

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

KISS ZSOLT PÉTER

DEBRECEN

2002.



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
GÉPTANI TANSZÉK



NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori iskola vezetője:

DR. RUZSÁNYI LÁSZLÓ

MTA doktora

Témavezető:

DR. CSIZMAZIA ZOLTÁN

mezőgazdaság tudományok kandidátusa

**MEZŐGAZDASÁGI GUMIABRONCSOK
TALAJFIZIKAI HATÁSAINAK VIZSGÁLATA**

Készítette:

KISS ZSOLT PÉTER

DEBRECEN

2002

**MEZŐGAZDASÁGI GUMIABRONCSOK
TALAJFIZIKAI HATÁSAINAK VIZSGÁLATA**

*Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és Kertészeti doktori tudományágban*

Írta:
KISS ZSOLT PÉTER
doktorjelölt

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. Fokozat
Elnök:	Prof. Dr. Neményi Miklós	MTA doktora
Tagok:	Prof. Habil Dr. Nagy János Prof. Dr. Jóri J. István	MTA doktora kandidátus

A doktori szigorlat időpontja: 2000. február 15.

Az értekezés bírálói:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
	Prof. Dr. Jóri J. István	kandidátus
	Prof. Dr. Laib Lajos	kandidátus

A bíráló bizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:
Titkár:
Tagok:

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	3
1.1. A témaválasztás indoklása, a kutatás célkitűzése	3
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. A talaj szerkezeti tulajdonságainak vizsgálata	6
2.1.1. A talaj szemcseösszetétele	6
2.1.2. A talaj sűrűségi (lazultsági) állapota.....	7
2.1.3. A talaj nedvességtartalma	7
2.1.4. A talaj tömődöttsége és kialakulásának okai	9
2.2. A talaj mechanikai tulajdonságainak vizsgálata.....	11
2.2.1. A függőleges nyomófeszültség és a deformáció kapcsolata.....	11
2.2.2. A talaj nyomószilárdságának vizsgálata	14
2.2.2.1. A nyomófejes (nyomólapos) vizsgálati módszer.....	14
2.2.2.2. A kúpos penetrométer alkalmazása	17
2.2.3. A talaj nyomószilárdságának jellemzése	18
2.3. A járószerkezet és a talaj kapcsolatának mechanikai vizsgálata	20
2.3.1. A függőleges abroncsterhelés hatása	21
2.3.2. A hajtónyomaték, a tolóerő és a gördülési ellenállás jellemzői.....	22
2.3.3. Az ébredő talajdeformációk és feszültségek meghatározása	25
2.3.4. A gumiabroncs alakváltozásainak vizsgálata	27
2.3.5. A gumiabroncs-lenyomat jellemzőinek vizsgálata	29
2.4. A gumiabroncs-talaj kapcsolatának modellezése	33
2.4.1. Vontatási és kerék vizsgálatokra épülő empirikus modellek.....	33
2.4.2. Energetikai és mozgékonyági modellek.....	35
2.4.3. Elméleti modellek	37
2.4.3.1. Talajmechanikai modellek.....	37
2.4.3.2. A viszkoelasztikus talajmodell	39
2.4.3.3. Véges elemes számítógépes modellek.....	40
2.5. A mezőgazdasági gumiabroncsok rövid jellemzése	42
2.5.1. Az abroncsok néhány fontosabb tulajdonsága.....	43
2.5.2. A talajnyomás csökkentésére elterjedt megoldások	44
3. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE	47
3.1. A vizsgálatok helyszíne és a talajtípusok bemutatása	48
3.1.1. A Nyíltszíni mérőrendszer	48
3.1.2. A vizsgált talajszelvények bemutatása	49
3.2. A vizsgálati műszerek és eszközök	51
3.2.1. A vizsgálatokhoz használt erőgép.....	51
3.2.2. A 3T System mérőműszer	52
3.2.3. Digitális talpmérleg.....	55
3.2.4. A függőleges terhelő erő beállítása.....	55
3.2.5. A vizsgált gumiabroncsok	56
3.2.6. Az abroncsprofilok és a felfekvési paraméterek meghatározása	56
3.2.7. A nyomófejek bemutatása	57
3.3. A vizsgálati módszerek	58
3.3.1. Sorközművelő gumiabroncsok vizsgálati módszere.....	58
3.3.2. A nyomófejes vizsgálatok módszere	60
3.4. A vizsgálati eredmények feldolgozásának és kiértékelésének módszere	61

4. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE.....	62
4.1. A gumiabroncsok profillenymatainak összehasonlító értékelése	62
4.2. A gumiabroncsok talajtömörödéstre gyakorolt hatásainak értékelése.....	65
4.2.1. A kontroll adatok értékelése	66
4.2.2. A behatolási ellenállás változása a vályog talajon.....	66
4.2.3. A behatolási ellenállás változása a homok talajon.....	67
4.2.4. A behatolási ellenállás változása az agyag talajon	69
4.2.5. A talajtömörödés egyéb tulajdonságainak értékelése	70
4.2.6. A gumiabroncsok általános értékelése.....	72
4.2.7. A gumiabroncsok hatása a talaj nedvességtartalmának változására	73
4.3. A nyomófejes vizsgálatok értékelése	74
4.4. Végeeselemes modell kísérletek értékelése	78
4.4.1. A forgásszimmetrikus feladat bemutatása és értékelése.....	78
4.4.2. A síkalakváltozási feladat bemutatása és értékelése.....	81
4.4.3. Számítási eredmények és következtetések	84
5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, JAVASLATOK	90
5.1. Következtetések.....	90
5.2. Új és újszerű tudományos eredmények	93
5.3. Javaslatok	95
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	96
7. HIVATKOZOTT IRODALMAK JEGYZÉKE	99
8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK.....	110
ÁBRAJEGYZÉK.....	113
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	114
MELLÉKLETEK	115
NYILATKOZATOK	116

1. BEVEZETÉS

1.1. A témaválasztás indoklása, a kutatás célkitűzése

A nagyteljesítményű, ún. talajművelő traktorok teljesítményének jelentős része a járószerkezeten keresztül hasznosul. A vonóerő átadása a járószerkezet és a talaj közötti kapcsolatban valósul meg. A hasznos vontatási teljesítmény átszármaztatása mellett azonban minden esetben tapasztalható a járószerkezet káros talajtömörítő és talajromboló hatása is.

Az alkalmazott termelés-technológia függvényében az erőgépek az év folyamán – gyakran indokolatlanul sokszor és nem a megfelelő nedvességi állapotban művelik és tapossák a termőterületet, mellyel káros elváltozásokat okoznak a talaj szerkezetében. Az említett káros hatások az évek során a mélyebb talajrétegekben akumulálódnak. Mindezek következtében a világ és köztük hazánk talajai is (fizikai állapotukban) egyre romló tendenciát mutatnak.

A károsodás mértékére utal az a mérések alapján történt megállapítás is, hogy ugyanazon a táblán mért talajjellenállás értéke a háború előttinek a 100 %-át is meghaladta. A „Magyarország környezeti jövőképe” című kiadványban közzétett szakértői becslések alapján hazánk szántóföldi művelés alatt lévő területeinek közel 50 %-án tapasztalható káros talajtömörödöttség (BULLA, 1994).

A szántóföldi munkák gépesítése és a növényzet optimális fejlődése ugyanakkor megkívánja, hogy a talaj egyenletes szerkezetű, a felszínét tekintve pedig sima, mély keréknymoktól mentes legyen. A keréknymokkal barázdált talajfelszín a művelési sebességet hátrányosan befolyásolva csökkenti a gépcsoport területteljesítményét, és ezáltal az egész termelékenység rovására megy.

Nem véletlen tehát, hogy a mezőgazdasági járószerkezetek talajtömörítő hatásának csökkentésére, illetve megelőzésére évek óta komoly kutatások folynak.

A „Traktorkerék-Talaj” kölcsönhatás azok közé a kérdések közé tartozik, mely több sürgető és megoldásra váró feladatot vet fel többek között:

- ⇒ A mezőgazdasági gumiabroncsok talajra gyakorolt differenciált hatásának megállapítását.
- ⇒ A talaj fizikai állapotváltozásaihoz (háromfázisú, polidiszperz, kapillár-porózus rendszer) illetve kifejlesztett mezőgazdasági gumiabroncs konstrukciókat.

A mezőgazdasági gumiabroncs gyártás területén (is) nagy verseny tapasztalható, amelynek eredményeként a talajt legkevésbé károsító, a növénytermesztési igényeket figyelembevevő gumiabroncs kialakítások láthatnak napvilágot.

Az egyik legfontosabb feladat: hogy a gumiabroncsokat jellemző legfőbb konstrukciós paraméterek (külső-, belső átmérője, szélessége, a bordázat kialakítása, koronaszög, magasság, vállszélesség stb.) és azok komplex viszonyrendszerét meghatározzuk.

E paraméterek tervezéskori értékeit és összefüggéseit véges elem módszer szerinti elemzéssel lehet jól megközelíteni, ugyanakkor ezek a modellek mindeddig nem vették figyelembe a talaj fizikai állapotának és mechanikai rendszerének a változásait.

A talaj változékonyságát azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni, hiszen mind az állapotváltozások, mind pedig a talajféleségek szerinti változások a gumiabroncs talajra gyakorolt hatásában nagyságrendi eltéréseket eredményeznek.

A talaj fizikai jellemzőiben bekövetkező változások (elsősorban) a talaj kedvezőtlen tömörödése (tömődöttsége), s ehhez kötődő rosszabb víztartó képesség és levegőtlenység, a talajra, környezetére és a növénytermesztésre kedvezőtlenül hat.

A mezőgazdasági termelési folyamatokban a legfőbb szerepe az ember-gép-talaj-növény-környezet alkotta rendszernek van. A kutatás jövőbeni feladata tehát e kapcsolatrendszer elemeit jellemző tulajdonságok és a közöttük fennálló összefüggések feltárása. Ily módon lehetővé válik a folyamat irányítása és ezáltal az optimális üzem biztosítása.

A gumiabroncs-talaj kapcsolatának vizsgálatára vonatkozó kutatásaink a Nyíregyházi TAURUS AGROTYRE Vállalattal több évre nyúlnak vissza.

Az abroncs és talaj kapcsolatrendszerének vizsgálatakor hosszú távú célom annak megállapítása, hogy az abroncs kialakítási jellemzői és az üzemeltetés paraméterei milyen hatással vannak az érintkező abroncsfelületek és a talajrétegek igénybevételére.

A vizsgálati cél magában hordozza a mezőgazdasági abroncsok fejlesztéséhez szükséges laboratóriumi és termőhelyi vizsgálati módszer kidolgozását is. A célkitűzés teljesítése sajátos módszer és tematika, valamint mérőeszköz együttes működtetését feltételezi.

Kutatásaim célja a mezőgazdasági gumiabroncsok által létrehozott talajtömörítés talajfizikai jellemzőkre gyakorolt hatásának különböző termőtalajokon történő meghatározása. Ezen változások vizsgálata során kiemelten foglalkozom a sorközművelő mezőgazdasági gumiabroncsoknak a talajtömörödöttségére és a nedvességtartalmára gyakorolt hatásaival illetve ezek összehasonlításával.

Célkitűzéseim között szerepel a mezőgazdasági gumiabroncsok által kifejtett talajfizikai hatások objektív, értékelhető és összehasonlítható vizsgálati tematikájának kidolgozása. Az új módszerrel meghatározott jellemzők által minősíthetővé valamint rangsorolhatóvá tenni a különböző profilú abroncsokat, és segítségével kijelölni az adott típusú abroncsok kedvező és kedvezőtlen alkalmazásának körülményeit.

A kísérletekkel párhuzamosan a Miskolci Egyetem Mechanikai Tanszékén egy OTKA kutatás keretein belül (Járműabroncs-talaj kapcsolat vizsgálata végelelemes módszerrel 2001-2003.T025172) elkezdődött egy végelelemes szoftver kifejlesztése, amellyel a gumiabroncsok talajra gyakorolt hatását szeretnénk modellezni. A nyomófejes vizsgálatok célja: az abroncs-talaj kapcsolatot szimuláló program számára szükséges alapparaméterek gyakorlati méréssel történő meghatározása, valamint a választott talajmodell számítási eredményeinek a mért értékekkel való ellenőrzése.

Doktori disszertációmban ezért két témakört fogok érinteni. Az első részben a sorközművelő abroncsok talajfizikai hatásainak vizsgálati módszerét, valamint az összehasonlítás és értékelés eredményeit közlöm. A második részben az említett végelelemes modell kifejlesztésével kapcsolatos nyomófejes vizsgálatokat ismertetem és ezek értékelését mutatom be.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

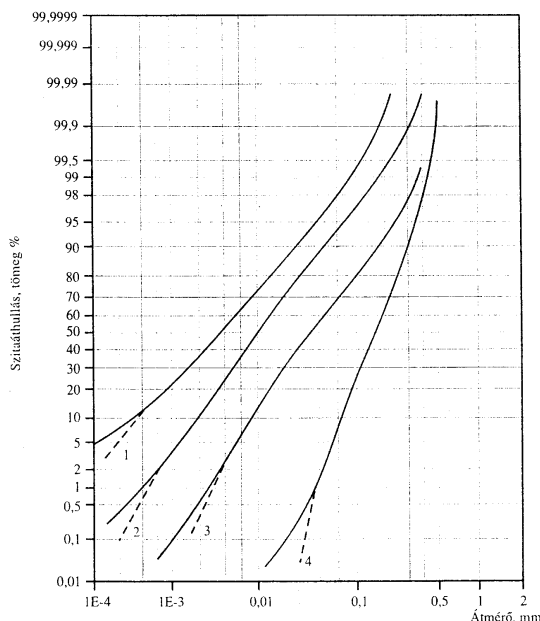
A gumiabroncs és a talaj kölcsönhatásainak szabatos leírása igen bonyolult és összetett kérdés. A következőkben e problémakör néhány fontosabb kutatási és vizsgálati eredményét szeretném áttekinteni.

2.1. A talaj szerkezeti tulajdonságainak vizsgálata

A járószerkezet talajra gyakorolt hatása nagymértékben függ az adott talajtípus tulajdonságaitól. Az abroncs-talaj kölcsönhatás eredménye elsősorban a talaj fizikai-mechanikai jellemzőinek megváltozásában nyilvánul meg. E kapcsolatrendszer szempontjából elsődlegesek a talaj fizikai-mechanikai tulajdonságai. Az általam vizsgált gumiabroncsok okozta talajtömörítés mértékét elsősorban az alábbi tényezők befolyásolják: a talaj típusa és szemcseeloszlása, térfogatsűrűsége a terhelés előtt és annak eloszlása a mélység függvényében, a nedvességtartalma (pF-száma), a terhelő felület alakja és mérete, a nyomás nagysága és eloszlása a felület mentén, valamint a terhelés időtartama.

2.1.1. A talaj szemcseösszetétele

A talaj fizikai tulajdonságai (a vízháztartása, valamint a szilárdsági jellemzői) attól



1. ábra
A jellegzetes talajok
szemcseeloszlási görbéi
(SITKEI, 2002a nyomán)
(1 agyag, 2 vályog, 3 homokos vályog,
4 futóhomok, Kiskőrös)

függnek, hogy a különböző szemcseméret-frakciók milyen arányban fordulnak elő benne. A talaj szemcseösszetételének leírását és változásának törvényszerűségeit ATTERBERG (1912) tette közzé. A máig hatóan érvényes felosztásból kitűnik a különböző fizikai talajféleségek nem lineárisan változó szemcseeloszlása. A tipikus talajok szemcseeloszlását a valószínűségi hálón log-normális egyenesek jelölik, mely az **1. ábrán** látható.

A talajok nemzetközi osztályozásának alapjául az egyes alkotórészek (homok, iszap, agyag) számszerű részarányait meghatározó STROPPEL (1952) féle három-

szög diagram szolgál. Számos kutató vizsgálta a fizikai talajféleségek és a talaj fizikai jellemzői között fennálló összefüggéseket. Hazánkban ARANY (1943), RÁZSÓ (1958) és STEFANOVITS (1975) végzett a vízemelésre és a fajlagos talajjellenállásra vonatkozóan kísérleteket. Eredményeik alapján megállapítható, hogy minél nagyobb a talaj agyagtartalma, annál rosszabb a vízfelvevő képessége, ugyanakkor azonban nő a talaj kohéziója és a nyíró szilárdsága. A talajszemcsék átmérője ezen kívül befolyásolja a belső súrlódási szöget és ezáltal a gumiabroncs és a talaj között fellépő súrlódást is.

2.1.2. A talaj sűrűségi (lazultsági) állapota

A talaj sűrűségi (tömődöttségi) állapota jelentős hatással bír a járószerkezetek terepjárási tulajdonságaira és az általuk kifejthető vonóerő nagyságára. A talaj lazultságának jellemzésekor a levegővel és vízzel kitöltött térfogatot arányítjuk a szilárd talajjal kitöltött térfogati részhez. Ez a viszonyszám százalékban kifejezve a pórushányad, melynek értéke SITKEI (1981) vizsgálatai alapján nagymértékű lazításnál 60% is lehet, általában azonban 45-52% között változik.

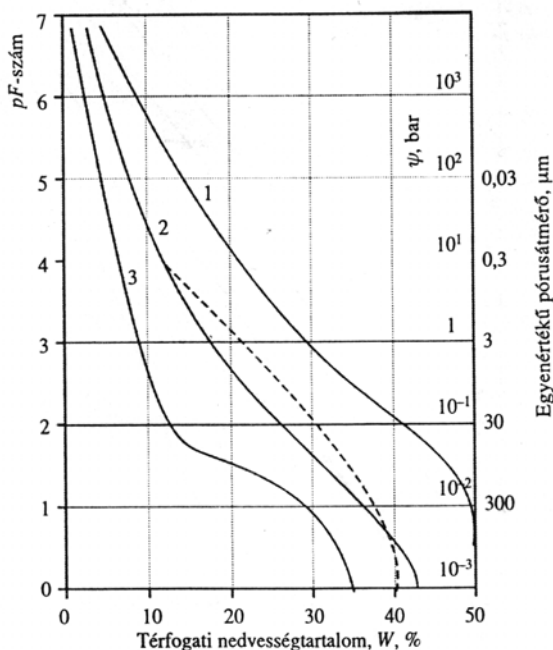
A 30% pórusvolumen értékű talaj már erősen tömődöttnek tekinthető. A sűrűség másik jellemző adata a talaj térfogattömege, mely a természetes állapotú talaj egységnyi térfogatának tömegét jelenti. A talajból meghatározott térfogatú mintavevő edénnyel vett minta kiszáritása utáni tömegét viszonyítjuk a minta térfogatához. Egy frissen szántott talaj esetén $0,9 \text{ g/cm}^3$, egy ülepedett talajnál $1,4-1,6 \text{ g/cm}^3$, és egy igen tömődött talajban pedig $1,8 \text{ g/cm}^3$ az átlagos érték.

A talajok összenyomásakor a pórushányad annál nagyobb mértékben csökken, minél nagyobb a talaj nedvességtartalma. A kritikus felületi nyomás elérése esetén, amikor már a teljes pórustérfogatot a talaj víztartalma tölti ki, ugrásszerűen csökken a talaj teherbírása.

2.1.3. A talaj nedvességtartalma

A talaj a vizet, más kapillár-porózus anyagokhoz hasonlóan, molekuláris adszorpció és kapilláris adszorpció útján tárolja. Nedvességtartalom jellemzésére a gyakorlatban sokféle mutatószámot különböztetünk meg. A legfontosabb három jellegzetes mutatószám a maximális nedvességtartalom (vízkapacitás), a természetes, vagy szántóföldi vízkapacitás, és az ún. holt víz, vagy hervadásponti vízkapacitás. A maximális vízkapacitás

esetén a talaj összes pórustérfogatát víz tölti ki. Ennek nagysága attól függ, hogy mekkora az adott talaj összes pórustérfogata, azaz a lazultsági foka. A szántóföldi (természetes) vízkapacitás, az a jellemző érték, amelyet a szerkezettel bíró talaj a gravitációval szemben vissza tud tartani. A póruseloszlástól függően, mindig kialakul a talajban egyensúlyi nedvességtartalom, amelyet a szorpciós izoterma ír le a relatív páratartalom függvényében. A talaj víztartó képességét a negatív kapilláris nyomással mint tenzióval is jellemezhetjük. A tenzió kifejezhető a nyomómagassággal, s ennek a cm-ben megadott értéknek a 10-es alapú logaritmusát nevezik pF-számnak. A vizsgálataim során alkalmazott 3T System mérőműszer segítségével az adott talaj nedvességtartalmát (a talaj pF 2.5 víztelítettségi állapotának megfelelően) a szántóföldi vízkapacitás %-ban kifejezett részarányaként térfogatszázalékban rögzítettem. A jelenlegi kutatás-fejlesztési gyakorlatban a talajnedvesség mérése mind térfogat-százalékos, mind pedig tömegszázalékos egységekben kifejezve előfordul. A szántóföldi vízkapacitás részarányaként térfogatszázalékban mért nedvesség értékek és az ezzel jellemzett állapotok a fizikai talajfélésegek egész rendszerében közvetlenül összehasonlíthatóvá válnak, míg tömegszázalékos egységben mért talajnedvességek közvetlen összehasonlítása csak egy fizikai talajfélésegen belül tehető meg, így az eltérő talajfizikai kategóriákon belül átszámítás szükséges. A térfogat-százalékos és a tömegszázalékos mérési egységek egymással történő kölcsönös megfeleltetéséhez és egységes értelmezéséhez hazánkban SINÓROS-



2. ábra
Különböző talajok pF-szám görbéi
 (1 agyag, 2 vályog, 3 homok)
 (SITKEI, 2002a nyomán)

SZABÓ et al. (1979, 1992a) dolgozott ki matematikai módszert.

A talaj nedvességtartalma döntően függ a talaj szemcseösszetételétől. A jellegzetes talajtípusok pF-szám görbéi a **2. ábrán** láthatók.

Minél kisebbek a talaj részecskéi, vagyis minél nagyobb a fajlagos felülete, annál nagyobb nedvességtartalmak felé tolódnak el a görbék. Ez azt jelenti, hogy egy agyagtalaj ugyanakkora tenzió mellett sokkal több vizet tart magában, mint egy homokos talaj. Ebből következik, hogy két különböző talaj mechanikai paraméte-

reit nem azonos nedvességtartalomnál, hanem azonos tenzióhoz tartozó nedvességtartalmaknál kell összehasonlítani.

A különböző művelőszerszámok és a gumiabroncs talajba hatolása szempontjából meghatározóan fontos a szemcsék közötti összetartó erő (kohézió) és a talajszemcséknek a beható tárgyhoz való tapadása (adhézió). Állandó körülmények között minél több a talajban a finom szemcse (a leiszapolható agyag és iszap) részaránya, annál nagyobb az adott talaj kohéziója és adhéziója is. Állandó talajmechanikai (szemcseszerkezeti) összetétel mellett a talaj nedvességtartalmának adhéziót és kohéziót befolyásoló összefüggéseit LETOSNYEV (1951) vizsgálta. Megállapításai szerint a talaj művelését az általa meghatározott nedvességi küszöbök között célszerű elvégezni. Hazánkban STEFANOVITS (1975) rendzina talajon mért vizsgálatait összegezve hasonló eredményre jutott.

A talajnedvesség változása jól érzékelhető talaj konzisztenciális tulajdonságainak megváltozásában is. A legfontosabb konzisztenciális jellemzők (pl. szilárdság, képlékenység, viszkozitás, tapadóképesség) és ezek határértékeinek (folyási, sodrási, zsugorodási, tapadási határ) vizsgálatával többek között RÁZSÓ (1958) és STEFANOVITS (1975) foglalkozott. Eredményeik szerint a talaj fizikai állapotváltozása konzisztenciális határértékekben és jellemzőkben jól leírható.

A talaj nedvességtartalma mindezekén túl döntő befolyást gyakorol az abroncs és a talaj erőkapcsolatának jellemzőire és a talajra gyakorolt hatás mértékére. Kísérleteim során azt is elemeztem, hogy a gumiabroncsok talajra gyakorolt hatása milyen mértékben függ az adott talaj szemcseösszetételétől és a nedvességtartalmától. Igyekeztem meghatározni azt az adott talajra és abroncsra jellemző nedvességtartományt, amely intervallumban a talaj szilárdsági jellemzői és bizonyos értelemben az igénybevétele is optimálisnak tekinthető. A valóságban két egymásnak ellentmondó feltételt kell kielégíteni. Az abroncs-talaj erőkapcsolat szempontjából (és az abroncs talajra gyakorolt hatását vizsgálva is) az a kedvező, ha a talaj inkább száraz, mint nedves. Ugyanakkor agronómiai és agrotechnikai oldalról, valamint a talajművelő gépek jó hatásfokú üzeme szempontjából viszont a nedvesebb talaj a kedvezőbb.

2.1.4. A talaj tömődöttsége és kialakulásának okai

A témával foglalkozó hazai (STEFANOVITS, 1994; BIRKÁS, 1995; VÁRALLYAY, 1996) és külföldi (TAYLOR, 1987; SOANE et al., 1994; OLDEMAN et al. 1990)

szerzők egyértelműen megállapítják, hogy a talajt fenyegető degradációs folyamatok közül világszerte egyik legelterjedtebb, legnagyobb károkat okozó és legnehezebben kivédhető a talaj fizikai degradációja, ezen belül pedig a talajszerkezet leromlása és a tömörödés. A tömörödés a talaj szerkezetességét, víz-, hő- és légjárhatóságát csökkentő vagy megszüntető káros hatás. A talajszerkezet leromlása a mezőgazdasági termelés nélkülözhetetlen velejárója (pl. talajművelés, vonóerőkifejtés stb.) és gyakorlatilag szinte megfordíthatatlan a folyamat. Egy-egy elhibázott agrotechnikai művelet, melyet nem a kellő időben, nem megfelelő talajnedvességi állapotban vagy nem a megfelelő eszközzel hajtunk végre tovább fokozza a talaj fizikai tönkremenetelét. Amennyiben a termőréteg térfogattömege meghaladja az 1.5 g/cm^3 -t, illetve talajellenállása a 2.5-3 MPa-t, a talajt károsan tömörödöttnek minősül (BIRKÁS, 1995).

Megállapítható ugyan, hogy a leromló talajszerkezet a károsodást (terhelést) kiváltó ok megszűnése után, minden külső behatás nélkül „magától is” regenerálódhat, ez azonban egy nagyon hosszú és lassú folyamat, így nem tud egyensúlyt („lépést”) tartani a szerkezet degradációjával.

A talajtömörödtség kérdésköre ok és okozati összefüggésben igen sok tényezőt érint, illetve foglal magába. Ezek között a természeti, talajtani tényezők éppen úgy szerepelnek, mint a termelési, termelési-technikai és technológiai feladatok, talajvédelmi tevékenységek.

A talaj fizikai degradációjának okait és ezek csökkentésének lehetőségeit több kutató is vizsgálta. VÁRALLYAY (1996) és FEKETE, (1973) szerint az emberi tevékenység keltette okok között kiemelkedő jelentőségű a gépesítéssel (nehéz talajművelő gépek), valamint az alkalmazott agrotechnikával (nem megfelelő időpont, nedvességi állapot, műveletek minősége és száma pl. túlművelés) összefüggésbe hozható talajszerkezet romlás. Munkásságának köszönhetően mára elkészült egy a hazánk talajainak degradációval szembeni érzékenységet tartalmazó adatbázis és térkép is. BIRKÁS et al. (1999) a természetes tényezőkön (időjárás, ülepedés) túl a több éven keresztül azonos mélységben végzett, többnyire tárcsás vagy szántásos alapművelést, illetve a nedves talajon való járást tekinti a tömörödés legfőbb okainak.

NYÍRI (1997) kutatásai alapján a természetes és az ember által okozott tömörödés kiterjedését hazánkban együttesen 3.1 millió ha-ra becsli, ahol a talaj mélyebb rétegeiben vízmozgást, légcserét, gyökérfejlődést gátló tömött rétegek vagy genetikai szintek alakultak ki, amelyek a talajképződési folyamatok eredményeire, földtani,

hidrológiai okokra és a helytelen talajművelésre vezethetők vissza. A BIRKÁS et al. (2000a, 2000b) által végzett 14000 ha-os talajállapot-felmérés adatai alapján a terület 73%-án volt tapasztalható a növényi fejlődést akadályozó és a lehulló csapadék beszivárgását gátló tömör záróréteg jelenléte. A talajok természetes tömörödéssel való hajlamát NAGY et al. (1999) alföldi csernozjom talajokon, míg SZŐLLŐSI et al. (2002) különböző típusú (homok, vályog, agyag) talajokon vizsgálta kutatásai során.

A MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ felmérései alapján megállapították, hogy a gépi munkák hatására jelentkező tömörödés általában 30-50 cm mélységig terjed, de ennél mélyebben is jelentkezhet. Több száz reprezentatív jellegű vizsgálat adatainak értékelése alapján az esetek 47 %-ában 40 cm felett, 27 %-ában 40-50 cm között, 26 %-ában 50 cm-nél mélyebben jelentkezett káros tömődöttség.

A mezőgazdasági gumibroncsok talajra gyakorolt hatásainak vizsgálatával hazánkban is számos kutató foglalkozott többek között ZOMBORI (1986, 1988), KOMÁNDI (1993), KOMÁNDI ÉS LAIB (1998), LAIB et al. (1998), KISS et al. (1999, 2002).

Általános az a kutatói vélemény miszerint a traktorok, az önjáró és kapcsolt nehézművelő gépek taposásai következtében a leggyakrabban előforduló és legveszélyesebbnek tűnő talajtömődöttség jöhet létre. A talajtömődöttség egyik legfőbb oka tehát a talaj-gumibroncs kapcsolatban keresendő. E kapcsolatrendszer jellemzésével, összefüggéseinek feltárásával válhatunk a folyamat befolyásolóivá.

2.2. A talaj mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

2.2.1. A függőleges nyomófeszültség és a deformáció kapcsolata

A talajon gördülő gumibroncs mozgásából adódóan a talajra függőleges és vízszintes irányú erő hat. A kerék tengelyére ható függőleges nyomóerő következtében (miközben az abroncs bizonyos mértékben belapul) érintkező felületével (köpeny és a kapcsolódó bordák) feszültséget kelt a talajban. E feszültség következtében a talaj felső rétegei összenyomódnak és a felszínen kialakul az abroncsprofil lenyomata. Az abroncs tengelyére ható hajtónyomatékból származó vízszintes irányú erő az abroncsköpeny futófelülete és a kapaszkodó bordák által a talaj szerkezetének elnyírása során biztosítja az előrehaladást.

Az ébredő talajnyomás meghatározása céljából a XX. század elején Gerstner később pedig BERNSTEIN (1913) elemezte a merev kerék és deformálódó talaj kapcsolatát, melyre mind a ketten különböző összefüggést állítottak fel. Gerstner szerint a talaj

A fenti összefüggésben:

k_c – a talajtömörítés kohéziós tényezője [N/mⁿ⁻¹]

k_φ – a talajtömörödés súrlódási tényezője [N/mⁿ⁻²]

b – a felfekvő felület szélessége [m]

A k_c és k_φ értékeit különböző nyomófejek talajba nyomásával határozták meg. A nyomókísérletek eredménye igazolta, hogy a nyomófej alakja (kör, négyszög) hatással van a besüllyedés mértékére.

A nyírófeszültség és a vízszintes síkbeli alakváltozás leírására is sikerült egy tapasztalati összefüggést felállítaniuk, melynek állandóit szintén talajmechanikai vizsgálatokkal lehetett meghatározni.

Wills és Reece nyomólapos vizsgálataik eredményeképpen egy a gyakorlati tervezés számára jobban alkalmazható összefüggést ajánlanak:

$$p = \left[c \cdot k_c + \rho \cdot g \frac{b}{2} k_\varphi \right] \cdot \left(\frac{z}{b} \right)^n \quad [\text{Pa}] \quad (8)$$

ahol:

c – a kohézió [Pa]

n – a talajtól függő konstans

ρ - a talaj sűrűsége [kg/m³]

z – a talajbesüllyedés mértéke [m]

b – a felfekvő felület szélessége [m]

k_c és k_φ - a talajtömörödésre jellemző dimenzió nélküli számok

Említésre érdemes még KACIGIN (1964) tangens-hiperbolikus függvénye és HEGEDŰS (1965) által alkalmazott dimenzióanalízis módszere a gumiabroncs-talaj kapcsolatban ébredő talajnyomás minél pontosabb felírására.

A gumiabroncs felfekvő felületén egyenletes nyomáeloszlást feltételezve meghatározható a kerék függőleges terhelése, mint az ébredő talajnyomás és a felület szorzata:

$$Q = p \cdot A \quad [\text{N}] \quad (9)$$

Ha figyelembe vesszük a Bekker képlet (6,7) összefüggéseit, akkor a kerékterhelésre a:

$$Q = A \cdot \left[\frac{k_c}{b} + k_\varphi \right] \cdot z^n \quad [\text{N}] \quad (10)$$

függvényt kapjuk.

Szintén Bekker nevéhez fűződik a talajtömörítéshez szükséges munka meghatározása, azt az egyszerűsített modellt alkalmazva miszerint a kerék gördülésekor csak

függőlegesen lefelé nyomódik a talajba. Ebben az esetben a talajtömörítéshez szükséges munka az erő és az erő irányába eső talajelmozdulás felületegységre vonatkoztatott szorzataként értelmezhető, azaz:

$$W = A \cdot \int_0^{z_0} p \cdot dz = A \cdot \int_0^{z_0} \left[\frac{k_c}{b} + k_\phi \right] \cdot z_0^n \cdot dz \quad [\text{J}] \quad (11)$$

ahol:

A – a felfekvési felület, z_0 – a maximális besüllyedés

A fenti összefüggés csak kis mértékű szlipnél, azaz elsősorban lánctalpas járószerkezetekre igaz, mivel akkor még nem ismerték a csúszás besüllyedés közötti összefüggést. A szlipnek a gördülési ellenállásra gyakorolt hatását néhány évvel később ONAFEKO (1969) és KIM et al. (1986) is vizsgálta.

2.2.2. A talaj nyomószilárdságának vizsgálata

A műszaki tervezés nélkülözhetetlen eleme a talaj mechanikai tulajdonságainak pontos ismerete. A talaj egyik legfontosabb mechanikai jellemzője a függőleges teherbíró képesség (hordképesség), amely az ellenállás változását írja le a függőleges deformáció függvényében. Ez a talajnak pl. a függőleges abroncsterheléssel szemben kifejtett ellenállása. A kerék tengelyére ható függőleges erő okozta terhelésre a talajban ébredő feszültség állapot kialakulása ill. a kerék besüllyedésével együtt járó talajdeformáció a válasz. A terepjárás esetében a terhelés gyakran túllépi a törési határokat és a bekövetkező alakváltozások általában nagymértékű és gyors lefolyásúnak tekinthetők. Ezen tulajdonságok miatt a gumiabroncs-talaj kölcsönhatásában lezajló folyamatokat a „kritikus állapotú talajmechanika” témakörébe sorolja a tudomány.

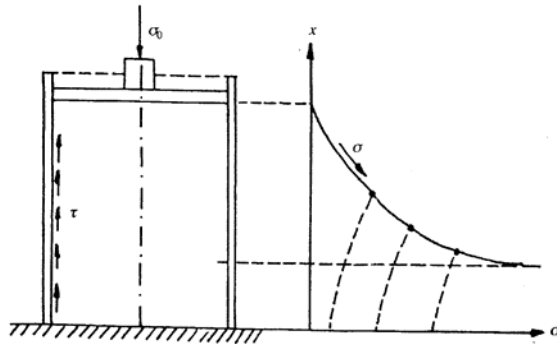
A talaj terhelhetőségének meghatározására 2 mérési, vizsgálati módszer vált általánosan elfogadottá:

- a nyomófejes (nyomólapos) Bevameter mérések, valamint
- a kúpos penetrométerrel végzett vizsgálatok.

2.2.2.1. A nyomófejes (nyomólapos) vizsgálati módszer

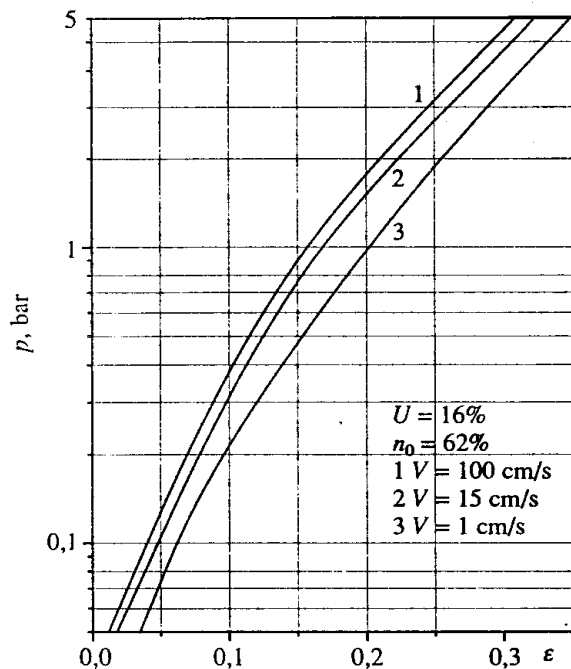
Ezt a módszert a Land Locomotion Laboratory (LLL) –ban fejlesztették ki Bekker irányításával (BEKKER, 1956; JÁNOSI et al., 1961). A mérés során egy a gumiabroncs terhelésének megfelelően egy meghatározott átmérőjű tárcsát nyomnak a talajba és rögzítik a nyomás-besüllyedés összetartozó értékeit.

A nyomófej alatti deformáció jelentős részét (a homoktalajok kivételével) a térfogatváltozás (pórushányad csökkenése) azaz a talajrétegek tömörödése adja.



3. ábra

A tömörítő henger és a nyomás eloszlása a dugattyú előtti térben



4. ábra

Vályogtalaj tömörítése különböző sebességekkel (SITKEI, 2002a nyomán)

Megállapítást nyert, hogy a talajszerkezet teherbírása lényeges kapcsolatban áll a talaj típusával, az aktuális nedvesség-tartalmával, és a talaj térfogatsúlyával (lazítottságával).

A talajtömörítés általános törvényszerűségei tömörítő hengerben is vizsgálhatók (3. ábra).

A henger falán nyíró feszültségek ébrednek, amelyek lefelé haladva kissé csökkentik a függőleges nyomást. Ezért viszonylag alacsony és nagy átmérőjű hengert célszerű alkalmazni.

A talaj viszkoelaszto-plasztikus anyag, vagyis a feszültség-deformáció összefüggés a terhelés sebességétől is függ és jelentős maradó deformációval kell számolni. Tipikus nyomás-deformáció összefüggések láthatók a 4. ábrán, különböző terhelési sebességek esetén. Minél lassúbb (azaz időben elhúzódó) mérvű a terhelés, annál nagyobb lesz a rétegek tömörödöttsége. Annak ellenére, hogy az eredmények kellő pontossággal bírtak, a módszer a

végrehajtáshoz szükséges nagy nyomóerő-igénye miatt kevésbé használható a gyors és egyszerű mérésekhez.

A talajok teherbírásának vizsgálata általában 10-30 cm átmérőjű kör keresztmetszetű nyomófejekkel történik. A különböző nyomófejek alatt az 5. ábrán látható

nyomáseloszlás alakul ki, mely a
$$\sigma = \frac{P}{2\pi R \sqrt{R^2 - r^2}} \quad (12)$$

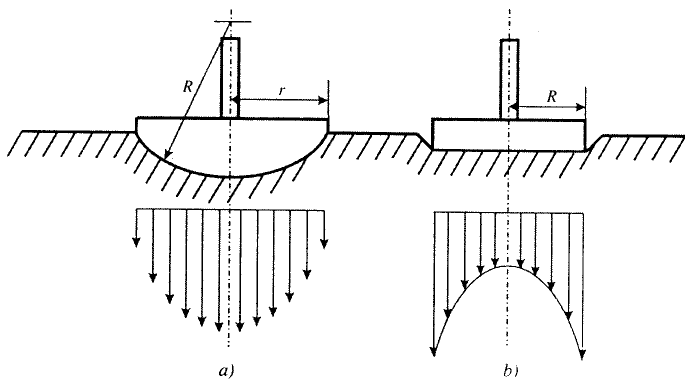
összefüggés szerint változik, ahol P a nyomófej terhelése.

A szélek alatt az elméleti nyomás végtelen nagy, a gyakorlatban azonban az anyag folyása következtében itt is véges érték adódik. A nyomófej besüllyedése a rugalmas féltérbe az alábbi egyenlettel számítható:

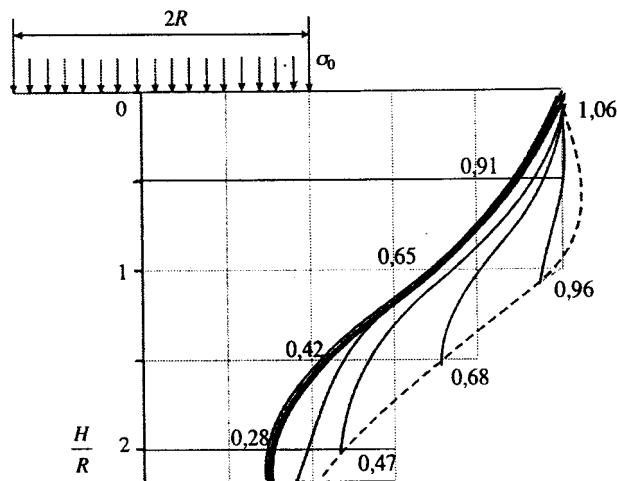
$$z = \frac{P(1-\nu^2)}{2RE} \quad (13)$$

ahol: E - a féltér rugalmassági modulusa

ν - a féltér Poisson-énevezője.



5. ábra
Különböző nyomófejprofilok



6. ábra
A nyomáseloszlás változása kör alakú nyomófej alatt, ha különböző mélységekben merev réteg foglal helyet (SITKEI, 2002a nyomán)

látható, ahol a talajban H mélységben merev réteg található. Általánosan megállapítható, hogy a nagyméretű nyomófejekkel megbízható teherbírési adatok nyerhetők; hátrányuk azonban a nagy nyomóerő-szükséglet.

A hajlékony gumibroncs esetén a modell szerinti kör alakú nyomófej egyenletes nyomáseloszlást ad át a féltérre. Ilyenkor középen kapjuk a legnagyobb besüllyedést, míg a legkisebbet a széleken:

A fentiekben ismertetett összefüggések a rugalmas féltérre vonatkoznak, ezért a talaj esetében ezek az összefüggések nem adnak pontos eredményt. Ugyanakkor rámutatnak az általános összefüggésekre, amelyek a talaj esetében is érvényesek és megkönnyítik a kísérleti eredmények helyes feldolgozását és értelmezését. A talaj teherbírását számos egyéb tényező is befolyásolja pl. a tömör rétegek elhelyezkedése a talajban.

A **6. ábrán** olyan kör alakú nyomófej alatti nyomáseloszlás

2.2.2.2. A kúpos penetrométer alkalmazása

A talaj nyomószilárdságát, illetve összenyomhatóságát a talajnyomás-talajdeformáció függvénnyel lehet elsődlegesen jellemezni. A talaj nyomás-deformáció jelleggörbéjének mérőeszköze a penetrométer. A segítségével felvett nyomás-deformációs görbét penetrogramnak nevezzük.

A penetrométer általános elterjedését nagyban elősegítette, hogy az amerikai mérnökök egyesülete szabványban (ASAE S. 313.1.sz.) rögzítette a mérőfej-átmérők, a mérőszár-átmérők nagyságát, a szonda kúpszögét, valamint a behatolási mélység legkisebb osztását és a talajbahatolás maximális sebességét (72 inch/min ~ 3 m/s). A vizsgálati mélységhatárra tehát nem született előírás.

Napjainkban a penetrométerek két alapvető típusát lehet megkülönböztetni:

- a. A dinamikus penetrométerek, ahol a kúp alakú szonda talajba való juttatása ejtősúly vagy kalapács segítségével történik. A vizsgált talajréteg átlagos ellenállása az adott rétegre eső ütésszám alapján segéd táblázatból kereshető ki. Ilyen elven működik pl. a Dvoracsek-féle penetrométer.
- b. A statikus penetrométerek, melyeknél a szondát egyenletes sebességgel kézi, vagy gépi erővel kell a talajba nyomni. A mérési eredmények közvetlenül leolvashatóak, ill. a penetrométer típusától függően, papírszalagon vagy adatrögzítőben tárolódnak (Szelényi-féle dinamométer, Eijkelkamp penetrograph, Bush recording penetrometer). Az újabb kifejlesztésű penetrométerek egyidejűleg mérik az adott mélységben a talajellenállást, és a hozzátartozó nedvességtartalmat (3T-SYSTEM; PENETRONIK).

Tömörödött talajon a dinamikus penetrométerek, kevésbé tömörödött, illetve különböző tömörségű rétegekből felépülő talajszelvényénél a statikus penetrométerek használata az előnyösebb. A vizsgálatok azt igazolják, hogy a penetráció sebessége befolyásolja a szonda talajba nyomásához szükséges erőt, ezért nem javasolja FREITAG (1971) a dinamikus penetrométerek alkalmazását, mivel az érzékenységük kisebb, valamint az egyenletes penetrációs sebesség alkalmazásuk során nem biztosítható.

A penetrométeres mérés eredményeit a talaj nedvességtartalma jelentősen befolyásolja. Ennek felismeréseként hazai kutatóink munkája eredményeként került megvalósításra egy korszerű mérőeszköz a 3T SYSTEM nevű elektronikus rétegingdikátor. A mérőműszer létrehozása Sinóros-Szabó Botond, Kazó Béla és Szöllősi Sándor nevéhez fűződik. A berendezés legnagyobb előnye, hogy 1 cm-es talajrétegenként folyamatosan

és összefüggően, memóriában rögzíti az adott szelvény nedvességtartalmát és penetrációs ellenállását. A talaj nedvességtartalmát a szántóföldi vízkapacitás (pF 2.5) %-ban kifejezett részarányaként, a penetrációs ellenállását kPa-ban méri (SINÓROS-SZABÓ, 1992 b).

2.2.3. A talaj nyomószilárdságának jellemzése

A talaj nyomószilárdságának jellemzésére először az Egyesült Államok Hadmérnöki Vízközlekedési Kísérleti Állomásán (WES) az 1950-es években elvégzett vizsgálatok során alakítottak ki egységes értékelési rendszert. A kísérletsorozatot irányító KNIGHT et al. (1962), RULA et al. (1971) a talajszilárdság jellemzésre elsőként vezette be a kúpindex (CI) fogalmát. A CI értéke a finom szemcséjű talajnak (pl. agyag) a kúpos penetrométer behatolásával szembeni ellenállását jellemzi. Később kidolgozták a redukált kúpindexet, az RCI-it is, mellyel a folyamatos közlekedésből származó tartós tiprásnak kitett durva szemcséjű talajok szilárdságát jelölték. Különbséget tettek az egyszeri és a többszöri áthaladás hatására keletkező talajdeformáció között, és figyelembe vették a talaj „kritikus rétegét”, melyre a redukált kúpindex leginkább szignifikánsnak bizonyult. A jármű jellemző számú áthaladásaihoz mutatószámot használtak, ez lett a jármű-kúpindex a VCI. Ebből vezették le a talajon való járhatóság kritériumait, miszerint ha egy területre a talaj redukált kúpindexe (RCI), a jármű egyszeres vagy ötvenszeres áthaladására vonatkozó jármű-indexszel (VCI_1 és VCI_{50}) egyenlő vagy nagyobb, akkor a talaj a közlekedéshez kellő szilárdsággal rendelkezik. A penetrométerrel felvett mélység-nyomás értékpárok alapján a talaj nyomószilárdságát tehát az alábbi értékek megadásával jellemzi a szakirodalom:

- a.) Az összes mérési adatot tartalmazó és a teljes vizsgálati talajszelvényt jellemző mélység-nyomás görbével, azaz penetrogrammal.
- b.) Egy adott talajmélységnél (y) mért nyomás értékével, amelyet kónusz- vagy kúposindexnek neveznek és CI_y -nal jelölnek.
- c.) Egy nullától induló adott mélységtartományban fellépő nyomás átlagértékével, melyet a tartományra vonatkozó átlagos kónuszindexnek neveznek és CI_{0-z} -vel jelölnek. A terepjárművek vizsgálatának gyakorlatában a 0-6 inch = 0-15,2 cm mélységtartományra vonatkozó átlagos nyomásértéket, vagyis a $CI_{0-15,2}$ átlagos kónusz-index értéket használják a nyomószilárdság jellemzésére.

d.) A nyomás mélység függvényében való emelkedésének mértékével, azaz a nyomás mélység-gradiensével, amit kónusz-index-gradiensnek hívnak és CGR_y -nal vagy G_y -nal jelölnék. (Az y index az adott talajmélység, amelyre a G vonatkozik.)

A múlt század hatvanas éveinek kutatásai során egyik meghatározó tényezővé vált a penetrogram ill. a kónusz index, mint a járószerkezet és a talaj erőkapcsolatának egyetlen könnyen és közvetlenül mérhető jellemzője. Éppen ezért jelentős számú szakirodalom foglalkozik a talaj kónusz-indexével és ennek a talaj egyéb jellemzőivel, valamint a járószerkezetek vonóképességével való kapcsolatával. Így nem véletlen, hogy a terepjáró képesség egyik fontos segédfogalmát a kerékabroncsokra vonatkozó mobilitási számot is kónusz index felhasználásával alakították ki.

A FREITAG (1965a) féle mobilitási szám az abroncs terhelésére, geometriai méretére és a talaj kúpindex-értékére épült fel. A WES kísérletsorozatában, melynek célja a talaj-abroncs kapcsolat leírása és az abroncs várható teljesítő képességének előre jelzése volt számos kutató vett részt többek között Freitag, Rula, Nuttal, Turnage, Rowland és Melzer.

A vizsgált abroncsok kezdetben hagyományos szerkezeti felépítésűek, sima futófelületűek voltak és nagyságrendileg egy méreetsort alkottak. A talaj közel telített, igen képlékeny állapotú tiszta kohéziós szerkezetű (agyag), ill. légszáraz súrlódásos (homok) volt. Az abroncsok a vizsgálat során 6 km/h sebességgel haladtak.

A vontatási képesség jellemzésére korábban használt 3 dimenzió nélküli kifejezést (terhelési szám, alakszám, összenyomódási szám) FREITAG (1965a) egy közös képletbe vonta össze, melyet „mobilitási” ill. „mozgékonyági szám”-nak nevezett el.

Tehát az új kifejezés az alábbi formában öltött testet (agyag talajra vonatkoztatva):

$$M = \frac{CI_{0-15} \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h} \cdot \left(\frac{1}{1 + b/2d} \right)} \quad (14)$$

ahol:

CI_{0-15} – a 15 cm mélységtartományhoz tartozó átlagos kónusz-index,

b – abroncsszélesség, h – az abroncskeresztmetszet magassága,

d – abroncsátmérő, δ - az abroncs deflexiója a terhelés hatására,

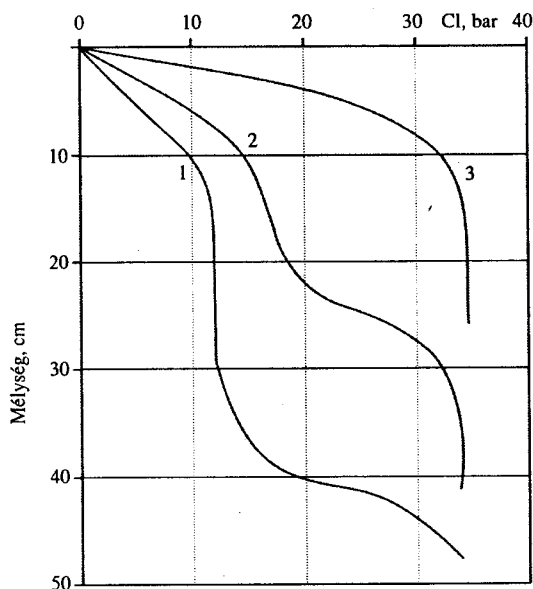
W – az abroncs függőleges terhelése.

A mobilitási szám lényegében véve egy adott méretekkel rendelkező abroncs és egy adott nyomószilárdságú (pl. CI_{0-15}) talaj esetében a talaj nyomószilárdságának kihasználási fokával arányos számot jelent, s mint ilyen alkalmas arra, hogy

segítségével az adott abroncs adott talajon elérhető fontosabb vontatási jellemzőit előre megbecsülhessük. Ezért vált később ez az érték a vontatási vizsgálat sorozatok egyik legfontosabb körülmény-hitelesítő adatává.

A WES kísérletsorozatának eredményeit később DWYER (1977) felhasználta egy kézikönyv összeállítására, amelyben különböző mezőgazdasági traktorabroncsok várható vontatási viselkedését rögzítette, különböző terhelés, tömlőlégnyomás és talajfelszín esetében.

A kúposindex mérése, valamint az összefüggések pontosítása számos kutatót foglalkoztatott mint pl. (ROHANI et al. 1981; BALADI et al. 1984; JÁNOSI et al. 1961; WISMER et al. 1973; TURNAGE 1984). Hazánkban KOMÁNDI (1989b) és SITKEI (1978) foglalták össze a műszaki gyakorlat számára is használható



7. ábra

Különböző talajok kúpos indexe a mélység függvényében

1 mélylazítás, ülededés után, 2 búza, őszi mélyszántás után, 3 három év során tárcsázva (SITKEI, 2002 a)

összefüggésekké a kúposindex mérések különböző eljárásait és a talajvizsgálatok elméleti és gyakorlati kérdéseit (7. ábra).

Sok kísérletet végeztek a talaj kúpos indexe és a jármű mozgékonyasági képessége közötti kapcsolat feltárására. A fenti összefüggések birtokában nyílt lehetősége a kutatóknak a terepen mozgó járművek mozgékonyaságát előrejelző számítógépes modellek megalkotására.

Ilyen számítógépes modellt és mozgékonyasági programot alkotott LAIB (1989; 1994a; 1994c) kutatásainak eredményeként. A modell feladata adott terepviszonyok között a jármű mozgásának

utánzása a mechanikai és a dinamikai folyamatok analízisével. A program eredményei az idő-, a teljesítmény- és az energia-felhasználásra vonatkozó előrejelzések.

2.3. A járószerkezet és a talaj kapcsolatának mechanikai vizsgálata

A gumiabroncs deformálódó talajon való gördülésének szabatos leírása igen bonyolult és összetett probléma, mely ma még nem teljesen megoldott. Jellegzetességei abból adódnak, hogy:

A gumiabroncs deformálódik radiálisan, tangenciálisan és forgásirányban is.

I. A gumiabroncs deformációja következtében relatív elmozdulás következik be az abroncsfelület és a talaj között, valamint

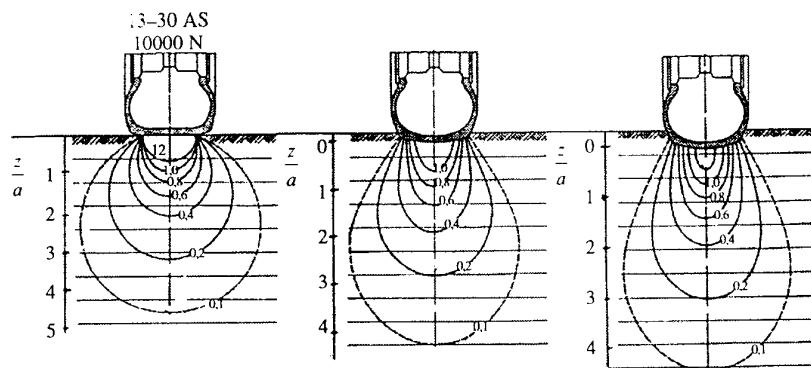
II. a talaj is deformálódik a gumiabroncs alatt függőleges és vízszintes irányban.

A kerékabroncs gördülése során alapvetően kétféle aktív erőhatással terheli a talajt. Az egyik a jármű dinamikus tengelyterhelésének az adott abroncsra eső hányada, amely a kerék tengelyére függőleges irányban hat. A másik erőhatás a vizsgált abroncsra eső hajtónyomaték. E két erőhatás következtében jön létre az abroncsot előremozgató vízszintes irányú hajtóerő és az ezzel szemben fellépő a talajon ébredő gördülési ellenállás.

2.3.1. A függőleges abroncsterhelés hatása

A jároszerkezet okozta talajdeformáció a talaj nyomószilárdságának, a felületi nyomásnak, az érintkezési felület alakjának és az érintkezés idejének a függvénye.

A jármű súlya a jároszerkezeten keresztül adódik át a talajra, közel függőleges megoszló terhelés alakjában. A terhelés a jároszerkezet kialakításától függően lehet pontbeli, vonalmenti, vagy kör, ellipszis, ill. sávfelület mentén eloszló. A függőleges erő hatására a talajban kialakuló feszültségek eloszlását vizsgálta többek között Fröhlich is. Az általa bevezetett koncentráció faktor segítségével meghatározhatóvá váltak a koncentrált erő okozta terhelés hatására a talajban létrejövő izobár vonalak. A talajban a koncentrált erő hatására az elmélet szerint olyan nyomáseloszlás alakul ki, amelyre az a jellemző, hogy a talajtérfogat különböző nagyságú azonos nyomásszintekhez tartozó pontjai gömbhéjszerű felületeken helyezkednek el oly módon, hogy az alacsonyabb nyomásszintű felületek sorra magukba zárják a magasabb nyomásszintű felületeket. Ezek az ún. nyomáshagymák (**8. ábra**), amelyek a koncentráció faktor függvényében



8. ábra

Az állandó nyomásgörbék (izobárok) alakja különböző talajokon

körre ill. függőlegesen nyújtott ellipszisre hasonlítanak. Az abroncs a talajjal leginkább ellipszis alakú felület mentén érintkezik. A felület alatti teljes nyomáseloszlás csak közelítő módszerekkel határozható meg.

A terhelést ebben az esetben a felület mentén egyenletesen megoszlónak vagy parabolikusan változónak tételezzük fel. A kerekek alatti nyomáseloszlás inkább parabolikusan változó jellegű. A teljes nyomáseloszlás közelítő meghatározására SÖHNE (1953) a felületet kisebb (elemi) részekre osztotta és az egyes részekre ható nyomást koncentrált terhelésnek tekintve, határozta meg az elemi feszültségek összegéből a keresett eredő erőt. A gumiabroncs ellipszis alakú talpfelülete alatt a nyomásértékek tehát egyrészt a talajfelületi maximális értékükről a mélység függvényében fokozatosan csökkennek, másrészt pedig a talaj belső súrlódása és nyírószilárdsága következtében a nyomások nemcsak az abroncs szélességének megfelelő talajszelvényben keletkeznek, hanem annál nagyobb szélességben is kiterjednek az abroncs szimmetriasíkjától mért távolsággal csökkenő mértékben. Álló statikus abroncsterhelés esetén a nyomáshagymák mind hossz, mind pedig kereszt irányban szimmetrikusak. Haladó, gördülő mozgás esetén az abroncs hosszúsíkjával párhuzamos síkokban a felszín közelében ható talajfeszültségek következtében ez a szimmetria felbomlik. A nyomáshagymák eredetileg függőleges szimmetria síkja a haladással ellentétes irányban bizonyos szögértékkel elfordul. A nyomáshagymák nyomásértékei, mélységbe hatolása valamint a haladási irányra merőleges szétterjedésének mértéke elsősorban a függőleges abroncsterheléstől függ. A nyomáshagyma izobárainak kialakulását egyrészt befolyásolja az abroncs belső nyomása, ugyanis minél kisebb a belső nyomás értéke annál kisebb nyomásértékek jelentkeznek a talajfelszínhez közeli rétegekben. Másrészt az izobárok alakja és nagysága a talajhordképességétől is függ, amely viszont függvénye a talaj fizikai féleségének, a talaj tömörségének (fellazítottsági fokának) és a nedvességtartalmának. Minél kevésbé hordképes egy talaj, annál keskenyebbek a nyomáshagymák és annál mélyebbre hatolnak a talajba.

2.3.2. A hajtónyomaték, a tolóerő és a gördülési ellenállás jellemzői

Az abroncs tengelyére ható hajtónyomaték a hajtóerőt az abroncsköpeny talajjal érintkező futófelületével és a kontaktusba kerülő bordákon keresztül adja át a talajnak. A kialakuló többféle erőkomponens eredőjének vízszintes és a haladási irányba mutató

komponense a talaj hajtóereje (más néven a tolóerő). Az ébredő hajtóerőt és egyben a gumibroncs kapaszkodási képességét a talaj belső ellenállásainak eredője szabja meg, amelyet a talaj a hajtónyomaték okozta csúszás, valamint az alak-és térfogatváltozás ellenében kifejt. A hajtóerő komponenseit egyszerűsítve az alábbi összefüggéssel írhatjuk le:

$$F_h = F_s + F_a + F_n + F_k \quad [\text{N}] \quad (15)$$

ahol:

F_h – hajtóerő	F_s – súrlódó erő
F_a – adhéziós erő	F_n – nyíró erő
F_k – kompressziós erő	

illetve részletesen:

$$F_h = \mu \cdot G + a \cdot (f_{kt} + f_{bt}) + c \cdot f_c + k \cdot f_{bk} \quad [\text{N}] \quad (16)$$

ahol:

G	– az abroncs függőleges terhelése [kN]
μ	- az abroncs és a talaj súrlódási tényezője
a	– az érintkező felületek síkjában ébredő adhéziós feszültség [kPa] (amely független a felületi nyomástól)
f_{kt}	– a köpeny talajjal érintkező támasz felülete [cm^2]
f_{bt}	– a bordák talajjal érintkező támasz felülete [cm^2]
c	– a talaj bordák általi nyíró erőhatásnak kitett felületelemein ébredő nyíró-, ill. kohéziós feszültség [kPa]
k	- a bordák kapaszkodó oldalfelületein ébredő kompressziós talajfeszültség [kPa]
f_{bk}	- a bordák talajjal érintkező kapaszkodó felülete [cm^2]
f_c	- a talaj nyírási felülete [cm^2]

Amint a (14) összefüggésből látható a vízszintes hajtóerő négy erőkomponensből tevődik össze.

Az első a súrlódó erő, amely mindenféle talajon és üzemi helyzetben fellép. Értéke az abroncsra ható függőleges erő és a talaj közötti Coulomb-féle súrlódási tényező szorzata, tehát független az érintkező felületek nagyságától.

A második erő az adhéziós erő, amely a talajnak a köpeny és a bordák támfelületeivel érintkező felületén az adhéziós tényezővel kifejezett tapadás hoz létre. Mint az összefüggésből látható mértéke az adhéziós tényezőn kívül elsősorban az érintkező felület nagyságától függ és csak közvetve az abroncs függőleges terhelésétől. Az adhéziót a talajszemcsékben lévő víz kapilláris erői szolgáltatják, melyek

nagymértékben függenek a talaj nedvességtartalmától, valamint az abroncsterhelés okozta talajnyomástól.

A harmadik erőkomponens a talaj nyíróereje. Ezt az erőhatást a talajba hatoló bordák belépő éle kelti a talajkohézió ellenében. A nyíróerő nagysága a kohéziós tényezőtől valamint a nyírásban résztvevő összes talajfelület nagyságától függ. A kohéziós tényező pedig elsősorban a talajféleség és az aktuális nedvességtartalom függvénye. Az elnyírt talajfelület nagyságát a bordák által a talajnak átadott kerületi erő befolyásolja, amely az abroncs hajtónyomatékának függvényében fokozatosan növekszik. A nyírt felület lehetséges legnagyobb értéke az abroncs talpfelületén belül egy bordapár belépő élei által leírható bordaív hosszának megfelelő felülettel egyenlő. A nyíróerő nagysága jelentős mértékben függ az abroncs csúszásától.

A negyedik erő a talaj kompressziós ereje, melyet a bordák talajjal érintkező belépő oldali oldalfelületei hoznak létre az előttük lévő talajszelvény kompressziója révén. A kompressziós erő nagysága az abroncscsúszás függvénye és értéke általában kisebb a talaj súrlódó és nyíróerejénél.

A kerék elmozdulását gátló gördülési ellenállás elméleti definíció szerint a kereket terhelő súlyerő (Q) hatására, annak középvonalától f távolságra ébredő támasztó erő (N) forgatónyomatéka ($N \cdot f$). Mivel a gyakorlatban (pl. a vontatási vizsgálatoknál) ennek közvetlen mérése nem megoldható, ezért helyette a menetellenállást szokták meghatározni. Ez utóbbi a gördülési ellenállás legyőzéséhez szükséges vonóerő nagyságának mérését jelenti állandó haladási sebesség mellett. A kettő közötti lényeges különbség azonban, hogy míg a gördülési ellenállás nyomaték, addig a menetellenállás erő dimenziójú érték. A gördülési ellenállás meghatározásával és annak összefüggéseivel sok külföldi kutató foglalkozott. A témában ugyanakkor számos kiemelkedő hazai kutatási eredmény is született KOMÁNDI (1999), SITKEI (1966) és JANIK (1956) munkássága nyomán.

A gumiabroncs menetellenállásának elemzése alapján válik érthetővé az abroncs és talaj kapcsolata. OMELJANOV (1948) elméleti alapon állapította meg a menetellenállást leíró összefüggését, amely az értéket két komponensre bontja fel. Az első a talajdeformációból, a második a gumiabroncs deformációból eredő menetellenállás komponenseket rögzíti.

$$F_m = C_1 \cdot Q \cdot \sqrt[3]{\frac{p_1}{c_1 \cdot D}} + C_2 \cdot Q \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{p_1 \cdot D^2}} \quad [\text{N}] \quad (17)$$

ahol:

Q – az abroncsterhelés [N]

D – a kerékátmérő [m]

p_1 – az abroncslégnyomás [Pa]

c_1 – a talaj fajlagos tömörítési tényezője [N/m^3]

C_1 – a talajdeformációt jellemző tényező

C_2 – az abroncsdeformációt jellemző tényező

BEKKER (1976) talajmechanikai vizsgálatokat végezve a menetellenállásra az alábbi összefüggést kapta:

$$F_m = b \cdot \left[\frac{k_c}{b} + k_\varphi \right]^{-\frac{1}{n}} \cdot \frac{(p_1 + p_k)^{\frac{n+1}{n}}}{n+1} + f_{abroncs} \cdot Q \quad [\text{N}] \quad (18)$$

ahol:

$$f_{abroncs} = \frac{u}{p_1^a} \quad (\text{az } \mathbf{u} \text{ és } \mathbf{a} \text{ tényezők kísérleti úton határozhatók meg})$$

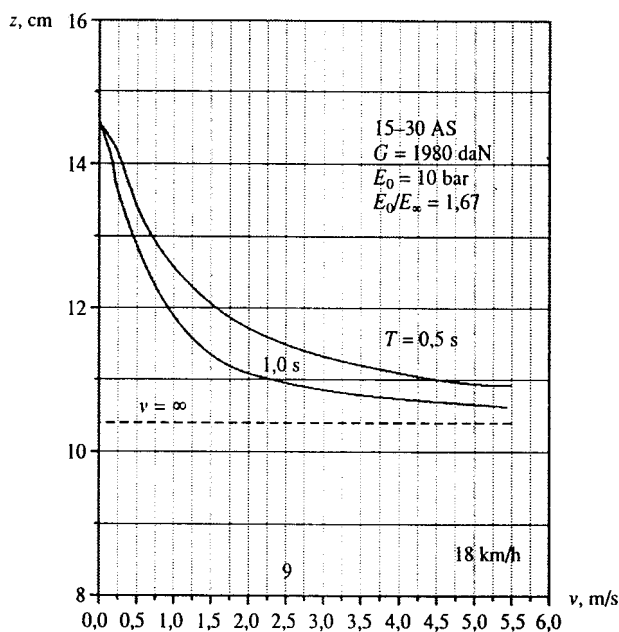
p_k – az ún. köpeny –nyomás érték [Pa]

Az Omeljanov és a Bekker képletből is egyértelműen látható, hogy a menetellenállás talajdeformációból adódó része a kerék és talajjellemzők mellett az abroncs belső légnyomásától is függ. A gumiabroncs deformációját a kerékterhelés mellett az abroncs átmérője és a tömlőnyomása befolyásolja. Ez ugyanis elsődlegesen meghatározza a gumiabroncs talajba süllyedésének mértékét. Az egyenletekből megállapítható továbbá az is, hogy a talajdeformációból adódó tömörítési ellenállás egyenesen arányos, míg a gumi deformációjából adódó ellenállás pedig fordítottan arányos az abroncs belső légnyomásával. A fenti egyenletek általános hibája, hogy figyelmen kívül hagyják a talajegyenletlenségek által gerjesztett függőleges lengések energiavesztéseinek a menetellenállást befolyásoló hatását.

2.3.3. Az ébredő talajdeformációk és feszültségek meghatározása

Az abroncsterhelés okozta talajdeformációk és feszültségek meghatározására a kutatók kezdetben igen egyszerű és korlátozott méréseket végeztek. A vizsgált talajszelvényben bekövetkező változásokat vékony papír- vagy színezett homokcsíkokkal rögzítették (DANFORS, 1974; GILL 1968; NICHOLS et al. 1925). Később a mérési útvonallal párhuzamos vizsgálati árokból lefényképezték a talaj különböző rétegeibe elhelyezett

jeleknek a mérés előtti majd a kerék legördülése nyomán bekövetkező elmozdulásait (GLIEMEROTH, 1953; WONG et al. 1967a,b,c). A vizsgálatokat később SÖHNE (1952) és GLIEMEROTH (1953) kiterjesztették a bordázott abroncsok alatti függőleges és vízszintes irányú talajelmozdulásokra is. A magas bordázatú abroncsok hatásait először CEGNAR et al. (1960) vizsgálta állandó terhelés és abroncslégnymás mellett. Később a gumiabroncs talajba való benyomódását befolyásoló tényezők vizsgálatára irányult a kutatók figyelme GRAHN (1991). A kérdésre, hogy milyen formában befolyásolják a különböző talajállapotok és azok nedvességtartalma a talajtömörödést és a benyomódás nagyságát FEKETE et al. (1975) mellett ARVIDSSON et al. (1997) és SCHMID (1995) is kereste a választ. A benyomódáson kívül a gördülési ellenállás nagyságának megállapítására KOGURE et al. (1983) végzett vizsgálatokat. A haladási



9. ábra

Az abroncs besüllyedése a haladási sebesség függvényében (SITKEI, 2002a)

(1986) a dél-kínai talajok vizsgálatánál már egy négy elemes modellt használt. Hazánkban SITKEI (1981) vezette be elsőként a mezőgazdasági anyagok és a talajok vizsgálatánál a reológiai módszereket.

A kutatók többsége a 70-es évektől újabb elméleti és módszertani eszközöket felhasználva igyekeztek tökéletesíteni a gumiabroncs-talaj kapcsolati modellt. KARAFIATH et al. (1978) a kontinuum mechanika és a talajképlékenység elméletét, míg YONG (1978) a véges elemes módszert alkalmazta a mozgékony és talajtömörödés meghatározására. TING (1989) a diszkrét elemek módszerét használta

sebesség is hatással van a benyomódás mértékére. A haladási sebesség növeléskor csökken a maximális talajbesüllyedés (9. ábra). Ezt állapították meg többek között: (POPE, 1971; FEKETE 1978; SITKEI, 1972; SELIG et al. 1975, és CREWNCHAW, 1972)

A kutatások az 1950-es években újabb fordulatot vettek, amikor TAN (1957) elsőként alkalmazta a reológia módszerét a talajdeformációk elemzésére. Elsőként alkalmazta a talajokra Poynting-Thomson modellt. Később PAN

fel. Kísérleteiben egytengelyű terhelési, nyírási és triaxiális vizsgálatokat végzett. Munkájában kétdimenziós DEM modellt használt. TANAKA (2000) Ting-hez hasonlóan a diszkrét elemek módszerét használta a különböző talajtípusok deformációjának és a behatolással szembeni ellenállásának vizsgálatánál.

UPADHYAYA (1993) természetes környezetben egy traktor hárompont-függesztő rendszerére szerelt nyomó és nyírókészülékkel vizsgálta a különböző talajféleségek nyomóerő-benyomódás és nyírási diagram összefüggéseit.

A talajtömörödés folyamatának jobb megértése csak később a gumiabroncs-talaj kapcsolatban ébredő normális és érintő irányú feszültségek kutatása nyomán vált lehetővé BURT (1987). A mezőgazdasági erőgépek méret- és tömegnövekedése egyre inkább a gumiabroncs által keltett talajfeszültségek vizsgálatára ösztönözte a kutatókat. (CHANCELLOR et al. 1962; SCHWANGHART 1991; SOANE 1981; SÖHNE 1958)

Kezdetben WONG (1991) a dinamikus abroncsterhelés hatására a talajban ébredő normál feszültséget vizsgálta különböző talajállapotok mellett. Később WANJII (1998) talajvályúban végzett vontatási modellkísérletekkel elemezték a normál- és horizontális feszültségeloszlásokat.

WOOD (1990) a merev kerék és a deformálódó gumiabroncs tolóerejét hasonlította össze. A kerék alatt ébredő normál- és érintő irányú feszültségek ismeretében meghatározta a dinamikus terhelés hatását a tolóerő és a mozgási ellenállás értékeire.

A mérőberendezések és a számítástechnika nagyarányú fejlődése lehetővé teszi a talajelmozdulások minél pontosabb meghatározását. Az első 3 dimenziós számítógépes modell SEIG (1985) és TIJINK (1988a; 1988b) nevéhez fűződik. Kísérletsorozatában a gördülő kerék alatti talajelmozdulásokat vizsgálja különböző talajtípus, nedvességtartalom és tömörödöttség mellett azonos abroncstípus, adott abroncslégnyomás, terhelés és sebesség értékeinél.

2.3.4. A gumiabroncs alakváltozásainak vizsgálata

A gumiabroncs gördülésekor különböző rugalmas alaktani változásokat szenved az ugyancsak deformálódó talajon. Az abroncs gördülésekor a talajjal való kapcsolata révén radiális, tangenciális és tengelyirányban is deformáció jelentkezik. Az abroncs talajjal érintkező felületének egyes részei a talajhoz tapadnak, míg mások a talajhoz képest elmozdulnak, elcsúsznak.

Az abroncs különböző felületi elemeit érő feszültségek és deformációk ismerete azért fontos, mert az eredmények egyúttal a hatás-ellenhatás elvnek megfelelően az abroncs talajra gyakorolt hatásait is jellemzik.

A gumiabroncs gördülési viszonyait lényegesen befolyásoló tényezők tehát:

- a gumiabroncs függőleges benyomódása (deflexiója),
- a gumi belső súrlódása,
- a deformációból adódó relatív elmozdulások a felfekvő felület mentén.

A gumiabroncs belapulása és kirugózása a gördülés során periodikusan ismétlődő jelenség és a gumi belső súrlódása révén hiszterézisvesztés, hőképződést okoz, mely jelentősen befolyásolja a kerék gördülési ellenállását.

A deformációk miatt a gumiabroncs futófelülete nem fejthető síkba. Az abroncs felületen ébredő rugalmas alakváltozások másképp jelentkeznek a hajtott és a tolt kerekek esetén. A forgatónyomatékkal terhelt hajtott kerekeknél a gumiabroncs a felfekvő felület előtt egy kicsit összetorlódik, majd tovagördülve visszaáll az eredeti alakjára. Tolt kerekeknél a jelenség fordítva tapasztalható, az érintkező abroncsfelület előtt kicsit megnyúlik, utána pedig összezsugorodik.

A fent leírt folyamat az adott gumiabroncs alakváltozási szlipje, ami a talajon való haladáskor nem okoz valóságos abronccsúszást.

A gumiabroncs deformációja összefüggésben van a talaj fizikai szerkezetével. Lazább talajon kisebb az abroncsdeformáció, ugyanakkor azonban a bordák okozta talajdeformáció lényegesen megnövekszik.

A gumideformáció mérőműszerekkel történő meghatározása lényegesen nehezebb feladat, mint a talaj változásainak rögzítése. A nehézséget az okozza, hogy a vizsgálatokat gördülés közben lenne célszerű elvégezni. A gumideformáció vizsgálatát a nyúlásmérő bélyegek alkalmazása tette lehetővé. Néhány amerikai kutató helyen kialakítottak olyan mérőeszközöket és módszereket, amelyek segítségével a már említett abroncsdeformáció egy-két komponense mérhetővé vált. (LI, 1985; KRICK 1969).

A szakirodalmak tanúsága szerint ezideig kétfajta nyúlásmérő bélyeges módszer alkalmazására került sor.

Az egyik egy lapos, henger alakú diafragmás nyomásmérő cella, amely az abroncs futófelületének vagy bordáinak megfelelő helyén a függőleges erőhatás (ill. nyomás) mérésére alkalmas. KNIGHT et al. (1962).

A másik mérőműszer egy kombinált érzékelő, amely a merőleges erőhatás mellett a mérőfelületre eső tangenciális erőt is regisztrálja. Miután ezek az érzékelők nagyobb beépítési szilárdságot igényelnek, ezért eddig csak bordákba építették be őket.

A nyúlásmérő bélyeges és a kombinált feszültségérzékelők alkalmazásával az abroncs talaj erőkapcsolat alább felsorolt jellemzőinek mérésére nyílt lehetőség:

- a nyomás eloszlása az abroncs futófelületén és bordatalpakon,
- a súrlódó erő eloszlása a futófelület és a bordahossz mentén,
- a talaj-kompresszió eloszlása a bordák oldalfala mentén.

A módszer hátrányai azonban, hogy

- a.) A mérések hosszadalmas és nagyon pontos előkészítést igényelnek. Az érzékelők elhelyezése nagy mértékben befolyásolja a mérési eredményt.
- b.) Nem ad lehetőséget a bordaéleknél fellépő nyíróerők mérésére, valamint a mért helyi feszültségértékekből az egyes eredő komponensek nehezen határozhatók meg.

A nehézségek ellenére azonban érdemes a nyúlásmérő bélyeges erő/feszültség kísérleteket tovább folytatni, mert az abroncs és talaj közvetlen erőkapcsolatáról ez az egyetlen a valós állapotokat leginkább mérhetővé tevő vizsgálati módszer.

FREITAG et al. (1966) a gumiabroncs belsejébe épített lineáris potenciométer használatával mérte a gumi középpontjához képest a radiális és tangenciális deformációkat. Arra keresték a választ, hogy miként változik a deformáció az abroncsleégnyomás, a szlip és a talajhordképesség függvényében. Vizsgálataik eredményeként megállapították, hogy a gumideformációt befolyásoló tényezők az abroncsleégnyomás, a kerékterhelés, a talajtípus és a haladási sebesség. A gumideformáció formáját és mértékét alapvetően azonban gumi és a talaj egymáshoz viszonyított relatív merevsége határozza meg. A gumiabroncs oldalfalán jelentkező deformációt és ennek mértékét ABBELS (1989) vizsgálta különböző típusú talajokon.

2.3.5. A gumiabroncs-lenyomat jellemzőinek vizsgálata

Számos szakirodalom foglalkozik az abroncs-talaj kapcsolat következtében kialakuló mechanikai állapotok vizsgálatával.

Mindenek előtt KRICK (1969) munkája említendő, aki sima futófelületű abroncs és egy relatíve kemény talaj kapcsolatát vizsgálta. Beszámolóiból kiderül, hogy a kontakt nyomás a keréklenyomat mentén jelentősen függ az alkalmazott belső nyomástól és a

talaj fizikai tulajdonságaitól. VANDENBERG et al. (1962) eredményeivel összhangban, arra a megállapításra jutott, hogy alacsony nyomású abroncs és relatíve kemény talaj esetén a lenyomat középső tartománya mentén a nyomás közel állandó és megegyezik az abroncs belső nyomásával. Ugyanakkor a lenyomat pereme felé közeledve a karkasz merevsége miatt feszültségkoncentráció alakul ki. KRICK (1969) tapasztalta először, hogy ez a feszültségkoncentráció a szlip növelésével csökkenő tendenciát mutat. Jelentős különbséget mutatott ki a kemény és lágy talajokon feszültségeloszlását illetően. Kemény talajon nagy szlipértékek esetén a koronavonalhoz illeszkedő lenyomat-középtengelye mentén, (azaz közel a lenyomat középpontjához) elöl és hátul jelennek meg a nyomáscsúcsok, amelyek azután kifelé és oldal irányban egyaránt lecsökkennek. Lágy talajoknál az abroncs nagyobb mértékű benyomódása miatt a nyomás mintegy kiterül, ugyanis ekkor a talajnak a kontakt tartomány elülső része közelében nincs elegendő szilárdsága ahhoz, hogy az abroncsot a belső nyomás ellenében benyomja, azaz e tartomány mentén a kontakt nyomás a belső nyomás alatt marad. (VANDENBERG et al., 1962; CHANCELLOR, 1977).

FREITAG et al. (1965b) a sima futófelületű abroncs karkaszában nyomáscellákat helyeztek el és segítségével megmérték a normál feszültségek nagyságát és eloszlását. Azzal a feltételezéssel, hogy a mért normál feszültségkoordináták merőlegesek az alakváltozott abroncsfelületre, kiszámították az eredő normálirányú erőt is. Megállapították továbbá, hogy az eredő erő mind hajtott, mind vontatott, kerekek esetén átmegy a kerék tengely-közép vonalán. Fontos eredmény (KRICK, 1969; VANDENBERG et al. 1962; BURT et al. 1990), hogy a nyomáseloszlás még approximative sem egyenlő a lenyomat mentén, a belső nyomással.

Bordázott abroncsok lenyomat menti nyomáseloszlása még ennél is sokkal összetettebb jelenség (VANDENBERG et al. 1962.). Kemény, száraz talajok esetén (hasonlóan a szilárd burkolatú úthoz) a teljes terhelést a bordák viselik. Nedves vagy lágy talajoknál a kontaktnyomás az abroncs benyomódása miatt a bordák alatt megegyezhet a bordák közti felületre ható nyomással (WONG, 1978; WOOD et al. 1985).

SÖHNE (1952) különböző talajállapotok mellett vizsgálta a gumiabroncs-talaj kapcsolatban kialakuló felfekvési felület nagyságát. Sokszor idézett munkájában SÖHNE (1952) azt találta, hogy kemény talajok esetén a traktorabroncs futófelületére ható nyomás 4-5-ször akkora, mint a teljes lenyomatra számolt átlag nyomás. Egy további vizsgálat (SÖHNE, 1958) szerint a kis magasságú bordák alkalmazásakor ez az érték az átlagosnak 1,4-2-szerese is lehet. A karkasz merevségének következtében a

lenyomat külső peremei mentén nagyobb értékek adódnak, mint a középvonal mentén, ami különösképpen alacsony üzemi nyomáson figyelhető meg. Kísérletekkel igazolta, hogy növekvő porozitás és nedvességtartalom mellett, a talajnyom mélységével együtt növekszik a felfekvési felület kerékközéppont mögé eső része is.

KOLOBOV (1966) az abroncsborda felület és a kemény talaj közti nyomást az abroncsnyomás 3-4-szeresének találta. Szerinte a növekvő abroncsleányomás csökkenti a felfekvési felület hosszát és csökkenti a felfekvési felület kerékközéppont mögé eső részét is. BURT et al. (1989) mérési eredményei a maximális nyomásértékekre szintén az abroncsnyomás 3-4-szeresét adták. TRABBIC et al. (1959) ún. nyomás transzducereket helyeztek el különféle pozíciókban a karkaszra és a bordákra. Vizsgálataikkal kimutatták, hogy a vonóerő növelés megnöveli a menetirány szerinti első érintkező borda oldalfelületeire és az összes borda futójára ható nyomást és ugyanakkor csökkenti a többi borda elülső és hátsó oldalfelületeire működő terhelést. Az abroncsnyomás növelésével, a lenyomat közepén a kontakt nyomás is nagyobb lesz, ugyanakkor a peremek mentén kisebb értékeket kapunk.

LIANG et al. (1966) homokos talajon mérték egy bordázott abroncs nyírási, függőleges és oldalirányú normál feszültségeit. Eredményeik szerint a lenyomat középvonala mentén jelentkeznek magasabb nyírófeszültségek szemben a lenyomat peremével. A nyírófeszültségek relatív nagysága, amelyeket a bordák elülső oldalai és futófelületük közvetít, alapvetően a nettó vonóerőtől függnek. Közepes és kis terhelések esetén alapvetően a bordák biztosítják a vontatást, de a közbülső bordaközi tartományok szerepe sem elhanyagolható. A borda elülső felületeire, a vezető borda oldalára és a közbülső bordaközi tartomány felületére eső feszültségek iránya mind azt mutatja, hogy a homokot az abroncs oldalirányú mozgásra kényszeríti. BURT et al. (1987) azt találták, hogy a csúcsertékű normál és tangenciális feszültségek mindig megelőzik az abroncs maximális értékű normális és tangenciális irányú deformációinak helyeit. A talaj felületi állapotának megváltozása nagymértékben függ a bordafelületek mentén kialakuló normál irányú feszültségektől is.

Több kutató javasolt matematikai modellt a puha talajon gördülő kerék vizsgálatára (BALADI et al. 1984; FUJIMOTO, 1977; SCHWANGHART, 1991; YONG, 1978; YONG et al., 1980). WULFSOHN et al. (1992a; 1992b) 3 dimenziós mérési módszert dolgozott ki a gumiabroncs-talaj kapcsolatban a felfekvési felület meghatározására. Vizsgálták a különböző befolyásoló hatásokat (talajjellemzők, geometria, szlip, terhelés stb.) a felfekvési felület kialakulására.

Hazánkban KOMÁNDI (1989a) foglalkozott az abroncs felfekvő felületének számításával történő meghatározásával. Az empirikus összefüggések megállapításához a mezőgazdaságban akkor használt valamennyi abroncsméret esetén megvizsgálta a felfekvő felület nagyságát a terhelés, az abroncslégnyomás és a geometriai méretek függvényében.

Eredményeit az alábbi összefüggésekben rendszerezte:

Az abroncs belapulása merev, nem deformálódó pályán (az abroncs nyomást 0,4-1,6 bar között változtatva):

$$\Delta r = c_1 \cdot \frac{Q^{0,85}}{B^{0,7} \cdot D^{0,43} \cdot p_1^{0,6}} \cdot K \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

ahol:

C_1 – konstans normál gumiabroncsnál $C_1=21,5$

radiál gumiabroncsnál $C_1=28-34$

K – korrekciós tényező ($15 \cdot 10^{-4} \cdot B + 0,42$)

Q – a kerékterhelés [N]

B – az abroncs szélessége [mm]

D – az abroncs átmérője [mm]

p_1 – az belső légnyomása [bar]

A felfekvő felület szélessége:

$$b = C_2 \cdot B \cdot p_1^{-0,14} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Q}{0,4 \cdot Q_{\min}}} \right) \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

ahol:

C_2 – konstans normál gumiabroncs és keskeny pánt esetén 0,87

szélesebb pánt és radiál abroncs esetén 0,9

B – az abroncs szélessége

Q_{\min} – az abroncs legkisebb teherbírása [N]

A felfekvő felület hossza:

$$l = 1,7 \cdot \sqrt{(D - \Delta r) \cdot \Delta r} \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

ahol:

D – az abroncs külső átmérője [mm]

Δr - az abroncs belapulása [mm]

A felfekvő felület és az egyenértékű téglalap hossza:

$$A = \left[(l - b) \cdot b + \frac{b^2 \cdot \pi}{4} \right] \cdot 10^{-6} \quad [\text{m}^2] \quad (22)$$

$$l_{\text{egy}} = \frac{A}{b} \cdot 10^6 \quad [\text{mm}] \quad (23)$$

A diagonál abroncsok felfekvő felületére különböző talajtípusok esetén az alábbi összefüggést alkalmazta (0,6-1,5 bar abroncsnyomás esetén):

$$A = c \cdot Q^{0,7} \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{0,5} \cdot p_1^{-0,45} \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^2] \quad (24)$$

ahol

Q – az abroncs terhelés [N]	B – az abroncs szélessége [mm]
D – az abroncs átmérője [mm]	p ₁ – az abroncs belső légnyomása [bar]
c – a talajtípustól függő állandó	középkötött talajon 3,00-3,20
	homoktarlón 3,60-3,80
	fellazított homokon 4,20-4,40

Az egyenértékű téglalap hossza:

$$l = \frac{A}{B} \cdot 10^6 \quad [\text{mm}] \quad (25)$$

2.4. A gumiabroncs-talaj kapcsolatának modellezése

A kutatók által kifejlesztett a kerék teljesítő képességének ill. a gumiabroncs-talaj kapcsolatának meghatározására szolgáló modelleket az alábbi csoportokba sorolhatjuk

Az empirikus (tapasztalati, vizsgálati) modellek:

- a jármű vonóerő kifejtő képességét elemző vontatási vizsgálatok,
- és a járószerkezetekkel végzett vizsgálatok

alapján nyert összefüggéseket foglalják rendszerbe a jármű teljesítőképességének meghatározása céljából.

Az elméleti modellek elsősorban természettudomány eszköztárából válogatnak különböző módszereket az abroncs-talaj kapcsolatrendszer esetenkénti analizálására. Ide tartoznak: a véges vagy diszkrét elemek módszerét alkalmazó, a talaj viszkoelasztikus tulajdonságait figyelembe vevő és a különböző talajparaméterekre épülő modellek.

2.4.1. Vontatási és kerék vizsgálatokra épülő empirikus modellek

A járószerkezetek, illetve a gumiabroncsok globális kapcsolatát a talajjal szántóföldi vontatási vizsgálatokkal lehet megállapítani. A vizsgálatok során elsősorban az abroncsok vonóerejének jellemzéséhez szükséges paramétereket mérjük, a hajtónyomatékot, a vonóerőt, a kerékcsúszást és a sebességet.

A vontatóképesség, valamint az abroncs és talaj kapcsolatának feltárására és a vontatásmechanikai folyamatok pontosabb megismerésére a talajvályúban végzett egy-kerék vizsgálatok a leghasznosabbak. Az egy-kerék vizsgáló berendezések esetén nem kell számolni a nyomon járással (multipass effektus), nincs szlipkülönbség a hajtott kerekek között és járulékos szlip sem jelentkezik a mellső és a hátsó hajtás között. Ebben az esetben a vonóerőt csak egy hajtott kerék fejti ki, így lényegesen egyszerűbb az egyes teljesítménykomponensek meghatározása. A vizsgálat egyetlen hátránya, hogy viszonylag drága, mert végrehajtásához speciális mérőberendezés szükséges. A mérések ugyanakkor elvégezhetők léptékarányos modellekkel illetve valós méretű gumiabroncsokon. A talajvályú alkalmazása az ilyen jellegű kísérleteknél több előnnyel is jár:

- Miáltal a talajt mesterségesen állítják elő, ezért csökkenthető a természetes talajokra jellemző nagyfokú inhomogenitás (pl. a növényzet, a kövek, a nedvesség, stb.), ami a mérési eredmények nagymértékű szóródását okozhatja.
- A talajban ébredő nyomások rögzítése esetén lehetőségünk van a mérő-érzékelőket a talajvályú megfelelő pontjaiban elhelyezni és a csatlakozó vezetékeket a központi adatgyűjtőbe vezetni.
- A mérések egyetlen helyen és laboratóriumi körülmények között végezhetők.

Néhány dolog azonban a talajvályús vizsgálatok általános elterjedését akadályozza pl.

- A vályú kísérleti talajának megfelelő szemcsefrakció-összetételben és rétegzettségben való felépítése nagy munka és időráfordítást igényel.
- Egyszeri talajfelépítéssel csak egyetlen paraméterváltozat (pl. abroncsterhelés, belső nyomás, vonóerő stb.) hatása mérhető. Valamennyi mérési-feltétel változathoz új talajfelépítésre van szükség és nem mindig sikerül az előzővel azonos talajállapotot megvalósítani.
- A mérés során jelentős költséget jelent a mérőeszközökön kívül az abroncs nyomatéki és súlyterhelésének megvalósítása is.
- A talaj nem természetes állapotában van jelen a vályúban sem a gyökér, sem a felszíni növényzet szempontjából.

Habár a mérési eredmények és az ebből adódó összefüggések a talajvályús kísérletsorozatoknál a legpontosabbak a fent említett okok miatt mégis viszonylagos fenntartással fogadhatjuk csak el azokat.

Talajvályúban elemezte a merev kerék és a homoktalaj kapcsolatát NOHSE (1991). A vizsgálat során mérőberendezése segítségével, időegységenként rögzítette a kerékterhelés, a hajtónyomaték, a vonóerő, a nyomó- és a nyírófeszültség értékeit. Ugyancsak talajvályúban egy-kerék modell alkalmazásával vizsgálta HASHIGUCHI (1994) a kerékelfordulás függvényében jelentkező vonóerőt, és a hajtónyomatékot, a terhelést és a talajbenyomódást valamint a kerék alatti normál- és tangenciális feszültségeket.

Merev kerék és gumibroncs homoktalajon való gördülési ellenállásának meghatározására WANG et al. (1984) végzett talajvályús kísérletsorozatot. DWYER (1977) számos egyéb vizsgálat mellett az ún. multipass effektus (nyomonjárás) hatásait elemezte. Mérési alapján úgy tapasztalta, hogy a második elhaladás esetén a vontatási tényező és a vontatási határfok 5-7 %-kal nőtt, a gördülési ellenállás pedig 11%-kal csökkent. Speciális ún. erdészeti gumibroncsok vontatási képességeit VECHINSKI (1998) és ASHMORE (1985) kutatta.

Hazai kutatóink figyelme a traktor és a munkagépek kapcsolatának vizsgálatára irányult. Az optimális megoldást többek között KOMÁNDI (1987), SITKEI (1986) és FEKETE (1990; 1992) is kereste. Az abroncslégnomás gumibroncs-talaj kapcsolatot befolyásoló hatásait különböző vontatási vizsgálatok során TAPAZDI (1996) igyekezett feltárni.

2.4.2. Energetikai és mozgékonyági modellek

A gumibroncs-talaj kapcsolatrendszer számos kutató az energiaátvitel alapján igyekezett megközelíteni. Az elsők között volt YONG et al. (1969), akik a merev kerék puha talajon való vontatási teljesítményét vizsgálták. Megállapították, hogy a gördülési energia veszteségek elsősorban a csúszási veszteségből, a határfelületeken fellépő nyírási veszteségből és a talaj alakváltozási (deformálódás, tömörödés) veszteségeiből állnak. Később YONG et al. (1976; 1980; 1984) tovább finomították a kerék és talaj energiaveszteségek meghatározására épülő energetikai modellt. YONG (1986) szerint két lényegesen különböző zónát különböztethetünk meg egymástól. Az egyik a kerék alatt közvetlenül elhelyezkedő terület, ahol elsősorban a nagy szlip okozta csúszási veszteség a domináns, a másik az alatta fekvő mélyebb zóna, ahol főként a deformációs veszteségek a meghatározóak.

1994-ben az Amerikai Hadsereg Kutatási Hivatalában megtartott értekezleten a kutatók a gumiabroncs-talaj kapcsolatának megoldatlan problémájára a talaj energiaabszorpciós folyamatának megismerésére és összefüggéseinek feltárására hívták fel a figyelmet. A talajdeformáció okozta energiaveszteség meghatározására többféle próbálkozás is történt.

A talajmechanikai elvekre alapozott módszerek hiányossága, hogy a nyomókísérletekből származó paraméterek alapvetően statikus állapotra vonatkoznak, holott a traktorokat a terepen való mozgásuk során az időben erősen ingadozó, instacioner terhelés éri (KOMÁNDI, 1965). Az instacioner terhelés és a sztochasztikusan változó terepprofil függőleges és vízszintes irányú lengéseket gerjeszt, amely befolyásolja a talaj-gumiabroncs kapcsolatot is (LAIB et al. 1994 b,d). A lengésgyorsulás okozta dinamikus terhelésváltozás egyrészt járulékos gumi- és talajdeformációt okoz, másrészt a pillanatnyi gördülési sugár változása miatt befolyásolja a gumi-talaj adhézióját és ezáltal a szlip mértékét is (KISS, 2001). Hazai kutatóink közül RÁZSÓ et al. (1960) végeztek vizsgálatokat a motort terhelő dinamikus külső nyomatékok megállapítására.

A talajfelszín egyenetlenségeinek köszönhetően az egyes kerekek gördülési ellenállása ill. a talajellenállás pontról-pontra változhat. A megoldás igen összetett mérés-technikai feladatot jelent, hiszen meghatározott időközönként kell mérni és rögzíteni a legfontosabb vontatási paramétereket. A témában igazi előbbre lépést jelentett PAUWELUSSEN és LAIB (1997) gumiabroncs-talaj kapcsolatra vonatkoztatott függőleges és vízszintes energiaátadás elmélete. Megállapításai szerint a függőleges energiaátadás részei a gördülési ellenálláson belül a gumi- és a talajdeformáció, a függőleges lengések okozta energiaveszteségek. A vízszintes energiamérleg részei pedig a vonóerő munkája, valamint a szlip és a menetellenállás okozta veszteségek. Elméletének köszönhetően az energiakomponensek különválasztása révén lehetővé vált a problémakör mélyebb megismerése. A függőleges lengések okozta energiaveszteségek vizsgálatával SITKEI (1969) is foglalkozott. Mérési alapján összefüggéseket határozott meg a lengésgyorsulások által gerjesztett tömegező-növekedés járulékos gumi- és talajdeformációjának kiszámítására.

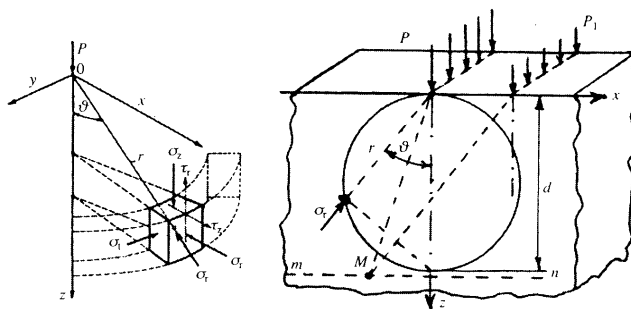
Szintén a gumiabroncs-talaj kapcsolatot befolyásoló dinamikus folyamatok meghatározására és a talajdeformáció vizsgálatára végzett kísérleteket KISS & LAIB (1997a). A puha talajon vontató traktor kerekei alatti függőleges talajdeformáció okozta energiaveszteségeket határozta meg KISS & LAIB (1997b, 1999).

A mozgékonyági modellek a terepen való mozgás leírására szolgálnak. Mivel a terep és a rajta mozgó jármű bonyolult kölcsönhatásban van egymással így a modell nagyszámú változó függvénye. A feladat tehát az egyes részjelenségek függvényszerű leírása, majd e függvénykapcsolatok rendszerezése. A paraméterek ill. a függvényeket befolyásoló tényezők nagy száma miatt, bizonyos egyszerűsítésekre van szükség ez azonban negatívan befolyásolja a modell pontosságát. Hazánkban a terep-jármű rendszer modellezése SITKEI (1986) és LAIB (1995, 2002) nevéhez fűződik. SITKEI (1986) a modellezéshez szükséges alapadatokat öt csoportba sorolta. A modell tehát a járműre, a talajra, a terepre, a környezetre és az emberre vonatkozó bemenő adatokkal dolgozik. Meghatározta a függvénykapcsolatok rendszerét, valamint a kimenő adatokat is. A Magyar Hadsereg mozgékonyági modellje LAIB (1989; 1991) nevéhez fűződik. Az elkészült számítógépes program a járműre és a terepre vonatkozó input adatokból kiszámolja a legfontosabb mozgási és energetikai jellemzőket, valamint az adott terepviszonyok között értékeli a jármű mozgási képességét „megy” és „nem megy” jelzésekkel.

2.4.3. Elméleti modellek

2.4.3.1. Talajmechanikai modellek

A kutatók többsége az abroncs-talaj kapcsolatot egy rugalmas talajmodell alapján



10. ábra
A rugalmas féltér terhelése pontszerű és vonalmenti erőkkel

próbálta levezetni. Az első elméleti kontinuummechanikai vizsgálat BOUSSINESQ (1883) nevéhez fűződik, egy félvégtelen rugalmas térre ható koncentrált erő problémáját vizsgálta (10. ábra) és azt találta, hogy a függőleges σ_z normálfeszültség az alábbi függvény szerint változik.

$$\sigma_z = \frac{3F}{2\pi} \frac{z^3}{R^5} \quad (26)$$

ahol: F - a függőleges irányú koncentrált erő nagysága,

z - a függőleges koordináta,

R - pedig az adott pont távolsága az erő támadáspontjától.

A szóban forgó rugalmasságtani problémát vízszintes irányú erő esetére TIMOSHENKO et al. (1970) oldotta meg. Kimondottan mezőgazdasági talajok vizsgálatára Fröhlich adaptálta ezeket az összefüggéseket és bevezetett egy terheléskoncentrációs tényezőt, továbbvizsgálva a talajszilárdság feszültségeloszlásra vonatkozó hatásait. VOORHEES et al. (1986); és TAYLOR et al. (1987) azt a következtetést vonták le, hogy a számítások viszonylag jól közelítik a valóságos feszültségi állapotot a talajban, de az alakváltozási állapotra vonatkozó eredmények hamisak. FUJII et al. (1990) bemutatták, hogy egy gerjesztett hengergörgő által okozott feszültségi állapotot a Boussinesq egyenletek alapján meglehetősen jól lehet közelíteni, ha a statikus erő nagyságát egyenlőnek választjuk a gerjesztő erő nagyságával.

RAPER et al. (1988a; 1988b) a végeelemes módszert használták a rugalmassági modulusz és a Poisson-tényező feszültségi állapotra és térfogati alakváltozásra vonatkozó hatásainak elemzésére felületi terhelés esetén.

Jól ismert eredmény, hogy száraz talajra vonatkozó térfogati sűrűség arányos az alkalmazott nyomás logaritmusával (VANDENBERG, 1966). Ennek alapján különféle logaritmikus modelleket javasolnak a (LARSON et al., 1980; BAILEY et al., 1968) a térfogati sűrűség illetve a talajporozitás változásainak leírására. Ugyanakkor természetesen más tényezők is befolyásolják a száraz talaj sűrűségét, nevezetesen az összenyomás során kialakuló nyírási alakváltozás, a nyomóterhelés ismétlődése (azaz a jármű többszörös áthaladásának száma), valamint a nedvességtartalom.

SÖHNE (1953, 1958) megállapítása szerint a talaj összenyomódás fő oka a maximális főfeszültség. Ezzel szemben VANDENBERG et al. (1962) véleménye szerint a fő ok az átlagos normálfeszültség, amely a vizsgált talajpont elemi környezetében működik. HARRIS et al. (1964) különféle összehasonlító vizsgálatokat végeztek, hogy az átlagfeszültség, a maximális nyírófeszültség, a maximális normálfeszültség és az oktahedrális feszültségek közül melyik befolyásolja legjobban a térfogati sűrűséget. Eredményük szerint a maximális nyírófeszültség a legjelentősebb. Ugyanakkor nem tudták megállapítani, hogy az átlagos normálfeszültségnek milyen szerepe van az összenyomódásra. Más vizsgálatok (SEIG, 1985) szerint a függőleges feszültségi koordinátának van kitüntetett szerepe.

CHANCELLOR (1966) a terhelés - talajbesüllyedés diagram és a hozzátartozó talajtömörödés meghatározása érdekében egy új technikát dolgozott ki a mezőgazdasági talajok vizsgálata érdekében a következő elvek felhasználásával:

- a talajon belüli feszültségeloszlás a Boussinesq megoldás alapján számítható;

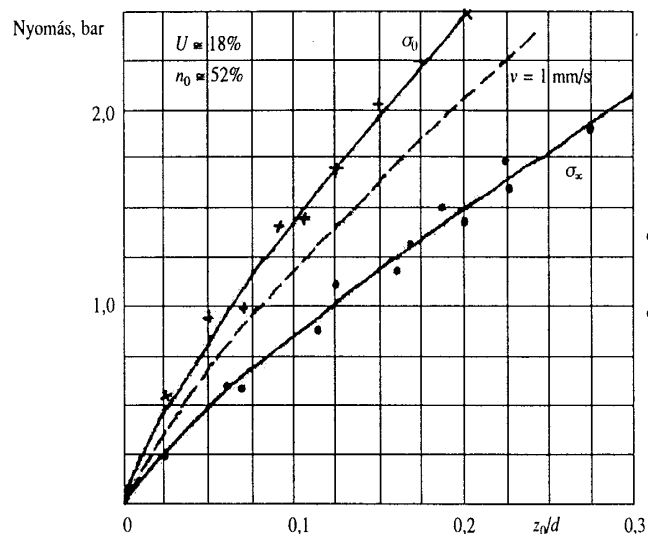
- a maximális nyírási szilárdság a Mohr-Coulomb egyenlet szerint állítható elő;
- a maximális főfeszültség és porozitás között egy féllogaritmikus összefüggés áll fenn;
- az energetikai átalakulás a talajban konzervatív;
- a teljes térfogati állapotváltozás a talajfelületen történő terhelés megváltozással írható le.

GUPTA & LARSON (1982) a Boussinesq megoldást az egytengelyű nyomó talajvizsgálattal kapott anyagtörvénnyel kombinálta, hogy egy abroncs talajfelület mentén történő áthaladása során a kialakuló térfogati sűrűség megváltozását kiszámítsa. SMITH (1985) a „kritikus állapot koncepció” alapján állított fel egy talajtömörödési modellt, hogy a feszültségtörténet alapján határozza meg a talaj kezdeti állapotát.

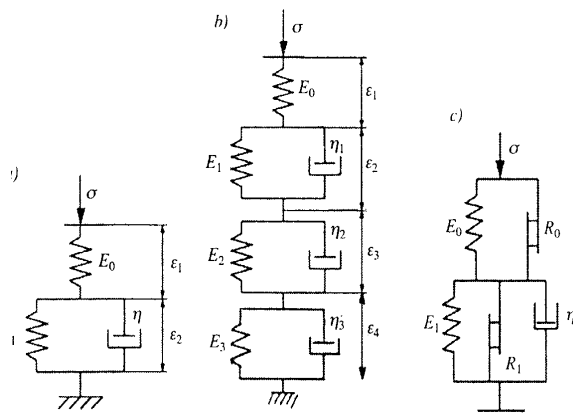
2.4.3.2. A viszkoelasztikus talajmodell

Hazai kutatóink közül SITKEI (1972) hívta fel a figyelmet arra, hogy a talajban ébredő feszültség-deformáció kapcsolat az időtől is függ (**11. ábra**). Nem mindegy ugyanis, hogy a talaj terhelése gyorsan vagy lassan következik be. A módszer lényege, hogy a talaj-kerék kölcsönhatást meghatározott feltételek között, mint rugalmas és viszkózus elemekből felépülő modellt kezelje. Erre tettek kísérletet többek között CHUNG & LEE (1975).

Általában a 3 elemes modell terjedt el (**12. ábra**), melynek rugalmas és viszkózus elemeit vizsgálatokkal határozzák meg.



11. ábra
Nyomás-besüllyedés összefüggés
vályogtalajon a terhelési sebesség
függvényében (SITKEI 2002a nyomán)



12. ábra
A háromelemes rheológiai modell
és változatai

A viszkoelasztikus modellek egyik hátránya, hogy lineárisak, azaz függetlenek a terhelés mértékétől, pedig a talaj nem lineárisan viselkedik. Terhelés hatására tömörödik így rugalmassági modulusa is változik.

2.4.3.3. Véges elemes számítógépes modellek

Számos kutató a végeleemes módszert alkalmazta, mind a mezőgazdasági abroncs áthaladása következtében kialakuló talajtömörödés, mind a vonóerő kialakulás elemzése érdekében. Eleinte síkalakváltozási és forgásszimmetrikus modelleket használtak. Síkalakváltozás esetén a változásokat vagy csak a mozgásiránnyal megegyező, vagy arra merőleges síkban vizsgálták. Forgásszimmetrikus esetben a lenyomatról és az összes alakváltozási és feszültségi jellemzőről feltételezték, hogy az hengerszimmetrikus a lenyomat közepére merőleges tengely körül. A kutatók különböző talajmodelleket alkalmaztak. Például lineárisan rugalmas anyagmodellre feltételeztek (CHANCELLOR, 1966) nemlineárisan rugalmasat (RAPER et al., 1988; POLLOCK et al., 1986; PERUMPRAL et al., 1971) mások képlékeny anyagtörvényekkel dolgoztak (YONG et al., 1976, 1984; CHUNG et al., 1975).

Sok talajtömörödési vizsgálat koncentrált a talajban kialakuló nyírófeszültségek térfogat-változási hatásainak elemzésére (BAILEY et al., 1968; CHANCELLOR et al., 1965; RAGHAVAN et al., 1977), azonban csak kevés munka foglalkozott a nyírási alakváltozás avagy a normál és a nyíró erők kombinatív hatásának elemzésével.

Véges elemes módszer alkalmazásával vizsgálta a gumiabroncs-talaj kapcsolatot HIROMA (1997). Munkájukban a talajt viszkoelasztikus modellként helyettesítve vizsgálták a gumiabroncs-talaj kapcsolatban fellépő nyomó- és nyíró feszültségeket. Az eredményeket később mérési adatokkal ellenőrizték.

Említésre méltó PERUMPRAL et al. (1971), akik az alakváltozási állapotra vonatkozó méréseket végeztek a feszültségi-, alakváltozási állapot kapcsolatának megállapítása érdekében. YONG et al. (1984) a feszültség és az alakváltozási sebesség közötti

kapcsolatot vizsgálták. TIJINK et al. (1988c) és társai a mozgó abroncs alatt kialakuló talaj állapotváltozásokat a nagy alakváltozások elmélete segítségével próbálták analizálni. Számítási tapasztalatok szerint a térfogati állapotváltozás három jelentős szakaszra bontható:

- kezdeti térfogati növekedés,
- talajtömörödés,
- végül kis méretű újabb térfogati növekedés.

Az állapotváltozás szerintük közel forgásszimmetrikus, miközben a főnyúlások iránya jelentősen elfordul. Megállapítások szerint a deviatorikus alakváltozások lényegesen jelentősebbek a térfogati alakváltozásoknál.

Kiemelésre érdemes még KIRBY (1989) munkája, aki az elhaladó mezőgazdasági abroncs alatti talajban a nyírásból származó tönkrementeli tartományokat vizsgálta. A talajtulajdonságokat két agyagos szerkezetű mezőgazdasági talajtípusra vonatkozó vizsgálatokból határozta meg. Ezen túl három további fiktív tulajdonságú talajra is végzett számításokat. Rugalmas nem asszociatív képlékeny anyag törvényt feltételezve meghatározta a tönkrement tartományok kialakulásának függőségét az abroncs szélességétől a kontakt nyomástól és a talaj nyírási szilárdságától.

SCHMID (1995) többéves koncentrált kutatóprogramot folytatott a gumiabroncs-talaj kapcsolat dinamikai modellezésére. Az elkészült modell két fő programból áll. Az ORIS egy komplex jármű-terep-vezető rendszert szimulál, míg a VENUS-FEM a gumiabroncs-talaj kapcsolatot modellezi.

A bordázott gumiabroncs-talaj kapcsolatának matematikai modelljét EL-GAWWAD (1999 a,b,c,d) dolgozta ki. A MATLAB szoftver segítségével kifejlesztett modell a bordák és a talaj közötti erőhatásokat vizsgálja függőleges- hosszanti- és kereszt irányban.

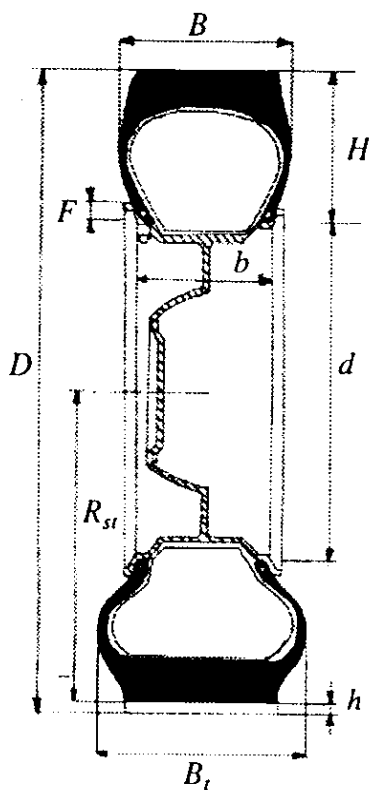
A gumiabroncs-szilárd útburkolaton való gördülésének modellezésére PACEJKA et al. (1991) féle Magic Formula Tyre Model az egyik legismertebb eljárás. A modell előzetesen felvett mérési adatokra illesztett függvénykapcsolatokon alapszik. Az algoritmus feladata, hogy minimalizálja a hibát a mérési adatok és a modell kimenő adatai között. A Pacejka-féle algoritmust PALKOVICS et al. (1986) neurális háló alkalmazásával tökéletesítette Neuro-Tire Model néven.

Hazánkban MOUAZEN & NEMÉNYI (1999 a,b,c) alkalmazta a véges elemes módszert az altalaj lazító okozta talajszerkezeti változások modellezésére inhomogén

homokos vályog talajok esetén. A mezőgazdasági talajok szilárdsági vizsgálatára SÁRKÖZI et al. (1999), a gumiabroncsok terhelésének elemzésére FODOR et al. (1998) alkotott végesselemez számítógépes modellt.

2.5. A mezőgazdasági gumiabroncsok rövid jellemzése

Az abroncs a járászerkezet és talaj összekötő tagja. Ahhoz, hogy funkciójában minél nagyobb harmóniát és összhangot teremthessen, szinte a talajhoz kell idomulnia. Ezért nem túlzás az a következtetés, hogy minden talajnak és terepviszonynak más és más gumiabroncs felelne meg, amelyet főként a kerékabroncs profilja, nagysága,



13. ábra
Az abroncs jellemző geometriai méretei

D	az abroncs külső átmérője
B	profilszélesség
H	profilmagasság
d	pántátmérő
b	pántszélesség
F	pántszarvmagasság
R _{st}	statikus sugár
B _t	profilszélesség normál abroncssterhelés mellett
h	abroncsdeformáció normál terhelésnél

rugalmassága, belső nyomása, terhelése és felületi felfekvése, valamint a kerékabroncs kiképzése határoz meg. Ezért a fokozott teherbíró képesség mellett célszerű csökkenteni a talajra gyakorolt talpnyomást és egyúttal növelni az adhéziós képességet. Ezen kívánalmaknak eleget téve, olyan konstrukciós megoldásokra kell törekedni, amelyek egyrészt megfelelő mértékben növelik az abroncsok talajjal érintkező felületének nagyságát, másrészt pedig lehetővé teszik az abroncsok belső nyomásának csökkentését. Mindezen igények az abroncsok deformabilitásának fokozását jelentik.

A gumiabroncs a jármű menettulajdonságait is döntően meghatározó szerkezeti elem. Az abroncs igen fontos szerepet tölt be a jármű energetikájában, a jármű teljes haladási mechanikájában. Alapvető funkciója azonban jármű és az út közötti kapcsolat létrehozása. E funkciója keretében többek között olyan feladatokat kell ellátnia mint a terhelés hordozása, az út egyenetlenségek okozta lengések csillapítása, sebességtűrés, a meghajtó- és fékezőnyomaték átvitele, úttartás, biztonságos üzemelés, gazdaságosság. A gumiabroncsok jellemző

geometriai méreteit a **13. ábra** szemlélteti (KOMÁNDI, 2002 nyomán).

2.5.1. Az abroncsok néhány fontosabb tulajdonsága

A gumiabroncs köpeny egyik legfontosabb jellemzője a profil alakja, illetve keresztmetszete, amelyet a profilmagasság (H) és a profilszélesség (B) hányadosa, az ún. keresztmetszeti tényező (profilarány) jellemez. A H/B viszony alapján a gumiabroncsok egyfajta csoportosítása az alábbi **1. táblázatban** látható.

1. táblázat

A gumiabroncsok profilarány szerinti osztályozása és az abroncsprofilok csoportosítása ANTOS (1994) nyomán:

H/B	Profil megnevezés	
1	Ballonos	normál profil
0,95	Szuperballonos	
0,88	Széles	alacsony profil
0,76	Ultraszéles	
0,70	hetvenes széria	
0,60	hatvanas széria	

B/D viszonyszám	Profil megnevezés
>0,33	normál
0,33 - 0,5	széles
< 0,5	szuperszéles

A mezőgazdasági munkák megszervezéséhez, a különböző munkafolyamatok jó minőségben történő elvégzéséhez célszerű ismerni a traktorabroncsok, illetve futófelületük kiválasztásának követelményeit. Ehhez jó eligazítást nyújt a műszaki jellemzők és a lényeges üzemi tulajdonságok közötti összefüggéseket tartalmazó **2. táblázat**. A kiválasztás szempontjai elsősorban a vontatási képességet, a talajtömörödést, a növény és talaj károsodását, valamint a közlekedési viszonyokat határozzák meg.

2. táblázat

Különböző abroncs tulajdonságok előnyei és hátrányai az üzemelés során ANTOS (1994) nyomán

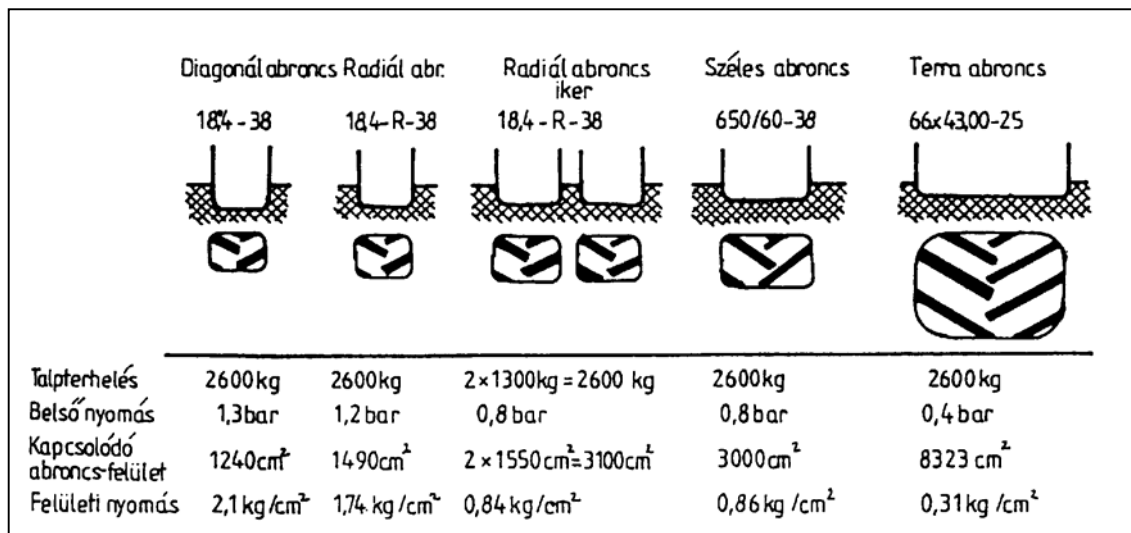
Megnevezés	Terhelhetőség	Vonóerő átvitel		Felfekvési felület	Fűfélék gyökörtörzsének kímélése	Közúton haladás	Élettartam
		kevésbé teherbíró	teherbíró talajon				
Traktorabroncs							
- nagyobb átmérő	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
- szélesebb profil	⊕	⊕	⊕ — ⊗	⊕	⊕	○	⊕
- kedvező deflexió	○	⊕	⊕	⊕	⊕	○	○
-magasabb levegőnyomás	⊕	⊗	⊗	⊗	⊗	○	⊕
Abroncsminta							
-magasabb borda	○	⊕	⊕ — ○	○	⊗	⊗	○
-szélesebb borda	○	⊗	⊗	○	⊕	⊕	⊕
-nagyobb bordatávolság	○	⊕	⊕	○	⊗	⊗	⊗
-nagyobb bordaszög	○	⊗	⊗	○	⊕	⊕	○

Jelmagyarázat:

⊕ jelentős előny, ○ nem befolyásol, ⊗ hátrányos

2.5.2. A talajnyomás csökkentésére elterjedt megoldások

Mint ismeretes, a talajnyomás csökkentésének egyik módja a gumiabroncs talajjal érintkező felületének növelése. Ez bizonyos mértékig az abroncs belső nyomásának csökkentésével is lehetséges. A különböző abroncsok ilyen irányú jellemzőit szemléletesen mutatja be a **14. ábra** JÓRI (1992a) vizsgálatai nyomán.



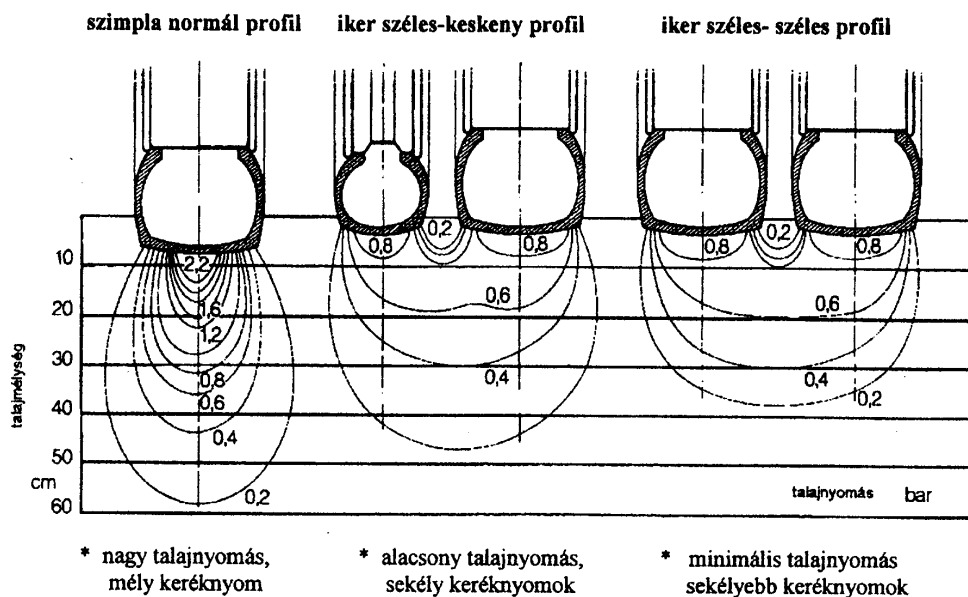
14. ábra

Különböző abroncsfajták felfekvő felületi nyomása JÓRI (1992a) nyomán

A talajnyomás csökkentésének másik lehetősége az ikerkerekek alkalmazása, melynek használata a gépi eszközök tömegének növekedésével egyre inkább terjed. Előnye, hogy a növekvő traktorteljesítmény mellett a tradicionális traktorformák meghagyásával növelhető az abroncsok terhelése, valamint alkalmazásával kedvezőtlen talajon is magasabb határfok érhető el.

Szántóföldön az ikerabroncs 0,6-0,8 bar nyomással üzemeltethető. Ha szélesebb abroncsokból áll az elrendezés, úgy a külső abroncsba 0,2-0,3 bar-ral kevesebb nyomás szükséges, mivel a külső abroncs átmérője 2-4 cm-rel kisebb. Ügyelni kell arra is, hogy a két abroncs között legalább 8 cm-es rés maradjon, így nem tömődik el a kerék.

A keréknyom mélysége, a felületi nyomás illetve a tömörítő hatás igen kicsi. Ezt jól ábrázolják a **15. ábra** nyomáshagymái.



15. ábra
A különböző abroncs elrendezések talajra gyakorolt hatása
(JÓRI et. al. 1991)

Kapásnövények műveléséhez sorközművelő keskeny profilú gumiabroncs javasolható. Ezekre az abroncsokra a nagy átmérő a jellemző. Általában ikerkerekes változatban javasolt a használata, mivel a felületi nyomás így kisebb. Az abroncsok belső nyomása 2,0-4,0 bar között alakul. Állandó használatra nem alkalmasak.

A nagy vonóerőt igénylő munkák, valamint a speciális területek (lejtős, laza talajú, mocsaras vidékek) művelésére korábban lánctalpas járószerkezetű traktorokat alkalmaztak.

A talajkímélő járószerkezetek közül a legutóbbi években különös hangsúly került a lánctalpas és gumiabroncsos járószerkezet előnyeit ötvöző gumihevederes megoldásokra. Az első gumihevederes járószerkezet kialakítása 1986-ban Evans és Gove nevéhez fűződik. Olaszországban TAYLOR és BURT (1987) fűvott gumiheveder alkalmazásával próbálkoztak. Kísérleteik alapján megállapították, hogy a gumiheveder vontatási hatásfoka 80-85% között alakult, szemben a gumiabroncs 55-65%-val.

Tudományos beszámolók szerint (BASHFORD, 1988) a gumihevederes járószerkezet által okozott talajtömörtség kisebb, mint a gumikerekes traktorok esetén. CULSHAW (1988) viszont nem találtak szignifikáns különbséget a gumihevederes és a gumikerekes járószerkezet között.

Hazánkban is számos vizsgálatot végeztek a hagyományos lánctalpas, a négykerék-hajtású (KOMÁNDI, 1978) és a gumihevederes járószerkezetű traktorok (JÓRI 1992b,

1997) vonóképességének illetve talajtömörítő hatásának elemzésére. A vizsgálatba vont traktortípusok azonos teljesítmény kategóriába tartoztak. A vizsgálati eredmények szerint a gumihevederes járószerkezetű Caterpillar Challenger-65 traktor a vonóképesség és a dinamikus vontatási képesség (súlykihasználási tényező) tekintetében sokkal kedvezőbb jellemzőkkel bír, mint a kerekes traktor (Rába 250).

A talajszerkezetre gyakorolt hatást két szempontból vizsgálták. Az egyik a talajszerkezet változásának mértéke, a másik az okozott talajtömörítő hatás vizsgálata volt. A talajszerkezetet romboló hatás elsődlegesen a járószerkezet csúszásával van összefüggésben. A vizsgálatok során úgy arra az eredményre jutottak, hogy a kerekes traktornál 9-13%, a lánctalpas traktornál 5-6,5 % míg a gumihevederes traktor esetén csupán 4-5% volt a járószerkezet csúszása. Ez azt jelenti, hogy a gumihevederes járószerkezet a kisebb talajszerkezeti romboló hatása mellett, valószínűleg nagyobb élettartammal is bír. A káros talajtömörítő hatást mértékét szintén kétféle módon vizsgálták. A talaj térfogattömegének változásával és a talajbahatolási ellenállás mérésével. A térfogattömeg változás tekintetében a gumihevederes traktor 35-40% -kal kedvezőbb értéket mutatott, mint a kerekes traktor és 15-20% -kal volt jobb mint a lánctalpas traktor. Ez egyrészt a nagyobb felfekvő felületből adódó kisebb értékű talpnyomásra illetve a járószerkezet korszerűbb szerkezeti kialakítására vezették vissza. A talajbahatolási ellenállás mérési eredményei (a térfogattömeg változás vizsgálati eredményeivel összehangban) azt igazolták, hogy a kerekes járószerkezetnél nagyobb a különbség a borda alatti és a bordaközök alatti tömörítés mértékében. Ez a jelenség azonban nem kívánatos a magágy homogenitása szempontjából. A behatolási ellenállás változásának vizsgálata megerősítette azt az elképzelést, hogy a gumihevederes járószerkezetnek kisebb a talajtömörítő káros hatása.

3. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE

A gyakorlatban mára széleskörűen alkalmazott különböző típusú, alacsony nyomású, talajkímélő (ún. terra) gumiabroncsok ellenére választásomat a sorközművelő gumiabroncsok vizsgálatára két tényező befolyásolta. Egyrészt vizsgálataim előzményét az adta, hogy a Nyíregyházi Taurus Abroncs Kft. új profilú sorközművelő gumiabroncs kifejlesztését irányozta elő és az elkészült új prototípus teszteléséhez összehasonlító vizsgálatokra volt szükség a konkurens abroncsgyártók hasonló termékeivel. Másrészt a sorközi munkáknál érvényesül leginkább a gumiabroncsok kedvezőtlen talajtömörítő hatása. Mivel biztosítani kell a növények károsítás nélküli művelését (még azok fejlettebb állapotában is) ezért az alkalmazható profilszélességet a növénykultúra sortávolsága határozza meg. A keskeny profilú sorközművelő abroncsok légnyomása ezért nagyobb (2-4 bar), mint az általában használatos. A talajtömörítő hatás csökkentésében az abroncsátmérő esetleges növelése valamint az ikerkeres megoldások mellett ezért fokozott jelentősége van a profil kialakításának.

A vizsgálatok elsősorban a kiválasztott abroncsok statikus terhelése nyomán a talaj tömörödöttségében és nedvességtartalmában okozott változásokra és az abroncsok profillenyeomataira irányultak. A különböző gumiabroncsok összehasonlító vizsgálatára és az eredmények értékelésére új módszert és programot dolgoztam ki.

Egy új abroncsprofil kialakítása hosszú és fáradtságos tervezői munkát igényel. A megtervezett új profilú abroncsok vulkanizáló formájának ill. prototípusának kifejlesztése és legyártása szintén igen nagy költségráfordítással valósítható meg. A tervező elképzeléseinek célszerűségét végső soron csak a gyakorlatban elvégzett tesztek támaszthatják alá. Mivel az imént vázolt tervezői-fejlesztési folyamat jelentős költségösszetevő, ezért egyre fokozottabb igény jelentkezik egy olyan számítógépes program kifejlesztésére, amellyel elkerülhetők ill. kiszűrhetők az abroncsfejlesztés zsákutcái.

E cél érdekében a Miskolci Egyetem Mechanika Tanszékével közösen elkezdődött egy véges elemes számítógépes modell kifejlesztése, amellyel a gumiabroncs talajra gyakorolt hatásait szeretnénk vizsgálni. A modell kifejlesztésének távlati célja egy olyan szoftver megvalósítása, amely a tervezés során lehetőséget ad arra, hogy az elképzelt abroncsprofil változtatások okozta talajfizikai hatásokat szimulálni lehessen. A modell felállításához szükséges talajmechanikai paraméterek pontosabb meghatározása céljából a második kísérletsorozatban különböző nyomófejeket

nyomtam a talajba. Az így kapott adatok és diagramok nagy segítségünkre voltak a szoftver szilárdsági anyagjellemzőinek beállításához és a modell valamint a program paramétereinek validálásához.

3.1. A vizsgálatok helyszíne és a talajtípusok bemutatása

3.1.1. A Nyíltszíni mérőrendszer

A „Nyíltszíni mérőrendszer” (16. ábra) egy 2x1 méter keresztmetszetű, 90 méter hosszú kibetonozott tér (talajvályú), mely a talajszelvény által átengedett vízmennyiség levezetése és mérése céljából alagcsövezéssel készült. A mérőrendszerbe különböző termőhelyi területekről (lásd 3.1.2. fejezet) a legjellemzőbb talajtípusok (homok, vályog, agyag) kerültek betöltésre. A betöltés során gondosan ügyeltünk arra, hogy az egyes talajtípusok a természetes talajtani állapotukkal azonos minőségben és mélységi szerkezetben kerüljenek a talajvályúba. A 60 m-es mérőszakasz elején és végén a vizsgálandó erőgép számára 15-15 m rá- ill. kifutási szakasz áll rendelkezésre. A betöltés óta (1996 május) a talajok természetes ülepedése folyamatos, művelési és egyéb gépi beavatkozásoktól mentes volt.

A talajszelvényeken átérésztett csapadékvíz mennyiségét a beépített alagcsövezés és mérőakna segítségével lehet regisztrálni. A mérőrendszer lehetőséget ad a talajnedvesség és tömördőtség időbeli változásának és összefüggéseinek vizsgálatára és a trendszerű változások kimutatására. A mérőkocsi a pálya két szélére szerelt sín pályán gördíthető a mérés helyére. Segítségével a talajszelvény penetrációs vizsgálatát a mérőkocsin állva, a talaj felszínének taposása nélkül végeztem el.



16. ábra

A „Nyíltszíni mérőrendszer”, a mérőkocsi és a 3T mérőműszer

3.1.2. A vizsgált talajszelvények bemutatása

A mérőrendszerbe három talajtípus: homokos vályog, réti csernozjom és réti agyagtalaj került betöltésre. A vizsgálatok talajai három olyan termőhelyi környezetből kerültek kiválasztásra, melyekre vonatkozóan több évtizedes módszeres és szisztematikus mérési vizsgálati eredmények állnak rendelkezésre, többek között STEFANOVITS, (1994) BIRKÁS et. al. (2000a) és SINÓROS-SZABÓ et. al. (1992a) kutatásai nyomán. Így később lehetőségem adódik a vizsgálati eredményeimet mások tapasztalataival is összehasonlítani.

A kiválasztott helyszínek a következők voltak:

1. helyszín: Nyírtelek-Ferenctanya

A terület a Nyíregyházi Főiskola tangazdaságához tartozik. A talaj a genetikai osztályozási rendszer besorolása szerint humuszos homoktalaj, fizikai féleségét tekintve homok.

2. helyszín: Megyaszó, Újvilág tanya

A terület a Szerencsi Mezőgazdasági Rt. kezelésében van. A talaj a genetikai osztályozási rendszer besorolása szerint réti csernozjom talaj, fizikai félesége szerint vályog.

3. helyszín: Taktaharkány, Rónahát dűlő

A terület egy mezőgazdasági vállalkozó magántulajdona. A talaj a genetikai osztályozási rendszer besorolása szerint réti agyagtalaj, fizikai félesége agyag.

A vizsgált talajszelvények általános leírását az alábbi **3. 4. és 5. táblázatban** foglaltam össze:

3. táblázat

Humuszos (szabolcsi) homok talaj talajszelvényének leírása

0-15 cm-ig	Szürkésbarna gyökerekkel átszótt, tömődött homoktalaj, felszíni rétegének poros szerkezetű szemcséit a szél könnyen sodorja. Humuszos rétege 70 cm-ig húzódik. Az átmenet fokozatos.
15-30 cm-ig	Száraz, tömődött, lefelé fokozódó tömődöttséget mutató iszapos, szürkésárga homok. A rétegben gyökerek találhatóak. Az átmenet a következő szintbe fokozatos.
30-70 cm-ig	Száraz, erősen tömődött, világos szürke színű még humuszos, iszapos homok. A gyökérzet kevesebb, az eketalp tömődöttsége jól kivehető.
70-120 cm-ig	Kissé nedves, laza, sárga homok. Csillámok találhatóak benne. Gyökérzet kevés.

4. táblázat

Réti csernozjom talaj talajszelvényének leírása

0-30 cm-ig	Szántott réteg, száraz, alig nedves, szürke színű, vályog fizikai féleségű, kissé morzsalékos, gyökerekkel dúsan átszótt talaj. A humuszos réteg vastagsága 85 cm. Átmenet a következő szintbe fokozatos.
30-50 cm-ig	Szürke színű, kissé nedves, erősen tömődött, de morzsalékosan széteső vályogtalaj. Gyökerekkel dúsan átszótt. Az eketalp réteg jól elkülönül. A talaj színváltozása nem feltűnő, átmenet a következő szintbe fokozatos.
50-90 cm-ig	Árnyalattal világosabb, szürkésbarna színű, kissé tömődött, enyhén morzsás vályogtalaj. Gyökerekkel átszótt, az előzőnél valamivel nedvesebb, fokozatos, majd hirtelen átmenettel a következő rétegbe.
90 – 120 cm-ig	Nedvesebb, sárga, homokos, agyagos, lösz. Gyökérmaradványok még találhatóak.

5. táblázat

Réti agyag talaj talajszelvényének leírása

0-5 cm-ig	Poros, száraz, aprómorzsalékos szerkezetű, sötétszürke felszíni agyagos réteg. Átmenet fokozatos.
5-25 cm-ig	Erősen tömődött, sötétszürke, kagylós törésű, kissé nedves talaj, amely szárazon erősen repedező, szinte oszloposan vagy kockásan töredező talaj, humuszos réteg vastagsága 85 cm. Gyökerekkel átszótt, melynek zöme szürkeacat és keserűfü.
25-40 cm-ig	Feketésszürke, nedves, szerkezet nélkülinek tűnő tömődött, vaskiválásos, fényesen mozaikszerűen márványozott talaj. A kiválások egyértelműen glejesedésre utalnak. Átmenet a következő rétegbe folyamatos.
40-60 cm-ig	Világosabb feketés szürke színű, nedves, gyúrható, alsó részén kenődő, fényesen márványozott, vaskiválásos glejes agyag, sárgás, kékes árnyalatokkal tarkázva. Átmenet fokozatos.
60- 120 cm-ig	Erősen nedves, szinte kenődő, szürke színű, rozsdafoltos, glejes rétegekkel tarkított agyag.

A kísérleti területek legfontosabb talajfizikai tulajdonságainak (térfogattömeg, sűrűség, nedvességtartalom) meghatározására, valamint a mérőműszer (3T System= Termőhelyi Talaj Teszter, melyet a 3.2.2. fejezetben fogok részletesen bemutatni) hitelesítése és kalibrációja érdekében a táblák különböző részein 1,2 méter mélységű talajszelvényt nyitottam. A vizsgálatsorozat kezdetén az eredeti (bolygatatlan) szerkezetű talajszelvények 3 rétegéből (0-30 cm, 30-60 cm, és 60-90 cm-es mélységtartományokból) 3-3 patronos talajmintát vettem. A mintákat a Nyíregyházi Főiskola talajlaboratóriumában vizsgáltam meg és meghatároztam a talajminták térfogattömegét, nedvességtartalmát valamint a pórusterfogatóát. A talajellenállás-térfogattömeg közötti összefüggés meghatározásához, valamint a talaj kezdeti

tömörödöttségi állapotának, a tömör rétegek elhelyezkedésének és kiterjedésének vizsgálatához a 3T műszer segítségével megmértem a kiválasztott talajszelvényekben a talajok penetrációs ellenállását és a szántóföldi vízkapacitását. A kezdeti vizsgálatokra azért volt szükség, mert az így szerzett adatok birtokában tudom majd a mérési eredményeimet elhelyezni és értelmezni a talajparaméterek rendszerében.

A mért adatokat a **6. táblázat** tartalmazza.

6. táblázat

A vizsgált talajtípusok legfontosabb tulajdonságai

	homoktalaj	vályogtalaj	agyagtalaj
Térfogattömeg [g/cm^3]	1,49	1,37	1,28
Pórustérfogat %	44,81	48,30	50,58
Talajnedvesség (pF.2,5) tF%	45%	38%	67%
A talaj sűrűsége [g/cm^3]	2,70	2,65	2,59
Póruszám (cm^3/cm^3)	0,81	1,07	1,02

3.2. A vizsgálati műszerek és eszközök

3.2.1. A vizsgálatokhoz használt erőgép

A kísérletekhez a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Főiskolai Karának Lamborghini Formula 135 erőgépét (**17. ábra**) használhattam. Az erőgép legfontosabb műszaki paramétereit a **7. táblázatban** foglaltam össze.

7. táblázat

A Lamborghini Formula 135 erőgép legfontosabb műszaki paramétereit

Megnevezés	Gyári adatok
Motortípus	1000.6-WT Turbo
Hengerűrtartalom [cm^3]	6000,66
Teljesítmény [KW/LE]	97/132
Max. teljesítmény [Nm]	510
Max. teljesítmény fordulatszáma [1/min]	2500
Max. forgatónyomaték [Nm]	510
Max forgatónyomaték fordulatszáma [1/min]	1400
Hasmagasság [mm]	450
Tengelytáv [mm]	2750
Első nyomtáv (alap beállítás) [mm]	1800
Hátsó nyomtáv (alap beállítás) [mm]	1740
Tömeg (pótsúlyok nélkül) [kg]	4750

A traktor teljesen szinkronizált powerspeed váltóval rendelkezik, mellyel: 36 előre és 36 hátra meneti fokozat (6 sebességi fokozat x 3 szorzó fokozat + irányváltó + nyúl-teknős kapcsolás) állítható be. A kerekeket terhelés alatt elektrohidrosztatikusan kapcsolható mechanikus differenciálzárral lehet zárni. A traktor gyári állapotában az első tengelyeken Taurus 420/70R30, a hátsó tengelyeken Taurus 520/70R38 gumiabroncsok találhatóak. Az első abroncsoknál 1,3, a hátsóknál pedig 1,6 bár a gyárilag előírt légnyomás érték. A mérések során a hátsó tengely abroncsaira 3650 kg terhelést állítottam be. A különböző tengelyterhelések megvalósítása céljából elkészítettünk egy a traktor hárompont függesztő rendszeréhez kapcsolható keret és a pótsúlyrendszert.



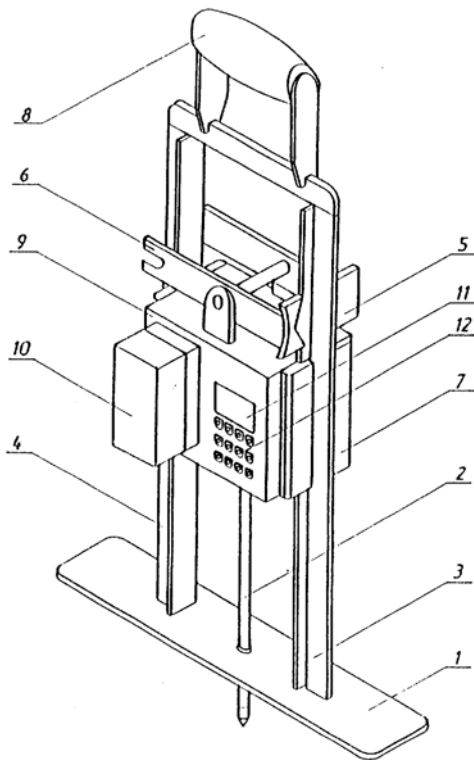
17. ábra
Lamborghini Formula 135 erőgép és a pótsúlyrendszer

3.2.2. A 3T System mérőműszer

A talaj tömörödöttségének (teherbíró képességének) és nedvességtartalmának méréséhez a 3T System penetrométert (**18. ábra**) használtam. A mérőműszer létrehozása SINÓROS-SZABÓ BOTOND (1999), KAZÓ BÉLA és SZÖLLŐSI SÁNDOR nevéhez fűződik. A mérőberendezés egyszerű és speciálisan kiképzett mechanikus és digitális elektronikai elemek felhasználásával alakították ki.

Három mélységi talajréteg 0-40, 0-60 illetve 0-95 cm mérésére alkalmas változatban készül. A berendezés 1 cm-es talajrétegenként folyamatosan és összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és tömődöttségét, ill. penetrációs ellenállását. A talaj nedvességtartalmát a szántóföldi vízkapacitás (pF 2.5) %-ban kifejezett részarányaként, a penetrációs ellenállását kPa-ban méri.

Kalibrálás nélkül a szélsőségek kivételével (kavics, kotu-, láptalaj) minden fizikai talajféleség egyszerűen végrehajtható módszerrel mérhető. A mérés olyan egységekben történik, amely lehetővé teszi a különböző talajokon belüli állapotok közvetlen összehasonlítását. Az 1 cm-enként mért összetartozó adatpárokat (nedvesség, behatolási ellenállás) memóriában tárolja, ezáltal biztosítja a későbbi számítógépes kiértékelést ill. adatbank létrehozását.



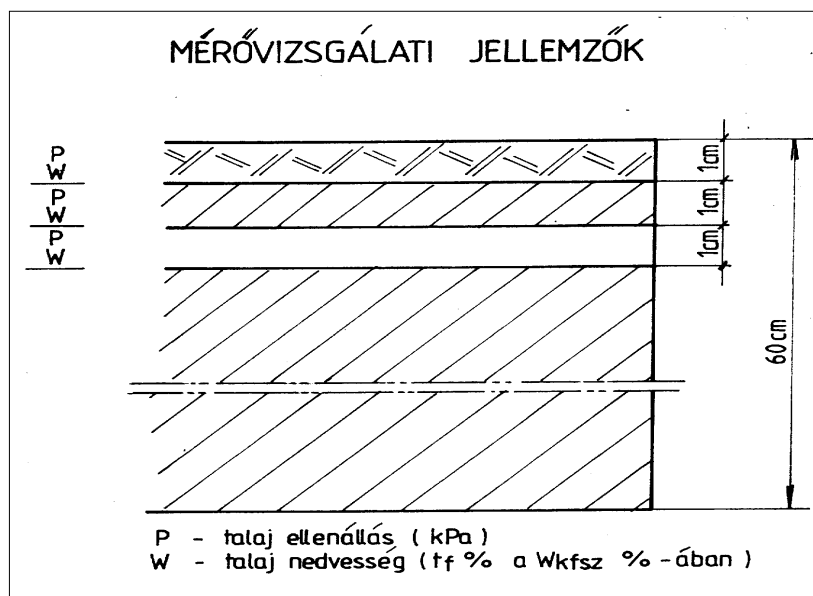
18. ábra
Elektronikus rétegindikátor („3T System”) elvi sematikus felépítése

A mérőműszer szerkezeti kialakítása a **18. ábrán** látható. A mérés egy alapkeretbe (4.) foglalt szabványos (MSZ 08-1784-83) 60⁰-os kúpszögű szondaszár (2.) kúpjának a talajban történő 1 cm-es rétegenkénti szakaszolt előrehaladásával történik. A szondaszár kúpos végében (2.) szigetelten van elhelyezve a talajnedvességet érzékelő oszcillátor rendszer. A szondaszár felső része a rögzítősínnel (7.) az alapkerethez (4.) felfogott mérőegység dobozának biztonsági házában (9.) elhelyezett erőmérő cellához csatlakozik. Itt található a nedvességmérés elektronikus egysége is. A mérőegység dobozában történik az érzékelt jelek feldolgozása, kiértékelése, a vizsgált paraméterek LCD-kijelzőn (11.)

való helyszíni kijelzése, valamint a mérési adatok RAM memóriában (10.) való tárolása. A házon foglalnak helyet a mérés egyes funkcióit vezérlő és beállító kezelőgombok (12.) is. A mérőszonda folyamatos sebességű talajba juttatása, illetve a mérés befejezése után a talajból való kiemelése a léptetőelemet működtető mechanizmusokkal (5., 6.) történik. A mechanizmus az alapkeret egyik szárán pontosan 1 cm osztástávolságú kétoldali fogazással van ellátva (3.). A fogakba illeszkedő kilincsszerű mechanikai áttétel (5.) úgy van kialakítva, hogy kézi erővel könnyen biztosítható a szonda (2.) függőleges helyzetben való talajba nyomása, illetve kiemelése a kilincsmű átváltása után. A talaj felszínére merőleges szonda behatolást és a talaj ellenállásával szembeni ellentartást a talplemez (1.) illetve a mérést végző személy súlyerejével biztosítja.

A mérés folyamán a szabványos (60⁰-os MSZ 08-1784-83) kúpos végű keretbe foglalt, minden esetben 1 cm-es talajréteg vizsgálatát biztosító szonda a talaj vizsgálati felületére merőlegesen hatol a talajba. A mérőberendezés a talajjal való érintkezés révén végzi - zártláncú folyamatban - a mérést 1 sec nagyságú elektronikus mintavételi időtartam alatt. A mérőszonda mintavételi ideje állandó és az elektronikus hardware révén biztosított. A vizsgálati adat mintavételéhez szükséges idő alatt az érzékelést végző mérőkúp elmozdulása elhanyagolhatóan kicsi (0.005-0.02 mm). A mérőkúp és az azzal közvetlenül szerkezeti egységként működő szonda, mérővizsgálat közbeni mozgási sebessége kvázi állandó (0.005-0.02 m/sec).

A vizsgált talajrétegen belül a talajrétegre jellemző mérési értékek meghatározása törvényszerűen mindig ugyanabban a pozícióban a rétegvastagság felénél (0.5 cm) történik. A mérővizsgálati pontatlanság az elektronikus feldolgozás segítségével $\pm 2,5\%$ -on belül marad.



19. ábra
A mérővizsgálat jellemzői

A mérési pontok elhelyezkedését később a 3.3.1. fejezetben mutatom be. Mindez azt jelenti, hogy valamennyi mérővizsgálati helyen 0-60 cm mélységben egy centiméteres rétegenként mértem meg a talaj nedvességtartalmát és a talaj behatolási ellenállását (tömődöttségét), amely egyetlen mérési helyen 60 összetartozó adatpárt, összesen 120 mért értéket jelent. (19. ábra).

3.2.3. Digitális talpmérleg

A függőleges irányú abroncsterhelés beállítására és változásának mérésére a FVM MI-től kölcsön kapott 2 db hitelesített PAT SAW 10 C típusú digitális talpmérleget használtam. A mérleg méréshatára: 10000 kg. A mérőműszer képét és annak legfontosabb technikai jellemzőit az alábbi **20. ábrában** foglaltam össze.



Méréshatár [kg]	10.000
Mérőfelület [mm]	560x382
Műszer vastagság [mm]	32
Műszer súlya [kg]	22,5
Pontosság 500 kg-ig [kg]	+/- 25
Pontosság 2 t-ig [kg]	+/- 50
Pontosság 2 t fölött [kg]	+/- 50

20. ábra
A PAT SAW 10 C típusú digitális talpmérleg és műszaki jellemzői

3.2.4. A függőleges terhelő erő beállítása

A nyomófejekre ható változtatható nagyságú függőleges terhelést a traktor hárompont-függesztő keretéhez kapcsolt az erőgép hidraulika rendszerébe kötött kettős működte-tésű C-100-as típusú 350 mm lökethosszú, az MTZ 50/80/82 traktoroknál alkalmazott



21. ábra
A függőleges nyomóerő beállítása a szabályozható hidraulikus munkahenger segítségével

hidraulikus munkahenger segítségével tudtam megoldani. A munkahenger szabályozására egy nyomásmérő órával ellátott KI-5473 típusú hidraulikus fojtót használtam, melynek max. terhelhetősége 250 bar volt. A méréseket a **21. ábrán** látható összeállításban a főiskolai kollégák közreműködésével végeztem.

3.2.5. A vizsgált gumiabroncsok

A méréseket a Taurus által kiválasztott 80-as és 95-ös profilú gumiabroncsokon végeztem. A vizsgálatban résztvevő gumiabroncsok jellemző műszaki és a vizsgálatok kezdetén mért technikai adatait a **8. és a 9. sz. táblázatban** rögzítettem.

8. táblázat

A vizsgálatban résztvevő gumiabroncsok jellemző műszaki paraméterei

Gumiabroncs típus	Profil- széleség [mm]	Profil- arány	Névl. pántátmérő [coll]	Alkalmazott belső nyomás [bar]
Taurus RC	270	95	48	3,6
Michelin	270	95	48	3,6
Kleber Super 3	270	95	48	3,6
Alliance	270	95	48	3,6
Taurus WRC	320	80	48	3,1 és 3,6

9. táblázat

Néhány jellemző abroncsprofil vizsgálat kezdetén mért technikai adata

		Taurus RC95	Kléber Super 3	Taurus WRC
Bordaszám		27	30	30
Bordamagasság (koronában)	[mm]	38	34	36
Átmérő	[mm]	1710	1720	1711
Vállmagasság	[mm]	38,2	38,5	38,7
Profilszélesség	[mm]	256,1	269	298
Mért átmérő	[mm]	1742	1729	1734
Mért profilszélesség	[mm]	283	290	318
Mért bordamagasság	[mm]	39	33	34,5

3.2.6. Az abroncsprofilok és a felfekvési paraméterek meghatározása

Néhány gumiabroncs jellegzetes profilját bemutató képeket az **1. sz. melléklet** tartalmazza. A profillenymatok meghatározására a hagyományos eljárás mellett egy új módszert is kidolgoztam. A megvalósításhoz kifejlesztettem egy nyomótáblát, amelyet a Waagner-Biró próbapadhoz lehet illeszteni. (**22. ábra**). A módszer lényege a következő: A próbapadon a mérőpántra felszerelt és festékkel bekent gumiabroncs profilt a megadott terheléssel rányomom az előbb említett táblára, melyre előzőleg egy papírlapot rögzítettem. A vizsgálat a továbbiakban két formában folytatható. Az egyik esetben: ha a kiválasztott gumiabroncsokat egyszer nyomtam a papírlapra, ezzel az adott terhelés mellett az abroncs profil szilárd felületre vonatkozó lenyomatát kaptam. A második módszerrel egy-egy lenyomat után épp egy bordaszélességgel tovább forgatva az abroncsot újabb lenyomatot készítettem. Az így kialakult tobozszerű teljes

profilnyomat (2. sz. melléklet) körvonala lényegesen többet elárul a radiál abroncsok profiljának kialakításáról, mint az egyszeri lenyomat képe.



22. ábra

Abroncsprofil lenyomat készítése a Waagner-Biró próbapadon

3.2.7. A nyomófejek bemutatása

A talaj mechanikai paramétereinek pontosabb meghatározásához két nyomófejjel terheltem a talajt. Az egyik egy forgásszimmetrikus kör keresztmetszetű gömbsüveg alakú benyomó felülettel rendelkező, a másik egy téglalap alapú négyszögletes hasáb volt. A forgásszimmetrikus, kör keresztmetszetű nyomófej (23. ábra) talajjal érintkező részének az átmérője 422,6 mm. A hasáb alakú nyomófej (24. ábra) talajba benyomódó téglalapjának méretei: 509 x 275,6 mm. Mindkét nyomófej talajjal érintkező felülete úgy lett kialakítva, hogy az tökéletesen megegyezik a speciális vizsgálat alá vont Taurus WRC 320/80R48 abroncs korábban megmért talajlenyomatának területével. A nyomófejek kialakításának további jellemző méreteit a 3. sz. mellékletben helyeztem el.



24. ábra

A forgásszimmetrikus nyomófej



23. ábra

A téglatest alakú nyomófej

3.3. A vizsgálati módszerek

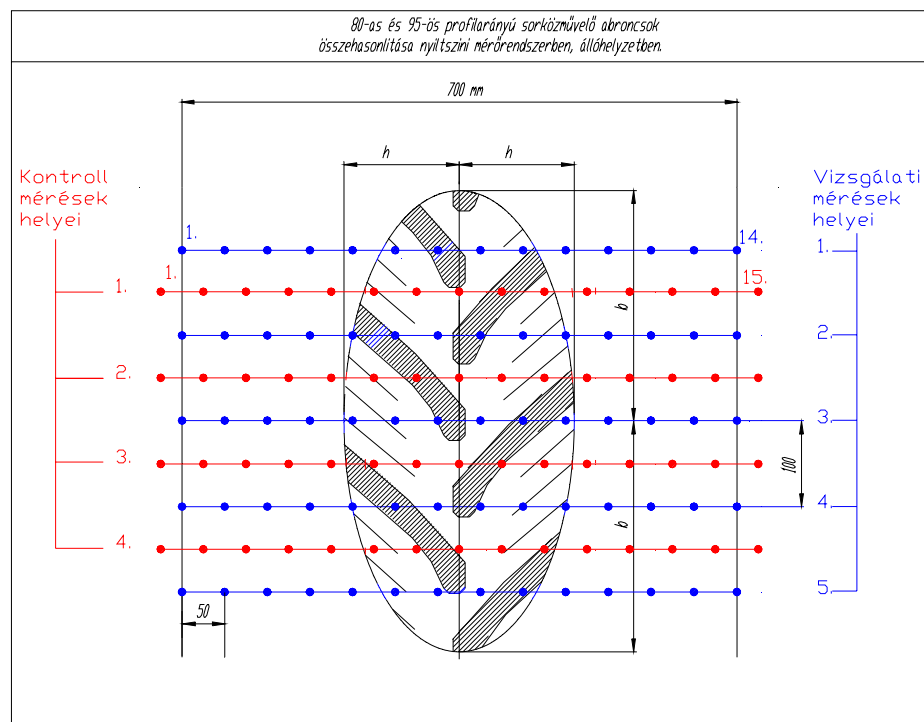
3.3.1. Sorközművelő gumiabroncsok vizsgálati módszere

Minden egyes gumiabroncs vizsgálatot úgynevezett „kontroll” mérésekkel kezdtem. Ez azt jelentette, hogy a vizsgálatot megelőzően a talaj fizikai állapotváltozását jellemző paramétereket (talajnedvesség, talajellenállás-tömődöttség) mérőberendezéssel (3T System) megmértem. A kontroll adatokat mátrix elrendezésben vettem fel. A négy sorban soronként 15 mérést végeztem.

RÁTONYI (1999) vizsgálatai szerint egy 15 m²-es parcella 0-70 cm szelvényének talajellenállása 95%-os valószínűség mellett 15%-os becslési hibával 10-14 mérési vizsgálatból határozható meg. Minden egyes pontban 60 cm-es talajmélységig folytattam a vizsgálatot. A mérési pontok 5-5 cm-re, míg a sorok 10-10 cm-re voltak egymástól. A vizsgálat elrendezési vázlatát szemléletesen a **25. ábrán** mutatom be.

A gumiabronccsal való talajterhelés után a vizsgálati pontokat a gumiabroncs haladási irányára merőlegesen, egymástól azonos (5-5 cm) távolságra jelöltem ki, (összesen 14 db-ot) úgy, hogy az abroncsszélességen kívül a profillyomat mindkét oldalán még további 25-25 cm szélességben vizsgálhassam a gumiabroncs oldalirányú hatását is.

A 14 mérővizsgálati pontot tartalmazó sort 5 ismétlésben vizsgáltam úgy, hogy az ismétlések egymástól állandó (10-10 cm) távolságban helyezkedtek el.



25. ábra
A mérési pontok szisztematikus elrendezése

Szigorú módszertani feltételként határoztam meg, hogy a talaj fizikai állapotváltozásait meghatározó jellemzőket (talajnedvesség, talajellenállás-tömődöttség) a talaj egy centiméteres rétegeiben egymást követően folyamatosan mérem. Ezzel kívántam azt elérni, hogy a gumiabroncs talajra gyakorolt hatását az eddig ismertekhez képest új megközelítésben pontosabban határozzam meg.

A vizsgálat során néhány speciális mérési pontot is kijelöltem. Többek között ellenőrzést végeztem a gumiabroncs lenyomat középvonalában, a bordalenyomatokban, illetve a bordaközökben is. Mindezzel a kerék bordái alatt, illetve a bordaközökben kialakuló tömörítésre kerestem a választ.

A mérés menete:

- A mérőszakaszok kijelölése a nyíltszíni mérőrendszerben.
- Az erőgép felkészítése a mérésre: a vizsgálati abroncsok felszerelése, a nyomás értékek beállítása, a pótsúlyok felkapcsolása a függesztő szerkezetre.
- A kontrollmérések: a még terheletlen talaj kúposindexének és nedvességtartalmának meghatározása az adott hosszon és mélységben a 25. ábra szerinti elrendezésben.
- Az erőgép bemelegítése, a vizsgálati beállítások helyességének ellenőrzése (tengelyterhelés, keréknyomás, differenciálzár bekapcsolása).
- A talaj terhelése (taposása): a traktor a hossz tengelyével a mérőpályára merőlegesen érkezik. Az erőgép egy rámpa segítségével, a lehető legóvatosabban rágördül a kijelölt mérőszakaszra. Majd 1 perces állandó terhelés után, a talajszelvény roncsolása nélkül, egy ék segítségével elhagyja a mérőhelyet.
- A terhelt talajállapot fizikai jellemzőinek rögzítése a talajfelszín taposása nélkül a mérőkocsi segítségével. Az abroncs lenyomatának lefényképezése és méreteinek (szélesség, hosszúság, profil) megállapítása. A 25. ábra szerinti vizsgálati pontokban a kúposindex és nedvességtartalom mérések elvégzése.

A mérés menetét a **4. számú mellékletben** fotókkal illusztrálom. A teljes mérési vizsgálatot a nyíltszíni mérőrendszerben a 3.1.2. fejezetben bemutatott három különböző fizikai talajféleségen (homok, vályog, agyag) végeztem el. Egy-egy talajtípuson 3 egymás melletti talajszelvényen ismételtam meg a kísérletet, így az eredményekben minden talajtípusnál 3-3 mérés átlagát értékeltem.

A méréseket követően a nyíltszíni mérőrendszer talajait 60 cm-es mélységig altalaj lazítóval lazítottam fel, majd a felszín elmunkálását követően 6 hónapig ülepedni hagytam.

3.3.2. A nyomófejes vizsgálatok módszere

A mérés részletes tematikája a következő volt:

- A mérőszakaszok kijelölése a nyíltszíni mérőrendszerben. Az egyenletes sík felszín biztosítása.
- Az erőgép és a nyíltszíni mérőrendszer felkészítése a mérésre: az erőgép első és hátsó nyomtávjainak beállítása a mérőrendszert szegélyező sín pályák távolságának megfelelően. Az erőgép ugyanis a sín pályára felkapaszkodva, a mérés során azon gördül majd végig. Ezzel a módszerrel tudtam megnövelni a traktor hasmagasságát úgy, hogy a nyomófej elférjen az erőgép alatt. A gumiabroncsok védelme érdekében a sín pályák belsejébe párnafa bélést helyeztem.
- A függőleges terhelő erőt biztosító munkahenger és szabályozható hidraulikus fojtó bekötése a traktor hidraulika rendszerébe. A munkahenger és fojtó működésének ellenőrzése valamint a nyomás – terhelő erő összefüggés kalibrálása sík, szilárd burkolaton a talpmérleg segítségével.
- A kontrollmérések: a még terheletlen talaj kúposindexének és nedvességtartalmának meghatározása a mérési pontok környezetében és 60 cm-es mélységben. (4*4-es mátrix elrendezésben, a mérési pontok távolsága egymástól 10-10 cm volt.)
- A forgásszimmetrikus nyomófej elhelyezése a vizsgálatra kijelölt talajfelszínen.
- A traktor a nyomófej fölé gördült és ezt követően összeállítottam a mérőrendszert. A nyomófejre ráillesztettem a talpmérleget, a talpmérlegre pedig egy tömör acéllemez került, annak érdekében, hogy a munkahenger egyenletesen elosztva terhelje a talpmérleget (A műszer védelem, a mérési pontosság, valamint stabilitás érdekében.)
- A nyomófej besüllyedését regisztráló toll behelyezése a nyomófejen kialakított tolltartóba, majd a milliméterpapírt rögzítő talpas rajztábla beállítása és a toll kezdőpontban való rögzítése. A besüllyedés jelölése folyamatosan történt a nyomófejre rögzített toll segítségével.
- A kísérlet indításához a szinkron jelet egy síp szolgáltatta.
- A függőleges terhelő erő előírt maximális értéke után megvártam, amíg a nyomófej mozgása megállt (1 perc várakozás után).
- A mérések során kamera segítette a munkámat: a talpmérleg, a rajztábla és a hidraulikus fojtó állapotának folyamatos változásait rögzítette. Így szinte a mérés valamennyi apró mozzanatát videofelvételen is megörökítettem.

-
- A mérések után a nyomófejet kivettük a nyomból és fényképezéssel illetve méréssel rögzítettem a deformált talaj állapotát (a lenyomat méretei és egyéb megfigyelhető tulajdonságok által).
 - A mérések végeztével a kijelölt vizsgálati pontokban a kúposindex és a nedvességtartalom mérések elvégzése.

A mérési folyamatot a **5. sz. mellékletben** képekkel is szemléltetem.

A fent leírt kísérletsorozatot a 3.2.7. fejezetben bemutatott két nyomófejjel végeztem el a mérőrendszer vályog talaján..

A mérések során a nyomófejeket különböző terhelésekkel nyomtam a talajba:

1. Kör nyomófej esetén 1150, 1750 és 2100 kg-os.
2. Téglalap nyomófej esetén 1750 és 2100 kg-os terhelést alkalmaztam.

A hidraulikus rendszer segítségével egyrészt egyszerűen megoldhatóvá vált a különböző terhelési fokozatok beállítása, másrészt biztosítani tudtam a vizsgálat során a terhelés állandóságát is.

3.4. A vizsgálati eredmények feldolgozásának és kiértékelésének módszere

A 3T System mérési eredményeinek (penetrációs ellenállás és talajnedvesség értékek) általam kívánt részletességű feldolgozásához két saját fejlesztésű programot készítettem. Az első program egy adatkonverziót végez el, melynek segítségével a műszer eredeti kimenő adatai beimportálhatók lesznek az Excel táblázatkezelő programba. A második program egy Excel-ben kifejlesztett alkalmazás, amellyel lehetővé válik a mérési eredmények korábbinál is szemléletesebb grafikai megjelenítése és az adatok közötti matematikai összefüggések statisztikai módszerekkel való felismerése.

4. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1. A gumiabroncsok profillenymatainak összehasonlító értékelése

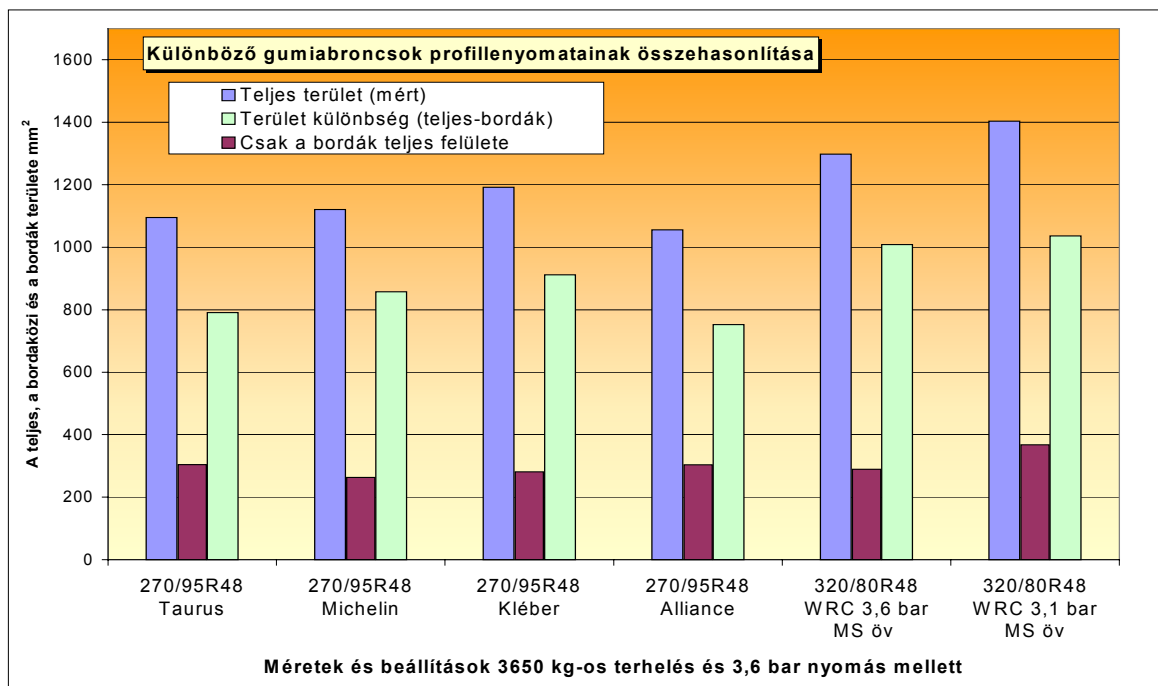
A vizsgált gumiabroncsok profillenymatainak mérési eredményeit a **10. táblázatban** foglaltam össze. A táblázatból jól látható, hogy vizsgálatba vett abroncs típusok közül 4 (Taurus, Michelin, Kléber, Alliance) azonos profil tulajdonságokkal rendelkezik (270/95-ös), míg az új fejlesztésű Taurus WRC-nél ettől lényegesen eltérő (320/80-as) profilt terveztek. A vizsgálat során, ahogy azt a 3.2.6. fejezetben részletesen ismertettem két módszerrel is meghatároztam a profillenymatokat. Az abroncsok egyszeri körbe forgatásával előálló gördülési lenyomatok tobozszerű képeit a **2. sz. melléklet**, a mérési eredményeket a **10. táblázat** „Abroncs forgatásával” jelzett oszlopai tartalmazzák. A hagyományos értelemben vett egyszeri lenyomat mérési adatai a táblázat utolsó előtti oszlopában találhatóak. Valamennyi abroncs típus esetében azonos belső nyomást (3,6 bar) és két terhelést (3150 és 3650 kg) alkalmaztam. Az új fejlesztésű WRC abroncsokat kétféle gyártási eljárást (MS és PE öv) követően 3,1 bar nyomás mellett is vizsgáltam.

10. táblázat

A gumiabroncs típusok profillenymatainak mérőszámai különböző belső nyomás és terhelés esetén

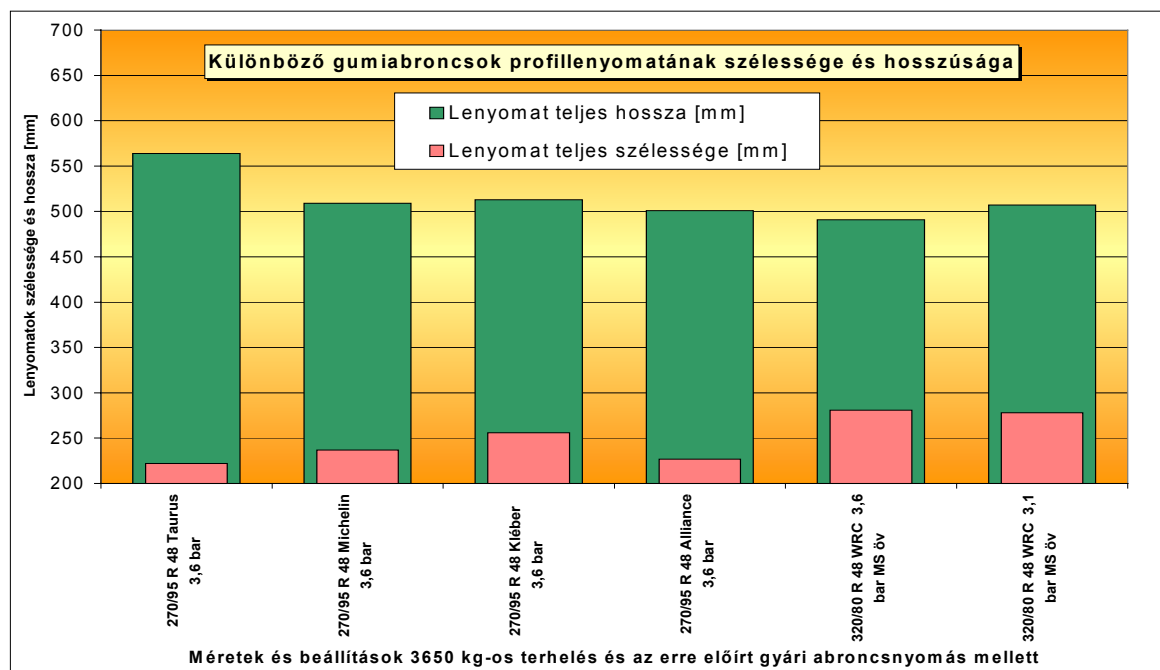
Abroncs		Belső nyomás [bar]	Terhelés [kg]	Abroncs forgatásával			Abroncs forgatása nélkül	Terület különbség (teljes-bordák) [mm ²]	
				Teljes terület (mért) [mm ²]	Lenyomat teljes hossza [mm]	Lenyomat teljes szélessége [mm]	Csak a bordák teljes felülete [mm ²]		
270/95 R 48	Taurus	3,6	3650	1094,7	564	222	303,9	790,8	
		3,6	3150	1090,8	561	214	281,5	809,3	
	Michelin	3,6	3650	1121,1	509	237	263,3	857,8	
		3,6	3150	1108,1	508	262	262,2	845,9	
	Kléber	3,6	3650	1192,3	513	256	280,8	911,5	
		3,6	3150	1184,3	512	258	266,8	917,5	
	Alliance	3,6	3650	1056,1	501	227	303,7	752,4	
		3,6	3150	1053,0	503	225	308,2	744,8	
	Taurus WRC 320/80 R 48	PE öv	3,6	3650	1398,8	537	263	360,7	1038,1
			3,1	3650	1517,3	572	283	377,5	1139,8
MS öv		3,6	3650	1298,3	491	281	289,1	1009,2	
		3,1	3650	1403,7	507	278	367,7	1036,0	

A **26. ábrán** különböző abroncsok 3650 kg-os terhelés és 3,6 bar abroncsnyomás melletti profillenymatainak összehasonlítása látható. Az értékek összehasonlítása nyomán jól látható, hogy az adott profilú (270/95-ös) abroncsok két csoportra bonthatók. Az első csoportba tartozó Michelin és a Kleber típusú abroncsoknál a gumiabroncs lenyomat teljes területéhez viszonyítva lényegesen kisebb a bordák alkotta terület mindössze 22-23%. A második csoportba tartozó Taurus és Alliance abroncsok esetében ez az érték megközelíti a teljes lenyomat 28-29%-át. Ezért a további vizsgálatokhoz az egyes csoportok reprezentatív tagjaiként a Kleber és a Taurus abroncsot választottam ki. A diagramból megállapítható az is, hogy a hagyományos sorköz művelő abroncsok közül a Kléber rendelkezik a legnagyobb teljes profillenymattal és a legnagyobb bordaközi felülettel. A bordák felfekvési felületét vizsgálva pedig a Taurus és az Alliance áll az első helyen. A új fejlesztésű Taurus WRC esetében 3650 kg terhelésnél 3,6 bar a javasolt gyári abroncsnyomás, de kíváncsi voltam arra, hogy hogyan változik az abroncs és a talaj kapcsolata 0,5 bar-ral csökkentett belső nyomás esetén. A Taurus WRC megnövelt profilszélességének, az alacsonyabb abroncsprofil kialakításnak, valamint az ennek következtében megengedhető alacsonyabb üzemi nyomásnak köszönhetően valamennyi profillenymati jellemző tekintetében a vizsgált abroncsok közül kiemelkedő eredményeket mutat.



26. ábra
A különböző gumiabroncsok profillenymatainak összehasonlítása

A **2. sz melléklet** képeit elemezve a következő különbségek láthatók. A hagyományos sorközművelők profillenymatai igen eltérő alakot mutatnak, a Taurus-é hosszú, a Kléber-é széles, a Michelin-é szögletes. A Taurus WRC lenyomata a megváltoztatott profiltípus következtében egyszerre mutatja mind a három említett jellegzetességet. Mégis a leginkább figyelemre méltó az, hogy itt érvényesül legjobban a radiál abroncsokra jellemző téglalap alakú szögletes lenyomat. Ha jól megfigyeljük ezen a lenyomaton alig van fehér folt, azaz az abroncs a rendelkezésére álló területet maximálisan kihasználja. Ebben a tulajdonságában leginkább a Michelin-re hasonlít, de méreteiben túl is szárnyalja azt. A lenyomatok hosszának és szélességének az összehasonlítása a **27. ábrán** látható. Az ábráról kitűnik, hogy a Taurus WRC lenyomatának a hossza alapvetően megegyezik a /95-ös hagyományos abroncsprofilok lenyomati hosszával kivéve a Taurus RC-t, viszont szélességben mindegyiket felülmúlja. Ez pontosan 20 mm-rel nagyobb, mint a legszélesebb Kléber /95-ös abroncsé.

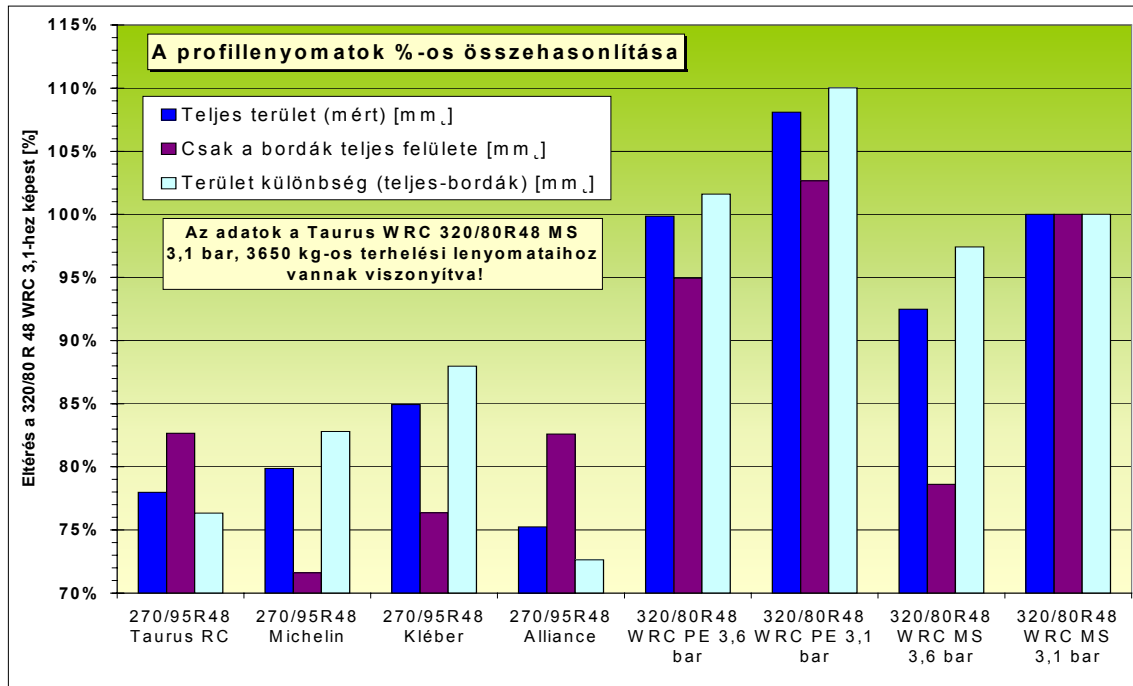


27. ábra

A profillenymatok szélességi és hosszúsági méreteinek összehasonlítása

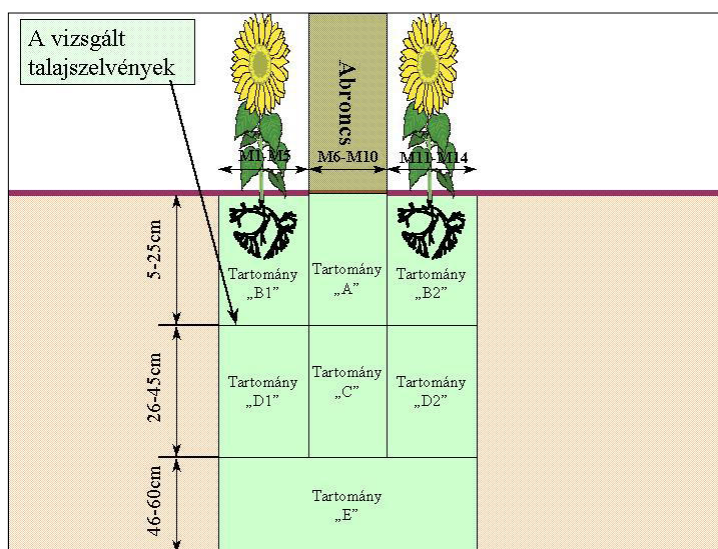
A **28. ábrán** a profillenymatok %-os összehasonlítása látható. Valamennyi abroncsprofil az utolsó oszlopban található Taurus WRC 320/80R48-hoz viszonyítottam. Számszerűen az értékekről a következő mondható el. A legjobb profillenymattal rendelkező /95-ös sorközművelő a Kléber abroncs, e típus teljes profillenymata 84%-a, a borda lenyomata 72,5%-a a Taurus WRC-nek, a bordaközi

felület lenyomata pedig 88%-ra adódott. A lenyomatok alapján valószínűsíthető, hogy a Taurus WRC abroncs új profilja talajkímélőbb lesz, mint a hagyományos sorközművelő típusoké. A talajkímélés tényleges összehasonlítására a nyíltszíni mérőrendszerben a különböző talajtípusokon felvett vizsgálati eredmények adják meg majd a pontos választ.



28. ábra
A lenyomatok arányosítása a Taurus WRC 320/80R48 –hoz

4.2. A gumiabroncsok talajtömörődésre gyakorolt hatásainak értékelése



29. ábra
A vizsgált talajszelvény felosztása

A vizsgált talajszelvényt 7 zónára osztottam fel a 29. ábra szerinti elrendezésben. (Megjegyzés: Természetesen a talaj a vizsgálat során nem tartalmazott semmilyen növényzetet, ezek csak az értelmezhetőség kedvéért szerepelnek az ábrán, jelölve a sorközi munkák oldaltávolságát.)

4.2.1. A kontroll adatok értékelése

A vizsgálatok előtt a **25. ábra** szerinti elrendezésben penetrálással rögzítettem a talajok kezdeti állapotát. A kontroll mérések eredményeit megvizsgálva a mérési adatsorok között szignifikáns eltérés nem mutatkozott. Mindez egyrészt annak köszönhető, hogy a mérőrendszerbe a különböző talajfeleségek annak idején homogenizált formában, azaz a növényi maradványoktól, valamint egyéb szerves és szervetlen hulladékoktól (pl. csontok, műanyagok, kövek, kavicsok) megtisztítva kerültek betöltésre és a mérések kezdetéig (a vegyszeres gyomirtás kivételével) érintetlen állapotban voltak. Másrészt a vizsgálatok egy olyan mikrokörnyezetben zajlottak (max. 20 m-es távolságon belül), ahol sem a klímában (csapadékmennyiség) sem egyéb vonatkozásban jelentős eltérés nem adódott. A különböző abroncsok vizsgálatára tehát azonos kiindulási talajállapotban került sor. Mivel a kontroll talajok ennek értelmében azonosnak tekinthetők, ezért az összehasonlítás során a kontroll mérések átlagából számított értékekhez viszonyítottam a terhelés utáni mérések adatait.

4.2.2. A behatolási ellenállás változása a vályog talajon

A különböző gumibroncsok okozta behatolási ellenállás változás átlagértékeit vályog talajon a **6. sz. melléklet** görbéi mutatják. A **25. ábra** elrendezésének megfelelően 5 sorban 14 mérési pontban és 3 ismétléssel számolva összesen $5 \times 14 \times 3 = 210$ mérés eredményét átlagoltam. A görbék lefutását tekintve az alábbi megállapítások tehetők a különböző talajrétegekre vonatkozóan.

1. A talaj felső 12 cm-ében a vizsgált gumibroncsok talajtömörítő hatása közel azonos. A tartomány egészére jellemző, hogy a legmeredekebben a Kleber abroncs görbéje emelkedik, míg a többi abroncs között nem mutatkozik lényeges különbség.
2. A növények gyökérszónájában 12-25 cm között található valamennyi abroncs esetében a tömörítés maximuma. A Kleber abroncs elszakad a többitől, 16 cm-es mélységben 2,7 Mpa-os értékkel jelenti a legnagyobb fokú tömörítő hatást. Az előzővel azonos értékben, de attól mélyebbre tolódva jelentkezik a Taurus abroncs alatt a legtömörebb zóna. 12-18 cm-es tartományban mutatkozik meg leginkább a Taurus WRC abroncs nagyobb felfekvési felületének köszönhető kedvező hatás. Ez a jelenség még fokozottabban megfigyelhető abban az esetben, ha a nyomást 3,1 bar-ra csökkentjük.

3. 25-45 cm között a különbségek fokozatosan elsimulnak, de természetesen végig megmarad a Taurus WRC abroncs 3,1 bar-os lényegesen kedvezőbb hatása.
4. 45-60 cm mélységben a görbék szerint az abroncsok már lényegesen nem befolyásolják a talaj eredeti állapotát. Természetesen figyelembe véve azt, hogy egy egyszeri és statikus terhelésről van szó.

A kúposindex CI [N/cm²] változásait a **11. sz. táblázatban** foglaltam össze.

11. táblázat

A kúposindex változásai a gumibroncsok terhelése után vályog talajon

Kúposindex mérés CI vályog talajon									
Mélység [cm]	Terhelés előtt	Kleber Super 3 270/95		Taurus RC95 270/95		WRC 320/80 3,6 bar		WRC 320/80 3,1 bar	
		Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI
1-10	84	83	0	71	-12	62	-22	74	-10
11-20	166	244	161	228	144	213	129	196	113
21-30	145	218	134	238	154	207	123	184	100
31-40	148	193	110	195	111	201	117	174	90
41-50	166	177	94	166	82	188	105	175	91
51-60	175	179	95	171	87	175	91	172	88
Átlag	147	183	99	178	94	174	91	163	79

Összességében megállapítható, hogy a vályog talajon a vizsgált átlagosan 38%-os szántóföldi vízkapacitás mellett a teljes mélységtartományt figyelembe véve a Taurus WRC abroncsoknak a legkisebb a talajtömörítő hatása. Különösen megfigyelhető ez a 3,1 bar-os optimális keréknyomás esetén. A kedvező tömörítő hatás a talaj felső művelési rétegét tekintve 40 cm-ig igen meggyőző. Mélyebb rétegekben ennél szerényebb mértékű. A többi gumibroncs (beleértve a Taurus WRC 3,6 bar-ost is) hatása azonos lefutású képet mutat, bár az értékek között főként a kisebb mélységtartományban eltérések is tapasztalhatók.

A kiindulási állapothoz viszonyított függőleges irányú nyomásváltozás szemléletesen a **7. sz mellékletben** látható, míg a teljes vizsgált talajszelvény terhelés utáni nyomáseloszlási térképét a **8. sz. mellékletben** helyeztem el.

4.2.3. A behatolási ellenállás változása a homok talajon

A különböző gumibroncsok okozta behatolási ellenállás változás átlagértékeit homok talajon a **9. sz. melléklet** görbéi mutatják. A görbék lefutását tekintve az alábbi megállapítások tehetők az egyes talajrétegekre vonatkozóan.

1. A felső 12 cm-es mélységtartományban a Kleber és a Taurus RC 95-ös gumibroncsok talaj tömörítő hatása közel azonos. Ezekről a Taurus WRC abroncs talajra gyakorolt hatása az alkalmazott belső abroncsnyomások függvényében tér el. 3,1 bar esetén kedvezőbb, míg 3,6 bar mellett rosszabb eredményt mutatva.
2. A növények gyökérzónájában 13-30 cm között a Taurus RC gumibroncs talajtömörítő hatása a legnagyobb, ettől valamivel kisebb a Taurus WRC (3,6 bar) gumibroncsé. A Taurus WRC 3,1 bar és a Kleber gumibroncsok talajtömörítő hatása lényegesen kedvezőbb az előző két abroncshoz képest. A talaj védelme szempontjából azonban a Taurus WRC hatása a legkedvezőbb.
3. 30-60 cm-es mélységtartományban az abroncsok csak kis eltéréseket mutatnak, összességében közel azonos hatást jelentenek erre a rétegre.

A kúposindex CI [N/cm²] változásait a **12. sz. táblázatban** foglaltam össze.

12. táblázat

A kúposindex változásai a gumibroncsok terhelése után homok talajon

Kúposindex mérés CI homok talajon									
Mélység [cm]	Terhelés előtt	Kleber Super 3 270/95		Taurus RC95 270/95		WRC 320/80 3,6 bar		WRC 320/80 3,1 bar	
		Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI
1-10	123	107	-15	105	-18	113	-9	98	-24
11-20	201	254	131	268	145	265	142	220	97
21-30	176	216	93	258	135	250	128	200	78
31-40	171	207	85	223	100	209	86	202	80
41-50	186	214	91	217	94	201	79	189	66
51-60	197	217	95	197	75	188	65	203	81
Átlag	176	202	80	211	89	204	82	185	63

Összefoglalásként megállapítható, hogy a Taurus WRC abroncsok hatása a homok talajon 45%-os szántóföldi vízkapacitás mellett csak a (3,1 bar) keréknyomás érték esetén kedvezőbb, mint a másik két profilé. Érdekes jelenség, hogy a homok talaj esetében nem volt tapasztalható lényeges különbség abban az esetben, ha változatlan nyomás mellett az abroncs talajjal érintkező felületét növeltem, szemben azzal, amikor egyidejűleg a belső nyomást is csökkentettem. Homok talajon tehát célszerűbb alacsonyabb üzemi abroncsnyomást alkalmazni, mint a futófelületet növelni.

A kiindulási állapothoz viszonyított függőleges irányú nyomásváltozást szemléletesen a **10. sz melléklet** tartalmazza, míg a teljes vizsgált talajszelvény terhelés utáni nyomáseloszlási térképét a **11. sz. mellékletben** helyeztem el.

4.2.4. A behatolási ellenállás változása az agyag talajon

A különböző gumiabroncsok okozta behatolási ellenállás változás átlagértékeit agyag talajon a **12. sz. melléklet** görbéi mutatják. A görbét elemezve az alábbi megállapítások tehetők a különböző talajrétegekre vonatkozóan.

1. A talaj felső 12 cm-es rétegében a behatolási ellenállás értékei közel azonosak, a legnagyobb értékeket a Taurus WRC abroncs (3,6 bar üzemi nyomással) mutatja.
2. A növények gyökérzónájában a 12-32 cm-es mélységtartományban a Kleber és a Taurus RC 95 lényegesen nagyobb behatolási ellenállás értéket mutat, mint a Taurus WRC abroncsok. Ebben a tartományban ez a két abroncs rendelkezik a legnagyobb talajtömörítő hatással. A legkisebb tömörítő hatás a Taurus WRC (3,1 bar) gumiabroncsnál tapasztalható.
3. A 32-60 cm-es talajmélységben az előző talajokhoz (vályog, homok) képest a görbék nem simulnak egymáshoz, hanem végig megmarad a 12-32 cm-re jellemző sorrendiség. A legjobb eredmény a Taurus WRC abroncsok esetén volt mérhető. Mindkét keréknyomási érték mellett ugyanis lényegesen kevésbé tömörítik a talaj ezen rétegét, mint a Kleber Super 3 és a Taurus RC 95 abroncsai. A tartományon belül a Taurus RC 95 tömörítő hatása a 32-45 cm közt egy kicsit kedvezőbb képet mutat, mint a Kleber abroncs, ettől mélyebben azonban a Kleber abroncsnál mérhető kedvezőbb tömörítési adatok. A legkedvezőbb adatokat a Taurus WRC 3,1 bar-os keréknyomása esetén mértem.

A kúposindex CI [N/cm²] változásait a **13. sz. táblázatban** foglaltam össze.

13. táblázat

A kúposindex változásai a gumiabroncsok terhelése után agyag talajon

Kúposindex mérés CI agyag talajon									
Mélység [cm]	Terhelés előtt	Kleber Super 3 270/95		Taurus RC95 270/95		WRC 320/80 3,6 bar		WRC 320/80 3,1 bar	
		Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI	Terh. után	ΔCI
1-10	143	104	-39	86	-57	131	-11	72	-71
11-20	212	332	189	315	172	303	160	283	140
21-30	179	285	142	306	163	284	141	252	109
31-40	176	281	138	294	151	267	124	218	75
41-50	189	299	156	297	154	247	104	222	79
51-60	206	312	169	280	137	240	97	207	64
Átlag	184	269	126	263	120	245	102	209	66

Összegzésként elmondható, hogy a réti agyag talajon 67%-os szántóföldi vízkapacitás mellett a talajszelvény teljes mélységét tekintve a legkisebb talajtömörítő hatása a Taurus WRC 320/80R48 típusú gumibroncsnak van 3,1 bar keréknyomás érték esetén. Ha a gumibroncs nyomását 3,1 bar-ról 3,6 bar-ra emeljük a talajtömörítés kedvező adatai mérséklődnek. A talajtömörítés mértékét tehát jelentősen befolyásolja az abroncs belső nyomása. Minél magasabb ez az érték, annál nagyobb a gyökérszónába jutó káros tömörítés. A Taurus WRC 3,6 bar keréknyomással ezért kedvezőtlenebb képet mutat; értékei 21-32 cm között megközelítik a Kleber és a Taurus abroncsokét. A mélyebb talajrétegekben (32 cm-től) újra érvényesülni látszik a Taurus WRC profilok lényegesen kedvezőbb hatása.

A kiindulási állapothoz viszonyított függőleges irányú nyomásváltozást szemléletesen bemutatva **13. sz melléklet** tartalmazza, míg a teljes vizsgált talajszelvény terhelés utáni nyomáseloszlási térképét a **14. sz. mellékletben** helyeztem el.

4.2.5. A talajtömörödés egyéb tulajdonságainak értékelése

A egyes gumibroncsok talajra gyakorolt hatását talajtípusonkénti külön-külön is megvizsgáltam. A mért értékeket tartalmazó nyomáseloszlási ábrákat egymás mellé helyezve (lásd **8. 11. 14. sz. melléklet**) összehasonlítottam az egyes talajtartományokat. A nyomáseloszlási térképek elemzése a következő kérdésekre adhat választ:

- Mekkora a talajtömörödés maximális értéke?
- Hol helyezkednek el a talajban a legtömörebb rétegek?
- Milyen irányú és nagyságú a veszélyesen tömör réteg kiterjedése?
- Meghatározható-e és jellemző-e a tömör réteg alakja és formája?

Az értékelés meghatározó szempontjai:

Mivel a Taurus és a Kleber abroncsok nyomása, terhelése és profiljai (270/95-ös) rendre megegyeznek, ezért a mért értékek közötti különbségek elsősorban a különböző abroncslenyomattal és borda felülettel valamint a bordák kialakításával magyarázható. A 3,6 bar nyomású 320/80-as profilú Taurus WRC abroncsnak az előbbi 270/95-ös profilokkal való összevetésében leginkább a szélesebb abroncs profil játszik magyarázó szerepet, de természetesen nem lehet figyelmen kívül hagyni a különböző borda kialakítások hatását sem. A Taurus WRC 3,6 és a Taurus WRC 3,1 közötti különbség egyetlen magyarázata pedig csak az eltérő nyomás lehet.

A **8. 11. 14. sz. melléklet** nyomás eloszlási térképei a különböző talajokon végzett terhelés utáni talajállapotot mutatják. Általánosságban elmondható, hogy a behatolási ellenállás maximális értékei (nyomáscsúcsok) a gumiabroncsok koronavonalában, helyezkednek el.

Az ábrákon jól megfigyelhető, hogy a gumiabroncsok alatt a talajfelszín közvetlen közelében alacsonyabb nyomásértékű területek láthatók és csak ezután következnek a nyomással leginkább terhelt rétegek. A jelenség a talajellenállás-görbe mélység függvényében való ábrázolásakor tapasztalható és az ún. talajfelszín effektussal (surface effect) magyarázható. A felszín közeli kisebb ellenállást kiválthatja, hogy itt a talaj rendszerint lazább, mint az alatta fekvő rétegekben. Az esetek többségében viszont az az oka, hogy a penetrométer kúp alakú szondáját a felszín közelében a talajrészecskék nem veszik teljes egészében körül. ROHANI et al. (1981) homok talajon végzett vizsgálatai szerint a talajfelszín effektus abban a mélységben szűnik meg, ahol a penetrációs mélység eléri a szonda végén található kúp magasságának hatszorosát.

Vályog talajon a legkiegyenlítettebb nyomás eloszlási kép a Taurus WRC abroncs alatt látható 3.1 bar nyomás mellett. A többi abroncsnál megfigyelhető a terhelés okozta nyomáshagymák körvonalazódása. A legnagyobb nyomásértékek a Taurus RC és a Taurus WRC 3.6 bar esetén közvetlenül az abroncs alatt találhatók, míg a Kleber esetében a nyomás egészen szélesen szétterül az abroncs alatti térben, behatolva a növényesorok gyökereihez gátolva azok fejlődését.

A kontrollhoz képest a legnagyobb tömörítő hatás a Taurus és a Kleber abroncsoknál figyelhető meg, ahol a tömődöttség mértéke a felső 15-25 cm-es mélységben a 2,5Mpa-t is eléri. A kezdeti állapothoz (1,5 MPa) viszonyítva ez 66%-os tömődöttség növekedés. A mért legnagyobb ellenállás érték is a Kleber-nél található 4,3 Mpa 21-23 cm-es talajmélységben. Ez összecseng KIRBY et al. (1997) szántóföldi mérései és a traktorkerék okozta talaj deformációt szimuláló modellje alapján hozott megállapításával miszerint, a traktorkerék által okozott többszöri tömörítés esetében az első menet hatása a legnagyobb fokú és legkedvezőtlenebb.

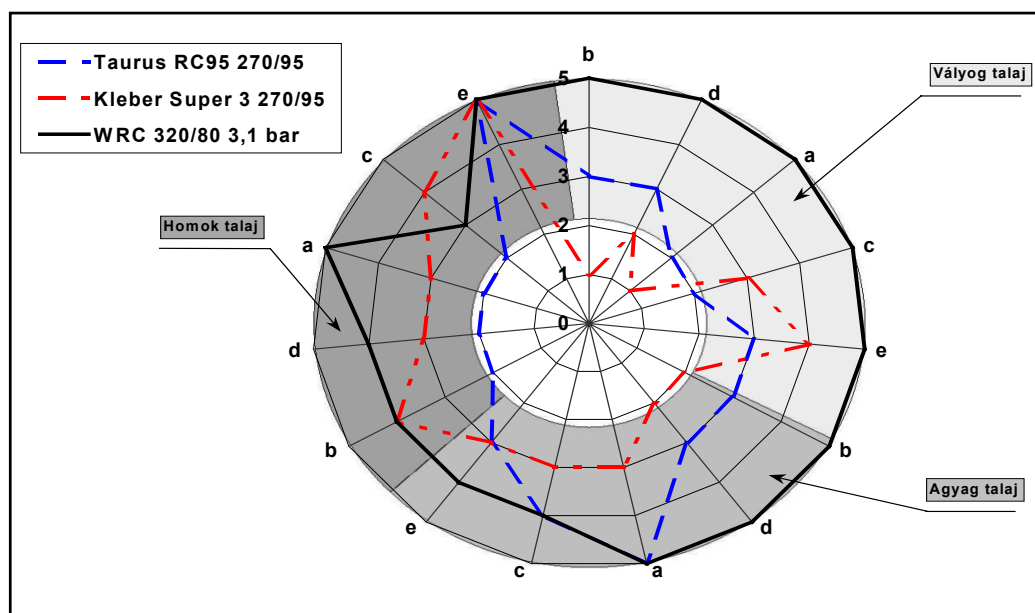
A homok talajon a legkedvezőbb talajszerkezet szintén a Taurus WRC 3.1 alatt látható. Valamennyi gumiabroncs esetében a terhelt zóna függőleges irányú kiterjedése figyelhető meg a vályog talajhoz képest, amely a Taurus és a Kleber abroncsoknál a leginkább szembetűnő. A Kleber abroncs legtömörebb rétegeinek (3,1-4,0 ill. 4,1-5,0

Mpa) elhelyezkedése és kiterjedése alapján ezen a talajtípuson kedvezőbb hatást gyakorol a talajra, mint a Taurus WRC 3.1 bar mellett. A kezdeti 1,8-2 MPa-os értékek helyébe 13-27 cm-es mélységben 2,5 MPa-t meghaladó értékek kerülnek, ez a kiindulási értékekhez viszonyítva 25-30%-os növekedést jelent. A hatás a Kleber és a Taurus abroncsnál egészen mélyre 45-50 cm-re is lehatol. A mért legnagyobb ellenállás érték a Taurus-nál található 5,3 Mpa 15-16 cm-es talajmélységben.

Az *agyag talajon* a legkevésbé terhelt talajszerkezet szintén a Taurus WRC 3.1 alatt látható. Valamennyi gumiabroncsnál a talajszelvényben jelentősen megnő a gyökér fejlődését már akadályozó 3,1-4,0 MPa –al tömődött területek részaránya. Legszembetűnőbb ez a a Taurus és a Kleber abroncsoknál. A kiindulási értékekhez viszonyítva a legnagyobb tömörítő hatást a Taurus és Kléber abroncsok alatti 12-24 cm-ig terjedő talajsáv szenvedte el. Itt a talajellenállás mértéke eléri az 5 MPa értéket.

4.2.6. A gumiabroncsok általános értékelése

A 4.2.5. fejezetben említett szempontok alapján a legjobbnak ítélt, - legkevésbé tömörített -, talajréteg esetén 5-ös értéket adtam, majd ehhez viszonyítottam a többi tartományt. A legrosszabb értékelés az 1-es volt. Így a tartományokat és azok értékelését a különböző abroncs típusok esetén a **30. ábrán** látható háló diagramban ábrázoltam. A Taurus WRC-t 3,1 bar-os nyomással értékeltem.



30. ábra
A behatolási ellenállás különböző talajokon mért maximális értékei az abroncssterhelések után

Ezen mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a Taurus WRC abroncsok 3.1 bar nyomás esetén talajkímélőbbek, mint a hagyományos 95-ös sorközművelők, és a gyökérszónát is kevésbé tömörítik.

4.2.7. A gumiabroncsok hatása a talaj nedvességtartalmának változására

Ezt követően megvizsgáltam három különböző fizikai féleségű talajnál a gumiabroncsok által okozott nedvességváltozást. A mindenkori változást a kontroll értékekhez viszonyítottam úgy, hogy a keresztirányban mért értékeket átlagoltam és lefelé haladva 1 cm-es léptékben a megfelelő kontroll értékekhez tartozó nedvességváltozást ábrázoltam. A gumiabroncsok terhelése nyomán megváltozik a talaj szerkezeti összetétele, pórustérfogata, nedvességeloszlása. A nedvességtartalom átrendeződése a tömörítés során időben lényegesen jobban elhúzódó folyamat, mint a behatolási ellenállás értékek megváltozása.

A homok talajon történő változásokat a **15. és 16. sz. mellékletben** foglaltam össze. A homoktartalom lazábbá teszi a talajt és emiatt kevesebb vizet képes tárolni. Az ábrákból jól látható, hogy a gumiabroncsok terhelésének hatására a homoktalaj könnyen elengedi a nedvességet, ezért a felső mintegy 37 cm-es talajzónában lényegesen csökkent a talaj nedvességtartalma. A 11. sz. melléklettel összevetve jól látható, hogy a nedvességtartalom változása és a talaj tömörödöttsége között szoros összefüggés áll fenn. A terhelés hatására kiszorított nedvesség tovább fokozza az abroncsok talajtömörítő hatását.

A Taurus WRC abroncsok esetében a 35 cm-től mélyebben fekvő talajrétegekben ugyanakkor a nedvességtartalom növekedése figyelhető meg. A kiszorított illetve a megnövekedett vízmennyiségek azonban nincsenek arányban egymással. Ez azt jelentheti, hogy a felső tartományban a terhelés hatására megvalósuló vízmozgás oldal irányban a vizsgált tartományon kívülre is terjedhetett. Egyértelműen megállapítható azonban, hogy a talaj vízháztartási rendszerében valamennyi vizsgált gumiabroncs közül a legkisebb változást a Taurus WRC (3,1 bar) abroncs okozta. Így a talaj eredeti nedvesség állapota ennél az abroncsnál maradt meg leginkább változatlan formában.

A vályog talaj esetében a változások a **17. és a 18 sz. mellékletben** találhatóak. A nedvességeloszlásának változása a homok talajnál leírtakkal azonos tendenciát követ, de a változás mértéke az egész tartományban lényegesen kisebb annál. A legkisebb

mértékű beavatkozást a talaj vízháztartásába itt is a Taurus WRC abroncs terhelése jelentette.

Az *agyag talajon* rögzített eredményekből (**19. és a 20. sz. melléklet**) látszik, hogy a változások tendenciája eltérő az előző két talajhoz képest. Az agyag talaj felső 25 cm-es zónájában a nedvességtartalom nem csökken, hanem épp ellenkezőleg megnövekszik. Ez valószínűleg azzal indokolható, hogy a talajban lévő víz a talaj felszínének közelében a terhelés miatt bekövetkező pórustérfogat csökkenéséből adódóan a talajfelszínre préselődik ki. Ugyanakkor a teljes talajszelvényben megfigyelhető a talaj telítődése. Úgy tűnik, hogy a víz a terhelés hatására egyrészt felfelé távozik másrészt az alsóbb rétegekben lefelé és oldalirányban folytatja a nyomás hatására felgyorsuló mozgását. Ennél a talajnál is a kisebb léptékű változásokat a Taurus WRC abroncsnál találjuk.

Az összehasonlításból megállapítható, hogy mind a három talajtípusnál a Taurus WRC gumiabroncs profilja (3,1 bar nyomáson) bizonyult a legkedvezőbbnek, mivel a talajok eredeti nedvességi állapotát az abroncs terhelése itt változtatta meg a legkevésbé.

4.3. A nyomófejes vizsgálatok értékelése

A nyomófejes vizsgálatok kettős célt szolgáltak. Az egyik célunk az volt, hogy saját mérésorozat alapján talajmechanikai alapparamétereket határozzunk meg a végeselemes talajmodell számára. Ezeknek az eredményeknek az alapján nyílik lehetőségünk a szoftver ill. modell paramétereinek beállítására, azaz a program eredményeinek a valós eredményekkel való összevetésére (validálására).

A paraméterek meghatározásán túl, mivel az abroncsprofil felülete túlságosan összetett, ezért a tényleges abroncsprofil helyett első közelítésben egy vele azonos területű lenyomattal rendelkező próbatesttel ellenőriztük a programot. A modellkísérletekkel végső soron azt szeretnénk meghatározni, hogy egy adott kialakítású abroncsprofil, adott talajon, meghatározott terhelés hatására milyen mértékben süllyed a talajba és milyen módon befolyásolja a talaj fizikai jellemzőit.

Az első kísérlet sorozatban a nyomófejeket állandó terhelés mellett nyomtam a talajba. Ennek eredményeit a **14. táblázatban** foglaltam össze.

A második kísérletben a terhelést 0-2100 kg-ig 14 lépésben 150 kg-onként növeltem. Erre egyrészt azért volt szükség, mert a véges elemes modell csak adott véges számú lépésben képes a teljes terhelést a „talajra” helyezni a talaj nagymértékű nemlineáris talajszilárdságtani viselkedése miatt, másrészt a teljes mért és számított erő-süllyedés függvényt össze akartuk hasonlítani. Az ehhez tartozó diagrammot és értékelést később a modell eredményeivel összevetve a 4.4. fejezetben ismertetem.

14. táblázat

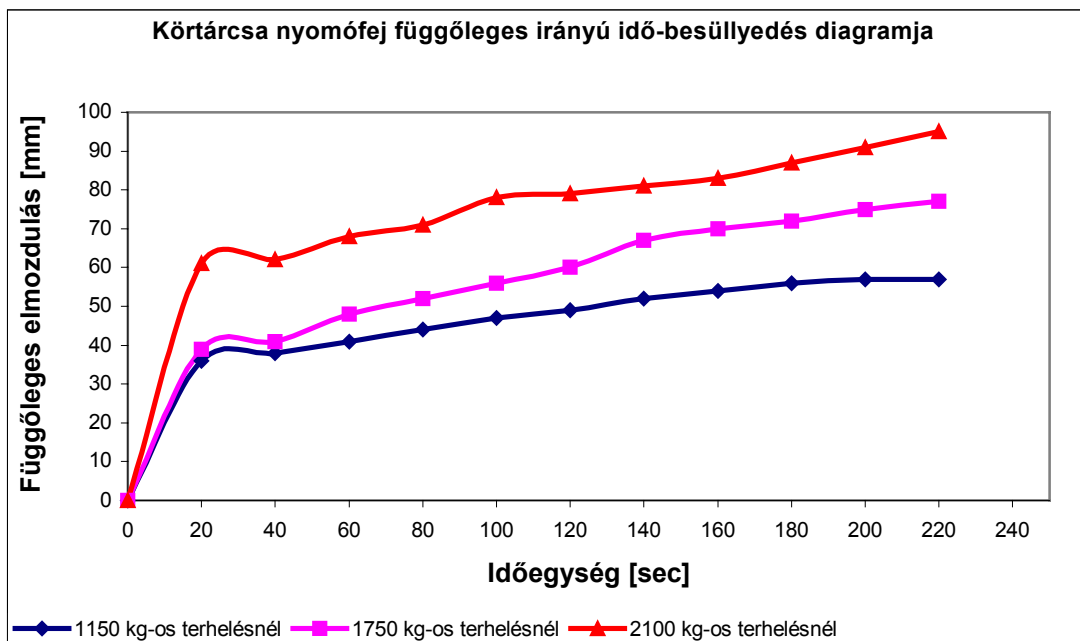
Különböző nyomófejek állandó terhelés alatti besüllyedése vályog talajon

Időegység [sec]	Körtárcsa alakú nyomófej függőleges elmozdulása [mm]			Téglalap alakú nyomófej függőleges elmozdulása [mm]	
	1150 kg-os terhelésnél	1750 kg-os terhelésnél	2100 kg-os terhelésnél	1750 kg-os terhelésnél	2100 kg-os terhelésnél
0	0	0	0	0	0
20	36	39	61	63	66
40	38	41	62	63	66
60	41	48	68	65	68
80	44	52	71	66	70
100	47	56	78	67	72
120	49	60	79	68	75
140	52	67	81	69	76
160	54	70	83	69	79
180	56	72	87	69	84
200	57	75	91	70	87
220	57	77	95	72	91

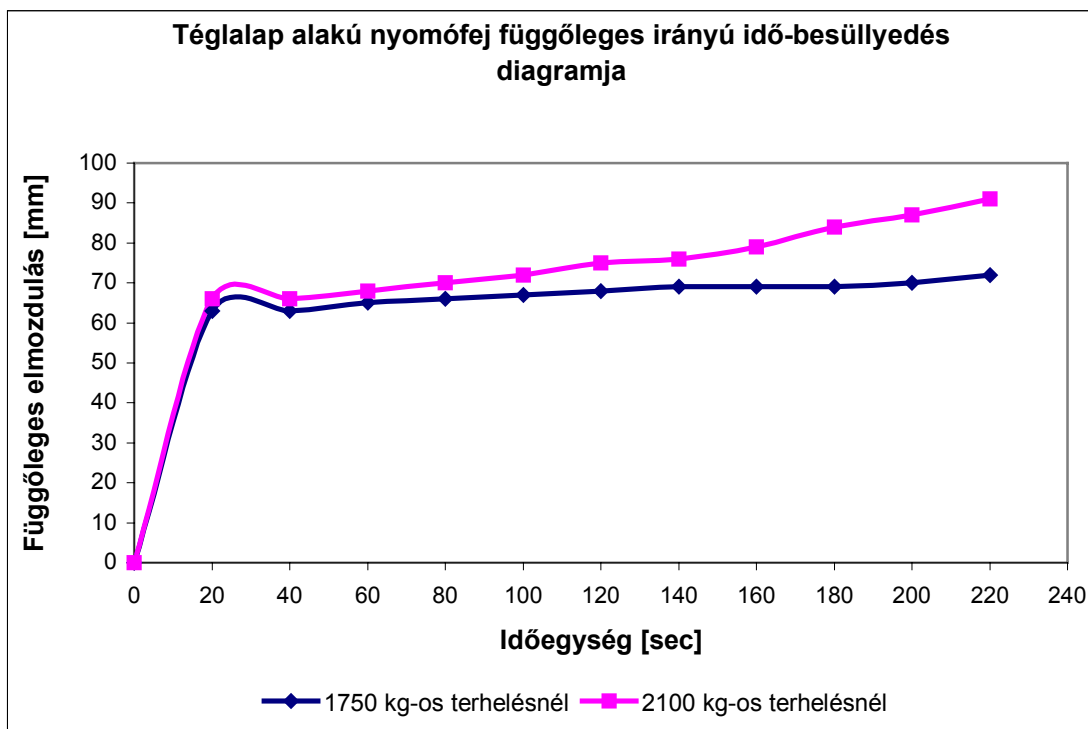
A **31. ábrán** a körtárcsa alakú nyomófej különböző statikus terhelések melletti idő-süllyedés görbéi láthatók. A **32. ábra** a téglalap keresztmetszetű nyomófej különböző statikus terhelések melletti idő-süllyedés görbéit ábrázolja.

Mindkét nyomófejnél jól látható, hogy a terhelés hatására már az első időegység (kb. 20 sec.) végére eléri a nyomófej a besüllyedésének igen jelentős részét. A körtárcsás nyomófejnél ez az érték az 1750 kg-os terhelésnél a legkisebb mindössze 50%, míg érdekes módon az 1150 és a 2100 kg-os terhelés mellett a teljes besüllyedés 63-64%-ra adódott. A téglalap alakú nyomófejnél 1750 kg-nál 88%, míg 2100 kg-nál 72% az első időegység alatt elért besüllyedés mértéke a teljes elmozduláshoz viszonyítva.

Ezt követően mind a két nyomófej besüllyedése egy lényegesen enyhébb meredekségű görbe mentén zajlik. A görbe ezen szakaszához regressziós egyeneseket illesztettem, melynek korrelációs együttható értékei 0,9525-0,9826 tartományba esnek, ami igen szoros összefüggést takar. Az illesztett egyeneseket és a korrelációs koefficiens értékeit a **33. és a 34. ábrában** mutatom be.



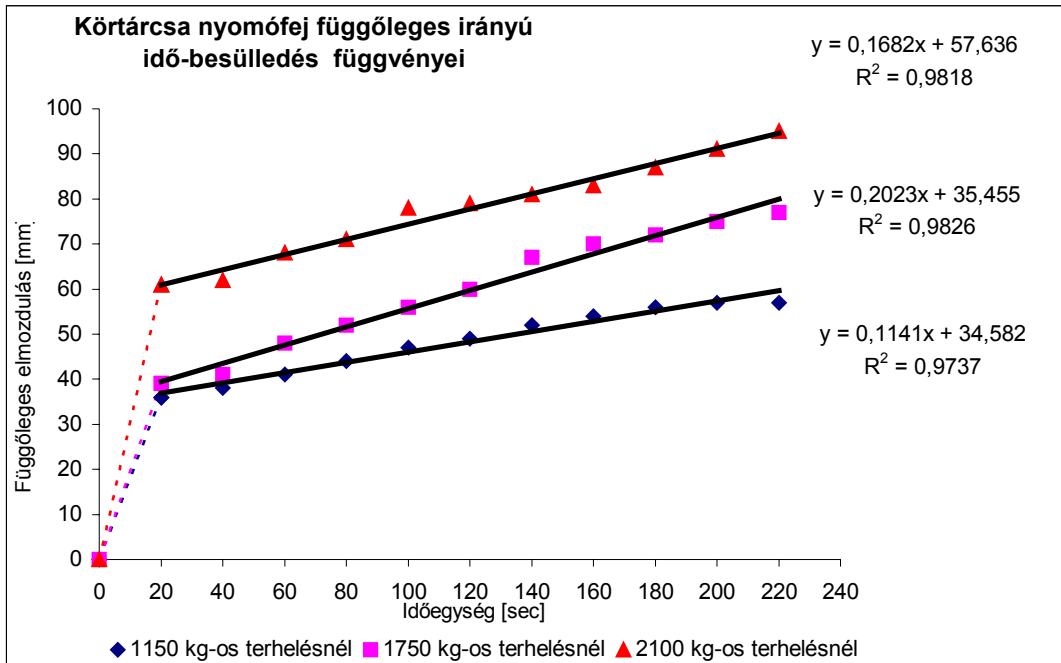
31. ábra
A körtárca nyomófej idő-besüllyedés diagramja



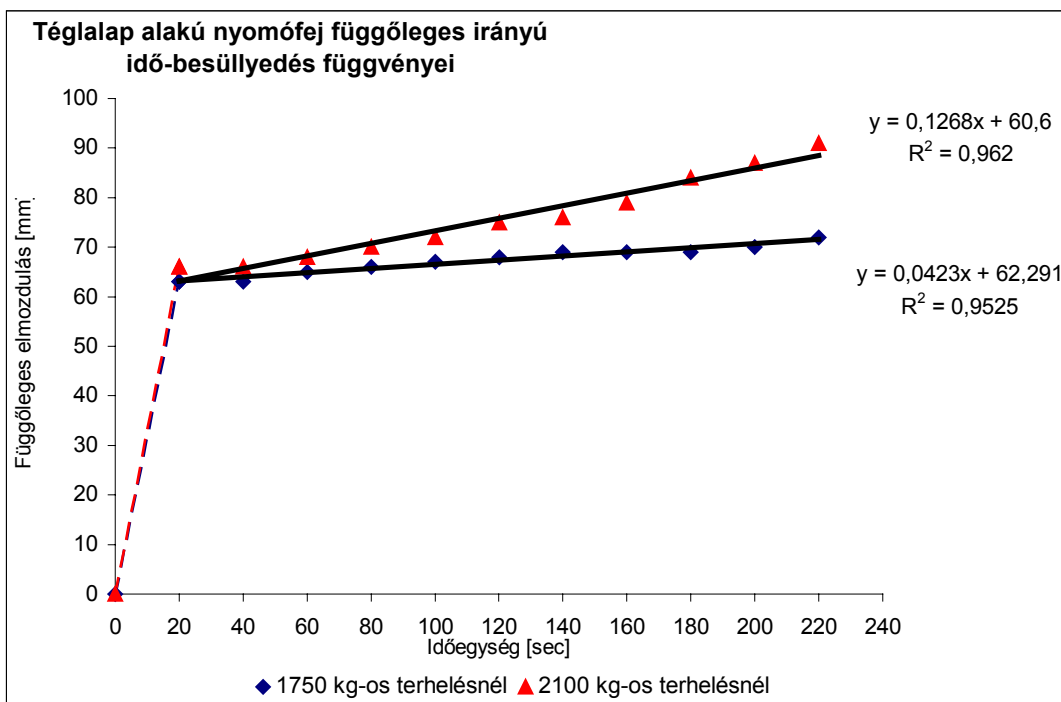
32. ábra
A téglalap alakú nyomófej idő-besüllyedés diagramja

Állandó statikus terhelés mellett a kezdeti gyors besüllyedést követően a nyomófejek az idő kis meredekségű lineáris függvényeként süllyednek a talajba. (Ez a jelenség a szántóföldön elakadt és hosszabb ideig ott maradt gépek lassú elsüllyedésénél is megfigyelhető.) A terhelő erő és besüllyedés közötti pozitív korreláció az időtengely

végére alakul ki, ahol a besüllyedés max. mértéke a statikus terhelő erő arányos értékeként jelenik meg. A két nyomófej talajjal érintkező felülete azonos, az eredményekből úgy tűnik, hogy a nyomófej alakja jelen vizsgálatban nem jelent szignifikáns különbséget a max. besüllyedés mértékében.



33. ábra
A körtárcsa nyomófej statikus terhelés alatti idő-elmozdulás függvényei



34. ábra
A téglalap alakú nyomófej statikus terhelés alatti idő-elmozdulás függvényei

4.4. Végeselemes modell kísérletek értékelése

A gyakorlatban elvégzett kísérletek eredményeinek birtokában került sor a Miskolci Egyetem Mechanikai Tanszékén SÁRKÖZI LÁSZLÓ vezetésével kifejlesztett kritikus állapotú Cambridge Cam Clay véges-elemes talajmodell program ellenőrzésére. Arra kerestem a választ, hogy a nyíltszíni mérőrendszerben elvégzett vizsgálatok eredményei mennyiben egyeznek meg a szoftver által számolt elméleti értékekkel és mi lehet a különbségek oka?

A korábbi 4.4. fejezetben már bemutatott nyomófejekkel végeztem vályog talajon statikus jellegű tömörítési vizsgálatokat. A vizsgálatok első szakaszában kizárólag a függőleges irányú terhelő erők hatásainak analizisére került sor. A nyomófejeket úgy terveztem meg, hogy a talajjal érintkező felületük megfeleljen a korábban már vizsgált Taurus 320/80R48 WRC típusú abroncs lenyomati képének. Ezzel teremtettem meg az abroncs, a nyomófej és a számítógépes modell összehasonlíthatóságának feltételét.

A mérések végeztével először meghatároztam az adott körülmények között a terhelő erő talajbenyomódás karakterisztikáit, majd az eredmények ismeretében különböző paraméterekkel végeselemes modell kísérleteket végeztem.

4.4.1. A forgásszimmetrikus feladat bemutatása és értékelése

A körtárcsás forgásszimmetrikus modell geometriai értelemben a valóságos térbeli viszonyokat mindenfajta egyszerűsítés nélkül kezeli, azzal a nagy előnnyel, hogy a végeselemes hálót csak 2D-ben, egy tetszőleges meridiánmetszet mentén kell elkészíteni. Így viszonylag könnyen lehet nagysűrűségű elemhálóval dolgozni, amely relatíve rövid futásidővel biztosíthat nagy pontosságú eredményt.

A kontinuum-mechanikában, akkor szokás síkalakváltozásról beszélni, ha az egyik irányban végtelen hosszúnak tekinthető test a megfogások és a terhelések specialitásai következtében ezen irányra minden merőleges síkmetszetben azonos alakváltozást szenved. (ilyen lehet például egy szántóföld felszíni hosszú keréknyom, ha eltekintünk az abroncs futófelületi mintázat, avagy a bordák hatásaitól.)

A nyomófejről a talajra érkező erők eredője megegyezik az előírt tengely ill. abroncsterheléssel. A terhelés átszarmaztatását a nyomófejjel való érintkezés mentén kinematikai előírások biztosítják. Az algoritmus a számítási eljárás során –

természetesen kinematikai teherlépcsőnként – minden egyes pontban meghatározza a nyomást és a nyomáseloszlás integráljaként az adott benyomódáshoz szükséges erőt.

Az általam használt kétdimenziós véges elemes programrendszerben az alkalmazott elemek hat csomópontú kvadratikus izoparametrikus típusúak, integrálásuk hétpontos technikával történik.

A **35. ábrán** a körtárcsa (forgásszimmetrikus) nyomófejjel végzett feladat kiindulási (in situ) állapota látható. Az ábra a talaj felszínén lévő nyomófej és az ugyancsak körhenger talaj-tartomány egy tetszőleges meridiánmetszetét és annak végeselemes felosztását mutatja. A véges számú elemre felosztott talajhenger magassága 1 méter, míg sugara 0,68 méter, mely értékeket a nyíltszíni mérőrendszerben végzett vizsgálatok talajszelvényének megfelelően állítottam be. A szokásos r , ϕ , z koordináták helyett az y koordináta a forgástengelyt (függőleges irány), az x koordináta a sugárirányt (vízszintes irány), a z koordináta pedig a kerületi irányt jelöli.

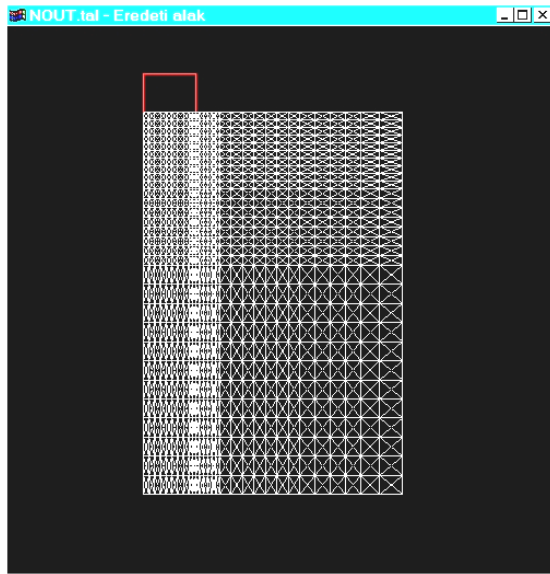
A 0,2113 m sugarú körtárcsa a benyomás elején az $y_0=1$ m-es szinten, azaz a talajfelszínen lép érintkezésbe a talajtartománnyal és innen számítva 50 egyenlő lépésben, tehát 2,0 mm-enként nyomjuk be 0,1 m mélységig a talajba. A geometriai végállapotot a **37. ábra** szemlélteti. A véges elemes felosztás összesen $30 \cdot 29 \cdot 4 = 3480$ elemet és 6578 csomópontot tartalmaz. Így a szabadságfokok száma $3 \cdot 6578 = 19734$ -re adódott.

A talajtartományra a peremfeltételek egyértelműek, a tengely és a hengeralkotó mentén (a talajszelvény jobb és bal szélén) a vízszintes, valamint az $y=0$ sugár mentén (a talajszelvény alsó határvonalán) a függőleges elmozdulás koordinátákat kellett zérusnak előírni.

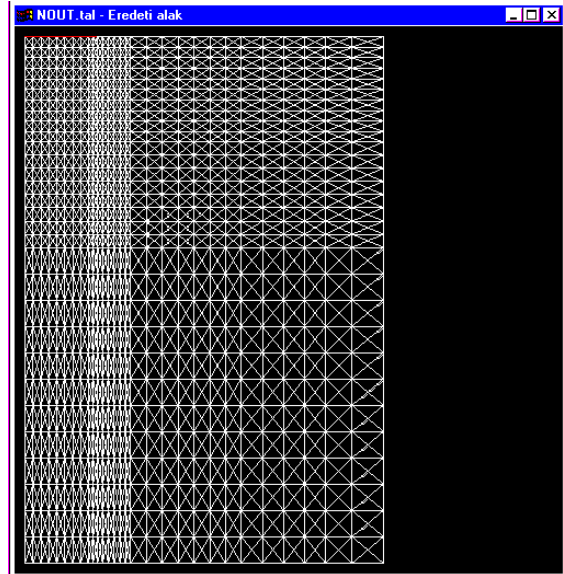
A Cambridge Cam Clay modellhez szükséges anyagjellemzőket HETTIARATCHI, (1995) vizsgálatai alapján a homokos vályogtalajra a következők szerint állítottam be:

$$\lambda=0.2, \quad \kappa=0.05, \quad \Gamma=2.85, \quad N=3.0, \quad M=1.2, \quad \nu=0.25.$$

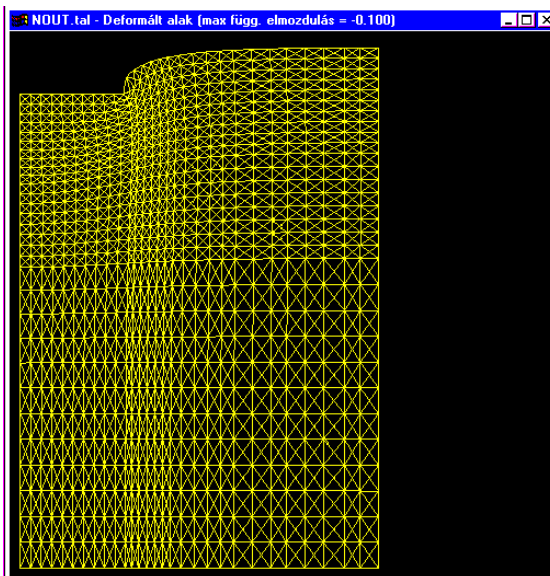
A kiindulási (kezdeti, insitu) feszültségi állapot meghatározásához lineáris eloszlás volt feltételezve a normálfeszültségek, az u hidrosztatikus nyomás és a p_c képlékeny határérték vonatkozásában a mélység mentén. A nyírófeszültségek kezdeti értéke nulla volt.



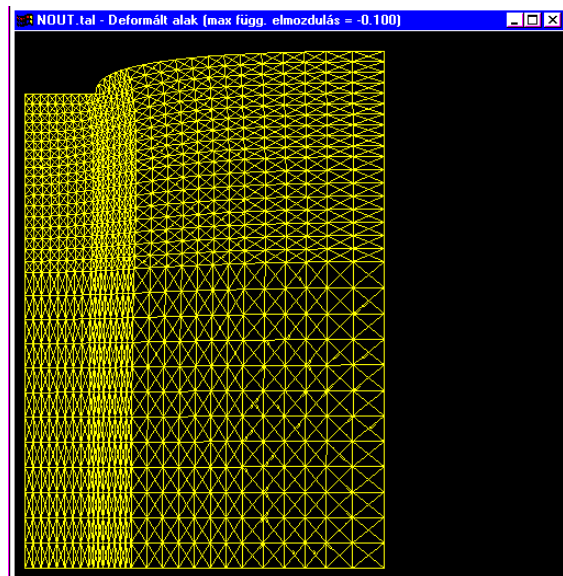
35. ábra
Végeselemes felosztás a körtárcsás nyomófejhez



36. ábra
Végeselemes felosztás a téglalap nyomófejhez



37. ábra
A talaj körhenger meridián metszet deformált alakja



38. ábra
A talaj síkalakváltozásos deformált alakja

4.4.2. A síkalakváltozási feladat bemutatása és értékelése

A **36. ábrán** a síkalakváltozások feladat kijelölése látható, analóg módon a forgásszimmetrikus feladatával. Ebben a nyomófejjel és a számítógépes programmal végzett modell kísérletben egy ugyanolyan 275,6 x 509 mm-es téglalap keresztmetszetű (mivel a radiál abroncsok profilnyomata leginkább ehhez hasonlít) hasáb talajba történő benyomását végeztem el. A nyomófej talajfelszínnel érintkező területe az előzőekben említett körtárcsáéval azonos, azaz 0,01403 m² volt.

A nyomófej hosszirányára merőlegesen síkalakváltozást feltételezve a talajszelvény felosztása és a deformált alak a **36. és a 38. ábrán** látható. A modell szimmetrikusságát kihasználva a most téglalap metszetű talajtartomány felszínén egy 275.6/2=137.8 mm-es szakaszon írtam elő a függőleges elmozdulásokat. A program által számított elmozdulás és feszültség koordináta adatok természetesen elfogadhatók, de a terhelő erő számításakor korrekciót alkalmaztam. Ennek oka, hogy a síkalakváltozási számítások eredetileg egy 1 m hosszú metszetre illetőleg nyomófejre vonatkoznak, így az erőintegrált egy 509/1000-es tényezővel valamint a szimmetrikusság miatt még kétszer szorozni kell. Mindez természetesen beépítésre került a program algoritmusába, így a szolgáltatott adatok korrektnek tekinthetők.

A kiindulási értékeket mindkét feladathoz az alábbi **15. táblázatban** foglaltam össze:

15. táblázat

A kezdeti (insitu) adatok a mintapéldákhoz kPa-ban

[m]	σ_x'	σ_y'	σ_z'	u	p _c
Felszínen: y=1	10	20	10	5	65
1m-es talajmélységben: y=0	15	30	15	15	80

A tehernövekményes iterációs eljárás természetesen minden terhelési szinten:

megadja a teljes talajhenger – meridiánmetszet mentén

- az elmozduláskoordinátákat,
- a feszültségi koordinátákat ,
- a hidrosztatikus nyomás eloszlást,

továbbá a Cam Clay jellemzőket, azaz

- a hatékony átlag normál feszültségeket,

- a deviátoros feszültséget,
- a p_c képlékeny határértéket.

A hézagtényező eloszlás kezdeti értékei döntően befolyásolják a modell eredmény listáját. Kezdeti értéknek a **39. ábrán** látható kezdeti felosztást választottam. A talajszelvényt ebben az esetben három részre osztottam. A hézagtényező kezdeti eloszlását az alábbi szerint jelöltem ki.

16. táblázat

A hézagtényező eloszlása a Kezdeti (insitu) állapotban

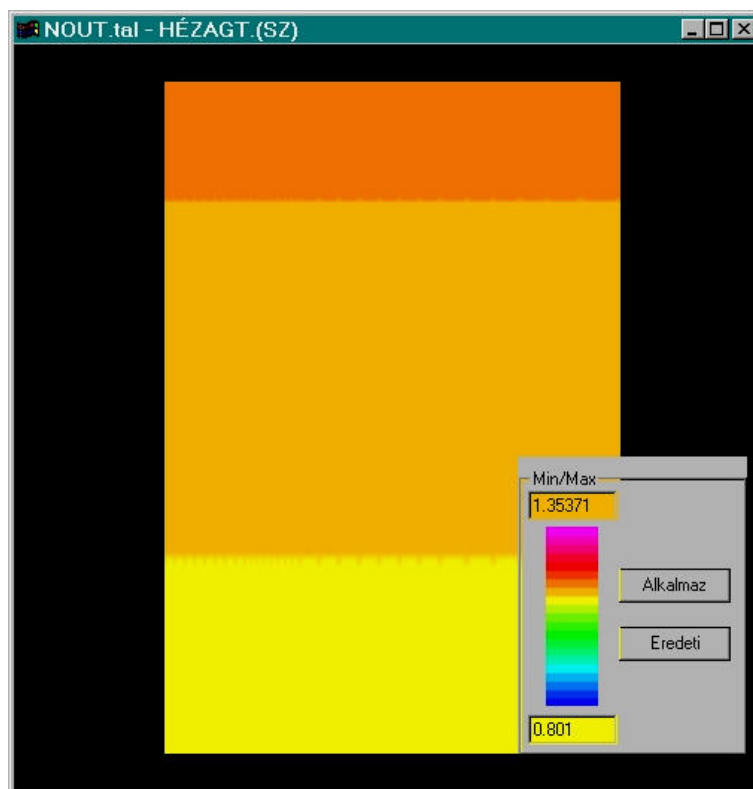
Talajmélység [m]	szilárd fázis aránya %	folyékony fázis aránya %	légnemű fázis aránya %
0 – 0,2	50	25	25
0,2 – 0,4	50	30	20
0,4 – 1,0	60	30	10

Minél nagyobb a hézagtényező értéke, annál nagyobb az adott helyen a szilárd alkotórészek aránya, azaz a tömődöttség. (Például szélsőséges esetben a tiszta fém hézagtényezője zérus, a levegőé pedig végtelen.)

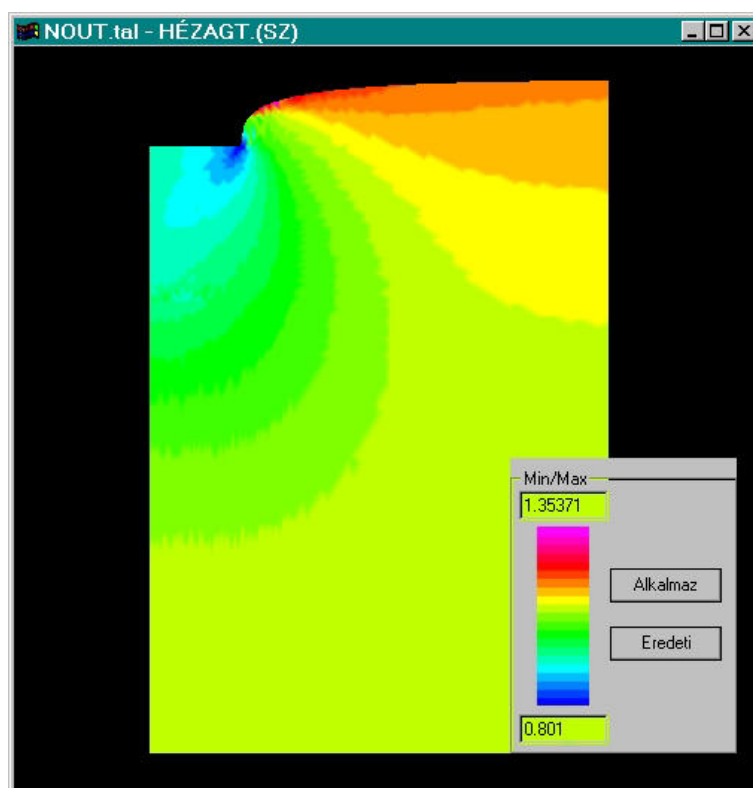
A deformáció végén a megváltozott hézagtényező eloszlását a talajban a **40. ábra** mutatja.

Az iterációs folyamat után egy külön program ún. posztprocesszor segítségével készítettem el a különböző színskálás ábrákat. Meg kell jegyezni, hogy a posztprocesszor program függvénycsoportonként keresi meg a maximális és a minimális függvényértékeket és ezekhez skálázva rajzol az adott függvénycsoporton belül.

Mivel a síkalakváltozási feladat eredményei nagyban hasonlítanak a forgásszimmetrikus feladatéra, ezért a posztprocesszorral készített diagramokból csak a körtárcsás nyomófejre jellemzőeket mutatom be, az értékelésnél azonban a két modell lényeges különbségeit számszerűen is ismertetni fogom.



39. ábra
A hézagtényező eloszlása insitu állapotban



40. ábra
A hézagtényező eloszlása a deformáció végén

4.4.3. Számítási eredmények és következtetések

A **41. ábra** a függőleges irányú σ_y feszültségkoordináta, a **42. ábra** pedig a meridián metszet menti τ_{xy} nyíró feszültség - koordináta eloszlásokat szemlélteti a körtárcsás modell vizsgálatakor.. Ebben az esetben is jól érzékelhető a perem menti szingularitás hatása. Ugyanakkor a forgástengely mentén sokkal kisebb a gradiens, és ennek köszönhetően a modellben ábrázolt viszonyok bizonyára jobban közelítik a valóságos abroncslenyomat okozta talajállapotbeli változásokat.

Mivel a talajtest modell mindenütt megtartja a folytonosságát, így az éles sarkok mentén szinguláris pontok jelentkeznek, amelyek jól megfigyelhetők a **40. és a 42. ábrákon** benyomódott nyomófej sarkainál.

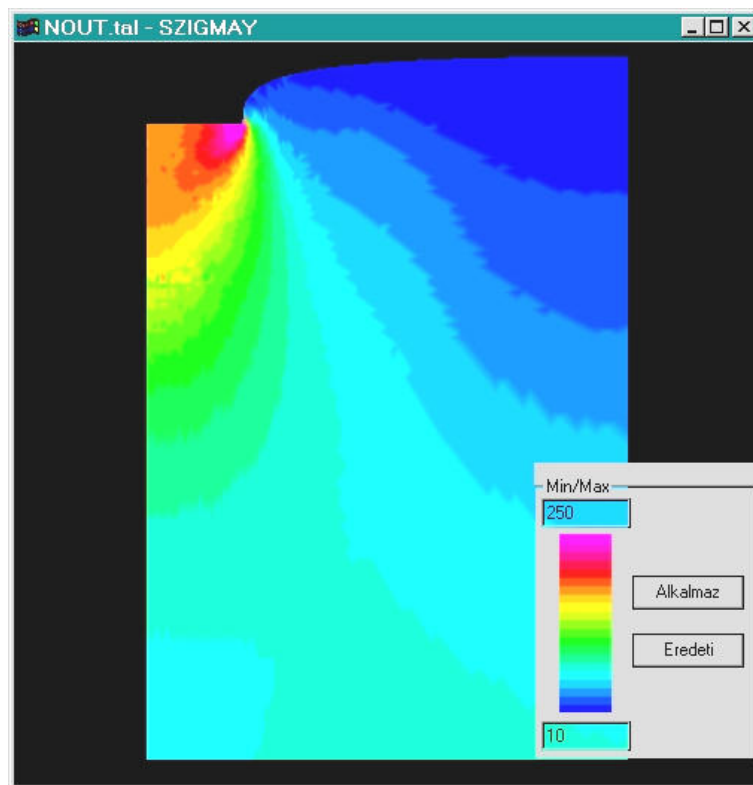
A terhelési folyamatra leginkább jellemző a **43. ábra**, mely a folyamat során, lépésenként a tárcsa alatt ébredő nyomás-eloszlás integrálásával kapott erők, azaz a terhelő erő változását és ennek következtében fellépő elmozdulást mutatja.

A süllyedési görbéből, megállapítható egyrészt, hogy az adott erőhöz mekkora besüllyedés tartozik, másrészt a modell ellentétes irányú alkalmazásából az is kiderül, hogy adott értékű besüllyedés biztosítása esetén maximum milyen terhelés alkalmazható.

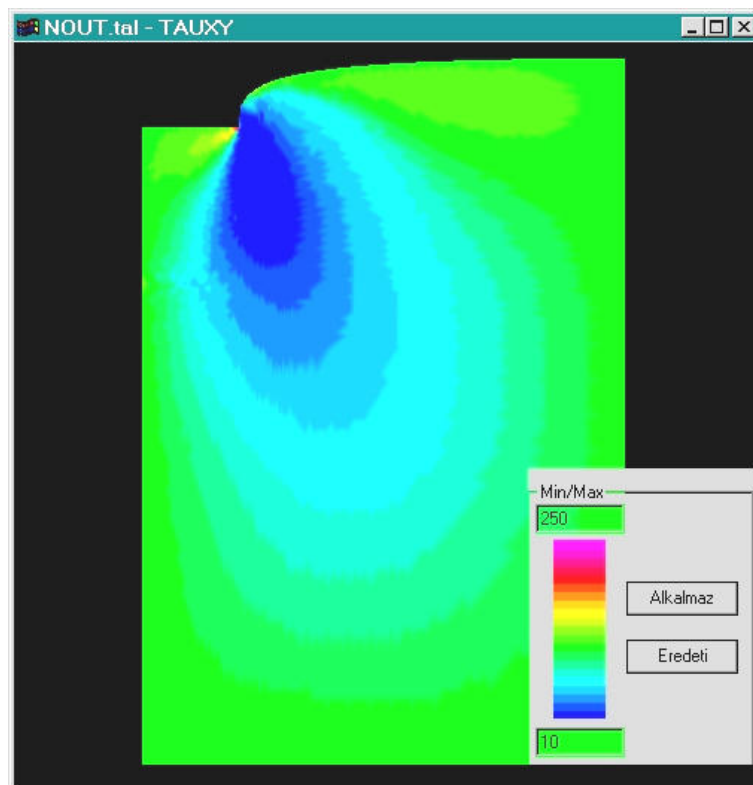
A vizsgált talajmetszetekre vonatkozó és már bemutatott **37 és 38. ábrák** jól szemléltetik, hogy a számítási eredmények pontosan visszaadták az előírt kinematikai peremfeltételeket. A tartományok $x=0.68$ m-nél történő kijelölése elegendően, nagynak bizonyult, hiszen a számítások is igazolták, hogy a nyomófej hatása ennél lényegesen rövidebb távolságon belül okozott csak észlelhető változást.

Látható, továbbá az is, hogy a nyomófej peremeinek környezetében az elemek nagyot deformálódnak, ami a későbbiekben esetleg még a jelenleginél is sűrűbb felosztást igényel.

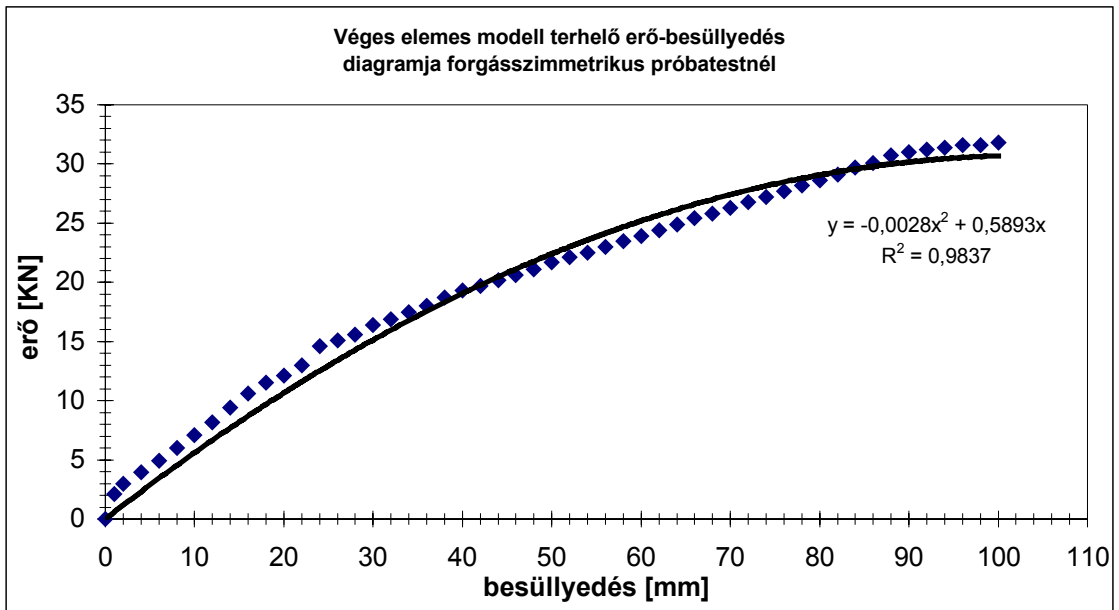
Az $y=1$ m tengelypont függőleges elmozdulása az eddigiek értelmében -0.1 m. A számítási folyamat lépésenkénti eredményeit tartalmazó output állományból kiderül, hogy például az eredetileg 16 cm mélyen lévő pont elmozdulása a körtárcsás nyomófej esetén -7.6 cm míg a téglatestnél $-7,3$ cm volt összhangban a jelentős mértékű tömörődéssel.



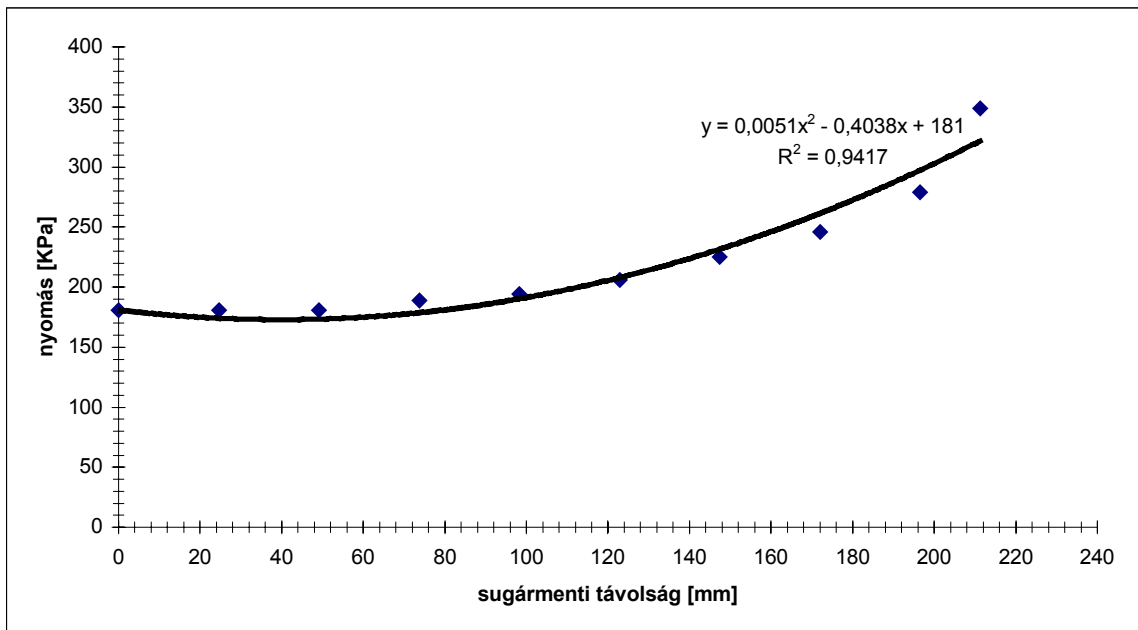
41. ábra
A függőleges σ_y feszültség eloszlása körtárcsás vizsgálatkor



42. ábra
A τ_{xy} nyíró feszültség eloszlása körtárcsás vizsgálatkor



43. ábra
VEM -programmal számított függőleges nyomóerő – besüllyedés görbe
körtárcsás nyomófejnél



44. ábra
VEM -programmal a körtárcsa sugara mentén számított
nyomás eloszlás és illesztett függvénye

A körtárcsa sugara menti függőleges irányú nyomáseloszlásokat a 10 cm-es benyomódáshoz a **44. ábra** szemlélteti. A számított érték a középponti 184 kPa-tól, a nyomófej széleihez haladva - több mint kétszeresére -, 378 kPa-ig nő. A téglatestnél ez az érték 181 kPa-tól 349 kPa-ig terjed. A nyomások integráljai a 10 cm-es benyomódáshoz tartozó erők. Ezek értékei:

$$F_{\text{körtárcsa}} = 38,0 \text{ kN}, \quad F_{\text{téglalap}} = 33,5 \text{ kN}.$$

Az eltérés a két nyomófej között a téglalapra vetítetten: $(38,0 - 33,5) / 33,5 = 13,4 \%$.

Az átlag nyomás

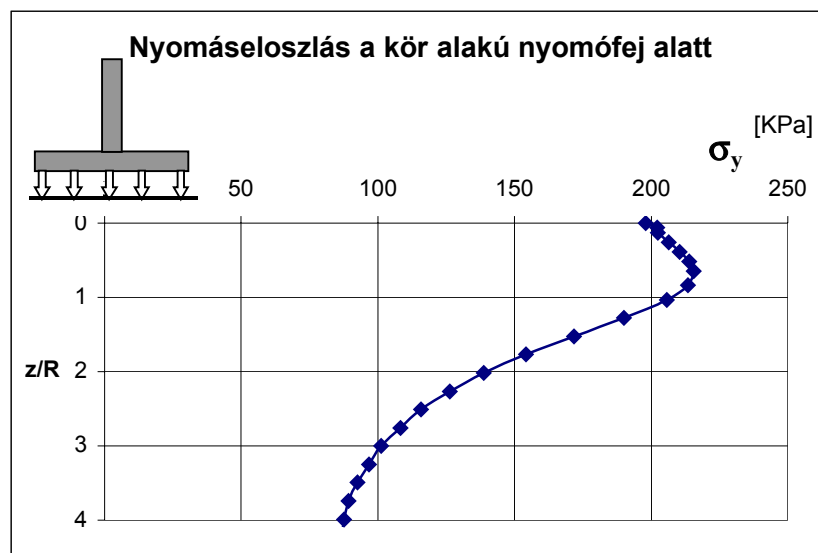
$$p_{\text{átlag körtárcsa}} = 38,0 / 0,1403 = 270,8 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{átlag téglalap}} = 33,5 / 0,1403 = 238,8 \text{ kPa}$$

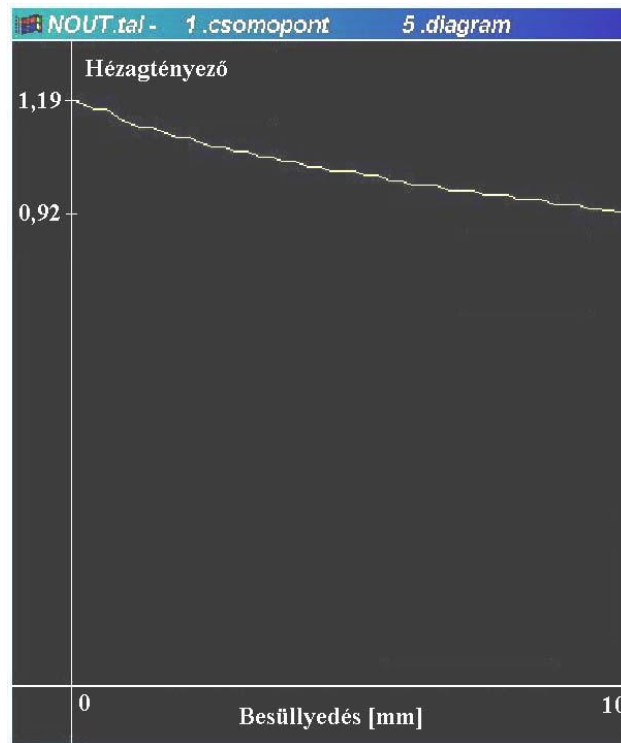
értékűnek adódott.

Ezen számítások tehát azt mutatják, hogy a körtárcsás nyomófej alkalmazásakor ugyanazon benyomódás eléréséhez kb. 13 %-al nagyobb erőre van szükség. Az eredmények értékelésekor azonban nem lehet elfelejtkezni arról, hogy a téglatestes számítás síkalakváltozás feltételezésével történt, ami a valóságos viszonyok egyfajta egyszerűsítését jelenti, amint arról korábban már volt szó.

A **45. ábra** a kör alakú nyomófej alatti nyomáseloszlást mutatja a relatív koordináta (z/R) függvényében. A modellel számolt értékek - hasonlóan a gyakorlati vizsgálati eredményekhez - egyrészt jól mutatják a maximális talajtömörödés mélységét $z/R=0,64-0,67$, másrészt a nyomófej tengelyében ébredő nyomás mélység szerinti eloszlását.



45. ábra
Nyomáseloszlás a kör alakú nyomófej alatt



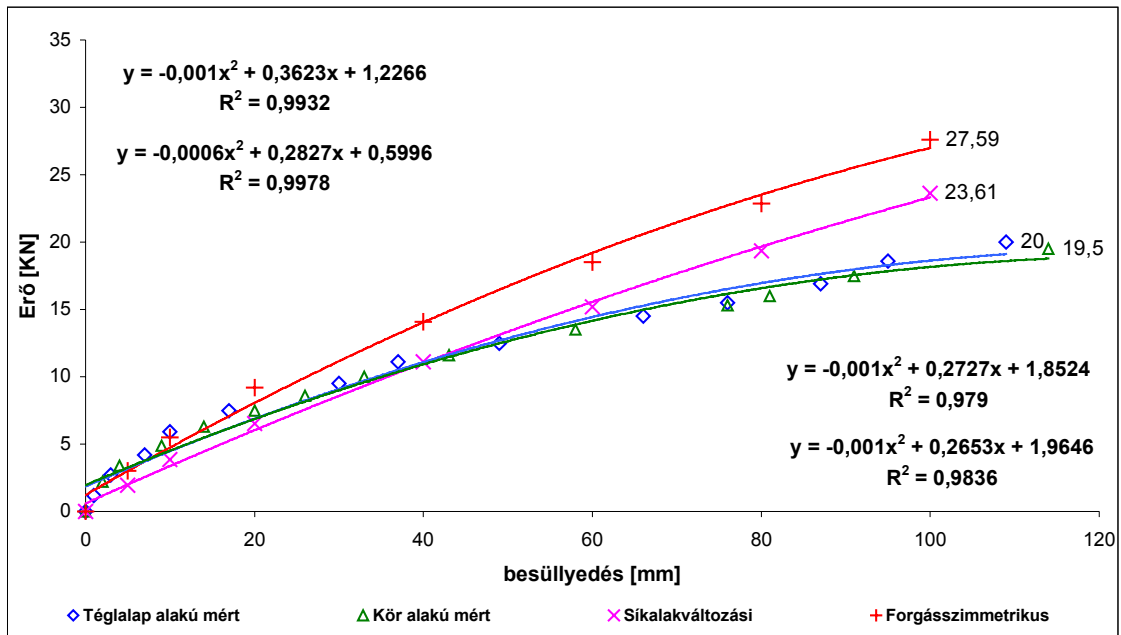
46. ábra

A hézagtényező változása az eredetileg 16 cm mélységben lévő pontban

Az egyik legfontosabb információ a **46. ábrán** látható hézagtényező változása, mely a kezdeti 1,19-ről 0,92-re csökkent, azaz a tömörödés mértéke $(1,19 - 0,92) / 1,19 = 22,7$ %, ami jelentős mértékűnek tűnik.

Áttekintve a görbéket az tapasztalható hogy a 10 cm-es benyomódáshoz szükséges 2 mm-renkénti 50 lépésből körülbelül az első tíz, tehát a mintegy 2.0 cm-es benyomódásig tart a talaj rugalmas állapotváltozása, majd megindul egy képlékeny állapotváltozási folyamat. Ez a szinguláris pontok környezetétől eltekintve általában felkeményedéssel, azaz a talaj tömörödésével jár együtt.

Az eddigi számítások tehát mindenképpen bizonyítják a kifejlesztett 2D-s Cambridge Cam Clay véges elemes rendszerek hatékony alkalmazhatóságát, de egyúttal megkövetelik a valóságos mérési eredmények alapján történő validálás szükségességét is.



47. ábra
A nyomófejek mért és a VEM programmal számított erő-elmozdulás diagramjai homokos-vályog talajon

Az VEM program vizsgálati eredményeiből egyértelműen megállapítható, hogy az anyagmodell adekvátan tükrözi a talajok tiszta nyírási alakváltozás következtében bekövetkező jelentős térfogatváltozását. Ezen térfogatváltozás a modell alkalmazása során lehet akár tömörödés, akár tágulás. A vizsgálatok során az is kiderült, hogy a Cambridge Cam Clay modell alkalmas a vizsgált korábbi feszültségállapot történetétől függő térfogatváltozás leírására is. A modell jól közelíti a talajban lejátszódó folyamatokat.

A mérések és számítások egyaránt igazolták (47. ábra), hogy az erő-besüllyedés görbe a szerkezetes mezőgazdasági talaj (homokos vályog) esetén jó közelítéssel írja le a nyomófejek terhelőerő hatására létrejövő mozgását a talajban. Az ábra jó közelítéssel egy rugalmas, majd képlékenyen felkeményedő tendenciát mutat. Mint látható a görbék lefutásának jellege hasonló, a mennyiségi eltérések a kezdeti paraméterek beállításaitól függenek.

Tapasztalatom szerint a modell számított értékeit döntően meghatározza a talaj kiindulási (insitu) feszültség állapota és a mechanikai paraméterek értékei. Ez utóbbi pontosabb és részletesebb meghatározása céljából célszerűnek látszik további nyíródobozos és triaxiális laboratóriumi vizsgálatot elvégezni.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, JAVASLATOK

5.1. Következtetések

A különböző típusú sorközművelő gumiabroncsok talajra gyakorolt hatásainak vizsgálata eredményeként az alábbi következtetések fogalmazhatók meg:

1. Az azonos profilú (270/95-ös), de különböző borda kialakítású abroncsok (pl. Taurus, Kleber) között a növénytermesztés szempontjából legfontosabb 12-35 cm-es talajrétegben szignifikáns különbségek adódtak. A bordák száma ill. formai kialakítása tehát nemcsak az egyenes futást ill. a kapaszkodó képességet határozza meg, hanem döntően befolyásolja a gumiabroncs talajtömörítő hatását is. Pl. homok talajon a talajkímélés szempontjából az alacsonyabb bordamagasság a kedvezőbb, amit a 11. sz. mellékletben a Kleber és a Taurus abroncs nyomáeloszlása közötti különbség is alátámaszt. A Taurus abroncs 6 cm-rel magasabb bordái ugyanis lényegesen mélyebbre közvetítik a terhelést a talajban mint az alacsonyabb borda profilú Kleber abroncs.
2. Az abroncsterhelés a talaj tömörítő hatása mellett a talaj nedvességeloszlását is módosítja. A terhelés hatására bekövetkező talajnedvesség változása és a talajellenállás változása között szoros összefüggést találtam. A talaj nedvességtartalma ugyan nem változik meg a tömörítés során, de mindenképpen átrendeződik. A talajnedvesség növekedése talajellenállás csökkenést okoz. A terhelés hatására azonban a talajszelvényből kiszorított nedvesség tovább fokozza a gumiabroncs talajtömörítő hatását. A terhelés során a talajszelvény egyes pontjain csökken a nedvesség, míg más helyeken lokálisan telítődhet a talaj. Ennek bizonyítása azonban további vizsgálatokat és számításokat igényel. A talajnedvesség vonatkozásában az az abroncsprofil tekinthető a kedvezőbbnek, amely kisebb változást okoz a talaj vízháztartásában és a nedvesség eloszlásában.
3. Az abroncs profil lenyomatának meghatározására használt újszerű módszer sokkal teljesebb képet ad az abroncs kontakt felületét és a gördülési lenyomatát illetően mint a statikus lenyomat. A sorközművelő abroncsok profillenymatainak összehasonlításában arra az eredményre jutottam, hogy az abroncsok profiljára két típusba sorolható. Az első típusba tartozik a Kleber és a Michelin típus, amely

abroncsoknál a teljes területhez képest kicsi a bordák felülete. A másik típusba tartozik a Taurus és a Alliance, ahol a bordák jelentős felületet képviselnek a lenyomatból. Megállapítottam, hogy a tömörítő hatást illetően a gumiabroncsok lenyomatának szélessége inkább meghatározó, mint a lenyomat hossza. A szélesebb lenyomatú abroncsok talajtömörítése a felsőbb talajrétegekben (0-30cm-ig) szignifikánsan kisebb volt, mint a keskenyebb lenyomatú abroncsoké, a terhelés azonban ebben az esetben mélyebbre hatolt a talajban. Megállapítottam, hogy 0,5 bar belső nyomás csökkentés már szignifikánsan csökkenti a talaj tömörödését. Ez a kedvező hatás a növénytermesztés szempontjából legfontosabb felső 20 cm-es talajrétegben érvényesül a leginkább.

4. Megállapítottam, hogy már egyetlen statikus gumiabroncs terhelés után is jelentős változás jön létre a talaj felszíni rétegeinek tömörödöttségében, amely károsan befolyásolhatja a növény gyökérzetének fejlődését. Vizsgálataim igazolták, hogy a nyomás eloszlási görbék talajtípusonként különbözőek. Azonos kerékterhelés esetén a száraz, tömör talajon a nyomáseloszlási görbe (nyomáshagyma) közel kör alakú. Nedves és könnyű talajokon a nyomáseloszlási görbék nyújtottak, ezért a talajnyomás mélyebben fejti ki tömörítő hatását. A szerkezet nélküli talajok esetében (pl. homok, agyag) megnő a terhelt talajszelvény szélessége. A nyomáscsúcsok általában a gumiabroncs koronavonalában helyezkednek el. A gumiabroncs a talajréteg felső 12-20 cm-es rétegére fejti ki legkedvezőtlenebb hatását, ezért a felszín közeli tömörödött réteg kialakulásáért leginkább a gumiabroncsok terhelő hatása a felelős. A felszín tömörödöttsége meghatározza a talaj tömörítő erővel szembeni érzékenységét, ezért a felszín közeli tömörödött réteg bizonyos mértékig gátat szab a tömörítő erők mélységbeli terjedésének.

A nyomófejekkel végzett vizsgálatok következtetései:

1. A nyomófejes vizsgálatokból meghatároztam adott statikus terhelés mellett a nyomófejek talajba süllyedésének jelleggörbéjét. A nyomófejek besüllyedése egy bi-lineáris görbével jellemezhető a legpontosabban. A kezdeti gyors besüllyedés után, a további besüllyedés az idő enyhe meredekségű lineáris függvényeként értelmezhető. Az egyenesek meredeksége a statikus terhelő erőtől függ. A besüllyedés mértékét leginkább meghatározó tulajdonság a nyomófejek talajjal érintkező felülete volt.

-
2. A nagyméretű nyomófejekkel a talaj teherbírására vonatkozóan megbízható adatok nyerhetők. A vizsgálatokból kiderült, hogy célszerű különböző (átmérőjű) nyomófejekkel mérni és az eredményeket a p-z/d koordináta rendszerben ellenőrizni.

A végeselemes számítógépes modell alkalmazása során szerzett tapasztalatok alapján a következő megállapítások tehetők:

1. Az VEM program vizsgálati eredményeiből egyértelműen megállapítható, hogy az anyagmodell adekvátan tükrözi a talajok terhelése nyomán bekövetkező jelentős térfogatváltozását. Ezen térfogatváltozás a modell alkalmazása során lehet akár tömörödés, akár tágulás. A vizsgálatok során megállapítottam, hogy az általunk használt Cambridge Cam Clay modell alkalmas a vizsgált talaj korábbi feszültségállapot-történetől függő térfogatváltozásának leírására is. A modell jól közelíti a talajban lejátszódó folyamatokat.
2. Megállapítottam, hogy a modell számítási eredményeit döntően meghatározza a talaj kiindulási (insitu) feszültségi állapota és a kezdeti mechanikai paraméterek értékei.
3. Az elvégzett számítások igazolták, hogy a modell jó közelítéssel írja le a szerkezetes mezőgazdasági talajban a nyomófejek terhelőerő hatására létrejövő mozgását. A függvény egy rugalmas, majd képlékenyen felkeményedő tendenciát mutat.

5.2. Új és újszerű tudományos eredmények

1. A különböző gumiabroncsok értékelésére és talajfizikai hatásainak vizsgálatára új módszert és eszközrendszert dolgoztam ki.

- a.) Az egy bordaszélességgel körbeforgatott profil a gumiabroncs merev felületen való gördülési lenyomatának eddig nem ismert meghatározását teszi lehetővé.
- b.) A gumiabroncsok talajra gyakorolt hatásainak vizsgálatára kidolgozott mérés metodikai és számítógépes értékelő program segítségével minősíthetők az abroncsok talajtömörítő tulajdonságai. Meghatároztam a gumiabroncsok nyomáseloszlási térképét, és az így szerzett ismeretek birtokában ellenőrizhetővé válnak a kerék alatti nyomáseloszlásra vonatkozó elméleti összefüggések és eredmények.

2. A gumiabroncsok talajra gyakorolt hatásának vizsgálata során:

- a.) Kimutattam, hogy a gumiabroncs belső légnyomásának döntő szerepe van a talaj állapot változására. Megállapítottam, hogy 0,5 bar belső nyomás csökkentés már szignifikánsan csökkenti a talaj tömörödését.
- b.) Megállapítottam, hogy már egyetlen statikus abroncsterhelés is jelentős talajtömörödést okoz.
- c.) A sorközművelő abroncsok a talaj felső 20-cm-es rétegét tömörítik a leginkább.
- d.) Szoros összefüggés van a terhelés hatására bekövetkező talajnedvesség és a talajellenállás változása között. A talaj nedvességtartalma ugyan nem változik meg a tömörítés során, de mindenképpen átrendeződik. A terhelés hatására a talajszelvényből kiszorított nedvesség tovább fokozza a gumiabroncs talajtömörítő hatását. A terhelés nyomán a talajszelvény egyes pontjain csökken a nedvesség, míg más helyeken lokálisan telítődhet a talaj.
- e.) Megállapítottam, hogy a legnagyobb nyomásértékek nem, közvetlenül az abroncs alatt, hanem attól 8-10 cm-rel mélyebben találhatók.
- f.) A kúposindex változás alapján megerősítettem, hogy valamennyi talajtípus esetén a szélesebb futófelületű és alacsonyabb profilú abroncs terheli kevésbé a talajt.

g.) A talajtömörítést a gumiabroncsok lenyomatának szélessége jobban befolyásolja, mint a nyomat hossza.

3. Nyomófejekkel végzett vizsgálatok alapján:

- a.) Megállapítottam, hogy az általam használt nyomófej alakja nem befolyásolja szignifikánsan a mérés eredményét. A besüllyedés mértékét elsősorban a nyomófejek talajjal érintkező felülete határozta meg.
- b.) A nyomófejjel végzett kísérletek és a meghatározott függvény jól írja le a gumiabroncs talajba süllyedésének folyamatát. A függvény egy rugalmas, majd képlékenyen felkeményedő tendenciát mutat.
- c.) Megállapítottam, hogy a besüllyedés jelentős része terhelési időintervallum első részében létrejön, majd ezt követően a besüllyedés lelassul. A kezdeti gyors besüllyedés után, a további besüllyedés az idő enyhe meredekségű lineáris függvényeként értelmezhető. A nyomófejek besüllyedése ezért egy bi-lineáris görbével jellemezhető a legjobban. Az egyenesek meredeksége adott nyomófejnél a statikus terhelő erőtől függ.

4. A végeselemes modell kísérletek eredményei nyomán:

- a.) Egyértelműen megállapítható, hogy az általam vizsgált Cambridge Cam Clay anyagmodell adekvátan tükrözi a talajok tiszta nyírási alakváltozása következtében előálló jelentős térfogatváltozását. A vizsgálatok igazolták, hogy a modell alkalmas a vizsgált talajszelvény korábbi feszültségállapot történetétől függő térfogatváltozásának leírására is. Úgy tapasztaltam, hogy a modell bizonyos határokon belül jól közelíti a talajban lejátszódó folyamatokat.
- b.) Megerősítettem, hogy modellel végzett számítások eredményeit alapvetően meghatározza a talaj kiindulási (in situ) feszültségi állapota és a mechanikai paraméterek értékei.

5.3. Javaslatok

1. Az abroncs profil lenyomatának újszerű meghatározásával az abroncs kontakt felületét és a gördülési lenyomatát illetően sokkal teljesebb képet kapunk, mint a hagyományos módszerrel. Az elkészült ábrából pontosan meghatározható az abroncs lenyomat teljes kontúrja, valamint látható az intenzív nyomásnak (kopásnak) felületek elhelyezkedése és aránya, amely információk a konstruktőrök számára nélkülözhetetlen. A módszerrel vizsgálható és meghatározható az abroncs lenyomatának változása a belső nyomás és terhelés függvényében.
2. A különböző gumiabroncs típusok talajfizikai hatásainak vizsgálatára és összehasonlítására kidolgozott új módszer és értékelő program alapján egyrészt objektív módon rangsorolhatók és minősíthetők a különböző abroncsok talajfizikai tulajdonságai, másrészt pontosabban kijelölhetők az adott típusú gumiabroncsok kedvező és kedvezőtlen alkalmazási területei. Ellenőrizhetővé válnak a kerék alatti nyomáeloszlásra vonatkozó elméleti összefüggések és eredmények (pl. a nyomáshagymák alakja és kiterjedése).
3. A talaj és a gumiabroncs kölcsönhatásával kapcsolatban megállapított kutatási eredményeimet mind a szaktanácsadás, mind pedig talaj- és környezetvédelem tekintetében javasolom figyelembe venni.
4. A kutatási eredmények gyakorlati hasznosíthatóságának egyik fontos mozzanata, hogy a Nyíregyházi Taurus Abroncs Kft. bevezette a gyártmány ellenőrzési folyamatába a talajfizikai hatások vizsgálatára kidolgozott módszert. Továbbá eredményesen alkalmazzák az abroncsok konstrukciójának tervezési folyamatában és az optimális üzemeltetési paraméterek megállapításánál a profil lenyomatok meghatározásának új technikáját.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Nyíregyházi Főiskolán a TAURUS AGROTYRE Vállalattal és a Miskolci Egyetem Mechanikai Kutatócsoportjával közösen több éves kutatás folyik a gumiabroncs-talaj kapcsolatának vizsgálatára. Ezen kutatási projekt célja a mezőgazdasági gumiabroncsok okozta talajfizikai változások komplex összefüggéseinek megismerése és feltárása, többek között pl. annak megállapítása, hogy az abroncs kialakítási jellemzői milyen hatással vannak az érintkező abroncsfelületek és a talajrétegek igénybevételére.

E cél megvalósítása érdekében dolgoztam ki a mezőgazdasági abroncsok vizsgálatára egy olyan laboratóriumi és termőhelyi vizsgálati módszert, amely sajátos módszer és tematika, valamint mérőeszköz együttes működtetését feltételezi.

Jelen dolgozatban két vizsgálat sorozat eredményeit ismertettem. Az első vizsgálat sorozatban különböző sorközművelő abroncsok összehasonlító értékelését végeztem el. A vizsgálat elsődleges célja annak megállapítása, hogy állandó statikus terhelés mellett milyen jellegű és nagyságú talajterhelés jelentkezik. A kísérleteket a nyíltszíni mérőrendszer három különböző fizikai féleségű (homok, vályog, agyag) talaján végeztem.

Első lépésként meghatároztam az abroncs profilok különböző lenyomatait. Az abroncs profil lenyomatának meghatározására általam kidolgozott újszerű módszer sokkal teljesebb képet ad az abroncs kontakt felületét és a gördülési lenyomatát illetően mint a statikus lenyomat. Ezek alapján a sorközművelő abroncsokat profillenyomataik szerint két típusba soroltam.

A különböző gumiabroncsok talajfizikai hatásainak vizsgálatára a „Nyíltszíni mérőrendszerben” statikus kerék terheléseket végeztem. Ezt követően penetrálással meghatároztam az abroncsok által a talajszelvény tömődöttségében és vízkapacitásában bekövetkezett változásokat, amelyek kiértékelésére saját számítógépes programot készítettem. A program segítségével meghatároztam az abroncsok talajtömörítési térképét.

A kísérletsorozat folytatásaként a talaj teherbíró képességének és mechanikai alapparamétereinek meghatározására nyomófejekkel végeztem vizsgálatokat.

A nyomófejjel végzett kísérletek és a meghatározott függvény jól írja le a gumiabroncs talajba süllyedésének folyamatát. A függvény egy rugalmas, majd képlékenyen felkeményedő tendenciát mutat.

Megállapítottam, hogy a besüllyedés jelentős része terhelési időintervallum első részében létrejön, majd ezt követően a besüllyedés lelassul. A kezdeti gyors besüllyedés után, a további besüllyedés az idő enyhe meredekségű lineáris függvényeként értelmezhető. A nyomófejek besüllyedése ezért egy bi-lineáris görbével jellemezhető a legjobban.

A nyomófejjel meghatározott alapparamétereket egy végeselemes talajmodell program input adataiként használtam fel. Megállapítottam, hogy az általam vizsgált Cambridge Cam Clay anyagmodell adekvátan tükrözi a talajok alakváltozása következtében előálló jelentős térfogatváltozását.

A vizsgálatok igazolták a Cambridge Cam Clay véges elemes modell alkalmazhatóságát a vizsgált talajszelvény korábbi feszültségállapot történetétől függő térfogatváltozásának leírására is.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági valamint a Gazdasági és Társadalomtudományi Főiskolai Karának, a TAURUS AGROTYRE Mezőgazdasági Gumiabroncs KFT.-nek, és a Miskolci Egyetem Mechanikai Kutatócsoportjának a kísérletek elvégzéséhez és a dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítségét.

7. HIVATKOZOTT IRODALMAK JEGYZÉKE

- [1] ABEELS, P. F. J.: (1989). Tyre testing: Automatic recording of the tyre deformability. ASAE Paper No: 89-1051, Am. Soc. Agric. Engrs, St Joseph. MI 49085
- [2] ANTOS, G.: (1994) Mezőgazdasági gumiabroncsok I. II. III. Mezőgazdasági Technika
- [3] ARANY S.: (1943) Vezérfonal a Mezőgazdasági Főiskolák hallgatóinak laboratóriumi gyakorlatokhoz. III. rész. Talajtani vizsgálatok. Érmihályfalva.
- [4] ARVIDSSON, J. - RISTIC, S.: (1997). Soil stress and compaction effects for four tractor tyres. J. Terramechanics. 33/5. 223-232.
- [5] ASHMORE, C.: (1985). Predicting tractive performance of log-skidder tires. ASAE Paper No. 85-1597, St Joseph.
- [6] ATTERBERG A.: (1912) Die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde. 2. Berlin. 149. 312-316.
- [7] BAILEY, A.C. - VANDENBERG, G.E.: (1968). Yielding by compaction and shear in unsaturated soils. Trans. ASAE 11(3), 307-311, 317
- [8] BALADI, G. Y. - ROHANI, B.: (1984). Development of a soil-wheel interaction model Proc. 8th Int. Conf. ISTVS. Cambridge. U.K. Vol. 1. Pp 33-60.
- [9] BASHFORD J.M.: (1988) Comparison of bulk density beneath a belt track and tire. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 4. No 2.
- [10] BEKKER, M. G.: (1956). Theory of land locomotion. The mechanics of vehicle mobility. Ann Arbor, The University of Michigan Press
- [11] BEKKER, M. G.: (1976). Introductory remarks to Vol. I. of J. Y. Wong and M. G. Bekker Terrain-vehicle System Lecture Notes. Carleton University
- [12] BERNSTEIN, R.: (1913). Probleme zur experimentiellen Motorpflugmechanik. Der Motorwagen 1913. 16. sz.
- [13] BIRKÁS, M.: (1995). Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés. GATE K.T.I. Egyetemi jegyzet, Gödöllő, (155 p).
- [14] BIRKÁS, M. - KRISZTIÁN, J. - NAGY, J.: (1999). Talajhasználat és talajvédelem. (szerk.: Ruzsányi L., Pepó P.) Növénytermesztés és Környezetvédelem, Budapest, 19-29.
- [15] BIRKÁS, M. - SZALAI, T. - GYURICZA, CS. - JOLÁNKAI, M. - GECSE, M.: (2000). Subsoil compaction problems in Hungary. In: Subsoil compaction. Distribution, processes, and consequences (Ed. Horn R., van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J.) Advances in GeoEcology, 32. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 354-362.
- [16] BIRKÁS, M.: (2000) A talajtömörödés kialakulása Magyarországon; következményei, megelőzésének és enyhítésének lehetőségei. MTA Doktori értekezés, SZIE Gödöllő.
- [17] BOUSSINESQ, J.: (1883). Application des potentials a l'etude de l'equilibre et due mouvement des solides elastiques. Gauthier-Villars, Paris
- [18] BULLA, M. – LÁNG, I.: (1994). Magyarország környezeti jövőképe. Budapest.

-
- [19] BURT, E.C.: (1987). Effect of soil and operational parameters on soil-tyre interface stress vectors. *J. Terramechanics* 24. Pp 235-246.
- [20] BURT, E.C. - WOOD, R.K. - BAILEY, A.C.: (1987). A three-dimensional system for measuring tyre deformation and contact stresses. *Trans. ASAE* 30(2), 324-327
- [21] BURT, E.C. - WOOD, R.K. - BAILEY, A.C.: (1989). Effects of dynamic load on normal soil-tyre interface stresses. *Trans. ASAE* 32(6), 1843-1846
- [22] BURT, E.C. - WOOD, R.K. - BAILEY, A.C.: (1990). Some comparisons of average to peak soil-tyre contact pressures. ASAE Paper No. 90-1094, ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659
- [23] CEGNAR, A. - FAUSTI, F.: (1960). Movements under the contact area in radial and conventional tyres. ASAE Paper No. 60-104. Am. Soc. Agric. Engrs. St Joseph. MI49085
- [24] CHANCELLOR, W. J. - SCHMIDT, R. H.: (1962). Soil deformation beneath surface loads. *Trans. ASAE* 5/2. pp. 240-246.
- [25] CHANCELLOR, W.J. - KORAYEM, A.Y.: (1965). Mechanical energy balance for a volume element of soil during starin. *Trans. ASAE* 8(3), 426-430, 436
- [26] CHANCELLOR, W.J.: (1966). Combined hypotheses for anticipating soil strains beneath surface impressions. *Trans. ASAE* 9(6), 887-892
- [27] CHANCELLOR, W.J.: (1977). Compaction of Soil by Agricultural Equipment. Bulletin 1881, Division of Agricultural Sciences, University of California
- [28] CHUNG, T.J. - LEE, J.K.: (1975). Dynamics of viscoelastoplastic soil under a moving wheel. *J. Terramechanics* 12(1), 15-31
- [29] CREWNCHAW, B. M.: (1972). Soil-wheel interaction at high speed. *J. Terramechanics* 8/3. pp. 71-88.
- [30] CULSHAW, D.: (1988) Rubber tracks for traction. *Journal of Terramechanics*, Vol. 20. No 1. pp. 61-67. 1983.
- [31] DANFORS, B.: (1974). Packning i alven. (Compaction in the subsoil) Swedish Inst. Agric. Engng. Uppsala, Specialmeddelande S24
- [32] DWYER, M. J.: (1977). Comparison of the tractive performance of a tractor driving wheel during its first and second passes in the same track. *J. Terramechanics*. 14/1 pp: 1-10. 1977.
- [33] EL-GAWWAD, K. A.: (1999). Off-road tyre modelling I. The multi-spoke tyre model modified to include the effect of straight lugs. *J. Terramechanics*. 36/1 pp: 3-24.
- [34] EL-GAWWAD, K. A.: (1999). Off-road tyre modelling II. Effect of chamber on tyre performance. *J. Terramechanics*. 36/1 pp: 25-38.
- [35] EL-GAWWAD, K. A.: (1999). Off road tyre modelling III. Effect of angled lugs on tyre performance. *J. Terramechanics*, 36/2 pp: 63-75.
- [36] EL-GAWWAD, K. A.: (1999). Off road tyre modelling IV. Extended treatment of tyre terrain interaction for the multi-spoke model. *J. Terramechanics*, 36/2 pp: 77-90.
- [37] FEKETE, A.: (1973). Kerekes traktorok gumiabroncsainak talajtömörítő hatása. Kandidátusi disszertáció, Gödöllő. 162 p. 1973.
-

-
- [38] FEKETE, A. - BAGANZ, K. - HELBI, W.: (1975). Some observation on soil compaction under a tire.1. Terramechanics 12. pp: 217-223.
- [39] FEKETE, A.: (1978). Some effects of vehicle speed on soil compactions. Proc. 6th Int. Conf. ISTVS. Vienna Austria Vol. III. pp. 1021-1033.
- [40] FEKETE, A.: (1990) Traktoros gépcsoport terhelésszabályozása. Akadémiai Kiadó. Budapest
- [41] FEKETE, A.: (1992). Traktoros gépcsoport maximális hatásfoka. Járművek, Mezőgazdasági Gépek 39./1
- [42] FODOR,E. - KRISTON,S. - NÁNDORI,F. - SÁRKÖZI,L. - SZABÓ,T.: (1998). A Combined Two and Three Dimensional FE System for Support of Hierarchical Design of Agricultural Tires. Tire Science and Technology. Vol.26. No.6. pp.222-240.
- [43] FREITAG, D. R.: (1965). A dimensional analysis of the performance of pneumatic tyres on sort soils. Technical Report No. 3-688. Us-Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg. Ms. USA
- [44] FREITAG, D.R. - GREEN, A.J. - MURPHY, N.R.: (1965). Normal stresses at the tyre-soil interface in yielding soils. Highway Research Record, No. 74.
- [45] FREITAG, D. R. - SMITH, M. E.: (1966). Center-line deflection of pneumatic tyres moving in dry sarad. J. Terramechanics 3/1/ pp 31-46.
- [46] FREITAG, D.R.: (1971). Methods of measuring soil compaction. Compaction of Agricultural soils, Chapter III. ASAE, St. Joseph, Michigan
- [47] FUJII, H. - SHIMADA, K. - NISHIMURA, S. - TAJIRI, N.: (1990). Several considerations about the mechanism of field compaction. Proc. 10th Int. Conf. ISTVS, Kobe, Japan 2, 393-404
- [48] FUJIMOTO, Y.: (1977). Performance of elastic wheels on yielding cohesive soils. J. Terramechanics 14/41 pp 191-210.
- [49] GILL, W. R.: (1968). Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance. Trans. ASAE 11/G/pp741-745.
- [50] GLIEMEROTH, G.: (1953). Untersuchungen über Verfestigungs- und Verlagerungsvorgänge in Ackerboden unter Rad- und Raupen-fahneugen. Zeitung Acker- und Pfanrenbau 96. pp 219-234.
- [51] GORJACKIN: (1936). Teorija i proizvodstvo szelskohozjajszvenüh mashin. Moskva.
- [52] GRAHN, M.: (1991). Prediction of sinkage and rolling resistance for off-the-road vehicles considering penetration velocity. J. Terramechanics, 28/4. pp. 339-347.
- [53] GUPTA, S.C. - LARSON, W.E.: (1982). Modelling soil mechanical behavior during tillage. In: Predicting Tillage Effects On Soil Physical Properties and Processes Am. Soc. Agron., Madison
- [54] HARRIS, W.L. - BUCHELE, W.F - MALVERN, L.E.: (1964). Relationship of mean stress, volumetric strain, and dynamic loads on soil. Trans. ASAE 7(4), 362-364
- [55] HASHIGUCHI, K.: (1994). Travelling performance of a wheel on a finite thickness ground. J. Terramechanics 31/4 pp: 257-263.
-

-
- [56] HEGEDŰS, E.: (1965). Plate sinkage study by means of dimensional analysis. J. Terramechanics. 2.
- [57] HETTIARATCHI, D.R.P.: (1995) Theoretical Concepts in Soil-Wheel Interactions. Journal of Terramechanics. Vol 8. p. 151-168.
- [58] HIROMA T.: (1997). Stress analysis using FEM on stress distribution under a wheel considering friction with adhesion between a wheel and soil. J. Terramechanics. 34/4. pp: 225-233.
- [59] JANIK, J.: (1956). Gördülési ellenállás gumi- és vasabroncsú keréknél. Járművek. Mezőgazdasági Gépek. Budapest 9.sz.
- [60] JÁNOSI, 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. Torino-Saint Vincent 12/16.
- [61] JÓRI, J. I. - RADVÁNYI, G. - SZENTE, M. - SOÓS, S. – SALAMON, S.: (1991). Traktorok és talajművelő gépek káros talajtömörítő hatásának csökkentési lehetőségei. MTA-AMB Kutatási Tanácskozás, Gödöllő
- [62] JÓRI, J. I.: (1992). Mezőgazdasági erő és munkagépek okozta káros talajtömörítő hatások csökkentésére alkalmas módszerek és eszközök kialakítása és vizsgálata. FMMI jelentés I-II. kötet, Gödöllő
- [63] JÓRI, J. I.: (1992). Különböző jároszerkezetű traktorok és munkagéprendszereink műszaki és gazdaságossági vizsgálata. FMMI jelentés, Gödöllő
- [64] JÓRI, J. I.: (1997). Talajkímélő jároszerkezetű Challenger traktorok a hazai mezőgazdaságban. Szekszárd. Agrofórum. N°7.
- [65] KACIGIN, V.: (1964). Voproszi szelszkohozjajsztvennoj mehaniki. Tom XIII.
- [66] KARAFIATH, L. L. - NOWATSKI, E. A.: (1978). Soil Mechanics for Off-Road Engineering. Trans. Tech. Publication Clausthal. Germany.
- [67] KIM, K. U. - SHIN, B. S.: (1986). Modelling motion resistance of rigid wheels. J. Terramechanics. 22/4 pp: 225-236.
- [68] KIRBY, J.M.: (1989). Shear damage beneath agricultural tyres: a theoretical study. J. agric. EngngRes. 44(3), 217-230
- [69] KIRBY, J.M. – BLUNDEN, B.G. – TREIN, C.R.: (1997) Simulating soli deformation using a critical-state model. II. Soil compaction beneath tyres and tracks. European J. of Soil Sci. 48. 59-70.
- [70] KISS, P. - LAIB, L.: (1997). Energetic Aspects of Soil Deformation Connection with Soil-Tyre Interaction ASAE Annual International Meeting Minneapolis Convention Center. Minneapolis. Minnesota USA. August 10-14. ASAE Paper Number 971025
- [71] KISS, P. - LAIB, L.: (1997). Energetic Effect of Soil Deformation Connection with Tractor Energy Balance. 7th European ISTVS Conference. Ferrara. Italy. October 7-10. 93-102 page
- [72] KISS, P. - LAIB, L.: (1999). Terepjáró járművek mozgásának vizsgálata deformálódó talajon. Járművek 46. évfolyam, 4. szám. 32-38. oldal
- [73] KISS, P.: (2001). Terepen mozgó járművek energetikájának egyes kérdései Ph.D. doktori értekezés, Gödöllő
-

-
- [74] KISS, ZS. P. - SZÖLLŐSI I.: (1999). Mezőgazdasági gumiabroncsok statikus és dinamikus vizsgálata, Sz-SZ-B. Megyei Tud. Köz. füzetek II. Nyíregyháza, p. 100-102.
- [75] KISS ZS. P. – SZÖLLŐSI I. - SÁRKÖZI L.: (2002). Próbatestekkel végzett vizsgálatok a gumiabroncs-talaj kapcsolat modellezésére. XXVI. MTA AMB. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2002. jan. 15-16. Összefoglaló kiadvány (szerk. Tóth L.-Benkóné Pongó D.) p.16.
- [76] KNIGHT, S. J. - GREEN, A. J.: (1962). Deflection of a moving tyre on firm to soft surface. Trans. ASAE 5/2/ pp. 116-120.
- [77] KOLOBOV, G. G.: (1966). Soil pressure measurements beneath tractor tyres. J. Terramechanics 3/1 pp 9-15.
- [78] KOGURE, K. - OHIRA, Y. - YAMAGUCHI, H.: (1983). Prediction of sinkage and motion resistance of a tracked vehicle using plate penetration test. J. Terramechanics. 20 pp: 121-128.
- [79] KOMÁNDI, GY.: (1965). A terepjárás elmélet főbb kutatásaink, valamint elért eredményeink ismertetése és értékelése. Járművek, mezőgazdasági gépek 12. évf. 10. sz. 388-395.
- [80] KOMÁNDI, GY. (1978): The analytical determination of the drawbar pull for four-wheel drive tractors. Proc. 6th Int. Conf. ISTVS, Vol. I. pp. 437-445. Vienna
- [81] KOMÁNDI, GY. (1987): Traktorok és munkagépek optimális kapcsolata talajművelésnél. Járművek. Mezőgazdasági Gépek 34./2
- [82] KOMÁNDI, GY. (1989): Kerék és a talaj adhéziós kapcsolatának elemzése traktor gumiabroncsokon. Akadémiai doktori értekezés, Budapest-Gödöllő.
- [83] KOMÁNDI, GY. (1989): A vonóerő kifejtés folyamatát megszabó talajmechanikai paraméterek meghatározása deformálódó pályán. Járművek, mezőgazdasági gépek 36. évf. 7. sz. 253-256.
- [84] KOMÁNDI, GY. (1993): Revaluation of the adhesive relationship between the tyre and the soil. J Terramechanics 30/2 pp: 77-83.
- [85] KOMÁNDI, GY. – LAIB L.: (1998). Talaj-gumiabroncs kapcsolat szimulációja Járművek, mezőgazdasági gépek 45. évf. 5. sz. 167-173.
- [86] KOMÁNDI, GY.: (1999). An evaluation of the concept of rolling resistance. J. Terramechanics. Vol. 36. pp: 159-166.
- [87] KOMÁNDI GY. (2002): A terepen mozgó járművek gumiabroncsai. In: Terepen mozgó járművek, Szerk. LAIB L., Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, p.34-54.
- [88] KRICK. G.: (1969). Radial and shear stress distribution under rigid wheels and pneumatic tyres operating on yielding soils with consideration of tyre deformation. J. Terramechanics 6/3 pp 73-98.
- [89] LAIB L.: (1989). Terepjáró járművek mozgékonyága terepen. Kandidátusi értekezés, Gödöllő.
- [90] LAIB L.: (1991). Calculation of motion-fitness of vehicles moving on the ground. Hungarian Agricultural Engineering. Gödöllő. 4/91.
-

-
- [91] LAIB L.: (1994). Terepjáró járművek mozgékonyasága terepen I. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 41. évf. 6. sz. 203-209.
- [92] LAIB L. – URBÁN Z.: (1994). Gépjárművek terepjáró-képességének vizsgálata, geomorfológiai szempontok figyelembe vételével. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 41. évf. 6. sz. 210-218.
- [93] LAIB L.: (1994). Terepjáró járművek mozgékonyasága terepen II. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 41. évf. 7-8. sz. 241-254.
- [94] LAIB L. – NÉMETH S.: (1994). Az útprofil mérések diszkrét adatainak feldolgozása számítógép segítségével II. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 41. évf. 9. sz. 310-316.
- [95] LAIB L.: (1995). A talaj-gumiabroncs kapcsolat modellezésének egyes kérdései különös tekintettel a terepprofil és a jármű kapcsolatára, Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 42. évf. 8. sz. 289-295.
- [96] LAIB L. - KISS P. - KOMÁNDI GY.: (1998). A talaj-gumiabroncs kapcsolat dinamikai szimulációja. MTA AMB Gödöllői Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. 1998. január 20-21. Gödöllő
- [97] LAIB L.: (2002) Terepjáró járművek mozgékonyasága, a mozgékonyasági model. In: Terepen mozgó járművek, Szerk. LAIB L., Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, p.306-338.
- [98] LARSON, W.E. - GUPTA, S.C. - USECHE, R.A.: (1980). Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 44(3), 450-457.
- [99] LETOSNYEV, P.L.: (1951) A mezőgazdasági gépek elmélete. Budapest, Akadémiai Kiadó, p. 793
- [100] LI, Y.: (1985). Distribution of stresses beneath a drive pneumatic tyre and prediction of its tractive performance on sand. Proc. Int. Conf. Soil Dynamics. Auburn. Alabama. Vol. 4. p 738-755.
- [101] LIANG, T. - YUNG, C.: (1966). A microscopic study of tractive performance of a lugged tyre operating on sand. Trans. ASAE 9, 513-515
- [102] MOUAZEN, A. M. - NEMÉNYI, M.: (1999). Tillage tool design by the finite element method: Part 1. finite element modelling of soil plastic behaviour. Journal of Agricultural Engineering Research, 72, 37-51
- [103] MOUAZEN, A.M. - NEMÉNYI, M. - SCHWANGHART, H. - REMPFER, M.: (1999). Tillage Tool Design by the Finite Element Method: Part 2. Experimental Validation of the Finite Element Results with Soil Bin Test, Journal of Agricultural Engineering Research, 72, 53-58
- [104] MOUAZEN, A.M. - NEMÉNYI, M.: (1999). Finite element analysis of subsoiler cutting in non-homogeneous sandy loam soil. Journ. Soil & Tillage Research 51, 1-15
- [105] NAGY, J. – HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – MEGYES, A. – DOBOS, A.: (1999). Alföldi csernozjom talajok érzékenysége a tömörödéésre. AGROFORUM X.7.25-26.
- [106] NICHOLS, M. L. - RANDOLPH, J. W.: (1925). A method for studying soil stress. Agric. Eng. 6/1/ pp 134-135.
-

-
- [107] NOHSE, Y.: (1991). A measurement of basic mechanical quantities of off-the-road travelling performance. *J. Terramechanics*. 28/4 pp. 359-370.
- [108] NYÍRI L.: (1997) A rendszeresen művelt réteg alatti tömörödött, levegőtlen, rossz vízáteresztőképességű talajok mélylazítása. *Aszálykárrok mérséklése*. Mg. Kiadó, Budapest.
- [109] OLDEMAN, L.R. – HAKELING, R.T.A. – SOMBROEK, W.G.: (1990) World Map of the status of human-induced soil degradation. (GLASOD). ISRIC-UNEP. Wageningen. 27.
- [110] OMELJANOV, A. E.: (1948). Légtömölös kerekek mezőgazdasági gépeken való alkalmazásáról. *Mezőgazd. Gép*
- [111] ONAFEKO, O.: (1969). Analysis of the rolling resistance losses operating on deformable terrain. *J Agric. Engng. Res.* 14/2 pp: 176-182.
- [112] PACEJKA, H. B. - BAKKER, E. (1991). "The Magic Formula Tyre Model" Proc. of 1st Int. Colloquium on Tyre Models for Vehicle Dynamics Analysis. Delft. The Netherlands.
- [113] PALKOVICS, L. - EI-GINDY, M.: (1986). Neural network representation of tire characteristics: The Neuro-Tire. National Research Council of Canada.
- [114] PAN, J.: (1986). The general rheological model of paddy soil in South China. *J. Terramechanics*.
- [115] PAUWELUSSEN, J. P. - LAIB, L.: (1997). Exploration of the Magic Formula as a Basis for the Modelling of Soil-Tyre Interaction. 7th Eur. Conf. ISTVS Ferrara. Italy.
- [116] PERUMPRAL, J.V. - LILJEDAHN, J.B. - PERLOFF, W.H.: (1971). The finite element method for predicting stress distribution and soil deformation under a tractive device. *Trans ASAE* 14(6), 1184-1188
- [117] POLLOCK, D. - PERUMPRAL, J.V. - KUPPUSAMY, J.: (1986). Finite element analysis of multipass effects of vehicles on soil compaction. *Trans. ASAE* 29(1), 45-50
- [118] POPE, R. G.: (1971). The effect of wheel speed on rolling resistance. *J. Terramechanics* 8/1. pp. 51-58.
- [119] RAGHAVAN, G.S.V. - MCKYES, E. - CHASSÉ, M.: (1977). Effect of wheel slip on compaction. *J. agric. Engng. Res.* 22(1), 79-83
- [120] RAPER, R.L. - ERBACH, D.C.: (1988) Prediction of soil stresses using the finite element method. ASAE Paper No. 88-1017, ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659
- [121] RAPER, R.L. - ERBACH, D.C.: (1988). Effect of variable linear elastic parameters on finite element prediction of soil compaction. ASAE Paper No. 88-1640, ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659
- [122] RÁTONYI T.: (1999) A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. Doktori értekezés, DATE, Debrecen.
- [123] RÁZSÓ I.: (1958) *Mezőgazdasági gépek elmélete*. I. kötet. Tankönyvkiadó, Budapest.
- [124] RÁZSÓ, I. - SITKEI, GY.: (1960). Traktorok üzemi viszonyai változó jellegű terhelésnél. Mérnöki Továbbképző Intézet Budapest.
-

-
- [125] REECE, A. R.: (1964). Theory and practice of off-the-road locomotion. The Annual Conference. London.
- [126] ROHANI, B. - BALADI, G. Y.: (1981). Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. 7th Int. Conf. ISTVS. Calgary
- [127] RULA, A. - NUTTALL, C.: (1971). An analysis of ground mobility models. Technical Report M-71-4. US Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Ms.
- [128] SÁRKÖZI, L. - PÁCZELT, I. - NÁNDORI, F. - SZABÓ, T.: (1999). Mezőgazdasági talajok végeeselemes szilárdsági vizsgálata, Miskolci Egyetem, Miskolc
- [129] SCHMID, I. C.: (1995). Interaction of vehicle and terrain results from 10 years research at IKK. J. Terramechanics. Vol. 32./1/ pp 3-26.
- [130] SCHWANGHART, H.: (1991). Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil. Journ. Terramechanics 28/4. pp. 309-318.
- [131] SEIG, D.A.: (1985). Soil compactibility. PhD Thesis, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology, Bedford, U.K.
- [132] SELIG, E. T. - WANG, C.T.: (1975). Effect of velocity on drag and sinkage of free-rolling tires on soil. Proc. 5th Int. Conf. ISTVS Detroit. Vol. II. pp: 429-448.
- [133] SINÓROS-SZABÓ, B. - KAZÓ B.: (1979). A talajművelés energetikai-talajfizikai összefüggései és gyakorlati alkalmazhatóságuk. Járművek, Mezőgazdasági gépek 12. évf. 12.sz. 445-449.
- [134] SINÓROS-SZABÓ, B.: (1992). Talajfizikai és művelésenergetikai kölcsönhatások. Akadémiai doktori értekezés, Nyíregyháza
- [135] SINÓROS-SZABÓ, B. - SOURELL, H.: (1992). A new device for a quick computer aided determination of actual soil moisture and physical soil parameters in the field. ICID Congress, Budapest 1-13.
- [136] SINÓROS-SZABÓ, B. - SZŐLLŐSI I.: (1999). A 3T SYSTEM alkalmazása és gyakorlati jelentősége, Gyakorlati Agrofórum. X. (7) 15-17.
- [137] SITKEI, GY.: (1966). Sinkage and rolling resistance of wheels in loose sand. Proc. 2nd Int. Conf. ISTVS Quebec.
- [138] SITKEI, GY.: (1969). Traktor-gumikerekek jellemzői és az abroncsolás. Járművek, mezőgazdasági gépek. 16. évf. 2. sz. 41-47.
- [139] SITKEI, GY.: (1972). Die viskoelastischen Eigenschaften von Ackerböden und deren Einfluß auf die Boden-Rad Wechselwirkung. Proc. 4th Int. Conf. ISTVS. Stockholm. Sweden Vol. I. p. 284-300.
- [140] SITKEI, GY.: (1978). Allgemeine Zusammenhänge zwischen der Leistung dem Gewicht und den optimalen Betriebsparametern von Traktoren. Grundl. Landtechnik. 5/ 1978.
- [141] SITKEI, GY.: (1981). Mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [142] SITKEI, GY.: (1986). Mezőgazdasági és erdészeti járművek modellezése. Akadémiai Kiadó. Budapest
-

-
- [143] SITKEI GY. (2002): A talajok fizikai-mechanikai tulajdonságai. In:Terepen mozgó járművek. Szerk. LAIB L., Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 84-119 p.
- [144] SITKEI GY. (2002): Járószervezetek talajtömörítő hatása. In:Terepen mozgó járművek. Szerk. LAIB L., Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 207-221 p.
- [145] SOANE, B. D.: (1981). Compaction by agricultural vehicles. Soil Tillage Res. 1. pp. 207-237.
- [146] SOANE, B.D. – van OUWERKERK, C.: (1994) Soil compaction in world agriculture. C. Elsevier Science, Amsterdam, 1-20.
- [147] SÖHNE, W. H.: (1952). Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden. (Stress transmission between tractor tyres and arable soils.) Grund. Landtechnik 3/1/ pp 75-87.
- [148] SÖHNE, W. H.: (1953). Druckverteilung in Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grund. Landtechn. 3/5. pp. 49-63.
- [149] SÖHNE, W. H.: (1958). Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tyres. Agric. Engng. 39/5, pp 276-281.
- [150] SMITH, D.L.O.: (1985). Compaction by wheels a numerical model for agricultural soils. J. Soil Sci. 35, 621-623
- [151] STEFANOVITS, P.: (1975) Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- [152] STEFANOVITS, P.: (1994). Soil Degradation in Hungary. In. Soil Resilience and Sustainable Land Use (Ed. Greenland. D. J. - Szabolcs, I.) 119-129.
- [153] STROPPEL, T.H.:(1952) Die Kennzeichnung der Ackerböden nach der Textur. Grundlagen der Landtechnik. 3.
- [154] SZAANKJAN, SZ.: (1965). O zakonomernosztyi szoprotivlenija pocsvi bdavlibaniju. Szbornyik trudov po zeml. mec. III.
- [155] SZÖLLŐSI, I. - KISS, ZS. P., - KOVÁCS Z., - CZIRJÁK T.: (2002). A penetrációs ellenállás változása különböző talajokon a tenyészidőszak alatt, Agrokémia és talajtan, 3-4/2002, 185-206.
- [156] TAN, T. K.: (1957). Three-dimensional theory of the consolidation and flow of clay layers. Scientia sinica
- [157] TANAKA, H.: (2000). Simulation of soil deformation and resistance at bar penetration by the Distinct Element Method. J. Terramechanics. 37/1 pp. 41-56.
- [158] TAPAZDI, T.: (1996). A talaj-gumibroncs kapcsolat módosítása gumibroncs levegőnyomás szabályozó rendszerrel. Doktori értekezés, Gödöllő.
- [159] TAYLOR, J.H. - BURT, E.C.: (1987). Total axle load effects on soil compaction. J. Terramechanics 24(2), 179-186
- [160] TIJINK, F.G.J.: (1988). Summation of shear deformation in stream tubes in soil under a moving tyre. Soil Tillage Res. 12. pp 323-345.
- [161] TIJINK, F.G.J.: (1988). Load-bearing processes in agricultural wheel-soil systems. Ph.D. Thesis Agricultural University Wageningen. The Netherlands
- [162] TIJINK, F.G.J. - LERINK, P. - KOOLEN, A.J.: (1988). Summation of shear deformation in stream tubes in soil under a moving tyre. Soil Tillage Res. 12, 323-345.
-

-
- [163] TIMOSHENKO S.P. – GOODIER, J.N.: (1970). Theory of Elasticity, 3rd edn. McGraw-Hill, New York.
- [164] TING, J. M.: (1989). Discrete numerical model for soil mechanics. J. Geotechnical Engineering. 115/3
- [165] TRABBIC, G.W. - LASK, K.V. - BUCHELE, W.F.: (1959). Measurement of soil-tyre interface stresses. Agric, Engng. 40(11), 678-681
- [166] TURNAGE, G. W.: (1984). Prediction of in-sand tyre and wheeled vehicle drawbar performance. Proc. of 7th Int. Conf. ISTVS. Cambridge, U. K.
- [167] UPADHYAYA, S. K.: (1993). An instrumented device to obtain traction related parameters. J. Terramechanics. Vol. 30/1. pp. 1-20.
- [168] VANDENBERG, G.E. – GILL, W.R.: (1962). Pressure distribution between a smooth tyre and the soil. Trans.ASAE 5(2), 105-107.
- [169] VANDENBERG, G.E.: (1966). Triaxial experiments of shear strain and compaction in unsaturated soils. Trans. ASAE 9, 460-463
- [170] VÁRALLYAY, GY.:(1996). Magyarország tarjainak érzékenysége szerkezetromlásra és tömörödéssre. Környezet és Tájgazdálkodási Füzetek 96/1, 15-30.
- [171] VECHINSKI, C. R.: (1998). Evaluation of an empirical traction equation for forestry tires. J. Terramechanics 35/2 pp: 55-67.
- [172] VOORHEES, W.B. - NELSON, W.W. - RANDALL, G.W.: (1986). Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. SSSA. J. 50, 428-433.
- [173] WANG, Z. - REECE, A. R.: (1984). The performance of free rolling rigid and flexible wheels on sand. J. Terramechanics 21/4 pp: 347-360.
- [174] WANJII, S.: (1998). Prediction of wheel performance by analysis of normal and tangential stress distributions under the wheel-soil interface. J. Terramechanics. 34/3
- [175] WILLS, B. M. D.: (1966). The load sinkage equation in theory and practice. Proc. 2nd International Conf. ISTVS Quebec
- [176] WISMER, R. D. - LUTH, H. J.: (1973). Off-road traction for wheeled vehicles. J. Terramechanics 10/2
- [177] WONG, J. Y. - REECE, A. R.: (1967). Prediction of rigid wheel performance based on an analysis of soil-wheel stresses. Part I. Performance of driven rigid wheels. J. Terramechanics 4/1/ pp 81-98.
- [178] WONG, J.Y. - REECE. A. R.: (1967). Prediction of rigid wheel performance based on an analysis of soil-wheel stresses. Part II. Performance of driven rigid wheels. J. Terramechanics 4/2/ pp 7-25.
- [179] WONG, J.Y.: (1967). Behaviour of soil beneath rigid wheels. J. Agric. Engng. Res. 12/4. pp. 257-269.
- [180] WONG, J.Y.: (1978). Theory of Ground vehicles. Wiley, New York
- [181] WONG, J.Y.: (1991). Some recent developments in vehicle-terrain interaction studies. J. Terramechanics. 28/4. pp. 269-288.
-

-
- [182] WOOD, R.K. - BURT, E.C.: (1985). Soil tyre interface stress vectors at low travel reduction. ASAE Paper No.85-1552, ASAE, St.Joseph, MI 49085-9659
- [183] WOOD, R. K.: (1990). Tire thrust as affected by dynamic load. Proc. 10th Int. Conf. ISTVS. Kobe. Japan
- [184] WULFSOHN, D. - UPADHYAYA, S. K.: (1992). Determination of dynamic three-dimensional soil-tyre contact profile. J. Terramechanics Vol. 29. pp. 433-467.
- [185] WULFSOHN, D. - UPADHYAYA, S. K.: (1992). Prediction of traction and soil compaction using three-dimensional soil-tyre contact profile. J. Terramechanics Vol. 29. pp 541-564.
- [186] YONG, R. N. - WEBB, G. L.: (1969). Energy dissipation and drawbar pull prediction in soil-wheel interaction. Proc. 3rd Int. Conf. ISTVS. Essen. Vol.1. pp: 93-142.
- [187] YONG, R. N. - FATTAH, E. A.: (1976). Prediction of wheel-soil interaction and performance using the finite element method. J. Terramechanics. 13/4. pp. 227-240.
- [188] YONG, R.N.: (1978). Analysis and prediction of tyre-soil interaction and performance using finite elements. J. Terramechanics 15/1/ pp. 43-63.
- [189] YONG, R. N. - FATTACH, E.A.: (1980). Tyre flexibility and mobility on soft soils. J. Terramechanics 17/1 pp. 43-58.
- [190] YONG, R. N. - FATTACH, E.A. - SKIADAS, N.: (1984). Vehicle Traction Mechanics, Developments in Agricultural Engineering 3. Elsevier Scientific, Amsterdam
- [191] YONG, R.N.: (1986). Analysis and prediction of tire-soil longitudinal slippage using the finite element method. 3rd Eur. Conf. ISTVS. Warsaw. Poland
- [192] ZOMBORI, J.: (1986): A mezőgazdasági abroncsfejlesztés vizsgálata a talajkímélés szempontjából. Járművek, Mezőgazdasági gépek. 35. évf. N° 11. pp. 401-406.
- [193] ZOMBORI, J. - RADVÁNYI, G.: (1988): Traktor gumiabroncsok talajra gyakorolt hatásának vizsgálati kérdései FM-MI jelentés, Gödöllő

8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált publikációk, folyóirat cikkek

1. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.**: (1999). Művelés alatti és művelés nélküli talajok behatolási ellenállás értékeinek változása a tenyészidőszak alatt. Agrárfőiskolák Szövetségének Tudományos Közleményei. 1999. 20.3. szám. (Ed. Fenyvessy J.) p.118-127.
2. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.**: (1999). Changing Of The Soil Moisture And Penetration Resistance Values During The Breeding Season Of Uncultivated And Cultivated Soil III. International Multidisciplinary Conference, North University of Baia Mare, Baia Mare, Románia 1999. máj. 21-22. (Ed. Craciun I. et al.) p. 226-232.
3. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I.: (1999). New Measuring System And Method Of Agricultural Tires on Soil Physics. III. International Multidisciplinary Conference, North University of Baia Mare, Baia Mare, Románia, 1999. máj. 21-22. (Ed. Craciun I. et al.) p. 118-120.
4. СЕВЛЫШУ И. – **КУШШ Ж. П.** – КОВАЧ З.: (2001). Сравнение традиционной обработки почвы с минимальной обработкой с точки зрения уплотненности почвы. Проблемы экономичного и социального розвитку региону и практика наукового експерименту, Науковий-техничний збірник, Випуск 17. Ужгородський Державний Університет, Киев-Ужгород. p. 50-55.
5. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z.: (2001). Traditional cultivation and direct sowing in relation to soil compactness. IV. International Multidisciplinary Conference, North University of Baia Mare, Baia Mare, Románia. 2001. máj. 25-26. (Ed. Dan C.P. et al.) p.280-285.
6. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I. – KRISTON S. – SÁRKÖZI L.: (2001). Development of finite element software for support of design of agricultural tyre on foundation on critical state soil mechanics. IV. International Multidisciplinary Conference, North University of Baia Mare, Baia Mare, Románia. 2001. máj. 25-26. (Ed. Dan C.P. et al.) p.140-144.
7. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z. – CZIRJÁK T.: (2001). The effect of uncultivation and green manuring on soil resistance and soil humidity. Slovak Agricultural University in Nitra, Inter. Sci. Conf. Analysis of present-day state and prognosis of development technique in farm animal breeding until 2006 under the conditions of the Slovak and Hungarian Republic. (Ed. Lobotka J.) 2001. okt. 26. p. 80-89.
8. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z. – CZIRJÁK T.: (2001). A penetrációs ellenállás változása különböző talajokon a tenyészidőszak alatt. Agrokémia és Talajtan, TOM 50. NO. 3-4. p. 185-206.
9. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z.: (2002). Homokjavító vetésforgó kísérletek a talajtömörödöttség tükrében. Debreceni Egyetem, ATC. (megjelenés alatt)
10. SÁRKÖZI L. – **KISS ZS. P.**: (2002). Finite element analysis of agricultural soil compaction caused by ellipsoidal shape of rut. University of Miskolc, microCAD Inter. Sci. Conf. Geoinformatics and Spatial Inform. Section, 2002. márc. 7-8. p. 55-64.

-
11. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z.: (2002). Különböző talajjavító vetésgépek hatása a talajtömörödöttségre. SZIE Gazd. és Mg. Főisk. Kar, Gyöngyös, VIII. Nemz. Agrárökon. Tud. Napok 2002.márc.26-27. (Ed. Magda S.-Dinya L.) p. 345-350.
 12. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z.: (2002). Westsik-féle talajjavító vetésgépek hatása a talajtömörödöttségre. Mezőgazdasági Technika, XLIII. évf. 2002. máj. p. 38-39.
 13. SZÖLLŐSI I. – TOLNER L. - **KISS ZS. P.** – KOVÁCS Z.- CZIRJÁK T.: (2002). The effect of uncultivation and green manuring on soil resistance and soil humidity. Bulletin of The Szent István University Gödöllő 2001-2002. (Ed. Füleky Gy. et al.) p.109-118.
 14. SÁRKÖZI L. - **KISS ZS. P.:** (2002) Validation process and results of a Cambridge Cam Clay constitutive law based FE package for investigation of terramechanical problems. An Euro Conference on Numerical Methods and Computational Mechanics. 2002. júl. 15-19. University of Miskolc, p. 238-240.

Konferencia előadások

1. **KISS ZS. P.** – GUBUCZ J. - LENGYEL A. - NAGY K. - SIKOLYA L.: (1997). Mezőgazdasági erőgépek lengéstani vizsgálata. A Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 10. Nyíregyháza, (Szerk. Vass L.-né) p. 230-231.
2. **KISS ZS. P.** - LENGYEL A. - NAGY K. - SIKOLYA L.: (1998). Különböző mezőgazdasági erőgépek lengéstani modelljének összehasonlítása. XXII. MTA AMB Kut. és Fejl. Tanácskozás, Gödöllő. p. 45/179.
3. **KISS ZS. P.:** (1998). Mezőgazdasági gumiabroncsok konstrukcióinak jellemzése és fejlesztési irányai. XXII. MTA AMB Kut. és Fejl. Tanácskozás, Gödöllő. 1998. jan.
4. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I.: (1998). Evolution of the interaction of agricultural tyres and soils, University of Ungvar, Ukrajna 1998. máj. 29-30. p. 113-115.
5. **KISS ZS. P.:** (1998). Mezőgazdasági gumiabroncsok talajfizikai hatásainak vizsgálata. XXVII. Óvári Tudományos Napok, Mosonmagyaróvár. 1998. szept. 29-30. Agrárműszaki szekció, VI. kötet (szerk. Neményi M.) p. 1187-1191.
6. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I.: (1998). Mezőgazdasági gumiabroncsok statikus és dinamikus vizsgálata. Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 11. Nyíregyháza. 1998. nov. 5. (Szerk. Vass L.-né) p. 100-101.
7. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.:** (1998). Talajok tömörödöttségének komplex vizsgálata. Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 11. Nyíregyháza, 1998. nov. 5. (Szerk. Vass L.-né) p. 102-103.
8. **KISS ZS. P.** – SZÖLLŐSI I.: (1999). Mezőgazdasági gumiabroncsok statikai és dinamikai hatásainak vizsgálata XXIII. MTA Agrár Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő. 1999. jan. 20-21. p. 54/145.
9. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I. - SINÓROS-SZABÓ B.: (1999). New method to tests the effects of agricultural tyres on soil physics. International Conference on subsoil

Compaction Christian Albrechts University zu Kiel, Kiel, Németország 1999. márc. 24-26. (Ed. Horn, R. et al.) p. 28-29.

10. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - SINÓROS-SZABÓ B.: (1999). Test on Compactness of uncultivated and cultivated soils. International Conference on subsoil Compaction Christian Albrechts University zu Kiel, Kiel, Németország 1999. márc. 24-26. (Ed. Horn R. et al.)
11. **KISS ZS. P.** – SZÖLLŐSI I.: (1999). Mezőgazdasági abroncsok és a talaj kölcsönhatásának vizsgálata a fizikai talajféleségek és az abroncsméreték rendszerén belül. Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 12. Nyíregyháza. 1999. nov.5. (Szerk. Vass L.-né) p. 156-157.
12. **KISS ZS. P.** – SZÖLLŐSI I.: (1999). Sorközművelő mezőgazdasági gumibroncsok összehasonlító vizsgálatai a nyíltszíni mérőrendszerben. Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 12. Nyíregyháza. (Szerk. Vass L.-né) p.158-159.
13. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I.: (2000). Mezőgazdasági gumibroncsok profilfejlesztésével kapcsolatos vizsgálatok. XXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2000. jan. 18-19. Összefoglaló kiadvány (szerk. Tóth L. – Benkóné Pongó D.) p. 47/128.
14. **KISS ZS. P.** – SÁRKÖZI L.: (2000). Talajmechanikai vizsgálatok végeselemes modell felállításához. A Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 14. Nyíregyháza. 2000.nov.5. (Szerk. Vass L.-né) p. 210-211.
15. **KISS ZS. P.:** (2000). Művelési technológiák vizsgálata a talaj- és környezetkímélés szempontjából. A Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 14. Nyíregyháza. 2000.nov.5. (Szerk. Vass L.-né) p. 208-209.
16. **KISS ZS. P.** - SZÖLLŐSI I.: (2001). Véges elemű talajmodell. XXV. MTA AMB. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2001. jan. 23-24. Összefoglaló kiadvány (szerk. Tóth L.-Benkóné Pongó D.) p.17-18.
17. SZÖLLŐSI I. - **KISS ZS. P.** - KOVÁCS Z.: (2001). A hagyományos talajművelés és direktívés összehasonlítása talajtömörödöttség tükrében. XXV. MTA AMB., Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2001. jan. 23-24. Kiadvány (szerk. Tóth L.-Benkóné Pongó D.) 3. kötet, p. 123-129.
18. **KISS ZS. P.:** (2001). Végeselemes modell a gumibroncs-talaj kapcsolat vizsgálatára. A Magyar Tudomány Napja, Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Közalapítvány füzetek 15. Nyíregyháza. 2001.nov.5. (Szerk. Vass L.-né) p.188-189.
19. **KISS ZS. P.** – SZÖLLŐSI I. - SÁRKÖZI L.: (2002). Próbatestekkel végzett vizsgálatok a gumibroncs-talaj kapcsolat modellezésére. XXVI. MTA AMB. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő 2002. jan. 15-16. Összefoglaló kiadvány (szerk. Tóth L.-Benkóné Pongó D.) p.16.
20. **KISS ZS. P.** - SÁRKÖZI L.: (2002). Mezőgazdasági gumibroncsok talajfizikai tulajdonságainak értékelése. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság, Szakmai konferencia, DE ATC, Debrecen, 2002. szept. 23. p. 369-374.

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra A jellegzetes talajok szemcseeloszlási görbéi	6
2. ábra Különböző talajok pF-szám görbéi.....	8
3. ábra A tömörítő henger és a nyomás eloszlása a dugattyú előtti térben.....	15
4. ábra Vályogtalaj tömörítése különböző sebességekkel	15
5. ábra Különböző nyomófejprofilok	16
6. ábra A nyomáseloszlás változása kör alakú nyomófej alatt	16
7. ábra Különböző talajok kúpos indexe a mélység függvényében.....	20
8. ábra Az állandó nyomásgörbék (izobárok) alakja különböző talajokon	21
9. ábra Az abroncs besüllyedése a haladási sebesség függvényében	26
10. ábra A rugalmas féltér terhelése pontszerű és vonalmenti erőkkel	37
11. ábra Nyomás-besüllyedés összefüggés vályogtalajon a terhelési sebesség függv	39
12. ábra A háromelemes rheológiai modell és változatai	40
13. ábra Az abroncs jellemző geometriai méretei.....	42
14. ábra Különböző abroncsfajták felfekvő felületi nyomása	44
15. ábra A különböző abroncs elrendezések talajra gyakorolt hatása	45
16. ábra A „Nyíltzíni mérőrendszer”, a mérőkocsi és a 3T mérőműszer.....	48
17. ábra Lamborghini Formula 135 erőgép és a pótsúlyrendszer.....	52
18. ábra Elektronikus rétegindikátor („3T System”) elvi sematikus felépítése.....	53
19. ábra A mérővizsgálat jellemzői	54
20. ábra A PAT SAW 10 C típusú digitális talpmérleg és műszaki jellemzői.....	55
21. ábra A függőleges nyomóerő beállítása a szabályozható hidraulikus munkahenger	55
22. ábra Abroncsprofil lenyomat készítése a Waagner-Biró próbapadon.....	57
23. ábra A téglatest alakú nyomófej	57
24. ábra A forgásszimmetrikus nyomófej.....	57
25. ábra A mérési pontok szisztematikus elrendezése.....	58
26. ábra A különböző gumibroncsok profilnyomatainak összehasonlítása.....	63
27. ábra A profilnyomatok szélességi és hosszúsági méreteinek összehasonlítása.....	64
28. ábra A lenyomatok arányosítása a Taurus WRC 320/80R48 –hoz	65
29. ábra A vizsgált talajszelvény felosztása	65
30. ábra A behatolási ellenállás különböző talajokon mért maximális értékei	72
31. ábra A körtárcsa nyomófej idő-besüllyedés diagramja	76
32. ábra A téglalap alakú nyomófej idő-besüllyedés diagramja.....	76
33. ábra A körtárcsa nyomófej statikus terhelés alatti idő-elmozdulás függvényei	77
34. ábra A téglalap alakú nyomófej statikus terhelés alatti idő-elmozdulás függvényei	77
35. ábra Végeelemes felosztás a körtárcsás nyomófejhez	80
36. ábra Végeelemes felosztás a téglalap nyomófejhez.....	80
37. ábra A talaj körhenger meridián metszet deformált alakja.....	80
38. ábra A talaj síkalakváltozásos deformált alakja	80
39. ábra A hézagtenyező eloszlása insitu állapotban.....	83
40. ábra A hézagtenyező eloszlása a deformáció végén.....	83
41. ábra A függőleges σ_y feszültség eloszlása körtárcsás vizsgálatkor.....	85
42. ábra A τ_{xy} nyíró feszültség eloszlása körtárcsás vizsgálatkor	85
43. ábra VEM -programmal számított függőleges nyomóerő – besüllyedés görbe	86
44. ábra VEM -programmal a körtárcsa sugara mentén számított nyomás eloszlás	86
45. ábra Nyomáseloszlás a kör alakú nyomófej alatt	87
46. ábra A hézagtenyező változása az eredetileg 16 cm mélységben lévő pontban.....	88
47. ábra A nyomófejek mért és a VEM programmal számított erő-elmozdulás diagram ..	89

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat A gumiabroncsok profilarány szerinti osztályozása	43
2. táblázat Különböző abroncs tulajdonságok előnyei és hátrányai az üzemelés során	43
3. táblázat Humuszos (szabolcsi) homok talaj talajszelvényének leírása.....	49
4. táblázat Réti csernozjom talaj talajszelvényének leírása	50
5. táblázat Réti agyag talaj talajszelvényének leírása.....	50
6. táblázat A vizsgált talajtípusok legfontosabb tulajdonságai.....	51
7. táblázat A Lamborghini Formula 135 erőgép legfontosabb műszaki paraméterei.....	51
8. táblázat A vizsgálatban résztvevő gumiabroncsok jellemző műszaki paraméterei.....	56
9. táblázat Néhány jellemző abroncsprofil vizsgálat kezdetén mért technikai adata	56
10. táblázat A gumiabroncs típusok profillenymatainak mérőszámai.....	62
11. táblázat A kúposindex változásai a gumiabroncsok terhelése után vályog talajon	67
12. táblázat A kúposindex változásai a gumiabroncsok terhelése után homok talajon.....	68
13. táblázat A kúposindex változásai a gumiabroncsok terhelése után agyag talajon	69
14. táblázat Különböző nyomófejek állandó terhelés alatti besüllyedése vályog talajon ...	75
15. táblázat A kezdeti (insitu) adatok a mintapéldákhoz kPa-ban.....	81
16. táblázat A hézagtényező eloszlása a Kezdeti (insitu) állapotban	82

MELLÉKLETEK

1. sz.:	A gumiabroncsok profiljairól készült fényképek.....	116
2. sz.:	Különböző típusú gumiabroncsok gördülési profillenymata.....	118
3. sz.:	A nyomófejek jellemző méretei.....	119
4. sz.:	A gumiabroncsok mérési vizsgálatának tematikája.....	120
5. sz.:	A nyomófejes mérési vizsgálat tematikája	121
6. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás vályog talajon	122
7. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás a mélység függvényében vályog talajon	123
8. sz.:	A behatolási ellenállás nyomásértékeinek eloszlása a különböző gumiabroncsokkal terhelt talajszelvényekben vályog talajon	124
9. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás homok talajon	125
10. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás a mélység függvényében homok talajon.....	126
11. sz.:	A behatolási ellenállás nyomásértékeinek eloszlása a különböző gumiabroncsokkal terhelt talajszelvényekben homok talajon	127
12. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás agyag talajon.....	128
13. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajjellenállás változás a mélység függvényében agyag talajon	129
14. sz.:	A behatolási ellenállás nyomásértékeinek eloszlása a különböző gumiabroncsokkal terhelt talajszelvényekben agyag talajon.....	130
15. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás a mélység függvényében homok talajon.....	131
16. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás homok talajon.....	132
17. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás a mélység függvényében vályog talajon.....	133
18. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás vályog talajon.....	134
19. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás a mélység függvényében agyag talajon	135
20. sz.:	A különböző gumiabroncsok okozta talajnedvesség változás agyag talajon	136

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán a Növénytermesztési és kertészeti tudományok Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem ATC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2002. október 25.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy KISS ZSOLT PÉTER doktorjelölt-..... között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2002. október 25.

.....
a témavezető aláírása