában és a legmagasabb repülési helyzetben [m]
- $\alpha$  = a lejtő szög [ $^\circ$ ]
- $E$  = a lejtő meredeksége [%]

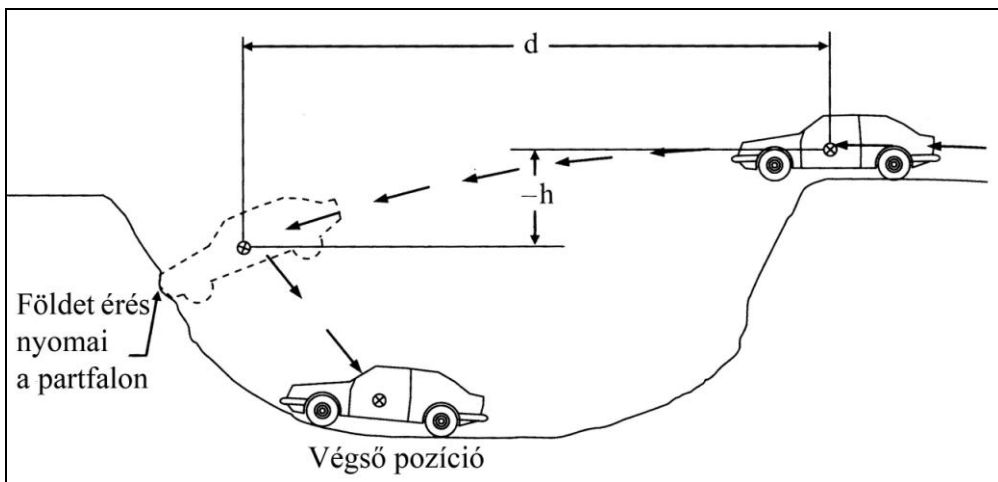
## 2. Szakirodalmi áttekintés



2.2. ábra. A jármű felugrása és elszakadása az úttól, majd landolás magasabb terep szinten. (DUKKIPATI et al. 2008)



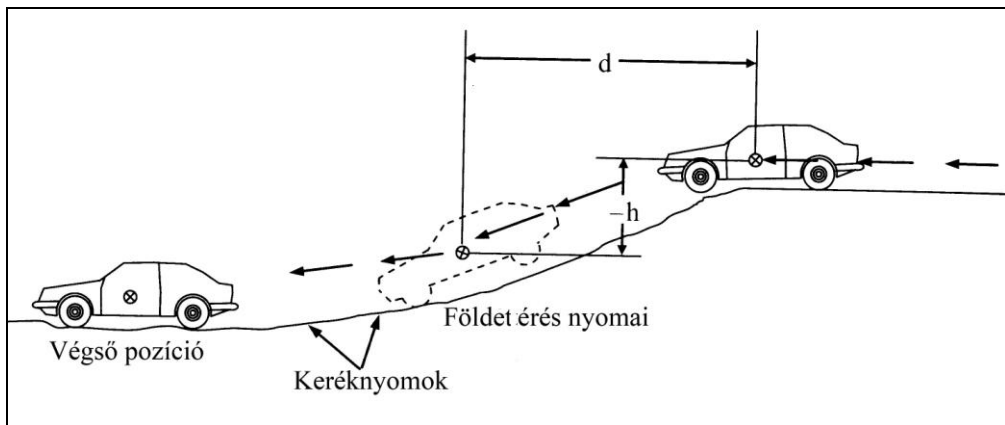
2.3. ábra. A jármű felugrása és elszakadása az úttól, majd landolás alacsonyabb terep szinten. (DUKKIPATI et al. 2008)



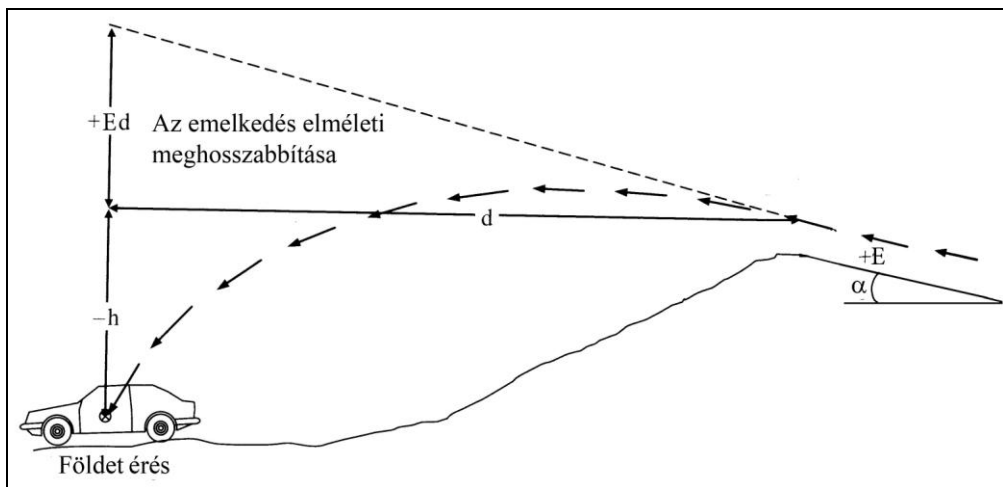
2.4. ábra. A jármű a völgy felett „átrepülve” a völgy alján landol. (DUKKIPATI et al. 2008)



## 2. Szakirodalmi áttekintés



2.5. ábra. A jármű, landolás után továbbgurul. (DUKKIPATI et al. 2008)

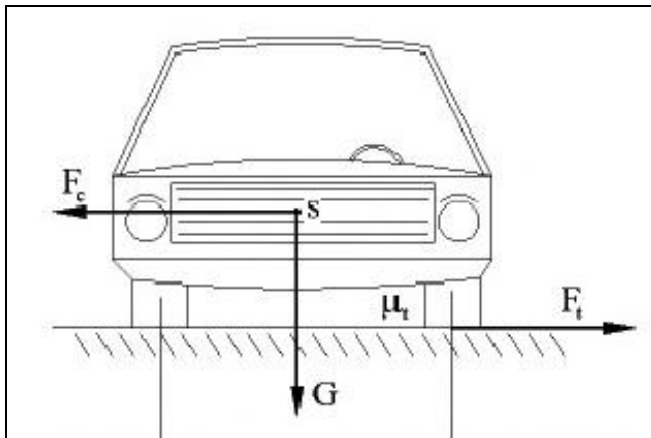


2.6. ábra. A jármű elrugaszkodása lejtős területről történik. (DUKKIPATI et al. 2008)

## 2.1.2.2. Kisodródás

Gyakran előfordul, hogy a kanyarban haladó gépjármű kisodródik, a nem megfelelő sebesség megválasztásának köszönhetően.

## 2. Szakirodalmi áttekintés



2.7. ábra. Kanyarban haladó járműre ható erők. (KISS 2009)

A kanyarban haladó jármű mozgását a következő erők határozzák meg (2.7. ábra):

A jármű tömegéből adódó súlyerő  $G = m \cdot g$  [N]. (2.4.)

A centrifugális erő  $F_c = m \cdot \frac{v^2}{r}$  [N]. (2.5.)

A tapadási erő  $F_t = m \cdot g \cdot \mu_t$  [N],  
( $\mu_t = 0,1 - 0,7$ ). (2.6.)

A kicsúszás akkor következik be, ha a centrifugális erő értéke nagyobb lesz, mint a tapadási erő:

$$F_c \geq F_t. \quad (2.7.)$$

Az erőket, ha felbontjuk összetevőikre, megkapjuk azt a sebességértéket, amellyel haladva bekövetkezik a kisodródás:

$$m \cdot \frac{v^2}{r} \geq m \cdot g \cdot \mu_t, \quad (2.8.)$$

$$v \geq \sqrt{r \cdot g \cdot \mu_t} \quad [\text{m/s}], \quad (2.9.)$$

ahol:

- $m$  = jármű tömege [kg]
- $g$  = gravitációs gyorsulás [ $\text{m/s}^2$ ]
- $v$  = kerületi sebesség [m/s]
- $r$  = körív sugara [m]
- $\mu_t$  = tapadási tényező [-]

## 2. Szakirodalmi áttekintés

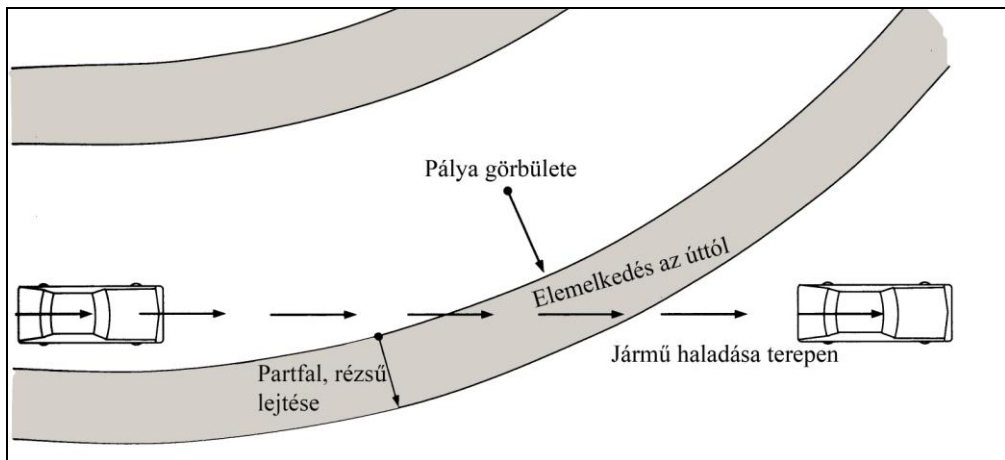
Számos esetben előfordul, hogy az út melletti rézsű illetve padka, a kisodródás pillanatában megvezeti a járművet. Ennek következtében a jármű elemelkedik az úttesttől, felugrik, majd a terepen landol (2.8. ábra). Ebben az esetben az elemelkedés szöge eltér az úttest lejtőszögétől, és az alábbi összefüggéssel számolható:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \cos^{-1} \left( \frac{-h}{\sqrt{d^2 - h^2}} \right) [^\circ]. \quad (2.10.)$$

Amennyiben  $\alpha = 45^\circ$ , a minimális elemelkedési sebesség a 2.2. képlet alapján, az alábbi módon változik:

$$v = d \cdot \sqrt{\frac{g}{d-h}} \quad [\text{m/s}]. \quad (2.11.)$$

A változók a 2.1.2.1. fejezetben definiált értékekkel azonosak.



2.8. ábra. Kisodródás, a jármű elhagyja az útpályát. (DUKKIPATI et al. 2008)

A pályaelhagyásos balesetek során a jármű nyomokat hagy a terepen, de a szakértők egyértelműen nem tudják meghatározni az útelhagyás sebességét. Jellemzően tapasztalati értékekre támaszkodnak, amelyek gyorsulási adatokból és súrlódási ellenállási tényezőkből adódnak (MELEGH 1998...2002). A pontosabb számítások érdekében, szabadföldi mérések és kísérletek elvégzése nélkülözhetetlen.

### 2.1.2.3. Borulósos balesetek

A borulósos balesetek közúton és terepen is igen gyakran bekövetkeznek (LIU és SUBRAMANIA 2009; MCLAUGHLIN et al. 2009). Több esetben a baleset a közúton történik, de a jármű a terepre sodródik, vagy beborul.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

Általánosságban elmondható, hogy minél magasabban van egy jármű súlypontja, annál jobban ki van téve a borulás veszélyének baleset esetén (KISS 2009). Ez a veszély fokozottan érinti a SUV-okat, (Sport Utility Vehicle), ugyanis ezek a hobbiterepjárók alapvetően szilárd burkolatú közútra készültek, azonban a nagyobb motorteljesítmény, a magasabb has-magasság, ballonosabb gumiabroncsok és a speciális hajtómű (felező, összkerékhajtás, differenciálzár) miatt könnyebb terepre is alkalmasak. Mivel a terepi közlekedéshez a megfelelő has-magasság kialakítás elengedhetetlen, emiatt a jármű súlypontja is megemelkedik, amely megnöveli a borulási kockázatot. A jármű helyzete csak addig stabil, amíg az ébredő erők eredőjének hatásvonalja a jármű felfekvési felületén belül marad, amely alapesetben a négy kerék talppontja által határolt terület. (LAIB 2002, 2009; BURG 2007; HUGEMANN 2007; KISS 2009; MEZEI 2009).

A legjellemzőbb borulási típusok, amelyek terepen is bekövetkeznek, a következők (BURG 2007; LIU és SUBRAMANIA 2009):

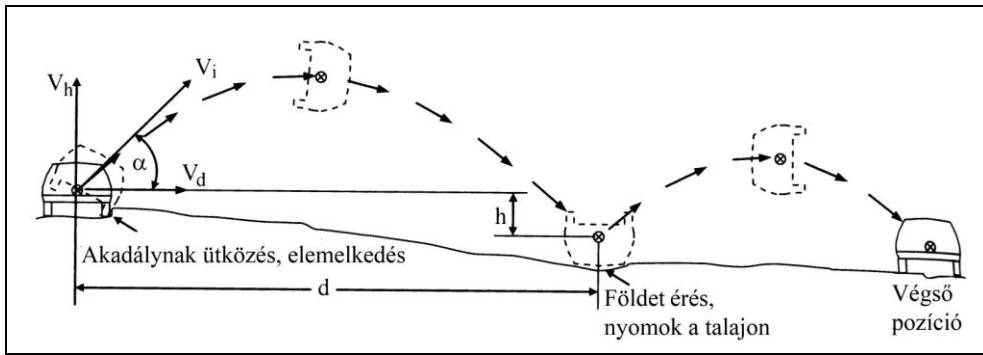
- Másik járműnek ütközve felborul.
- Ráhalad az út menti padkára, vagy korlátra (pl. autópályáknál), ettől a jármű megvezetődik, majd felborul.
- Az úttest nem egyenletes, az egyenetlenség határára érve a jármű megakad, majd felborul.
- Kanyarban a nem megfelelő sebességet megtartva, a jármű menetdinamikai tulajdonságai megváltoznak, felborul.
- Rézsűn keresztül a jármű oldalirányba leborul a terepre.
- Terepre lehalad, megakad a jármű eleje valamilyen terepakadályban és felborul.

Egy másik vizsgálati szempont a tengely körüli elfordulás figyelembe vétele borulások során. Ezek a típusok a következők (BURG 2007; HUGEMANN 2007; LIU és SUBRAMANIA 2009):

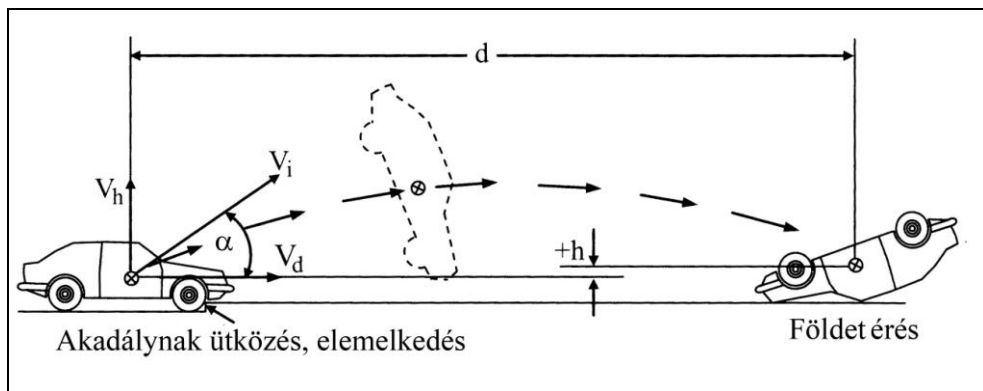
- Hossztengely körüli elfordulás (oldalára borul a jármű).
- Keresztirányú borulás (előre borul a jármű).
- Teljes átborulás (nem csak az oldalára fordul, hanem a tetején is átborul, akár többször is).

A 2.9. ábra baleset következtében oldal irányban kétszer átforduló járművet szemléltet. Az 2.10. ábrán hosszirányban átforduló jármű látható.

## 2. Szakirodalmi áttekintés



2.9. ábra. Baleset következtében oldal irányban kétszer átforduló jármű. (DUKKIPATI et al. 2008)



2.10. ábra. Baleset következtében keresztirányú borulás. (DUKKIPATI et al. 2008)

Ezeknél a baleset típusoknál is alkalmazhatók a 2.2., 2.10. és 2.11. összefüggések. A változók a 2.1.2.1. fejezetben definiált értékekkel azonosak.

#### 2.1.2.4. Ütközés terepakadályal

Az akadályokat az ütközés szempontjából is megkülönböztetjük (HUGEMANN 2007; BURG 2007; IGNÁCZ 2007), így lehetnek:

- Merev akadályok, amelyek deformációja jelentéktelen a járműéhez képest, pl.: hídláb, nagyméretű fa, szikla, stb.
- Deformálódó akadályok (2.11. ábra), amelyek kisebb szerkezeti merevségűek, vagy a járművel azonos merevségűek, és a deformációjukkal számolni kell.

## 2. Szakirodalmi áttekintés



2.11. ábra. Ütközés terepakadállyal. (www.totalcarcrashes.com)

Ha egy jármű behatol a terepre és akadálnak ütközik (2.11. ábra), akkor a jármű és az akadály deformációját létrehozó munka egyenlő a jármű mozgási energiájával. A munka, valamint az energia megmaradás törvénye ismeretében, a jármű sérüléséből következtetni lehet annak haladási sebességére. (MELEGH 1998...2002; M. CSIZMADIA és NÁNDORI 2001; DUKKIPATI et al. 2008)

$$F_D \cdot s_D = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (2.11.)$$

ahol:

- $F_D$  = járműre ható deformációs erő [N]
- $s_D$  = deformációs úthossz [m]
- $m$  = jármű tömege [kg]
- $v$  = jármű sebessége [m/s]

### 2.1.3. Balesetrekonstrúció

#### 2.1.3.1. Rekonstrukciós módszerek

Az igazságügyi szakértők a rendelkezésre álló dokumentáció és az elvégzett mérések, szerkesztések alapján, a gépjármű szakértői gyakorlatban általánosan alkalmazott szakirodalmi áttekintések, a mérés technika és a számítógépes módszerek felhasználásával készítik el a szakvéleményt. Az adatgyűjtés során feldolgozásra kerülnek (amennyiben lehetséges) a gépkocsivezető, illetve tanúk vallomásai, járművek és a környezet deformációs, illetve műszaki vizsgálati fényképei, és ha volt, akkor a tachográf adatai. (BELL és HARKAI 2010).

BELL és HARKAI (2010) munkájában kiemeli, hogy a környezet elemzése során figyelembe kell venni az út jellegét (egyenes, jobb kanyar, bal kanyar, S-kanyar, éles kanyar), kanyar esetén az ív sugarát, az út lejtését, emelkedését,

## 2. Szakirodalmi áttekintés

oldalirányú dőlését. Az út forgalmi jellemzői szintén a környezet leírásához tartoznak, az adatrögzítés során fel kell jegyezni a megengedett szélesség, magasság, össztömeg korlátozás, sebesség korlátozás értékeit az adott útrészen. Ide tartozik a kereszteződés jellege (X, Y, T kereszteződés, vasúti kereszteződés), amelyet szintén meg kell határozni a jegyzőkönyv készítésekor.

Az ütközéselemző számításokat a lendület-, perdület- és energia-megmaradás elvének felhasználásával, illetve megfelelő ellenőrző értékek segítségével végzik a szakértők (MELEGH 1998...2002; KWASNOSKI 2003; BURG 2007; HUGEMANN 2007; BELL és HARKAI 2010).

Az elemző számítást mindig a jármű véghelyzetétől, azaz 0 sebességű állapottól kell kezdeni az ütközési vagy pályaelhagyási pont felé haladva. Ha kifutás közben a jármű különböző típusú és minőségű talajokkal kerül kapcsolatba (pl. aszfaltról füves területre vagy szántásba fut), akkor a kifutási távolságot szakaszokra kell bontani. Ezt abban az esetben is meg kell tenni, ha a jármű felborul. Az egyes szakaszokra jellemzően az útminőségnek megfelelő lassulásokat vagy súrlódási tényezőket vesznek figyelembe. Ehhez szükséges kísérleteket végezni, hogy a számítás során minél pontosabb tényezőkkel lehessen számolni (LAIB 2010). Ha a jármű a kifutás végén vagy közben akadálynak ütközik, amelyből adódóan lényeges deformációt szenved, akkor azt figyelembe kell venni az EES (Energia Egyenértékű Sebesség) értékkel. (MELEGH 1998...2002; BURG 2007; HUGEMANN 2007)

A kezdeti sebesség meghatározása:

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad [\text{m/s}]. \quad (2.12.)$$

Ha a jármű a szakasz végén ütközés nélkül megáll:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad [\text{m/s}]. \quad (2.13.)$$

Ha a szakasz végén nekiütközik valaminek és deformációt szenved:

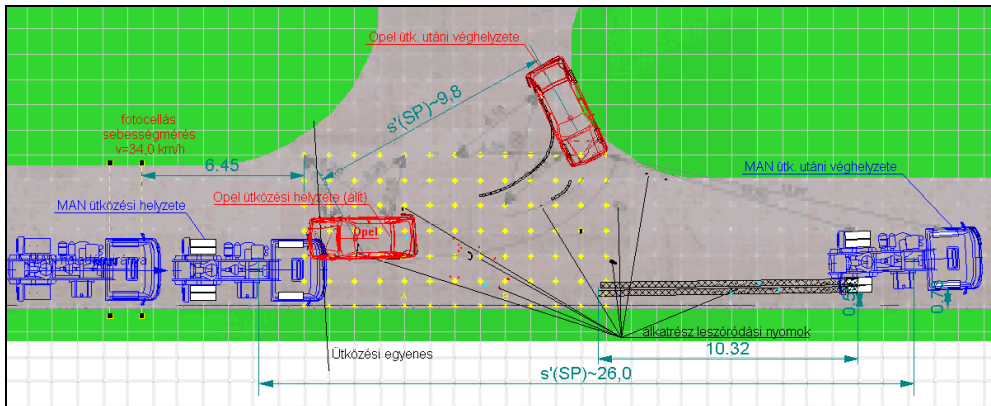
$$E_D = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \text{EES}^2 \quad [\text{J}], \quad (2.14.)$$

ahol:

- EES = az energia egyenértékű sebesség [m/s]
- s = a vizsgált úthossz [m]
- a = a lassulás értéke [m/s<sup>2</sup>]
- v<sub>0</sub> = sebesség a szakasz végén [m/s]
- m = a jármű tömege [kg]
- E<sub>D</sub> = a deformációval felemészített energia [J]

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A szakértők, a kinematikai számítások mellett, számítógépes ütközés- és járműdinamikai elemző programok segítségével végzik a balesetek rekonstrukcióját. Az alkalmazott programok széles körűek, legjellemzőbb típusok a Carat 3.0 (2.12. ábra), Carat 4.0, Analyser Pro 9.2, PC-Crash 9.2, VCrash 2.0, G-Soft. SHARMA et al. (2007), valamint JOHNSON és GABLER (2011) a WinSMASH számítógépes szoftver fejlesztését végezték el, illetve annak pontosságát vizsgálták kísérletekkel.



2.12. ábra. Balesetrekonstrukció Carat 3.0 szoftverrel. (BELL és HARKAI 2010)

### 2.1.3.2. Baleset rekonstrukciót megalapozó kísérletek

Konkrét balesetek vizsgálatára nagyon ritkán alkalmaznak valós kísérleteket, töréstartásokat. Gyalogosok elütésével kapcsolatos kísérleteket általában autógyárak, balesetvizsgáló központok végeznek (VINCZE-PAP 2010), valamilyen szűkített vizsgálati cél érdekében. Vizsgálati cél lehet a jármű elejének kialakítása, mechanikai szilárdsága (WANG és GABLER 2007), a fejbecsapódás várható helye és becsapódási nyomok értékelése (JUN et al. 2009). A kísérletek során kapott adatok nagy segítséget nyújtanak a valós balesetek elemzése során. A kísérletek alkalmasak balesetrekonstrukciós programok validálására is. (XU et al. 2003; JUN et al. 2009; HAMPTON és GABLER 2010).

MELEGH (1998...2002) a kísérletek végrehajtásának alapvető céljai között említi a valós balesetek megismerési folyamatának segítségét, a kísérletek és a valóságos balesetek közötti kapcsolat feltárását, adott járműparaméter megváltoztatásának hatását, széria gépjármű javítási lehetőségeit a gyalogos jobb védelme szempontjából, biomechanikai tűrőképesség és tipikus sérüléskategóriák megismerését.

A kísérletek egyik előnye az, hogy az eredmények megfelelő hibahatáron belül reprodukálhatóak. A vizsgált paraméterek leszűkítésével jellemző összefüggések feltárhatók (SCHMIDT és NEGAL 1971; JUN et al. 2009),



## 2. Szakirodalmi áttekintés

mérési eredmények és orvosi megállapítások összekapcsolhatók (CRAIG et al. 2009; BURG et al. 2012).

A közútról a terepre behatoló járművek vizsgálatával többek között KASANICKY (2005) foglalkozott. Speciális vonószerkezetet készített a pályaelhagyásos kísérletekhez, valamint a terep által okozott járműsérüléseket vizsgálta (2.13. ábra). Az autópályákon bekövetkező pályaelhagyásos baleseteket és azok kiváltó okait NEUMAN et al. (2003) kutatta.



2.13. ábra. Pályaelhagyásos baleset vizsgálata kísérlettel. (KASANICKY 2005)

Borulásos balesetek mélyebb megismerése érdekében, több szakember végzett borítási kísérletet, amelyek fő célja volt a járművek viselkedésének valós körülmények közötti megfigyelése (KOHUT 2005; ANDREWS et al. 2005; BATZER 2005; KÓFALVI 2010).

Ha egy jármű az oldalára vagy tetejére borul, figyelembe kell venni a járműtest és a talaj közötti súrlódási tényezőt. MENYHÁRD (2010) balesetrekonstrukció során alkalmazható súrlódási tényezők meghatározását végezte koptatási kísérletekkel. ROE (1999) gumiabroncs és vizes útfelület kapcsolatát vizsgálta, különös tekintettel a tapadási tényezőre. A jégen és havas úton való csúszást többek között RICHMOND et al. (1995), NIXON (2001) és BIRKEL (2003) kutatta.

A homok, sár, olaj, üzemanyag, falevelek jelenléte felerősíti az útfelszín síkosságát. Ezek több esetben balesetkiváltó tényezők. NIXON (2001) homokkal végzett kísérleteket havas és jeges területeken. WEIK (2002) tanulmányában levelekkel borított útszakasz vizsgálatáról számolt be. DALLA VALLE et al. (2004) szennyezőanyagokkal (homok, sár, olaj, dízel üzemanyag, olajsemlegesítő) végzett súrlódásos vizsgálatokat aszfalton és betonon. A mérések eredményeit a 2.1. táblázat szemlélteti.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. táblázat. Súrlódási tényezők, blokkolt kerekein csúszó járműnél. (DALLA VALLE et al. 2004)

Szennyezőanyag az út felszínén	Blokkolt kerekein csúszó jármű vizsgálata	
	Súrlódási tényező ( $\mu$ )	
	[-]	
	Aszfaltút	Betonút
Száraz	0,78	0,85
Nedves	0,64	0,64
Fáradt motorolaj	0,41	-
Motorolaj+abszorber	0,55	-
Olaj + lesöpört abszorber	0,57	-
Dízel olaj	-	0,44
Dízel olaj + abszorber	-	0,52
Dízel + lesöpört abszorber	-	0,65
Dízel és esővíz	-	0,63
Nedves agyag	0,48	0,54
Lesöpört nedves agyag	0,66	0,59
Durvaszemcsés homok	0,52	0,56

MUMFORD et al. (1997) a karosszéria és talaj közötti súrlódási tényezőt vizsgálta a vonóerő figyelembe vételével. Vontatási vizsgálatokat végzett száraz- és vizes aszfalton, valamint száraz- és vizes betonon. A vontatott jármű a tetején helyezkedett el, amelyet egy vonóerőmérő cellával felszerelt jármű vontatott. A vontatás sík úton történt, a jármű tömege 1700 kg volt. A mérések eredményeit a 2.2. táblázat foglalja össze.

2.2. táblázat. Súrlódási tényezők karosszérián csúszó járműnél. (MUMFORD et al. 1997)

Út felület	Húzóerő (F) [kN]	Súrlódási tényező ( $\mu$ ) [-]
Száraz aszfalt	10,2	0,61
Vizes aszfalt	9,8	0,59
Száraz beton	11,8	0,71
Vizes beton	10,5	0,63

## 2.2. Terepi baleseteket befolyásoló tényezők

A terepen bekövetkező balesetek elemzésénél a leginkább vizsgált tényezők a terep és a környezet tulajdonságai (LIU és SUBRAMANIA 2009; MCLAUGHLIN et al. 2009). Természetesen további paraméterek vizsgálata is elengedhetetlen (MCLAUGHLIN et al. 2009), mint például az út minősége,

## 2. Szakirodalmi áttekintés

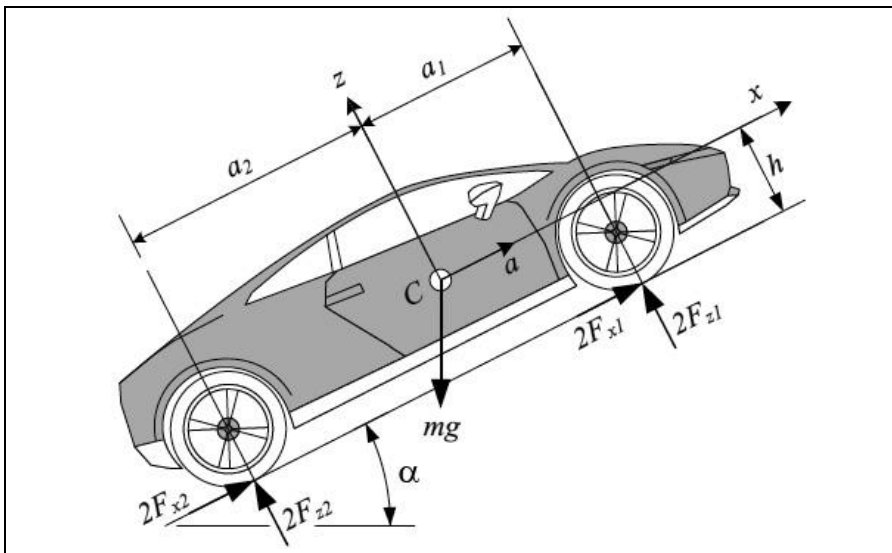
ittas vezetés, látási viszonyok, stb., de ezek a baleset kiváltó okait határozzák meg.

A terep és a környezet tulajdonságai jelentősen befolyásolják a jármű sebességét, így a mozgékonyágát is (KISS 2009). A terep sajátosságaihoz tartozik a lejtőszög, a terep makroakadályai, a mikroakadályok, a növényzet és a talaj típusa és annak mechanikai tulajdonsága.

A jármű kialakítása, geometriája is hatással van a mozgásképessegre, baleset esetén a végkimenetre. Terepre behatoló jármű esetén a terepi mozgást az alábbi járműparaméterek határozzák meg: tengelytáv, nyomtáv, has-magasság, kerék átmérő, abroncs szélesség, első és hátsó kinyúlás, valamint első és hátsó lejtőszög (LAIB 2002).

### 2.2.1. A lejtőszög hatásának összefüggései

A haladó jármű mozgását a lejtőszög kétféleképpen befolyásolhatja: emelkedőn való haladásnál le kell küzdeni az útpályával párhuzamos, valamint az arra merőleges erőket, amelyek a mozgási energiát csökkentik. Lejtőn lefelé történő haladás esetén a jármű gyorsul, mozgási energiája növekszik. Mindkét esetben a járművet a terepre merőleges erők stabilizálják (2.14. ábra). Az emelkedő a hátsó kerekeken, a lejtő a mellső kerekeken terhelésnövekedést eredményez, amit a számítások során figyelembe kell venni.



2.14. ábra. Járműre ható erők lejtőn. (JAZAR 2008)

A járműre ható erők lejtőn felfelé történő haladáskor 2.14-es ábra alapján (JAZAR 2008):

## 2. Szakirodalmi áttekintés

Lejtőre merőleges erők meghatározása:

$$F_{z_1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot \left( \frac{a_2}{L_t} \cdot \cos \alpha - \frac{h}{L_t} \cdot \sin \alpha \right) - \frac{1}{2} \cdot m \cdot a \cdot \frac{h}{L_t} \text{ [N]}, \quad (2.15.)$$

$$F_{z_2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot \left( \frac{a_1}{L_t} \cdot \cos \alpha + \frac{h}{L_t} \cdot \sin \alpha \right) + \frac{1}{2} \cdot m \cdot a \cdot \frac{h}{L_t} \text{ [N]}, \quad (2.16.)$$

$$L_t = a_1 + a_2 \text{ [m]}. \quad (2.17.)$$

Lejtővel párhuzamos erők meghatározása:

$$F_{x_1} \leq \mu \cdot F_{z_1}, \quad (2.18.)$$

$$F_{x_2} \leq \mu \cdot F_{z_2}, \quad (2.19.)$$

ahol:

- $m$  = jármű tömege [kg]
- $a_1$  = súlypont távolsága az első tengelytől [m]
- $a_2$  = súlypont távolsága a hátsó tengelytől [m]
- $L_t$  = tengelytáv [m]
- $\alpha$  = lejtőszög [°]
- $a$  = gyorsulás [m/s<sup>2</sup>]
- $h$  = súlypont magassága az útfelülettől [m]
- $\mu$  = tapadási/súrlódási tényező [-]

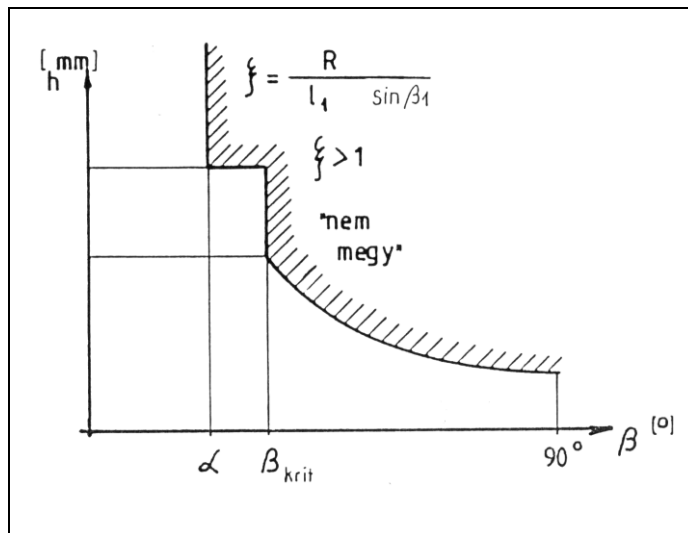
A járműtervezéskor fontos szempont a jármű lejtőmászási képessége, amely meghatározza mozgásképességét lejtős területen, ugyanis nem megfelelő szögértékű orrhossz, illetve hátsó kinyúló vég esetén a kocsitest felülkőzhet (LAIB 2002).

### 2.2.2. Makroakadályok hatása a jármű mozgására

Azokat a terepakadályokat, illetve felszíni egyenetlenségeket, amelyek 0,25 m-nél nagyobbak, makroakadályoknak nevezzük (KISS 2009). Ide tartoznak a nagyobb kövek, sziklák, árkok, vízmosások, kidőlt fatörzsek, de ide tartoznak a patak- és folyómedrek, nagyobb növények, fák, bozótok, bokrok. Ezek mind a jármű mozgását gátolják (LAIB 2009; KISS 2009). Kivételt képezhetnek bizonyos növények, amelyek segíthetik a jármű ingoványos, süppedékes területen való áthaladását. A jármű geometriája (mellső és hátsó kinyúlás, szabad has-magasság) alapvetően befolyásolja a leküzdhető makroakadály nagyságát (LAIB 2002; MEZEI 2009). Az áthatolási VSE függvény (2.15. ábra) segítségével „megy, nem megy” minősítéssel fejezhető ki egy adott jármű akadályleküzdő képessége. Ehhez ismerni kell a jármű geometriai méretein túl

## 2. Szakirodalmi áttekintés

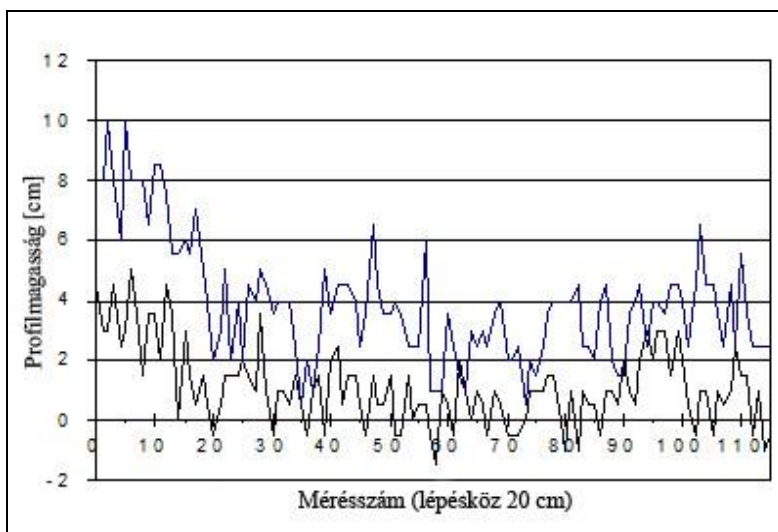
az adott akadály lépcsőszögét és lépcső-magasságát (LAIB 2002). Ez a módszer segítségével szolgálhat terepen bekövetkező balesetek vizsgálatánál is (LAIB 2010).



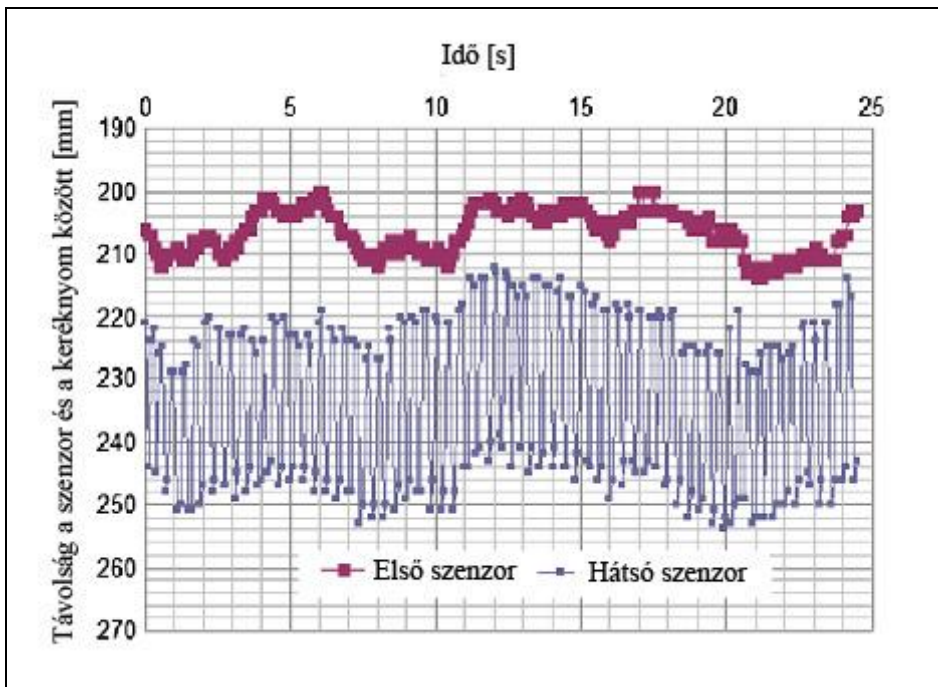
2.15. ábra. Áthatolási VSE függvény. (LAIB 2002)

### 2.2.3. Mikroakadályok hatása a jármű függőleges lengéseire

Mikroakadályoknak vagy terepprofilnak nevezzük a talajfelszín érdességét, amely mérhető tereptulajdonság (SAYERS és KARAMIHAS 1998; KISS 2001). Közvetlen méréssel a deformálatlan, valamint a taposás után visszamaradó profil vehető fel (2.16. és 2.17. ábra).



2.16. ábra. Talajprofil mérések kiértékelése. (KISS 2001)



2.17. ábra. Lézeres talajprofil mérés eredménye. (JU et al. 2010)

A függőleges lengést gerjesztő profilt, ható profilnak nevezzük, amely csak közvetve, a lengésgyorsulásokból számítható (KISS 2001). A ható profil a deformálatlan és a visszamaradó profil között helyezkedik el, de kemény talajok esetén nem vesszük figyelembe.

A terepprofil hatással van a jármű függőleges lengéseire (JU et al. 2010). Ha a lengések kedvezőtlenül befolyásolják a jármű stabilitását, borulásra lehet számítani. Azonban a lengések nemcsak a járműre, hanem a vezetőre és az utasokra is hatással vannak (POPP és SCHIEHLEN 2010; MEHTA és TEWARI 2010; KSIAZEK és ZIEMIANSKI 2012).

#### 2.2.4. A talaj hatása a jármű mozgásképességére

A talaj állandóan változó, összetett felépítésű háromfázisú kapillár-porozus rendszert alkot. Ennek köszönhetően igen nehéz a fizikai-mechanikai tulajdonságok egyértelmű és pontos meghatározása. Fontosabb tulajdonsága a termékenység. További feladata, hogy megfelelő időben és mennyiségben ellássa a növényeket vízzel és tápanyaggal (KÉZDI 1952).

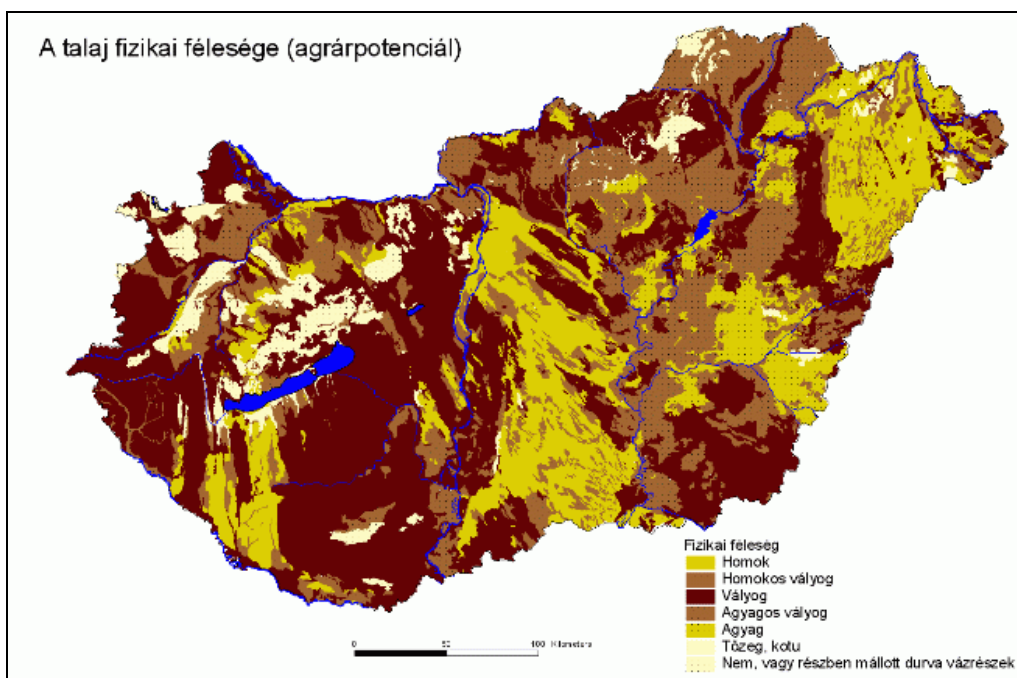
A szemcsék mérete igen változó, a kolloid mérettartományba eső részecskéktől, a néhány cm átmérőjű közettörmelékgig változhat az alábbiak szerint:

## 2. Szakirodalmi áttekintés

- Kavics  $d = 50 - 2 \text{ mm}$
- Homok  $d = 2 - 0,1 \text{ mm}$
- Homokliszt  $d = 0,1 - 0,02 \text{ mm}$
- Iszap  $d = 0,02 - 0,002 \text{ mm}$
- Agyag  $d = 0,002 - 0,0002 \text{ mm}$

A 2.18. ábra a Magyarországon megtalálható talajtípusokat szemlélteti.

A jármű mozgásképességét nagymértékben meghatározza a talaj típusa, azaz fizikai összetétele. Homokos területen a homok-szemcsefrakciók között jelentéktelen a tapadóerő. Ez azt eredményezi, hogy száraz homokos területen a jármű elsüllyed, ha nedves, akkor járhatóvá válik. Ez a jelenség másként jelentkezik vályogos és agyagos területeken, ahol az iszap- és agyagfrakciók szemcséi nagy fajlagos felületűek, valamint a szemcsék közötti tapadóerő jelentős (KÉZDI 1952; SITKEI 1986). Ennek következtében egy jármű akkor tud áthaladni az ilyen területen, ha az száraz, ellenben, ha nedvessé válik, járhatatlan lesz.



2.18. ábra. Magyarországon megtalálható talajtípusok.  
(<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/node/5721>)

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.3. Terepjáráseleméleti kutatások

A terepjáráseleméleti kutatások a XVII. században Coulomb, majd a XIX. században MORIN (1840) nevéhez fűződtek. Mind a ketten a kerék gördülési ellenállásával kapcsolatos kutatásokkal foglalkoztak. BOUSSINESQ (1883) a végtelen féltér rugalmas terheléseinek viszonyait kutatta. Mivel a talaj kiterjedését tekintve végtelen féltérnek számít, módszereit később a talaj mechanikai tulajdonságainak vizsgálatánál alkalmazták.

Az 1900-as évek elején többek között BERNSTEIN (1913), GORJACSKIN (1936), OMELJANOV (1948), KACIGIN (1964) valamint SZAANKJAN (1965) végzett talajnyomással, valamint talajdeformációval kapcsolatos kutatásokat.

A terepjáráselemélet, mint tudományág az 1950-es évektől vált ismertté a tudományos közélet számára. Ez annak volt köszönhető, hogy BEKKER 1954-ben, az USA-ban, megalapította a Land-Locomotion laboratóriumot. Itt kezdődött meg a terepen mozgó járművek elméletével foglalkozó kísérletek sora, amelyeket BEKKER (1956) könyvében foglalt össze. A kerék-pálya modellek három alapesete (merev kerék-merev pálya, merev kerék-deformálódó pálya, deformálódó kerék-merev pálya) kiegészült a deformálódó kerék-deformálódó pálya kapcsolatának értelmezésével.

Amikor a jármű elhagyja az épített utat, és behatol a terepre, a terepjáráselemélet törvényei érvényesülnek (LAIB 2009). Ha ezt elfogadjuk, akkor a baleseti elemzések során felhasználhatunk más, terepjárással kapcsolatos vizsgálati eredményeket. Ezek rövid áttekintését a következő fejezetben ismertetem.

#### 2.3.1. Terepen mozgó járművek mozgásának vizsgálata

A talaj külső, mechanikai terhelésekkel szembeni ellenálló képességét a talaj szilárdsága jellemzi, amelyet leginkább a nedvességtartalom, illetve nedvességpotenciál, a szemcse- és agyagásvány összetétel, a szervesanyag-tartalom, a térfogattömeg és a pórusok mérete határoz meg (SITKEI 1991; KISS 2001). RAJARAM és ERBACH (1999), valamint HORN és FLEIGE (2003) mérése szerint a talaj szilárdsága növekedett a száradás függvényében. IBARRA et al. (2005) kimutatta, hogy a tömörödés mindig növeli a talaj szilárdságát, és a tömörítés utáni szárítás erősíti azt. PENG et al. (2004) és RAPER (2005) arról számoltak be, hogy a nedvesség rontott a szilárdság értékén.

A terepjárművek mozgékonyágát meghatározza a talaj felszíne, a gumibroncs felfekvési felülete és a talajban a nyomáseloszlás (BEKKER 1960; PLACKETT 1985; BUKKHARI et al. 1988; CROLLA et al. 1992; RAHMAN et al. 2004). A terepjáró járművek mozgásuk közben kétfajta igénybevételt okoznak a talajnak (LAIB 1989, 2002): normál jellegű igénybevételt a jármű súlyerejéből



## 2. Szakirodalmi áttekintés

adódóan és nyírási jellegű igénybevételt. KOKUBUN (1970), KISU (1972) AYUN (1983) és KOBUTA (1984) a járművek normálterhelésével kapcsolatos vizsgálatokról számoltak be, különös tekintettel a nedves talajon történő mozgékonyagra. SÁNCHEZ-GIRÓN et al. (1998) szerint a magasabb agyagtartalmú talaj teherbíró képessége a normálirányú terhelésekkel szemben jobb. Japánban KOKUBUN (1970) és KISU (1972) megállapította, hogy egy munkagép akkor képes dolgozni, ha a talaj kúpos index értéke 20 cm mélyen 196 és 284 kPa között alakul.

BEKKER (1956), JANOSI és HANAMOTO (1961) valamint KOMÁNDI (1969), kerekes és lánctalpas járművek részére módszert dolgoztak ki a tolóerő meghatározására a nyírószilárdság ismeretében. LYASKO (2010b) különböző talajállapotokon vizsgálta a kerekes és lánctalpas terepjárművek vontatási teljesítményét. Igazolta, hogy a talajállapot jelentősen befolyásolja a vontatási teljesítményt. Kutatása során különböző, a szakirodalomban fellelhető modelleket hasonlított össze, melyek a vontatási teljesítményt jelzik előre egy adott talajállapoton. Az összehasonlításból megállapította, hogy a modellek közül VASIL'EV et al. (1969) modellje a legalkalmasabb a mozgási ellenállás és a tolóerő számítására. SMERDA és CUPERA (2010) kísérletet végzett annak bizonyítására, hogy az alacsonyabb abroncslégnyomás előnyösebb a vontatási teljesítmény szempontjából. A légnyomást 40 kPa-ra csökkentve végezték a kísérleteiket. A kísérletek eredményei igazolták, hogy bizonyos abroncs típusoknál az alacsony légnyomás növeli a vontatási teljesítményt illetve javítja az üzemanyag fogyasztás értékét. Tanulmányukban felhívják a figyelmet arra, hogy a talajművelés során a traktor nem érheti el a 15%-os szlip értéket, mert a vontatási teljesítménye csökkenni kezd, illetve a talaj felszíne roncsolódik.

WESSON et al. (2007), CRONJÉ és ELS (2010), FAN et al. (2011), NGUYEN és INABA (2011), LIU és KUSHWAHA (2012), valamint RINGDAHL et al. (2012) az abroncslégnyomás, haladási sebesség és tengelyterhelések függvényében vizsgálták a talaj elmozdulását a kerék alatt, szlip kialakulását, a keletkező lengéseket és a jármű mozgásképeségét. MOHSENIMANESH és WARD (2010) tanulmányában a talaj-gumiabroncs kapcsolatát vizsgálta. Céljuk az volt, hogy különböző abroncsnyomások mellett meghatározzák a nyommélység és felfekvési felület 3D-s alakját. Az eredmények segítségével következtetni lehet az összetömörített laza vályogtalaj térfogatára. SHOOP (2001) vége elemzési módszert alkalmazott a talaj és a gumiabroncs közötti kapcsolat elemzésére.

Terepen mozgó járművek könnyen okoznak olyan talajsérüléseket, amelyek káros hatással vannak a környezetre. Tönkreteszik a növénytakarót, gátolják a növények fejlődését és talajeróziót váltanak ki. A talajfelszíni sérülések, elváltozások, különösen a mélyebb járműnyomok, szignifikánsan képesek

## 2. Szakirodalmi áttekintés

---

csökkenteni a járművek mozgási energiáját és munkavégző képességét. (ALTHOFF és THIEN 2005; AYERS 1994; GATTO 2001; SHOOP et al. 2005; SULLIVAN és ANDERSON 2000; CARTER et al. 2007). Számos kutató foglalkozik világszerte a járműnyom kialakulásával, valamint az azt befolyásoló tényezőkkel (ARDESHIR és TIM 2010; LYASKO 2010a NGWANGWA et al.; 2010; SANDU et al. 2010; EDLUND et al. 2012). LIU et al. (2010a, 2010b) tanulmánya szerint, kanyarodás során mélyebb nyom keletkezik, mint a normálterhelésből adódó besüllyedés. Az eredményekből kiolvasható, hogy az oldalcsúszásból adódó besüllyedés 3-5-ször nagyobb, mint a normálterhelés okozta besüllyedés. BRAUNACK és WILLIAMS (1993) vizsgálatainál a nyommélység növekedett a fordulós kormányzások esetén, különböző talajszilárdságok és nedvességtartalmak mellett. AYERS (1994) szerint kanyarodáskor a csökkentett fordulási sugár megnöveli a talaj feltúrását valamint a nyomvonal mélységét és szélességét. A terepen kialakuló járműnyom nagymértékben függ a manőverezéstől.

A kerék talajtúrása szintén előfordul terepen való közlekedés során. Megjelenését okozhatja a laza szerkezetű talaj, illetve a nem megfelelő gumibroncs alkalmazása. Ha baleset következtében a jármű behatol a terepre, és ott túrást idéz elő, nem könnyű tisztázni a baleset körülményeit, ide értve a pályaelhagyás sebességét is, mivel erről a jelenségről kevés ismeretünk van (LAIB 2009). A keréktúrás vagy más néven a „bulldozing” jelenséget az igazságügyi szakértők (HUGEMANN 2007; IGNÁCZ 2009) egyrészt deformációs energiával veszik figyelembe a számítások során, amely csak közelíteni tudja a valóságot. Másrészt a sebességváltozással számolnak, összehasonlítják különböző tapasztalati lassulás értékekkel, majd következtetnek a keréktúrás okozta kinematikai változásokra. Nem csak balesetek esetén fontos ennek a jelenségnek az ismerete, földmunkagépek munkája során is megjelenik a túrás. TSUJI et al. (2012) a túrás jelenségét vizsgálta bulldózer lapát esetén.

AFFLECK (2005), LEE (2011), LEE et al. (2012) és CHOI et al. (2012), havas területeken végeztek kísérleteket terepjárművekkel. Céljuk a vonóerő kifejtés, és szlip változás vizsgálata az abroncslégnnyomás figyelembevételével. A hó mechanikai tulajdonságait és hatását a járműre, valamint annak mozgására, több kutató is vizsgálta (SHOOP 1993; HERRIGANT és BATES 1995; RICHMOND et al. 1995; VAN ES 1999; BIRKEL 2003; BAYLOT et al. 2012).

Fontos megemlíteni az égitest-járművek kísérleteivel foglalkozó kutatókat. Az elmúlt években egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az ilyen irányú fejlesztések. ORAVEC et al. (2010) kutatómunkája során célul tűzte ki a Hold talajának modellezését, amely nagy segítséget jelent a holdjármű fejlesztésénél. Az eltérő gravitációs és anyagszerkezeti tulajdonságok megnehezítik a fejlesztők dolgát,

## 2. Szakirodalmi áttekintés

így a talaj-jármű kapcsolat modellezésében nagy segítség a Hold felszín vizsgálata. Munkája során különböző szemcseméretű és hordképességű mintákat készített, melyeket talajmechanikai vizsgálatoknak vetettek alá. A mérésekből kimutatta, hogy a minták megfelelő keverése alkalmas a terepjáráseleméleti és járműfejlesztési vizsgálatokra. CHHANIYARA et al. (2012), WONG (2012), DING et al. (2011), FAVAEDI et al. (2011), LI et al. (2010), és NAKASHIMA et al. (2010) égitest-járművek terepen történő mozgását vizsgálta, valamint a jármű menetellenállás leküzdő képességét próbálták előre jelezni méréseikkel. LINARES et al. (2010) valamint KING et al. (2011) analitikai módszerrel, KNUTH et al. (2012) és NAKASHIMA et al. (2011) diszkrét elemes módszerrel vizsgálták a kerék-talaj kapcsolatát égitest-járműveknél.

### 2.3.2. Talajvizsgálat eszközei

#### 2.3.2.1. Talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata

A talajt vizsgálhatjuk helyszínen vagy laboratóriumban. A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálatához laboratóriumi körülményekre van szükség. A talajmintákat speciális eszközökkel (2.19. ábra) kell vételezni, ugyanis ügyelni kell arra, hogy a talaj szerkezete ne roncsolódjon. A minták levegőtől elzárva, meghatározott térfogatú tégelyekben kerülnek a laboratóriumba. Fontos, hogy a nedvességtartalom ne változzon nagymértékben. A laboratóriumi vizsgálatokhoz további fontos eszközökre is szükség van: pontos mérlegre, szárítókemencére, mikroszkópra, kalciméterre, stb. A vizsgálatok során jellemzően az alábbi értékek kerülnek meghatározásra: nedvességtartalom, pF szám, fajlagos tömeg, térfogatsűrűség, száraz sűrűség, konzisztencia-határok, folyási határ, plasztikus határ, képlékenységi szám, tapadási határ, szántóföldi vízkapacitás, hézagterfogat, hézagtenyező (KÉZDI 1952).



2.19. ábra. Talajmintavevő eszközök. (www.eijkelkamp.com)

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.3.2.2. Talaj teherbíró képességének vizsgálata

A talaj egyik legfontosabb mechanikai jellemzője a függőleges teherbíró képesség, amely az ellenállás változását írja le a függőleges deformáció függvényében. (SITKEI 1981). Ezt a jellemzőt a kúpos index (CI) fejezi ki, amelyet kúpos penetrométerrel lehet mérni (2.20. ábra). Az eszköz megfelelő használatát szabványok és kézikönyvek írják elő (SAE 1967; U.S. ARMY 1968; ASABE STANDARDS 2008a, 2008b). Kúpos index és nedvességtartalom szimultán mérésére is léteznek eszközök, ezekkel pontosabb talajtérkép készíthető (HUMMEL et al. 2004).

A kúpos index alkalmazhatósága:

- általános talajmechanikai kutatások
- alapozások
- talaj mesterséges tömöríttségének ellenőrzése
- növénytermesztési viszonyok meghatározása
- tömörödött talajrétegek azonosítása.

A kúpos penetrométeres mérések elterjedését az segítette, hogy a kúp alakú felületet kézzel is könnyedén a talajba lehet nyomni, szemben a korábban alkalmazott bevaméterrel (2.21. ábra). A nyomólapos, „bevaméteres” mérés lényege, hogy egy meghatározott átmérőjű tárcsát nyomnak a talajba és rögzítik a nyomás-besüllyedés kapcsolatát. Ezzel a gumiabroncs tömörítő hatását vizsgálták, a mérési módszert BEKKER (1956) dolgozta ki.



2.20. ábra. Eijkelkamp típusú kézi penetrométer. ([www.eijkelkamp.com](http://www.eijkelkamp.com))



2.21. ábra. Bevaméteres mérés. (APFELBECK et al. 2011)

### 2.3.2.3. A talaj nyírószilárdságának mérése

A talaj külső, mechanikai terhelésekkel szembeni ellenálló képességét a szilárdsága határozza meg. A talaj nyírószilárdságát keretes nyírószilárdság mérővel és helyszíni torziós nyírószilárdság mérővel lehet meghatározni (2.22. és 2.23. ábra).

A keretes nyírógép mind kötött, mind szemcsés talajok közvetlen nyírókísérletére alkalmas. A talajminta két, egymáshoz képest elmozdítható keretből álló tartóba kerül. A mintára normálterhelés kerül, majd a keret felső része nyíróerő segítségével elmozdul az alsó, rögzített félen (KÉZDI 1952). Az alkalmazott nyíróerő nagysága, és a talajminta vízszintes elmozdulása számítógéppel rögzíthető.

A helyszíni torziós nyírókészülékkel a maximális és állandósult nyíróerőket lehet meghatározni nyílt terepen. Az értékeket a műszer oldalán lévő skála segítségével lehet leolvasni.



2.22. ábra. DIGISHEAR típusú keretes nyírókészülék. ([www.controls-group.com](http://www.controls-group.com))



2.23. ábra. Geonor H-60 típusú helyszíni nyírószilárdság mérő készülék ([www.geonor.com](http://www.geonor.com))

## 2. Szakirodalmi áttekintés

## 2.3.2.4. Víztartó képesség és nedvességtartalom meghatározása

Talajok víztartó képességére jellemző szám a pF szám (RAJKAI 1988; SITKEI 1991). Vízzel való telítettsége függvényében más-más a pF értékeket kapunk, ugyan annál a talajnál is. Talajok pF száma (2.3. táblázat): 0-7; vízszlop centiméterekben kifejezett szívóhatás (nyomás) 10-es alapú logaritmus (RAJKAI 1988).

2.3. táblázat. Talajok pF száma, és a hozzájuk kapcsolódó vízszlopnomás értékek. (RAJKAI 1988)

Vízszlopnomás [bar]	Vízszlop magasság [cm]	pF szám
1 bar	981 cm (~ 1000 cm)	pF 3
10 bar	~ 10 000 cm	pF 4
100 bar	~ 100 000 cm	pF 5
1000 bar	~ 1000 000 cm	pF 6
10000 bar	~ 10 000 000 cm	pF 7

A pF-mérő berendezés (2.24. ábra) kifejlesztése és a módszer alkalmazásával létrehozott adatbázis lehetővé tette a talaj víztartóképesség-értékeinek a talaj alapvizsgálati adatai alapján történő becslését. (RAJKAI et al. 1981; BUZÁS 1993).



2.24. ábra. Eijkelkamp-típusú pF-mérő berendezés. ([www.eijkelkamp.com](http://www.eijkelkamp.com))

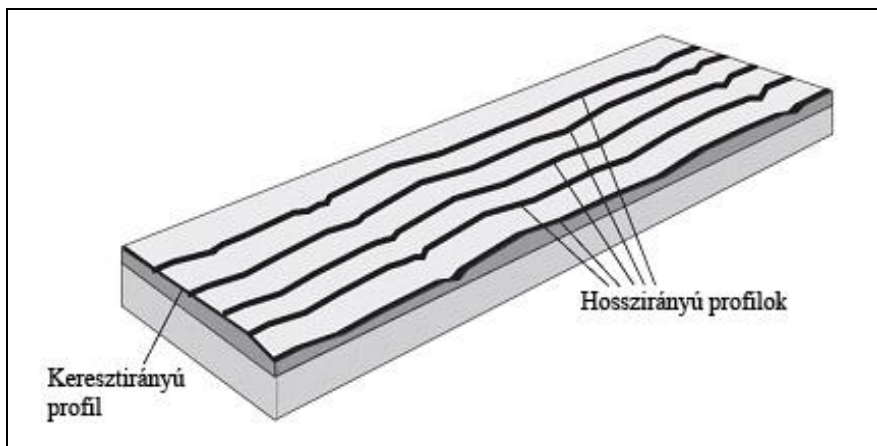
## 2. Szakirodalmi áttekintés

Magyarországon VÁRALLYAY alakította ki és vezette be a talajok víztartó képességének meghatározását szolgáló mintavételi módszert, és mérésére a homok- és kaolinlapos, valamint a nyomásmembrános készülékeket (VÁRALLYAY 1973). Tekintettel a mérés időigényére, ami a teljes víztartóképesség-görbére 2-3 hónap, módszert dolgoztak ki RAJKAI és munkatársai (1981) a görbe értékeinek a talajtulajdonságokból (szemcsefrakció-értékekből, térfogattömegből, szervesanyag-tartalomból) való becslésre. Továbbá foglalkoztak a mért víztartóképesség-értékek leírására alkalmas matematikai modell kiválasztásával is (VÁRALLYAY és RAJKAI 1989; RAJKAI 1983).

A nedvességtartalom százalékosan fejezi ki a talajban lévő víz mennyiségét, amely vonatkoztatható száraz bázisra, illetve nedves bázisra (SITKEI 1981). Mérésére alkalmazható helyszíni mérőeszköz, amely ellenállás-változáson illetve dielektromos állandó változáson alapul. Laboratóriumban szárítókemencét és mérleget alkalmaznak a talajminták víztartalmának meghatározására.

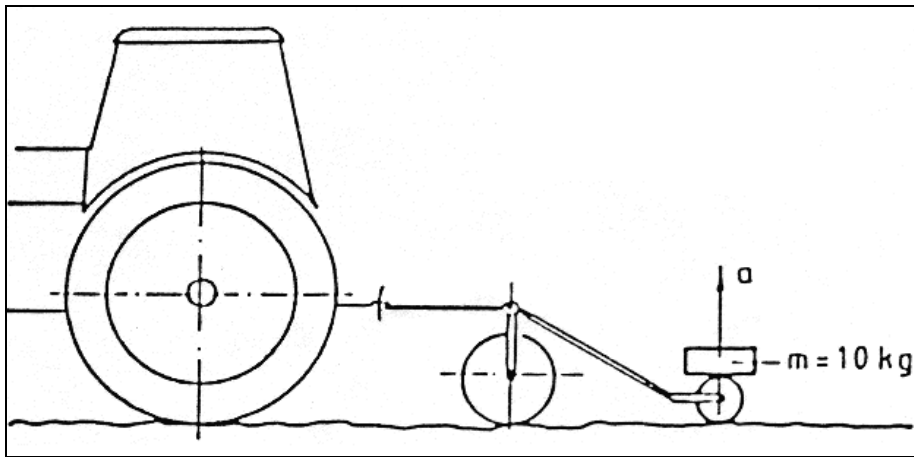
### 2.3.2.5. Talajprofil mérése

A 2.25. ábra a profilok értelmezését mutatja. Megkülönböztetünk kereszt-, és hosszirányú útprofilokat. A kutatók mind a két útprofil típust vizsgálják, és különböző mérési elvekre alapozva mérik és értékelik azokat. A talajprofil felvétele történhet gyorsulásméréssel (2.26. ábra), elmozdulás méréssel (2.27.-2.28. ábra) valamint optikai úton (2.29. ábra). Az érintetlen útfelszín profilja és a taposott nyom profilja közötti különbség a talajdeformációt adja meg. A deformációnak energiaelnyelő tulajdonsága van, ezért a terepjáráselemleti kutatások során fontos vizsgálati paraméter.



2.25. ábra. Kereszt-, és hosszirányú útprofilok. (SAYERS és KARAMIHAS 1998)





2.26. ábra. Útprofil mérés gyorsulásérzékelővel. (LAIB 2002)

Az elmozdulás mérést meg lehet valósítani pálcás talajprofilozóval, és a közlekedőedények elvén működő profilométerrel. A pálcás megoldás során a járműnyom fölött rögzítik a műszer keretét, majd a megadott osztásban elhelyezett, és függőlegesen szabadon mozgó pálcákat ráengedik a felszínre. A nyomba ereszkedő pálcák felveszik a profilt, a bázishoz viszonyított elmozdulást a rajtuk lévő skála segítségével lehet leolvasni (2.27. ábra) (AFFLECK 2005).



2.27. ábra. Pálcás talajprofilozó. (AFFLECK 2005)

A közlekedőedények elvén működő eszköz egy egyszerű megoldás. A műszer egy flexibilis csőből és két, milliméteres skálával ellátott rúdból áll (2.28. ábra).

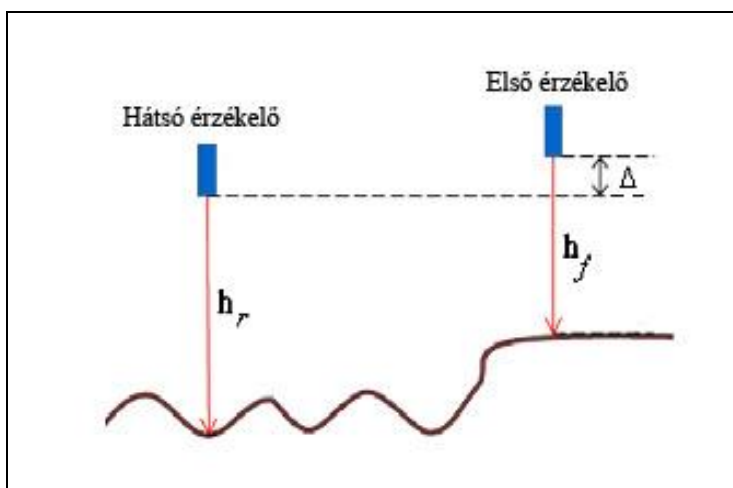
## 2. Szakirodalmi áttekintés

A mérés során szükséges egy bázispontot kijelölni, amelyhez viszonyítani kell a mért profilértékeket. A csővel összekötött két rúd közül az egyiket a bázispontra kell helyezni, a másikat pedig meghatározott lépésközzel végig kell vezetni a járműnyomban. A két rúd leolvasása után meghatározható a profil változása, és a deformáció mértéke (KISS 2001).



2.28. ábra. SOLA típusú tömlős vízmérték. (www.sola-metal.hu)

Az optikai elven működő útprofil mérésre mutat lehetőséget a 2.29. ábra. JU et al. (2010) kísérlete során mezőgazdasági traktor által okozott talajdeformációt vizsgálta. A jármű első kereke elé és után helyezte el a lézeres távolságérzékelőket. A szenzorok segítségével egyrészt fel tudta venni az érintetlen és taposott terep profilját, valamint a kialakult deformáció mértékét is meghatározta. A mérés nehézsége, hogy a jármű által előidézett bőlítő lengések befolyásolják az értékelést.



2.29. ábra. Lézeres kerékbesüllyedés mérés elve. (JU et al. 2010)

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.4. A terepen mozgó járművek mozgásképségét leíró modellek

A mozgékonyosság, vagy terepjárási tulajdonság azt fejezi ki, hogy egy adott jármű egy meghatározott terepen képes-e áthaladni. A mozgékonyosság vizsgálata nagy segítséget nyújt katonai bevetések során, ahol előre meg kell tervezni egy célpont elérési útvonalát (STEWART et al. 2009). Ennek köszönhető, hogy az 1970-es években az Amerikai Hadsereg részére kidolgozták a NATO Reference Mobility Model (NRMM) mozgékonyossági modellt (JURKAT et al. 1975; MURPHY és AHLVIN 1975). A modellt a számítástechnika fejlődésével továbbfejlesztették, és térképadatbázissal egészítették ki (STEWART et al. 2009).

Magyarországon elsőként SITKEI (1986) foglalkozott a terep-jármű kapcsolat modellezésének lehetőségeivel. Őt csoportban összefoglalta a modellezéshez szükséges alapadatokat, mint a modellhez szükséges bemenő értékeket:

- járműre vonatkozó adatok,
- talajra vonatkozó adatok,
- terep adatai,
- környezeti adatok
- emberi tényezők.

Kerekes- és lánctalpas járművekre is megadta a függvénykapcsolatokat, valamint számba vette a modellszámítások lehetséges kijövő adatrendszerét.

LAIB (1989) nevéhez fűződnek a mozgékonyossági modellezéssel kapcsolatos kutatások. Vezetésével elkészült a Magyar Hadsereg mozgékonyossági modellje. A modell ismert össztömegű jármű esetén kiszámolja a gördülési ellenállás, az emelkedési ellenállás és a gyorsítás vonóerő szükségletét, a teljesítmény ráfordítást, a hajtóanyag-felhasználást, az út megtételéhez szükséges időt és az átlagsebesség nagyságát. A program értékeli a jármű adott terepszakaszra vonatkozó mozgékonyosságát „megy” illetve „nem megy” értékeléssel. LAIB az útgerjesztés meghatározására a GEDEON-módszer szerint (GEDEON 1993) három paramétert vezetett be: a léptékpármetert, az egyenetlenségek szórásnégyzetét és az „ $\alpha$ ” amely az úttípustól függő állandó.

A terep és jármű bonyolult kölcsönhatása miatt a jármű mozgása terepen nagyszámú változó függvénye. Ez a tény megnehezíti a változók pontos meghatározását. Ezért több gumiabroncs-talaj kapcsolaton alapuló mozgékonyossági modell létrehozására volt szükség. A terep-jármű kapcsolat széleskörű modellezéséről először 1971-ben számoltak be (RULA és NUTTALL 1971). A függvénykapcsolatok hiányában a módszer használhatatlannak bizonyult. SAARILAHTI (2002) és SUVINEN et al. (2003) erdészeti munkagépek terepen történő mozgását vizsgálták mozgékonyossági modellekkel. A kutatók jellemzően a meglévő összefüggéseket használják

## 2. Szakirodalmi áttekintés

vizsgálataik során. Számos esetben előfordul, hogy az adott számítás nem kellően pontos, így szükséges a függvénykapcsolat módosítása, kiegészítése (CIOBOTARU 2009; AL-MILLI et al. 2010; GARCIANO et al. 2010; TIWARI et al. 2010).

A 2.4.1., 2.4.2. és 2.4.3. fejezetekben összefoglalva látható a nyomás-besüllyedés kapcsolatát, a mobilitást (megy, nem megy) és a gördülési ellenállási tényező számítását leíró és előrevetítő egyenletek sora. Az egyenletek empirikus, illetve félempirikus vagy parametrikus módszereken alapulnak. Az összefüggések a mozgékonyosság meghatározásának alapját képezik. Az egyenletekben szereplő paraméterek jelentését a jelölésjegyzékben ismertetem.

## 2.4.1. Nyomás-besüllyedés összefüggések

Módszer	Számítás	Jellemző paraméterek
BEKKER (1956)	$P_{\text{talaj}} = [(K_C / b) + K_\phi] \cdot z^n$	$P_{\text{talaj}}, K_C, K_\phi, z, b, n$
REECE (1964)	$P_{\text{talaj}} = (c \cdot K'_C + \gamma \cdot b \cdot K'_\phi) \cdot (z/b)^n$	$P_{\text{talaj}}, c, K'_C, \gamma, b, K'_\phi, z, n$
WONG (2001)	$z_0 = \left( \frac{P_{\text{talaj}}}{K_C / b + K_\phi} \right)^{1/n}$	$z_0, P_{\text{talaj}}, K_C, b, K_\phi, n$

## 2.4.2. Mobilitást leíró összefüggések

Módszer	Számítás	Jellemző paraméterek
FREITAG (1966)	$M_C = \left( \frac{CI \cdot B \cdot D}{Q} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{h} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{1}{1 + B/2 \cdot D} \right)$ $M_S = G \cdot \frac{(B \cdot D)^{3/2}}{Q} \cdot \left( \frac{\delta}{h} \right)$	$M_C, M_S, CI, B, D, Q, h, \delta, G$
WISMER és LUTH (1973)	$M = \frac{CI \cdot B \cdot D}{Q}$	$M, CI, B, D, Q$
BRIXIUS (1987)	$M_{Bn} = \left( \frac{CI \cdot B \cdot D}{Q} \right) \cdot \left( \frac{1 + 5 \cdot \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \cdot \frac{B}{D}} \right)$	$M_{Bn}, CI, B, D, Q, h, \delta, S,$

## 2. Szakirodalmi áttekintés

## 2.4.3. Gördülési ellenállási tényezőket leíró összefüggések

Módszer	Számítás	Jellemző paraméterek
TURNAGE (1972)	$f_g = 0,04 + \frac{0,020}{M_c - 2,5}$	$f_g, M_c$
WISMER és LUTH (1973)	$f_g = \frac{1,2}{M} + 0,04$	$f_g, M$
GEE-CLOUGH (1980)	$f_g = 0,049 + \frac{0,287}{M_c}$	$f_g, M_c$
KHALID és SMITH (1981)	$f_g = \beta \cdot M + \rho$	$f_g, \beta, M, \rho$
CLARK (1985)	$f_g = \frac{C_1}{M} + C_2$	$f_g, C_1, C_2, M$
ASHMORE et al. (1986)	$f_g = -0,10 \cdot \frac{Q}{Q_R} + \frac{0,22}{M} + 0,20$	$f_g, Q, Q_R, M$
BRIXIUS (1987)	$f_g = \frac{1}{M_{Bn}} + 0,04 + \frac{0,5 \cdot S}{\sqrt{M_{Bn}}}$	$f_g, M_{Bn}, S$

## 2.5. A szakirodalmi áttekintés kritikai elemzése

A szakirodalmi áttekintés alapján elmondható, hogy a balesetrekonstruációs módszerek jól alkalmazhatóak közúti balesetek során. Abban az esetben, ha a jármű elhagyja az épített utat, és behatol a terepre, a jármű nyomokat hagy a talajon, de ezekből a szakértők nem tudják egyértelműen meghatározni az útelhagyás sebességét. Jellemzően tapasztalati értékekre támaszkodnak, amelyek nem elég pontosak.

A terepen bekövetkező balesetek számos problémát jelentenek az igazságügyi szakértők számára. A pályaelhagyásos balesetek számítógépes szimulációval történő elemzése jelenleg csak közelítő eredményt ad.

Ha elfogadjuk azt a feltételezést, hogy a jármű mozgását a terep-jármű kapcsolat fizikai és mechanikai törvényei határozzák meg, szükséges a talajmechanikai paraméterek vizsgálata, amely a terepi balesetek értékelését segíteni tudja. A szakirodalmi áttekintés során bemutattam a terepjáráselemeléssel foglalkozó kutatók munkáját és eredményeit, amelyek felhasználhatóak a terepi balesetek vizsgálata során.



### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási célkitűzésben leírt modell pontosságának meghatározásához vontatási vizsgálatokat végeztem a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar kísérleti területén.

A szabadföldi mérések célja a gördülési ellenállási tényező meghatározása volt különböző hordképességű (kúpos indexű) talajokon. Amennyiben túrást tapasztaltam, akkor a túrási tényezőt határoztam meg. Hajtott, majd üresben guruló járművel is végeztem ellenőrző méréseket a jármű lassulási úthosszának meghatározása végett.

A mérések során azt a feltételezést fogadtam el, hogy ha jármű terepen halad, mozgásképeségét a talaj teherbírása és normál, illetve nyírószilárdsága mellett, döntően a terep egyenetlenségei által gerjesztett lengések határozzák meg. A jármű mozgásképeségét meghatározza a jármű mozgásának irányába eső 25 cm-nél magasabb akadályokon való áthaladás lehetősége is. Ezeket az akadályokat makroakadályoknak nevezzük.

A vontatási vizsgálatokhoz speciális kialakítású vonószerkezetet alkalmaztam, annak érdekében, hogy a vontatott jármű ne az öt vontató traktor nyomvonalán haladjon. A vonóerőt a vonószerkezetre szerelt 50 kN teherbírású erőmérőcellával, a megtett utat fordulatszám jeladóval mértem.

#### 3.1. Mérések helyszíne

A szabadföldi méréseket a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának síkfekvésű kísérleti területén végeztem (3.1. ábra). A rendelkezésre álló terület mérete 300x100 m volt. A kísérleteket, három különböző talajállapotban, tarlón, hántott-, valamint kultivátorozással fellazított talajon végeztem el. További méréseket végeztem az egyetemhez tartozó, lezárt területen lévő betonúton is.



3.1. ábra. A SZIE Gépészmérnöki Kar kísérleti területe, méréseim helyszíne.

### 3. Anyag és módszer

---

#### **3.2. Talajjellemzők meghatározása**

##### **3.2.1. A talaj fizikai tulajdonságának vizsgálata**

A szabadföldi mérések során minden esetben a Meteorológiai Szolgálatól bekértem a mérési környezet barometrikus adatait (lásd 3. melléklet).

A talajmintákat tarlón, hántott- és kultivátorozott területen gyűjtöttem. Mindhárom esetben 24 mintát vettem. A 24 minta alapján a laboratóriumban meghatározhatók voltak a talajra jellemző tulajdonságok. A tarlón vett talajminták laborvizsgálati eredményeit a 4. fejezetben mutatom be. A hántott és kultivált területeken vett talajminták részletes eredményei a 3. melléklet 2. pontjánál találhatóak. A talajmintákat a SZIE Talajtani Tanszék laboratóriumában, illetve az MTA TAKI laborjában elemeztem. A nedvességtartalom meghatározását a laboratóriumi vizsgálatokon kívül, helyszíni nedvességtartalom mérővel is elvégeztem. A talajmintavétel eszközeit a 3.4. fejezetben ismertetem.

A terület pF görbét is meghatároztam, amihez a szükséges vizsgálatokat szintén az MTA TAKI-ban végeztem el, a vizsgálat eredményeiből szerkesztett pF görbét a 4. fejezetben ismertetem.

##### **3.2.2. A talaj hordképességének vizsgálata**

A kúpos index értékeket Eijkelkamp-típusú Penetrologgerrel mértem. A műszer részletes ismertetése a 3.4. fejezetben található. A talaj hordképességének jellemzésére csak akkor alkalmas a kúpos index, ha kellő darabszámú mérést végzünk az adott területen. A méréseket minden talajállapotnál (tarló, hántott, kultivátorozott) és négy különböző abroncslégnomásnál elvégeztem a vontatás előtt a jármű kijelölt nyomvonalában. A jobb és a bal oldali nyomvonalakban egyaránt 10-10 ismétléssel mértem. Így a vontatási vizsgálatok során 24 kúpos index vizsgálatot végeztem. A műszer digitális adatrögzítésre alkalmas volt, így a kapott adatokat számítógépes program segítségével tudtam feldolgozni. A penetrométer kúpszöge  $30^\circ$ , a kúp felülete  $2 \text{ cm}^2$ , hossza 3 cm, a talajbanyomás sebessége 2 cm/s volt, amely az ASAES313.1 szabványban előírtnak megfelelő (ASABE Standards, 2008b). A méréseket 0-30 cm között hajtottam végre. Az eredményeket a 4. fejezetben ismertetem, valamint a 3. mellékletben részletesen ismertetem a mérési adatokat.

#### **3.3. A mérések során alkalmazott járművek**

##### **3.3.1. John Deere 6600-as traktor**

A traktor (3.2. ábra) a vontató jármű szerepét töltötte be, a vizsgálatok során a megadott sebességértékeken kellett állandó sebességgel haladnia.



### 3. Anyag és módszer

---



3.2. ábra. John Deere 6600-as traktor.

Abronclégnyomás módosítás nem történt rajta. Egy speciális vonószerkezettel volt ellátva, amellyel megvalósítható volt a vontatási vizsgálat. A traktor 6 hengeres, turbódízel motorral rendelkezik, legnagyobb teljesítmény 81 kW 2300 1/min-es fordulaton, legnagyobb nyomatéka 455 Nm 1400 1/min-es fordulaton.

A vizsgálatok kiértékelése során a traktorral nem foglalkoztam, kifejezetten csak, mint vontató járműt vettem figyelembe.

#### 3.3.2. GAZ-69

A vontatási vizsgálatok során használt GAZ-69 típusú jármű a 3.3. ábrán látható, adatait a 3.1. táblázat tartalmazza.



3.3. ábra. GAZ-69 típusú terepjármű.

### 3. Anyag és módszer

#### 3.1. táblázat. Járműadatok

Jármű típusa	GAZ-69	
Öntömeg	1535	kg
Első tengelyre eső tömeg	820	kg
Hátsótengelyre eső tömeg	715	kg
Hosszúság	3850	mm
Szélesség	1750	mm
Magasság	2030	mm
Tengelytáv	2300	mm
Nyomtáv	1440	mm
Homlokfelület	2,923	m <sup>2</sup>
Alaktényező	0,43	-
Abrons típusa	Taurus 6,50-16''	
Kerék átmérő	710	mm
Kerék szélesség	165	mm
Abrons profilmagasság	152	mm

#### 3.4. A mérésekhez használt műszerek, eszközök bemutatása

A mérésekhez használt műszerek, eszközök túlnyomó része a SZIE Járműtechnika Tanszék tulajdona. A talpmérlegeket és a Penetrologert a VM Mezőgazdasági és Gépesítési Intézet jóvoltából használhattam, melyet ezúton is köszönök.

**Talajmintavevő hengerek:** A talajmintákat szabványos mintavevő hengerekkel gyűjtöttem. A mintavevő eszközök a Járműtechnika Tanszék tulajdonában vannak, így a mérések során rendelkezésemre álltak. A mintákat a tégelyekben légmentesen elzárva szállítottam a Talajtani Tanszék laboratóriumába részletes elemzésre.

**PCE-SMM1-típusú helyszíni talajnedvesség mérő** (PCE Instruments, Southampton, Egyesült Királyság): A műszer segítségével a mérések helyszínén meg tudtam határozni a talaj nedvességtartalmát. A mérési eredményeket összehasonlítottam a talajmintákból meghatározott nedvességtartalommal. A mérő műszaki tulajdonságai:

- Mérési tartomány 0-50% nedvességtartalom
- Leolvashatóság 0,1 %
- LCD kijelző mérete 28 x 19 mm
- Pontosság +/- 5%
- Környezeti feltételek 0-50°C, < 80% páratartalom
- Egyéb adattárolási funkció, kétpólusú elektróda

### 3. Anyag és módszer

**Egyedi kialakítású vonószerkezet:** A vontatási kísérletekhez nélkülözhetetlen volt egy egyedi kialakítású vonószerkezet (3.4. ábra), amely lehetőséget adott arra, hogy a vontatott terepjármű ne a traktor nyomvonalán haladjon, hanem a vontató traktor mellett, érintetlen felületen.



3.4. ábra. Egyedi kialakítású vonószerkezetté, átalakított villásemelő.

**Erőmérő cella** (HBM Test and Measurement, Darmstadt, Németország): A vontatási vizsgálatok során a vonószerkezet és a vontatott jármű közé egy HBM-típusú erőmérő cella került beépítésre, melynek méréshatára 50 kN volt.

**Fordulatszám jeladó:** A traktor mögé szerelt „ötödik kerékre” elhelyezett fordulatszám mérővel a megtett út hosszát mértem. A mérés során 15 jelvétel történt méterenként.

**Spider-8 típusú adatgyűjtő rendszer, mérőszámítógép** (GDS Instruments, Hampshire, Egyesült Királyság): Az egyes mérőeszközöket ehhez a rendszerhez csatlakoztattam, és a mérés során az adatgyűjtő és a mérőszámítógépre telepített Catman v4.5 mérőszoftver segítségével rögzítettem az adatokat. Az adatgyűjtő fontosabb tulajdonságai:

- 4,8 kHz vivőfrekvencia biztosítása a nyúlásmérő bélyegek és az induktív érzékelők számára,
- 4-8 csatorna a fenti érzékelők fogadására,
- Minden mérőcsatorna saját A/D konverterrel rendelkezik 1-9600 minta/s sebességgel,
- Az A/D csatornák szinkronizáltak,
- Az első két csatorna alkalmas frekvenciamérésre vagy impulzus-számlálásra,
- Az SR01-es modul alkalmas, feszültég, áram, ellenállás, hőmérséklet-mérésre,
- 8 db digitális I/O csatornája van.

### 3. Anyag és módszer

**Eijklkamp-típusú pF mérő berendezés** (Eijklkamp, Giesbeek, Hollandia): A talajok víztartó képességére jellemző pF számot az MTA TAKI-ban volt lehetőségem vizsgálni egy Eijklkamp-típusú pF-mérő berendezésen. A berendezés a SZIE Járműtechnika Tanszék tulajdona, de a laborkörülményeket a kutatóintézet tudta biztosítani. A vizsgálat több hónapot vett igénybe.

**Eijklkamp-típusú Penetrologger** (Eijklkamp, Giesbeek, Hollandia): A műszer alkalmas egy adott talaj tömörödöttségének vizsgálatára, a mélység függvényében a talaj ellenállását adja meg (3.5. ábra). Megfelelő ismétlés után a talaj hordképessége jól jellemezhető. A műszer digitális adatrögzítésre alkalmas, a mért eredményeket az Eijklkamp PenetroViewer 4.22 számítógépes program segítségével olvastam ki a műszerből, majd értékeltem azokat. A penetrolgger főbb műszaki jellemzői:

- Működési hőmérséklettartomány 0 – 50 °C
- Tömege 2,9 kg (nyomórúd nélkül)
- Maximális penetrációs erő 1000 N
- Erőfelbontás 1 N
- Méréstartomány 80 cm
- Mélységfelbontás 1 cm
- Memória kapacitása 1500 mérés



3.5. ábra. Eijklkamp-típusú Penetrologger.

**Talpmérleg a járműtömeg meghatározására** (Pat-Krüger, 's-Hertogenbosch, Hollandia): A vizsgált jármű tömegét az VM Mezőgazdasági és Gépesítési Intézettől kölcsönkapott 4 db hitelesített PAT SAW 10 C típusú digitális talpmérleggel határoztam meg (3.6. ábra). Főbb műszaki jellemzői:

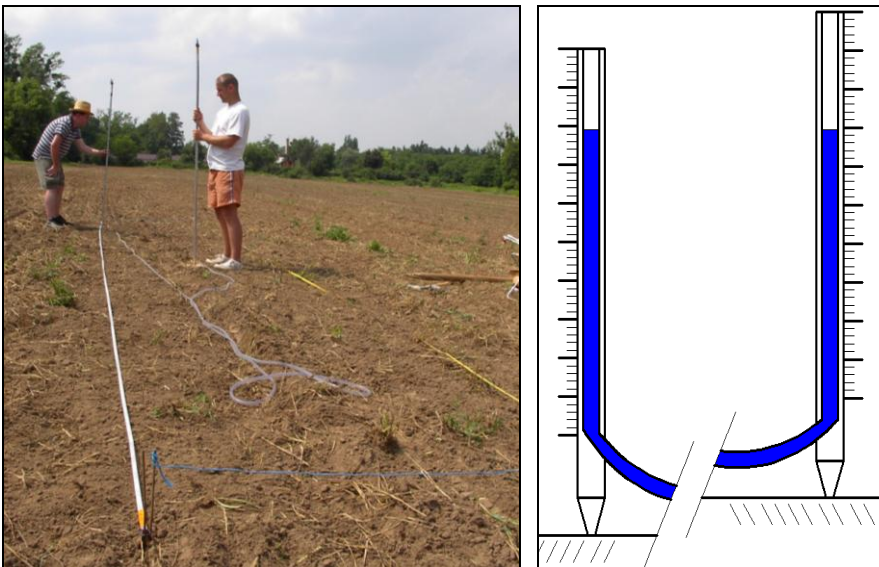
## 3. Anyag és módszer

- Méréshatár 10000 kg
- Mérőfelület 560 x 382 mm
- Műszer vastagsága 32 mm
- Műszer súlya 22,5 kg
- Pontosság 500 kg-ig +/- 25 kg
- Pontosság 2 t-ig +/- 50 kg
- Pontosság 2 t-fölött +/- 50 kg



3.6. ábra. Talpmérleg a járműtömeg meghatározására.

**Terepprofilozó készülék:** Közlekedőedények elvén működő, szintmérő készülék, pontossága 5 mm (3.7. ábra).



3.7. ábra. Profilométer elvi rajza, és profilozás terepen.

### 3. Anyag és módszer

#### 3.5. A vizsgálatok módszere

A különböző kísérleti beállításokat (3.2. táblázat) egy betűvel és egy számmal jelöltem (pl.: B1,5), ahol a betűjel utalt a vizsgált terepre (B=beton; T=tarló; H=hántott; K=kultivátorozott), a szám pedig a vizsgálati járművön beállított abroncslégnnyomásra (1,5-1,8-2,1-2,4 bar).

Terepen a kúpos index vizsgálatokat a vontatott jármű mindkét nyomvonalában, vontatás előtt végeztem el. Így a terepi méréseknél a kísérleti beállítás jelölése kiegészül egy betűvel, ami arra utal, hogy a jobb (J) vagy bal (B) oldalon történt a mérés, pl. H1,5J, ami azt jelenti, hogy hántott területen, 1,5 bar abroncslégnnyomás mellett, a jobb oldali keréknyomban történt a mérés. Jellemzően ezt a jelölést a kúpos index méréseknél alkalmaztam, vonóerő vizsgálatánál nem kellett ilyen módon részletezni az eredményeket.

A vontatási vizsgálatokat minden esetben 10 km/h állandó sebességgel hajtottam végre.

3.2. táblázat. Kísérleti beállítások.

<b>Beállított jellemzők</b>		
<b>Kísérleti beállítás</b>	<b>Abroncslégnnyomás [bar]</b>	<b>Sebesség [km/h]</b>
B1,5	1,5	10
B1,8	1,8	10
B2,1	2,1	10
B2,4	2,4	10
T1,5	1,5	10
T1,8	1,8	10
T2,1	2,1	10
T2,4	2,4	10
H1,5	1,5	10
H1,8	1,8	10
H2,1	2,1	10
H2,4	2,4	10
K1,5	1,5	10
K1,8	1,8	10
K2,1	2,1	10
K2,4	2,4	10

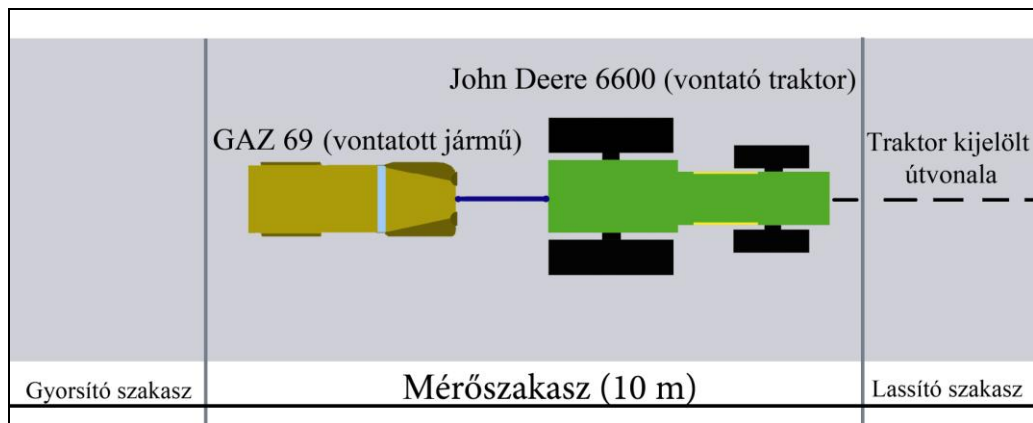
### 3. Anyag és módszer

#### 3.5.1. Mérés betonon

A vizsgálat célja volt, hogy alapadatokat vegyek fel a behatolási sebesség meghatározásához szükséges modellhez. A vontatás betonon a deformálódó kerék - merev pálya kapcsolatnak felel meg, ahol a kialakuló gördülési ellenállás a gumibroncs deformációjának köszönhető. A mérés során célom volt a gördülési ellenállási tényezők meghatározása az eltérő abroncslégnyomások figyelembevételével. A kapott eredményeket összevetve a terepi mérésekkel meghatározható a gumibroncs deformációs vesztesége. A vontatott jármű a traktor mögé volt kötve, így mértem a vonóerőt (3.8. ábra).

A mérés menete a következő volt:

- Kijelöltem a 10 m-es mérőszakasz határait, amelyben a vizsgált jármű kerekének haladnia kellett.
- A helyszínrajznak megfelelően a szerelvény felállt a mérőterületre.
- A traktorral megkezdődött a jármű vontatása úgy, hogy a megadott vontatási sebességet elérve (10 km/h) kezdtem el mérni az időt, a megtett utat, és a vonóerőt.
- A mérőszakasz végét elérve, a szerelvény lassított, majd megállt. A mérést háromszor megismételtem mind a négy abroncslégnyomás mellett.



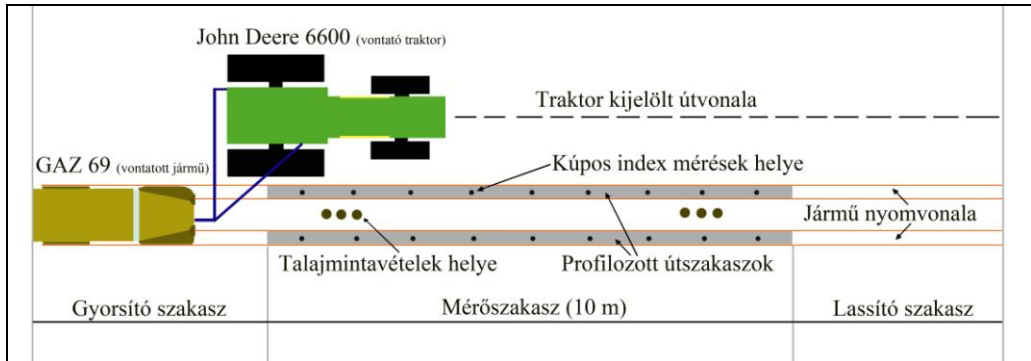
3.8. ábra. Vontatási kísérlet betonon.

#### 3.5.2. Szántóföldi mérések

A méréseket 60 m-es vizsgálati szakaszokon hajtottam végre (3.9.-3.10. ábra) úgy, hogy a kijelölt mérőszakaszok hossza 10 m, a ráfutási és lassítási szakaszok hossza pedig 25-25 m volt. Egy adott talajállapot mellett négy különböző abroncslégnyomással végeztem a méréseket, így tarlón, hántott és a kultivátorozott területen 4 – 4 – 4 mérőszakaszt jelöltem ki. A függőleges irányú talajdeformáció meghatározása érdekében, minden mérést deformálatlan

### 3. Anyag és módszer

pályaszakaszon végeztem el, így a gumiabroncs talajba süllyedésének mértéke ismert volt. A szántóföldi mérések további célja volt, hogy a betonon történt méréshez hasonlóan, alapadatokat vegyek fel a modell felírásához. A mérések során a görbülési ellenállási tényezők meghatározását tűztem ki célul, a különböző talajállapotokon és eltérő abroncsnyomásokon.



3.9. ábra. Vontatási vizsgálat terepen.

A szántóföldi vontatásnál szükség volt a vonószerkezetre, mivel a traktor mellett, érintetlen területen kellett vontatni a járművet (3.10. ábra).



3.10. ábra. Vontatási vizsgálat terepen.

A mérés menete:

- Mérőszakasz kijelölése jelölőoszlopokkal és kötéllel.
- A vontatott jármű nyomvonalának kijelölése.
- A profilozáshoz szükséges bázispont kijelölése.
- A kijelölt nyomban a talajprofil felvétele 10 cm-es lépésközökkel, profiladatok rögzítése.



### 3. Anyag és módszer

---

- 101 mérés mindkét nyomvonalon, vontatás előtt és után, így összesen 404 profiladat rögzítése történt meg egy vontatási vizsgálat során.
- Talajmintavétel a két nyomvonal közötti területről, 5 méterenként 3 mintavevő hengerrel a talajfelszínről.
- A kúpos index mérése. A méréseket a jármű jobb és bal nyomvonalában végeztem el a vontatás előtt.
- Nedvességtartalom meghatározása helyszíni mérőkészülékkel minden talaj-mintavételi pont mellett és a leendő keréknyomban.
- Járműszerelvény beállítása a kijelölt szakaszra.
- Vontatás elvégzése 10 km/h sebességgel.
- Talajmechanikai mérések ismétlése vontatás után a nyomban, a fent leírtak alapján.
- A mérési adatok mentése.

#### 3.5.3. Keréktúrás vizsgálata

A keréktúrás jelenség vizsgálatához szintén szabadföldi méréseket végeztem, abból a célból, hogy meghatározzam a túrási ellenállási tényező nagyságát. A mérést vontatott járművel végeztem. A vontatás során három különböző sebességre gyorsította fel a traktorvezető a járművet, majd adott jelre fékezni kezdett, és a vontatott jármű kereke túrást idézett elő. A mérések 10-15-20 km/h sebességeknél kerültek elvégzésre, minden esetben érintetlen felületen: tarlón, hántott, és kultivátorozott területen.

Miután a kerék belemélyedt a talajba és létrehozta a túrást, megmértem a besüllyedés mértékét, illetve a kerék előtt felhalmozódott talaj magasságát. A vizsgálatok során mértem a vonóerőt. A 3.11. ábrán a túrást követően a talajba süllyedt kerék látható.



3.11. ábra. Keréktúrás vizsgálata

### 3. Anyag és módszer

---

#### 3.5.4. *Mérés hajtott járművel*

A mérés célja a jármű sebességének meghatározása volt abban a pillanatban, amikor a terepre érkezik. Ezzel a vizsgálattal elkezdtem a modell pontosságának és érvényességének a meghatározását. A mérések helyszíne füves terület, tarló, hántott- és kultivátorozott talaj volt. A mérést 2,1 bar abroncsleégnyomáson hajtottam végre.

A jármű 10-20-30 km/h sebességre gyorsított fel majd a jármű behatolt egy kijelölt pontnál a terepre. Amikor megállt, megmértem a kijelölt pont és a megállás közötti távolságot. Így megkaptam, hogy az adott kúpos index és kerékbesüllyedés mellett, a menetellenállások hogyan lassítják, majd állítják meg a járművet, és a jármű eközben mennyi utat tett meg.

#### 3.5.5. *Terepprofil mérés*

A terepprofil felvételével a célom az volt, hogy meghatározzam a talajdeformációt a vontatási vizsgálatok során, különböző talajállapotok mellett. Ennek módja a deformálatlan mérőszakasz és a vontatás utáni, letaposott nyomvonal profilozása. A kettő különbsége szolgáltatja a vontatott jármű alatt keletkező függőleges deformáció nagyságát.

A terepprofil mérést a vontatott jármű kijelölt nyomvonalában végeztem el, mielőtt a vontatási vizsgálatot elvégeztem volna. Így megkaptam a mérőszakasz profilgörbét. Miután a traktor végighúzta a járművet az adott szakaszon, a mérést megismételtem a jármű nyomvonalában is, így szintén kaptam egy profilértéket, ami már a letaposott útszakaszé volt. A profilozást a jobb és bal oldali nyomvonalon is elvégeztem vontatás előtt és után is. A traktor nyomvonalát és az utána kialakuló deformációt nem vizsgáltam.

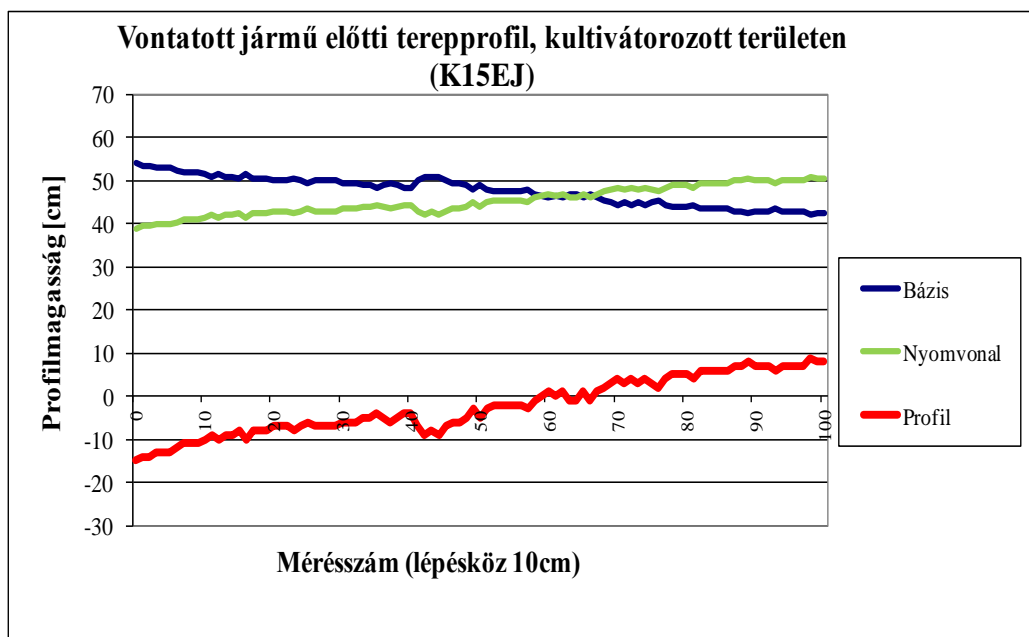
A 10 m-es mérőszakaszt szakirodalmi ajánlások alapján a jármű kerekének felfekvési úthosszánál kisebb mértékű lépésközzel profiloztam végig. A választott lépésköz így 10 cm volt, melyet a nyomvonal mentén a talajra fektetett mérőszalag biztosított. Vontatás előtt és után is egy kijelölt, állandó helyzetű bázisfelülethez viszonyítva végeztem el a méréseket úgy, hogy a szűz és deformált szakaszon is ugyan azokban a pontokban vettem fel a terepprofil magasságát. Így a két érték különbsége a függőleges talajdeformáció nagyságát adja. A közlekedőedények elvén működő, vízmértékes talajprofilozó készülék egyik szára folyamatosan a bázisponton volt, a másik szárát 10 cm-es lépésközzel vittem végig a kijelölt érintetlen, majd letaposott nyomvonalon. A műszer bázisponton és a nyomvonalon haladó üvegsővén lévő értékeket leolvastam, és a kettő különbségét vettem alapul, annak érdekében, hogy a víz hőmérsékletváltozása okozta térfogatváltozás hatását kiküszöböljem.

### 3. Anyag és módszer

A terepprofilmérések eredményét a 3.12.-3.14. ábrákon mutatom be a mérésszám függvényében. A 3.12. ábra mutatja a deformálatlan terepen felvett terepprofil mérést, a 3.13. ábra pedig a vontatás utáni. A két diagramban a felső, tengelyesen tükrös görbék a profilozó készülék két üvegsővéről leolvasott értéket mutatják. Az alsó piros görbe pedig a bázishoz viszonyított terepprofil változását, melyet a két, tengelyesen tükrös görbe kivonásából kaptam.

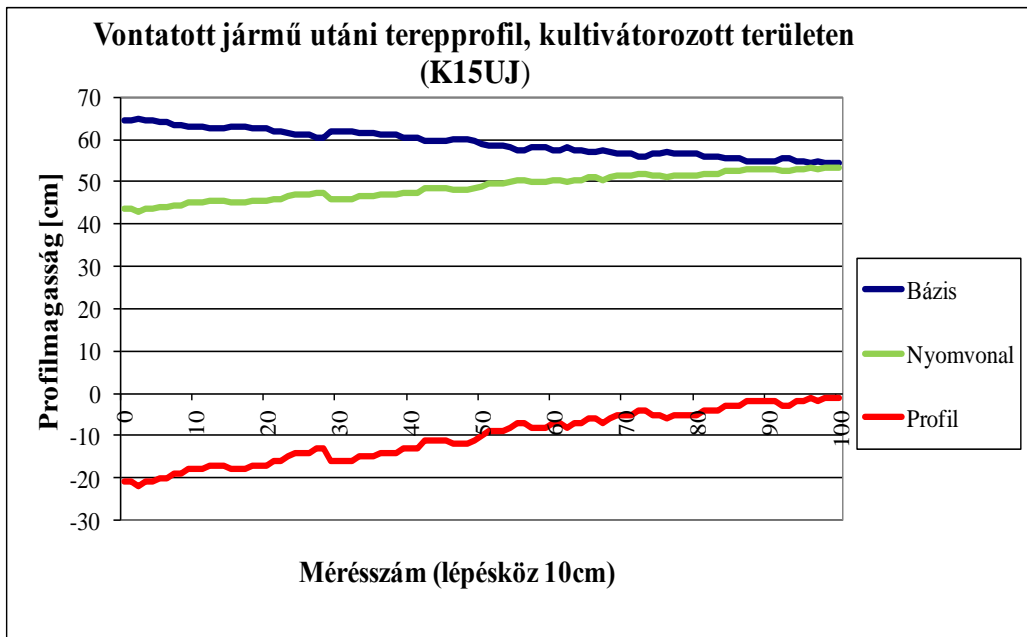
A 3.12.-3.14. ábrákon, az origón keresztülhaladó x tengely a profilozáshoz használt bázisfelület magasságát jelöli, valamint a görbe meredeksége a vizsgált terület lejtőszögével azonos. A 3.14. ábrán a vontatás előtti és utáni profil látható egy adott talajállapoton, aroncslégnymáson és nyomvonalon. A két görbe közötti terület adja a függőleges talajdeformáció nagyságát.

A deformálatlan területen mért profilból kivontam a deformált nyomvonalon felvett profilt, így megkaptam az adott nyomvonal függőleges deformációját, melyet a 3.15. ábra szemléltet. A 3.16. ábrán látható, hogy a jármű után milyen „z” talajdeformáció jelent meg a nyomvonalon.

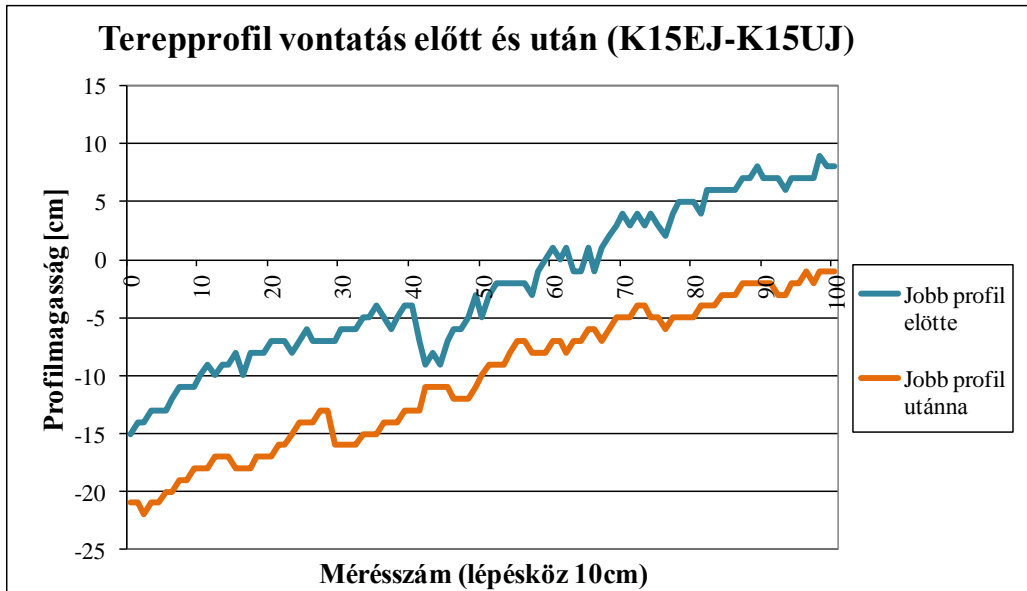


3.12. ábra. Terepprofil mérés eredménye vontatás előtt, kultivátorozott területen, 1,5 bar aroncslégnymás mellett a jobb oldali keréknyomon.

## 3. Anyag és módszer

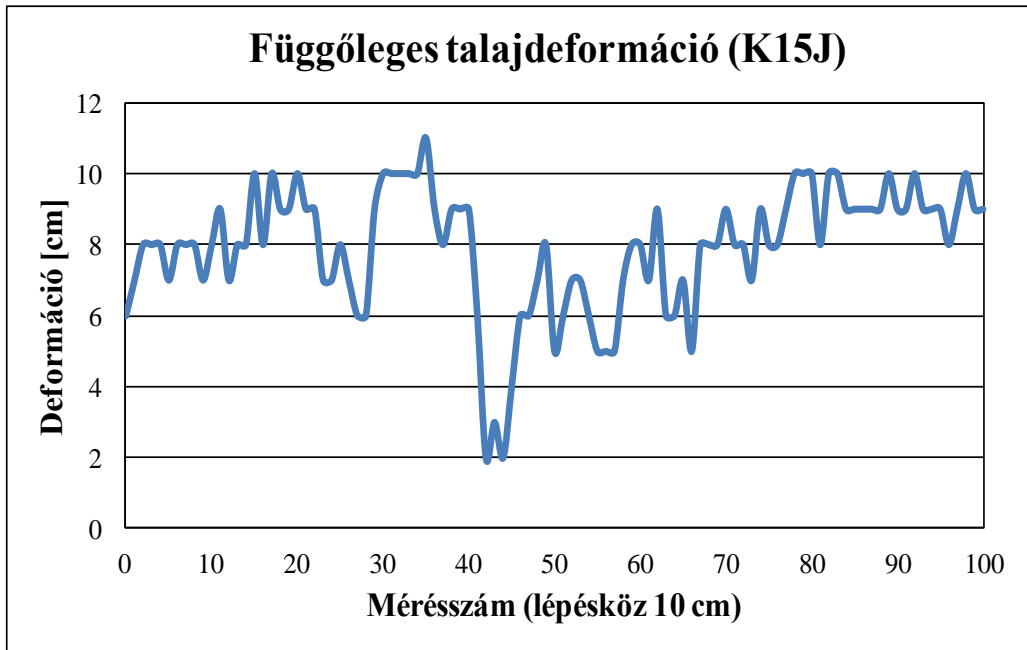


3.13. ábra. Terepprofil mérés eredménye vontatás után, kultivátorozott területen, 1,5 bar abroncsleányomás mellett a jobb oldali keréknyomban.



3.14. ábra. Terepprofilok vontatás előtt és után kultivátorozott területen, 1,5 bar abroncsleányomás mellett a jobb oldali keréknyomban.

## 3. Anyag és módszer



3.15. ábra. Függőleges talajdeformáció nagysága kultivátorozott területen, 1,5 bar abroncslégnyomás mellett a jobb oldali keréknyomban.



3.16. ábra. Talajdeformáció a vontatott jármű után.

## 3. Anyag és módszer

**3.5.6. A besüllyedés mértékének meghatározása**

A terepprofil mérésekkel meghatározható volt a járműkerék besüllyedésének mértéke, amely a talajdeformációval azonos. A terepprofil mérések, illetve a deformáció meghatározásának módját a 3.5.5. fejezetben ismertettem. A 3.3. táblázatban összefoglaltam a különböző talajállapotokon és abroncslégnyomásokon mért „z” deformációkat, a bal és jobb nyomban, valamint ezek átlagértékét. A jármű két oldala azonos terhelésű volt, ezért megállapítható, hogy a jobb és bal oldalon mért besüllyedés értékek eltérése a terep egyenetlenségéből adódik.

Terepi baleset során a jármű által hátrahagyott nyomokból következtetni lehet a jármű sebességére. A besüllyedés könnyen mérhető paraméter, ezért mindenképpen meg kell vizsgálni a gördülési ellenállásra gyakorolt hatását. Keréktúrás esetén szintén vizsgálni kell a jármű okozta talajdeformációt, valamint túrás mértékét. A keréktúrás jelenséggel a későbbi fejezetekben foglalkozom.

3.3. táblázat. A kerékesüllyedés értékeinek összefoglalása.

	<b>P<sub>abr</sub></b> <b>[bar]</b>	<b>Z<sub>bal</sub></b> <b>[cm]</b>	<b>Z<sub>jobb</sub></b> <b>[cm]</b>	<b>Z<sub>átlag</sub></b> <b>[cm]</b>
<b>Tarló</b>	1,5	1,2	1,4	1,30
	1,8	1,6	2,0	1,80
	2,1	1,9	2,2	2,05
	2,4	2,4	1,9	2,15
<b>Hántott</b>	1,5	3,9	2,7	3,30
	1,8	4,5	2,5	3,43
	2,1	5,3	3,8	4,55
	2,4	5,4	4,0	4,70
<b>Kultivált</b>	1,5	6,7	6,1	6,40
	1,8	6,8	6,8	6,80
	2,1	6,9	7,3	7,10
	2,4	7,1	7,5	7,30

**3.5.7. Felfekvési felületek meghatározása**

A mérések során az abroncslégnyomás változó paraméter volt. Ennek eredményeként a gumiabroncs felfekvési felülete is változott, melyet minden abroncslégnyomás változtatást követően, és minden talajállapoton illetve betonon meghatároztam. Betonon a 3.17. ábra bal oldalán látható módon, indigós papírra lenyomatot hagyott a gumiabroncs, terepen pedig az ábra jobb oldalán látható módon, jelölőporral szórtam körbe a gumiabroncsot. Mindkét esetben a hátrahagyott nyomokat ellipszisnek feltételeztem, ennek felületét

## 3. Anyag és módszer

határoztam meg, melyhez lemértem a nyomok fő átlóit. A kiszámított felületértékeket a 3.4. táblázat tartalmazza.



3.17. ábra. Felfekvési felületek felvétele betonon és terepen.

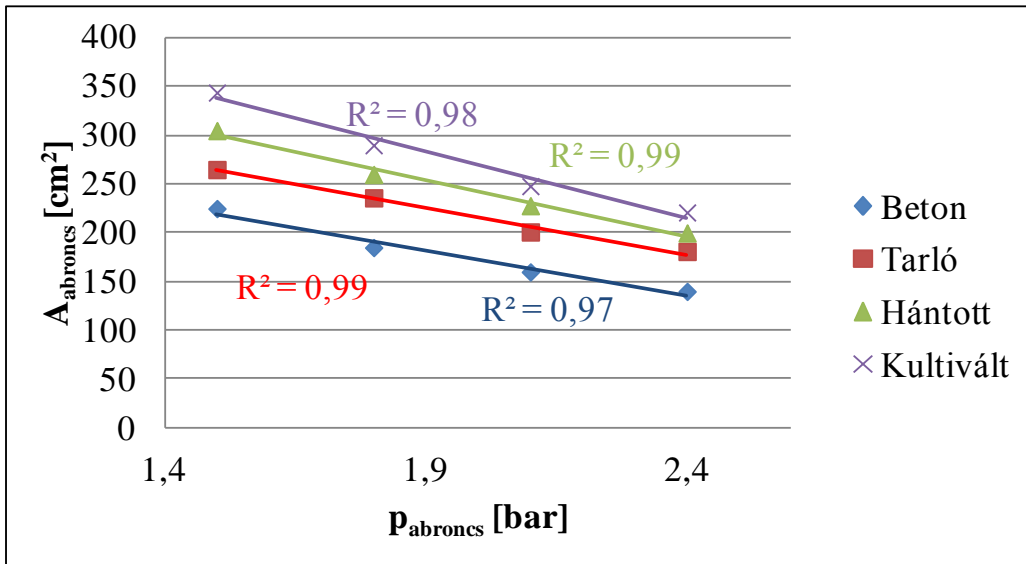
3.4. táblázat. Felfekvési felületek értékei betonon és terepen.

<b>P<sub>abr</sub></b> <b>[bar]</b>	<b>A<sub>abroncs</sub></b> <b>[cm<sup>2</sup>]</b>			
	<b>Beton</b>	<b>Tarló</b>	<b>Hántott</b>	<b>Kultivátorozott</b>
1,5	225	265	305	344
1,8	185	236	260	290
2,1	160	201	228	248
2,4	140	181	200	227

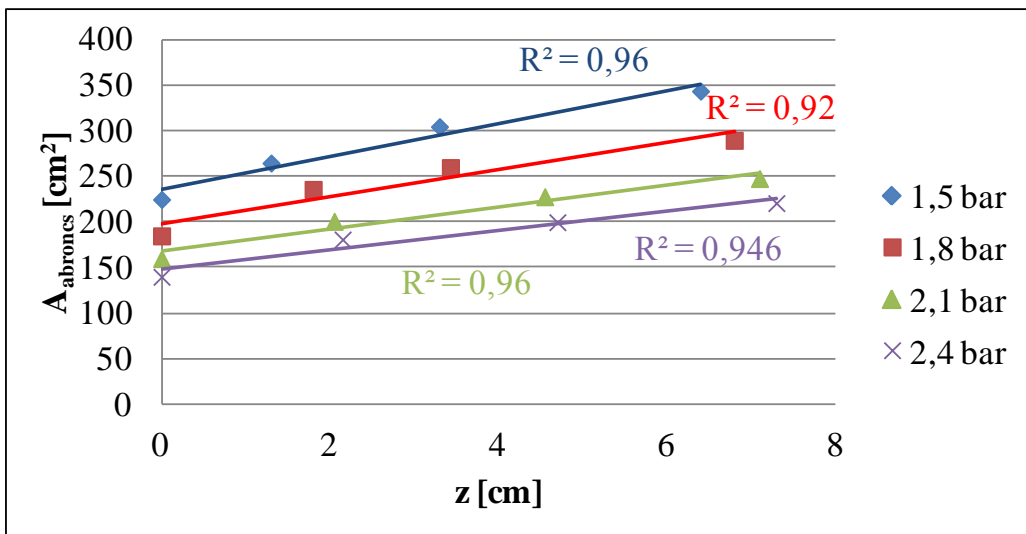
Az ellipszisnek feltételezett felfekvési felületek meghatározása után a kapott értékeket diagramon ábrázoltam az abroncsleágyódás függvényében. A 3.18. ábra a betonon és terepen mért felületértékeket ábrázoltam, ahol megkülönböztettem a talajállapotokat: tarló, hántott, és kultivátorozott területet. Terepen és betonon is hasonló jeleget kaptam a felfekvési felületek változására, elmondható, hogy az abroncsleágyódás növekedésével csökkent a felfekvési felületek értéke. Ez a jelleg lineáris egyenessel közelíthető.

A felfekvési felületek mérési és számítási eredményeit ellenőriztem, hogy a későbbiekben valóban pontos eredményekkel számoljak. Elsőként a 3.19. ábrán látható módon, a „z” besüllyedés függvényében ábrázoltam a felfekvési felületek értékét. A felületeket a különböző abroncsleágyódások szerint ábrázoltam és eltérő színnel jelöltem. Az ábráról leolvasható, hogy a felfekvési felület akkor volt a legnagyobb, ha az abroncsleágyódás a legkisebb volt. A nagyobb abroncsnyomásokhoz kisebb felfekvési felület tartozik. A felfekvési felület és a besüllyedés közötti kapcsolat lineáris egyenessel közelíthető.

## 3. Anyag és módszer



3.18. ábra. Felfekvési felület változása az abroncslégnyomás függvényében, betonon és terepen.



3.19. ábra. Felfekvési felület változása a besüllyedés függvényében.

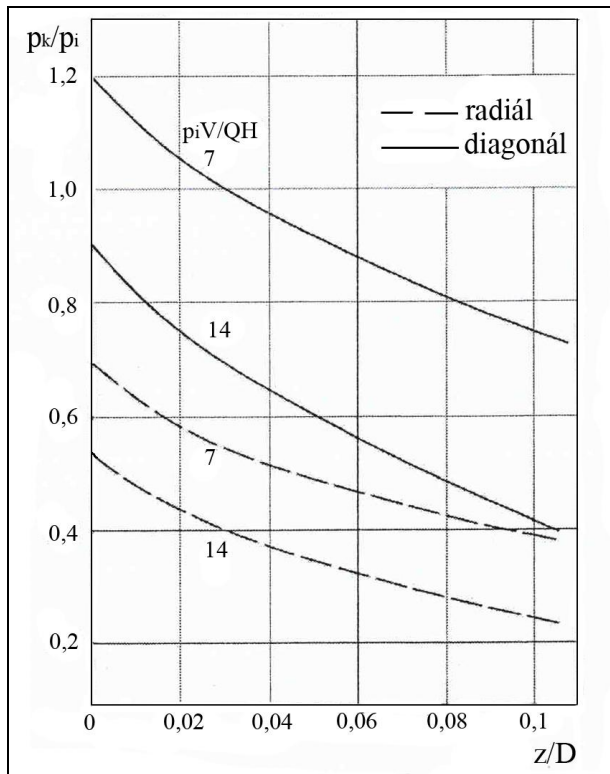
A következő ellenőrzést közepes felületi nyomásra végeztem el, melyet viszonyítottam a belső légnyomáshoz. Az ellenőrzés során a 3.20. ábrán látható diagramot használtam, amelyen az abroncs alatti közepes talajnyomás látható a besüllyedés függvényében. A diagram segítségével meghatározható, hogy adott gumibroncs belső légnyomásánál, besüllyedésnél és kerékátmérőnél mennyi az elvárt közepes talajnyomás érték. A diagram alkalmas radiál és diagonál



## 3. Anyag és módszer

abroncsok ellenőrzésére. Esetemben a diagonál abroncsokra vonatkozó görbe számít, mivel a méréseimet diagonál abronccsal szerelt járművel végeztem.

Az abroncs átmérője  $D=71$  cm, egy kerékre eső terhelés  $Q=4022$  N. Az abroncs névleges terhelésekor  $p_i V/QH=7$ , ahol  $p_i$ =abroncs légnyomás [Pa],  $V$ =abroncs térfogata [ $m^3$ ],  $Q$ =abroncs terhelése [N],  $H$ =abroncs keresztmetszetének magassága [m] (SITKEI 1986).



3.20. ábra. Az abroncs alatti közepes nyomás a relatív besüllyedés függvényében (SITKEI 1986).

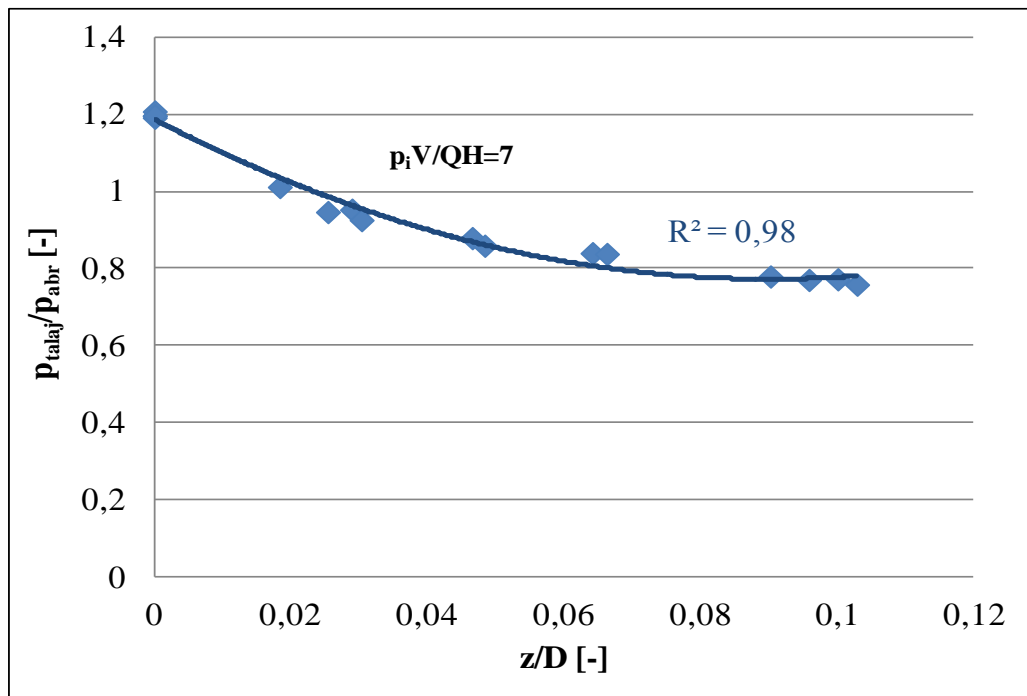
A mért és számolt felfekvési felületek, valamint az egy kerékre eső terhelés ismeretében meghatároztam minden belső légnyomásnál és talajállapotnál a közepes talajterhelést ( $p_{talaj}$ ). A terepprofil mérésekből meghatározott besüllyedésből és kerékátmérőből meghatároztam a  $z/D$  relatív besüllyedést, valamint a talajnyomás és abroncs légnyomás hányadosából a  $p_{talaj}/p_{abr}$  viszonyszámot. Az értékeket a 3.5. táblázatban szemléltetem.

A 3.21. ábrán a  $z/D$  relatív besüllyedés függvényében ábrázoltam a  $p_{talaj}/p_{abr}$  viszonyszámot. A függvénykapcsolatot hatványfüggvénnyel lehet közelíteni ( $R^2=0,98$ ). Az ellenőrzés eredményeként elmondható, hogy a mért és számolt felfekvési felületek megfelelnek az elvárt értékeknek, a további számításokhoz kellő pontossággal felhasználhatóak.

## 3. Anyag és módszer

## 3.5. táblázat. Relatív besüllyedés és közepes talajnyomás meghatározása.

	$P_{abr}$ [bar]	$A_{abr}$ [cm <sup>2</sup> ]	$z$ [cm]	$z/D$ [-]	$P_{talaj}$ [bar]	$P_{talaj}/P_{abr}$ [-]
<b>Beton</b>	1,5	225	0	0,000	1,79	1,19
	1,8	185	0	0,000	2,17	1,21
	2,1	160	0	0,000	2,51	1,20
	2,4	140	0	0,000	2,87	1,20
<b>Tarló</b>	1,5	265	1,30	0,018	1,52	1,01
	1,8	236	1,80	0,025	1,70	0,95
	2,1	201	2,05	0,029	2,00	0,95
	2,4	181	2,15	0,030	2,22	0,93
<b>Hántott</b>	1,5	305	3,30	0,046	1,32	0,88
	1,8	260	3,43	0,048	1,55	0,86
	2,1	228	4,55	0,064	1,76	0,84
	2,4	200	4,70	0,066	2,01	0,84
<b>Kultivált</b>	1,5	344	6,40	0,090	1,17	0,78
	1,8	290	6,80	0,096	1,39	0,77
	2,1	248	7,10	0,100	1,62	0,77
	2,4	221	7,30	0,103	1,82	0,76



3.21. ábra. A mért felfekvési felületekből számolt közepes talajnyomás a relatív besüllyedés függvényében, diagonál abroncs és névleges terhelés esetén.

## 3. Anyag és módszer

A 3.21. ábrán látható görbe egyenlete felírható az alábbi (3.1.) összefüggéssel:

$$\frac{p_{\text{talaj}}}{p_{\text{abr}}} = 1,2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right] \quad [-]. \quad (3.1.)$$

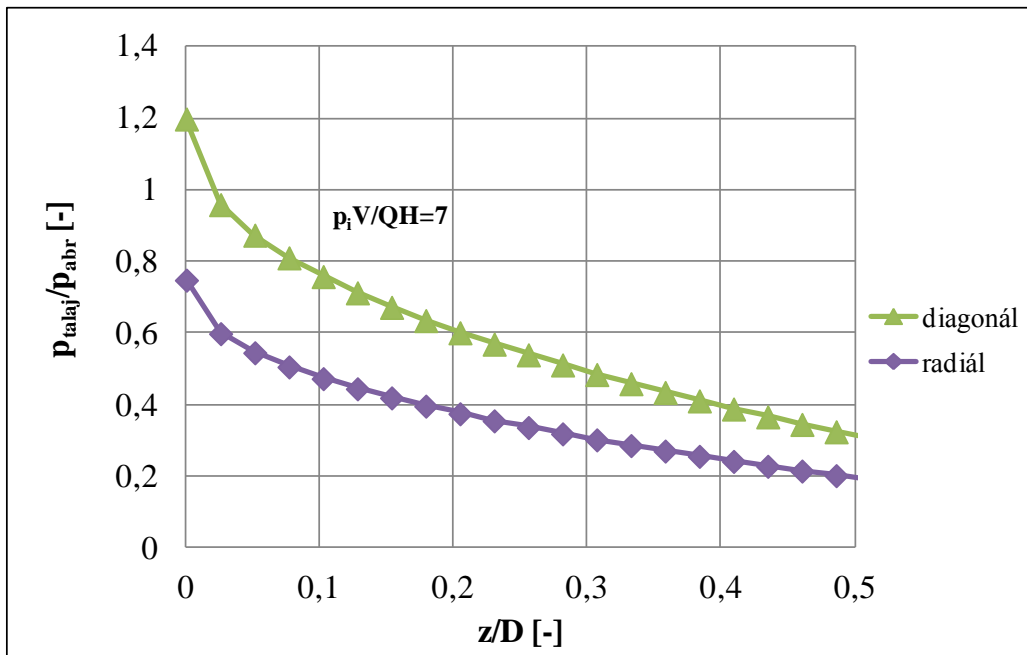
Radiál abroncsok esetén is felírható az összefüggés a (3.2.) egyenlet segítségével. A 3.20. ábrán látható, hogy az eltérő abroncstípushoz tartozó görbék jellege megegyezik.

$$\frac{p_{\text{talaj}}}{p_{\text{abr}}} = 0,75 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right] \quad [-]. \quad (3.2.)$$

Mindkét esetben a relatív besüllyedés értéke  $0 \leq \frac{z}{D} \leq 0,5$ .

Az általam meghatározott egyenletek segítségével a 3.22. ábrán szemléltetem az abroncs alatti talajnyomás és relatív besüllyedés kapcsolatát.

A diagram segítségül szolgál a felfekvési felület meghatározásához, amely fontos bemeneti paraméter a sebesség meghatározásához. A 4. fejezetben ismertetem a felfekvési felület meghatározását, valamint annak jelentőségét a gördülési ellenállási tényező számításánál.



3.22. ábra. Az abroncs alatti talajnyomás és relatív besüllyedés diagonál és radiál abroncsok esetén, a (3.1.) és (3.2.) összefüggés alapján.

### 3. Anyag és módszer

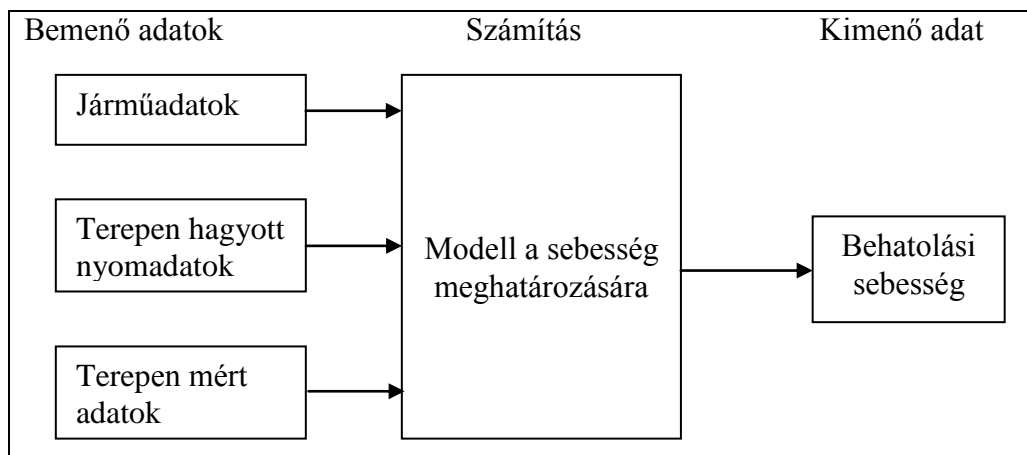
#### 3.6. Modell a sebesség meghatározására

A jármű sebességének ismerete döntő fontosságú a balesetek vizsgálata során. A szakértők minden esetben a jármű sebességét próbálják meghatározni az épített úton, vagy a terepen hagyott nyomokból. A legnagyobb problémát a terep okozza, aminek a hatását csak közelíteni tudják tapasztalati értékekkel.

A terepre behatoló gépjármű a megállás pillanatáig számos terepi tényezővel találkozhat. Ezek befolyásolják az útját, végső helyzetét és az utasok állapotát. A szakirodalmi áttekintésben részletesen bemutatam a lehetséges terepi balesetek formáit. Az érdemi részben három kiemelt területtel foglalkozom, melyek alapját képezik az összes lehetséges kimenetelnek. Ezek az esetek az alábbiak:

- **A jármű üresben gurulva kifut a terepre, majd megáll.**
- **A jármű motorfék segítségével fékezve kifut a terepre, majd megáll.**
- **A jármű fékezett kerekekkel és motorfékkel kifut a terepre, majd megáll.**

A sebesség meghatározásához ismerni kell az adott talaj gördülési ellenállási tényezőjét, túrás esetén a túrási ellenállási tényezőt. Baleset során csak a nyomok ismertek, illetve a kúpos indexet és a nyommélységet lehet mérni, valamint a talaj típusa beazonosítható. A járműre vonatkozó jellemzők katalógusból, adatbázisból kikereshetők, így a járműjellemzőket ismert bemeneti paraméternek tekinthetjük. A behatolási sebesség meghatározását az alábbi egyszerű ábra szemlélteti:



3.19. ábra. Modell a behatolási sebesség meghatározására

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy egy pályaelhagyásos baleset során nem ismerjük a jármű sebességét, csak a terepen hagyott nyomokat, szükséges a balesetet az ellenállások oldaláról vizsgálni, hogy melyek azok az erők, amelyek lassították, majd megállították a járművet. Ha ezeket a gyakorlat számára elfogadható pontossággal meg lehet határozni, a bevezetésben közölt

### 3. Anyag és módszer

mozgási energiát a következő összefüggéssel lehet egyenlővé tenni, ha a behatoló jármű a terepen “s” hosszúságú úton áll meg:

$$\frac{m \cdot \Delta v^2}{2} = \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} F_{v_i} \cdot ds + E_{i \text{ lengések}} + E_{i \text{ makroakadályok}} + E_{i \text{ perdület}} \right), \quad (3.3.)$$

ahol:

- m jármű tömege [kg]
- $\Delta v$  a jármű sebességváltozása a pályaelhagyás után [m/s]
- s megállás úthossza [m]
- $F_v$  vonóerő [N]
- $E_{i \text{ lengések}}$  lengések okozta energiaveszteség [J]
- $E_{i \text{ makroakadályok}}$  makroakadályok okozta energiaveszteség [J]
- $E_{i \text{ perdület}}$  körülfordulás esetén a jármű perdülete okozta energiaveszteség [J]

A jármű haladó mozgását leíró egyenlet azt fejezi ki, hogy a vonóerő egyenlő a menetellenállások összegével:

$$F_v = F_g + F_{\text{lég}} + F_e + F_f + F_{\text{gy}} \text{ [N]}, \quad (3.4.)$$

ahol:

- $F_v$  a vonóerő [N]
- $F_g$  a gördülési ellenállás (túrás esetén túrási ellenállás) [N]
- $F_{\text{lég}}$  a légellenállás [N]
- $F_e$  az emelkedési ellenállás [N]
- $F_f$  fékerő (motorfék + hajtáslánc ellenállása) [N]
- $F_{\text{gy}}$  gyorsító erő (nálam ezt nem kell figyelembe venni, nem gyorsítottunk) [N]

Amennyiben a jármű függőleges tengelye körül megpördül, és a perdülés közelítőleg a tengelytávval, mint sugárral történik, akkor egy teljes perdület energiája:

$$E_{i \text{ perdület}} = 2L_t \cdot \pi \frac{m \cdot g}{2} \cdot f_{\text{cs}} \text{ [J]}, \quad (3.5.)$$

ahol

- $L_t$  a tengelytáv [m]
- $f_{\text{cs}}$  oldalt csúszó kerék ellenállási tényezője [-]

A jármű haladási sebességét jelentősen befolyásolja a perdület, de munkám során a megjelölt három alapesetet vizsgáltam, melyek nem tartalmazzák a jármű körülfordulásának esetét.

### 3. Anyag és módszer

A nagymértékű lengések szintén károsan hatnak a jármű mozgási energiájára, valamint a vezetőre. A terep-egyenetlenség által gerjesztett lengésgyorsulás, ha eléri a  $\sigma=0,3g-0,5g$  gyorsulás szórás értékét, akkor a jármű vezetője képtelenné válik a jármű irányítására. Vizsgálataim során nem tértem ki a lengések okozta energiaveszteség, jármű sebességére gyakorolt hatására.

Továbbá, a jármű mozgási energiáját jelentősen csökkentheti a jármű egyes részegységeinek leszakadása, a karosszéria sérülése. Dolgozatomban nem tértem ki a leszakadó, illetve talajba behatoló alkatrészek energiaelnyelő tulajdonságainak vizsgálatára, feltételeztem, hogy a három alapesetben a járműről nem válik le alkatrész.

A nagyméretű terepakadályok okozta energiaveszteséggel munkám során kísérleti céllal nem foglalkoztam, de dolgozatomban 4. fejezetemben ismertetem a vizsgált jármű makroakadály leküzdő képességét, illetve VSE görbéjét.

Leegyszerűsítve a (3.3.) összefüggést, és csak a menetellenállásokat figyelembe véve, valamint a (3.4.) képletet behelyettesítve a (3.3.) képletbe az alábbi egyszerűsített összefüggést kaptam:

$$\frac{m \cdot \Delta v^2}{2} = \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} (F_{g_i} + F_{e_i} + F_{lég_i} + F_{f_i} + F_{gy_i}) \cdot ds \right). \quad (3.6.)$$

Ha a jármű megáll a terepen, azaz sebessége 0 lesz, a  $\Delta v$  megegyezik a behatolási sebességgel ( $v_{\text{behatolási}}$ ):

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} (F_{g_i} + F_{e_i} + F_{lég_i} + F_{f_i} + F_{gy_i}) \cdot ds \right)}{m}} \quad [\text{m/s}]. \quad (3.7.)$$

Az általam kijelölt és vizsgált három alapesetnél a terepre történő behatolás sebességszámítása a (3.7.) összefüggésre vezethető vissza. Amennyiben az adott esetenél nincs gördülés, vagy emelkedés, ezek az ellenállások elhagyhatók a képletből, illetve kiegészíthető keréktúrás esetén túrási ellenállással.

Ha a járművet motorfék lassítja, akkor annak fékező hatását figyelembe kell venni a számítás során. Ennek értéke a névleges motorteljesítmény 1/4...1/8-ad része, sebességi fokozattól függően (EMŐD 2009; ILOSVAI 2010). Esetemben az alacsonyabb fokozatok használata kizárt, mivel a pályaelhagyás során nincs lehetőség visszakapcsolásra. A számítások során a hajtáslánc veszteségét is figyelembe kell venni, ennek közelítő értéke versenyautók esetén a motor teljesítményének 5-10 %-a, személyautók esetén 8-10 %, tehergépjárműveknél és buszoknál 15-18 %, összkerékajtású járműveknél 15-20 % (ILOSVAI 2010). Ezen kívül feltételeztem, hogy a jármű nem rendelkezik ABS-szel.

## 3. Anyag és módszer

**3.7. A mérési adatok értékelésénél alkalmazott összefüggések**

Gördülési ellenállás erőszükséglete:

$$F_g = m \cdot g \cdot f_g \cdot \cos \alpha \quad [\text{N}]. \quad (3.8.)$$

A jármű haladási irányú lassításának, ill. gyorsításának erőszükséglete, a forgó tömegek figyelembevételével:

$$F_{gy} = \pm m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \delta \quad [\text{N}]. \quad (3.9.)$$

Az emelkedési ellenállás erőszükséglete:

$$F_e = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}]. \quad (3.10.)$$

A túrási ellenállás erőszükséglete:

$$F_t = m \cdot g \cdot f_t \cdot \cos \alpha \quad [\text{N}]. \quad (3.11.)$$

A légellenállás meghatározása:

$$F_{\text{lég}} = \frac{1}{2} A \cdot c_w \cdot \rho_{\text{levegő}} \cdot v^2 \quad [\text{N}]. \quad (3.12.)$$

Talajnyomás:

$$p_{\text{talaj}} = \frac{Q}{A_{\text{abroncs}}} \quad [\text{Pa}]. \quad (3.13.)$$

Fékezés okozta ellenállás:

$$F_f = F_{mf} + F_h \quad [\text{N}]. \quad (3.14.)$$

Motorfék okozta ellenállás:

$$F_{mf} = m \cdot g \cdot f_{mf} \quad [\text{N}]. \quad (3.15.)$$

Hajtáslánc okozta ellenállás:

$$F_h = m \cdot g \cdot f_h \quad [\text{N}]. \quad (3.16.)$$





## 4. EREDMÉNYEK

A bevezetésben megfogalmazott célkitűzéseknek megfelelően elvégeztem méréseimet. A kísérletek előkészítését, az alkalmazott berendezéseket, eszközöket és mérési módszereket az előző fejezetben ismertettem. Ebben a fejezetben a mért, számolt, illetve az új tudományos eredményeket mutatom be.

### 4.1. A talajvizsgálatok eredményei

#### 4.1.1. A talaj fizikai tulajdonságainak meghatározása

A kísérleti területen vett talajminták laborvizsgálati eredményei a 4.1. és 4.2. táblázatokban láthatóak. A 4.1. táblázat a tarlón történt mintavételezés részletes elemzését mutatja, ahol látható az adott talajminta térfogattömege, porozitása, nedvességtartalma tömeg- és térfogatszázalékban egyaránt. A többi talajállapoton vett minták részletes értékelése a 3. mellékletben megtalálható.

4.1. táblázat. A tarlón vett talajminták laborvizsgálati eredményei.

Minta jele		Ts [g/cm <sup>3</sup> ]	Porozitás [%]	Nedvességtartalom	
				[tömeg%]	[térfogat%]
T 1,5	1	1,64	37	17,1	28,0
	2	1,50	42	16,5	24,8
	3	1,41	46	14,1	19,8
	4	1,45	44	14,3	20,7
	5	1,58	39	16,5	26,0
	6	1,63	37	14,7	23,9
T 1,8	1	1,71	34	17,7	30,3
	2	1,61	38	19,2	30,9
	3	1,66	36	16,4	27,4
	4	1,68	35	17,3	29,2
	5	1,61	38	18,8	30,3
	6	1,61	36	20,0	32,1
T2,1	1	1,70	35	15,4	26,3
	2	1,68	35	17,5	29,3
	3	1,61	38	17,4	28,0
	4	1,63	37	17,3	28,1
	5	1,58	39	17,3	27,4
	6	1,58	39	23,8	37,4
T 2,4	1	1,63	37	15,8	25,8
	2	1,62	38	15,1	24,3
	3	1,58	39	16,4	25,8
	4	1,70	35	15,1	25,7
	5	1,77	32	14,3	25,2
	6	1,68	35	10,9	18,6

## 4. Eredmények

A jelölések értelmezése:

**Ts:** Talaj térfogattömege  $\text{g/cm}^3$  –ben.

**T 1,5:** Tarlón történt a mintavétel, azon a mérőterületen, ahol a vontatott jármű abroncsleányomása 1,5 bar volt. A többi jelölés hasonlóan értelmezendő.

A 4.2. táblázat a vizsgált talajmintákban található szemeseffrakciók százalékos arányát mutatja. A homok, iszap és agyag frakciók aránya határozza meg a talaj típusát, amely jelen esetben homokos vályogtalajnak minősül.

4.2. táblázat. A kísérleti helyszín talajtípusának meghatározása laboratóriumi vizsgálattal.

<b>Minta</b>	<b>0,25- 2,00 mm Homok</b>	<b>0,05- 0,25 mm Homok</b>	<b>0,02- 0,05 mm Iszap</b>	<b>0,01- 0,02 mm Iszap</b>	<b>0,005- 0,01 mm Iszap</b>	<b>0,002- 0,005 mm Iszap</b>	<b>0,002&gt; mm Agyag</b>
<b>I. ismétlés</b>	32,0%	55,8%	2,1%	0,8%	0	0,5%	8,8%
<b>Összes minta</b>	87,8%		3,4%				8,8%
<b>II. ismétlés</b>	79,8%	10,1%	0	0	4,0%	0	6,1%
<b>Összes minta</b>	89,9%		4,0%				6,1%
<b>III. ismétlés</b>	63,2%	30,6%	0	0	1,9%	0,4%	3,9%
<b>Összes minta</b>	93,8%		2,3%				3,9%
<b>Átlag minta</b>	58,3%	32,2%	0,7%	0,2%	2,0%	0,3%	6,3%
<b>Összes átlag minta</b>	<b>90,5%</b>		<b>3,2%</b>				<b>6,3%</b>

Összefoglalva a laboratóriumi eredményeket, a talaj fizikai tulajdonságait a 4.3. táblázat szemlélteti. A táblázatban feltüntettem a növényborítottságot is, mivel ennek jelentősége van a talaj mechanikai tulajdonságaira, pl. a hordképességre.

Helyszíni nedvességmérővel is megmértem a talaj nedvességtartalmát, az értékeket összehasonlítottam a laboratóriumi mérésekkel. A 4.4. táblázat a helyszínen mért nedvességtartalmakat mutatja. A méréseket a vontatási vizsgálatra kijelölt mérőszakaszokon, a vontatott jármű nyomvonalával végeztem el.

## 4. Eredmények

4.3. táblázat. A mérési területen vett talajminták fizikai tulajdonságai.

<b>Művelési állapot</b>	Tarló	Hántott	Kultivátorozott
<b>A talaj típusa</b>	Homokos vályogtalaj		
<b>Nedvességtartalom (tömeg %-ban) [%]</b>	15,8	11,5	10,8
<b>Nedvességtartalom (térfogat %-ban) [%]</b>	27,4	18,4	19,2
<b>Pórustérfogat [%]</b>	36,0	38,0	42,0
<b>Térfogattömeg [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,63	1,61	1,52
<b>Növényborítottság -</b>	tarló+gyomnöv.	gyér gyomnöv.	nincs növ.

4.4. táblázat. Talaj-nedvességtartalom értékek %-ban kifejezve.

<b>Vizsgálati terület Talajállapot</b>	<b>1,5J</b>	<b>1,5B</b>	<b>1,8J</b>	<b>1,8B</b>	<b>2,1J</b>	<b>2,1B</b>	<b>2,4J</b>	<b>2,4B</b>	<b>Átlag</b>
Tarló	15,1	12,8	15,0	14,5	16,6	16,8	14,1	15,1	<b>15,1</b>
Hántott	12,7	14,7	13,6	14,0	13,6	13,7	10,1	10,7	<b>13,1</b>
Kultivátorozott	10,4	9,6	11,4	12,6	12,1	10,2	9,3	9,2	<b>10,6</b>

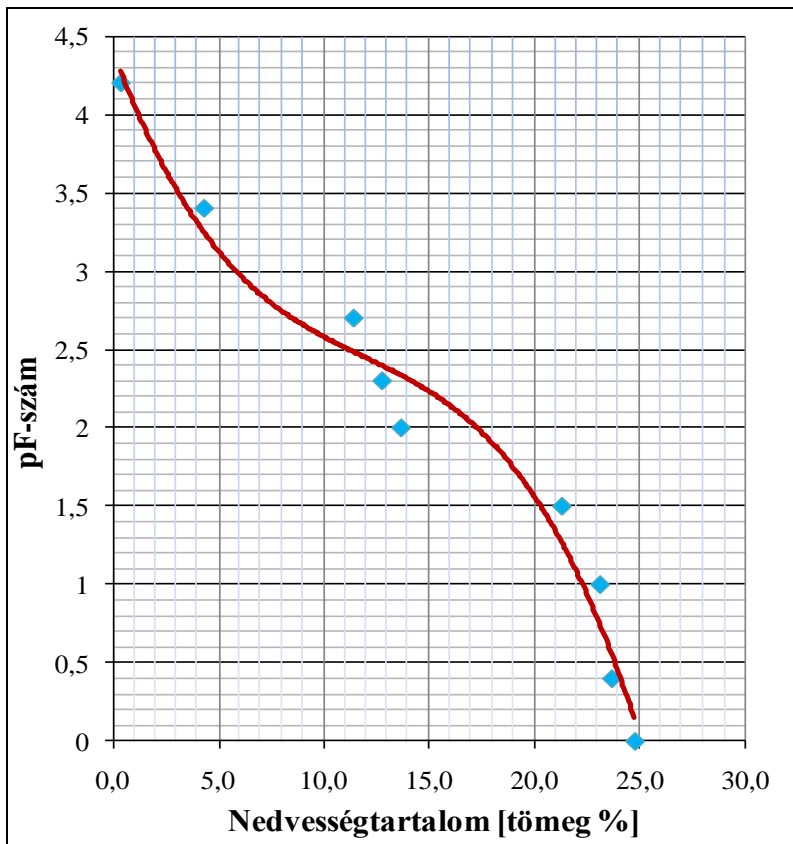
A táblázatban a jelölések értelmezése: 1,5J azt jelenti, hogy az adott talajállapotnál, az 1,5 bar abroncslégnyomáson történt mérésnél a vontatott jármű jobboldali nyomvonalában mértem. A többi jelölés értelmezése ezzel azonos.

A talajok víztartó képességére jellemző pF számot az MTA TAKI-ban határoztam meg. A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit a 4.5. táblázatban foglaltam össze, valamint a talaj nedvességtartalmának függvényében ábrázoltam a pF-számot, amely a 4.1. ábrán látható.

4.5. táblázat. Talaj nedvességtartalmához tartozó pF-számok.

<b>Mérésszám</b>	<b>Nedvességtartalom [tömeg%]</b>	<b>pF-szám</b>
1	24,75	0,0
2	23,65	0,4
3	23,09	1,0
4	21,29	1,5
5	13,66	2,0
6	12,76	2,3
7	11,41	2,7
8	4,33	3,4
9	0,39	4,2

## 4. Eredmények



4.1. ábra. A kísérleti helyszínen vett talajminták pF-száma.

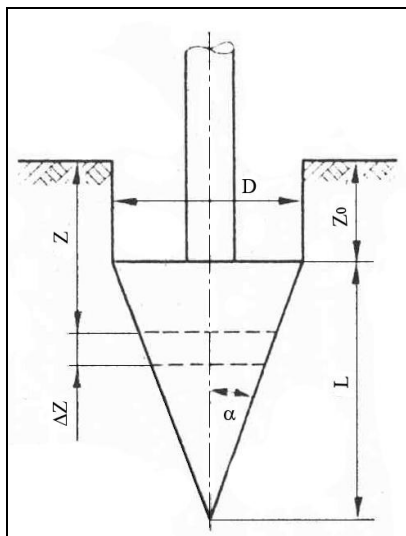
#### 4.1.2. Kúpos index mérések eredménye

A talaj hordképességének vizsgálati módszerét a 3. fejezetben ismertettem. A méréseket minden talajállapoton, és minden mérőszakaszon elvégeztem a vontatott jármű jobb és bal nyomvonalán.

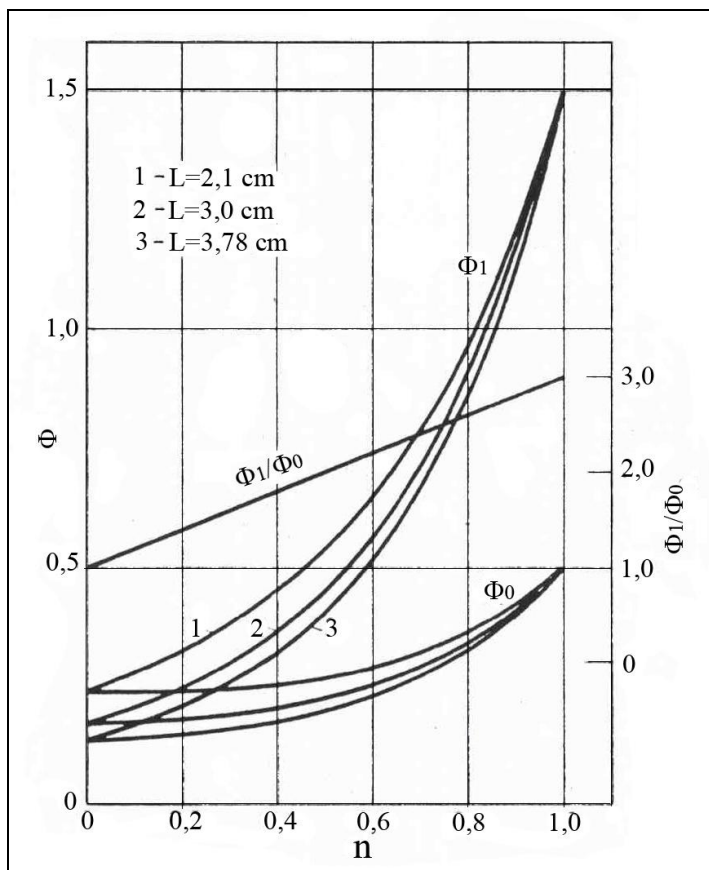
A mérések során kapott folytonos görbékből meghatároztam a terhelési görbék kitevőjét, mely jól jellemzi az adott talaj hordképességét. A gördülési ellenállási tényező meghatározásánál bemeneti paraméterként használok fel a kitevőt, melyet a 4.2. és 4.3. ábrák felhasználásával, valamint a (4.1.) és (4.2.) összefüggések segítségével határoztam meg.

A 4.2. ábra a penetrométer fej geometriai kialakítását mutatja a jelölésekkel együtt. A szabványos méreteket a 3.2.2. fejezetben ismertettem. A 4.3. ábra a kúpos index átszámításához szükséges tényezőket és azok kapcsolatát szemlélteti.

## 4. Eredmények



4.2. ábra. A kúpos penetrométer fej geometriai kialakítása (SITKEI 1986).



4.3. ábra. A kúpos index átszámításához szükséges tényezők (SITKEI 1986).

## 4. Eredmények

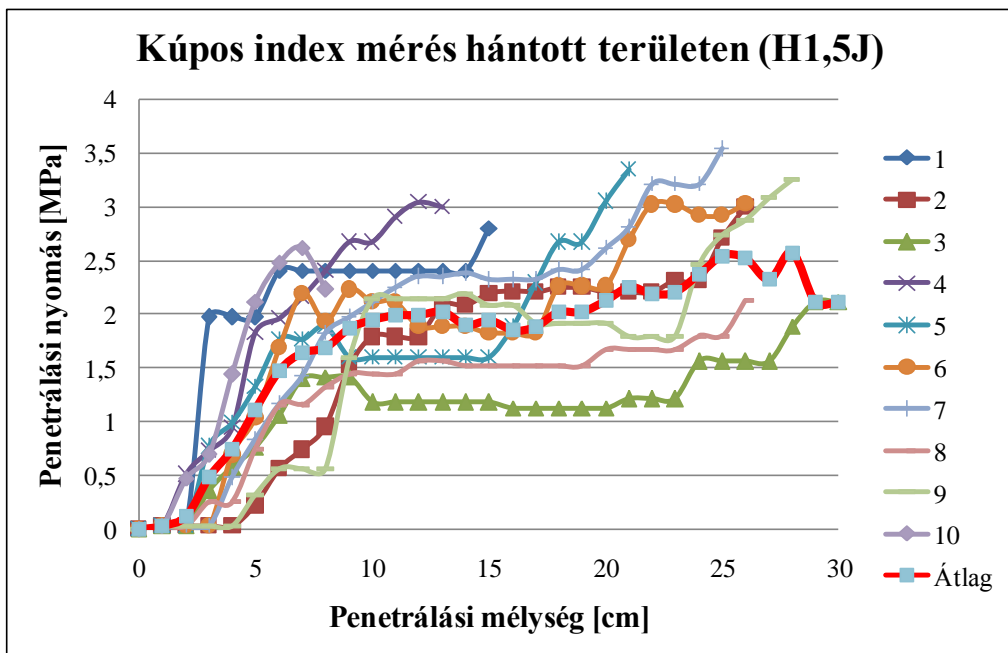
$$\frac{CI_{z_0=L}}{CI_{z_0=0}} = \frac{\Phi_1}{\Phi_0} \quad [-], \quad (4.1.)$$

$$n = \frac{\frac{\Phi_1}{\Phi_0} - 1}{2} = \frac{\frac{CI_{z_0=L}}{CI_{z_0=0}} - 1}{2} \quad [-]. \quad (4.2.)$$

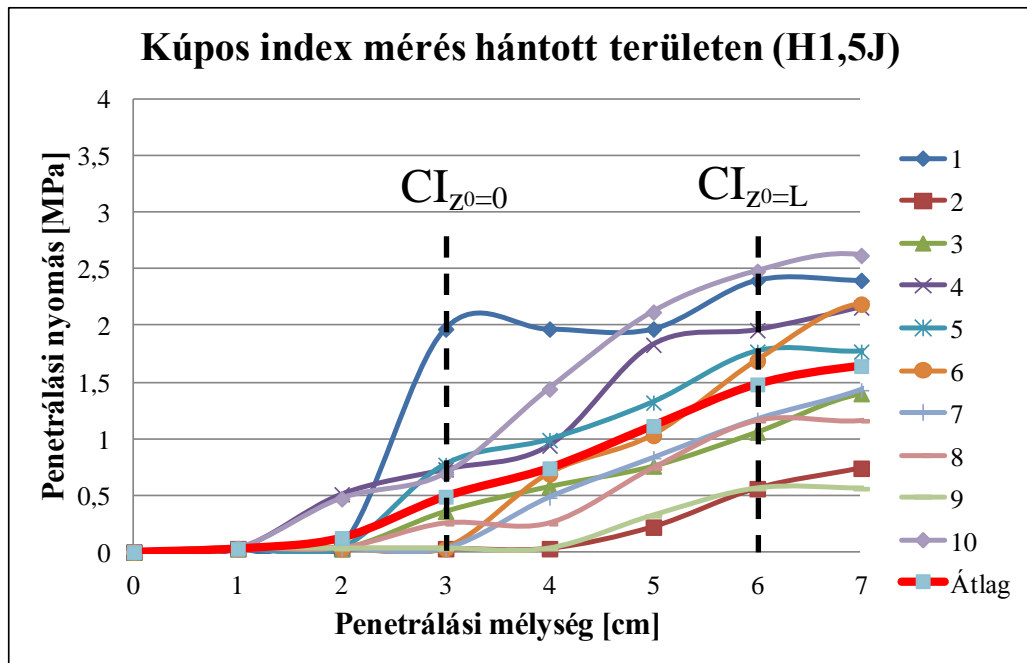
A képletben  $\Phi_0$  és  $\Phi_1$  a kúpos index átszámításához szükséges integrál értékei,  $n$  a keresett terhelési görbe kitevője,  $L$  a penetrométer fej hossza,  $z_0$  a penetrométer fej és a talajfelszín közötti távolság a 4.2. ábra alapján.

Az általam használt penetrométer fej hossza  $L = 3$  cm,  $z_0=0$  megfelel 3 cm-nek,  $z_0=L$  megfelel 6 cm-nek, ennek értelmében  $CI_{z_0=0} = CI_3$  és  $CI_{z_0=L} = CI_6$ .

A 4.4. ábra a hántott területen, 1,5 bar abroncslégnymás beállításához tartozó mérőszakaszon, a jobb nyomvonalon történt mérést mutatja. A 4.5. ábra ugyan ehhez a beállításához tartozó mérési eredmények kinagyított képét szemlélteti. Az ábra felnagyítását a terhelési görbe „n” kitevőjének meghatározása érdekében végeztem el. A diagramokon a piros görbe jelzi a 10 mérés átlagértékét. Az ábrák szerkesztéséhez szolgáló alapadatokat a 3. mellékelt 3. pontjában közlöm. Az eredmények feldolgozása és értékelése a többi beállításnál is hasonló volt.



4.4. ábra. Hántott területen, 1,5 bar abroncslégnymáshoz tartozó mérőszakaszon, a jobb nyomvonalon végzett kúpos index vizsgálatok eredménye.



4.5. ábra. A 4.2. ábra kinagyítása a teherbírasi görbe „n” kitevőjének meghatározásához.

Baleset következtében terepre lefutó jármű esetén, a szakértőknek meg kell vizsgálniuk az adott talaj fizika-mechanikai tulajdonságait. Ehhez nélkülözhetetlen a kúpos index értékek meghatározása. A kúpos index mérések után meg kell határozni a terhelési görbék kitevőjét, amit a (4.2.) összefüggés segítségével egyszerűen meg lehet tenni. A terhelési görbe kitevője fontos a gördülési ellenállási tényező meghatározásánál, melyet később ismertetek.

A 4.6. táblázatban összefoglaltam minden talajállapothoz tartozó  $CI_3$  és  $CI_6$  kúpos index értéket. A vizsgálatokat a beállított négy abroncsnyomáshoz kijelölt mérési szakaszokon, a vontatott jármű nyomvonalában, a jármű előtt, jobb és bal oldalon is elvégeztem, ezek eredményei láthatóak a táblázatban.

A 4.7. táblázatban összefoglaltam az egyes mérési területeken kapott besüllyedés értékeket, a  $CI_3$  és  $CI_6$  értékeit, ezek hányadosát a (4.1.) összefüggés értelmében, valamint a meghatározott „n” kitevőt.

A 4.6. ábrán két jellemző kúpos index görbe látható, illetve a hozzájuk tartozó „n” kitevő értéke. Az ábrán nem konkrét adatokból szerkesztett görbék láthatóak, a görbék jellege ad tájékoztatást a keresett „n” kitevőről. Az igazságügyi szakértők számára gyors azonosítást és becslést tesz lehetővé a diagram. A helyszíni kúpos index mérések eredményeiből a penetrálási nyomás értékek ábrázolhatóak a penetrálási mélység függvényében. Az így kapott görbe jellege alapján jó közelítéssel megadható az „n” kitevő értéke.

## 4. Eredmények

4.6. táblázat. Kúpos index mérések értékelése a teherbírási görbék „n” kitevőjének meghatározásához.

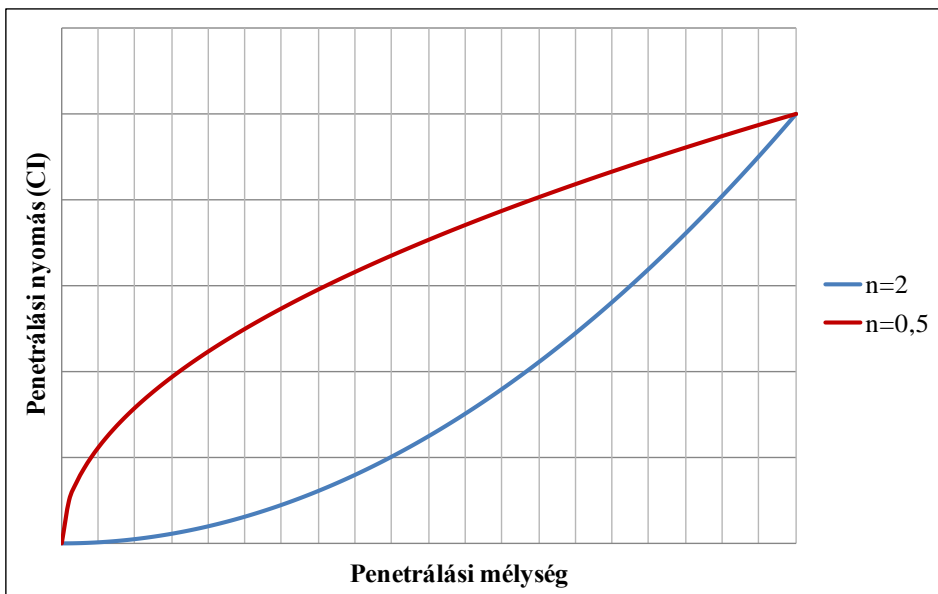
	<b>P<sub>abr</sub></b> <b>[bar]</b>	<b>oldal</b>	<b>CI<sub>3</sub></b> <b>[MPa]</b>	<b>CI<sub>6</sub></b> <b>[MPa]</b>	
<b>Tarló</b>	1,5	bal	0,305	0,610	
		jobb	0,250	0,540	
	1,8	bal	0,250	0,530	
		jobb	0,180	0,360	
	2,1	bal	0,150	0,390	
		jobb	0,130	0,410	
	2,4	bal	0,225	0,480	
		jobb	0,237	0,780	
	<b>átlag</b>			<b>0,216</b>	<b>0,513</b>
	<b>Hántott</b>	1,5	bal	0,490	1,150
jobb			0,240	1,030	
1,8		bal	0,210	0,910	
		jobb	0,212	0,950	
2,1		bal	0,220	0,854	
		jobb	0,214	0,827	
2,4		bal	0,181	0,930	
		jobb	0,196	1,140	
<b>átlag</b>			<b>0,245</b>	<b>0,974</b>	
<b>Kultivált</b>		1,5	bal	0,030	0,150
	jobb		0,030	0,130	
	1,8	bal	0,030	0,150	
		jobb	0,030	0,130	
	2,1	bal	0,030	0,139	
		jobb	0,030	0,130	
	2,4	bal	0,030	0,145	
		jobb	0,030	0,140	
	<b>átlag</b>			<b>0,030</b>	<b>0,139</b>



## 4. Eredmények

4.7. táblázat. Az „n” tényező meghatározása.

	$p_{abr}$ [bar]	$z$ [cm]	$CI_3$ [MPa]	$CI_6$ [MPa]	$CI_6/CI_3$ [-]	$n$ [-]
<b>Tarló</b>	1,5	1,30	0,216	0,513	2,30	<b>0,7</b>
	1,8	1,80				
	2,1	2,05				
	2,4	2,15				
<b>Hántott</b>	1,5	3,30	0,245	0,974	3,98	<b>1,5</b>
	1,8	3,43				
	2,1	4,55				
	2,4	4,70				
<b>Kultivált</b>	1,5	6,40	0,03	0,139	4,93	<b>1,8</b>
	1,8	6,80				
	2,1	7,10				
	2,4	7,30				



4.6. ábra. Jellemző kúpos index görbékhez tartozó „n” kitevő értékei.

**4.2. GAZ-69 makroakadály leküzdő képességének meghatározása**

A 4.7. és 4.8. ábrákon látható áthatolási, vagy VSE görbe megmutatja a GAZ 69 terepjármű általános makroakadály leküzdő képességét. A diagramot a jármű geometriai méreteiből határoztam meg a VSE 4.0 számítógépes program segítségével. A görbék megmutatják a lejtőszög függvényében a még

## 4. Eredmények

leküzdhető akadályok magasságát. Az alapadatok, valamint a számolt kritikus méretek a 4.8. táblázatban láthatóak.

4.8. táblázat. A VSE görbe meghatározásához szükséges adatok.

Alapadatok		Számolt adatok	Hosszirányú adatok	Keresztirányú adatok
Tengelytáv [m]	2,30	Első terepszög [°]	45	45
Hasmagasság [m]	0,31	Hátsó terepsz. [°]	35	35
Kerékszél. [m]	0,165	Krit. terepszög [°]	32	43
Nyomtáv [m]	1,44	$H_{huf}$ [m]	0,55	0,76
Szabad hasm. [m]	0,21	$H_{krit\ első}$ [m]	1,73	1,73
Kerék átmérő [m]	0,71	$H_{krit\ hátsó}$ [m]	1,38	1,38
Első terepszög [°]	45			
Hátsó terepsz. [°]	35			
Bal terepszög [°]	85			
Jobb terepszög [°]	85			

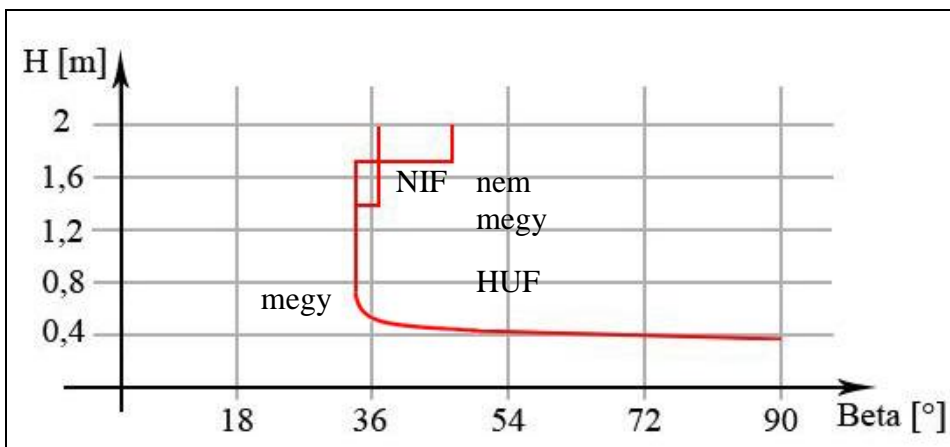
Jelölések értelmezése:

$H_{huf}$ : kritikus terepszöghöz tartozó, még áthatolható lépcsőmagasság.

$H_{krit\ első}$ : első konzolhoz tartozó kritikus magasság.

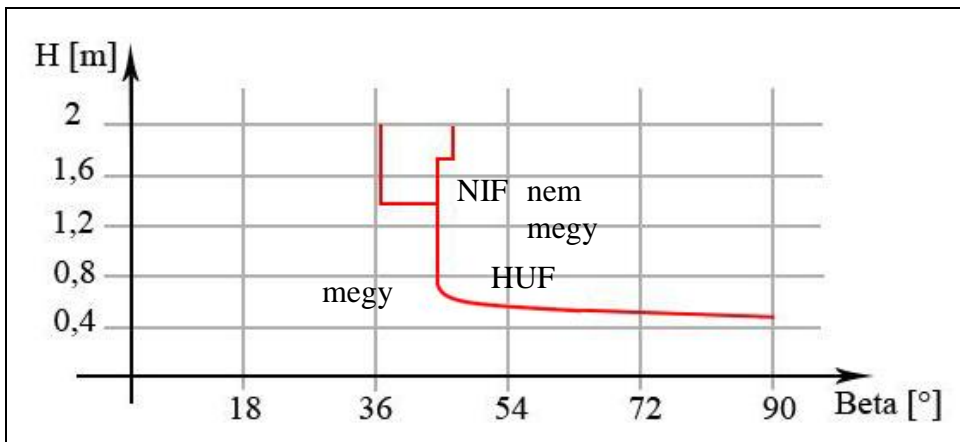
$H_{krit\ hátsó}$ : hátsó konzolhoz tartozó kritikus magasság.

A koordináta-tengelyek és a hozzájuk közelebb eső vonalak által határolt területbe eső akadályokon a jármű át tud haladni, ezen a területen kívül esőkön elakad. Az akadályleküzdő képesség annál jobb, minél magasabban van a járműre vonatkozó VSE görbe.



4.7. ábra. GAZ 69 terepjármű hosszirányú VSE görbéje.

## 4. Eredmények



4.8. ábra. GAZ 69 terepjármű keresztirányú VSE görbéje.

A jármű makroakadály-leküzdő képességét az OMN-szám (Obstacles Mobility Number), a Makroakadály Mobilitási Szám írja le, amely a HUF (Hang Up Failure) has-felütközés határgörbe, és a NIF (Nose In Failure) az első és hátsó konzol-akadály kapcsolatát leíró görbe alatti terület összegének nagyságát jelenti ( $OMN=HUF+NIF$ ). A területet integrálással határoztam meg, HUF esetében  $90^\circ$ , NIF esetében 2 méter volt az integrálási határ. Hossz- és keresztirányban is meghatároztam a minősítésre alkalmas OMN számot:

Keresztirányban:  $OMN = 95,2$

Hosszirányban:  $OMN = 88,6$

Minél nagyobb az OMN szám, annál jobb az adott jármű makroakadály-leküzdő képessége. A (3.3.) összefüggés értelmében, a terepre behatoló jármű mozgási energiájára hatással vannak a nagyobb méretű terepakadályok. Szélsőséges esetben hirtelen megállásra készíthetjük a járművet, így a megállás rövid idő alatt következik be. Ha ismerjük a jármű makroakadály-leküzdő képességét, utólagosan is megállapíthatjuk, hogy egy adott akadályon át tudott-e menni, vagy esetleg az akadály borulásra készítette a járművet.

Összehasonlításképpen a VSE 4.0 programmal meghatároztam három személyautó OMN számát, amelyek a következők:

**VW Transporter 1.9 PD TDI**

Keresztirányban:  $OMN = 55,3$

Hosszirányban:  $OMN = 49,5$

**Skoda Octavia Combi 1.6 MPI**

Keresztirányban:  $OMN = 35,2$

Hosszirányban:  $OMN = 37,2$

**Toyota Corolla 1.6**

Keresztirányban:  $OMN = 28,2$

Hosszirányban:  $OMN = 31,8$

## 4. Eredmények

**4.3. Gördülési ellenállási tényezők meghatározása**

A szabadföldi vontatási kísérletek során kapott adatokból meghatároztam minden talajtípuson és minden abroncslégnymóson a talaj gördülési ellenállási tényezőjét, melyet a 4.9. táblázatban szemléltetek. A táblázatban összefoglaltam a számított menetellenállásokat, valamint a mért vonóerőt, a beállított abroncsnyomás értékeket, illetve a területre jellemző meredekségeket is, amelyet a felvett profilgörbe meredekségéből határoztam meg.

A számítások során felhasznált állandók:

- $m = 1600 \text{ kg}$  jármű tömege vezetővel együtt
- $A = 2,923 \text{ m}^2$  jármű homloklapfelülete
- $c_w = 0,43$  légellenállási tényező
- $\rho_{\text{levegő}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$  levegő sűrűsége
- $v = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$  vontatási sebesség
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  gravitációs gyorsítás
- $F_{\text{lég}} = 6,3 \text{ N}$  légellenállás (állandó sebesség mellett)

A számításaimhoz a (3.4.) képletet használtam fel, melyből kihagytam az  $F_{gy}$  gyorsításhoz szükséges erőt, mivel a mérés állandó sebességgel történt, és az  $F_f$  fékező erőt, mivel a mérés során nem történt fékezés. Az így kapott egyszerűsített összefüggés (4.3.):

$$F_v = F_g + F_e + F_{\text{lég}} \text{ [N]}. \quad (4.3.)$$

Következő lépésben kifejeztem az  $F_g$  gördülési ellenállást (4.4.):

$$F_g = F_v - F_e - F_{\text{lég}} \text{ [N]}. \quad (4.4.)$$

Felhasználva a (3.8.) (3.10.) és (3.12.) összefüggéseket, a gördülési ellenállás ( $F_g$ ), valamint a gördülési ellenállási tényező ( $f_g$ ) felírható volt az alábbi módon (4.5.) (4.6.) (4.7.):

$$F_g = F_v - m \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho_{\text{levegő}} \cdot v^2 \text{ [N]}, \quad (4.5.)$$

$$m \cdot g \cdot f_g \cdot \cos \alpha = F_v - m \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho_{\text{levegő}} \cdot v^2 \text{ [N]}, \quad (4.6.)$$

$$f_g = \frac{F_v - m \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho_{\text{levegő}} \cdot v^2}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} \text{ [-]}. \quad (4.7.)$$

A gördülési ellenállási tényező ilyen formában csak akkor határozható meg, ha ismert a vonóerő. A vonóerőt a mérések során az erőmérő cellával mértem. A jármű tömegét talpmérlegek segítségével határoztam meg, továbbá a

## 4. Eredmények

légellenállás számításához szükséges alapadatok a 3.1. táblázat alapján rendelkezésemre álltak. Mivel a mérések állandó 10 km/h-s sebességgel történtek, a légellenállást állandó értéknek tekintettem, a 4.9. táblázatban külön nem szemléltettem, de a számítások során figyelembe vettem.

4.9. táblázat. A mért vonóerő, számolt ellenállások és a gördülési ellenállási tényezők összefoglalása.

	$p_{abr}$ [bar]	$F_v$ [N]	$\alpha$ [°]	$F_g$ [N]	$F_e$ [N]	$f_g$ [-]
Beton	1,5	604,7	-1	596,4	-273,9	<b>0,038</b>
	1,8	527,1	-1	518,0	-273,9	<b>0,033</b>
	2,1	481,2	-1	470,9	-273,9	<b>0,030</b>
	2,4	434,9	-1	423,8	-273,9	<b>0,027</b>
Tarló	1,5	1237,5	0,92	941,6	252,0	<b>0,060</b>
	1,8	1607,3	1,10	1255,4	301,3	<b>0,080</b>
	2,1	1860,3	1,17	1490,8	320,5	<b>0,095</b>
	2,4	1944,6	0,90	1647,9	246,5	<b>0,105</b>
Hántott	1,5	1435,3	1,13	1098,5	309,5	<b>0,070</b>
	1,8	1629,8	0,91	1334,0	249,3	<b>0,085</b>
	2,1	2105,2	1,22	1726,2	334,2	<b>0,110</b>
	2,4	2308,5	1,07	1961,7	293,1	<b>0,125</b>
Kultivált	1,5	2120,6	1,21	1647,7	331,4	<b>0,105</b>
	1,8	2459,2	1,29	1961,5	353,4	<b>0,125</b>
	2,1	2665,4	1,22	2196,9	334,2	<b>0,140</b>
	2,4	2879,2	1,11	2432,4	304,1	<b>0,155</b>

Baleset során csak a terepen hagyott nyomok, terep- és járműjellemzők ismertek, a vonóerő nem. A (4.7.) képlet tehát nem használható abban az esetben, ha a terepre behatoló jármű sebességét akarom felírni, mivel az  $F_g$  gördülési ellenállást nem tudom kifejezni az ellenállási tényező hiányában.

A terepre behatoló jármű pályaelhagyási sebességének meghatározásához szükséges a gördülési ellenállási tényező ismerete, amelyet célszerű könnyen meghatározható paraméterek segítségével felírni. A terep- és járműjellemzők felhasználásával felírt gördülési ellenállási tényező meghatározásához felhasználtam a LAIB (2002) által közölt, egy kerékre vonatkozó gördülési ellenállás (4.8.) és gördülési ellenállási tényező (4.9.) számítását:

$$F'_g = \frac{B \cdot p_{talaj} \cdot z}{n + 1} \text{ [N]}, \quad (4.8.)$$

$$f'_g = \frac{F'_g}{Q} = \frac{B \cdot p_{talaj} \cdot z}{(n + 1) \cdot Q} = \frac{B \cdot z}{(n + 1) \cdot A_{abr}} \text{ [-]}, \quad (4.9.)$$

## 4. Eredmények

ahol:

- $f_g'$  gördülési ellenállási tényező egy kerék esetén [-]
- $F_g'$  gördülési ellenállás egy kerék esetén [N]
- $Q$  kerékterhelés [N]
- $z$  talajdeformáció (kerékbesüllyedés) [m]
- $B$  gumiabroncs szélessége [m]
- $p_{\text{talaj}}$  talajnyomás [Pa]
- $A_{\text{abr}}$  gumiabroncs felfekvési felülete [m<sup>2</sup>]
- $n$  terhelési görbe kitevője [-]

A (3.1.), (3.2.) és (3.13.) összefüggést felhasználva és átrendezve, a felfekvési felület megkapható diagonál és radiál abroncsokra. Diagonál abroncs esetén, a felfekvési felületet az alábbi (4.10.) egyenlet írja le:

$$A_{\text{abr(D)}} = \frac{Q}{10 \cdot p_{\text{abr}} \cdot \left[ 1,2 - 1,2 \cdot \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right]} \text{ [cm}^2\text{]}. \quad (4.10.)$$

Radiál abroncsoknál, az alábbi (4.11.) összefüggés használható:

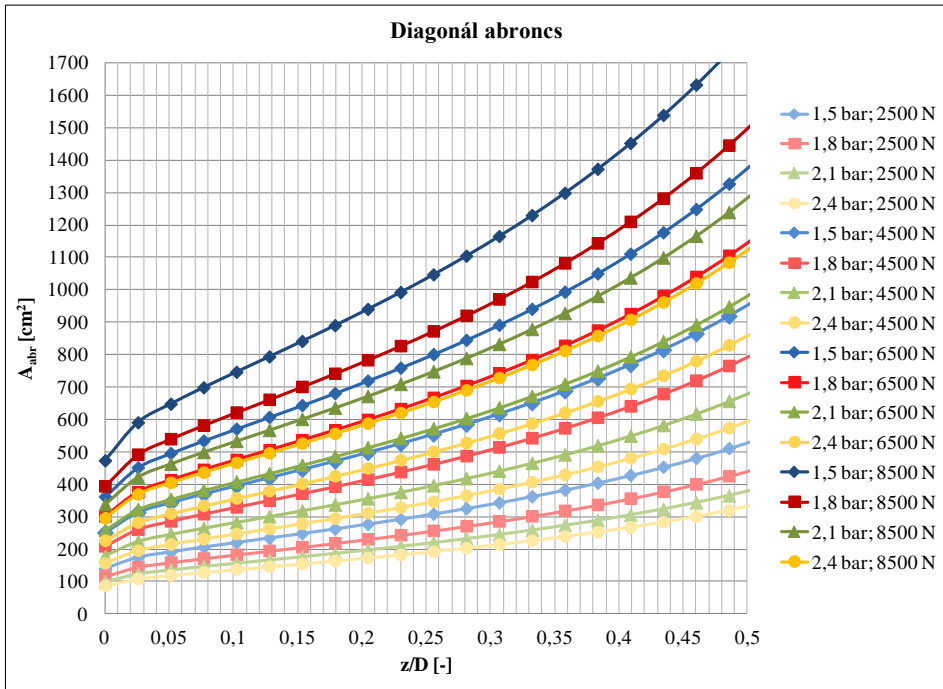
$$A_{\text{abr(R)}} = \frac{Q}{10 \cdot p_{\text{abr}} \cdot \left[ 0,75 - 0,75 \cdot \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right]} \text{ [cm}^2\text{]}. \quad (4.11.)$$

Ahol  $Q$  az egy kerékre eső terhelés [N],  $p_{\text{abr}}$  a gumiabroncs belső légnyomása [bar],  $z/D$  a relatív kerékbesüllyedés [-].

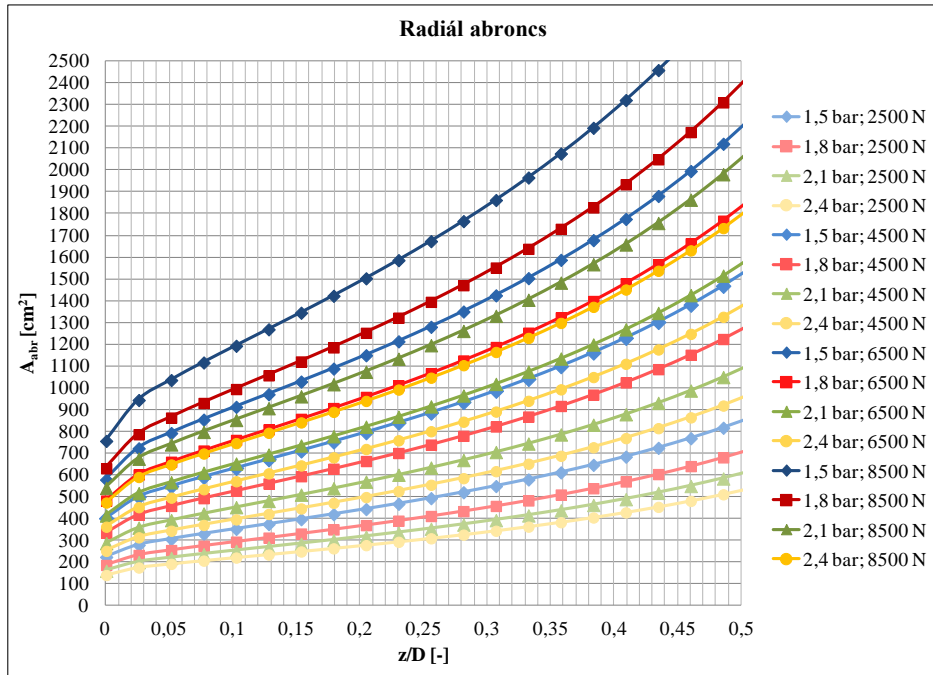
A (4.10.) és (4.11.) összefüggések felhasználásával nomogramokat készítettem (4.9. és 4.10. ábra), annak érdekében, hogy az igazságügyi szakértők, a relatív besüllyedés, az abroncs belső légnyomása és a kerékterhelés ismeretében, gyorsan és egyszerűen meg tudják állapítani az adott gumiabroncs felfekvési felület nagyságát, amely fontos bemenő paraméter a pályaelhagyási sebesség meghatározása során. A számítások részletes eredményeit a 3. melléklet 4. pontjában ismertetem.

A 4.9. és 4.10. ábrákon az azonos abroncs légnyomásokhoz tartozó görbéket azonos színnel, de eltérő telítettséggel jelöltem, így az eltérő kerékterhelések hatása jól megfigyelhető a görbék alakján. A nomogramok készítése során négy abroncs légnyomást (1,5-1,8-2,1-2,4 bar) és négy kerékterhelést vettem figyelembe:  $Q_1 = 2500$  N,  $Q_2 = 4500$  N,  $Q_3 = 6500$  N,  $Q_4 = 8500$  N.

## 4. Eredmények



4.9. ábra. Felfekvési felület a relatív besüllyedés függvényében, diagonál abroncsok esetén.



4.10. ábra. Felfekvési felület a relatív besüllyedés függvényében, radiál abroncsok esetén.

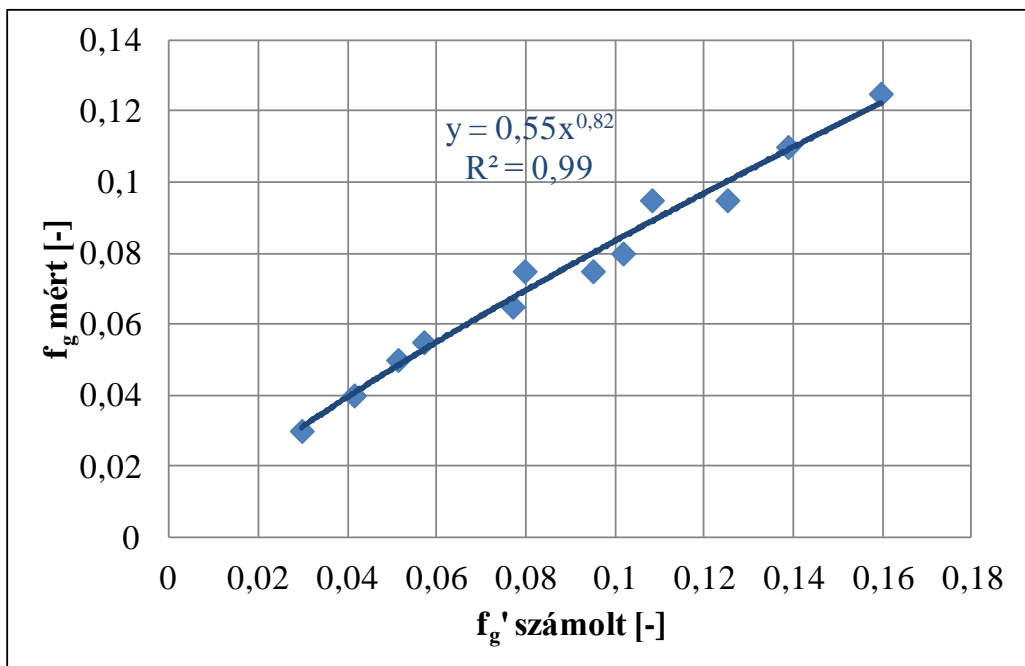
## 4. Eredmények

A méréseim során meghatározott, és a 4.9. táblázatban közölt gördülési ellenállási tényezők nyomon járás, és négy gumibroncs esetére vonatkoznak.

A (4.9.) összefüggés egy kerékre vonatkozik, a sebesség meghatározására felírt modellhez nem használható. Szükséges annak vizsgálata, hogy a nyomon járás során mért gördülési ellenállási tényezők, milyen függvénykapcsolatban állnak az egy kerékre vonatkozó, gördülési ellenállási tényezőkkel. Ennek érdekében a (4.9.) képlet segítségével meghatároztam minden mérési sorozathoz az  $f_g'$  értéket. Ehhez felhasználtam a 4.7. táblázatban közölt adatokat.

Annak érdekében, hogy a terep okozta ellenállást vizsgáljam, kivontam mind a két gördülési ellenállási tényezőtől a gumibroncs deformáció okozta ellenállást, melyet a betonon történt mérés alapján határoztam meg. Ezt az értéket ( $f_{g(def)}=0,03$ ) később hozzáadom a kapcsolatot leíró függvényhez, mivel ez egy állandó érték.

A négy kerékre vonatkozó gördülési ellenállási tényezők és az egy kerékre számolt gördülési ellenállási tényezők függvénykapcsolatát a 4.11. ábra szemlélteti. Az ábrán látható, hogy a pontokra illeszkedő hatványfüggvény  $R^2=0,99$  értéket ért el.



4.11. ábra. A szabadföldi kísérletek eredményeiből kapott gördülési ellenállási tényezők, az egy kerékre vonatkozó gördülési ellenállási tényezők függvényében, a gumibroncs deformáció okozta ellenállás nélkül.



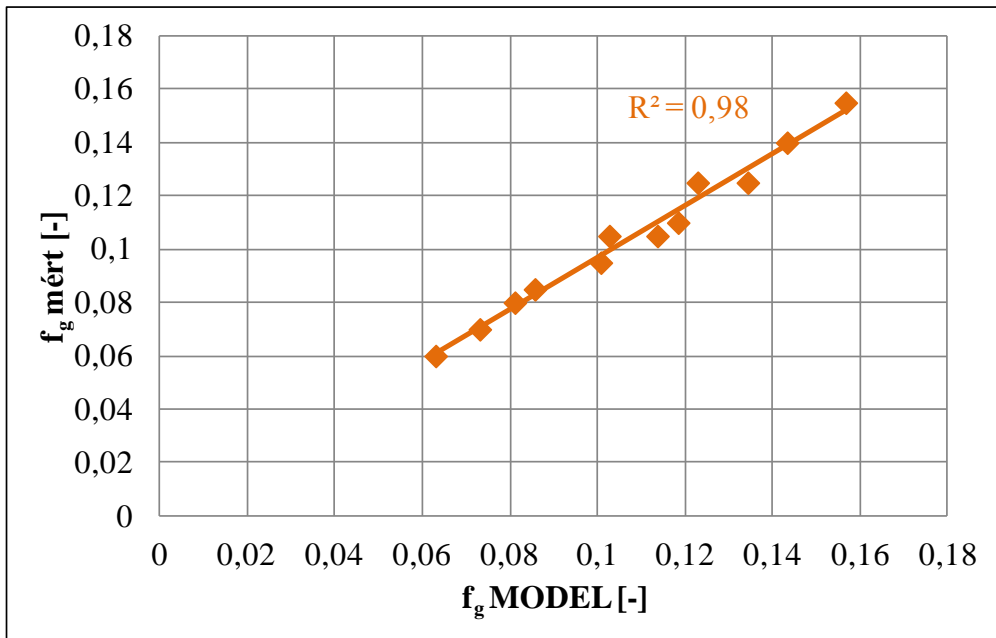
## 4. Eredmények

A görbét leíró hatványfüggvény egyenlete segítségével felírható a négy kerék és nyomon járás esetére vonatkozó gördülési ellenállási tényező meghatározása (4.12.):

$$f_g = 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot z}{(n+1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \quad [-]. \quad (4.12.)$$

Az egyenletet ellenőriztem, hogy valóban jó eredményeket kapok, ha felhasználom későbbi számításaimhoz. A (4.12.) képlet segítségével gördülési ellenállási tényezőket határoztam meg, melyeket a szabadföldi mérések során meghatározott gördülési ellenállási tényezők függvényében ábrázoltam a 4.12. ábrán. A számítások során a gumiabroncs deformáció okozta ellenállást állandó értéként figyelembe vettem. Az ábrán látható, hogy a (4.12.) egyenletet felhasználva a mérésekből kapott és a modellezett tényezők között a korreláció  $R^2=0,98$ , így a képlet jól használható.

A „z” magában foglalja a jármű súlyából adódó normálterhelést (MEIRION-GRIFFITH és SPENKO, 2011, 2013), így a képletben külön nem vettem figyelembe ezt a paramétert. A járműre jellemző paraméterek a kerékszélesség (B) és gumiabroncs felfekvési felület ( $A_{abr}$ ), a deformáció mélysége (z) pedig a terepre, az „n” pedig az adott talajra jellemző paraméter. A „z” közvetve jellemzi a járművet is, hiszen annak súlya befolyásolta a besüllyedés mértékét (MEIRION-GRIFFITH és SPENKO, 2011, 2013).



4.12. ábra. A szabadföldi mérések során meghatározott és a (4.12.) egyenlet felhasználásával számolt gördülési ellenállási tényezők kapcsolata.

## 4. Eredmények

**4.4. A túrás jelenségének vizsgálata**

Ha a fékezés laza szerkezetű talajon történik, ahol a növényborítottság elhanyagolható, nagy eséllyel alakul ki a túrás jelensége. Ennek hatására a jármű mozgási energiája jelentősen lecsökken, ezzel nagy lassulásértéket eredményezve. A jármű a szabad kifutásos balesetnél mért fékútnál rövidebb úton áll meg, a kerekek, valamint a karosszéria feltúrja a talajt, majd megáll. A túrás jelenségének vizsgálatához szabadföldi méréseket végeztem a 3.5.3. fejezetben leírtak szerint.

A túrás jelenség során a túrási ellenállási tényezőt ( $f_t$ ) kell figyelembe venni, amely a gördülési ellenállási tényező ( $f_g$ ) értelmezésével azonos, annak egy speciális fajtája, abból származtatott tényező.

Túrás esetén a jármű mozgásegyenlete felírható az alábbi általános módon:

$$F_v = F_t + F_e \text{ [N]}, \quad (4.13.)$$

ahol:

- $F_v$  a vonóerő [N]
- $F_t$  túrási ellenállás [N]
- $F_e$  emelkedési ellenállás [N]

Felhasználva a (3.10.) és (3.11) összefüggéseket, a vonóerő az alábbi módon írható fel:

$$F_v = f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha \pm m \cdot g \cdot \sin\alpha \text{ [N]}. \quad (4.14.)$$

Amennyiben ismert a vonóerő nagysága, a túrási ellenállási tényező kifejezhető a képletből:

$$f_t = \frac{F_v \mp m \cdot g \cdot \sin\alpha}{m \cdot g \cdot \cos\alpha} \text{ [-]}. \quad (4.15.)$$

A terepre beható és túrást előidéző jármű pályaelhagyási sebességének meghatározásához szükséges a túrási ellenállási tényező ismerete, amelyet az igazságügyi szakértők számára könnyen meghatározható paraméterek segítségével szükséges felírni. A terep- és járműjellemzők felhasználásával felírt túrási ellenállási tényező meghatározásához felhasználtam a (4.12.) összefüggést, amelyben figyelembe vettem a feltúrt földmennyiség magasságát is.

A 4.10-es táblázatban a keréktúrás vizsgálata során a beállított és mért, valamint a mérési eredményekből számolt jellemzőket mutatom be. A beállított és mért jellemzők: abroncs légnyomása  $p_{abr}=2,1$  bar és a gumibroncs szélessége  $B=16,5$  cm állandó paraméterek voltak, ezeket a táblázatban nem közöltem;  $n$ =teherbírási görbe kitevője;  $A_{abr}$ =abroncs felfekvési felülete;

## 4. Eredmények

$v$ =sebesség;  $F_{vmax}$ =maximális vonóerő;  $z$ =kerékbesüllyedés;  $h$ =feltúrt földmennyiség magassága;  $H=z$  és  $h$  összege. A mérési eredményekből a (4.15.) összefüggés alapján számoltam a túrasi ellenállási tényezőt ( $f_t$ ), valamint a (4.16.) képlet felhasználásával meghatároztam a gördülési ellenállási tényezőket ( $f_g$ ).

$$f_g = 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot H}{(n+1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \quad [-]. \quad (4.16.)$$

A gördülési ellenállási tényező számítása során a (4.12.) összefüggést vettem alapul, de a „ $z$ ” besüllyedés helyére a „ $H$ ” értéket helyeztem. Amennyiben nincs túrás, azaz nincs feltúrt földmennyiség, a „ $H$ ” értéke megegyezik a „ $z$ ” értékével. Előfordulhat, hogy a jármű szakaszosan fékezik, így áthaladhat a feltúrt földmennyiségen. Ebben az esetben ismert a besüllyedés mértéke, illetve a keréknyom mellett feltúrt földmennyiség magassága. Ezek figyelembevételével, jó közelítéssel számolható az adott szakaszra a túrasi ellenállási tényező.

A tarlón történt mérés során a túrasi ellenállási tényező, bár megközelítette, nem érte el az 1,00 értéket. Ennek oka az volt, hogy a talajfelszín növényzet borította, amely csökkentette a túrás kialakulásának lehetőségét, és elősegítette a fékezett kerekek csúszását.

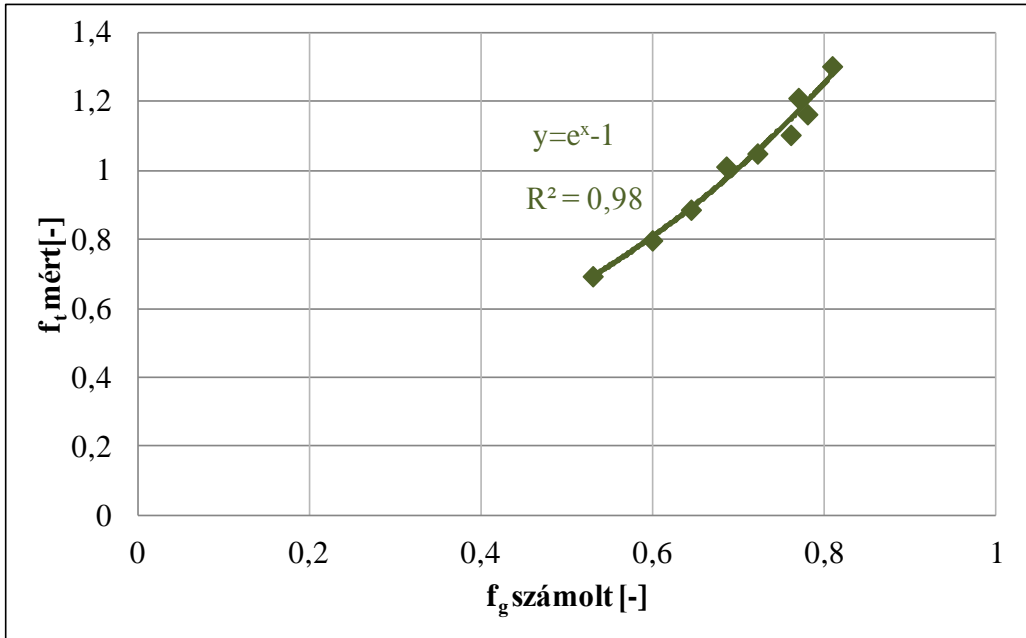
4.10. táblázat. A mért túrasi ellenállási tényezők.

	<b>n</b> [-]	<b>A<sub>abr</sub></b> [cm <sup>2</sup> ]	<b>v</b> [km/h]	<b>F<sub>vmax</sub></b> [kN]	<b>z</b> [cm]	<b>h</b> [cm]	<b>H</b> [cm]	<b>f<sub>t</sub> mért</b> [-]	<b>f<sub>g</sub> számolt</b> [-]
Tarló	0,7	186	10	12,78	9	11	20	0,798	0,599
			15	14,21	10	12	22	0,887	0,644
			20	11,17	7	10	17	0,694	0,530
Hántott	1,5	228	10	16,31	13	30	43	1,012	0,685
			15	16,76	14	32	46	1,050	0,722
			20	19,28	16	34	50	1,211	0,769
Kultivált	1,8	248	10	20,73	20	45	65	1,303	0,809
			15	17,61	19	41	60	1,092	0,760
			20	18,54	22	40	62	1,164	0,780

A sebesség változása nem befolyásolta a túrasi tényező nagyságát, viszont a kialakult talajdeformáció (kerékbesüllyedés), és a feltúrt talajmennyiség hatással volt a tényező változására.

## 4. Eredmények

4.10-es táblázatban közölt túrasi ellenállási tényezőt a gördülési ellenállási tényező függvényében ábrázoltam a 4.13. ábrán.



4.13. ábra. A szabadföldi mérések eredményeiből számolt túrasi ellenállási tényezők vizsgálata a számolt gördülési ellenállási tényezők függvényében.

Az ábrán látható, hogy a pontokra illesztett görbét exponenciálisfüggvény írja le  $R^2=0,98$  korrelációval, ami igen kedvező. A görbe egyenletét pontosítva felírtam a túrasi ellenállási tényező ( $f_t$ ) meghatározását a (4.16.) összefüggés szerinti gördülési ellenállási tényező felhasználásával:

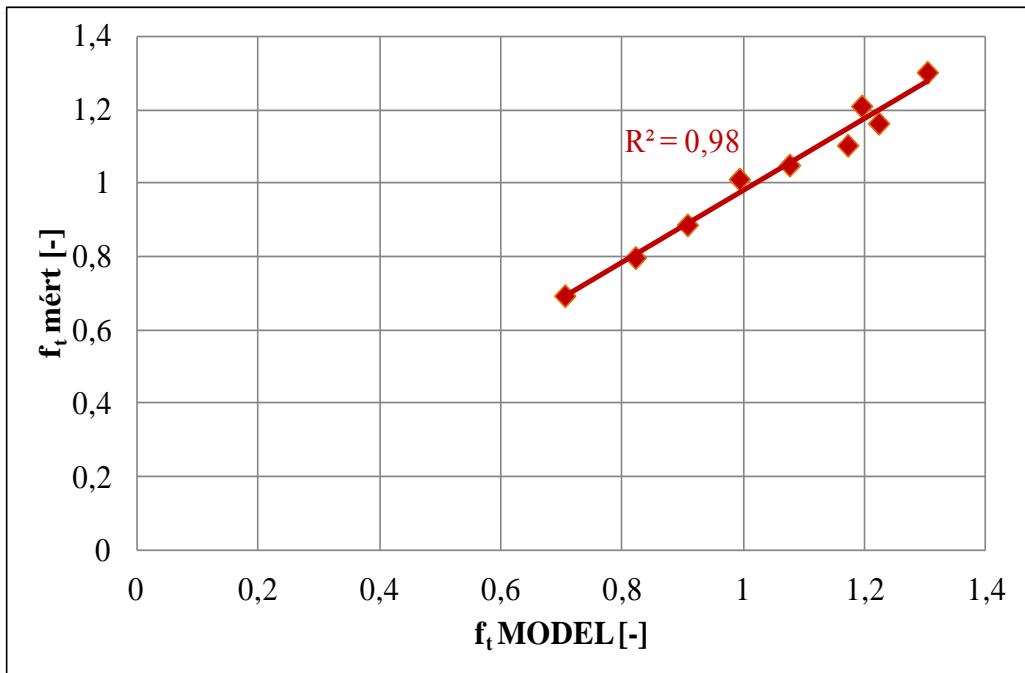
$$f_t = \exp(f_g) - 1 = \exp \left[ 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot H}{(n + 1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \right] - 1 [-]. \quad (4.17.)$$

Az exponenciális függvényt úgy ellenőriztem, hogy felhasználásával túrasi ellenállási tényezőket számoltam, és megvizsgáltam, hogy a módosítás után elfogadható maradt-e a kapcsolat a mérésekből meghatározott, és a képletből számolt tényezők között.

Az ellenőrzést a 4.14. ábrán szemléltetem, ahol látszik, hogy a (4.17.) egyenlettel számolt és a szabadföldi mérések során meghatározott tényező között a korreláció kielégítően magas,  $R^2=0,98$ .

## 4. Eredmények

Amennyiben a terepre behatoló jármű a kerekein nem tisztán gördül, hanem túrást idéz elő, a sebesség meghatározásához ismerni kell a túrási ellenállási tényezőt.



4.14. ábra. A szabadföldi mérések során meghatározott és a (4.17.) egyenlet felhasználásával számolt túrási ellenállási tényezők kapcsolata.

Fontos, hogy az igazságügyi szakértők talajra és járműre vonatkozó alapadatok segítségével ezt meg tudják határozni. A (4.17.) összefüggés segítségével, jó közelítéssel meghatározható a tényező.

Lassuláskor súlyáthelyeződés van az első tengelyre, amely növelheti a túrás lehetőségét, mivel ebben az esetben a felfekvési felület nagysága is változik. Nagyobb érintkezési felület hatására a túrási ellenállási tényező nagysága is változhat, ezt az igazságügyi szakértőnek figyelembe kell venni, és szükség esetén növelni a tényező értékét.

Amennyiben a jármű ABS-szel rendelkezik, ez a módszer nem alkalmas a sebesség meghatározására.

## 4. Eredmények

### 4.5. Terepre behatoló jármű sebességének meghatározása

Feltételezem, hogy balesetnél az épített út elhagyása után a jármű terepre hatol be. A javaslatom szerint a számítás célja a mozgási energiával rendelkező, terepen haladó jármű  $\Delta v$  sebességváltozásának meghatározása, amely megfelel a  $v_{\text{behatolási}}$  sebességnek.

A modell bemenő, illetve kijövő adatait, valamint a felhasznált összefüggéseket a következő alfejezetekben ismertetem.

#### 4.5.1. A modell input adatai

A modell bemenő adatai megoszlanak járműre és terepre vonatkozó input adatokra.

*A járműre vonatkozó input adatok:*

- $m$  jármű tömege [kg]
- $B$  gumibroncs szélessége [m]
- $D$  abroncs átmérője [m]
- $Q$  egy kerékre eső terhelés [N]
- $A_{\text{abr}}$  gumibroncs felfekvési felülete [ $\text{m}^2$ ]
- $p_{\text{abr}}$  abroncslégnyomás [Pa]
- $L_t$  tengelytáv [m]
- $f_{\text{mf}}$  motorfék ellenállási tényezője [-] (EMÓD (2009) és ILOSVAI (2010) alapján)
- $f_h$  hajtáslánc ellenállási tényezője [-] (ILOSVAI (2010) alapján)

*A terepre vonatkozó input adatok:*

- $CI_{z_0=0}$  kúpos index  $z_0=0$  mélységben [MPa]
- $CI_{z_0=L}$  kúpos index  $z_0=L$  mélységben [MPa]
- $n$  teherbírási görbe kitevője [-]
- $\alpha$  lejtőszög [ $^\circ$ ]
- $z$  talajdeformáció, kerékbesüllyedés [m]
- $h$  a talajszinttől számított, feltúrt földmennyiség magassága [m]
- $H$  a  $z$  és  $h$  összege [m]
- $s$  fékút-, ill. kifutás hossza [m]
- $f_g$  gördülési ellenállási tényező [-]
- $f_{\text{cs}}$  oldalt csúszó kerék ellenállási tényezője [-]
- $f_t$  túrási ellenállási tényező [-]

Amennyiben a baleset után a jármű üresben gurul, a túrásra vonatkozó bemeneti paramétereket nem kell figyelembe venni. Ez fordítva is igaz, valamint a motorféket is csak akkor kell felhasználni, ha sebességben volt a jármű.

## 4. Eredmények

## 4.5.2. A modell output adata

Folytonos vagy szakaszosan hagyott járműnyomok ismeretében, valamint gördülést feltételezve, a terepre behatoló jármű pályaelhagyási sebessége az alábbi módon írható fel a (3.7.) összefüggés alapján:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} (F_{g_i} + F_{e_i} + F_{mf_i} + F_{h_i}) \cdot ds + E_{i \text{ perdület}} \right)}{m}} \quad [\text{m/s}]. \quad (4.19.)$$

A (4.19.) képletben figyelembe vettem a függőleges tengely körüli elfordulás esetét is. Egyszerűsítve az alábbi formában írható fel:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} [g \cdot (\cos \alpha \cdot f_g \pm \sin \alpha + f_{mf} + f_h)] \cdot ds + L_t \cdot \pi \cdot g \cdot f_{cs} \right)} \quad [\text{m/s}]. \quad (4.20.)$$

Amennyiben a jármű a kerekein nem tisztán gördül, hanem túrást idéz elő, a (4.19.) képletben helyettesíteni kell a gördülési ellenállást a túrási ellenállással. Lassuláskor súlyáthelyeződés van az első tengelyre, ami a túrást növelheti. Ebben az esetben a tengely körüli elfordulás esete elhagyható:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} (F_{t_i} + F_{e_i} + F_{mf_i} + F_{h_i}) \cdot ds \right)}{m}} \quad [\text{m/s}]. \quad (4.21.)$$

A (4.21.) képlet egyszerűsítve az alábbi módon írható fel:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} [g \cdot (\cos \alpha \cdot f_t \pm \sin \alpha + f_{mf} + f_h)] \cdot ds \right)} \quad [\text{m/s}]. \quad (4.22.)$$

A számítás során a következő paraméterek is kiszámításra kerülnek:

- $f_g$  gördülési ellenállási tényező [-]
- $A_{\text{abr}}$  gumiabroncs felfekvési felülete [ $\text{m}^2$ ]
- $f_t$  túrási ellenállási tényező [-]
- $F_t$  túrási ellenállás erőszükséglete [N]
- $F_g$  gördülési ellenállás erőszükséglete [N]
- $F_e$  emelkedési ellenállás erőszükséglete [N]
- $F_f$  fékezés okozta ellenállás [N]
- $E_{i \text{ perdület}}$  egy teljes perdület energiája [J]

## 4. Eredmények

**4.5.3. A számítás során felhasznált összefüggések**

A gördülési ellenállás (3.8.):

$$F_g = f_g \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \text{ [N]}.$$

A gördülési ellenállási tényező (4.12.):

$$f_g = 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot z}{(n + 1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \text{ [-]}.$$

Az emelkedési ellenállás (3.10.):

$$F_e = m \cdot g \cdot \sin \alpha \text{ [N]}.$$

A túrasi ellenállás (3.11.):

$$F_t = f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \text{ [N]}.$$

A túrasi ellenállási tényező (4.17.):

$$f_t = \exp(f_g) - 1 \text{ [-]}.$$

Fékezés okozta ellenállás (3.14.):

$$F_f = F_{mf} + F_h \text{ [N]}.$$

Motorfék okozta ellenállás (3.15.) alapján:

$$F_{mf} = m \cdot g \cdot f_{mf} \text{ [N]},$$

$f_{mf}$  ellenállási tényező értéke a 3.6. fejezetben megadott és hivatkozott értékek alapján, valamint az alacsony fokozatok kizárásával, 0,12-0,14 között változhat, sebességi fokozattól függően.

A hajtáslánc okozta ellenállás (3.16.) alapján:

$$F_h = m \cdot g \cdot f_h \text{ [N]},$$

$f_h$  ellenállási tényező értéke a 3.6. fejezetben megadott és hivatkozott értékek alapján vehető figyelembe, a hajtásmód és járműtípus függvényében. A modell számításánál 0,15 értékkel számoltam.

Egy teljes perdület energiája (3.5.):

$$E_{iperdület} = 2L_t \cdot \pi \frac{m \cdot g}{2} \cdot f_{cs} \text{ [J]}.$$

$f_{cs}$  ellenállási tényező értéke 1-nek vehető SITKEI (2013) ajánlása szerint.



## 4. Eredmények

**4.6. A modell ellenőrzése szabadföldi mérésekkel****4.6.1. Lassulási úthossz ellenőrzése**

A vizsgálat menetét a 3.5.4. fejezetben ismertettem. A 4.11-es táblázatban összefoglaltam a felgyorsított jármű terepre érkezés pillanatától a megállásig mért út hosszát. A vizsgálatokat különböző felgyorsítási sebességek mellett, állandó  $p_{abr}=2,1$  bar abroncslégnyomáson végeztem el. A táblázatban szemléltetem a területhez tartozó gördülési ellenállási tényezők értékét, a kúpos index nagyságát, valamint a kerékbesüllyedés mértékét. A jármű tömege  $m=1600$  kg volt. A vizsgálatok során a jármű üresben gurult. Motorfékkel nem végeztem ellenőrzést, valamint fékezett járművet sem vizsgáltam.

4.11. táblázat. Lassulási úthossz vizsgálatának eredményei.

	<b>n</b> [-]	<b>z</b> [m]	<b>f<sub>g</sub></b> [-]	<b>v</b> [km/h]	<b>s fékút</b> [m]
Füves terület	0,6	0,005	0,056	10	<b>8,5</b>
				20	<b>27</b>
				30	<b>64,5</b>
Tarló	0,7	0,017	0,095	10	<b>3,5</b>
				20	<b>12</b>
				30	<b>28,5</b>
Hántott	1,5	0,046	0,110	10	<b>3</b>
				20	<b>10</b>
				25	<b>11</b>
				30	<b>18</b>
				35	<b>25</b>
Kultivált	1,8	0,071	0,140	10	<b>2,5</b>
				20	<b>7,5</b>
				30	<b>15,5</b>
				35	<b>22,5</b>

**4.6.2. A modell pontosságának ellenőrzése**

Az ellenőrző mérés során felvett kifutási úthosszakat bemeneti adatként kezeltem a modell pontosságának ellenőrzésekor. Azt vizsgáltam, hogy ha a modell bemeneti oldalán megadom a 4.11-es táblázatban közölt kifutási úthossz értékeket, milyen sebességértéket kapok a kimeneti oldalon.

A modell ellenőrzését Excel-program segítségével végeztem, amely a 4.5.1. fejezetben közölt bemeneti adatokból számolta a keresett behatolási sebességet. Részeredményként megkaptam a 4.5.2. fejezetben ismertetett további paramétereket. A mérés során beállított, valamint a modellel számolt sebességet

## 4. Eredmények

összehasonlítottam, az eltéréseket meghatároztam. A mért és számolt sebességértékek, valamint az eltérés mértéke a 4.12-es táblázatban láthatóak.

4.12. táblázat. A modell pontosságának meghatározása.

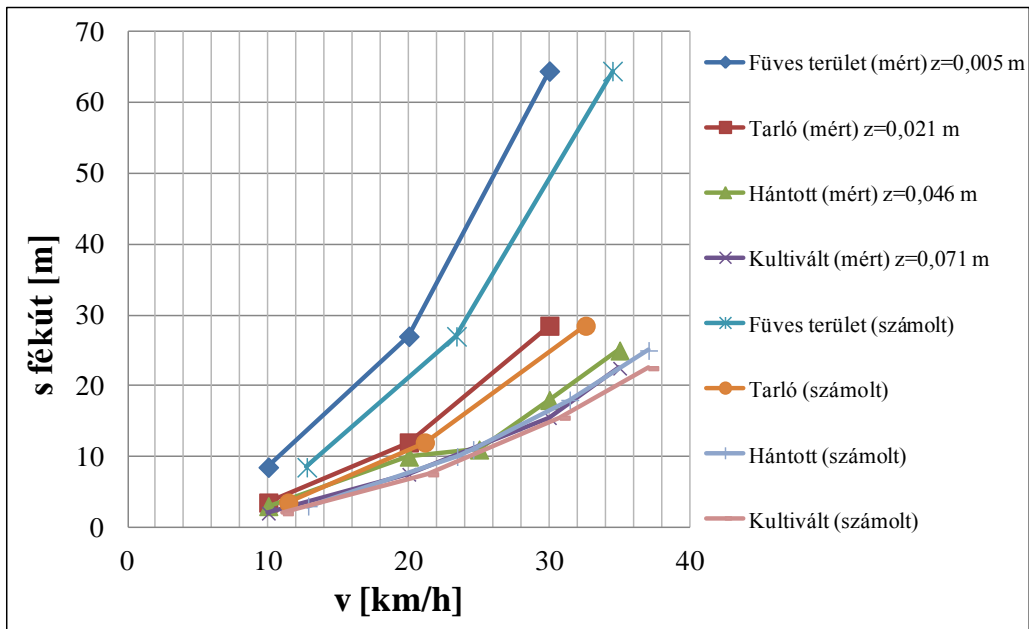
<b>Modell pontosságának vizsgálata</b>					
<b>Mért adatok</b>				<b>Számolt</b>	<b>Eltérés</b>
<b>v [km/h]</b>	<b>s fékút [m]</b>	<b>z [m]</b>	<b>n [-]</b>	<b>v [km/h]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>
10	8,5	0,005	0,6	12,74	21,51
20	27			23,39	14,49
30	64,5			34,49	13,02
10	3,5	0,021	0,7	11,42	12,43
20	12			21,14	5,39
30	28,5			32,58	7,92
10	3	0,046	1,5	12,84	22,12
20	10			23,44	14,68
25	11			24,58	1,71
30	18			31,45	4,61
35	25			37,06	5,56
10	2	0,071	1,8	11,05	9,50
20	7,5			21,39	6,50
30	15,5			30,75	2,44
35	22,5			37,05	5,53

A 4.12-es táblázat alapján, ábrázoltam a kifutási úthosszakat, a mért és számolt sebességértékeket függvényében (4.15. ábra). A táblázat alapján is látható, de az ábra jól szemlélteti, hogy a modell, a gyakorlat számára elfogadható pontossággal számol. A számítás pontosságát a „z” kerékesüllyedés értéke jelentősen befolyásolja, valamint a pontosság nagyobb sebességnél javul.

Az értekezésben bemutatott számítási modell az útelhagyásos balesetknél a jármű terepre történő behatolásának sebességét hivatott meghatározni. A modell ezt a feladatot a terepjáráselmélet tudományterület kutatási eredményei alapján kidolgozott empirikus jellemzőkkel pontosított számítási képletekkel képes megoldani.

További feladat a számítási modell programozása úgy, hogy felhasználó barát szoftver legyen, és ezáltal segítse a műszaki és igazságügyi szakértők munkáját.

## 4. Eredmények



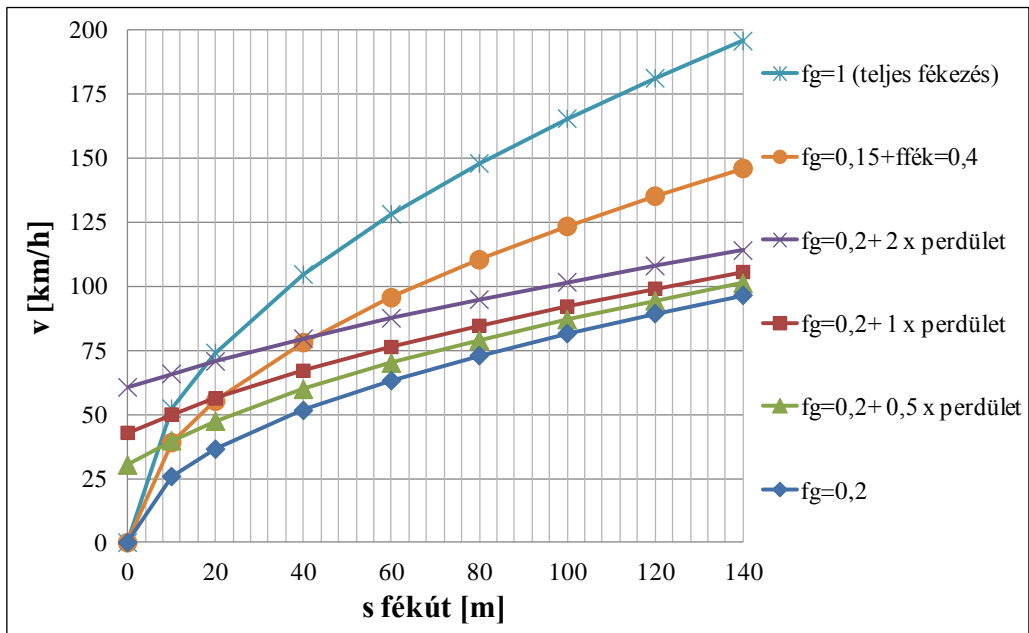
4.15. ábra. A terepre behatól jármű kifutási úthosszának vizsgálata, a mért és számolt sebességértékek függvényében.

A szakértők segítségével elkészítettem a modellem segítségével a 4.16. ábrán látható diagramot, melyen a számított sebességértékek láthatóak a tetszőlegesen felvett fékút értékek függvényében. Az ábrán különböző eseteket szemléltettem, figyelembe véve a megperdülés lehetőségét, valamint a fékezés esetét. A számítás eredményei a 4.13. táblázatban láthatóak. A számításokat a (4.20.) és (4.22.) összefüggések segítségével végeztem el.

4.13. táblázat. A (4.20.) és (4.22.) összefüggések segítségével meghatározott sebességértékek, figyelembe véve a megperdülés lehetőségét.

s [m]	$f_g=0,2$	$f_g=0,2$	$f_g=0,2$	$f_g=0,2$	$\Sigma f=1$	$\Sigma f=0,55$
	0 perdőlet	0,5 perdőlet	1 perdőlet	2 perdőlet	0 perdőlet	0 perdőlet
v [km/h]	v [km/h]	v [km/h]	v [km/h]	v [km/h]	v [km/h]	v [km/h]
0	0	30,3	42,9	60,6	0	0
10	25,8	39,8	50,3	65,9	52,3	39,4
20	36,5	47,4	56,3	70,8	74,0	55,2
40	51,6	59,8	67,1	79,6	104,6	78,1
60	63,2	70,1	76,4	87,6	128,2	95,6
80	72,9	79,2	84,6	94,8	148,1	110,4
100	81,6	87,3	92,2	101,6	165,5	123,5
120	89,4	94,4	99,1	108,0	181,3	135,2
140	96,6	101,2	105,6	114,0	195,8	146,1

## 4. Eredmények



4.16. ábra. A sebesség meghatározására szolgáló (4.20.) és (4.22.) összefüggések segítségével számolt sebességértékek a fékút függvényében.

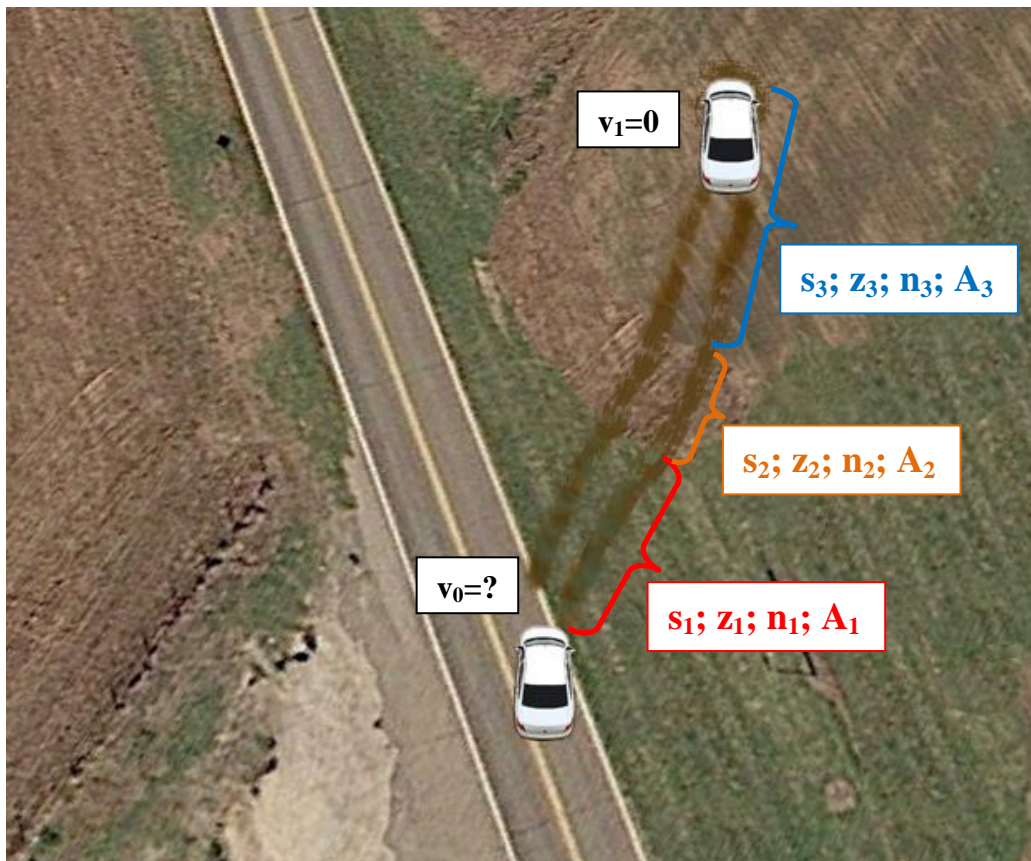
#### 4.6.3. A modell használatának bemutatása egy példán keresztül

A 4.17. és 4.18. ábrákon egy pályaelhagyásos baleset látható, ahol a jármű a terepre behatolva nyomokat hagy hátra. A nyomokat szükséges szakaszokra bontani, mivel a különböző talajállapotokon eltérő menetellenállás ébred.



4.17. ábra. Pályaelhagyásos baleset.

## 4. Eredmények



4.18. Pályát elhagyó jármű terepen hagyott nyomai.

**A pályaelhagyás sebességének meghatározásához szükséges adatok felvétele, meghatározása:**

Jármű típusa: Skoda Octavia 1U 1,6 8V

Abrons típusa: 205/55 R16 (B=205 mm, D=630 mm)

Tengelytáv ( $L_t$ ) = 2,5 m

Saját tömeg + vezető (m) = 1300 kg

Egy kerékre eső terhelés (Q) = 325 kg

A gumiabroncs belső légnyomása ( $p_{abr}$ ) = 2,1 bar

A 4.14. táblázatban összefoglaltam a sebesség meghatározásához szükséges paramétereket, melyeket részben a terepen hagyott nyomokból lehet közvetlenül meghatározni, részben pedig a (4.2.), (4.11.) és (4.12.) összefüggések segítségével számolni.

## 4. Eredmények

4.14. táblázat. A pályaelhagyásos baleset vizsgálata során mért és számolt adatok.

Vizsgált szakasz	$s_i$ fékút [m]	$z_i$ [cm]	$z_i/D$ [-]	$A_i$ [cm <sup>2</sup> ]	$n_i$ [-]	$f_{gi}$ [-]
1	7	2	0,032	285,7	0,7	0,106
2	4	4	0,063	396,2	1,6	0,103
3	10	8	0,127	508,6	1,95	0,124

A terepen hagyott nyomokból megállapítható, hogy a jármű nem fékezett, üresben gurulva hagyta el az épített utat, majd a menetellenállások lassították addig, amíg végső helyzetét elérte, és sebessége 0 lett. A sebesség meghatározására így a (4.20.) összefüggést használtam, ahol figyelembe vettem a hajtáslánc ellenállást, melynek értéke  $f_h=0,08$ .

Mivel a jármű három eltérő talajállapoton haladt át, ezeket külön, szakaszonként kell értékelni, majd a sebességet meghatározni. Ennek értelmében a jármű pályaelhagyási sebessége a következő módon számolható:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot (s_1 \cdot (f_{g1} + f_h) + s_2 \cdot (f_{g2} + f_h) + s_3 \cdot (f_{g3} + f_h))} = 45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

A jármű 45 km/h sebességgel érkezett a terepre. Amennyiben a nyomokból lehet következtetni arra, hogy a jármű megpördült, akkor a számítást ki kell egészíteni a (4.20.) képlet szerint. Abban az esetben, ha a jármű fékezés hatására túrást idézett elő, a (4.22.) összefüggés használható. Ebben az esetben szintén fontos, hogy a járműnyomokat szakaszokra bontsuk, különös tekintettel a túrás szakaszára.

A modell a terepen hagyott nyomokból számolja a behatolási sebességet. Az előzményekre nem ad választ, nem veszi figyelembe azt, hogy a pályaelhagyás előtt mi történt az épített úton. Ennek feltárása szintén az igazságügyi szakértők dolga, ezt jó közelítéssel meg tudják tenni.

A modellem kifejezetten a terepre behatoló jármű sebességének meghatározását segíti elő újszerű megközelítéssel.

## 4. Eredmények

## 4.7. Új tudományos eredmények

1. Új összefüggést dolgoztam ki a gumiabroncs felfekvési felületének meghatározására. Az összefüggés figyelembe veszi az egy kerékre eső terhelést ( $Q$ ), abroncs légnyomását ( $p_{abr}$ ), valamint a relatív talajbesüllyedés ( $z/D$ ) értékét. A számítás diagonál abroncsoknál a következő:

$$A_{abr(D)} = \frac{Q}{10 \cdot p_{abr} \cdot \left[ 1,2 - 1,2 \cdot \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right]} \text{ [cm}^2\text{]}.$$

Radiál abroncsoknál:

$$A_{abr(R)} = \frac{Q}{10 \cdot p_{abr} \cdot \left[ 0,75 - 0,75 \cdot \left( \frac{z}{D} \right)^{0,44} \right]} \text{ [cm}^2\text{]}.$$

2. Új összefüggést dolgoztam ki a jármű gördülési ellenállási tényezőjének számítására négy kerék és nyomon járás esetén. A gumiabroncs szélesség ( $B$ ), felfekvési felület ( $A_{abr}$ ), talajdeformáció ( $z$ ) és a talaj terhelési görbéjének kitevője ( $n$ ) ismeretében, a tényező az alábbi összefüggéssel számítható:

$$f_g = 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot z}{(n + 1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \text{ [-]}.$$

A fenti összefüggés általános érvényű, mert tartalmaz minden járműre és terepre vonatkozó paramétert, amelyek a gördülési ellenállási tényezőt befolyásolják.

3. Összefüggést dolgoztam ki a túrási ellenállási tényező meghatározására. Az összefüggés a gördülési ellenállási tényezőtől határozza meg a túrási ellenállási tényező értékét. A gumiabroncs szélesség ( $B$ ), felfekvési felület ( $A_{abr}$ ), a kerékbesüllyedés valamint a feltúrt talajmennyiség magasságának összege ( $H$ ) és a talaj terhelési görbéjének kitevője ( $n$ ) ismeretében, a túrási ellenállási tényező az alábbi összefüggéssel számítható:

$$f_t = \exp(f_g) - 1 = \exp \left[ 0,03 + 0,55 \cdot \left( \frac{B \cdot H}{(n + 1) \cdot A_{abr}} \right)^{0,8} \right] - 1 \text{ [-]}.$$

## 4. Eredmények

4. Meghatároztam az épített útpályát elhagyó, terepre behatoló gépjármű pályaelhagyási sebességét. A számítás alapelve, hogy balesetnél az épített út elhagyása után a jármű terepre hatol be, majd megáll, azaz sebessége 0-ra csökken. Ekkor a megtett utat megmérve és az ellenállások ismeretében kiszámítható a behatolási sebesség mértéke. A terepre érkezés módját külön kell vizsgálni. Ez a számítás csak a terepre beérkezés és a megállás közötti szakaszt veszi figyelembe. A terepre érkezés módja többféle lehet, ezek matematikai leírása ismert.

A sebesség meghatározásához az alábbi alapadatok szükségesek: fékút, lejtőszög, gördülési ellenállási tényező, motorfék ellenállási tényező, hajtáslánc ellenállási tényező, valamint túrás esetén a túrási ellenállási tényező. A sebesség meghatározását három alapesetre végeztem el: a jármű behatol a terepre és fékezés nélkül, üresben gurulva megáll; a járművet motorfék lassítja, valamint a jármű fékezett kerekekkel, túrást előidézve áll meg. Figyelembe vettem továbbá azt a lehetőséget, hogy a jármű függőleges tengelye körül megpördül. A behatolási sebességet az alábbi egyenletek írják le:

Gördülés esetén:

$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} [g \cdot (\cos \alpha \cdot f_g \pm \sin \alpha + f_{mf} + f_h)] \cdot ds + L_t \cdot \pi \cdot g \cdot f_{cs} \right)} \text{ [m/s]}.$$

Túrás esetén:

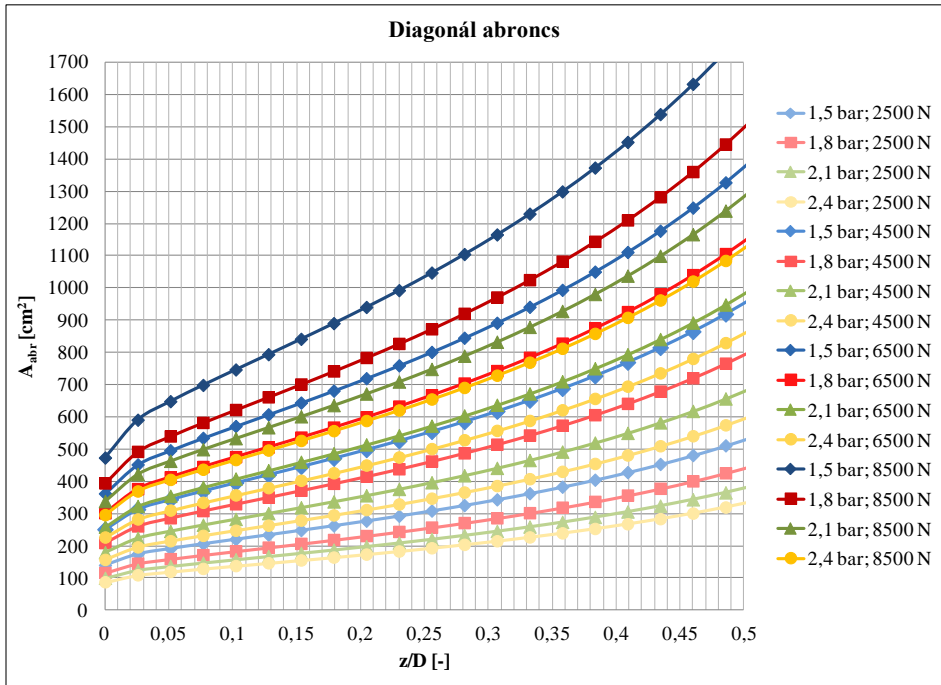
$$v_{\text{behatolási}} = \sqrt{2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left( \int_{s_i}^{s_{i+1}} [g \cdot (\cos \alpha \cdot f_t \pm \sin \alpha + f_{mf} + f_h)] \cdot ds \right)} \text{ [m/s]}.$$

5. Új módszert dolgoztam ki diagonál és radiál abroncsok felfekvési felületének meghatározására. A módszer lényege, hogy a relatív besüllyedés ( $z/D$ ), egy kerékre eső terhelés ( $Q$ ) és a gumiabroncs belső légnyomásának ( $p_{\text{abr}}$ ) ismeretében a felfekvési felület ( $A_{\text{abr}}$ ) számítás nélkül meghatározható a nomogramról. A nomogrammal az igazságügyi szakértők, gyorsan és egyszerűen meg tudják állapítani egy adott gumiabroncs felfekvési felület nagyságát, amely fontos bemenő paraméter a pályaelhagyási sebesség meghatározása során.

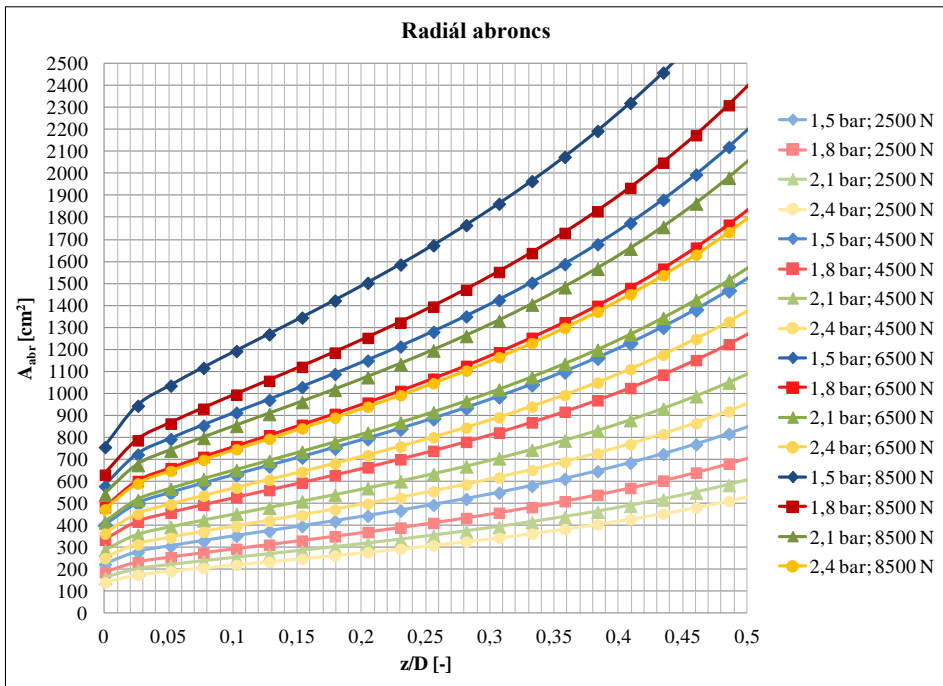
Az 1. és 2. ábrán látható nomogramok készítésénél négy abroncsleégnyomást (1,5-1,8-2,1-2,4 bar) és négy kerékterhelést (2500-4500-6500-8500 N) vettem figyelembe.



## 4. Eredmények



1. ábra. Felfekvési felület a relatív besülyedés függvényében, diagonál abroncsok esetén.



2. ábra. Felfekvési felület a relatív besülyedés függvényében, radiál abroncsok esetén.



## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az eredményekből levonható az a következtetés, hogy baleset esetén a terepre lefutó jármű mozgásának vizsgálata minden esetben nélkülözhetetlen a balesetrekonstrukció során. Az nem vezethet jó eredményre, ha az igazságügyi szakértők mindössze tapasztalati értékekre hivatkoznak, ugyanis a talajparaméterek nem kellőképpen felvett értékeinek használata komoly számítási hibákat eredményezhet. Ezt igazságügyi szakértői szemináriumon meg is erősítették a jelenlévők, és felhívták a figyelmet arra, hogy a terepjáráseleméleti kutatások során kapott eredmények segítségükre lehetnek.

A terepre behatoló gépjármű mozgási energiával rendelkezik a pályaelhagyás pillanatában, majd a terepen megáll. A mozgási energiáját a terepi közlekedésből ismert menetellenállások emésztik fel, amelyek ismerete fontos a baleseti elemzés szempontjából. Munkám során arra törekedtem, hogy olyan modellt építsek fel, amely könnyen meghatározható bemenő adatokkal számol. Ez fontos, hiszen egy baleset során a szakértőnek nincs ideje laboratóriumi vizsgálatokra, a helyszínen kell felvennie jellemző értékeket a talajoldalról valamint a járműoldalról egyaránt.

Véleményem szerint a szakértőknek több hangsúlyt kell fektetniük a terep vizsgálatára egy terepi baleset során, nem csak a járművön kialakult deformációkat kell figyelembe venni, hanem a terep sajátosságait. Ide tartozik a mikro- és makrodomborzat megfigyelése, leírása, a talaj állapotának meghatározása, nedvességtartalom, hordképesség definiálása. Ezek jellemzik az adott területet, ezek képezhetik a modell bemenő adatait.

A balesetet szenvedett jármű adatai katalógusból és adatbázisokból kivehetők, így a járműre vonatkozó bemeneti adatok rendelkezésre állnak. A nehézséget a terep tulajdonságainak meghatározása jelenti, ehhez rendelkezni kell alap szinten terepjáráseleméleti ismeretekkel. Munkám során cél volt, hogy segítségére legyek az igazságügyi szakértőknek, és eredményesebbé, valamint pontosabbá tegyem a mechanikai számításaikat.

Az új tudományos eredményeim segítségül szolgálnak a balesetelemző és szakértői munkák során. Javaslom minden, balesetekkel foglalkozó szakembernek, hogy eredményeimet használja fel számításaihoz. Természetesen további mérések szükségesek, hogy az általam felírt modell minden balesettípusra általánosítható legyen, de a dolgozatban közölt egyszerűbb esetekben felhasználható. Javaslom továbbá, hogy terepi balesetnél a talajt is úgy vegyék figyelembe, mintha az ütközésben résztvevő jármű lenne, tehát a terepen kialakuló deformációkra is fektessenek nagyobb hangsúlyt.

A közútról terepre lefutó jármű mozgásának vizsgálata során a talaj és a rajta hagyott nyomok, deformációk vizsgálata nélkülözhetetlen.



## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

### KÖZÚTRÓL LEFUTÓ JÁRMŰVEK MOZGÁSÁNAK ELEMZÉSE

A járművek biztonságával, balesetek elemzésével foglalkozó hazai és nemzetközi szakemberek megerősítettek abban, hogy tisztázni kell a talajmechanikai paraméterek hatását a terepre behatoló jármű mozgására. Ezzel elősegítjük a rekonstrukciós munkákat, azaz a sebesség meghatározását baleset után.

Kutatási célkitűzésem a terepjárás-elmélet tudományterület kutatási eredményei alapján kidolgozott, új szimulációs algoritmus alkalmazásával, a balesetben résztvevő jármű haladási sebességének meghatározása abban a pillanatban, amikor a sérült jármű elhagyja a közutat, és behatol a terepre.

A terepre behatoló gépjármű a megállás pillanatáig számos terepi tényezővel találkozhat. Ezek befolyásolják az útját, végső helyzetét és az utasok állapotát. A szakirodalmi áttekintésben részletesen bemutattam a lehetséges terepi balesetek formáit. Az érdemi részben három kiemelt területtel foglalkozom, melyek alapját képezik az összes lehetséges kimenetelnek. Ezek az esetek az alábbiak: a jármű üresben gurulva kifut a terepre, majd megáll; a jármű motorfék segítségével fékezve kifut a terepre, majd megáll; a jármű fékezett kerekekkel és motorfékkel kifut a terepre, majd megáll.

A sebesség meghatározásához ismerni kell a terepre vonatkozó adatokat: az adott talaj gördülési ellenállási tényezőjét, túrás esetén a túrási ellenállási tényezőt; a terepen hagyott nyomadatokat: baleset során csak a nyomok ismertek; a terepen mért adatokat: a kúpos indexet és a nyommélységet lehet mérni, valamint a talaj típusa beazonosítható. A járműre vonatkozó adatok katalógusból, adatbázisból kikereshetők, így a járműjellemzőket ismert bemeneti paraméternek tekinthetjük.

A kutatási célkitűzés megvalósításához, illetve a felírni kívánt modell igazolásához vontatási vizsgálatokat végeztem a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar területén. A szabadföldi mérések fő célja volt a különböző hordképességű (kúpos indexű) talajokon meghatározni a gördülési ellenállási tényezőt, illetve túrás esetén a túrási tényezőt. A kísérleteket, három különböző talajállapotban, tarlón, hántott-, valamint kultivátorozással fellazított talajon végeztem el. Méréseimet megelőzte a talajjellemzők vizsgálata, helyszínen illetve laboratóriumi körülmények között.

A mérések eredményei alkalmasak voltak arra, hogy új tudományos eredményeket fogalmazzak meg, amelyek a baleset után terepre behatoló jármű sebesség meghatározására irányultak. Az eredmények programba építve hasznos segítségei lehetnek igazságügyi szakértőknek.



## 7. SUMMARY

### ANALYSIS OF THE MOTION OF VEHICLES RUNNING ONTO TERRAIN

Forensic investigators in every case attempt to determine the vehicle's speed from tracks left on the surfaced road or on the adjacent terrain. The greatest problem is caused by the terrain, whose effect can only be approximated by empirical quantities.

The analysts cannot be expected to conduct examinations of the soil or the unevenness of the terrain in every case. The purpose of the research was to create a simulation model of a run-off accident capable of determining the initial speed at which the vehicle left the road.

A vehicle leaving a surfaced road enters the adjacent terrain with a certain kinetic energy. Its motion is affected by larger terrain obstacles and by vibrational acceleration induced by micro-obstacles. The deceleration and halting of the vehicle is influenced by travel resistances arising from the vehicle-soil interaction. The run-off speed (initial speed) of a vehicle which comes to a halt on the terrain may be calculated indirectly knowing the travel resistances and the distance traveled on the terrain.

To determine the run-off speed, terrain parameters are required: the coefficient of rolling resistance or bulldozing resistance; the tracks left on terrain: during the accident only the tracks are known; data measured on terrain: the cone index and the track depth can be measured, and soil type identified. Data for the vehicle can be determined from catalog or database, so the vehicle parameters are considered as known input parameter.

To implement the research objectives and validate the model, pulling tests were carried out on level ground. The main purpose of the field measurements was to determine the rolling resistance factor and the bulldozing factor on soils of various load-bearing capacity (cone index). Measurements of deceleration distance were also carried out on a moving vehicle left to roll in neutral to determine the motion resistances of the vehicle on terrain. The tests were carried out on the same field on soil in three different conditions: wheat stubble, harrow-tilled wheat stubble and subsequent tilling by cultivator.

The results of the measurements have been capable to formulate new scientific evidence that refers to the determination vehicle speed after run-off-road accidents. The results are useful for forensic experts especially if the results are integrated into software.





## 8. MELLÉKLETEK

### M1: Irodalomjegyzék

1. AFFLECK R. T. (2005): Disturbance Measurements from Off-Road Vehicles on Seasonal Terrain. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, July, p. 99.
2. AL-MILLI S., SENEVIRATNE L. D., ALTHOEFER K. (2010): Track–terrain modelling and traversability prediction for tracked vehicles on soft terrain. *Journal of Terramechanics*. 47 (3), pp. 151-160.
3. ALTHOFF P. S., THIEN S. J. (2005): Impact of M1A1 main battle tank disturbance on soil quality, invertebrates, and vegetation characteristics. *Journal of Terramechanics* 42 (3), pp. 159-176.
4. ANDREWS S. B., MARTIN M. R., RENFROE D. A., PARTAIN M. (2005): Combining PC-Crash and MADYMO for reconstruction and occupant motion during rollover crashes. *XIV. EVU-Annual Meeting, Bratislava, Slovakia, October 21-22.*, p. 7.
5. APFELBECK M., KUSS S., REBELE B., SCHAFER B. (2011): A systematic approach to reliably characterize soils based on bevameter testing. *Journal of Terramechanics*. 48 (5), pp. 360-371.
6. ARDESHIR D. S., TIM G. J. (2010): Oil sand deformation under cyclic loading of ultra-class mobile mining equipment. *Journal of Terramechanics*. 47 (82), pp. 75-85.
7. ASABE Standards (2008a): ASAE Standard EP542 FEB99: Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. *St. Joseph, Michigan: ASABE*
8. ASABE Standards (2008b): ASAE Standard S313.3 FEB04: Soil cone penetrometer. *St. Joseph, Michigan: ASABE*
9. AYERS P. D. (1994): Environmental damage from tracked vehicle operation. *Journal of Terramechanics* 31 (3), pp. 173-183.
10. AYUN S. (1983): Machinery mobility problem in mechanized rice production in Malaysia. *Malaysian Agricultural Research and Development Institute Report No. 83*.
11. BATZER S. A. (2005): Occupant Containment Through Improved Glazing in Multiple Rollovers. *XIV. EVU-Annual Meeting, Bratislava, Slovakia, October 21-22.*, p. 22

## 8. Mellékletek

12. BAYLOT E. A., MASON G. L., GREEN J. G., BERNEY E. S. IV (2012): Predicting the stability of low volume road embankments in contingency areas. *Journal of Terramechanics*. 49 (2), pp. 95-101.
13. BEKKER M. G. (1956): Theory of Land Locomotion, The Mechanics of Vehicle Mobility, *Ann Arbor, University of Michigan*,
14. BEKKER M. G. (1960): Track and Wheel Evaluation. *Journal of Machine Design*, 32 (1), pp. 50-95.
15. BEKKER M. G. (1969): Introduction to Terrain-Vehicle Systems. *Ann Arbor, University of Michigan*
16. BELL M., HARKAI I. Tehergépkocsi in depth balesetkutatás. *Nemzetközi Közlekedésbiztonsági Konferencia, Győr, 2010. 04. 26. előadás*
17. BERNSTEIN R. (1913): Probleme zur experimentiellen Motorpflug-Mechanik. *Der Motorwagen* No. 16.
18. BIRKEL P. A. (2003): Terrain Trafficability in Modeling and Simulation. *SEDRIS Technical paper*, p. 40.
19. BOUSSINESQ J. (1883): Application des potentials a l'etude de l'equilibre et due mouvement des solides elastiques. Gauthier-Villars, Paris
20. BRAUNACK M. V., WILLIAMS B. G. (1993): The effect of initial soil water content and vegetative cover on surface disturbance by tracked vehicles. *Journal of Terramechanics*, 30 (4), pp. 299-311.
21. BUKHARI S., BHUTTO A. M., BALOCH M. J., BHUTTO B. A., MIRANI B. A. (1988): Performance of selected tillage implements. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 19 (4), pp. 9-14.
22. BURG H., MOSER A. (2007): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, *Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH*, pp. 443-456.
23. BURG H., MOSER A, STEFFAN H. (2012): Comparison of different impact types regarding velocity change and deformation energy to evaluate occupant loads and damage severity *IbB-Publication*, No. 02/2012, p. 11.
24. BUZÁS I. (1993): Talaj-és agrokémiai vizsgálati módszerekönyv 1. *Fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani talajvizsgálati módszerek*, Budapest: INDA 4231 Kiadó
25. CARTER E. A., AUST W. M., BURGER J. A. (2007): Soil strength response of select soil disturbance classes on a wet pine flat South Carolina. *Forest Ecology and Management*, 247 (1), pp. 131-139.

## 8. Mellékletek

26. CHHANIYARA S., BRUNSKILL C., YEOMANS B., MATTHEWS M. C., SAAJ C., RANSOM S., RICHTER L. (2012): Terrain trafficability analysis and soil mechanical property identification for planetary rovers: A survey. *Journal of Terramechanics*. 49 (2), pp. 115-128.
27. CHOI J. H., CHO J. R., WOO J. S., KIM K. W. (2012): Numerical investigation of snow traction characteristics of 3-D patterned tire. *Journal of Terramechanics*. 49 (2), pp. 81-93.
28. CIOBOTARU T. Semi-empiric algorithm for assessment of the vehicle mobility. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. Issue 15, July-December 2009, pp. 19-30. ISSN 1583-1078
29. CRAIG M., SCARBORO M., FLANNAGAN C. (2009): Combining CIREN and NASS-CDS data to predict occupant outcomes in frontal crashes. *Proceedings of the 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. June 15-18, Stuttgart, Germany., Paper Number 09-0538, p. 13.
30. CRAIG M. J., SCARBORO M., RIDELLA S. A. (2011): Predicting occupant outcomes with EDR data. In: *Proceedings of the 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. June 13-16, Washington, DC. Paper Number 11-0326, p. 13.
31. CROLLA D. A., SCHWANGHART H. (1992): Vehicle Dynamics. *Journal of Terramechanics*, 29 (1), pp. 7-17.
32. CRONJÉ P. H., ELS P. S. (2010): Improving off-road vehicle handling using an active anti-roll bar. *Journal of Terramechanics*. 47 (3), pp. 179-189.
33. DALLA VALLE P., LAMBOURN R. F., VINER H. E. (2004): Contaminated Road Surfacing – Friction Testing Phase I. *Transport Research Laboratory Project Report PR/CSN/05/04*, United Kingdom
34. DING L., GAO H., DENG Z., NAGATANI K., YOSHIDA K. (2011): Experimental study and analysis on driving wheels' performance for planetary exploration rovers moving in deformable soil. *Journal of Terramechanics*. 48 (1), pp. 27-45.
35. DONNELLY B. R., MOORHOUSE K. Optimized phasing of PMHS response curves for biofidelity targets. *Proceedings of the 2012 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Injury*. September 12-14, 2012; Dublin, Ireland. p. 418.
36. DUKKIPATI R. V., PANG J., QATU M. S., SHENG G., SHUGUANG Z. (2008): Road Vehicle Dynamics. *SAE International*, Warrendale, PA, USA, June. ISBN 978-0-7680-1643-7

## 8. Mellékletek

37. EDLUND J., BERGSTEN U., LÖFGREN B. (2012): Effects of two different forwarder steering and transmission drive systems on rut dimensions. *Journal of Terramechanics*. 49 (5), pp. 291-297.
38. EMÖD I. (2009): Tartós fékek. *Elektronikus tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*  
<http://www.auto.bme.hu/content/gepjarmuvizsgalatok-szakmernokoknek-dr-emod-istvan> (Utolsó letöltés: 2014. április 10.)
39. FAN H., LIU F., LONG H. (2011): Locomotion of vehicles on hinged road mats. *Journal of Terramechanics*. 48 (1), pp. 47-55.
40. FAVAEDI Y., PECHEV A., SCHARRINGHAUSEN M., RICHTER L. (2011): Prediction of tractive response for flexible wheels with application to planetary rovers. *Journal of Terramechanics*. 48 (3), pp. 199-213.
41. FREITAG I. J., JURKAT M. P., BRADY P. M. (1975): Terrain-vehicle interrelationship. *Report No. 79-9-2058.*, WES. USA Vicksburg, Sept. p. 256.
42. FUNK J. R., CORMIER J. M., GABLER H. C. (2008): Effect of delta-V errors in NASS on frontal crash risk calculations. *52nd Annual Proceedings, Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)*. October 6-8, San Diego, CA. pp. 155-164.
43. GARCIANO L. O., UPADHYAYA S. K., JONES R. A. (2010): Measurement of soil parameters useful in predicting tractive ability of off-road vehicles using an instrumented portable device. *Journal of Terramechanics*. 47 (5), pp. 295-305.
44. GATTO L. W. (2001): Overwinter changes to vehicle ruts and natural rills and effects on soil erosion potential. *10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting*. Purdue University, pp. 378-383.
45. GEDEON J. (1993): On some basic problems of stochastic modelling. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 21 (1), pp. 89-100.
46. GORJACKSKIN (1936): *Teorija i proizvodstvo szelskohozjajszenüh mashin*. Moskva
47. GURMAI L., KISS P.: Modelling Terrain Conditions. *Proceedings of 11th European Regional Conference of the ISTVS*, P-39, Bremen, Germany, 2009
48. HALLMAN J. J., YOGANANDAN N., PINTAR F. A., MAIMAN D. J. (2011): Injury differences between small and large overlap frontal crashes. *55th Annual Proceedings, Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)*. October 3-5, Paris, France. pp. 147-157.

## 8. Mellékletek

49. HAMPTON C. E., GABLER H. C. (2010): Evaluation of the accuracy of NASS/CDS delta-V estimates from the enhanced winsmash algorithm. *54th Annual Proceedings, Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)*. October 17-20, Las Vegas, NV, USA, pp. 241-251.
50. HORN R., FLEIGE H. (2003): A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil Tillage Research*, 73 (1), pp. 89-99.
51. HARRIGAN T., BATES R. E. (1995): Estimated Snow Parameters for Vehicle Mobility Modeling in Korea, Germany and Interior Alaska. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, September, p. 12.
52. HUANG M. Vehicle Crash Mechanics. *CRC Press LLC*, Boca Raton, Florida, USA, 2002. ISBN 0-8493-0104-1
53. HUGEMANN W. (2007) : Unfallrekonstruktion, Band 1: Grundlagen, *Münster: Schönbach-Druck GmbH*, pp. 222-226.
54. HUMMEL J. W., AHMAD I. S., NEWMAN S. C., SUDDUTH K. A., DRUMMOND S. T. (2004): Simultaneous soil moisture and cone index measurement. *Transactions of the ASAE*, 47 (3), pp. 607–618., American Society of Agricultural Engineers ISSN 0001–2351
55. IBARRA S. Y., MCKYES E., BROUGHTON R. S. (2005): A model of stress distribution and cracking in cohesive soils produced by simple tillage implements. *Journal of Terramechanics*, 42 (2), pp. 115-139.
56. IGNÁCZ F. (2007): Ütközési tényező és további kontroll értékek alakulása, különböző átfedésű ütközési kísérletek alapján. *XXX. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, November 15-16.
57. IGNÁCZ F. (2009): Végeselem számítási programok alkalmazási lehetőségei a gépjármű ütközések elemzése során. *XXXIV. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, Tata, November 5-6. ISBN 978-963-88810-0-7.
58. ILOSVAI L. (2010): Gépjárműtechnika. *Elektronikus tananyag 9. kiadás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, Budapest
59. JANOSI Z., HANAMOTO B. (1961): The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soil. *Int. Conf. Mechanics of Soil-Vehicle System*. December 16, Torino, Saint Vincent
60. JANOSI Z., EILERS J. A. (1962): Analysis of the basic curve of obstacle negotiation. *Journal of Terramechanics*, 5 (3), pp. 245-258.

## 8. Mellékletek

61. JAZAR R. N. (2008): Vehicle Dynamics: Theory and Applications. *Springer Science+Business Media LLC*, New York, NY, USA, ISBN: 978-0-387-74243-4
62. JOHNSON N., GABLER H. C. (2011): Evaluation of WinSmash accuracy in NHTSA side crash test reconstructions. *Proceedings of the 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. June 13-16, Washington, DC. Paper Number 11-0389, p. 8.
63. JU S. N., YOUNG J. P., KYEONG U. K. (2010): Determination of rating cone index using wheel sinkage and slip. *Journal of Terramechanics*, 47 (4), pp. 243-248.
64. JUN X., YIBING L., GUANGQUAN L., WEI Z. (2009): Reconstruction model of vehicle impact speed in pedestrian-vehicle accident. *International Journal of Impact Engineering* 36, pp. 783-788.
65. JURKAT M., NUTTALL C., HALEY P. (1975): The AMC'74 Mobility Model. *Technical Report 11921*, US Army Tank Automotive Command, Warren
66. KACIGIN V. (1964): Voproszi szelszkohozjajsztvennoj mehaniki. *Tom XIII*.
67. KASANICKY G. (2005): PKW Überschlag an Böschungen. *XIV. EVU-Annual Meeting*, Bratislava, Slovakia, October 21-22, p. 75.
68. KÉZDI Á. (1952): Talajmechanika I.-II. *Tankönyvkiadó*, Budapest
69. KING R. H., VAN SUSANTE P., GEFREH M. A. (2011): Analytical models and laboratory measurements of the soil–tool interaction force to push a narrow tool through JSC-1A lunar simulant and Ottawa sand at different cutting depths. *Journal of Terramechanics*. 48 (1), pp. 85-95.
70. KISS P., LAIB L. (1997): Energetic aspects of soil deformation connection with soil-tyre interaction. *ASAE Annual International Meeting*. ASAE Paper Number: 971025 Minneapolis, Minnesota, USA
71. KISS P., LAIB L. (1999): Determination of the absorbed Energy by the Soil in the Soil-Tire Interaction. *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International ISTVS Conference*. Munich, Germany, pp. 361-373.
72. KISS P. (2001): Terepen mozgó járművek energetikájának egyes kérdései. *PhD doktori értekezés*, Gödöllő: Szent István Egyetem Műszaki Tudományi Doktori Iskola
73. KISS P. (2009): Az off-road jármű és a talaj kapcsolata, mint a jármű sebességét és a balesetek bekövetkezését befolyásoló tényező. *Járművek és*

## 8. Mellékletek

- Mobil Gépek online folyóirat*, www.vehilces.hu domain név alatt, 2 (5) 459-473. o.
74. KISU M. (1972): Soil physical properties and machine performances. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6 (3), pp. 151-154.
75. KNUTH M. A., JOHNSON J. B., HOPKINS M. A., SULLIVAN R. J., MOORE J. M. (2012): Discrete element modeling of a Mars Exploration Rover wheel in granular material. *Journal of Terramechanics*. 49 (1), pp. 27-36.
76. KOHUT P. (2005): Rollover theory. *XIV. EVU-Annual Meeting*, Bratislava, Slovakia, October 21-22., p. 74.
77. KOKUBUN K. (1970): Relations between trafficability and physical properties of soil in paddy field. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 5 (3), pp. 33-37.
78. KOMÁNDI GY. (1969): A talaj fizikai tényezőinek meghatározása a nyírási diagram és a vontatási jelleggörbe összefüggései alapján. *Az Agrártudományi Egyetem Tudományos Értesítője*, Gödöllő
79. KÓFALVI GY. (2010): Személygépkocsi - tehergépkocsi borulás rekonstrukció. *XXXIV. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, november 4-5, Tata. 78 o. ISBN 978-963-88810-7-6
80. KÓFALVI GY., IGNÁCZ F. (2011): Analysis of passenger movement in crash of motor vehicles. *Biomechanica Hungarica*, Vol. IV. No 1. June, HU ISSN 2060-0305
81. KSH (2012) Központi Statisztikai Hivatal online adatbázisa. <http://portal.ksh.hu/>
82. KSIAZEK M. A., ZIEMIANSKI D. (2012): Optimal driver seat suspension for a hybrid model of sitting human body. *Journal of Terramechanics*. 49 (5), pp. 255-261.
83. KUBOTA T. (1984): Soil structural index as a measure of bearing strength of clayey lowland soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 17 (4), pp. 292-299.
84. KWASNOSKI J. (2003): Crash reconstruction basics for prosecutors. *APRI-American Prosecutors Research Institute, Special Topics Series*. Alexandria, Virginia, USA, March, p. 40.
85. LAIB L. (1989): Terepjáró járművek mozgékonyasága terepen. *Kandidátusi értekezés*, Gödöllő
86. LAIB L. (2002): Terepen mozgó járművek. *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest

## 8. Mellékletek

87. LAIB L. (2009): Terepen mozgó (off-road) jármű áthaladásának elemzése nagyméretű (makro) terepakadályokon. (Jármű akadályleküzdő képességének modellezése.) *Járművek és Mobil Gépek online folyóirat*, www.vehilces.hu domain név alatt, 2 (5) 425-440. o.
88. LAIB L. (2010): Az off-road járművek mozgásának elemzése puha talajon. *XXXV. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, Tata, 2010. május 13-14. ISBN 978-963-88810-6-9
89. LEE J. H. (2011): Finite element modeling of interfacial forces and contact stresses of pneumatic tire on fresh snow for combined longitudinal and lateral slips. *Journal of Terramechanics*. 48 (3), pp. 171-197.
90. LEE J. H., HUANG D., JOHNSON T. H., MEURER S., REID A. A., MELDRUM B. R. (2012): Slip-based experimental studies of a vehicle interacting with natural snowy terrain. *Journal of Terramechanics*. 49 (5), pp. 233-244.
91. LI W., HUANG Y., CUI Y., DONG S., WANG J. (2010): Trafficability analysis of lunar mare terrain by means of the discrete element method for wheeled rover locomotion. *Journal of Terramechanics*. 47 (3), pp. 161-172.
92. LINARES P., MÉNDEZ V., CATALÁN H. (2010): Design parameters for continuously variable power-split transmissions using planetaries with 3 active shafts. *Journal of Terramechanics*. 47 (5), pp. 323-335.
93. LIU C., SUBRAMANIA R. (2009): Factors Related to Fatal Single-Vehicle Run-Off-Road Crashes. *NHTSA Technical Report*. DOT HS 811 232. DC: National Highway Traffic Safety Administration, Washington, pp. 1-23.
94. LIU J., KUSHWAHA R. L. (2012): Effect of travel speed and vertical load on the subsoil force and displacement under a smooth steel roller. *Journal of Terramechanics*. 49 (5), pp. 263-270.
95. LIU K., AYERS P., HOWARD H., ANDERSON A. (2010a): Influence of soil and vehicle parameters on soil rut formation. *Journal of Terramechanics*. 47 (3), pp. 143-150.
96. LIU K., AYERS P., HOWARD H., ANDERSON A. (2010b): Lateral slide sinkage tests for a tire and a track shoe. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 407-414.
97. LYASKO M. I. (2010a): Multi-pass effect on off-road vehicle tractive performance. *Journal of Terramechanics*. 47 (5), pp. 275-294.
98. LYASKO M. I. (2010b): How to calculate the effect of soil conditions on tractive performance. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 423-445.



## 8. Mellékletek

99. M. CSIZMADIA B., NÁNDORI E. (2001): Mechanika Mérnököknek - Mozgástan. *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest, ISBN 963 19 2353 3, ISSN 1416-535X
100. MCLAUGHLIN S. B., HANKEY J. M., KLAUER S. G., DINGUS T. A. (2009): Contributing Factors to Run-Off-Road Crashes and Near-Crashes. *NHTSA Final Report*. DOT HS 811 079. DC: National Highway Traffic Safety Administration, Washington, p. 25.
101. MEHTA C. R., TEWARI V. K. (2010): Damping characteristics of seat cushion materials for tractor ride comfort. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 401-406.
102. MELEGH G. (1998...2002): Gépjárműszakértői ismeretek, a baleseti számítások felépítése. *Jegyzet, Gépjárművek Tanszék*, Budapest
103. MENYHÁRD M. (2010): Járművek ütközés számításánál alkalmazható súrlódási tényező meghatározása, koptatási kísérletekkel. *XXXIV. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, november 4-5., Tata. 44 o. ISBN 978-963-88810-7-6
104. MEIRION-GRIFFITH G., SPENKO M. (2011): A modified pressure-sinkage model for small, rigid wheels on deformable terrains. *Journal of Terramechanics*. 48 (2), pp. 149-155.
105. MEIRION-GRIFFITH G., SPENKO M. (2013): A pressure-sinkage model for small-diameter wheels on compactive, deformable terrain. *Journal of Terramechanics*. 50 (1), pp. 37-44.
106. MEZEI T. (2009): Az off road járművek közlekedésbiztonsági szempontú konstrukció analízise. *Járművek és Mobil Gépek online folyóirat*, www.vehilces.hu domain név alatt, 2 (5) 441-450. o.
107. MOHSENIMANESH A., WARD S. M. (2010): Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil-tyre contact pressures. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 415-421.
108. MORIN M. A. (1840): Memoir sur le tirage des voiture. *Comptes Rendus de l'Academia des Sciences*, Paris
109. MUMFORD D., KING D., LAWRENCE J., SAVINKOFF M., SHUMBORSKI, W. (1997): Inverted vehicle drag tests: Assessing the effect of speed on deceleration rates. *Accident Investigation Quarterly*, 13, (Winter), pp. 28-35.
110. MURPHY N., AHLVIN R. (1975): AMM-75 Ground Mobility Model. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> ISTVS Conference*, pp. 22-34.

## 8. Mellékletek

111. NAKASHIMA H., FUJII H., OIDA A., MOMOZU M., KANAMORI H., AOKI S., YOKOYAMA T., SHIMIZU H., MIYASAKA J., OHDOI K. (2010): Discrete element method analysis of single wheel performance for a small lunar rover on sloped terrain. *Journal of Terramechanics*. 47 (5), pp. 307-321.
112. NAKASHIMA H., SHIOJI Y., KOBAYASHI T., AOKI S., SHIMIZU H., MIYASAKA J., OHDOI K. (2011): Determining the angle of repose of sand under low-gravity conditions using discrete element method. *Journal of Terramechanics*. 48 (1), pp. 17-26.
113. NEUMAN T. R., PFEFER R., SLACK K. L., HARDY K. K., COUNCIL F., MCGEE H., PROTHE L., ECCLES K. (2003): National cooperative highway research program report. *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 6: A Guide for Addressing Run-Off-Road Collisions*. Transportation Research Board, Washington D. C., USA, p. 108.
114. NGUYEN V. N., INABA S. (2011): Effects of tire inflation pressure and tractor velocity on dynamic wheel load and rear axle vibrations. *Journal of Terramechanics*. 48 (1), pp. 3-16.
115. NGWANGWA H. M., HEYNS P. S., LABUSCHAGNE F. J. J., KULULANGA G. K. (2010): Reconstruction of road defects and road roughness classification using vehicle responses with artificial neural networks simulation. *Journal of Terramechanics*. 47 (2), pp. 97-111.
116. NIXON W. A. (2001): Use of abrasives in winter maintenance at the county level. *Transportation Research Record* 1741, pp. 42-46.
117. OMELJANOV A. E. (1948): Légtömlős kerekek mezőgazdasági gépeken való alkalmazásáról. *Mezőgazdasági Gép*
118. ORAVEC H. A., ZENG X., ASNANI V. M. (2010): Design and characterization of GRC-1: A soil for lunar terramechanics testing in Earth-ambient conditions. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 361-377.
119. PENG X. H., HORN R., ZHANG B., ZHAO Q. G. (2004): Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted ultisols. *Soil Tillage Research*, 76 (2), pp. 125-137.
120. PLACKETT C. W. (1985): A review of force prediction model of an off-road wheel. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 31 (1), pp. 1-29.
121. POPP K., SCHIEHLEN W. (2010): Ground Vehicle Dynamics. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, ISBN 978-3-540-24038-9

## 8. Mellékletek

122. RAHMAN A., YAHYA A., ZOHADIE M., AHMAD D., ISHAK W., KHEIRALLA A. F. (2004): Mechanical properties in relation to vehicle mobility of Sepang peat terrain in Malaysia. *Journal of Terramechanics*, 41 (2), pp. 25-40.
123. RAJARAM G., ERBACH D. C. (1999): Effect of wetting and drying on soil physical properties. *Journal of Terramechanics*, 36 (1), pp. 39-49.
124. RAJKAI K., VÁRALLYAY GY., PACSEPSZKIJ J. A., SCSEBBAKOV R. A. (1981): pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan*, 30, 409-438. o.
125. RAJKAI K. (1983): Talajfizikai tulajdonságok ökológiai célú meghatározása és alkalmazása. *Kandidátusi értekezés*. Budapest
126. RAJKAI K. (1988): A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*, 37, 15-30. o.
127. RAPER R. L. (2005): Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42 (3), pp. 259-280.
128. REBATI J., LOGHAVI M. (2006): Investigation of rolling resistance prediction models for pneumatic tire of agricultural vehicles. *Iran Agricultural Research* 25 (1), pp. 77-88.
129. RICHMOND P. W., SHOOP S. A., BLAISDELL G. L. (1995): Cold regions mobility models. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, February, p. 78.
130. RIDELLA S. A., RUPP J. D., POLAND K. (2012): Age-related differences in AIS 3+ crash injury risk, types, causation and mechanisms. *Proceedings of the 2012 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Injury*. September 12-14, Dublin, Ireland, pp. 43-60.
131. RINGDAHL O., HELLSTRÖM T., WÄSTERLUND I., LINDROOS O. (2012): Estimating wheel slip for a forest machine using RTK-DGPS. *Journal of Terramechanics*. 49 (5), pp. 271-279.
132. ROE P. G. (1999): Influence of speed, texture and aggregate polishing on skidding resistance. *TRL Annual Research Review*, pp. 32-43.
133. RULA A., NUTTALL C. (1971): An analysis of ground mobility models. *Waterways Exp. Station Technical Report*, Vicksburg, USA
134. SAARILAHTI M. (2002): Soil interaction model - Evaluation of the WES-method in assessing the trafficability of terrain and the mobility of forest tractors. *Appendix Report No. 4., Part 3., Helsinki, Finland*, p. 15.

## 8. Mellékletek

135. SAE (1967): Off-road vehicle mobility evaluation. *SAE Recommended Practice Handbook Supplement, SAE J939*. Warrendale, Pa.: SAE
136. SÁNCHEZ-GIRÓN V., ANDREU E., HERNANZ J. L. (1998): Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests. *Soil Tillage Research*, 48 (2), pp. 37-50.
137. SANDU C., WORLEY M. E., MORGAN J. P. (2010): Experimental study on the contact patch pressure and sinkage of a lightweight vehicle on sand. *Journal of Terramechanics*. 47 (5), pp. 343-359.
138. SAYERS M. W., KARAMIHAS S. M. (1998): The little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles. *The Regent of the University of Michigan*
139. SCHMIDT D. N., NAGEL D. A. (1971): Pedestrian impact case study. *Proceedings of the 15th Conference of the American Association for Automotive Medicine*, Colorado Springs, Colorado, USA, October 20-23., p. 11.
140. SCHNEIDER L. W., RUPP J. D., SCARBORO M., PINTAR F., ARBOGAST K. B., RUDD R. W., SOCHOR M. R., STITZEL J., SHERWOOD C., MACWILLIAMS J. B., HALLOWAY D., RIDELLA S., EPPINGER R. (2011): BioTab: a new method for analyzing and documenting injury causation in motor-vehicle crashes. *Traffic Inj Prev*. June, 12 (3), pp. 256-265.
141. SCHUCHMANN G., KISGYÖRGY L. (2001): Közlekedéstervezés – Utak. *Egyetemi jegyzet*. Azonosító: 95037, Műegyetemi kiadó, Budapest, 73-80. o.
142. SHARMA D., STERN S., BROPHY J., CHOI E. (2007): An overview of NHTSA's crash reconstruction software WinSMASH. *Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. June 18-21, Lyon, France Paper Number 07-0211, p. 13.
143. SHOOP S. A. (1993): Terrain Characterization for Trafficability. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, June, p. 30.
144. SHOOP S. A. (2001): Finite Element Modeling of Tire-Terrain Interaction. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, November, p. 69.
145. SHOOP S., AFFLECK R., COLLINS C., LARSEN G., BARNA L., SULLIVAN P. (2005): Maneuver analysis methodology to predict vehicle impact on training lands. *Journal of Terramechanics*, 42 (3), pp. 281-303.

## 8. Mellékletek

146. SITKEI GY. (1981): Mezőgazdasági anyagok mechanikája. *Akadémiai Kiadó*, Budapest
147. SITKEI GY. (1986): Mezőgazdasági és erdészeti járművek modellezése. *Akadémiai Kiadó*, Budapest
148. SITKEI GY. (1991): Compaction of agricultural soils with viscoelastic behavior. *Proceedings of 5<sup>th</sup> European ISTVS Conference*, pp. 257-264.
149. SMERDA T., CUPERA J. (2010): Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. *Journal of Terramechanics*. 47 (6), pp. 395-400.
150. STEWART J., TONINI A., IGUALADA F., MUGAMBI F. (2009): Terrain analysis support: mobility modeling for peace-keeping operations. *ESRI International User Conference*, July 13-17, San Diego, CA, USA. Presentation.
151. SULLIVAN P. M., ANDERSON A. B. (2000): A methodology for estimating army training and testing area carrying capacity (ATTACC) vehicle severity factors and local condition factors. *US Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical report: ERDC-TR-00-2*
152. SUVINEN A., SAARILAHTI M., TOKOLA T. (2003): Terrain mobility model and determination of optimal off-road route. *Proceeding of: ScanGIS'2003 - The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science*, 4-6 June, Espoo, Finland, p. 9.
153. SZAAKJAN SZ. (1965): O zakonomernosztyi szoprotivlenija pocsvi bdavlibaniju. *Szbornyik trudov po zeml. mec.* III.
154. TIWARI V. K., PANDEY K. P., PRANAV P. K. (2010): A review on traction prediction equations. *Journal of Terramechanics*. 47 (3), pp. 191-199.
155. TSUJI T., NAKAGAWA Y., MATSUMOTO N., KADONO Y., TAKAYAMA T., TANAKA T. (2012): 3-D DEM simulation of cohesive soil-pushing behavior by bulldozer blade. *Journal of Terramechanics*. 49 (1), pp. 37-47.
156. U.S. ARMY (1968): Planning and design of roads, airbases, and heliports in the theater of operation. *Soils Trafficability, Department of the Army Tech. Manual TM 5-330 and Air Force Manual AFM 86-3., Vol.II.*
157. VAN ES G. W. H. (1999): Method for Predicting the Rolling Resistance of Aircraft Tires in Dry Snow. *AIAA Journal of Aircraft*, 36 (5) September-October, pp. 762-768.

## 8. Mellékletek

158. VÁRALLYAY GY. (1973): A talajok nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. *Agrokémia és Talajtan*, 22, 1-22. o.
159. VÁRALLYAY GY., RAJKAI K. (1989): Model for the estimation of water (and solute) transport from the groundwater to overlying soil horizons. *Agrokémia és Talajtan*, 38, pp. 641-656.
160. VASIL'EV A. V., DOKYCHAEVA E. N., UTKIN-LUBOVTSO O. L. (1969): Effect of tracked tractor design parameters on tractive performance. *MashinostROEnie*, Moscow, p. 14.
161. VINCZE-PAP S. (2010): Járműipari valós vizsgálatok és virtuális vizsgálatok alapjai, feltétel rendszere autóbuszos példákön keresztül. *XXXV. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia*, május 13-14., Tata. 29 o., ISBN 978-963-88810-6-9
162. WANG Q., GABLER H. C. (2007): Accuracy of vehicle frontal stiffness estimates for crash reconstruction. *Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. June 18-21, Lyon, France., Paper Number 07-0513, p. 13.
163. WEIK A. (2002): Verzögerungswerte/Erkennbarkeit von ABS-Bremsspuren auf stark laubbedeckter nasser Asphaltfahrbahn. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, pp. 279-281.
164. WESSON K. D., PARKER M. W., COUTERMARSH B. A., SHOOP S. A., STANLEY J. M. (2007): Instrumenting an all-terrain vehicle for off-road mobility analysis. *CRREL Report, US Army Corp of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, January, p. 57.
165. WONG J. Y. (2008): Theory of Ground Vehicles (4th edition). *John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, New Jersey, USA, ISBN-10: 0-470-17038-7
166. WONG J. Y. (2012): Predicting the performances of rigid rover wheels on extraterrestrial surfaces based on test results obtained on earth. *Journal of Terramechanics*. 49 (1), pp. 49-61.
167. XU H. G., REN Y., WANG L. F. (2003): Determination on mechanics parameters of colliding on roadway for throwing object of traffic accident. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 20 (2), pp. 100-103.
168. 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet  
[http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=97500001.KPM](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=97500001.KPM)
169. EK-Szerződés 71. cikke (Európai Közösség Szerződés)  
[http://circa.europa.eu/irc/opoce/fact\\_sheets/info/data/policies/transport/article\\_72\\_65\\_hu.htm](http://circa.europa.eu/irc/opoce/fact_sheets/info/data/policies/transport/article_72_65_hu.htm)

**M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó 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. – Magdics, G. (2013): Investigation of friction coefficient between vehicle body and soil. Hungarian Agricultural Engineering. Vol. 25., pp. 51-53. HU ISSN 0864-7410
5. 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:**

6. Máthé, L. (2011): Terepre futó jármű menetellenállásainak elemzése különböző talajfelszínen. GÉP, LXII. évf., 6. sz., 27-35. o., ISSN 0016-8572
7. Máthé, L. (2011): Terepen bekövetkező baleset elemzése a talajparaméterek figyelembevételével. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (<http://on-and-off-road-vehicles.hu>), III. évf., 1. sz., 137-151. o., HU ISSN 2060-4408
8. Máthé, L. (2012): Terepre futó jármű menetellenállásai. Mezőgazdasági Technika, LIII. évf. Január, 2-5. o., HU ISSN 0026 1890
9. Máthé, L. (2012): Mezőgazdasági terület talajparamétereinek vizsgálata. Mezőgazdasági Technika, LIII. évf. November, 2-4. o., HU ISSN 0026 1890
10. Máthé, L. (2013): Vályogtalaj ülepedettségének és mechanika tulajdonságainak vizsgálata. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (<http://on-and-off-road-vehicles.hu>), IV. évf., 1. sz., 9-16. o., HU ISSN 2060-4408

**Nemzetközi konferencia kiadvány:**

11. **Máthé, L.** – Kiss, P. (2009): Change of soil-mechanical parameters in loam soil. CD-ROM Proceedings of the 11<sup>th</sup> European ISTVS Conference, Bremen, Germany, October 5-8, 2009, Paper No: P-23, p. 6.
12. **Máthé, L.** – Pillinger, Gy. – Kiss, P. (2010): Effects of varying moisture content and settlement on internal friction, load capacity and cohesion in loam soil. CD-ROM Proceedings of the 33<sup>rd</sup> FISITA World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 30 May – 4 June, 2010, Paper No: FISITA2010-SC-O-17, p. 5., ISBN 978-963-9058-29-3
13. **Máthé, L.** – Laib, L (2011): Deremination of vehicle speed from terrain tracks in forensic investigation. CD-ROM Proceedings of the 17<sup>th</sup> International ISTVS Conference, Blacksburg, Virginia, USA, September 18-22, 2011, Paper No: 614, p. 10.
14. Laib, L. – **Máthé, L.** – Kiss, P. (2011): Computation of run-off-road vehicle velocity by simulation. CD-ROM Proceedings of the 17<sup>th</sup> International ISTVS Conference, Blacksburg, Virginia, USA, September 18-22, 2011, Paper No: 613, p. 6.
15. **Máthé, L.** (2012): Examination of rolling losses on loamy sand. USB Stick Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, Spain, July 8-12, 2012, Paper No: P0412, p. 6., ISBN-10 84-615-9928-4, ISBN-13 978-84-615-9928-8
16. **Máthé, L.** – Magdics, G. (2013): Investigation of friction coefficient between vehicle body and soil. 3<sup>rd</sup> SYNERGY International Conference (Engineering, Agriculture, Waste Management and Green Industry Innovation), Gödöllő, Hungary, October 13-19, 2013, Paper No: N07-5-102, p. 4.

**Magyar nyelvű konferencia kiadvány:**

17. **Máthé, L.** – Pillinger, Gy. – Kiss, P. (2010): Vályogtalaj mechanikai jellemzőinek vizsgálata a nedvességtartalom és ülepedettség függvényében. XV. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszakának konferencia kiadványa, Kolozsvár, Románia, 2010. március 25-26., 201-204. o., ISSN 2067-6 808
18. **Máthé, L.** – Laib, L. – Kiss, P. (2010): Terepen bekövetkező balesetek rendszerezése és azokat befolyásoló tényezők. XXXV. Gépjármű Szakértői



## 8. Mellékletek

- Szeminárium és Jármuakadémia konferencia kiadványa (CD-ROM), Tata, 2010. május 13-14., 13 o., ISBN 978-963-88810-6-9
19. **Máthé, L.** – Laib, L. – Kiss, P. – Pillinger, Gy. (2010): A közúti balesetek következtében terepre behatoló jármű sebességének meghatározása szimulációval. IFFK – Konferencia kiadványa (CD-ROM), Budapest, 2010. szeptember 2-4., 10 o., ISBN 978-963-88875-0-4
20. **Máthé, L.** – Laib, L. – Pillinger, Gy. (2010): Közúti baleset után terepre behatoló jármű sebességének meghatározásához szükséges talaj adatbázis bemutatása. XXXVI. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Jármuakadémia konferencia kiadványa (CD-ROM), Tata, 2010. november 4-5., 20 o., ISBN 978-963-88810-7-6
21. Pillinger, Gy. – Laib, L. – **Máthé, L.** (2010): Közúti baleset után terepre behatoló jármű sebességének meghatározásához szükséges terepprofil adatbázis bemutatása. XXXVI. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Jármuakadémia konferencia kiadványa (CD-ROM), Tata, 2010. november 4-5., 10 o. ISBN 978-963-88810-7-6
22. **Máthé, L.** (2010): Járműmozgás vizsgálata terepen bekövetkező baleset után. A Gépipari Tudományos Egyesület Mezőgépipari Szakosztály Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő, 2010. november 26., 13-26. o., ISBN 978-963-269-223-4
23. Laib, L. – **Máthé, L.** – Pillinger, Gy. (2011): Közúti balesete után terepre behatoló jármű sebességének meghatározása szimulációval, a terepre érkezés pillanatában. XXXVII. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Jármuakadémia konferencia kiadványa (CD-ROM), Tata, 2011. szeptember 22-23., 14 o.
24. **Máthé, L.** (2012): Csúszási tényező meghatározása terepen. XVII. Fialatal Műszakiak Tudományos Ülészakának konferencia kiadványa, Kolozsvár, Románia, 2012. március 22-23, 243-246. o., ISSN 2067-6 808
- Nemzetközi konferencia abstract:**
25. **Máthé, L.** – Kiss, P. (2009): Examination of soil-mechanical parameters in the aspect of land locomotion. 15<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 5-6, 2009, p. 22.

## 8. Mellékletek

26. **Máthé, L.** – Laib, L. (2010): Examination of the run-off-road accidents and vehicle behavior on terrain. 16<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 11-12, 2010, p. 21.
27. **Máthé, L.** – Pillinger, Gy. (2011): Vehicle speed determination approach based on tracks on terrain for criminal thesis. 2<sup>nd</sup> International Conference in Agricultural Engineering (Synergy on the Technical Development of Agriculture and Food Industry), Gödöllő, Hungary, October 9-15, 2011, p. 106. ISBN 978-963-269-249-4
28. **Máthé, L.** (2011): Field measurements for determination of vehicle speed in case of run-off accidents. 17<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, December 1-2, 2011, p. 10. ISBN 978-963-269-264-7
29. **Máthé, L.** (2012): Examination of bulldozing-effect on loamy sand. 18<sup>th</sup> Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 22-23, 2012, p. 18. ISBN 978-963-269-313-2

**Magyar nyelvű abstract:**

30. **Máthé, L.** – Laib, L. (2010): Baleset esetén a terepre behatoló gépjármű mozgásának elemzése a talajmechanikai paraméterek ismeretében. XXXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Kiadványa, Gödöllő, 2010. február 2., 36. o., ISBN 978-963-269-165-7

**Egyéb:**

31. **Máthé, L.** – Pillinger, Gy. (2010): Vályogtalaj ülepedettségének és mechanika tulajdonságainak vizsgálata a terepjárás szempontjából. Gépipari Tudományos Egyesület Mezőgépipari Szakosztály, előadás, Budapest, 2010. április 8.

**Hivatkozások**

**Máthé, L.** – Pillinger, Gy. – Kiss, P. (2010): Effects of varying moisture content and settlement on internal friction, load capacity and cohesion in loam soil. CD-ROM Proceedings of the 33<sup>rd</sup> FISITA World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 30 May – 4 June, 2010, Paper No: FISITA2010-SC-O-17, p. 5., ISBN 978-963-9058-29-3

1. *Gurmai, L. (2011): Szállítóköcsik tesztelése és validációja a terepviszonyok figyelembevételével. A Gépipari Tudományos Egyesület Mezőgépipari*

8. Mellékletek

---

*Szakosztály Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő, 2010. november 26., 45-54. o., ISBN 978-963-269-223-4*

2. Gurmai, L. (2011): *Szállítókoszlik tesztelése és validációja a terepviszonyok figyelembevételével. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat nyomtatásban megjelent különszáma, 55-65. o., ISBN 978-963-269-227-2*

**Máthé, L.** – Pillinger, Gy. – Kiss, P. (2010): Vályogtalaj mechanikai jellemzőinek vizsgálata a nedvességtartalom és ülepedettség függvényében. XV. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszakának konferencia kiadványa, Kolozsvár, Románia, 2010. március 25-26., 201-204. o., ISSN 2067-6 808

3. Szalay, D. K. – Tolner, I. T. – Deákvári, J. – Kovács, L. – Kardeván, P. – Fenyvesi, L. (2011): *A hiperspektrális méréstechnológia: A terepi és laboratóriumi mérések alkalmazása és jelentősége. A Gépipari Tudományos Egyesület Mezőgépipari Szakosztály Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő, 2010. november 26., 37-45. o., ISBN 978-963-269-223-4*



## 8. Mellékletek

**3: Mérési adatok****1. Barometrikus adatok**

A Meteorológiai Szolgálatól bekért barometrikus adatok minden mérési napon rögzítésre kerültek. Példaként közlöm a 2010.07.28-án feljegyzett adatokat.

## 1.1. Táblázat: 2010.07.28-ai mérési nap

amsz.hu	2010-07-28	Gödöllő			
Időpont	Hőmérséklet	Harmatpont	Páratartalom	Légnyomás	Szélirány
	°C	°C	%	hPa	°
2010-07-28 07:59	15,9	13,4	85	1012,2	270
2010-07-28 08:17	16,2	13,7	85	1012,1	225
2010-07-28 08:32	16,2	13,5	84	1011,9	292
2010-07-28 08:50	16,5	13,8	84	1011,9	248
2010-07-28 09:08	16,9	13,8	82	1011,9	270
2010-07-28 09:23	17,3	14	81	1011,8	248
2010-07-28 09:41	17,8	14,5	81	1011,8	270
2010-07-28 09:59	18,2	14,5	79	1011,9	292
2010-07-28 10:14	18,9	14,8	77	1011,9	248
2010-07-28 10:32	19,1	14,4	74	1011,9	315
2010-07-28 10:47	19,2	14,5	74	1011,8	270
2010-07-28 11:05	20,1	14,9	72	1011,7	292
2010-07-28 11:20	20,5	14,8	70	1011,6	248
2010-07-28 11:38	20,8	14,7	68	1011,6	292
2010-07-28 11:56	21,7	15,1	66	1011,7	315
2010-07-28 12:14	21,1	14,3	65	1011,7	248
2010-07-28 12:29	21,3	14,2	64	1011,8	270
2010-07-28 12:47	21,1	14,3	65	1011,7	225
2010-07-28 13:05	21,8	14,4	63	1011,8	270
2010-07-28 14:14	21,8	13,9	61	1011,9	315
2010-07-28 14:32	21,9	14	61	1011,8	248
2010-07-28 14:47	21,9	14	61	1011,8	270
2010-07-28 15:05	22,2	14,6	62	1011,6	270
2010-07-28 15:23	22,4	14,8	62	1011,3	270
2010-07-28 15:38	22,5	14,9	62	1011,1	270
2010-07-28 15:56	20,9	14,8	68	1011,4	270
2010-07-28 16:14	19,9	15,3	75	1011,2	270
2010-07-28 16:29	19,4	15,5	78	1011,5	202
2010-07-28 16:47	18,1	14,6	80	1011,8	270
2010-07-28 17:02	17,9	15	83	1011,5	270
2010-07-28 17:20	18,4	15,5	83	1011,3	270

## 2. Talajtani laboratóriumban készült mérések eredményei

A 2.1. táblázat a hántott területen vett talajminták laborvizsgálati eredményeit mutatja. A vizsgálatok a Szent István Egyetem Talajtani Intézetében kerültek elvégzésre.

2.1. táblázat: Hántott területen vett talajminták laborvizsgálati eredményei

Minta jele		Ts [g/cm <sup>3</sup> ]	Porozitás [%]	Nedvességtartalom	
				Tömeg%	Térfogat%
H 1,5	1	1,70	35	9,07	16,9
	2	1,74	33	5,89	11,5
	3	1,65	37	8,59	15,5
	4	1,61	38	9,29	16,5
	5	1,77	32	9,27	18,1
	6	1,69	35	8,88	16,5
H 1,8	1	1,62	38	10,0	18,1
	2	1,66	36	9,64	17,7
	3	1,52	42	9,41	15,7
	4	1,61	38	10,3	18,5
	5	1,66	36	9,44	17,3
	6	1,67	36	10,0	18,6
H 2,1	1	1,70	35	10,0	18,9
	2	1,58	39	10,3	19,1
	3	1,54	41	6,95	11,5
	4	1,66	36	10,0	18,4
	5	1,74	33	10,2	19,6
	6	1,67	36	12,9	18,0
H 2,4	1	1,58	39	8,80	15,3
	2	1,56	40	12,5	13,9
	3	1,58	39	11,1	20,8
	4	1,57	40	9,95	17,2
	5	1,64	37	9,31	16,9
	6	1,53	41	8,32	13,9

Ts: Talaj térfogattömege g/cm<sup>3</sup> –ben.

H 1,5: Tárcsázott (hántott) területen történt a mintavétel, azon a mérőterületen, ahol a vontatott jármű abroncsleányomása 1,5 bar volt. A többi jelölés hasonlóan értelmezendő.

## 8. Mellékletek

A 2.2. táblázat a kultivátorozott területen vett talajminták laborvizsgálati eredményeit mutatja. A vizsgálatok a Szent István Egyetem Talajtani Intézetében kerültek elvégzésre

2.2. táblázat: Kultivátorozott területen vett talajminták laborvizsgálati eredményei

Minta jele		Ts [g/cm <sup>3</sup> ]	Porozitás [%]	Nedvességtartalom	
				Tömeg%	Térfogat%
K 1,5	1	1,36	48	12,4	19,2
	2	1,55	40	12,9	22,3
	3	1,61	38	10,6	19,2
	4	1,58	39	12,6	22,7
	5	1,40	46	11,7	18,5
	6	1,65	37	13,7	20,3
K 1,8	1	1,37	47	10,9	21,2
	2	1,52	42	11,0	18,7
	3	1,43	45	10,3	16,5
	4	1,62	38	14,6	26,1
	5	1,59	39	10,7	19,0
	6	1,42	45	9,77	15,4
K 2,1	1	1,56	40	9,62	16,6
	2	1,58	39	10,2	18,0
	3	1,63	37	9,86	17,9
	4	1,62	38	10,0	18,0
	5	1,57	40	13,3	18,3
	6	1,50	42	10,9	18,2
K 2,4	1	1,52	42	9,97	16,8
	2	1,47	44	9,76	16,0
	3	1,47	44	10,3	17,0
	4	1,47	44	12,0	20,0
	5	1,51	42	10,3	17,3
	6	1,53	41	9,10	15,4

Ts: Talaj térfogattömege g/cm<sup>3</sup> –ben.

K 1,5: Kultivált területen történt a mintavétel, azon a mérőterületen, ahol a vontatott jármű abroncslégnyomása 1,5 bar volt. A többi jelölés hasonlóan értelmezendő.

## 8. Mellékletek

**3. A talaj hordképességének vizsgálata során mért kúpos index értékek**

Jelölések értelmezése: **T15JE**: Tarlón történt mérés, a vontatott jármű jobb nyomvonalában, abroncsleányomása 1,5 bar volt. A penetrálási mélység cm-ben, a penetrálási nyomás MPa-ban van kifejezve. A többi táblázatnál az értelmezés ehhez hasonló.

T15JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,3	0,38	0,03	0,03	0,68	0,33	0,03	0,76	1,1	0,04	0,37
2	0,3	0,4	0,03	0,03	0,68	0,47	0,3	0,91	1,1	0,04	0,43
3	0,38	0,41	0,03	0,48	0,74	0,47	0,86	0,76	0,98	0,45	0,56
4	0,84	0,41	0,03	1,2	0,76	0,47	0,93	0,76	0,98	0,45	0,68
5	0,9	0,39	0,3	1,26	1,06	0,47	0,94	0,76	0,98	0,6	0,77
6	0,99	0,41	0,3	1,26	1,06	0,48	0,91	0,76	1,09	0,6	0,79
7	1,04	0,41	0,3	1,26	1,06	0,41	0,85	0,76	1,09	0,6	0,78
8	1,43	0,46	0,3	1,26	1,06	0,41	0,78	0,76	1,15	0,65	0,83
9	1,43	0,46	0,42	1,26	1,06	0,53	0,81	0,76	1,19	0,65	0,86
10	1,6	0,46	0,47	1,26	1,06	0,57	0,84	0,76	1,31	1,08	0,94
11	1,6	0,53	0,87	1,26	1,06	0,57	0,84	0,76	1,52	1,08	1,01
12	1,69	0,53	0,87	1,26	1,06	0,57	0,94	0,87	1,7	1,08	1,06
13	1,69	0,53	0,84	1,26	1,06	0,59	1,08	1,05	1,77	1,01	1,09
14	1,74	0,52	0,84	1,26	1,06	0,59	1,13	1,57	1,98	1,01	1,17
15	1,82	0,52	0,85	1,26	1,29	0,66	1,33	1,57	2,02	1,01	1,23

T15BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen9	Átlag	
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
1	0,72	0,91	0,3	0,03	0,03	0,03	0,33	0,23	0,28	0,32	
2	0,79	0,91	0,37	0,03	0,03	0,03	0,49	0,23	0,28	0,35	
3	0,88	0,91	0,37	0,03	0,03	0,41	0,49	0,33	0,57	0,45	
4	1,15	0,91	0,37	0,03	0,03	0,41	0,49	0,33	0,57	0,48	
5	1,15	0,91	0,37	0,21	0,14	0,41	0,49	0,37	0,57	0,51	
6	1,13	0,91	0,37	0,44	0,14	0,41	0,49	0,37	0,57	0,54	
7	1,13	0,82	0,45	0,41	0,14	0,47	0,6	0,37	0,57	0,55	
8	1,11	0,82	0,45	0,41	0,14	0,52	0,71	0,64	0,57	0,60	
9	1,09	0,82	0,45	0,41	0,27	0,55	0,71	0,64	0,57	0,61	
10	1,32	1,16	0,45	0,41	0,27	0,59	0,71	0,64	0,57	0,68	
11	1,32	1,16	0,44	0,56	0,27	0,65	0,95	0,64	0,57	0,73	
12	1,32	1,16	0,44	0,56	0,49	1,03	0,95	0,72	0,57	0,80	
13	1,32	1,16	0,44	0,56	0,49	1,03		0,82	0,57	0,80	



## 8. Mellékletek

T18JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
2	0,03	0,03	0,03	0,15	0,03	0,45	0,03	0,54	0,03	0,03	0,14
3	0,03	0,72	0,03	0,15	0,03	0,45	0,03	0,63	0,03	0,36	0,25
4	0,03	0,72	0,03	0,15	0,03	0,85	0,03	0,52	0,3	0,72	0,34
5	0,03	0,72	0,14	0,48	0,58	1,14	0,2	0,51	0,3	0,72	0,48
6	0,22	0,69	0,14	0,59	0,58	1,14	0,28	0,51	0,3	0,88	0,53
7	0,61	0,92	0,14	0,59	0,8	1,14	0,47	0,66	0,3	0,88	0,65
8	0,61	0,92	0,14	0,59	0,97	1,14	0,47	0,76	0,56	0,96	0,71
9	0,66	0,92	0,43	0,6	0,97	1,3	0,47	0,79	0,65	1,02	0,78
10	0,76	0,92	0,83	0,6	1,02	1,38	0,47	0,79	0,65	1,41	0,88
11	0,76	0,92	0,83	0,64	1,1	1,38	0,41	0,89	0,65	1,41	0,90
12	0,84	0,92	0,83	0,79	1,1	1,38	0,41	0,89	0,85	1,51	0,95
13	0,84	0,92	1	0,79	1,35	1,41	0,38	0,89	0,85	1,51	0,99
14	1,11	0,92	1,1	0,79		1,41	0,49	1,21	0,98	1,68	1,08
15	1,11	0,92	1,03	0,79		1,41	0,49	1,21	0,98	1,75	1,08

T18BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,13	0,03	0,03	0,04	0,17	0,06	0,03	0,05	0,16	0,32	0,10
2	0,13	0,03	0,03	0,04	0,17	0,06	0,03	0,13	0,37	0,26	0,13
3	0,13	0,03	0,03	0,34	0,17	0,12	0,03	0,13	0,41	0,45	0,18
4	0,15	0,03	0,03	0,34	0,17	0,12	0,17	0,13	0,41	0,45	0,20
5	0,19	0,2	0,03	0,45	0,18	0,12	0,17	0,13	0,51	0,45	0,24
6	0,23	0,19	0,09	0,45	0,18	0,12	0,22	0,17	0,53	0,45	0,26
7	0,97	0,17	0,21	0,45	0,18	0,12	0,22	0,17	0,53	0,38	0,34
8	0,97	0,17	0,21	0,4	0,18	0,17	0,22	0,17	0,53	0,52	0,35
9	1,13	0,14	0,1	0,4	0,33	0,17	0,22	0,16	0,56	0,52	0,37
10	1,13	0,12	0,1	0,4	0,29	0,27	0,22	0,16	0,56	0,52	0,38
11	1,25	0,12	0,1	0,4	0,29	0,27	0,22	0,16	0,56	0,52	0,39
12	1,25	0,1	0,1	0,31	0,29	0,36	0,22	0,16	0,56	0,52	0,39
13	1,25	0,1	0,17	0,31	0,17	0,43	0,22	0,3	0,56	0,52	0,40
14	1,29	0,07	0,19	0,31	0,17	0,43	0,22	0,27	0,56	0,52	0,40
15	1,29	0,12	0,19	0,31	0,1	0,43	0,22	0,41	0,54	0,54	0,42

## 8. Mellékletek

T21JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,33	0,03	0,09	0,03	0,03	0,07
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,33	0,03	0,19	0,03	0,03	0,08
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,3	0,52	0,28	0,23	0,03	0,15
4	0,03	0,03	0,07	0,24	0,13	0,31	0,59	0,34	0,23	0,16	0,21
5	0,18	0,03	0,07	0,24	0,13	0,35	0,59	0,38	0,26	0,2	0,24
6	0,3	0,03	0,07	0,54	0,13	0,35	0,59	0,36	0,2	0,36	0,29
7	0,35	0,03	0,17	0,53	0,13	0,35	0,59	0,33	0,2	1,25	0,39
8	0,39	0,03	0,17	0,53	0,42	0,32	0,59	0,33	0,23	1,27	0,43
9	0,66	0,28	0,7	0,55	0,45	0,29	0,59	0,26	0,23	1,27	0,53
10	0,66	0,28	0,76	0,64	0,45	0,29	0,59	0,26	0,23	1,27	0,54
11	0,73	0,28	0,73	0,69	0,45	0,29	0,54	0,21	0,23	1,31	0,55
12	0,76	0,35	0,92	0,69	0,45	0,29	0,54	0,21	0,23	1,31	0,58
13	0,82	0,35	0,92	0,69	0,51	0,38	0,54	0,18	0,27	1,29	0,60
14	0,82	0,35	0,99	0,69	0,51	0,38	0,4	0,18	0,27	1,18	0,58
15	0,86	0,55	1,15	0,82	0,98	0,38	0,4	0,18	0,27	1,13	0,67

T21BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,14	0,18	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06
2	0,14	0,18	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06
3	0,42	0,12	0,03	0,07	0,03	0,03	0,08	0,03	0,03	0,03	0,09
4	0,51	0,12	0,03	0,07	0,03	0,03	0,32	0,04	0,03	0,03	0,12
5	0,72	0,12	0,03	0,08	0,05	0,03	0,32	0,1	0,03	0,03	0,15
6	0,72	0,12	0,03	0,08	0,07	0,03	0,32	0,1	0,03	0,03	0,15
7	0,82	0,12	0,03	0,08	0,1	0,07	0,32	0,1	0,03	0,03	0,17
8	0,87	0,12	0,03	0,09	0,15	0,07	0,32	0,25	0,03	0,03	0,20
9	0,91	0,12	0,03	0,09	0,13	0,07	0,32	0,96	0,09	0,1	0,28
10	0,93	0,12	0,03	0,09	0,15	0,07	0,32	0,96	0,09	0,1	0,29
11	0,94	0,12	0,03	0,09	0,24	0,07	0,32	0,96	0,09	0,17	0,30
12	0,94	0,12	0,45	0,07	0,24	0,07	0,5	0,97	0,09	0,21	0,37
13	0,81	0,12	0,45	0,07	0,24	0,07	0,5	0,97	0,18	0,38	0,38
14	0,81	0,12	0,36	0,07	0,24	0,07	0,5	0,97	0,18	0,4	0,37
15	0,69	0,12	0,52	0,13	0,2	0,07	0,5	0,97	0,18	0,41	0,38

## 8. Mellékletek

T24JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,68	0,03	0,03	0,03	0,03	0,10
2	0,13	0,03	0,03	0,06	0,03	0,68	0,03	0,07	0,34	0,03	0,14
3	0,51	0,03	0,13	0,41	0,03	0,68	0,03	0,07	0,34	0,03	0,23
4	0,51	0,05	0,13	0,41	0,03	1,04	0,3	0,07	0,56	0,03	0,31
5	0,51	0,2	0,13	0,41	0,49	1,04	0,3	0,07	0,56	0,03	0,37
6	0,51	0,2	0,13	0,41	0,49	1,58	0,3	0,41	0,56	0,03	0,46
7	0,51	0,2	0,18	0,41	0,6	1,58	0,3	0,41	0,56	0,03	0,48
8	0,51	0,26	0,89	0,54	0,93	1,58	0,3	0,41	0,56	0,23	0,62
9	0,51	0,37	0,89	0,54	1,06	1,58	0,3	0,41	0,56	0,23	0,65
10	0,51	0,37	0,94	0,54	1,06	1,58	0,3	0,55	0,56	0,23	0,66
11	0,51	0,43	0,94	0,54	1,15	1,58	0,3	0,55	0,56	0,29	0,69
12	0,51	0,53	0,96	0,58	1,18	1,58	0,3	0,55	0,56	0,29	0,70
13	0,51	0,57	0,93	0,42	1,18	1,58	0,3	0,55	0,56	0,29	0,69
14	0,51	0,6	0,93	0,3	1,05	1,58	0,3	0,55	0,67	0,29	0,68
15	0,58	0,62	0,91	0,45	1,05	1,58	0,3	0,69	1,14	0,33	0,77

T24BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,32	0,03	0,24	0,03	0,35	0,03	0,03	0,03	0,03	0,11
2	0,23	0,32	0,12	0,24	0,03	0,77	0,03	0,03	0,03	0,58	0,24
3	0,23	0,32	0,12	0,24	0,03	0,77	0,03	0,13	0,03	0,58	0,25
4	0,89	1,22	0,31	0,24	0,03	1,71	0,2	0,29	0,03	0,58	0,55
5	0,97	1,22	1,35	0,37	0,03	1,71	0,2	0,46	0,08	0,58	0,70
6	0,97	1,22	1,39	0,37	0,03	1,71	0,34	0,82	0,17	0,73	0,78
7	1,49	1,22	1,39	0,47	0,17	1,71	0,55	0,82	0,78	0,73	0,93
8	1,49	1,22	1,42	0,47	0,17	1,78	0,55	0,82	1,28	0,73	0,99
9	1,49	1,73	1,42	0,47	0,17	1,89	0,55	0,82	1,28	0,64	1,05
10	1,53	1,73	1,42	0,47	0,17	2	0,91	0,82	1,29	1,28	1,16
11	1,5	1,77	1,5	0,47	0,35	2	0,91	0,82	1,29	1,28	1,19
12	1,5	1,77	1,5	0,59	0,73	2	0,96	0,82	1,29	1,28	1,24
13	1,5	1,77	1,5	0,69	0,73	2	1,01	0,82	1,48	1,28	1,28
14	1,48	1,77	1,5	0,82	0,73	2	1,03	0,82	1,48	1,28	1,29

## 8. Mellékletek

H15JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,05	0,03	0,03	0,51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,47	0,12
3	1,97	0,03	0,36	0,73	0,77	0,03	0,03	0,25	0,03	0,69	0,49
4	1,97	0,03	0,58	0,94	0,99	0,69	0,48	0,25	0,03	1,44	0,74
5	1,97	0,22	0,76	1,83	1,32	1,03	0,83	0,74	0,32	2,12	1,11
6	2,4	0,56	1,06	1,96	1,77	1,69	1,17	1,16	0,56	2,48	1,48
7	2,4	0,74	1,4	2,16	1,77	2,19	1,43	1,16	0,56	2,62	1,64
8	2,4	0,95	1,41	2,4	1,89	1,93	1,83	1,32	0,56	2,23	1,69
9	2,4	1,52	1,41	2,67	1,6	2,23	1,97	1,45	1,6		1,87
10	2,4	1,79	1,18	2,67	1,6	2,12	2,12	1,45	2,15		1,94
11	2,4	1,79	1,18	2,91	1,6	2,12	2,25	1,45	2,15		1,98
12	2,4	1,79	1,18	3,04	1,6	1,89	2,35	1,56	2,15		2,00
13	2,4	2,08	1,18	3	1,6	1,89	2,35	1,56	2,15		2,02
14	2,4	2,08	1,18		1,6	1,89	2,38	1,52	2,19		1,91
15	2,8	2,19	1,18		1,6	1,83	2,32	1,52	2,08		1,94

H15BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,12	0,03	0,03	0,16	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
3	0,03	0,03	0,12	0,03	0,03	0,38	0,74	0,03	0,03	0,03	0,15
4	0,03	0,03	0,34	0,03	0,03	0,74	0,74	0,03	0,03	0,19	0,22
5	0,46	0,03	0,46	0,03	0,03	0,74	1	0,03	0,03	1,27	0,41
6	0,98	0,03	0,46	0,03	0,03	0,78	1	0,17	1,38	1,27	0,61
7	1,38	0,26	0,96	0,49	0,03	0,94	1,26	0,35	1,38	1,43	0,85
8	1,7	1,4	1,24	1,18	0,54	1,3	1,42	0,35	1,38	1,43	1,19
9	1,8	1,87	1,43	1,55	0,88	1,48	1,42	0,65	1,38	1,54	1,40
10	1,91	1,99	1,55	1,94	1,17	1,71	1,52	0,91	1,38	1,54	1,56
11	1,99	2,21	1,55	2,04	1,38	1,84	1,52	1,19	1,38	1,54	1,66
12	2,06	2,33	1,46	2,13	1,53	1,84	1,6	1,19	1,38	1,65	1,72
13	2,12	2,33	1,46	2,27	1,53	1,89	1,67	1,31	1,38	1,65	1,76
14	2,12	2,12	1,46	2,35	1,65	1,91	1,67	1,31	1,38	1,8	1,78
15	2,19	2,12	1,2	2,41	1,65	1,91	1,67	1,31	1,38	1,8	1,76

## 8. Mellékletek

H18JE									
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Átlag
[cm]	[MPa]								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03
5	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,34	0,07
6	0,07	0,03	0,12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,6	0,12
7	0,28	0,03	0,24	0,23	0,03	0,03	0,03	0,68	0,19
8	0,47	0,31	0,24	0,23	0,09	0,09	0,12	0,78	0,29
9	0,68	0,7	0,59	0,4	0,56	0,5	0,33	0,85	0,58
10	0,68	0,7	0,72	0,43	0,84	1,7	0,57	0,86	0,81
11	0,89	1,11	0,81	0,43	1,09	1,7	1,08	0,88	1,00
12	1,01	1,11	0,81	0,43	1,25	1,77	1,3	0,88	1,07
13	1,01	1,11	0,93	0,35	1,25	1,83	1,46	0,89	1,10
14	1,07	1,1	0,99	0,35	1,26	1,9	1,46	0,9	1,13
15	1,07	1,1	0,99	0,34	1,26	1,9	1,51	0,9	1,13

H18BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,1	1,67	1,39	0,03	0,03	0,03	1,61	0,03	0,03	0,38	0,53
3	0,33	1,67	1,5	0,03	0,55	0,03	1,91	0,03	0,03	1	0,71
4	0,47	1,67	1,5	0,03	0,55	0,06	1,91	0,1	0,03	1,46	0,78
5	0,6	1,67	1,6	0,03	1,16	0,06	2,04	0,51	0,09	1,67	0,94
6	0,88	1,67	1,76	0,03	1,16	0,23	2,04	1,02	0,29	1,86	1,09
7	0,98	1,67	1,76	0,26	2	0,41	2,17	1,02	0,57	1,88	1,27
8	1,1	1,67	1,88	0,56	2	0,63	2,27	1,21	0,96	1,8	1,41
9	1,24	1,67	2,04	0,74	2	1,09	2,27	1,38	1,29	1,8	1,55
10	1,36	1,67	2,04	0,9	2	1,37	2,31	1,52	1,55	1,89	1,66
11	1,36	1,67	2,31	1,04	2	1,71	2,32	1,52	1,84	1,83	1,76
12	1,49	1,67	2,48	1,16	2	1,89	2,32	1,62	1,84	1,83	1,83
13	1,56	1,67	2,54	1,21	2	2,18	2,32	1,62	1,91	1,81	1,88
14	1,56	1,67	2,54	1,21	2	2,18	2,23	1,73	1,93	1,88	1,89
15	1,64	1,78	2,61	1,32	2	2,27	2,23	1,73	1,93	1,88	1,94

## 8. Mellékletek

H21JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,13	0,03	0,03	0,04
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,41	0,03	0,03	0,07
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,88	0,03	0,03	0,12
4	0,28	0,1	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	1,05	0,21	0,03	0,18
5	0,89	0,1	0,18	0,1	0,06	0,13	0,04	1,27	0,88	0,03	0,37
6	1,42	0,38	0,35	0,27	0,26	0,13	0,04	1,39	1,15	0,09	0,55
7	1,58	0,67	0,35	0,93	0,8	0,27	0,3	1,54	1,28	0,5	0,82
8	1,82	0,95	1,15	1,15	0,8	0,7	0,61	1,54	1,46	0,74	1,09
9	1,85	0,95	1,41	1,44	1,19	0,7	0,83	1,53	1,5	0,89	1,23
10	1,85	1,11	1,79	1,44	1,19	0,96	0,94	1,47	1,5	0,99	1,32
11	1,85	1,23	1,91	1,48	1,19	1,01	1	1,49	1,45	0,99	1,36
12	1,85	1,23	1,91	1,51	1,19	1,01	1,3	1,51	1,45	1,02	1,40
13	1,75	1,23	1,96		1,16	1,01	1,3	1,5	1,31	0,97	1,35
14	1,75	1,28	1,96		1,16	1,08	1,42	1,52	1,31	0,97	1,38
15	1,75	1,28	1,96		1,09	1,22	1,5	1,59	1,21	0,97	1,40

H21BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,2	0,03	0,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,65	0,15
2	0,03	1,29	0,03	0,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,65	0,26
3	0,03	1,29	0,03	1,22	0,03	0,21	0,03	0,33	0,03	1,01	0,42
4	0,03	1,54	0,13	1,66	0,45	1,14	0,38	0,83	0,46	1,62	0,82
5	0,03	1,54	0,13	1,66	0,45	1,71	1,29	1,08	1,2	1,62	1,07
6	0,1	1,54	0,13	1,66	0,99	1,94	1,57	1,25	1,39	1,81	1,24
7	1,33	1,69	0,78	1,66	0,99	2,17	1,92	1,55	1,39	1,96	1,54
8	1,25	1,84	1,09	1,7	1,58	2,31	2,08	1,55	1,62	2,31	1,73
9	1,45	2,48	1,38	1,77	1,58	2,45	2,44	1,81	1,78	2,27	1,94
10	1,77	2,48	1,74	1,77	1,9	2,67	2,6	1,81	1,87	2,62	2,12
11	1,85	2,48	1,9	1,92	2,02	2,71	2,6	1,93	1,9	2,62	2,19
12	2,19	2,48	2,09	2	2,1	2,48	2,67	2,03	1,9	2,62	2,26
13	2,23	2,48	2,21	2,06	2,25		2,71	2,2	1,95	2,65	2,30
14	2,23	2,48	2,21	2,23	2,42		2,71	2,4	1,95	2,65	2,36
15	2,19	2,48	2,27	2,33	2,42		2,71	2,59	2,1	2,71	2,42

## 8. Mellékletek

H24JE										
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Átlag
[cm]	[MPa]									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,04	0,15	0,04	0,03	0,07	0,21	0,03	0,07
3	0,03	0,32	0,16	0,29	0,04	0,03	0,23	0,49	0,04	0,18
4	0,03	0,47	0,16	0,65	0,04	0,07	0,23	0,93	0,04	0,29
5	0,17	0,53	0,42	0,65	0,14	0,07	0,2	1,06	0,08	0,37
6	0,17	0,53	0,42	0,58	0,14	0,07	0,2	1,21	0,39	0,41
7	0,28	0,51	0,39	0,58	0,14	0,24	0,41	1,34	0,65	0,50
8	0,28	0,54	0,39	0,78	0,2	0,67	0,77	1,43	0,88	0,66
9	0,4	0,86	0,42	0,93	0,27	0,91	0,97	1,5	1,06	0,81
10	0,53	1,29	0,53	1,01	0,54	1,14	1,52	1,57	1,24	1,04
11	0,88	1,43	0,66	1,11	0,61	1,28	2,13	1,75	1,38	1,25
12	0,88	1,59	0,72	1,18	1,2	1,37		1,84	1,47	1,28
13	1,1	1,62	0,83	1,27	1,2	1,51		1,91	1,56	1,38
14	1,1	1,64	0,94	1,34	1,34	1,58		1,91	1,56	1,43
15	1,1	1,62	0,94	1,39	1,41	1,63		1,98	1,67	1,47

H24BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,07	0,1	0,03	0,03	1,09	0,04	0,03	0,03	0,15
3	0,03	0,03	0,07	0,35	0,03	0,03	1,09	0,27	0,03	0,03	0,20
4	0,1	0,23	0,18	0,59	0,03	0,03	1,21	0,47	0,03	0,03	0,29
5	0,26	0,47	0,18	0,74	0,03	0,03	1,21	0,77	0,04	0,03	0,38
6	0,49	1,02	0,59	0,84	0,14	0,06	1,41	0,91	0,31	0,1	0,59
7	0,72	1,14	0,81	1,07	0,53	0,35	1,41	0,99	0,75	0,26	0,80
8	0,93	1,47	1	1,07	1,17	0,5	1,41	1,04	0,92	0,45	1,00
9	1,51	1,57	1,23	1,16	1,34	0,62	1,49	1,1	1,09	0,69	1,18
10	1,61	1,65	1,31	1,22	1,58	0,76	1,56	1,28	1,37	0,88	1,32
11	1,61	1,65	1,43	1,29	1,6	0,91	1,72	1,28	1,47	1,05	1,40
12	1,75	1,7	1,51	1,34	1,6	1,05	1,84	1,33	1,53	1,05	1,47
13	1,75	1,69	1,59	1,45	1,6	1,1	1,95	1,56	1,57	1,17	1,54
14		1,65	1,66	1,54	1,66	1,16	2,07	2,04	1,52	1,17	1,61
15		1,66	1,71	1,54	1,66	1,23	2,07	2,04	1,52	1,18	1,62

## 8. Mellékletek

K15JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,28	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06
7	0,12	0,44	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,26	0,03	0,03	0,10
8	0,12	0,57	0,09	0,07	0,03	0,03	0,03	0,35	0,03	0,03	0,14
9	0,11	0,4	0,2	0,04	0,03	0,03	0,03	0,41	0,03	0,03	0,13
10	0,07	0,4	0,54	0,04	0,03	0,03	0,03	0,41	0,03	0,03	0,16
11	0,07	0,4	0,63	0,04	0,03	0,03	0,03	0,51	0,03	0,03	0,18
12	0,7	0,4	0,41	0,03	0,03	0,07	0,03	0,51	0,03	0,03	0,22
13	1,26	0,4	0,41	0,03	0,03	0,46	0,03	0,47	0,03	0,03	0,32
14	1,77	0,85	0,41	0,15	0,31	0,97	0,03	0,47	0,03	0,03	0,50
15	2,02	1,25	0,41	0,74	0,85	1,17	0,03	0,29	0,03	0,03	0,68

K15BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	0,03	0,03	0,04
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,05
8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,23	0,03	0,03	0,05
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03
11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03
12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,14	0,03	0,03	0,03	0,04
14	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,27	0,03	0,03	0,03	0,05
15	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,38	0,03	0,08	0,03	0,07



## 8. Mellékletek

K18JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
7	0,03	0,34	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06
8	0,03	0,46	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07
9	0,03	0,49	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08
10	0,03	0,49	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08
11	0,03	0,49	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08
12	0,08	0,38	0,17	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09
13	0,08	0,38	0,25	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,10
14	0,26	0,49	0,25	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,2	0,15
15	0,26	0,81	0,25	0,29	0,03	0,08	0,03	0,07	0,03	0,32	0,22

K18BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,03	0,1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
7	0,03	0,03	0,1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
8	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
9	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,35	0,07
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,12	0,03	0,03	0,03	0,35	0,07
11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,28	0,03	0,03	0,03	0,57	0,11
12	0,28	0,46	0,03	0,03	0,03	0,43	0,03	0,03	0,03	0,78	0,21
13	0,79	0,46	0,03	0,12	0,03	0,81	0,03	0,36	0,03	0,95	0,36
14	1,06	0,92	0,03	0,34	0,18	1	0,23	0,57	0,51	0,95	0,58
15	1,29	1,1	0,03	0,78	0,42	1,17	0,4	0,57	0,91	1,08	0,78

## 8. Mellékletek

K21JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
8	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,04	0,04
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,18	0,15	0,06
11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,18	0,26	0,07
12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,29	0,26	0,08
13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,73	0,39	0,14
14	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	0,03	0,03	0,14	1,02	0,95	0,24
15	0,03	0,03	0,03	0,46	0,68	0,03	0,03	0,37	1,5	1,22	0,44

K21BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,14	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
6	0,03	0,03	0,03	0,17	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
7	0,03	0,03	0,03	0,17	0,03	0,06	0,16	0,03	0,03	0,03	0,06
8	0,03	0,03	0,03	0,17	0,03	0,06	0,91	0,03	0,03	0,03	0,14
9	0,03	0,03	0,03	0,17	0,03	0,04	1,68	0,03	0,03	0,03	0,21
10	0,03	0,03	0,03	0,17	0,03	0,14	2,28	0,3	0,03	0,03	0,31
11	0,03	0,03	0,03	0,1	0,03	0,2	2,54	0,97	0,03	0,03	0,40
12	0,03	0,03	0,14	0,1	0,03	0,5	2,71	1,52	0,03	0,03	0,51
13	0,03	0,03	0,14	0,1	0,03	1,11	2,81	1,82	0,03	0,06	0,62
14	0,03	0,07	0,14	0,03	0,03	1,55	2,81	2,04	0,03	0,52	0,73
15	0,03	0,52	0,09	0,03	0,2	1,81	2,81	2,6	0,36	0,82	0,93

## 8. Mellékletek

K24JE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,17	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
6	0,03	0,21	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
7	0,03	0,21	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
8	0,08	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
9	0,46	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08
10	0,62	0,13	0,03	0,05	0,03	0,03	0,17	0,03	0,03	0,03	0,12
11	0,78	0,1	0,03	0,05	0,03	0,03	0,58	0,03	0,03	0,1	0,18
12	0,89	0,24	0,03	0,04	0,03	0,03	0,82	0,03	0,03	0,1	0,22
13	0,98	0,43	0,03	0,12	0,03	0,19	1,04	0,03	0,12	0,29	0,33
14	1,05	0,63	0,03	0,41	0,1	0,62	1,22	0,03	0,32	0,29	0,47
15	1,05	0,83	0,03	0,8	0,47	0,78	1,22	0,14	0,69	0,48	0,65

K24BE											
Depth	Pen 1	Pen 2	Pen 3	Pen 4	Pen 5	Pen 6	Pen 7	Pen 8	Pen 9	Pen10	Átlag
[cm]	[MPa]										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	0,04
11	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,23	0,06
12	0,35	0,2	0,03	0,2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,73	0,17
13	1,11	0,41	0,03	0,33	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	1,35	0,34
14	1,5	0,61	0,03	0,69	0,03	0,14	0,14	0,03	0,03	1,7	0,49
15	1,62	0,74	0,31	0,97	0,03	0,28	0,27	0,03	0,03	1,81	0,61

## 8. Mellékletek

## 4. A gumiabroncs felfekvési felületei a relatív talajbesüllyedés ismeretében

A számítások során eltérő gumiabroncs légnyomást és egy kerék terhelést vettem figyelembe. A táblázatban a Q az egy kerékre eső terhelés nagysága, z/D a relatív talajbesüllyedés,  $A_{abr}(D)$  diagonál és  $A_{abr}(R)$  radiál abroncs felülete.

Q1	Q2	Q3	Q4	z/D	$A_{abr}(D) 1$	$A_{abr}(R) 1$	$A_{abr}(D) 2$	$A_{abr}(R) 2$	$A_{abr}(D) 3$	$A_{abr}(R) 3$	$A_{abr}(D) 4$	$A_{abr}(R) 4$
[N]	[N]	[N]	[N]	[-]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]
<b>1,5 bar abroncslégnymás</b>												
2500	4500	6500	8500	0,000	138,9	222,2	250,0	400,0	361,1	577,8	472,2	755,6
2500	4500	6500	8500	0,026	173,4	277,5	312,2	499,5	450,9	721,5	589,7	943,5
2500	4500	6500	8500	0,051	190,3	304,5	342,6	548,1	494,8	791,7	647,1	1035,3
2500	4500	6500	8500	0,077	205,2	328,3	369,3	590,9	533,4	853,5	697,5	1116,1
2500	4500	6500	8500	0,102	219,3	350,8	394,7	631,5	570,1	912,2	745,5	1192,9
2500	4500	6500	8500	0,128	233,2	373,1	419,8	671,6	606,3	970,1	792,9	1268,6
2500	4500	6500	8500	0,153	247,2	395,6	445,0	712,0	642,8	1028,5	840,6	1344,9
2500	4500	6500	8500	0,179	261,5	418,5	470,8	753,2	680,0	1088,0	889,2	1422,8
2500	4500	6500	8500	0,204	276,3	442,1	497,4	795,8	718,4	1149,4	939,4	1503,1
2500	4500	6500	8500	0,230	291,7	466,7	525,0	840,0	758,3	1213,3	991,6	1586,6
2500	4500	6500	8500	0,256	307,7	492,3	553,9	886,2	800,1	1280,1	1046,2	1674,0
2500	4500	6500	8500	0,281	324,6	519,4	584,3	934,9	844,0	1350,4	1103,7	1765,9
2500	4500	6500	8500	0,307	342,5	548,0	616,5	986,4	890,5	1424,8	1164,5	1863,2
2500	4500	6500	8500	0,332	361,5	578,4	650,7	1041,1	939,9	1503,8	1229,1	1966,5
2500	4500	6500	8500	0,358	381,8	610,8	687,2	1099,5	992,6	1588,2	1298,0	2076,8
2500	4500	6500	8500	0,383	403,5	645,6	726,3	1162,1	1049,1	1678,6	1372,0	2195,1
2500	4500	6500	8500	0,409	426,9	683,1	768,5	1229,6	1110,1	1776,1	1451,6	2322,6
2500	4500	6500	8500	0,434	452,3	723,7	814,2	1302,6	1176,0	1881,6	1537,8	2460,6
2500	4500	6500	8500	0,460	479,9	767,8	863,8	1382,1	1247,7	1996,3	1631,6	2610,6
2500	4500	6500	8500	0,486	510,0	816,1	918,1	1468,9	1326,1	2121,7	1734,1	2774,6
2500	4500	6500	8500	0,511	543,2	869,1	977,7	1564,3	1412,2	2259,6	1846,8	2954,8
<b>1,8 bar abroncslégnymás</b>												
2500	4500	6500	8500	0,000	115,7	185,2	208,3	333,3	300,9	481,5	393,5	629,6
2500	4500	6500	8500	0,026	144,5	231,3	260,2	416,3	375,8	601,3	491,4	786,3
2500	4500	6500	8500	0,051	158,6	253,8	285,5	456,8	412,4	659,8	539,2	862,8
2500	4500	6500	8500	0,077	171,0	273,5	307,7	492,4	444,5	711,2	581,3	930,1
2500	4500	6500	8500	0,102	182,7	292,4	328,9	526,3	475,1	760,2	621,3	994,1
2500	4500	6500	8500	0,128	194,3	310,9	349,8	559,7	505,3	808,4	660,7	1057,2
2500	4500	6500	8500	0,153	206,0	329,6	370,8	593,3	535,7	857,0	700,5	1120,8
2500	4500	6500	8500	0,179	218,0	348,7	392,3	627,7	566,7	906,7	741,0	1185,7
2500	4500	6500	8500	0,204	230,3	368,4	414,5	663,1	598,7	957,9	782,9	1252,6
2500	4500	6500	8500	0,230	243,0	388,9	437,5	700,0	631,9	1011,1	826,4	1322,2
2500	4500	6500	8500	0,256	256,4	410,3	461,6	738,5	666,7	1066,8	871,9	1395,0
2500	4500	6500	8500	0,281	270,5	432,8	486,9	779,1	703,3	1125,3	919,7	1471,6
2500	4500	6500	8500	0,307	285,4	456,7	513,7	822,0	742,1	1187,3	970,4	1552,6
2500	4500	6500	8500	0,332	301,2	482,0	542,2	867,6	783,2	1253,2	1024,2	1638,7
2500	4500	6500	8500	0,358	318,1	509,0	572,7	916,2	827,2	1323,5	1081,7	1730,7
2500	4500	6500	8500	0,383	336,3	538,0	605,3	968,4	874,3	1398,9	1143,3	1829,3
2500	4500	6500	8500	0,409	355,8	569,3	640,4	1024,7	925,1	1480,1	1209,7	1935,5
2500	4500	6500	8500	0,434	376,9	603,1	678,5	1085,5	980,0	1568,0	1281,5	2050,5
2500	4500	6500	8500	0,460	399,9	639,9	719,8	1151,7	1039,8	1663,6	1359,7	2175,5
2500	4500	6500	8500	0,486	425,0	680,0	765,1	1224,1	1105,1	1768,1	1445,1	2312,2
2500	4500	6500	8500	0,511	452,6	724,2	814,7	1303,6	1176,9	1883,0	1539,0	2462,4

## 8. Mellékletek

2,1 bar abroncslégnymás												
2500	4500	6500	8500	0,000	99,2	158,7	178,6	285,7	257,9	412,7	337,3	539,7
2500	4500	6500	8500	0,026	123,9	198,2	223,0	356,8	322,1	515,4	421,2	673,9
2500	4500	6500	8500	0,051	135,9	217,5	244,7	391,5	353,5	565,5	462,2	739,5
2500	4500	6500	8500	0,077	146,5	234,5	263,8	422,0	381,0	609,6	498,2	797,2
2500	4500	6500	8500	0,102	156,6	250,6	281,9	451,1	407,2	651,6	532,5	852,0
2500	4500	6500	8500	0,128	166,6	266,5	299,8	479,7	433,1	692,9	566,3	906,2
2500	4500	6500	8500	0,153	176,6	282,5	317,9	508,6	459,1	734,6	600,4	960,6
2500	4500	6500	8500	0,179	186,8	298,9	336,3	538,0	485,7	777,2	635,2	1016,3
2500	4500	6500	8500	0,204	197,4	315,8	355,3	568,4	513,1	821,0	671,0	1073,7
2500	4500	6500	8500	0,230	208,3	333,3	375,0	600,0	541,6	866,6	708,3	1133,3
2500	4500	6500	8500	0,256	219,8	351,7	395,6	633,0	571,5	914,4	747,3	1195,7
2500	4500	6500	8500	0,281	231,9	371,0	417,4	667,8	602,9	964,6	788,4	1261,4
2500	4500	6500	8500	0,307	244,6	391,4	440,3	704,6	636,1	1017,7	831,8	1330,8
2500	4500	6500	8500	0,332	258,2	413,1	464,8	743,6	671,3	1074,1	877,9	1404,6
2500	4500	6500	8500	0,358	272,7	436,3	490,8	785,3	709,0	1134,4	927,1	1483,4
2500	4500	6500	8500	0,383	288,2	461,2	518,8	830,1	749,4	1199,0	980,0	1567,9
2500	4500	6500	8500	0,409	305,0	487,9	548,9	878,3	792,9	1268,6	1036,9	1659,0
2500	4500	6500	8500	0,434	323,1	516,9	581,5	930,5	840,0	1344,0	1098,5	1757,5
2500	4500	6500	8500	0,460	342,8	548,4	617,0	987,2	891,2	1426,0	1165,4	1864,7
2500	4500	6500	8500	0,486	364,3	582,9	655,8	1049,2	947,2	1515,5	1238,7	1981,9
2500	4500	6500	8500	0,511	388,0	620,8	698,4	1117,4	1008,7	1614,0	1319,1	2110,6
2,4 bar abroncslégnymás												
2500	4500	6500	8500	0,000	86,8	138,9	156,3	250,0	225,7	361,1	295,1	472,2
2500	4500	6500	8500	0,026	108,4	173,4	195,1	312,2	281,8	450,9	368,6	589,7
2500	4500	6500	8500	0,051	119,0	190,3	214,1	342,6	309,3	494,8	404,4	647,1
2500	4500	6500	8500	0,077	128,2	205,2	230,8	369,3	333,4	533,4	436,0	697,5
2500	4500	6500	8500	0,102	137,0	219,3	246,7	394,7	356,3	570,1	466,0	745,5
2500	4500	6500	8500	0,128	145,8	233,2	262,4	419,8	379,0	606,3	495,6	792,9
2500	4500	6500	8500	0,153	154,5	247,2	278,1	445,0	401,7	642,8	525,4	840,6
2500	4500	6500	8500	0,179	163,5	261,5	294,2	470,8	425,0	680,0	555,8	889,2
2500	4500	6500	8500	0,204	172,7	276,3	310,8	497,4	449,0	718,4	587,2	939,4
2500	4500	6500	8500	0,230	182,3	291,7	328,1	525,0	473,9	758,3	619,8	991,6
2500	4500	6500	8500	0,256	192,3	307,7	346,2	553,9	500,0	800,1	653,9	1046,2
2500	4500	6500	8500	0,281	202,9	324,6	365,2	584,3	527,5	844,0	689,8	1103,7
2500	4500	6500	8500	0,307	214,1	342,5	385,3	616,5	556,5	890,5	727,8	1164,5
2500	4500	6500	8500	0,332	225,9	361,5	406,7	650,7	587,4	939,9	768,2	1229,1
2500	4500	6500	8500	0,358	238,6	381,8	429,5	687,2	620,4	992,6	811,3	1298,0
2500	4500	6500	8500	0,383	252,2	403,5	454,0	726,3	655,7	1049,1	857,5	1372,0
2500	4500	6500	8500	0,409	266,8	426,9	480,3	768,5	693,8	1110,1	907,3	1451,6
2500	4500	6500	8500	0,434	282,7	452,3	508,8	814,2	735,0	1176,0	961,2	1537,8
2500	4500	6500	8500	0,460	299,9	479,9	539,9	863,8	779,8	1247,7	1019,8	1631,6
2500	4500	6500	8500	0,486	318,8	510,0	573,8	918,1	828,8	1326,1	1083,8	1734,1
2500	4500	6500	8500	0,511	339,5	543,2	611,1	977,7	882,6	1412,2	1154,2	1846,8



**KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Prof. Dr. Laib Lajos és Prof. Dr. Kiss Péter tanár uraknak, akik hasznos tanácsaikkal és útmutatásaikkal irányították munkámat, valamint a kutatómunka mellett támogatták és segítettek a tudományos közéletben való aktív részvételemet, és publikálási lehetőségeimet. Köszönetet mondok a SZIE Járműtechnika Tanszék munkatársainak, akik szintén segítettek munkámat értékes észrevételeikkel.

Szeretném megköszönni Dr. Petróczki Károly és Dr. Korzenszky Péter kollégáimnak a mérések előkészítése és lebonyolítása során nyújtott segítségét, a mérés technikai eszközök rendelkezésre bocsátását.

A méréseimhez használt eszközökért köszönetet mondok a VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézetnek.

Külön megköszönöm feleségemnek és szüleimnek a támogatást és biztatást, valamint a türelmet, amellyel végigkísérték munkámat.