



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
GÉP ÉS TERMÉKTERVEZÉS TANSZÉK

ZSIBÓK MARCELL

(GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK MSc, 2. FÉLÉV)

Géptervező specializáció

Robottraktor gumihevederes járószerkezetének fejlesztése

Konzulens:

Dr. Farkas Zsolt József

Adjunktus, GT3 Tanszék

Budapest, 2023

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ezen dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Tudományos Diákköri Konferenciára előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a célkitűzésekben megfogalmazottaknak maradéktalanul eleget tesz. Ezen dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2023. 11. 05.

.....

konzulens

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Zsibók Marcell (AFYPP8)*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023. 11. 05.

.....

hallgató

1. Összefoglalás	0
1.1. Summary	1
2. Bevezetés	2
2.1. Célkitűzések	3
3. Szakirodalmi áttekintés	4
3.1. Mezőgazdasági erőgépek felépítése.....	4
3.2. Járószerkezet részletes ismertetése	6
3.2.1. Mezőgazdaságban használt abroncsok típusok	7
3.2.2. Gumiabroncsok rövid ismertetése	7
3.3. Gumihevederes hajtás	8
3.3.1. Gumihevederes hajtások története	8
3.3.2. Gumihevederes hajtás bevezetés	10
3.4. Gumihevederes hajtás felépítése.....	11
3.4.1. Erővel záró.....	11
3.4.2. Alakkal záró.....	12
3.5. Gumihevederes hajtás összehasonlítása a hagyományossal	13
3.5.1. Előnyei.....	13
3.5.2. Hátrányai.....	14
3.6. Gumihevederes traktorok kormányzása.....	15
3.6.1. Erővel zárás	15
3.6.2. Alakkal zárás	15
3.7. Taposási kár csökkentésének a lehetőségei	16
3.7.1. Konklúzió	17
3.8. Robottraktorok	18
3.8.1. Szenzorok	20
3.8.2. Robottraktorok előnyei a hagyományos traktorokhoz képest	21
3.8.3. A robottraktorok hátrányai a hagyományos traktorokhoz képest.....	21
3.8.4. További indokok az alkalmazásukra.....	22
4. Tervezési szempontok vizsgálata	24
4.1. Követelményjegyzék	24
4.1.1. Agrotechnikai követelmények	24
4.1.2. Műszaki követelmények	25
4.2. Funkcióstruktúra	25

5. Tervezési összefüggések, paraméterek vizsgálata.....	27
5.1. Üzemeltetési körülmények	27
5.2. Talaj nyomószilárdsága	28
5.3. Talajra ható hajtóerő	29
5.4. Nyomó és nyírófeszültségek meghatározása	30
5.5. Mérési lehetőségek	31
5.5.1. Mikro-domborzati elmozdulások mérése	31
5.5.2. Talpmérleg használata	32
5.6. Mérési eredmények konklúzió.....	32
6. Járószervezet konstrukció.....	33
6.1. Gumihevederes hajtás, gördülési viszonyok.....	33
6.2. Gumihevederes hajtás felépítése.....	35
6.3. Hevederes traktorok kormányozhatóság.....	36
7. Tovább fejlesztett és jelenlegi konstrukció összehasonlítása	38
7.1. Jelenlegi hajtáslánc ismertetése	38
7.2. Piacon elérhető konstrukciók.....	39
7.2.1. New Holland.....	39
7.2.2. Claas	40
7.2.3. John Deere	40
7.2.4. Case IH	41
7.2.5. Konklúzió	41
7.3. A jelenlegi konstrukció tovább fejlesztése	42
7.3.1. Fejlesztési irányelvek.....	42
7.3.2. Robottraktorhoz készült koncepció	45
8. További Fejlesztési lehetőségek elemzése	46
8.1. Hevederek fenntarthatósága.....	47
9. Összegzés	48
9.1. Jövőbeli tervek.....	48
10. Felhasznált források.....	49
10.1. Irodalomjegyzék	49
10.2. Ábrajegyzék	50
Köszönetnyilvánítás	53

Jelölések jegyzéke

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
a	Adhéziós feszültség	Pa
b	Terheletlen abroncs felfekvő szélessége	mm
B_n	Mobilitási szám	1
c	Kohéziós feszültség	Pa
C	Konstans, járószerkezet együttható	1
C_1	Kónusz index	1
d	Terheletlen abroncs átmérő	mm
D	Nyomófej átmérő	m
DWI	Dinamikus tömegtényező	1
DWR	Dinamikus tengelyterhelési tényező	1
f_{bt}	A bordák talajjal érintkező támasz felülete	mm^2
f_{kt}	A köpeny talajjal érintkező támasz felülete	mm^2
F_a	Adhéziós erő	N
F_k	Kompressziós erő	N
F_n	Nyíró erő	N
F_s	Súrlódási erő	N
G	Traktor súlyereje	N
G_t	Tolóerő, elméleti vonóerő	N
h	Abroncs profil magasság	mm
k	Kompressziós talajfeszültség	Pa
k	Talajtömörítési tényező	kPa
k_c	Talaj kohéziós tényezője	$\frac{N}{m}$
k_ϕ	Talaj súrlódási tényezője	$\frac{n}{m^2}$
K	Koefficiens, járószerkezet együttható	1
L_r	Terhelés alatti statikus sugár	m
M	Hajtónyomaték	Nm
M_R	Menetellenállás	1

n	Fordulatszám	$\frac{1}{\text{min}}$
n	Adott talajra jellemző állandó	1
N_t	Vonóerő, tényleges nyomóerő	N
NTR	Vontatási tényező	1
P_h	Hajtó erő	N
P_v	Vontatási teljesítmény	W
Q	Tengelynyomaték	Nm
R	Gördülési sugár	m
s	Slip, kerékcúszás	1
TW	Gumiheveder szélessége	mm
TL	Gumiheveder hossza	mm
v_t	Elméleti sebesség	$\frac{m}{s}$
v_a	Tényleges sebesség	$\frac{m}{s}$
W	Statikus tömeg	kg
W_d	Dinamikus tömeg	kg
z	Besüllyedés	mm

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
δ	Abrons benyomódás	mm
ν	Járószervezet-talaj kapcsolat adhéziós tényezője	1
μ	A járószervezet és talaj között fellépő súrlódási tényező	1
τ	Nyírófeszültség	Pa
τ_s	Talaj súrlódásból adódó nyírószilárdság	Pa

1. ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági gépek egyre fontosabb szerepet kapnak napjainkban, hiszen a mezőgazdaságnak fenntartható módon ki kell szolgálni a népesség növekvő igényeit a környezet károsításának csökkentése mellett. Az erőgépek rengeteget fejlődtek, újabb és újabb koncepciók születnek, hogy megfeleljenek a kor műszaki, gazdasági és környezetvédelmi követelményeinek is.

A traktoroknál egyre nagyobb hangsúlyt kap a talajmunkák során az úgynevezett taposási kár csökkentése. Ez megoldható a felfekvő felületet növelésével és/vagy a traktor tömegének csökkentésével. A felfekvő felületet növelését a tengelyek számának bővítésével, vagy az adott tengelyre szerelt kerekek számának változtatásával lehet elérni. A traktortömeg csökkentésének a mezőgazdasági munkákhoz szükséges jelentős mértékű vonóerő kifejtés szab határt.

Jelen dolgozat célja, egy kisméretű robot traktor gumihevederes járászerkezetének továbbfejlesztése. Mivel a jelenlegi konstrukciós megoldás nem volt alkalmas, a talaj egyenlőtlenségeinek a lekövetésére és nem volt hatékony a hajtásrendszere.

A dolgozat során áttekintem a vonatkozó szakirodalmat és elemzem a meglévő járászerkezetet. Majd meghatározom a fejlesztéshez szükséges paramétereket és összeállítom a robottraktor járászerkezetének követelményjegyzékét. Az új konstrukciós változatok kidolgozását és értékelését követően mutatom be a robottraktor továbbfejlesztett gumihevederes járászerkezetét. Ez a megoldás hajtásmódjában és a talaj taposási mértékében is kedvezőbb konstrukciós kialakítás.

Kereső szavak:

Mezőgazdasági robot, Traktor, Gumihevederes járászerkezet, Talajtaposás csökkentés,

1.1. Summary

Agricultural machinery is playing an increasingly important role nowadays, as agriculture has to serve the growing needs of the population sustainably while reducing environmental degradation. Power machinery has evolved a lot and new concepts are being developed to meet the technical, economic and environmental requirements of nowadays.

Tractors are increasingly being used to reduce the so-called traction damage during soil work. This can be achieved by increasing the contact area and/or reducing the tractor's weight. The contact area can be achieved by increasing the number of axles or by increasing the number of wheels mounted on a given axle. The reduction in tractor weight is limited by the considerable tractive effort required for agricultural work.

This thesis aims to improve the rubber-spring tread of a small robot tractor. Since the current design was not suitable for tracking the unevenness of the ground the drive system was inefficient.

In the course of the thesis, I will review the relevant literature and analyse the existing pavement structure. I will then define the parameters required for the development and compile a list of requirements for the walking frame of the robotic tractor. Following the development and evaluation of new design variants, I will present the improved rubber-spring tread of the robotic tractor. This solution is a more favourable design in terms of propulsion and ground traction.

Search words:

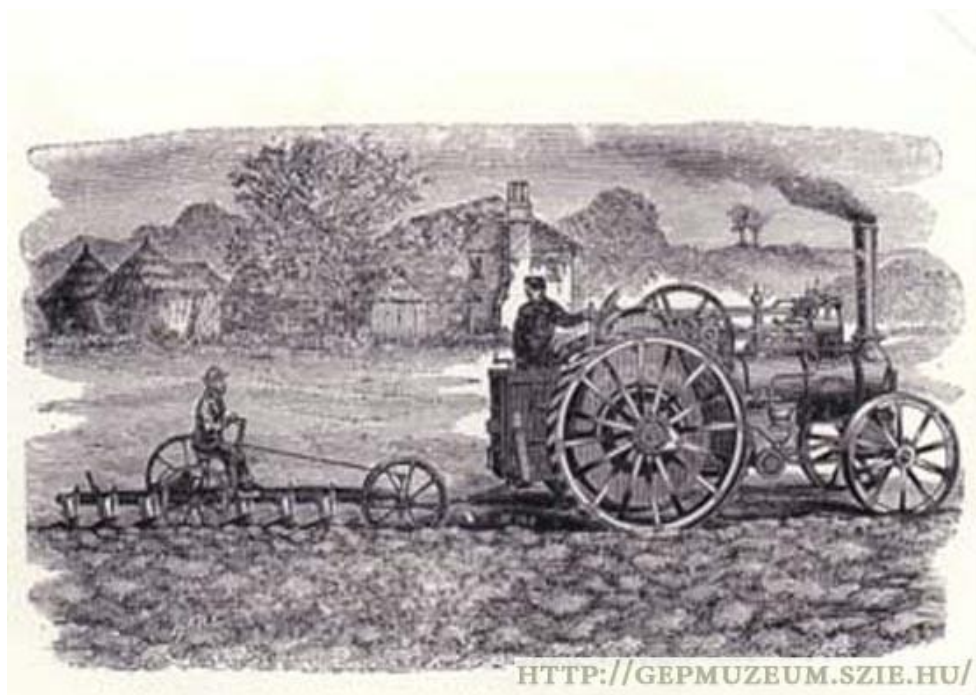
Agricultural robot, Tractor, Rubber spring walking mechanism, Soil treading reduction,

2. BEVEZETÉS

Amikor kimondjuk a mezőgazdasági erőgép szót, rendszerint azonnal a traktorra gondolunk, azonban ebbe a kategóriába tartoznak még a funkcionális erőgépek, betakarító és majori erőgépek is [1].

A mezőgazdaság eléggé fontos szerepet tölt be napjainkban Magyarországon, hiszen jelentős mennyiségű művelhető földterületek állnak rendelkezésre, **azonban erőteljes fejlesztésre van szükség**, hogy elérjük a francia, holland és olasz mezőgazdálkodás szintjét.

A történelem során is erősen függött Hazánk ettől az ágazattól, többnyire agrárország volt Magyarország, az Osztrák Magyar Monarchia korában pedig agrár-ipari ország is volt olyan, mint ma Franciaország. A mezőgazdaság jelentős fejlődésen ment keresztül az elmúlt időkben, hiszen a korábban nehéz fizikai munkákat részben kiváltottuk különböző típusú gépekkel. Egy kezdetleges traktort láthatunk az **1.Ábrán**. Gőzgéppel történt a hajtás megvalósítása. Azóta azonban a mezőgazdasági gépek sokat fejlődtek, így a mezőgazdasági munkavégzés velük sokkal kényelmesebb és hatékonyabb lett, köszönhetően a technikai újításoknak [23].



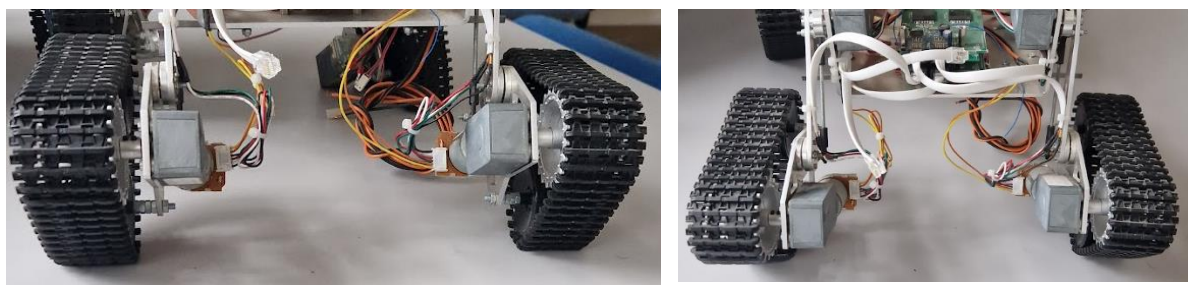
1.Ábra: Kezdetleges erőgép

Önmagában a mezőgazdasági erőgép nem elég a földművelésre, minden esetben szükségünk van egy megfelelő munkagépre is a traktorunkhoz. Oda kell figyelni arra, hogy a munkagép és az erőgép ISO-BUS rendszere kompatibilis legyen, különben nem tudjuk majd kihasználni a rendszer előnyeit. A munkagép meghajtásáról a TLT (Teljesítményt Leadó Tengely) gondoskodik, de van elektromos és pneumatikus hajtás is [3].

2.1. Célkitűzések

Az elsődleges cél, hogy a jelenlegi konstrukció elemzése után, egy olyan továbbfejlesztett járószerkezet elrendezést kapjunk eredményül, aminek köszönhetően, a **robottraktor hajtásláncának hatásfoka kedvezőbb lesz** és cél, hogy **a szerkezet jobban tudja majd lekövetni a talaj egyenetlenségeit és ezáltal csökkenteni a taposási károkat is.**

Ehhez elemezni kell a piacon lévő konstrukciókat, ismerni kell, hogy milyen erőhatások és gördülési viszonyok lépnek fel a talaj és a járószerkezet között. Azonban azt is tudni kell, hogy milyen fajta lehetőségek vannak a járószerkezet talajra gyakorolt hatásának mérésére, kiértékelésére. Meg kell határozni a gumihevederes hajtás előnyeit és hátrányait és a gyártók által kifejlesztett megoldásokat felhasználva egy **konceptiót tudjak létrehozni, egy kisméretű kutatási célú robottraktor számára.** A gumihevederes hajtásnak, számos jó tulajdonsága van, a hagyományos gumibroncsokhoz képest, mint. például a nagyobb felfekvő felület és az egyenletesebb járás. Azonban, számos hátrányos tulajdonsága van, mint például, hogy a közúton (aszfalton), nem lehet vele hosszú távon közlekedni, mert ott erőteljesen kopik és hamarabb kell majd cserélni, az amúgysem filléres gumihevedert. Jelen dolgozat célja, hogy **vizsgálja ezen hajtástípus előnyeit és hátrányait, hogy ezek alapján, egy olyan lehetséges továbbfejlesztési irányvonalat kapjunk eredményül,** amit felhasználva egy kedvezőbb konstrukciót kapunk eredményül. Ezáltal lehetne csökkenteni a hátrányos tulajdonságok hatásait, annak érdekében, hogy minél kedvezőbb talajkölcönhatást lehessen elérni, növelve az adott mezőgazdasági munka hatékonyságát. **A taposási kárt, úgy is lehet csökkenteni, hogy a traktor tömege kisebb lesz,** de ez a vonó erő (F_v) kárára történhet meg. A dolgozat célja, hogy vizsgálja a járószerkezetet felépítő alkatrészeket, hogy van-e lehetőség a komponensek számának csökkentésére vagy kombinálására is, ehhez elemezni kell a piacon lévő hevederes szerkezeteket. A dolgozat hosszú távú célja, hogy a koncepcióban meghatározott irányelvek hosszú távon is megvalósuljon. hogy a robotot fel lehessen használni kutatási célokra és/vagy robotversenyre. A **2.Ábra** ismerteti a kiindulási állapotot, ennek a robottraktornak lesz tovább gondolva a járószerkezete.



2.Ábra: Meglévő robottraktor és gumihevederes járószerkezet

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ebben a fejezetben lesz ismertetve a szakirodalomkutatás, részletesen elemezve a gumihevederes hajtások és robottraktorok létjogosultságát. Egy gumihevederes járószerkezettel rendelkező John Deere 9RX 640 traktort láthatunk a **3.Ábrán**, ami a John Deere vállalat legerősebb traktorra, egy **közel 700 lóerős** mezőgazdasági erőgépről van szó [1].



3. Ábra: John Deere 9RX 640

3.1. Mezőgazdasági erőgépek felépítése

A mezőgazdasági erőgépeknek eléggé bonyolult hajtásrendszerrel rendelkeznek, ahol a hajtáselemeknél mások a követelmények, mint a személyautóknál. **A traktor sebességét és a fordulatszámát ritkán szokták változtatni, ennek közel állandónak kell lennie**, a mezőgazdasági tevékenységek során. Nagyobb sebességre a közutakon van szükség [17].

A traktoroknál a négy kerék hajtás a jellemző, nem úgy, mint az autóknál, mert ott általában első kerék hajtás van. Így a traktorok kormányzása is eltérő lesz, mint amit korábban tapasztaltunk a gépjárművek esetében [17].

A 4 kerék hajtásra azért is van szükség, hogy a termőföldeken minél könnyebben és hatékonyan tudjon közlekedni és biztosítani lehessen a megfelelő vonóerőt a mezőgazdasági munkák elvégzéséhez. A sáros talajon nehézkes a közlekedés, emiatt is célszerű az említett hajtásrendszer, a **4.Fejezetben** látunk majd konkrét követelményeket is [1],[17].

A traktorokba beépített **motor teljesítménye az alábbi módon kerül majd hasznosításra**. A modern traktorok esetén beszélhetünk **pneumatikus és elektronos teljesítményről** is [2].

- **Vontatási teljesítményként**, mezőgazdasági munkák során az igényelt vonóerő attól is függ, hogy milyen a talaj típusa.
- **TLT teljesítményként**, ez biztosítja a munkagép meghajtását, a fordulatszám értékek szabványosak.
- **Hidraulikus teljesítményként**, amire a munkagépek üzemeltetésére van szükség.

Az önjáró mezőgazdasági gépek az alábbi főbb részegységekből épülnek fel [1], [2], [17]:

➤ **Motor**

Ami általában dízelmotor. Robosztus felépítésűek, a szigorú környezetvédelmi előírások miatt, a kibocsátás jelentős méretekben csökkent. Kezdenek elterjedni a hibrid meghajtású traktorok is, ahol egy elektromos motor segíti a dízelmotort.

➤ **Hajtómű**

Annak érdekében, hogy a megfelelő nyomatékigényt biztosítani tudjuk, szükségünk lesz egy hajtóműre, ami közvetlenül a motor után található. Ezek általában hengeres fogaskerékpáros hajtások. A hajtóműnek egy lassító áttételt kell megvalósítani és tartósan bizonyítani az erőfolyamot egy adott fordulatszám mellett.

➤ **Járószervezet**

Itt is több típus található, a gumihevederes járószervezettől kezdve, az ikerkeres, tripla járószervezeten át. Amerikában elképzelhető akár négy kerekes járószervezet is. A vontatási határfok több tengelyes konstrukciónál magasabb, mint az ismert kéttengelyes traktornál. Amerikában lévő farmgazdaságok sokkal nagyobb földterülettel rendelkeznek, mint az Európában található gazdaságok. Fejlett infrastruktúrával rendelkeznek, így ott könnyedén tudnak ilyen robusztus erőgépeket használni. Nem kell elférniük a 3m szélességű forgalmi sávban.

➤ **Fékkrendszer**

Ez a részegység is kiemelt fontosságú, gondoljunk arra, mikor közúton közlekedünk például a traktorral, szükség esetén azonnal meg kell állni, és mivel ezek a járművek nehezebbek, mint az átlagos személyautók, emiatt a fékkészletük is más lesz.

➤ **Irányító/kezelő berendezés**

A precíziós gazdálkodásnak egyik alapja, hogy a mezőgazdasági erőgépek fejlett irányító és kezelőberendezéssel rendelkezzenek, amit akár távolról is lehessen irányítani.

➤ **Munkagéppel való kapcsolat**

Ezt is biztosítani kell a hajtásláncnak, ami általában TLT (Teljesítményt leadó tengelyen) keresztül történik.

A traktorok használhatóságának vannak azonban korlátjai is, ami a relatív nagy kifejtendő vonóerő és a teljesítmény. Az egyik legfontosabb paraméterük a traktoroknak, az a vontatási teljesítményük, hiszen egyes mezőgazdasági munkák pl.: szántás során nagy vonóerőt kell kifejteni a traktornak. [3].

A **vonóerő** függ a **talaj és a kerék kapcsolatától**. Itt nagy súrlódási erő fog keletkezni, ami függ a gumiabroncs kialakításától is. A talaj és kerék kapcsolata során beszélhetünk alakzárásról is. A súrlódási erőt úgy lehetne csökkenteni, hogy megnöveljük vagy a tengelyek hosszát vagy a számát, mert így több kereket tudunk felszerelni, így ezáltal nagyobb felületen oszlik meg a súrlódási erő, így fajlagosan kisebb súrlódási erő keletkezik [1], [3], [17].

3.2. Járószerkezet részletes ismertetése

A traktorok járószerkezetét az **elülső és hátsó kerekek és futóművek alkotják**. A járószerkezet teremti meg a traktor és a talaj közötti kapcsolatot. A járószerkezet hordja továbbá az alvázhhoz kapcsolódva a traktort és lehetővé teszi a kormányzást [1].

A kormány szerkezetek a mai modern traktorokon, mint a személyautóknál szervókormányzással működnek, ami nagyban megkönnyíti a kormányzást, hiszen kisebb erő kifejtésre van szükség. Az infó-kommunikáció megjelenésével kifejlesztésre került az automata kormányzás, ami jelentősen megkönnyíti a munkavégzést, a vezető munkáját. A szerkezet kialakítását befolyásolja a hajtásmód, valamint a kormányzás típusa, ami lehet tengelycsonk vagy törzscsuklós kormányzás. Alapvető paraméter a járószerkezetnél a **hasmagasság(h)**, hiszen a mezőgazdaságnál vannak alacsony és magasépítésű gépek is. Az utóbbira példa egy magashasmagasságú önjáró permetező [1-3].

A másik fontos szempont a **nyomtávolság**, a gumihevederes járószerkezetnél ezt a heveder szélességével lehet változtatni, akár az egész hevedert is lehet kintebb állítani, ami a megrendelő igényei alapján lesz gyártva [1].

Ezek alapján az alábbiak a **fejlesztési irányok**: [1-3]

- **Vontatási hatások növelése**, a veszteségek csökkentése
- **A kifejthető vonóerő növelése**, ami az abroncs és a talaj közti adhéziós erőtől függ
- **A csúszás, (slip) csökkentése** az abroncs és a talaj között
- **A taposási kár, talajtömörödés mérséklése, felfekvő felület növelése**
- **A rugózás, felfüggesztés javítása**, a lengéscsillapító hatását felhasználva
- **A manőverezési képesség fejlesztése**, a fordulási kör csökkentése

A Michelin gyártó abroncs típusokat is gyárt a traktorok számára is, ezekre látunk példát a **4.Ábrán**.



4. Ábra: Michelin gyártó által forgalmazott gumiabroncsok

3.2.1. Mezőgazdaságban használt abroncsok típusok

A megfelelő talajkapcsolat révén lehet kifejtteni a mezőgazdasági munkákhoz szükséges vonóerőt. A legelterjedtebb mintázat a „V”, ami egy megfelelő tapadást eredményez. Az abroncsban lévő nyomás alapján, lehet változtatni az adhéziós kapcsolat nagyságát. A dolgozat során kiemelem a francia, Michelin gyártót, ami az egyik legnagyobb beszállító a traktorok gumiabroncsához, egy ilyen abroncsot és annak a szerkezetét láthatjuk az **5.Ábrán** [4].



5.Ábra: Michelin abroncs mezőgazdasági célokra

Az alábbi előnyöket hangsúlyozza a gyártó: [4]

- **A lehető legnagyobb vonóerő**, ami segíti az adott mezőgazdasági műveletet
- **Hosszú élettartam**, ami környezetvédelmi szempontok miatt is fontos
- **Talajvédelem**, talajtaposási kár csökkentése

3.2.2. Gumiabroncsok rövid ismertetése

A dolgozat során a gumihevedereknél inkább a szerkezet és a talajjal való kapcsolata lesz a mérvadó. Nem célja a dolgozatnak, hogy az abroncsok felépítését részletezze, inkább a gumihevederekkel való konstrukciós megfontolásokat fogja tárgyalni. Az irodalomkutatás során egy két lényegesebb információ lesz kiemelve. Egy metszetet láthatunk az **6.Ábrán**. Az abroncsok főleg, kaucsokból, szintetikus kaucsuk, szilícium-dioxid, fém és textilerősítésű kábelekből épül fel, látható, hogy az abroncs egy komplex szerkezet. [4].



6.Ábra: Gumiabroncs metszet

3.3. Gumihevederes hajtás

3.3.1. Gumihevederes hajtások története

A 60-es évektől kezdve a mezőgazdasági erőgépek teljesítménye és tömege akár 60 %-kal is megnőtt. Elég csak gondolni egy Porsche 111 és egy modern New Holland T8 traktor közötti különbségre. A nagyobb tömeg és nagyobb teljesítmény intenzívebb terhelést jelentett a talajra gyakorolt káros hatás megnőtt, ugyanis a felfekvő felület csak 20%-kal nőtt meg. **Az első lépés, hogy növeljük a felfekvő felületet**, hogy a gumiabroncs helyett lánctalpas traktorokat kezdtek el használni. A dinamikus határfokok, tömegkihasználási tényezőjük sokkal kedvezőbb volt, mint a hagyományos konstrukció, azonban a kormányzásuk sokkal összetettebb volt és a hagyományos aszfaltos úton nem lehetett használni őket. Azonban némely specifikus helyeken, mint pl, a cukornád termesztés, rizs betakarítás esetén inkább ezeket használják, azonban sem rizs, sem a cukornád termesztés nem igazán jellemző Európára. Esetleg Olaszországban lehet beszélni rizs termesztésről, elég csak a rizottó-ra gondolni [8].

A gumihevederes hajtásokról először Evans és Gove számolt be 1986-ban. Az acélbetétekkel rendelkező gumihevederek támasztó görgői merevek vagy pneumatikus rendszerűek lehetnek. **A gumihevedernek az előnye, hogy korlátozottan, de megengedi a közúti közlekedést**, azonban **fordulásoknál erőteljes koptató igénybevételnek** vannak kitéve [8].

Taylor és Burt 1975-ben bemutatott kísérlete lehetővé tette, hogy megalkossák az új járószerkezet típusát, azt figyelték meg, hogy a talajfelszín kisebb része van összenyomva a mezőgazdasági munkák során. A talajnyomás mérése nehézkes, ezért ilyen esetekben **átlagos talajnyomást** szoktak használni, ez látható a (1) összefüggésben [5].

$$p_{av} = \frac{m}{2 \cdot b \cdot l} \quad (1)$$

A téglalap keresztmetszett sokkal kedvezőbb, mint a pontnyi terhelés az abroncsos traktorok esetén. Bashford 1988-ban bemutatott vizsgálata szerint, a gumihevederes járószerkezet által okozott talajszerkezet változás sokkal kisebb, mint a négy kerekes hajtások esetén. Azt kaptuk eredményül, hogy **adott vonóerő eléréséhez, kisebb traktor tömegre van szükség**. Ezáltal csökken a talajra eső függőleges terhelés [5].

1988-ban Culshaw számolt be először a gumihevederes hajtás vizsgálati kialakításáról. Egykerekű vizsgáló berendezésekkel végeztek összehasonlító méréseket. Ezt láthatjuk a **7.Ábrán**, ahol azt látjuk, hogy azonos traktor tömeg mellett kedvezőbb volt, a vontatási tényező és határfok. A kerékcúszás is kisebb volt, így kisebb talajromboló hatás keletkezett. A vizsgálat azt támasztja alá, hogy érdemes ezekkel foglalkozni, főleg robottraktorok esetén, hiszen ott alapvetően, a traktorok össztömege kisebb, mint a hagyományos esetekben [5].

Sorszám	Terület	Talajtípus	Nedvesség-tartalom [%]	Járószervezet típusa	Függőleges terhelés [t]	Gördülési ellenállási tényező	Maximális vontatási hatásfok [%]	Vontatási tényező a max. hatásfoknál	Kerécsúszás a max. hatásfoknál [%]	Vontatási tényező 10%-os kerécsúszásnál	Vontatási tényező 20%-os kerécsúszásnál
1.	Tarló	Homokos agyagos vályog	7,8	Gumihevederes Kerekes	3,0 3,0	0,10 0,08	76 73	0,46 0,35	7	0,51	0,57
									10	0,35	0,48
2.	Szántó	Homokos agyagos vályog	9,9	Gumihevederes Kerekes	3,0 3,0	0,18 0,18	62 63	0,42 0,39	10	0,41	0,49
									9	0,40	0,45

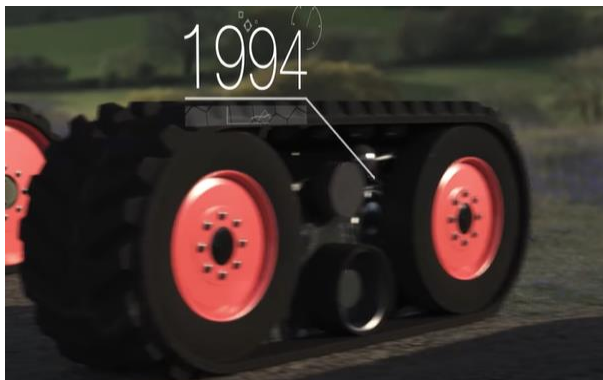
7.Ábra: Gumihevederes és kerekes traktor táblázatos összehasonlítása

A németországi Claas vállalatnak is megvan a maga gumihevederes konstrukciója, ami eléggé régre nyúlik vissza, ezt láthatjuk a **1.Táblázatban**. Az első típus 1987-ben jelent meg és a mai napig használják ez a „Claas Terra Trac” rendszer [7].

1.Táblázat: Terra Trac fejlődése a kezdetektől fogva



1987-ben bemutatott modell, itt több támasztógörgőket használtak [7].



1994-ben bemutatott modell, itt már kevesebb, de nagyobb támasztógörgőket használtak [7].



1997-ben bemutatott modell, a hajtó tárcsák geometriája jelentősen átalakult, a támasztógörgők felfüggesztése is átalakult [7].



A támasztógörgők felfüggesztése csuklósan lett kialakítva, így már jobban le tudta követni a heveder a talaj egyenetlenségeit [7].

A legújabb modell az alábbi funkcióval rendelkezik: [7].



- Hidropneumatikus felfüggesztés
- Kerekek és támasztógörgők független felfüggesztéssel
- „okos felfüggesztés” 120 mm-es lökettel
- Maximális sebesség 40(km/h)

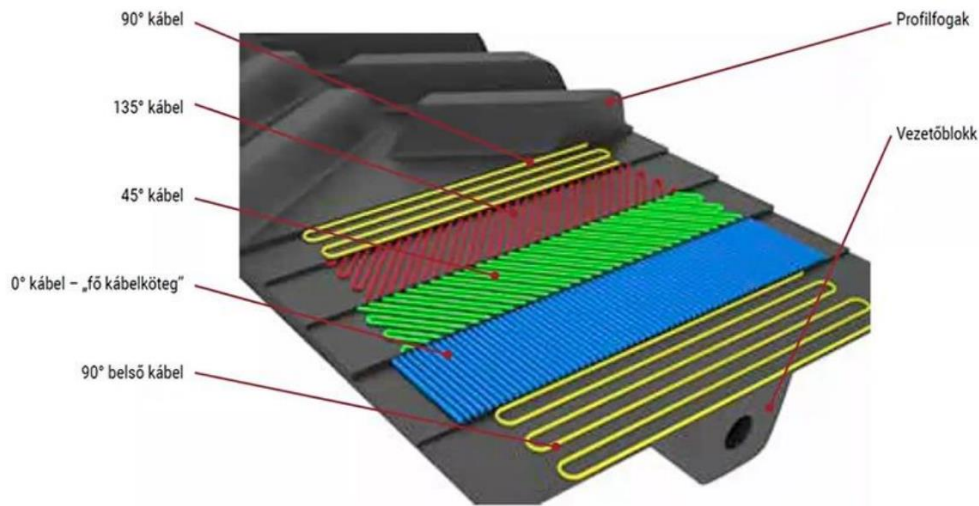
Ami újdonságként hangozhat, az maga a **hidropneumatikus rendszer**.

A francia vállalat, **Citroën által kifejlesztett rugózási rendszer**, amely egy nagynyomású gázt (nitrogént) használ rugózó közegnek. Az egyszerű légrugókkal ellentétben itt a kerekek mozgását nem mechanikus kapcsolat, hanem maga a hidraulika folyadék közvetíti a gáztér felé, ez azt eredményezi, hogy a két közeget membrán választja el egymástól [20].

3.3.2. Gumihevederes hajtás bevezetés

A gumihevederes járószerkezet (lásd **3.Ábra**), számos előnnyel rendelkezik a hagyományos kerekes járószerkezethez képest. A kerékabroncsos esetben a traktor össztömege kerekenként egy kis foltnyi területen, míg a gumihevederes konstrukcióban, akár több méter hosszan feszül a talajnak, teljes gumiheveder szélességben. Ez a felfekvő felületnövekedés a kerekes traktorhoz képest egy nagyságrendnél is nagyobb, gyakran akár $4 - 5 (m^2)$ is. A gumihevederes járószerkezeteken belül kétféle típust különböztetünk meg. Léteznek **erőzáró gumihevederek és alakzáró megoldások** [1], [8], [17].

A **8. Ábra** ismereti egy gumiheveder felépítését, látható, hogy többretegűből épül fel.



8.Ábra: Gumiheveder felépítése

Megfigyelhető, hogy több erősítő kábelt tartalmaz a konstrukció. Amiknek a célja, hogy javítsa az abroncs mechanikai tulajdonságait. A kábelek irányultsága határozza meg, hogy az adott irányban, milyen erős lesz a heveder. **A profilfogak közül a „V” típus a leggyakoribb** azért, mert ez biztosít egy kedvező adhéziós kapcsolatot létesít a talajjal, ezt a „V” típust, láthatjuk a **8.Ábrán** [8].

3.4. Gumihevederes hajtás felépítése

Jelen fejezet ismerteti a két alaptípust (erővel és alakkal záró), a jelenlegi és **a fejlesztendő heveder típus az alakkal záró típus lesz**, a robottraktor esetén.

3.4.1. Erővel záró

A **9.Ábrán** látható egy erővel záró gumihevederes hajtás egy Claas Challengeren [9].



9. Ábra: Erővel záró gumiheveder hajtás egy Claas traktoron

Az lehet az első benyomásunk, hogy az erővel záró gumihevederes járószerkezetek a lánctalpas harckocsik hajtása alapján lett tovább fejlesztve. Úgy tűnik, hogy mindösszesen annyi különbség, hogy a lánctalp helyett egy gumihevedert hajt a traktor hajtókereke. Azonban, ez

korántsem igaz. A traktoroknál kísérleteztek, ugyan lánchajtással, szintén azért, hogy növeljék a felfekvő felületet, azonban a gumihevederes szerkezetek terjedtek el. **Az erővel záró gumiheveder egy laposszíjhajtással mutat leginkább hasonlóságot**, csupán a szíj oldalra való lecsúszását miatt a szíj közepén megvezetve. A hajtást a tengelyről ugyanis egy simább hengerpalástfelületű keréken keresztül, súrlódással adja át a hajtó kerék a gumihevedernek. Éppen ezért ezt a módszert súrlódásos erőzárásnak, angolul „Friction Drive” módszernek is nevezzük. Azonban érdemes azt is megjeleníteni, hogy van olyan eset is, hogy kerekes és az erővel záró heveder ugyanazon a traktoron van, ezt szemlélteti a **10.Ábra** [3], [8].



10.Ábra: Kerekes és erővel záró gumihevederes hajtás ugyanazon a traktoron Claas fejlesztés

3.4.2. Alakkal záró

Ebben az esetben nem egy feszített gumihevederről beszélünk, hanem egy profilos gumihevederről, amelyet belülről egy pálcás vagy gumifogazású hajtókerék hajt meg. Angolul ezt a típus („Positive Drive”) néven terjedt el. Ez hasonlít leginkább, a lánctalpas harcjárművekhez hajtásszerkezetéhez. Egy ilyen hajtással rendelkező traktort látunk a **11.Ábrán** [7-8], [17].



11.Ábra: Claas Traktor alakkal záró gumihevederes hajtás

A gumiheveder a kerekek pálcás kialakításába kapaszkodik, így történik az alakzárás és a heveder meghajtása. Mivel 4 heveder van egy traktoron így sokkal nagyobb a felfekvő felület, mind az erővel záró, mind a hagyományos kerekes esetben. Az egymástól különböző

felfüggesztések, jobban lekövetik a talaj egyenetlenségeit. Ilyenkor nincsen szükség sem előfeszítésre, sem azt üzemeltető hidraulikus egységre. Az alakzárásnak a másik előnye, hogy ilyenkor nem lép fel csúszás a heveder és a hajtott kerék között, ez különösen előnyös, főleg a nedves/sáros talajon való munkavégzés végett. A kanyarodás során, sokkal kisebb az oldalcsúszása, mint az erővel záró esetben, ami a fordulásoknál fontos. A kisebb csúszás és a kedvezőbb talajkapcsolatnak köszönhetően, nagyobb vonóerő kifejtésére képesek. A kedvező(bb) talajnyomot ismerteti a **12.Ábra** [7], [8].



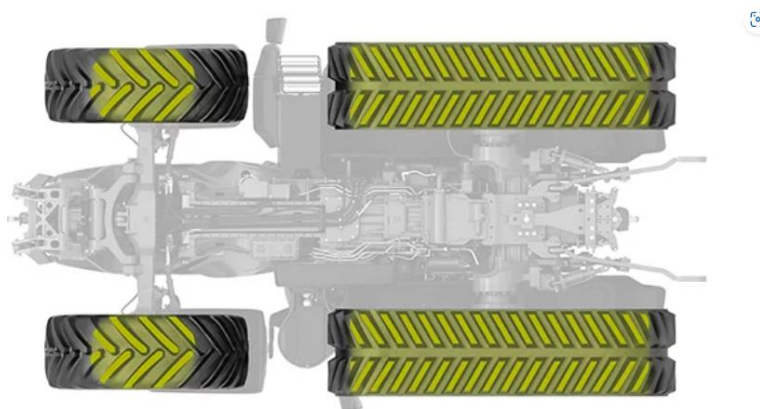
12. Ábra: Fordulókör összehasonlítása erővel és alakkal záró gumiheveder esetén

3.5. Gumihevederes hajtás összehasonlítása a hagyományossal

A mezőgazdászoknak egy új traktor vásárlása esetén, azt is kell mérlegelniük, milyen járás szerkezeti típust választanak. Jelen fejezet ismerteti a **hevederek előnyeit és hátrányait**.

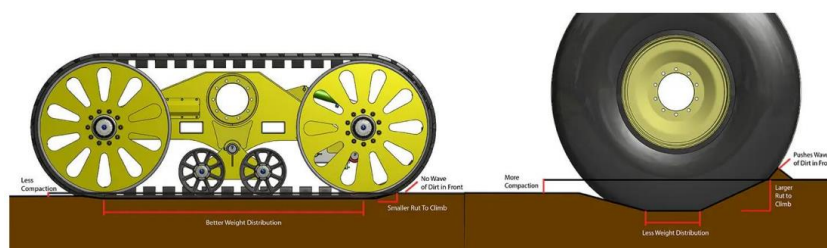
3.5.1. Előnyei

- Talajkímélőbbek a kerekes társaiknál, hiszen nagyobb a felfekvő felület és így a talaj fajlagos terhelése csökken. Ezt tökéletesen bemutatja a **13.Ábra**. Egy hagyományos és egy hevederes traktor felfekvő felülete van ismertetve [1], [8], [17].



13. Ábra: Felfekvő felületek összehasonlításán a két típus esetén

- Ugyanazon erőgép gumihevedereken keresztül nagyobb teljesítményt tud átvinni a talajra, így akár egy traktorral nehezebb munkagépcsoportot is el lehet vontatni vagy akár mélyebbre is lehet engedni a talajban, ha mondjuk egy lazítóról beszélünk [8].
- Másik előnyös tulajdonságuk, hogy nedves, sáros talajokon sokkal könnyebben közlekednek, kevésbé akadnak el, ami nagyon fontos, hiszen a mezőgazdasági munkák során, minden gépleállítás, súlyos veszteséget termel [8].
- A kisebb vagy közel nulla slip miatt, nem keletkeznek kidörzsölések a talajon, ezt a **14.Ábra** ismerteti, ami kedvező a talaj szerkezetére nézve. Látható, hogy sokkal kisebb a talajkárosodás és kisebb a csúszás és a keréknyom nagysága [5].



14.Ábra: Talajdeformációk hevederes és kerekes hajtások esetén

3.5.2. Hátrányai

Ahogy a műszaki életben ismert, a sok előnyös tulajdonságoknak, vannak hátrányai, ezeket is mérlegelni kell az új erőgépek beszerzése előtt. Az egyik legfontosabb hátrány, hogy szilárd burkolatú úton-azaz nem földúton-, relatív nagy sebességgel(!), akár 40-50 $\left(\frac{km}{h}\right)$ nem célszerű használni [8]. **Kiemelnék 2 okot.**

- Az egyik, hogy a szíjon elhelyezett külső bordák nagy mértékben melegek, főleg forró nyári napokon, ez az erőteljes **koptató hatás** negatívan befolyásolja a heveder élettartamát, főleg kanyarodáskor [7-8].
- A másik ok pedig, hogy a nagy sebesség miatt nagy **szíjfrekvencia** jelentkezik a hevederen, ami az anyag fáradásához, öregedéséhez vezet, akár idő előtti tönkremeneteléhez vezet [7-8].

Ahogy a szíjhajtásoknál, legyen az erővel záró, alakkal záró, vagy egy kompozitot tartalmazó szíjról legyen szó, a túl nagy szíjfrekvencia okozza az egyik leggyakoribb meghibásodást. A kompozitos szerkezet valamilyen mértékben kompenzálja az előbb említett hátrányokat, azonban ez exponenciálisan megnöveli a költséget. Egy gumiheveder költségesebb, mint egy gumiabroncs [8].

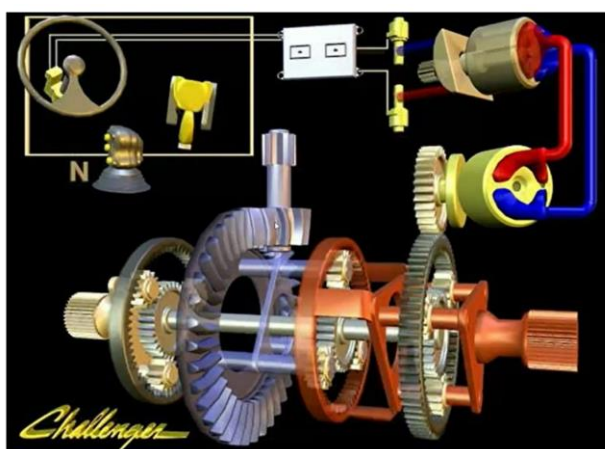
Egy csúcs kategóriás gumiheveder ára 3,5 millió forintba kerül ma. Az üzemóra használatától és igénybevételtől függően 3000 és 6000 üzemóra között mozog [11].

3.6. Gumihevederes traktorok kormányzása

Jelen fejezet ismerteti a hevederek típusainak a kormányzásának a működését, erővel és alakkal zárás esetén.

3.6.1. Erővel zárás

A kormányzás hasonlóan a tankokhoz, a két oldali gumihevederek ellentétes irányba történő forgatása révén lehetséges differenciálkormányzással. Ez egy bonyolult bolygómű és fogaskerékrendszert, valamint hidraulikus rendszert tartalmaz, így egy komplex konstrukciót kapunk eredményül. A differenciál kormányzást, a **15.Ábra** ismereti. Látható, hogy ez egy komplex szerkezet, bolygóművekkel és kúpfogaskerekkel [8], [17].



15. Ábra: Differenciál kormányzás működési elve és a CAT Challenger traktor

3.6.2. Alakkal zárás

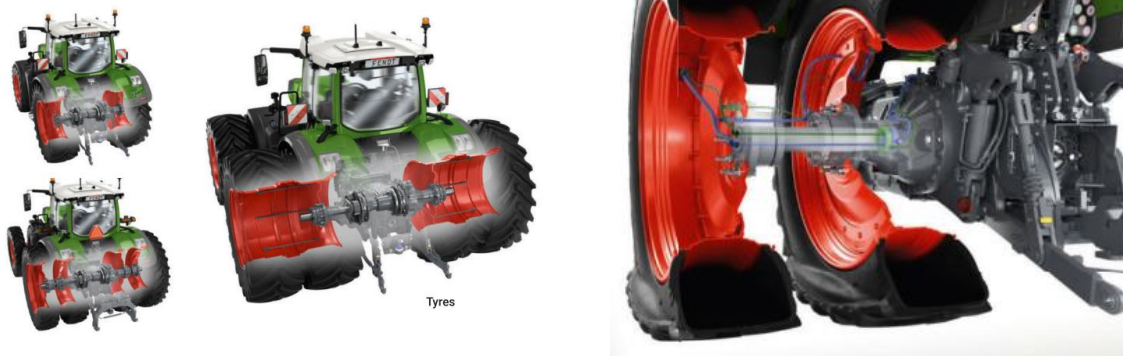
A kormányzása jelentősen más, mint az erővel záró konstrukcióban. Ebben az esetben **4 különálló gumihevederről beszélünk**, amely által megvalósítható a hagyományos kerekes traktorokra jellemző tengelycsonkkormányzás. A kormányzott kerék tengelycsonkjára a saját tengelye körül elfordítható, így a kerekek elfordításakor a nyomtávolság változatlan marad, nem lép fel akkora mértékű csúszás. Az összkerekes kormányzásnak az előnye, hogy relatív kis fordulási sugarat tesz lehetővé, ami több növénykultúrában lesz hasznos. A legtöbb mai gyártó, ezt törzscsuklós kormányzással teszik lehetővé. Ennek az egyik legnagyobb előnye, hogy elegendő egy forgáspontot kialakítani a traktor vázán, a gumihevederek párhuzamosan marad a traktortörzsszel. A működési elv hasonlít a négykerék meghajtású traktoroknál ismert működésre [3], [8].

Az egyidejű előre-oldalra haladást nevezzük „crab rendszernek”. A másik kormányzási típus az Ackermann féle kormányzás. A tengelycsonk kormányzás a közúti gépjárművek általánosan alkalmazott járműrendszere [21].

3.7. Taposási kár csökkentésének a lehetőségei

A mezőgazdasági tevékenységek során törekszünk a veszteségek minél inkább alacsonyan tartására, a munka során történő károkozás minimalizálására főleg, amikor a mezőgazdaságnak egyre több és több embert kell ellátni alapvető élelmiszerrel. Az egyik legnagyobb ilyen kár, amit maga a mezőgazdasági földmunka okoz, az erőgép tömegének talajra gyakorolt hatása, azaz a talajtömörítés, a termény növekedésének és életfeltételi szempontjából kontraproduktív. Az egyik kézenfekvő megoldás a kerekek számának növelése. Ezt láthatjuk a **16.Ábrán**, egy Fendt traktor esetén [3], [5].

Technical Details.



16.Ábra: A kerek számának növelése a nagyobb felfekvő felület érdekében Fendt traktor esetén. A traktor szélesebb lesz ugyan tőle, de a teljes tömeg jóval nagyobb területen oszlik el. Ikerkerekű és triplakerekű változatok is készültek, amik említésre méltók, de nem szabad arról sem elfeledkezni, hogy a növeléssel a nyomtáv megnehezíti, vagy nem teszi lehetővé a közúton való közlekedést. Másik megoldás a tengelyek számának növelése, erre láthatunk példát a **17.Ábrán** egy Fendt trisix traktor esetén. Az elérendő cél ugyanaz, növelni a felfekvő felületet több kerek által. Az alkatrésztöbbség és a méretnövekmény miatt ez nem igazán terjedt el, a fordulókör szempontjából sem előnyös, hiszen növeli a fordulókört [1], [3], [5].



17.Ábra: Tengelyek számának növelése Fendt traktor esetén

Kifejlesztésre kerültek növelt nyomtávolságú (3m, ami egy közúti sáv szélessége) traktorok is, amellyel a művelőutak ritkítása volt a közvetlen cél, arányaiban így is javítható a tömörített talaj részaránya [1], [3], [5].

A traktor tömegének csökkentésével is lehetne csökkenteni a taposási kárt, azonban ilyenkor azzal is számolni kell, hogy csökken a vonóerő. Ami nem célszerű, hiszen egyes mezőgazdasági munkák során, cél a minél nagyobb vontatási feltételek biztosítása, lásd **4. Fejezet**.

3.7.1. Konklúzió

Belátható, hogy a kerekek számának növelése nem hoz akkora plusz érintkező felületet, hogy egyértelműen megérje ezt alkalmazni, a kedvezőbb taposási körülmények ellenére, számos kompromisszumot kell kötni, így ezek nem igazán terjedtek el. A farmgazdaságokban, a hatalmas földterületeken könnyebb használni őket, mint a pár hektáros gazdaságokban, Európában ez nem igazán terjedt el [1].

A kerekek számának túlzott növelésével a traktor igen hamar méretkorlátokba ütközik, amitől a gép gazdaságossága lecsökken. Így a mezőgazdaság egyéb megoldás után kezdett kutatni. A harckocsik lánctalpának mintájára itthon az 50- es években megszülettek az első lánctalpas jároszerkezetű mezőgazdasági erőgépek is. A nagyteljesítményű nagy vonóerőigényű gépek hamar elterjedtek a hazai alkalmazásban, azonban a lánctalpas konstrukciókat kiszorította a gumihevederes hajtás. Lehetőség van az erővel zárást kombinálni a hagyományos kerekes konstrukcióval, egy „hibrid jároszerkezet” érdekében, ilyen felépítésű traktorok vannak a Claas vállalnál [1], [8]. Ez látható a **18.Ábrán**.



18.Ábra: Claas traktoroknál használt hibrid jároszerkezet

3.8. Robottraktorok

Természetesen még bőven vannak fejlesztési lehetőségek a mezőgazdasági erőgépek terén. Az egyik koncepció, hogy nem lenne sofőr, hanem egy előre leprogramozott úton menne végig a traktor. Azt érdemes megemlíteni, hogy a modern traktoroknál is megfigyelhető a nagyfokú automatizáltság, a traktor vezetőjének exponenciálisan kevesebb teendője van, mint pár évtizeddel korábban. Így nem kell annyira az ergonómiai követelményekre gondolni, így ezt meg lehet majd „spórolni” a traktornál. A holland cég, AGXEED, több típust és megoldási lehetőséget forgalmaz a robottraktorok alkalmazására, ezt fogja részletesen elemezni ezen fejezet. A típus az úgynevezett „AgBots”, amik több mezőgazdasági munka elvégzésére alkalmas [9].

A gyártó által fejlesztett/forgalmazott robotok az alábbi feladatok elvégzésére ajánlja:

➤ **Talajelőkészítés:**

15 (cm) mélységig, maximálisan $10 \left(\frac{km}{h}\right)$ mellett. Ez látható **19.Ábrán**.



19. Ábra: Talajelőkészítés robottraktossal

A hevederes járószerkezet látható a robottraktoron, látható, hogy lehet csatlakoztatni kultivátorokat is. Az üresjáratú tömege 7,8 tonna, míg egy John Deere 9RX-nek a tömege közel 26 tonna, így ebből arra lehet következtetni, hogy jelentősen csökkent a talajtömörítés. A szántás 15 cm mélyen valósul meg, így ez mélyszántolásra nem alkalmas. A haladási sebességet a gyártó szerint $0,1 \left(\frac{km}{h}\right)$ pontossággal lehet változtatni, a relatív csúszás pedig mindössze 2 (%) [9].

➤ **Magágykészítés**

A robottraktor alkalmas magágy készítésre is ezt ismerteti a **20.Ábra**. A haladási sebesség $11 \left(\frac{km}{h}\right)$, a képen egy 4 méter szélességű kultivátor van csatlakoztatva. A magágy készítés a mezőgazdasági műveleteknél, a vetés előtt van, előkészíti a talajt a vetésre. Azonban érdemes azt is megjegyezni, hogy Európában, az a cél, hogy a legtöbb mezőgazdasági műveletet egy menetben el lehessen végezni, ezzel is csökkentve a talaj terhelését [9].



20.Ábra: Magágykészítés robottraktossal

➤ **Vetés**

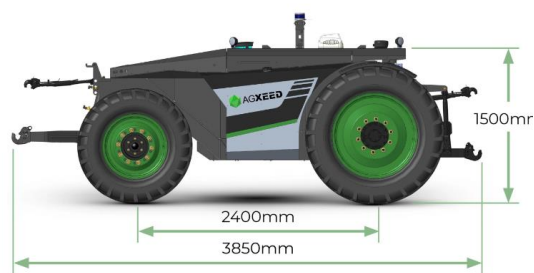
Ilyen robottraktossal lehet automatizálni, a vetési folyamatokat is, ezt ismerteti a **21.Ábra**. Az erőgép egy vetőgépet vontat maga után. Az elérhető haladási sebesség $8-11 \left(\frac{km}{h}\right)$. Az ilyen gépeket lehet hasznosítani az úgynevezett precíziós gazdálkodásnál is, a lenti ábrán egy sorba vető gépet láthatunk, a felhasználható munkaszélesség ugyanannyi, mint a hagyományos gépeknél [9].



21.Ábra: Vetés robottraktossal

➤ **Sorközművelés**

Az ilyen robottraktor képes a sorközművelésre is, amit szemléltet a **22.Ábra**. Ilyenkor a haladási sebesség $4 \left(\frac{km}{h}\right)$, ugyanis itt, a pontos munkavégzés fontosabb, mint a haladási sebesség. Ilyenkor az üzemanyag fogyasztása $3 \left(\frac{l}{h}\right)$, ami rendkívül kedvező, ami költségmegtakarítást fog eredményezni a gazdáknak [9].



22.Ábra. Sorközművelés robottraktossal

➤ Növényápolás

A robottraktorok alkalmasak, ültetvényekben való munkavégzésre is, ezt szemlélteti a **23.Ábra.** A gép egy 2.000 literes, egysoros gyümölcsös permetezőgép PWM szelepekkel és elektromos ventilátorhajtással. VRA és szenzorvezérlésű adagszabályozó. Az üzemanyag fogyasztás kedvező, $7,5 \left(\frac{l}{h}\right)$, almafák között volt használva a robottraktor, így a gyümölcsösöknél is használható ez a megoldás [9].



23. Ábra: Robottraktor az ültetvényes gazdálkodásban

3.8.1. Szenzorok

A holland cég által gyártott traktorok sok szenzorral rendelkeznek. Erre szükség van az automatizálás végett, adatok gyűjtése, kamerák és a biztonságos üzemeltetés végett is. Elég fejlett elektronikával rendelkeznek, jelen fejezet ismerteti a fontosabb technológiát is [9].

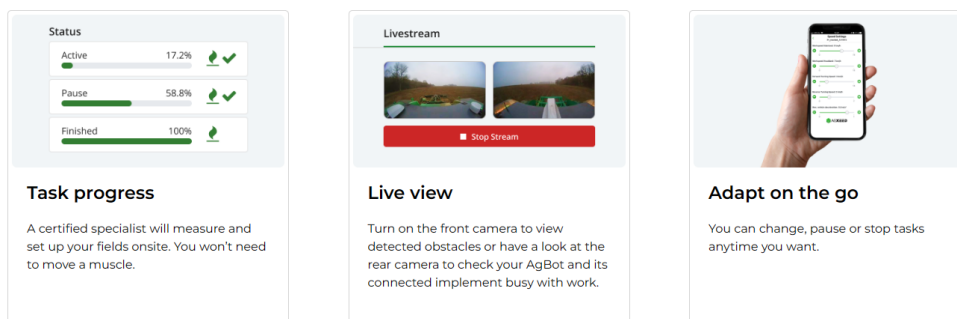
- LIDAR (Light Detection and Ranging), azaz lézer alapú távolságérzékelés.
- ISO BUS csatlakoztatási interface
- Biztonsági lökhárítóba integrált ultrahangos érzékelők
- Radar szenzorok
- A biztonsági lökhárítóba integrált érintésérzékeny lökhárító
- Védelmei és akadályfelismerő egységek
- Kommunikációs modul kétirányú adatvitelhez és RTK (Real Time Kinematic) korrekcióhoz
- RTK GNSS (Global Navigation Satellite System) pontos vezetés 2,5 cm pontossággal, ez jobb felbontású rendszer, mint némely prémium kategóriás autónál használt technika.

Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy a traktorok már nem csak csupán mechanikai rendszerek, mint pár évtizeddel korábban, egyre komolyabb elektronikával rendelkeznek, így egyre nagyobb ismeretre van szükség az üzemeltetésükhöz [9].

3.8.2. Robottraktorok előnyei a hagyományos traktorokhoz képest

A robottraktorok számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, aminek köszönhetően hamarosan egyre nagyobb arányban fognak elterjedni [9].

- A mezőgazdaságban vannak monoton és unalmasabb munkák is, amiket ki lehet váltani robotokkal és a munkaerő, addig tud párhuzamosan másfajta munkákat végezni
- Időben rugalmasak és erőforrásokat lehet kímélni
- Üzemeltetési költségek csökkennek, és kevesebb energia szükséges a fenntartásukra, ami főleg napjainkban, mikor az energetikai árak magasak, rendkívül előnyös
- A szoftver olyan adatokat is szolgáltat, amik pénzügyi szempontból segíti a gazdálkodó családot
- Adatok folyamatos gyűjtése, ezt szemlélteti a **24.Ábra**.



24.Ábra: Robottraktorhoz kapcsolódó alkalmazás

A gazdálkodó egy alkalmazáson tudja kezelni a robottraktort, ami elérhető mind, asztali számítógépen és mobil alkalmazásokon. A szenzorok által összegyűjtött adatok megjelennek a felhasználónál is, és ábrák segítségével szemlélteti az aktuális folyamatot [9].

3.8.3. A robottraktorok hátrányai a hagyományos traktorokhoz képest

Azonban a robottraktoroknak számos előnyös tulajdonságuk van, ezeket a gyártók és forgalmazók kiemelik, azonban nem szabad elfeledkezni sem a rendszer lehetséges hibáiról sem [9].

- Amennyiben robotok vesznek át, bizonyos mezőgazdasági munkát, akkor veszélybe kerülhet egyes emberek munkahelyes is
- A rendszer meghibásodhat és a fontos munkák idején, ez hatalmas kiesés lenne, míg újra helyreáll a rendszer és/vagy kiderkezik a szervíz
- A fejlett mechatronika miatt, a tanyán, hagyományos szerelő eszközökkel nem lehet szerelni, mindenképpen szükség van a szakszervízre

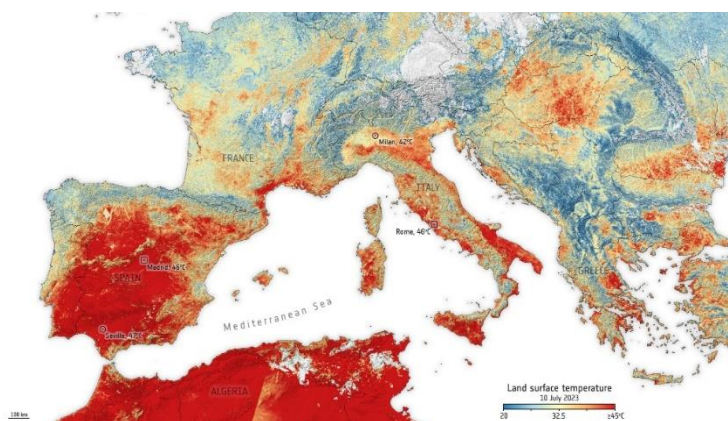
3.8.4. További indokok az alkalmazásukra

A másik indok az alkalmazásukra a **3.8.2-as fejezetekben** leírtak mellett, a **3.8.3.-as fejezetben** leírtak ellenére, hogy alkalmazkodni kell a szélsőséges időjárási viszonyokhoz is. Sajnos, nyáron egyre szélsőségesen meleg az időjárás, főleg Európa Déli részein, ami jelentősen megnehezíti a mezőgazdasági munkavégzéseket emberek számára, főleg a szántóföldön, ahol alig van árnyék. A **25.Ábrán** látható térkép **2023.07.10.-ei adatokat ismertet**i, látható, hogy nagyon sok a „piros” és „narancssárga” régió. Kímélve néhány városhoz tartozó értéket: [18].

Milánó: 42 °C

Róma: 46 °C

Sevilla: 47 °C

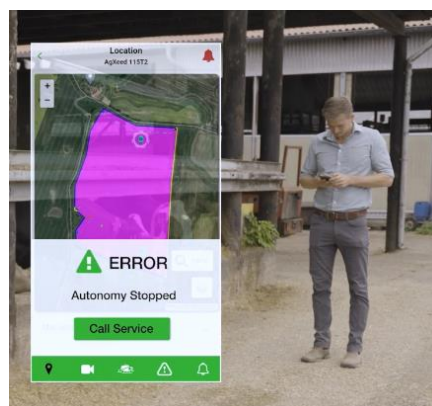


25.Ábra: Extrém nyári hőmérsékletek Európában

Ilyen kinti hőmérséklet mellett, az emberi szervezet számára nem egészséges a termőföldeken való hosszabb munkavégzés, emiatt érdekesebb ilyenkor az egyes mezőgazdasági munkákat már érdekesebb lenne robotokkal végeztetni, hiszen ők jobban ellen tudnak állni ezen viszontagságos körülményeknek. A legtöbb traktor rendelkezik légkondicionált vezetőfülkékkel, azonban, ha a benti és kinti hőmérséklet között 20 °C fok különbség, a traktorból ki be járkálás a hőmérséklet különbség miatt, nem egészséges a szervezet számára [18].

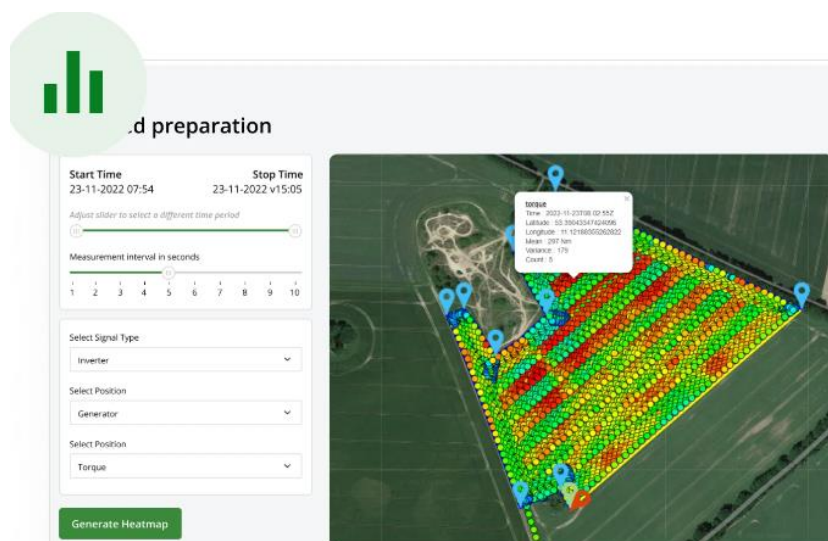
Az Agxeed, holland vállalat szerint az alábbi indokok miatt előnyösek a használatuk: [9]

Nem szükséges 0-24-ben felügyelni rendszert, egyes hiba esetén jelez a farmernek ez látható a **26.Ábrán**. Látható, hogy a gép pontos helye ismert és a program már kínálja a megoldási lehetőségeket a felhasználó számára, ehhez hozzáfér a szerviz is, akik így előzetesen fel tudnak készülni az esetleges javításokra [9].



26.Ábra: Esetleges hiba jelzése

- A mezőgazdasági munkák ütemezése rugalmas, a kezelő szoftver figyelembe veszi a váratlan körülményeket is.
- Precíziós gazdálkodásra tervezve, folyamatosan gyűjti az adatokat, ami alapján korrigálja az adott műveletet, ez látható a **27.Ábrán** [9].



27.Ábra: Robottraktor által gyűjtött adatok vizualizációja

A másik probléma, hogy ahogyan a **28.Ábrán** láthatjuk, egyre jobban előregszik a mezőgazdaságban dolgozó emberek. Aránylag sok az idősebb ember, még fiatal is alig van. Ez annak tudható be, hogy egy mezőgazdasági munka sokkal nehezebb, mint a kényelmes irodákban való munkavégzés, így egyre kevesebben választják ezt a szakmát. A robottraktorok kétféle képen tudják segíteni az adott helyzetet [3].

- Amennyiben egyes munkafolyamatok automatizálhatóak, akkor kevesebb munkaerőre lesz szükség a mezőgazdaságba, vagy az adott munkaerővel többféle munkát tudnak elvégezni. Egyes munkák így párhuzamosíthatóvá válnak [9].
- A robottraktorok működtetéséhez szükséges technológia, jobban „kezére esik” a fiataloknak, sokkal otthonosabban mozognak az ehhez hasonló alkalmazások kezelésében. Emiatt esetleg hátha egyre több pályakezdő választja a mezőgazdaságot [3].



28.Ábra: A mezőgazdaságban dolgozó emberek életkorainak az aránya

4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK VIZSGÁLATA

A következő lépés, hogy végig kell gondolni a tervezési szempontokat, amik ebben a fejezetben ismertetve lesznek. Ezek elengedhetetlen elemei a folyamatnak, ugyanis ez erre mindig szükség van eredményes konstrukció érdekében. A mezőgazdasági gépeknél nemcsak a műszaki követelményekre kell gondolni, hanem az agrotechnikai követelményekre.

4.1. Követelményjegyzék

Jelen követelményjegyzék tartalmazza azokat a szempontokat és kritériumokat, amiket a kapcsoló szerkezetnek teljesítenie kell, **ellenkező esetben a termék nem lesz megfelelő!**

Jelen fejezet a járószerkezethez tartalmazó fontosabb követelményeket ismerteti, agrotechnikai és műszaki szempontok alapján, ugyanis mivel nincsen traktorvezető az ergonómiai követelmények nem számottevőek.

4.1.1. Agrotechnikai követelmények

A mezőgazdasági munkák eredményes elvégzése érdekében, több követelménynek kell teljesülni, hiszen az a célunk, hogy a terményben és a talajban minél kisebb kárt okozzunk, mert az szolgáltatja a bevételi forrást a gazdák számára [1], [3], [5], [6].

- **A különböző talajmunkák során** (mint például a mélylazítás, szántás, magágy készítés, szántáselmunkálás) **igénylik a legnagyobb vonóerő kifejtést**, viszonylagos kis haladási sebesség mellett. Járószerkezetnek biztosítani kell az ehhez szükséges vonóerőt, közel állandó haladási sebesség mellett.

A talajmunkák és a közúton való haladási sebesség között nagy különbség van, ezért olyan motorra vagy váltószerkezetre van szükség, ami biztosítani tudja ezt a követelményt.

- **A gazdaságos közúti szállítás** megkívánja, akár a $40-50 \left(\frac{km}{h}\right)$ közúti sebességet is, de azonban használni kell jelző berendezést, hogy felhívja a többi közlekedőt a lassú járműre, Franciaországban ezt például szigorún ellenőrzik.
- **Az optimális sebességtartomány szűk** és jelentős vonóerő különbségek is kialakulhatnak egy táblán belül, amit figyelembe kell venni a tervezés során.
- A mezőgazdasági gépeknél használják az úgynevezett **RTK** (Real Time Kinematics) rendszert, ami a GPS-hez képest sokkal pontosabb rendszer, ugyanis a traktorok 2 (cm), pontossággal követik az adott pozíciót, **amit felhasználva csökkenthető a felesleges talajtaposás és nyomon követhető a traktor által megtett út.**

4.1.2. Műszaki követelmények

A következő követelmény csoport, a műszaki és konstrukciós követelményeket tartalmaz, amit szintén teljesíteni kell a járászerkezetnek. Az itt ismertetett paraméterek jelentik sok esetben a felső határt a konstrukciónál, mint pl. a nyomtávolság, mert a közúton való közlekedéshez, nem haladhatja meg a traktor ezt a szélességet [1], [3], [5], [6].

- A geometria méretek megválasztása is fontos, hiszen **el kell férnie közúton is, egy közúti sáv 3 (m)**. A szélesség mellett még fontos a nyomtávolság, tengelytávolság. Például a szőlőültetvényeken használt traktorokon, kisebb ez a távolság, mint a hagyományos traktoroknál.
- **A traktor tömegét a lehetőség szerint csökkenteni kell**, mert alapvetően nagy tömegűek ezek a mezőgazdasági erőgépek, ami jelentős igénybevétel az úttestre és a talajra nézve.
- A mozgási geometria jellemző, mint például a **fordulókör sugár** is fontos szempont, annak érdekében, hogy minél kisebb körben meg tudjunk fordulni.
- Figyelembe véve a szállítás és a munkavégzés közti sebesség és vonóerő különbséget, valamint azt, hogy ezeket milyen arányban végzi egy traktor az életciklusa során, a meghajtás áttétele, a váltó kialakítása is ezzel összhangban kell, hogy legyen.
- **A termőföld érdeke, hogy a rá ható súlyerő minél alacsonyabb legyen**, azonban a nagy vonóerőt igénylő talajmunkák megkövetelik a nagy erőgép tömeget, különben az elvégzett munka határfoka csökken. Átgondolandó a pótsúlyozás lehetősége, valamint az egyes tengelyekre jutó össztömeg aránya is.

A dolgozatban szereplő robottraktornál lévő előzetes követelmény, hogy a járászerkezet sokkal rugalmasabb jelen, mint a jelenlegi konstrukció és hatékonyabb legyen, mint az eredeti konstrukció. Ez az **alapvető követelmény**.

Az „óhaj” követelmények közé tartozik, mint például a traktor tömegét csökkenteni, anélkül, hogy csökkenne a vonóerő. Ezt el lehet írni, az adott gépelemek geometriai optimalizációval.

4.2. Funkcióstruktúra

A funkcióstruktúra segítségével átlátható lesz a teljes szerkezeti konstrukció, hiszen itt az eltérő szintek **hierarchikusan elkülönülnek** egymástól [1], [3], [5], [6].

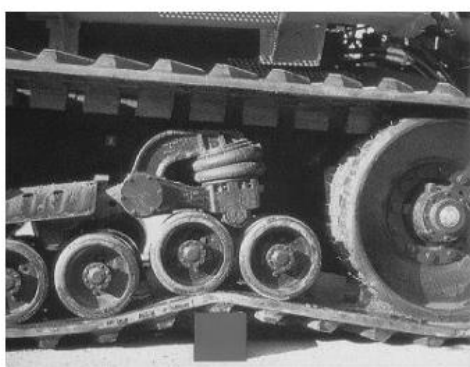
Jelen fejezet, csak a **legfontosabb funkció szinteket** elemzi.

➤ **Főfunkció: Megteremteni a traktor és a talaj közti kapcsolatot**

Ez a járószerkezet alapvető feladata, ez nem tér el a gumihevederes hajtásoknál sem. Maga a kapcsolatot a **8.Ábrán** bemutatott heveder biztosítja. Jelen esetben egy alakkal záró gumihevederes konstrukció vizsgálata cél.

➤ **Főbb-mellékfunkció: Talaj és járószerkezet közötti kapcsolat létrehozása, megfelelő rugalmasság biztosítása**

A gumihevederes hajtásnak az egyik fő funkciója, hogy a gumiheveder létrehozza a kapcsolatot a talaj és az erőgép között. Így egy abrazív kapcsolat jön létre. A támasztó görgőket felhasználva, biztosítható egy kellő rugalmasság, ezt ismereti a **29.Ábra**. Ezzel tudjuk követni a talaj egyenetlenségeit [5].



29.Ábra: Támasztó görgők szerepe a hevederes járószerkezetben

➤ **Mellékfunkció: A motor nyomatéka és fordulatszámának továbbítása a hevedernek**

A behajtást a pálcás fogazású hajtótárcsa biztosítja, ez látható a **30.Ábrán**. Azonban, ennek az elhelyezése nagyban befolyásolja, hogy a járószerkezet milyen körülmények között tudja biztosítani a talajkapcsolatot [5].



30.Ábra: Hajtótárcsa alakkal záró hevederes hajtás esetén

➤ **Tovább nem bontható funkciók: Rugalmasság biztosítása**

A járószerkezet felfüggesztése nagy mértékben befolyásolja, hogy a talaj egyenetlenségeit miképpen tudja kiküszöbölni a heveder [5].

5. TERVEZÉSI ÖSSZEFÜGGÉSEK, PARAMÉTEREK VIZSGÁLATA

Jelen fejezet ismerteti, hogy milyen peremfeltételekre, összefüggésekre van szükség, amiket figyelembe kell venni a gumihevederes hajtások fejlesztésénél. Ez ugyanis, több mindentől függ, mint a talajra ható erőhatások, gördülési viszonyok a hajtásrendszerben, talajnál fellépő csúszási viszonyok [6].

5.1. Üzemeltetési körülmények

A gumihevedereket főleg a mezőgazdaságban használják, a hasonló szerkezetet a láncalpat a hadsereg használja a tankok esetében, ahol a korábban leírt hátrányok azon körülmények között nem mérvadó. A talajszerkezet változhat regionként, másfajta a talaj Szabolcs megyében, mint Csongrád megyében. A fejlesztésnél erre is gondolni kell, amit úgy tudunk megvalósítani, hogy az adott szerkezet minél rugalmasabban viselkedjen a terhelésre. A közúton való használat csupán relatív alacsony sebesség mellett elérhető, azonban ezt inkább a farmokon használják és ritkán mennek ki a közútra vele. Azonban a mezőgazdaságban arra is számolni kell, hogy az időjárásnak jelentős szerepe van. Az autóknál ritkán(abb) kell azt is figyelembe venni, hogy a csapadék hatására nedves, sáros lesz a talaj és annak következtében megnő talajvíz mennyisége. Azonban a traktoroknál erre is figyelni kell, itt kap nagyobb szerepet a gumiheveder, ugyanis sáros, kevésbé ideális körülmények között jobban alkalmazható, mint a gumibroncsos változat. Ezt jól szemlélteti a **31.Ábra** [8], [17].



31.Ábra: Sárban elakadt kerekes traktorok

Az ehhez hasonló kevésbé ideális körülményekre sokkal megfelelőbb a gumiheveder, főleg az alakkal záró típus, hiszen nagyobb felfekvő felülettel rendelkezi. [8], [17].

5.2. Talaj nyomószilárdsága

Amikor egy mezőgazdasági erőgép a talajon halad, egy adott vonóerővel (F_v) vontatva a mezőgazdasági munkagépet. A járászerkezet **kétféle aktív erőhatással terheli a talajt**. A talaj többé kevésbé összenyomható, így a traktor terhelésével egy függőleges deformációval válaszol. A talaj nyomószilárdságát/ összenyomhatóságát **a talajnyomás görbével** lehet elsődlegesen jellemezni. A mérőeszközre utalva, ezt szokás **penetrogramnak** is nevezni. A penetrogram nyomás-deformáció értékpárjai hasonló jellemzői a talajnak, mint a talajmélység függvényében megadott térfogattömeg értékek. A talajmélység fontos paraméter, a különböző mezőgazdasági műveleteknél, mint pl. eltérő a mélység, magágykészítésnél és mélyszántásnál. Mindkét jellemzőpár tulajdonképpen a talaj sűrűségére, tömörségére jellemző adatokat szolgáltat, azonban a térfogattömeg a talajszemcsék geometriai elrendeződését írja le, addig a penetrogram (főként) a geometriai elrendezés dinamikai következményét ismerteti [6].

A penetrogram értékpárjai tulajdonképpen azt fejezik ki, hogy milyen függőleges deformációt szenvedne a talaj felszíne (és az alatta lévő rétegek), ha különböző nagyságú vertikális nyomóerők érnék [6].

Ezért a penetrogram alkalmas egyrészt egy adott tulajdonságú talaj nyomószilárdságának jellemzésére, másrészt pedig a talaj felszínét ért nyomóerőhatások hatásának leírására, vagyis ebből arra lehet következtetni, hogy alkalmas az abroncsterhelés talajra gyakorolt tömörítő hatás dinamikai szempontú jellemzésére [6].

A talaj nyomás-deformáció jelleggörbéjének mérőeszköze a penetrométer, ilyet láthatunk a **32.Ábrán** [3], [5-6].



32.Ábra: Modern penetrométer használat közben

5.3. Talajra ható hajtóerő

Az egyik legnagyobb terhelés a traktor tömege miatt létrejövő G erő, a másik erőhatás az pedig a járószerkezetre ható hajtónyomaték. Ami erőteljesen függ a traktor motorjától és a járószerkezet hasmagasságától.

Ennek hatására a talajon kialakul, a heveder görbülési ellenállása, másik a hevedert előre hajtó vízszintes hajtóerő. Ez látható egyszerűsített formában a (2) összefüggésben, bővebben kifejtve meg a (3) egyenletben [5].

$$P_h = F_s + F_a + F_n + F_k \quad (2)$$

Ezek alapján az alábbi konklúziót tudom megtenni:

A talajra ható hajtóerő függ, a keletkező súrlódási, abrazív, kerületi és a kompressziós erőtől. Annak érdekében, hogy több információt kapjunk, határozzuk meg a részletesebb összefüggést. Ezt láthatjuk a (3) összefüggésben [5].

$$P_h = \mu \cdot G + a \cdot (f_{kt} + f_{bt}) + c \cdot F_c + k \cdot f_{bk} \quad (3)$$

Az alábbi egyenlet segítség számunkra, hogy megértsük, miképpen függ a talajfelszínen ébredő hajtóerő. A talaj és az abroncs között ébredő súrlódási tényező függ a talaj típusától is. Az adhéziós erőt úgy lehet meghatározni, hogy megszorozzuk az érintkező felületek síkjában ébredő adhéziós feszültséget a köpeny és bordák talajjal érintkező felületének összegével. A nyíró erő nagysága függ a kohéziós feszültség és a nyírt felület nagyságától. A kompressziós erő pedig a kompressziós talajfeszültség és a bordák kapaszkodó felületének nagyságától. A (2) es összefüggésben szereplő különböző erőkomponensek közül kiemelem a súrlódási erőt, amely az abroncsra ható vertikális erőhatás és az adott talaj közötti Coulomb-féle súrlódási tényező következtében keletkezik, amely ezért nem függ az érintkező felületek nagyságától, ezért az alábbi erőkomponens mindenfajta talajon és mindenfajta üzemi helyzetben, járószerkezetben megjelenik. A **33. Ábra** ismereti a **statikus állapotban** ébredő nyomáseloszlást a talajban [1], [3], [5-6], [26].



33.Ábra: Függőleges terhelés hatására ébredő nyomáseloszlások

5.4. Nyomó és nyírófeszültségek meghatározása

A feszültség nagysága több mindentől is függ. Ezt jól leírja a (4) összefüggés is [5-6].

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) \cdot z^n \quad (4)$$

A vertikális nyomófeszültség és deformáció összefüggését célszerű kör alakú nyomófejvel vizsgálni. A (4) összefüggés alapján függ a talaj szerkezetétől (pórushányad) és a nedvességtartalomtól. Ezt a módszert Bekker dolgozta ki. Ez a gondolatmenetet több éven át használták az Egyesült Államok hadseregének kutató laboratóriumában. Azonban egy másfajta megközelítésre is van szükség, ami könnyebben értelmezhető és használható, ez az úgynevezett Szaakjan-féle formula, ez látható a (5) összefüggésben [5-6].

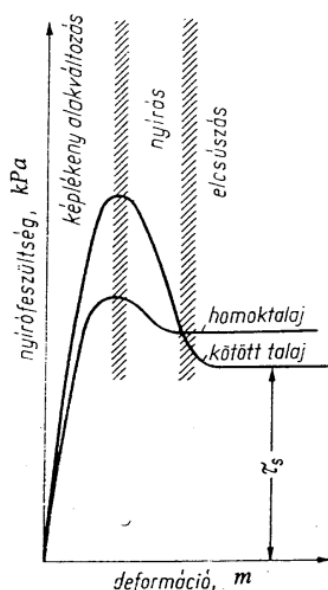
$$\sigma = k \cdot \left(\frac{z}{D} \right)^n \quad (5)$$

A feladat az is lehet, hogy adott nyomófeszültség esetén, mekkora az ahhoz szükséges benyomódás [5-6].

Adott járószerkezettel kifejezhető maximális kerületi erő, a talaj nyírószilárdságának függvénye. A nyírószilárdság kezdetben növekszik, majd azután hamarosan eléri a maximális feszültség értéket, ezután el kezd csökkenni, végül beáll egy súrlódástól függő és közel állandó értékre, ami szintén függ a talaj típusától. A maximális nyírófeszültség a (6) összefüggés alapján számolható [5-6].

$$\tau_{max} = c + \tau_s = c + \mu \cdot \sigma \quad (6)$$

A kohézió nagyságát főleg a nedvességtartalom és a pórushányad befolyásolja. A **34.Ábra** ismereti a talaj nyírófeszültségének alakulását a deformáció függvényében [5-6].



34.Ábra: Talaj nyírófeszültsége a deformáció függvényében

5.5. Mérési lehetőségek

Jelen fejezet ismerteti, hogy milyen lehetőségek vannak talaj mérésére, hogy olyan információkat kapjunk, ami fontos a járószerkezetek tervezésénél. A legtöbb mai mérőeszköz modern, digitális kijelzésű, az adatokat laboratóriumában tesztelik [1], [3] [5], [6].

Jelen fejezet ismerteti, hogy milyen különbségek vannak a gumiheveder és az abroncsos járószerkezet között. A méréseket nem én végeztem el, egy régebbi mérés eredményei lettek felhasználva, amiből majd egy konklúziót fogok levonni. A járószerkezet talajra gyakorolt hatásának vizsgálatára az alábbi mérések lehetnek megfelelőek: [6]

- Az erógép nyomképének elemzése fotók, profilográf segítségével
- A traktorok tömörítő hatásainak vizsgálata talajminták alapján, felhasználva egy talajtömörséget mérő műszert
- Traktorok kerék és/vagy tengely terhelésének meghatározása

5.5.1. Mikro-domborzati elmozdulások mérése

A mikro-domborzati elmozdulások méréséhez profilográfot szoktak alkalmazni. Azonban ez nem mindig megfelelő, sok esetben kedvezőbb a hagyományos és fényképes technikák használata. A traktorok dinamikus talajtömörítő hatását meg lehet határozni gumihevederbe helyezett műszerekkel vagy Vér-féle talajminta vevő készülékkel. A **35.Ábra** ismeretet profilozó berendezéseket, ahol jelen esetben egy abroncs által okozott deformáció jellegét lehet vizsgálni [5-6].



35.Ábra: Profilozó berendezések talajszerkezet vizsgálatára

5.5.2. Talpmérleg használata

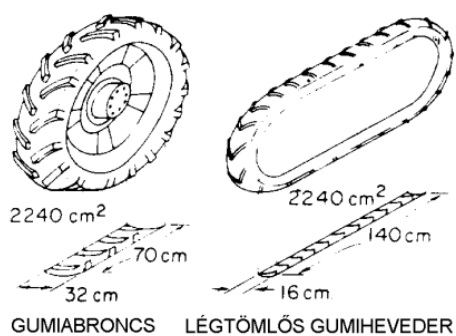
Ismerni kell a jároszerkezet/ traktor tömegét is, hogy az összehasonlítás megvalósulhasson, ehhez szükséges lesz egy úgynevezett talpmérlegre, ez látható a **36.Ábrán**. Az egyenletes terhelést úgy lehet biztosítani, hogy a nem mért jároszerkezetek alá a mérleggel megegyező vastagságú fapallót kell behelyezni. A jároszerkezeten belüli terheléseloszlást, a mérlegek adott szélessége miatt nem mindig lehetséges görgőtengelyenként lemérni. Ezt úgy lehet megoldani, hogy három, négy ill. öt mérleges méréssel lesz meghatározva a mérés, vagy minden egyes görgő alatt egy mérleg. [5-6].



36. Ábra: Talpmérleg a jároszerkezet tömegének meghatározására

5.6. Mérési eredmények konklúzió

A mérések során lehet vizsgálni az adott jároszerkezetnek a lenyomatát. A gumihevedernek általában nagyobb a felfekvő felülete, de amennyiben a két felület nagysága megegyezik, akkor is van különbség a talaj lenyomat és a talajtömörödés között. Ezt láthatjuk a **37.Ábrán** [5-7].

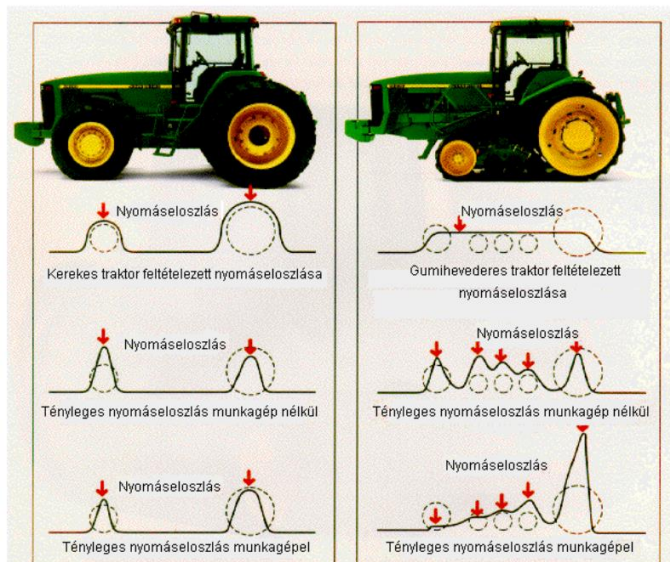


37.Ábra: Adott felfekvő felület és az ahhoz tartozó talajnyom

Ebből arra következtettek, hogy adott felfekvő felület esetén sokkal keskenyebb a lenyomat gumiheveder esetén, így a termény nagyobb hányada marad érintetlen és ezzel lehet csökkenteni a talaj taposás értékét. **A végső konklúzió, hogy adott vonóerő létrehozáshoz, kisebb talajkárosodás keletkezik** [5-6].

6. JÁRÓSZERKEZET KONSTRUKCIÓ

Jelen fejezet ismerteti, hogy milyen konstrukciós eltérés van a két járószerkezet típus között, ezt elemezve lehet meghatározni a fejlesztési irányelvet. A kerekes és a hevederes nyomáseloszlását szemlélteti a **38.Ábra** [3].



38.Ábra: Járószerkezet nyomáseloszlás

Azt látjuk, hogy az abroncsos traktor esetében a feltételezett nyomáseloszlás lokálisan nagyobb, míg a gumiheveder esetén az eloszlás sokkal egyenletesebb. Azonban önmagában az erőgép nem hasznos a mezőgazdasági munkavégzésre, mindenképpen szükség van egy munkagép vontatására. A gumibroncsos traktor esetén nagyjából arányosan változott a nyomáseloszlás, az erővel záró gumiheveder esetén azonban az eloszlás korántsem egyenletes és jelentősen megnőtt az érték, egy bizonyos szakaszon [5-6].

6.1. Gumihevederes hajtás, gördülési viszonyok

A konstrukció továbbfejlesztésének céljából ismerni kell a gördülési viszonyokat, amik a mezőgazdasági munkák során keletkeznek, ebből lehet majd kiszámolni, a traktor vonóképességét, amit először Brixius határozott meg 1987-ben. Azonban ez csak a diagonál kerekes traktoroknál volt érvényes. A radiál abroncsok egyre nagyobb arányban jelentek meg a piacon, így végül Al-Hamad csoportja 1994-ben módosította az eredeti egyenleteket újabb tervezési konstansokkal, más néven koefficienssekkel [5-6].

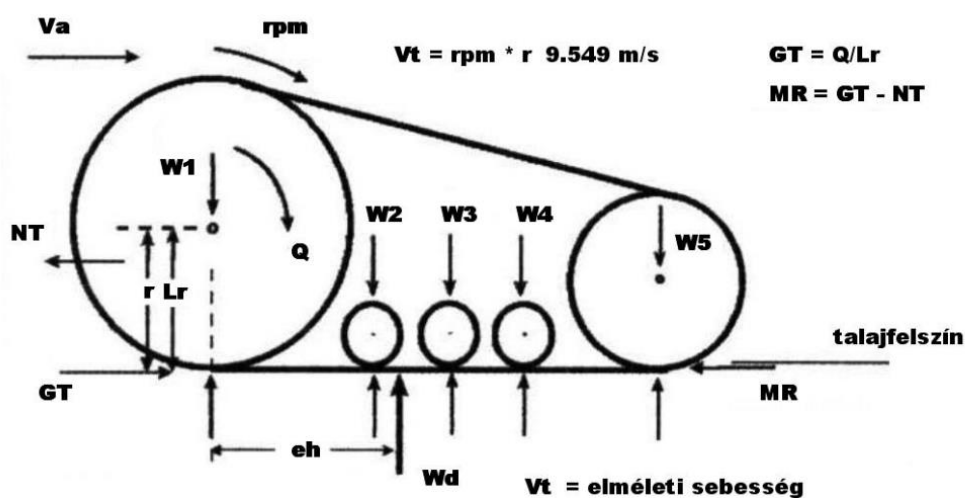
Az adhéziós tényezőt (GTR) és menet ellenállási tényezőt (MRR), a mobilitási szám (B_n) és kerékcsúszás (s) alapján lettek meghatározva dimenzió nélküli paramétereket felhasználva.

Kerékcúszás azt adja meg, hogy mekkora csúszás lép fel a járószerkezet és a talaj között, cél, hogy ezt az értéket minél alacsonyabban tartsuk, ezzel is csökkentve a talajon keletkezett káros hatást, amit a (7) összefüggés alapján lehet számolni, ez egy százalékos érték [5-6].

$$s = \frac{v_t - v_a}{v_t} \quad (7)$$

A 39.Ábra ismerteti a gördülési viszonyokat a gumihevederes hajtás esetén. Látszik, hogy a támasztógörgők a hevedert jobban megvezetik, így ezáltal kedvezőbben követi le a talaj egyenlenségeit [5-6].

Gumihevederes járószerkezet gördülési viszonyai



39.Ábra: Gördülési viszonyok a gumihevederen

A szántóföldi méréseredmények feldolgozásához 6 db **koefficienst** ($C_1 - C_6$) és 2 db **konstanst** használnak, ezek egy korábbi mérés során lettek meghatározva, az eredményeket látjuk a 40.Ábrán.

Koefficiensek és Konstanstok	Diagonál abroncsok (Brixius, 1987)	Radiál abroncsok -Hamad et al, (1994)	Gumiheveder (Grisso et al, 2003)
K_1	5	5	5
K_2	3	3	6
C_1	0,88	0,88	1,20
C_2	0,10	0,08	0,025
C_3	7,5	7,0	17,0
C_4	0,04	0,03	0,03*
C_5	1,0	1,20	1,75*
C_6	0,5	0,5	0,5

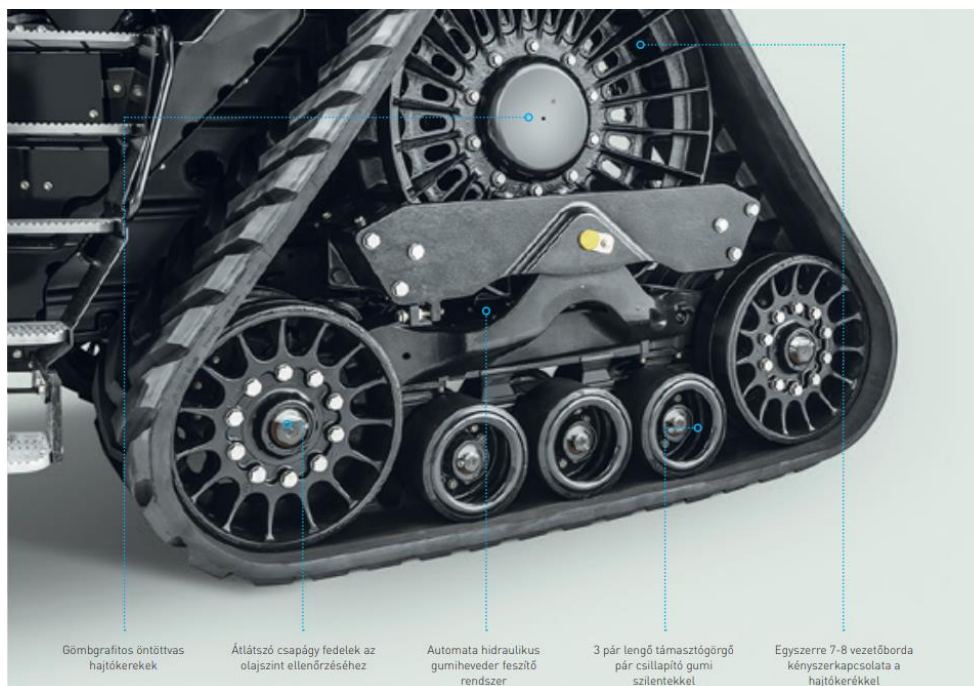
c

40. Ábra: A szántóföldi mérések feldolgozásához szükséges együtthatók táblázatosan

A vontatási hatások a DWI, azaz dinamikus tömegtényező legnagyobb értékénél éri el a maximumát. A dinamikus tengelyterhelési tényező, DWR=1, akkor jön létre, amikor a traktor tömegeloszlása elől és hátul ugyanakkora [5-6].

6.2. Gumihevederes hajtás felépítése

A gumihevederes hajtás felépítése egyes gyártónkként eltérő lehet, lásd bővebben **7.2-es Fejezet**, ebben a fejezetben a New Holland T8-as traktorhoz tartozó gumihevederes hajtás felépítése lesz ismertetve, amit a gyártó „SmartTrax” rendszernek nevez, ami elmondásuk szerint egyenetlen terepen az alváz képes elfordulni **a talajfelszín minél pontosabb lekövetéséhez**. A **41.Ábra** alapján lesz ismertetve a gumihevederes hajtás [13].



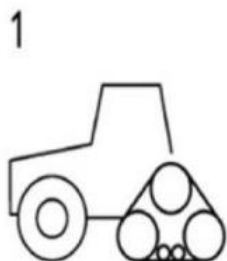
41.Ábra: Gumihevederes hajtás New Holland T8 traktor esetén

Kiemelném az alábbi fontosabb hajtáselemeket:

- A hajtókereken egyszerre 7-8 borda van aktív kapcsolatban a hevederrel, így sokkal megbízhatóbb hajtást kapunk eredményül, hiszen több felület van egyszerre kapcsolatban, így **az alakzárás biztosítható**.
- 3 db lengő **támasztó görgővel** rendelkezik, ami tartalmaz gumi szilentekkel is a jobb csillapítás érdekében. A támasztógörgőknek az is a szerepük, hogy a hevedert megvezetve, a talaj lekövetése minél pontosabb legyen.
- Automatikus hidraulikus gumiheveder feszítő berendezés, a nagy erő kifejtése miatt van szükség hidraulikus rendszerre. A másik előny, hogy **a hidraulika olaj tartályban könnyen tárolható**.
- Fontos a megfelelő **olajsínt ellenőrzés** is, ezért a csapágyfedelek átlátszó anyagból készülnek.
- A hajtókerek gombgrafitos öntöttvas anyagokból készülnek, az öntésre a megfelelő sorozatgyártásra való alkalmasság miatt van szükség.

6.3. Hevederes traktorok kormányozhatóság

A gumihevederes traktoroknál általában három fajta kormányzási módot használnak, jelen fejezet mindegyikre hoz egy-egy példát a hevederes traktorok esetén [1], [3], [5], [21]. A **42.Ábrán** látható az Ackermann kormányzásra egy példa, ilyen csak a hátsó kerekeken van a gumiheveder, az elülső tengelyen gumiabroncs van. Ilyet láthatunk egy New Holland T8-nál.



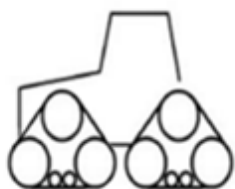
Fél gumihevederes
Ackermann korm.



42.Ábra: New Holland „hibrid” járásrendszer

A gumiheveder azért van a traktor hátsó részén, mert a traktor tömegének nagyobb százaléka oda csoportosul, így ott mindenképpen csökkenteni kell a talajon lévő felületi nyomást.

A **43.Ábra** ismerteti, hogy az Ackermann kormányzást meg lehet valósítani 4 gumihevedert felhasználva. A John Deere a 8RX traktor esetén használja ezt a technológiát [1].



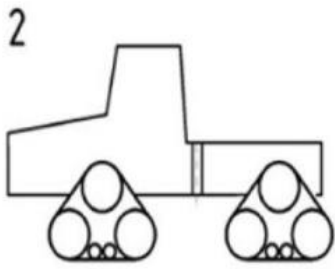
Ackermann korm.



inkl. PowerGard Protection Plus

43. Ábra: John Deere 8RX Ackermann kormányzás

A **44. Ábrán** pedig egy törzscsuklós kormányzást láthatunk, első ránézésre hasonlít a **43.Ábrán** bemutatott elrendezéshez. Azonban a John Deere a legerősebb piacon lévő traktorukhoz a 9RX-hez, már másfajta kormányzási elvet használnak. Ez az úgynevezett törzscsuklós kormányzás, ami így jobb manőverezési képességeket biztosít a traktor számára [1].

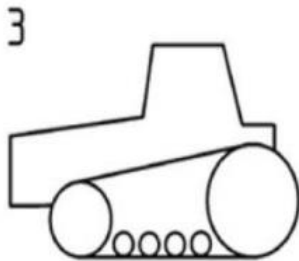


**Négy gumihevederes
Törzscsuklós korm.**



44.Ábra: Törzscsuklós kormányzás John Deere 9RX traktor esetén

A véglehajtásos kormányzásra (erővel záró gumiheveder) láthatunk egy példát a **45.Ábrán**, ez a korábbi fejezetekben tárgyalt erővel záró gumihevederes hajtásnak felel meg, az irányítása a tankokkal mutat párhuzamot [1].



**Teljes gumiheveder
Véglehajtás korm.**



45.Ábra: Véglehajtás kormányzás John Deere 9000T modell esetén

A **46.Ábrán** pedig egy robottraktorhoz tartozó hevederes elrendezést láthatunk, ennek az a különlegessége, hogy képes nagyobb akadályokat, lásd padka leküzdésére. A támasztógörgők itt is kellő rugalmassággal rendelkeznek a heveder megvezetésére [25].



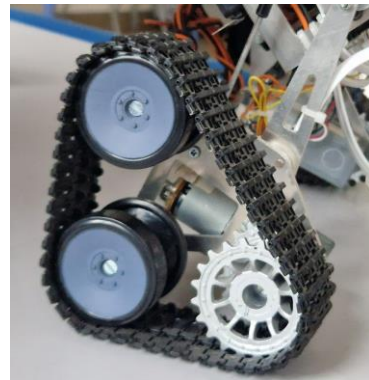
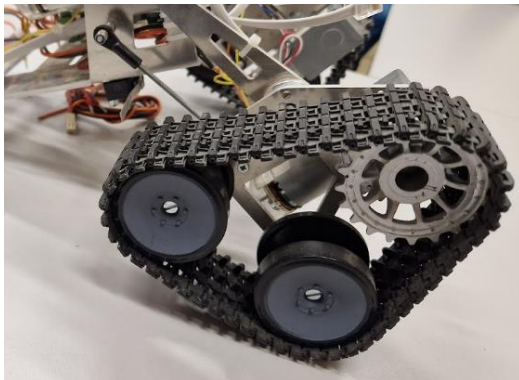
46.Ábra: Robottraktorhoz tartozó járászerkezet elrendezés

7. TOVÁBB FEJLESZTETT ÉS JELENLEGI KONSTRUKCIÓ ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Ahogy láthattuk, a gumihevederes hajtások egy relatív újabb technológia a gumibroncsos traktorokhoz képest. Jelen dolgozat során eddig elemeztük a szakirodalmat, be lett mutatva a tervezési szempontok. Összelettek írva az agrotechnikai, műszaki követelmények a fontosabb funkciókkal együtt. Vizsgáltuk, hogy a talajjal való kölcsönhatás során milyen erők, nyomó és nyírófeszültségek ébrednek. Röviden ismertette lettek, hogy milyen mérési lehetőségek vannak a talaj és járószerkezet kutatására/ ellenőrzésére. Elemezve lettek a konstrukciós szempontok, így úgy érzem, hogy most már rendelkezek egy alapszintű látókörrrel a témával kapcsolatban, így most már lesz lehetőség egy koncepció elkészítésére a dolgozathoz. Jelen fejezet ismerteti a kiindulási állapotot és hogy a nagyobb gyártók milyen elveket használnak, amit érdemes beépíteni a fejlesztési tervünkbe.

7.1. Jelenlegi hajtáslánc ismertetése

A jelenlegi robottraktorhoz tartozó járószerkezetet láthatjuk, a **47.Ábrán**, ezt szeretném továbbfejleszteni, annak érdekében, hogy a robot megfelelő(bb) hajtáslánccal rendelkezzen.



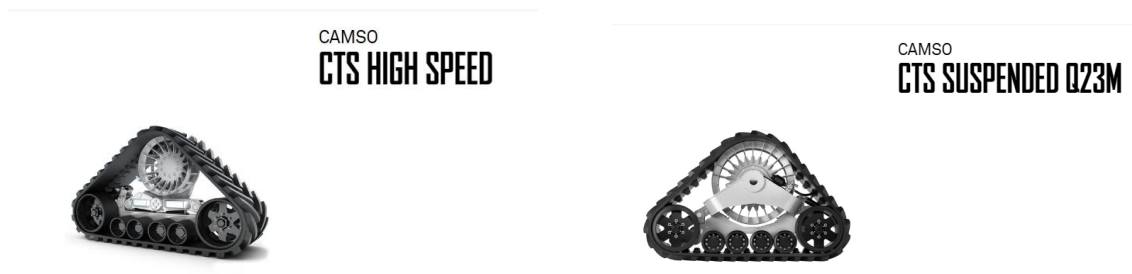
47.Ábra: Jelenlegi robottraktorhoz tartozó járószerkezet

A traktor négy ugyanilyen járószerkezettel rendelkezik, a traktort eredetileg, az egyetemen levő Mechatronikai Optikai Gépészeti Informatikai Tanszék fejlesztette, azonban a járószerkezet nem volt megfelelő, így továbbította a Gép-és Terméktervezés Tanszékre, továbbfejlesztés céljából. A traktort elemezve az alábbi összefüggést tudom megtenni:

- **Nincsenek támasztógörgők**, így a hevedert nincsi eléggé megvezetve, így a talaj egyenetlenségeit nem tudja annyira követni, nagyobb akadályba beleakadhat.
- **A hajtókeréknek az elhelyezkedése nem megfelelő**, mert **A kerekek mereven vannak rögzítve a lemezhez**, a járószerkezet nem rugalmas viselkedésű.

7.2. Piacon elérhető konstrukciók

Jelen fejezet elemez konkrét gumihevederes elrendezéseket, annak érdekében, hogy miket lehetne adaptálni a mostani traktorhoz. A Camso egy Kanadai vállalat, ami nem közúti „off road” gépeknek szolgáltat, különböző járószerkezeti típusokat. A **48.Ábrán** láthatunk a gyártó által forgalmazott hevederes járószerkezetet [10].



48.Ábra: Camso gumihevederes járószerkezet típusok

Camso a különböző heveder típusokat, eltérő feladatra és körülményre javasolja a használatát.

➤ **„CTS High Speed” típus:**

Nagy sebesség elérésére, akár $40 \left(\frac{km}{h}\right)$ sebességet is el lehet írni. 100 %-ban csavarozható szerkezet, integrált hajtással rendelkezik, főleg kombájnhoz javasolják [10].

➤ **„CTS Suspended Q23M” típus:**

Itt a felfüggesztési rendszerre helyezik a hangsúlyt, a gyártó nagyon kedvezőtlen talajállapotra javasolja a használatot. A nagy felfekvő felületet 65 %-kal kisebb talajnyomást eredményez. A hajtókerék nagy terhelések elviselésére képes [10].

A Camso olyan termékeket fejleszt, ami több gyártó traktorjára és kombájnjára kompatibilis, mint pl. a New Holland és Fendt típusokra [10].

7.2.1. New Holland

A New Holland gyártó által használt heveder típusokat láthatjuk a **49.Ábrán**. A gyártó szerint, a nagyobb és hosszabb felfekvő felület jobb kapaszkodást biztosít a laza, vagy elmunkált talajokon, mint a gumiabroncsos konstrukciónál. [13].



49.Ábra: New Holland SmartTrax

7.2.2. Claas

A Claas a Xerion 5000 típusra egy eléggé modern és megbízható gumihevederes hajtást fejlesztett ki, ezt láthatjuk a **50.Ábrán**. A járószerkezetnek az egyik nagy előnye, hogy mind a **négy heveder külön és külön kormányozható**. Az alábbi Xerion traktor két kormányzott tengellyel van ellátva [11], [14].



50.Ábra: Claas Xerion 5000 Gumihevederes hajtás

Ez a járószerkezet, akár 10 °-ban is elfordulhat, és lehetővé teszi a támasztó görgők oldal irányú elmozdulását, így alkalmazkodik a talajviszonyokhoz és a meredekebb lejtőn való közlekedésre is. A gyártó szerint ezzel el lehet írni egy sokkal nagyobb vonóerőt, a heveder élettartama intenzív terhelés esetén 3500 és 4000 üzemóra között van. Amennyiben a traktor naponta átlagosan 5 órán át üzemel így két vagy négy év után elhasználódik és majd cserélni kell, de cserébe kedvezőbb talajállapotot tudunk majd megélni azon idő alatt. A cégek, köztük a Claas is azon dolgozik, hogy olyan hevedereket fejlesszen, ahol az üzemóra jelentősen kedvezőbb lesz. A heveder egy lengőkaros felfüggesztéssel rendelkezik és amennyiben ezt kombinálják a traktor fülkének a felfüggesztő rendszerével, akkor a traktor vezetője egy kényelmes és meglepő módon egyenletesnek fogja tapasztalni a munkavégzést [11], [14].

7.2.3. John Deere



A **51.Ábrán** láthatunk egy John Deere hibrid alakkal záró gumiheveder járószerkezetet. Azonban itt látható, hogy a hevederek mérete eltérő, ez Ackermann kormányzással van felszerelve [15].

51.Ábra: John Deere hibrid járószerkezet típus

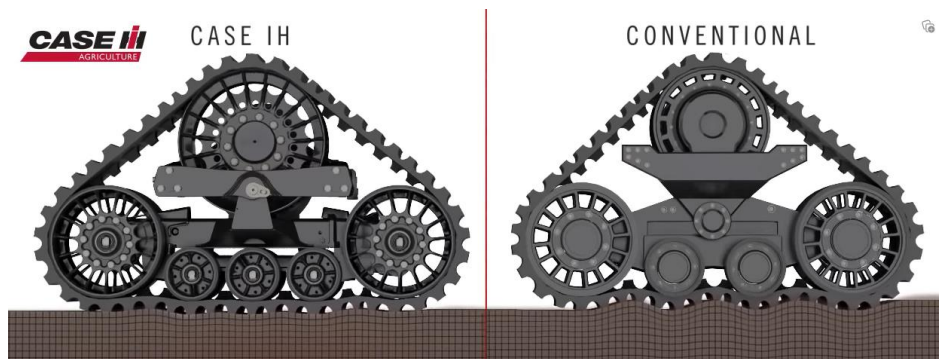
7.2.4. Case IH

A Case IH a másik nagy amerikai forgalmazó, ami nagy teljesítményű traktorokat, kombájnokat forgalmaz. 1996 óta fejleszti, ők mutatták be az első hevederes traktort, ezzel ők lettek a világsők a kategóriában. A hevederről láthatunk egy metszeti ábrát a **52.Ábrán**, látható, hogy a hosszirányú rugalmasságot is megoldották [12].



52.Ábra: Case IH Hevederes járásrendszer metszet

A **53.Ábrán** láthatjuk, hogy miképpen különbözik a talajgeometria követése, a különböző heveder konstrukciónál, az ábrán azt látjuk, hogy a Case IH heveder kedvező a talaj számára [12].



53.Ábra: Case IH gumiheveder és talaj közötti kapcsolat

7.2.5. Konklúzió

Eddig alaposan elemezve lett, hogy a különböző gyártók milyenek a gumihevederes járásrendszerük konstrukciója. Ki lettek emelve a fontosabb funkciók, mint például a támasztógörgők oldalirányú elmozdulás lehetőségének biztosítása. Azonban arról sem szabad elfeledkezni, hogy minden esetben ugyanaz a cél, hogy minél kedvezőbb talajállapotot érjünk el az adott mezőgazdasági gépnél. Jelen dolgozatnál is ugyanaz a cél, az eddigi megoldásokat végig gondoltam, ezek alapján **már létre lehet hozni egy koncepciót, a jelenlegi robottraktor fejlesztésére.**

7.3. A jelenlegi konstrukció tovább fejlesztése

A dolgozat eddigi részében alaposan ismertetve lett a gumihevederes járószerkezetek története, típusai, felépítése, és a gyártók által alkalmazott egyedi felépítésre. Ismertetve lettek, hogy miképpen lehet alkalmazni ezeket a robottraktorok esetén is. Az előző fejezetekben részletesen tárgyalva lettek a konstrukciós felépítések. Így most már rendelkezek egy alapvető látókörrrel és ismerettel a témával kapcsolatban. Azonban ezek rendkívül komplex és összetett szerkezetek, amiket a gyártók több éven át fejlesztenek és kutatnak nagy erőforrás mellett. Így egy teljes járószerkezet megtervezése nem kivitelezhető jelen dolgozatban. Az előbb tárgyaltak segítettek, hogy meg tudjam határozni, hogy milyen fajta fejlesztési irányelveket tudnék alkalmazni jelen robottraktor esetén és ezek alapján tudok majd egy **konceptiót létrehozni**.

7.3.1. Fejlesztési irányelvek

- A CASE IH vállalat kiemelte, hogy szükség van egy **hosszirányú rugalmasságra**, így a heveder megvezetése megfelelő lesz, a feszítő kerekek kellően rugalmasak lesznek, így a talajon lévő egyenetlenségeket jobban lekövetik. Ezt egy **nagy rugómerevségű rugóval** érik el, ez látható a **54.Ábrán** [12].



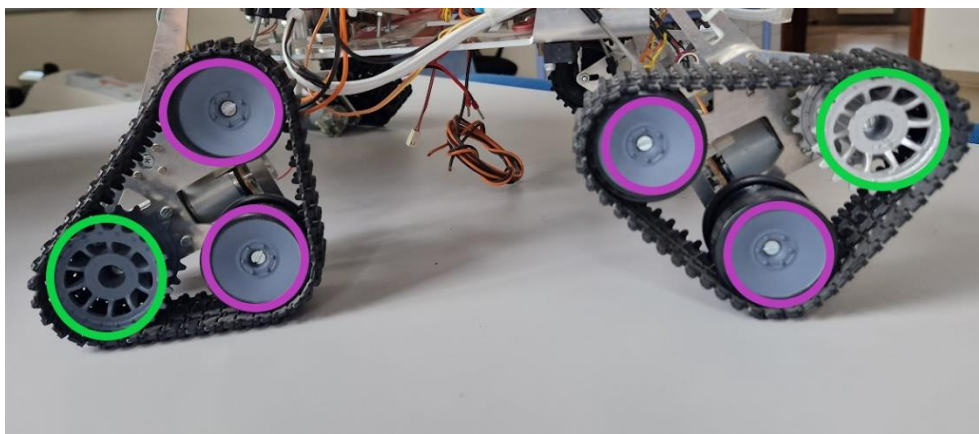
54. Axiális irányú rugó használata CASE IH

Azonban a biztonságos üzemelés miatt, egy jobb és egy balmenetes rugót kell együttesen használni, így a deformációk ki lesznek egyenlítve. Ugyanez az elv a John Deere esetében, azonban ők másképpen oldották meg a hosszirányú rugalmasságot, ezt látjuk a **55.Ábrán** [15].



55.Ábra: John Deere megoldás a hosszirányú rugalmasságra

- Mindegyik traktor járószerkezetnél azt vettem észre a behajtás, mindig magasabban helyezkedik el, mint a hajtott kerekek, azonban **ez jelen esetben nem teljesül**, így nem is meglepő, hogy a traktor nagyobb egyenetlenség esetén is megáll, ez látható a **56.Ábrán**. **Zöld színnel** lesz jelölve a **hajtótárcsa**, **lila** színnel a **feszítőgörgők**. Látható, hogy ez az elrendezés merőben eltér, mint a korábban bemutatott hevederes traktoroknál, így a koncepciónál meg kell változtatni a kerekek elrendezését. Ahogy már korábban többször leírtam, **azonban a legnagyobb baj, hogy a hajtókerék lent helyezkedik el**, és ilyen megoldást egyetlen gyártónál sem láttam.



56.Ábra: Jelenlegi járószerkezet

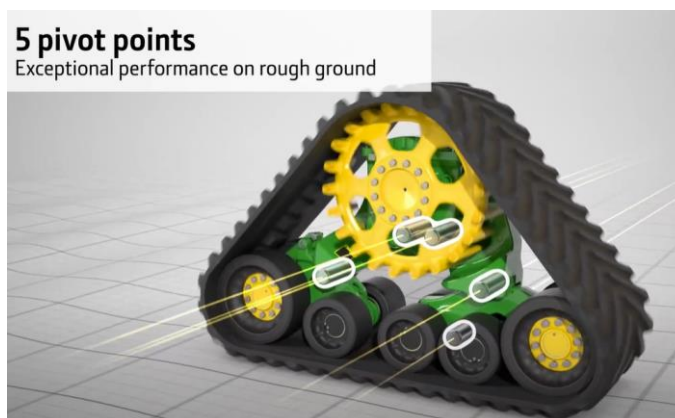
- A másik, amit észrevettem, hogy a piacon lévő gumihevedereknél mindenhol van **támasztógörgők**, amik megvezetik a járószerkezetet. Abban volt különbség, hogy hogy egyes konstrukciónál a görgők függőleges és oldalirányban is tudtak rugalmasan viselkedni. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy mindenféle képen szükség lesz támasztógörgőkre. A koncepcióhoz szintén a CASE IH elrendezés lesz felhasználva, ez látható a **57.Ábrán** [12].



57.Ábra: CASE IH támasztógörgők rugalmas felfüggesztés

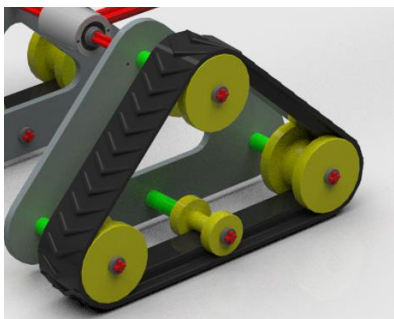
Abban van eltérés a gyártók között, hogy most 2 vagy 3 támasztógörgőt használnak, a jobb megvezetés érdekében a koncepciónál a 3 támasztógörgős verzió lesz felhasználva. A függőleges felfüggesztést látjuk **piros színnel kiemelve a görgők felett** [12].

- Biztosítani kell, a csuklós kapcsolatokat a gépelemek között is, így ezáltal tudjuk növelni a rugalmasságot, akár nehezebb talaj körülmények között is. A John Deere **5 darab csuklós kapcsolatot hozott létre** az általuk használt járószerkezetnél, ezt látjuk a **58.Ábránál** [15].



58.Ábra: Csuklós kapcsolatok a John Deere gumiheveder esetén

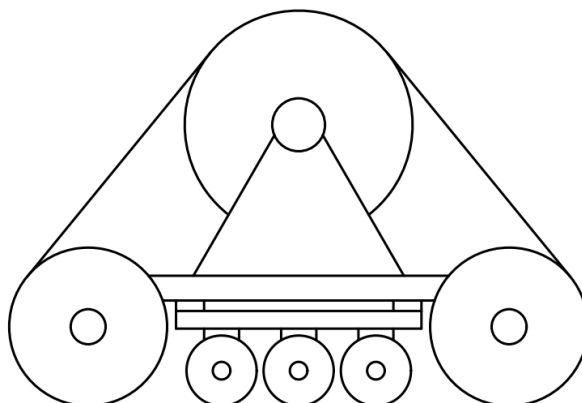
Az általam fejlesztendő robottraktor és a bemutatott járószerkezetek között másfajta különbségek is vannak. Egyrészt a **terhelés nagysága és a geometria méretek**. A gumihevederes járószerkezetnél használnak még hidraulikát is, főleg a felfüggesztésnél. Jelen esetben ez nem mérvadó számomra, amennyiben mindképpen kéne azt meglehetne oldani jelen esetben egy rugóval. Az esetleges jövőbeni megvalósítás érdekében néztem milyen megoldások állnak rendelkezésemre számomra, ami könnyen beszerezhető. A piackutatás során azt vettem észre, hogy a leggyorsabban beszerezhető és legmegbízhatóbb megoldás lehetne számomra a **Lego Technic** használata. Egyrészt nem kell így az alkatrészeket kinyomtatni 3D additív technológiával, másrészt a legtöbb elem elérhető és lehet még használni különböző erőforrásokat is. Gondolok a motorra, szenzorokra és különböző elemekre, mint például a csuklós elemek és a támasztógörgők. A támasztás is megoldható különböző tárcsákkal. A **59.Ábra** ismerteti egy **kezdetleges koncepciómat** ilyen LEGO-s megoldásokkal.



59.Ábra: Kezdetleges koncepció LEGO Technic elemekkel

7.3.2. Robottraktorhoz készült koncepció

Ezek alapján elkészítettem a koncepciómat, ezt mutatom be a **60.Ábrán**.



60.Ábra: Koncepció a meglévő robottraktorhoz

Koncepció ismertetése:

- A hajtótárcsa elhelyezése, a megfelelő felfekvő felület növelése ugyanabba a helyzetbe pozicionáltam, mint a legtöbb gyártónál láttam. A hajtókerék sokkal nagyobb lesz, mint a hajtott tárcsák, ezt alkalmazza a legtöbb gyártó, ami a jelenlegi helyzetben sajnos nem teljesül. A pálcás fogazat lenne szerintem ideális, ami korábban be lett mutatva a John Deere szerkezetnél.
- A hajtott tárcsák esetén gondoskondi kell a hosszirányú rugalmasságról is, ide szerintem a Case IH megoldás lenne a megfelelő, azonban én mindenképpen bal és jobb menetes nagy rugómerevségű rugókat alkalmaznék, ezzel ki lehetne egyenlíteni a különböző deformációkat.
- Három támasztógörgőre lesz szükség a megfelelő járószerkezet megvezetés érdekében, így a heveder jobban fog alkalmazkodni a talaj egyenetlenségekre, azonban nem szabad elfeledkezni sem a függőleges felfüggesztésről, szerintem a Case IH megoldás megfelelő lesz, a New Holland azt láttam, hogy ezeket gumi szentekkel oldják meg.
- „V” alakú lesz a heveder profilja, a megfelelő abrazív kapcsolat létrehozása érdekében
- Annak érdekében, hogy mindegyik heveder külön-külön kormányozható legyen, oda a Class Xerion 5000 megoldás lenne a legmegfelelőbb.

Arra a **következtetésre** jutottam, hogy a gyártók kifejlesztették az általuk gondolt legjobb megoldásokat a minél megfelelőbb gumihevederes hajtás megvalósítására. Annak érdekében, hogy egyre több robottraktor esetén megjelenjen az alakkal záró hevederes járószerkezet, érdemes ezeket a megoldásokat „kombinálni”, így egy kellően hatékony konstrukciót kapunk eredményül.

8. TOVÁBBI FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK ELEMZÉSE

A környezetvédelem, a károsanyag kibocsátás csökkentése, egyre fontosabb napjainkban. A gyártók egyre több újabb hajtáskonceptióval jelentkezők, lehet említeni az akkumulátoros traktorokat vagy a kábeles traktorokat. **A technológia még nem áll készen**, hogy ezeket alkalmazzuk komolyabb és hosszabb munkára, ezért egy másik fajta megközelítés lesz említve, ebben a fejezetben. Másik megoldás lehetne a környezetvédelemre, **a metán üzemeltetésű traktorok használata** a mostani dízel traktorok helyett. Ezzel például a New Holland vállalat foglalkozik. Ez egy alternatív technológia azoknak a gazdáknak, akik nem szeretnék elektromos traktorokat használni munkavégzésre. Egy hevederrel ellátott, metán üzemeltetésű traktor látható a **61.Ábrán** [3].



61.Ábra: Metán üzemeltetésű hevederes traktor

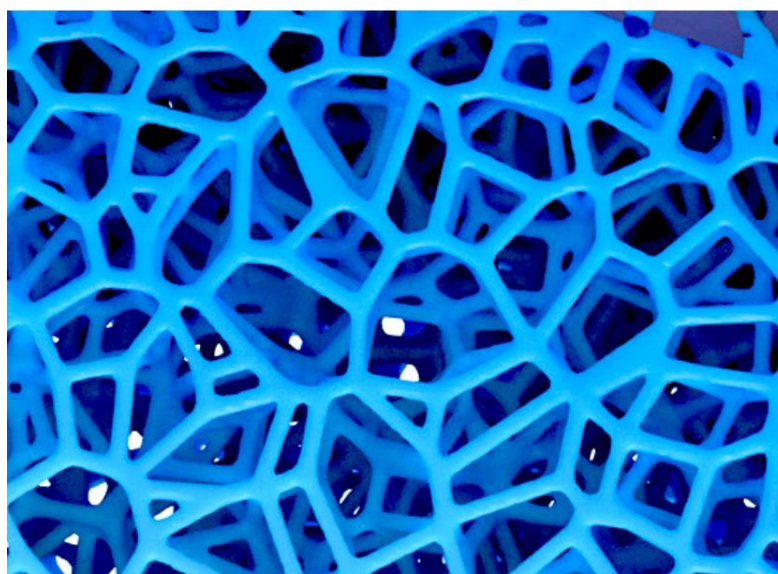
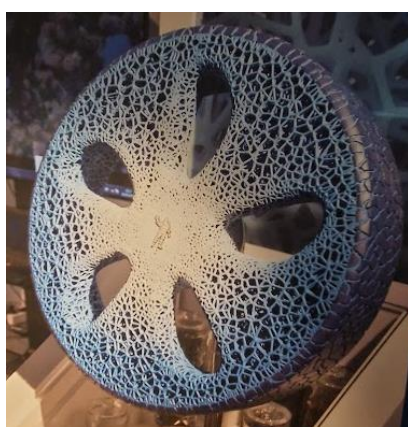
A fejlesztések természetesen minden fronton azóta is zajlanak. A gumihevederek élettartamának növelése a legfőbb cél, emellett a **kopásra való hajlandóságot is igyekeznek csökkenteni**, a lehetséges új anyagokkal kapcsolatban kísérleteznek a gyártók. Ugyanúgy igény a vásárlók részéről a traktor haladási sebességének a növelése, és az ebből keletkező **rezgő hatások mérséklése is**. Ahogy korábban részletezve lett a gumihevederek erősen kopnak az aszfaltozott úton. Azonban, arról sem szabad elfeledkezni, hogy a haladási sebesség növelése nem csak a járószerkezeten múlik, hanem a motoron és a sebességváltó szerkezeten is. Érdemes megemlíteni, hogy **nem csak a hollandok járnak élen**, a robottraktorok fejlesztésében, a japánok is élen járnak. A legújabb fejlesztésükről láthatunk néhány képet a **62.Ábrán** [23].



62.Ábra: A Kubota vállalat a robottraktorral kapcsolatos legújabb koncepciója

8.1. Hevederek fenntarthatósága

A gumiabroncsok gyártásának van egy negatív tulajdonsága, hogy **az elhasznált abroncsokat**, nem használják újra és összehordják és végül „hegyekben” állnak, nem csak Indiában, hanem fejlett országokban is, mint például az Egyesült Államokban. Ezért a gyártók igyekeznek olyan megoldásokat hozni, ami orvosolni hivatott a problémát. A másik pozitív aspektus, hogy a használt gumiabroncsok/hevedereket fel lehet használni **az utak készítéséhez**. Ebben a fejezetben lesz ismertetve, a Michelin gyártó koncepciója a **fenntarthatóbb abroncsok, hevederek** gyártása érdekében, az egyik legújabb koncepció látható **63. Ábrán** [22].



64.Ábra: Michelin koncepció az újfajta abroncsok érdekében

Az az elképzelés, hogy **additív gyártási technológiával 3D nyomtatási technológiát** felhasználva, készüljenek az újabb gumiabroncsok/hevederek gyártásához. Az adott üzemeltetési körülmények alapján lesz kiválasztva a felhasználandó anyag típusa és mennyisége, így akár olyan eredményt kapnánk, amit fel lehet használni, a kopásállóbb gumihevederekhez. Azonban ez egy nagyon hasznos és környezetbarátabb koncepció, azonban ez nem a közeli jövőben fog megvalósulni. A mostani helyzeten az segít, hogy a hagyományos gyártást tesszünk fenntarthatóbbá. A Michelin cégnek van egy stratégiája, hogy 2050-re 100 %-osan fenntartható módon fogja gyártani az abroncsok, hevedereknek szükséges gumis részt. Ehhez újra lesznek használva a polimer hulladékok, ezek fogják adni az alapot. A stratégiát elnevezték „4R”-nek. Azaz „Reudce”, „Reuse”, „Recycle”, „Renewable”, magyarul csökkenteti, újrahasználni, újrahasznosítani, megújítani. Mivel a robottraktorok sokkal kisebb tömegűek, mint a hagyományosak, így nem szükséges, **olyan típusú hevedereket gyártani**, így ez is csökkenti a környezeti károkat, emiatt ez egy megfelelő irány lehet [22].

9. ÖSSZEGZÉS

A dolgozat során **részletesen elemeztem a gumihevederes hajtások és robottraktorok témakörét.** Ismertette lett az erőhatások a talajon, milyen konstansok vannak a mérések kiértékelésénél. Több gyártó által alkalmazott konstrukciók, egyedi megoldások, elrendezések lettek ismertette. Ismertette lett szintén a hevederes hajtások felépítése, hátrányai, előnyei a hagyományos gumibroncsos traktorokhoz képest. **A robottraktorok** esetén leírtam szerepüket a mezőgazdaság automatizálásában és szerepükről **a precíziós gazdálkodásban.**

A gumihevederes járószervezetek eléggé komplex szerkezetek és több évtizedes munka van a fejlesztésükben, így jelen dolgozat csupán arra volt elegendő, hogy **egy koncepció és fejlesztési irányelv készüljön el a jelenlegi robottraktorhoz.** A koncepció során felhasználtam azokat a megoldásokat, amiket a különböző gyártók alkalmaztak. Ezért is lett **több gyártó is megvizsgálva,** mint például a New Holland, John Deere, Case IH, Claas, AgXeed, ezért is lettek részletesen elemezve jelen dolgozat során. A fejlesztési lehetőségek során ismertettem, hogy a gyártók és az abroncs gyártók, mint pl. a francia Michelin gyártó milyen megoldásokat fejleszt ki a jövő kihívásai elé. **A mezőgazdaságon egyre nagyobb a nyomás,** egyrészt gondolni kell a termőföld területek csökkenésére, növekvő népességre, szélsőséges időjárásokra, elöregedő mezőgazdászokra, egyelőre nem biztosított utánpótlással, ezért **mindenképpen foglalkozni kell a témával, főleg Magyarországon, ami történelme során mindig is mezőgazdasági ország volt, egy rövid ideig még agrár-ipari ország is.** Példát lehetne venni a francia és holland mezőgazdaságról. Zárásképpen megemlíteném, hogy milyen további munkákra lenne még szükség jelen robottraktor esetén:

- **Járószervezet összeállítása** Lego Technic elemekkel
- **Összeállítási modell, rajzok** készítése, **mérések** készítése a kész robottal

9.1. Jövőbeli tervek

Engem érdekelnek a **mezőgazdasági gépek és a hajtástechnika,** így szerencsére vannak további szakmai terveim is.

- Egy **Orlinghaus-tengelykapcsolót és differenciálművet** szeretnék tervezni, szintén egy fogaskerék hajtóműhöz., annak érdekében, hogy nagy nyomatékot tudhassunk átvinni.
- Az **automata sebességváltóművek** vizsgálata, konstrukciós előtervezése.
- Szeretnék hasonló tudományos munkát készíteni **a traktor hajtászerkezet másik eleméből,** hogy megismerjem részletesebben a traktorok ezen részét is.
- További kutatómunkák készítése, annak érdekében, hogy megalapozzam **a lehetséges doktori pályafutásomat.**

10. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

10.1. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Farkas Zsolt József: Mezőgazdasági Erőgépek Előadásjegyzet, Bp.,2023
<https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=60> (2023.10.22.)
- [2] Dr Laib Lajos *Dr Vas Attila: Traktorok és Autók*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest 1998
- [3] Mezőgazdasági erőgépek tervezése előadásjegyzet <https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=128>
(2023.10.26.)
- [4] <https://business.michelin.co.uk/agriculture> (2023.10.05.)
- [5] Dr.Jóri J. István: Talajkímélő Járószerkezetek A Mezőgazdaságban, Budapest-Gödöllő, 2004
- [6] Dr. Jóri J. István,Dr. Farkas Zsolt József,: Gumihevederes OTKA jelentés, T30946 Budapest, 2003
- [7] <https://www.claas.co.uk/products/technologies/terra-trac/expertise> (2023.10.05.)
- [8] Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022
- [9] <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- [10] <https://camso.co/en/construction/products/?productType=1219> (2023.10.01.)
https://farmtario.com/machinery/claas-adds-four-track-articulated-tractor-to-its-line/?fbclid=IwAR3OTZnvpAz-EG-5_S58_cUHAEu0Ii9-vFQnlq798tJXn50IIYsoblJIhE
- [11] (2023.10.05.)
- [12] <https://www.caseih.com/en-gb/europe/products/tractors/quadtrac-steiger-afs-connect-series>
(2023.10.06.)
- [13] <https://www.agrotec.hu/getattachment/c39d1683-f2d8-413c-b0bd-9c03d8a473e8/t8-katalogus.aspx>
(2023.10.07.)
- [14] <https://www.claas.co.uk/products/tractors/xerion-12> (2023.10.06.)
- [15] <https://www.deere.hu/hu/traktorok/nagy/9r-sorozat/9rx640/> (2023.10.08.)
- [16] Jóri J. István: Mezőgazdasági gépek tervezése előadásjegyzet
<https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=128> (2023.10.08.)
- [17] Balázs Benjámín: Erőgépek szerkezeti felépítése Budapest, 2022
- [18] <https://scitechdaily.com/europes-sizzling-summer-a-heatwave-like-never-before/> (2023.10.14.)
- [19] https://axial.claas.com/blueprint/servlet/resource/blob/2451060/9102cceed8d2875baa27d2a821759294/418990_23-dataRaw.pdf (2023.10.07.)

- [20] <https://www.vezess.hu/techabc-autos-lexikon/2013/01/01/hidropneumatikus-rugozas/> (2023.10.17.)
- [21] Szabó Pál Zoltán: Traktor kormányzása Budapest, 2022
- [22] <https://www.michelin.com/en/innovation/vision-concept/> (2023.10.16.)
- [23] <https://www.kubota.com/innovation/concept-tractor/index.html> (2023.10.17.)
- [24] <http://www.gepmuzeum.szie.hu/> (2023.10.17.)
- [25] <https://www.gxsuprobot.com/> (2013.10.18.)

10.2. Ábrajegyzék

- | | |
|---|---|
| 1.Ábra: Kezdetleges erőgép | http://www.gepmuzeum.szie.hu/ (2023.10.01.) |
| 2.Ábra: Meglévő robottraktor és gumihevederes járószerkezet | SAJÁT ÁBRA |
| 3. Ábra: John Deere 9RX 640 | https://www.deere.co.uk/en/tractors/large/9r-series/9rx640/ (2023.10.01.) |
| 4. Ábra: Michelin gyártó által forgalmazott gumiabroncsok | SAJÁT ÁBRA |
| 5.Ábra: Michelin abroncs mezőgazdasági célokra: | https://business.michelin.co.uk/agriculture (2023.10.05.) |
| 6.Ábra: Gumiabroncs metszet | SAJÁT ÁBRA |
| 7.Ábra: Gumihevederes és kerekes traktor táblázatos összehasonlítása | Dr. Farkas Zsolt József: Gumihevederes járószerkezetek vizsgálata |
| 8.Ábra: Gumiheveder felépítése | Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022 |
| 9. Ábra: Erővel záró gumiheveder hajtás egy robottraktoron | https://www.agxeed.com/ (2023.10.01.) |
| 10.Ábra: Kerekes és erővel záró hajtás ugyanazon a traktoron Claas fejlesztés | https://www.axial.hu/cikkek/hirek/axion-900-terra-trac-teljes-rugozas-ket-modellben-igen (2023.10.02.) |
| 11.Ábra: Claas Traktor alakkal záró gumihevederes hajtás | https://www.agrarunio.hu/hirek/gepesites/5561-gumihevederrel-is-elerheto-a-claas-xerion (2023.10.02.) |
| 12. Ábra: Fordulókör összehasonlítása erővel és alakkal záró hevederes járószerkezet esetén | Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022 |
| 13. Ábra: Felfekvő felületek összehasonlításán a két típus esetén | https://axial.claas.com/blueprint/servlet/resource/blob/2451060/9102cceed8d2875baa27d2a821759294/418990_23-dataRaw.pdf (2023.10.15.) |
| 14.Ábra: Talajdeformációk hevederes és kerekes hajtások esetén | Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022 |
| 15. Ábra: Differenciál kormányzás működési elve és a Challenger traktor | Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022 |
| 16.Ábra: A kerék számának növelése a nagyobb felfekvő felület érdekében Fendt | https://www.fendt.com/int/geneva-assets/widget/14290/579141-fendt900vario-1901-en-v4.pdf (2023.10.04.) |
| 17.Ábra: Tengelyek számának növelése Fendt traktor esetén | https://www.fendt.com/int/geneva-assets/widget/14290/579141-fendt900vario-1901-en-v4.pdf (2023.10.04.) |
| 18.Ábra: Claas traktoroknál használt hibrid járószerkezet | https://agraragazat.hu/hir/claas-terra-trac-mindent-a-talajert/ (2023.10.07.) |
| 19. Ábra: Talajelkészítés robottraktorral | https://www.agxeed.com/ (2023.10.01.) |

- 20.Ábra: Magágykészítés robottraktorral <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 21.Ábra: Vetés robottraktorral <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 22.Ábra: Sorközművelés robottraktorral <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
23. Ábra: Robottraktor az ültetvényes gazdálkodásban <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 24.Ábra: Robottraktorhoz kapcsolódó alkalmazás <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 25.Ábra: Extrém nyári hőmérsékletek Európában <https://scitechdaily.com/europes-sizzling-summer-a-heatwave-like-never-before/> (2023.10.14.)
- 26.Ábra: Esetleges hiba jelzése <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 27.Ábra: Robottraktor által gyűjtött adatok vizualizációja <https://www.agxeed.com/> (2023.10.01.)
- 28.Ábra: A mezőgazdaságban dolgozó emberek életkorainak az aránya [Mezőgazdasági erőgépek tervezése előadásjegyzet](https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=128) <https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=128> (2023.10.26.)
- 29.Ábra: Támasztó görgők szerepe a hevederes járószerkezetben: Jóri J. István: Talajkímélő Járószerkezetek A Mezőgazdaságban, Budapest-Gödöllő, 2004
- 30.Ábra: Hajtótárcsa alakkal záró hevederes hajtás esetén <https://www.mascus.hu/mezogazdasagi-gepek/kombajnok/john-deere-s790/f0cwmwjr.html> (2023.10.04.)
- 31.Ábra: Sárban elakadt kerekes traktorok Albert László Ádám: Mezőgazdasági erőgépek gumihevederes járószerkezete Budapest, 2022
- 32.Ábra: Modern penetrométer használat közben https://www.agrogazda.hu/talajvizsgalat_es_tapanyag_elemzes/talajvizsgalat_muszerei/ld-agro_penetrometer_41 (2023.10.04.)
- 33.Ábra: Függőleges terhelés hatására ébredő nyomáseloszlások <https://www.zuidberg.com/en-us/agricultural/track-systems/> (2023.10.26.)
- 34.Ábra: Talaj nyírófeszültsége a deformáció függvényében Jóri J. István: Talajkímélő Járószerkezetek A Mezőgazdaságban, Budapest-Gödöllő, 2004
- 35.Ábra: Profilozó berendezések Dr. Farkas Zsolt József: Gumihevederes járószerkezetek vizsgálata
36. Ábra: Talpméreg a járószerkezet tömegének meghatározására Dr. Farkas Zsolt József: Gumihevederes járószerkezetek vizsgálata
- 37.Ábra: Adott felfekvő felület és az ahhoz tartozó talajnyom Jóri J. István: Talajkímélő Járószerkezetek A Mezőgazdaságban, Budapest-Gödöllő, 2004 <https://www.claas.co.uk/products/technologies/terra-trac/expertise> (2023.10.05.)
- 38.Ábra: Járószerkezet nyomáseloszlás Dr. Farkas Zsolt József: Mezőgazdasági Erőgépek Előadásjegyzet, Bp.,2023 <https://gt3.bme.hu/subjects.php?lepes=2&tid=60> (2023.10.22.)
- 39.Ábra: Gördülési viszonyok a gumihevederen Dr. Farkas Zsolt József: Gumihevederes járószerkezetek vizsgálata
40. Ábra: A szántóföldi mérések feldolgozásához szükséges együttműködések Dr. Farkas Zsolt József: Gumihevederes járószerkezetek vizsgálata
- 41.Ábra: Gumihevederes hajtás New Holland T8 traktor esetén <https://www.agrotec.hu/termekek/new-holland-traktorok/t8-genesis-traktorcsalad> (2023.10.18.)
- 42.Ábra: New Holland „hibrid” járószerkezet <https://www.agrotec.hu/termekek/new-holland-traktorok/t8-genesis-traktorcsalad> (2023.10.18.)
43. Ábra: John Deere 8RX Ackermann kormányzás <https://www.marketbook.hu/listings/farm-equipment/for-sale/list/category/1234/tractors-300-hp-or-greater/manufacture/john-deere/model/8rx-310> (2023.10.04.)
- 44.Ábra: Törzscsuklós kormányzás John Deere 9RX traktor esetén <https://www.deere.hu/hu/traktorok/nagy/9r-sorozat/9rx640/> (2023.10.08.)
- 45.Ábra: Véglehajtás kormányzás John Deere 9000T modell esetén <https://www.marketbook.hu/listings/farm-equipment/for-sale/list/category/1234/tractors-300-hp-or-greater?NotFound=1&Manu=JOHN+DEERE&Mdltxt=8RT+340&mdlx=Contains> (2023.10.17.)
- 46.Ábra: Robottraktorhoz tartozó járószerkezet elrendezés <https://www.gxsuprobot.com/> (2013.10.18.)

47.Ábra: Jelenlegi robottraktorhoz tartozó járászerkezet	SAJÁT ÁBRA
48.Ábra: Camso gumihevederes járászerkezet típusok	https://camso.co/en/construction/products/?productType=1219 (2023.10.01.)
49.Ábra: New Holland SmartTrax	https://www.agrotec.hu/getattachment/c39d1683-f2d8-413c-b0bd-9c03d8a473e8/t8-katalogus.aspx (2023.10.07.)
50.Ábra: Claas Xerion 5000 Gumihevederes hajtás	https://farmtario.com/machinery/claas-adds-four-track-articulated-tractor-to-its-line/?fbclid=IwAR3OTZnvpAz-EG-5__S58_cUHAEu0li9-vFQnlq798tjXn50IIYsobJIhE (2023.10.05.)
51.Ábra: John Deere hibrid járászerkezet típus	https://agroforum.hu/szakkikkek/gepeszet/ujdonsagok-es-erdekessegek-a-vetestechnikaban/ (2023.10.06.)
52.Ábra: Case IH Heveredes járászerkezet metszet	https://www.caseih.com/en-gb/europe/products/tractors/quadtrac-steiger-afs-connect-series (2023.10.06.)
53.Ábra: Case IH gumiheveder és talaj közötti kapcsolat	https://www.caseih.com/en-gb/europe/products/tractors/quadtrac-steiger-afs-connect-series (2023.10.06.)
54. Axiális irányú rugó használata CASE IH	https://www.caseih.com/en-gb/europe/products/tractors/quadtrac-steiger-afs-connect-series (2023.10.06.)
55.Ábra: John Deere megoldás a hosszirányú rugalmasságra	https://www.deere.hu/hu/traktorok/nagy/9r-sorozat/9rx640/ (2023.10.08.)
56.Ábra: Jelenlegi járászerkezet	SAJÁT ÁBRA
57.Ábra: CASE IH támasztógörgők rugalmas felfüggesztés	https://www.caseih.com/en-gb/europe/products/tractors/quadtrac-steiger-afs-connect-series (2023.10.06.)
58.Ábra: Csuklós kapcsolatok a John Deere gumiheveder esetén	https://www.deere.hu/hu/traktorok/nagy/9r-sorozat/9rx640/ (2023.10.08.)
59.Ábra: Kezdetleges koncepció LEGO Technic elemekkel	SAJÁT ÁBRA
60.Ábra: Koncepció a meglévő robottraktorhoz	SAJÁT ÁBRA
61.Ábra: Metán üzemeltetésű hevederes traktor	https://csodalatosborok.hu/hirek/kulfold/zero-karosanyag-kibocsatasu-szuretre-keszulnek-new-holland-metan-traktorral/ (2023.10.06.)
62.Ábra: A Kubota vállalat a robottraktorral kapcsolatos legújabb koncepciója	https://www.kubota.com/innovation/concept-tractor/index.html (2023.10.17.)
63.Ábra: Michelin koncepció az újfajta abroncsok érdekében	https://www.michelin.com/en/innovation/vision-concept/ (2023.10.16.)

KÖSZÖNETNYILVÁNYÍTÁS

Eleinte engem nem igazán érdekeltek a mezőgazdasági gépek, azonban ez megváltozott, amikor elkezdtem ezt tanulni a Géptervező specializáción, mint derült égből villámcsapás el kezdett érdeklenni a mezőgazdaság világa és végül ez volt az egyik záróvizsga tantárgyam.

Köszönetnyilvánítás

Nagyon szerencsésnek érzem magam, hiszen **Dr. Farkas Zsolt József** volt a konzulensem, aki a Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék adjunktusa. Nagyon sokat segített nekem és szinte azonnal válaszolt a felmerülő kérdéseimre és segítette a mérnöki pályafutásom elindulását. Szerencsés vagyok, hogy a géptervezés alapjait olyan emberektől tanulhattam, mint **Dr. Kerényi György, Dr. Kotroczy Krisztián, Máté László, Dr. Horák Péter, Professor Simon Vilmos, Dr. Csobán Attila és Dr. Gróza Márton**. Nagyon jól átadták a tudásukat és az ottani előadások során jöttem rá, hogy engem a hajtástechnika témaköre érdekel a legjobban.

- Szeretnék köszönetet mondani a **barátaimnak, ismerőseimnek** a támogatásért és a biztatásért. Hálás köszönettel tartozom a **szüleimnek és a családomnak**, hogy támogattak engem és segítettek abban, hogy mérnök lehessek.
- Köszönöm szépen a **Gépész Szakkollégiumnak** a közösséget és a lehetőségeket.
- Köszönettel tartozok **Károly Dórának, Kemény Alexandrának, Dr. Renkó Józsefnek, Kemény Dávid Miklósnak, Albert Ádámnak, Pásthly Lászlónak, Balázs Benjáminnak, Székely Gyulának, Youenn Sabatier-nek és Schmitzhofer Márknak** az útmutatásokért.
- Köszönöttel tartozok **Dr. Szabados Györgynek**, aki nagyban segítette a munkámat és a lehetséges doktori pályafutásomat is támogatja.
- Köszönöm szépen **Dr. Samu Krisztián** segítségét, aki támogatott, hogy az egyetemi tanulmányaim mellett végezzek oktatási tevékenységeket is.
- **Dr. Gotthard Viktornak és Dr. Zwierczyk Péter Tamásnak** is, akiktől sokat tanultam a projekt menedzsmentről és segítettek, hogy fejlődjön a mérnöki gondolkodásom.
- Végül köszönöm a **Tanszéknek** és a **Gépészmérnöki Karnak**, hogy biztosították számomra a szoftvereket és az oktatási anyagokat.
- Köszönettel tartozok **Mészáros Zitának** is, akinek hála sokat fejlődtem és céltudatosabb lettem, akire gondolva mindig kaptam plusz motivációt és erőt és meghozta a kedvemet, hogy mezőgazdasággal (is) foglalkozzak.

Budapest, 2023. 11. 05.

Zsibók Marcell