

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Traktor-hajtott pótkocsi szerelvény
stabilitásvizsgálata

Doktori értekezés tézisei

Szakács Tamás

Gödöllő
2009

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: A mezőgazdasági gépészet alapjai

vezetője: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet

témavezető: Dr. Laib Lajos
egyetemi tanár, CSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Folyamatmérnöki Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

1. Bevezetés	4
<i>1.1. Mezőgazdasági pótkocsik kerékhajtása és problémái.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2. A kutatómunkám célkitűzései.....</i>	<i>5</i>
2. A stabilitásvizsgálatban alkalmazott modellek bemutatása	6
<i>2.1. A feladat megoldásához létrehozott járműmodell.....</i>	<i>6</i>
2.1.1. Az alkalmazott járműmodell.....	6
<i>2.2. A járműszerelvény instabil állapotának felismerése.....</i>	<i>7</i>
2.2.1. A járműszerelvényre kiterjesztett Ackermann feltétel.....	8
2.2.2. A vonószög meghatározása.....	9
2.2.3. Perdülési sebesség meghatározása.....	10
2.2.4. A kormányaszög és az oldalirányú sebességkomponens összehasonlítása.....	11
2.2.5. Stabilitásprogramok	11
2.2.6. Jelző- beavatkozó rendszer	12
<i>2.3. Validációs mérési módszerek</i>	<i>13</i>
3. A mérési adatok kiértékelése, eredmények	15
<i>3.1. Mérési adatok feldolgozása, utókezelése</i>	<i>15</i>
3.1.1. Ellenőrző mérések adatai és kiértékelése.....	15
3.1.2. Fékezéses vizsgálat kiértékelése	16
3.1.3. Körbenjárás mérés kiértékelése	18
<i>3.2. Szimuláció módszerrel nyert adatok.....</i>	<i>20</i>
4. Új tudományos eredmények	22
5. Következtetések és javaslatok.....	24
6. Összefoglalás.....	25
7. Szakmai publikációk jegyzéke.....	26

1. BEVEZETÉS

A kutatómunkám tárgya vontatókból és pótkocsikból álló járműszerelvények stabilitásának vizsgálata, valamint megoldások keresése a stabilitásproblémákból adódó balesetek számának csökkentésére. Különös figyelmet szenteltem mezőgazdasági hajtott vontatmányok kerékhajtása által okozott balesetek lefolyására, és azok elkerülésének megoldásaira. A disszertáció céljának kitűzött stabilitásnövelés megvalósításához mezőgazdasági vontatók és pótkocsik modelljeiből álló gépparkot hoztam létre, amellyel különböző szállítójármű-szerelvények dinamikai vizsgálatait lehet végrehajtani.

1.1. Mezőgazdasági pótkocsik kerékhajtása és problémái

A mezőgazdasági gépek gyártói korán felismerték, hogy a segéd-mellsőkerék hajtással szerelt mezőgazdasági vontatók kedvezőtlen talajkörülmények között nagyobb vonóerő kifejtésre képesek. Ekkor a vontató teljes súlya részt vesz a vonóerő-kifejtésben - vagyis a motor forgatónyomatékának nagyobb részét képesek vonóerővé alakítani. Szántóföldi szállítási feladatok során a ma elterjedt mezőgazdasági szállítójárművek esetében a szerelvények súlyának nagyobb hányada a nem hajtott kerekű pótkocsira esik.

Véleményem szerint, a nehéz vontatók pótsúlyozása helyett a pótkocsi kerékhajtás alkalmazása célravezetőbb. Ezáltal a rosszabb talajkörülmények között is biztosítható a szerelvény mobilitása, illetve a járható talajon is csökken a talajkárosodás.

Belátható, hogy a kerékhajtással ellátott pótkocsik a mezőgazdasági szállítási feladatokba való bevonása a következő előnyökkel jár:

- Az általános teljesítménynövelési tendencia ellenére a pótkocsik vonóerő igényének csökkenése miatt csökken, illetve stagnál a vontatók súlya.
- A traktor-pótkocsi szerelvényből álló mezőgazdasági szállítórendszer hajtásszabályozási szempontból egyetlen szállítórendszerként kezelhetővé, és optimalizálhatóvá válik.
- Optimális súly és hajtónyomaték eloszlás révén csökkenthető a talajkárosodás, károsanyag kibocsátás és az üzemeltetési költségek.
- Csökkennek a betakarítási veszteségek.

A pótkocsi kerékhajtás alkalmazása jármű-biztonságtechnikai problémák miatt a potenciális előnyök ellenére mégsem része a mai gyakorlatnak. A problémák abból származnak, hogy a pótkocsi a csatlakoztatási ponton olyan erőt ad át, ami a vontatót kedvezőtlen körülmények között instabil állapotba hozza, vagyis a hajtott kerekű pótkocsi bizonyos körülmények között a vontató felborulását, vagy a szerelvény becsuklását okozza.

Megállapítható, hogy a vontatmány-hajtást csak olyan szabályozórendszerrel szabad alkalmazni, ami a pótkocsi-hajtásból eredő baleseteket meg tudja akadályozni.

1.2. A kutatómunkám célkitűzései

A kutatómunkám céljait a következő három pontban foglalom össze:

1. Különböző mezőgazdasági vontatók és pótkocsik dinamikai modelljeiből felépülő szállítójármű-szerelvények szimulációs modelljeinek kialakítása elsősorban a mezőgazdasági hajtott pótkocsis járműszerelvények stabilitásvizsgálatának céljával.

A modell kialakítása során figyelembe kell venni a mezőgazdasági szállítás sajátosságait, elsősorban a terepen járásból adódó nehézségeket. A modellnek univerzálisnak kell lenniük a mezőgazdasági vontatókra jellemző beállítások (nyomtávvaltoztatás, pótsúlyozás) könnyű elvégezhetőségének érdekében. Rugalmasnak kell lenniük a vontatmányok cserélhetőségének szempontjából is. A bemeneti adatok megadása és az eredmények megjelenítése egyszerű és könnyen áttekinthető kell, hogy legyen.

2. A mezőgazdasági szállítójárművek pótkocsi kerékhajtásból eredő baleseteinek vizsgálata abból a célból, hogy a megállapítsam hogy melyek azok a paraméterek, amik ismeretében a baleset bekövetkezése előre jósolható. A paraméterek közül ki kell választani azt, amelyik a legkönnyebben mérhető, vagy közvetett úton meghatározható, és alkalmas arra, hogy egy stabilitásprogram bemeneti paramétere legyen.
3. Stabilitásprogramok létrehozása, amelyek képesek a különböző módon instabil állapotba került járműszerelvények állapotának észlelésére, és beavatkozással újra stabil állapotba hozására, vagy az elkerülhetetlen baleset következményeinek enyhítésére.

A stabilitásprogramnak egyszerűnek megbízhatónak kell lennie. A téves riasztások és beavatkozások számát minimalizálni kell, miközben a biztosítani kell, hogy a stabilitás fenntartását, vagy visszaállítását célzó beavatkozás a legrövidebb időn belül létrejöhessenek.

2. A STABILITÁSVIZSGÁLATBAN ALKALMAZOTT MODELLEK BEMUTATÁSA

Ebben a fejezetben a mezőgazdasági szállítási feladatra használt traktor-pótkocsi szerelvény stabilitás-vizsgálatához általam létrehozott modelleket és a stabilitás-megállapítási módszereket ismertetem. A Matlab/Simulink környezetben megvalósított modell kifejezetten a hajtott kerekű mezőgazdasági szállítórendszerek modellezésére készítettem, és felhasználása ez idáig csak ennek a kutatómunkának érdekében, valamint oktatási céllal történt. A modell moduláris rendszerben készült annak érdekében, hogy a kutatómunka végeztével más feladatokra és más jellegű járművek modellezésére is alkalmas legyen.

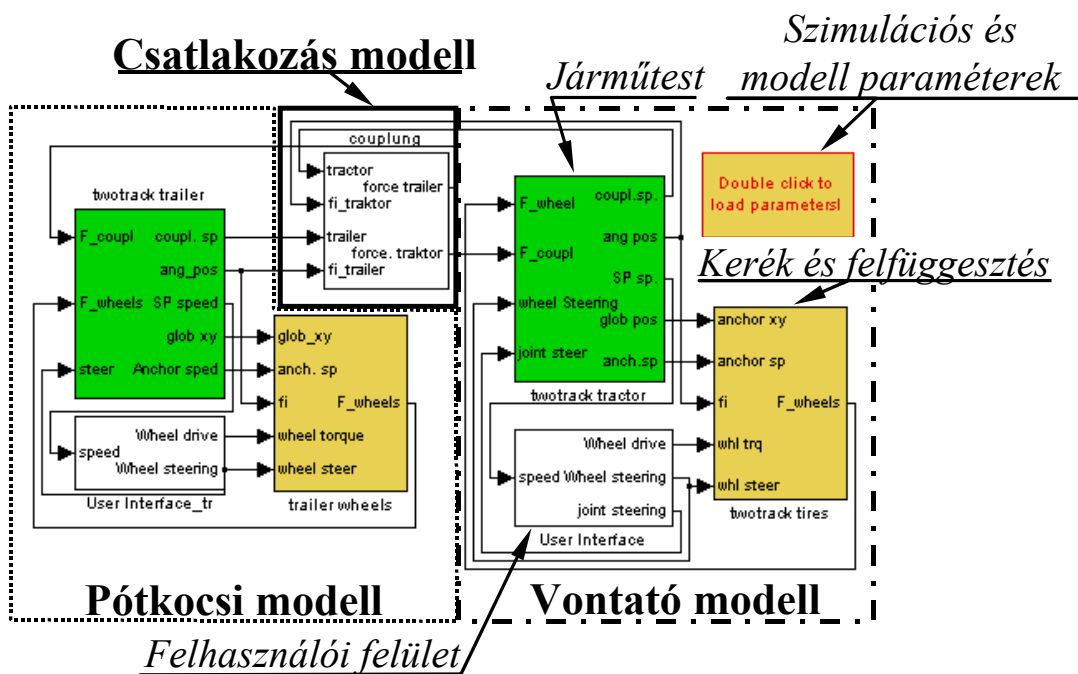
2.1. A feladat megoldásához létrehozott járműmodell

A mezőgazdasági szállítási feladatokban használt különböző járműszerelvények modellezésére különböző traktor és pótkocsi modelleket hoztam létre. Az egyes modell alkotóelemek összekapcsolhatók, így belőlük, a valósághoz hasonlóan, járműszerelvények alakíthatók ki.

2.1.1. Az alkalmazott járműmodell

A járműszerelvény-park modelljét Matlab/Simulink környezetben fejlesztettem ki. A modell moduláris felépítésű, mely eltérő szimulációs célok esetén különböző almodellek alkalmazását, illetve a járműpark elemeinek igény esetén felmerülő bővítést teszi lehetővé. A moduláris felépítés lehetővé teszi a modell egyes alkotóelemeinek, az almodelleknek, a mindenkori szimulációs célnak megfelelőre való másik almodellre cserélését is.

A 1. ábra a Matlab/Simulink környezetben megvalósított járműszerelvény-modell legfelső rétegét mutatja. A kiragadott példa egy mezőgazdasági vontatót mutat egy pótkocsival összekapcsolva. Az ábrán külön kiemeltem a vontatót (pontvonal), pótkocsit (pontosor) és az ezeket összekötő kapcsolódást (folytonos vonal) modellező részeket. A járműrészekben belül a járműtest, kerék és felfüggesztés és a felhasználói felület almodellek találhatók a vontató és a pótkocsi modellen belül egyaránt. A járműtest almodellen belül kerül kiszámításra a jármű gyorsulásai annak inerciáinak és a rá ható erőknek és nyomatékoknak függvényében. A gyorsulásokból integrálással sebességet és megtett utat kapok, amik az almodell kimeneteit adják. A sebességekből és pozíciókból a kerék és felfüggesztés modell kerékerőket számol ki, melyek a járműtestre hatnak vissza, újbóli gyorsulás értékek kiszámolása végett. A felhasználói felület almodell tartalmazza a kerekek kormányzását és a kerék hajtó, fékező nyomatékainak meghatározását különféle ember-gép kapcsolat modellekkel, beprogramozott függvényekkel, vagy szabályozási körökkel.



1. ábra: Jáműszerelvény modell Matlab/Simulink környezetben

A jelfolyamokat és a jeláramlás irányát nyilak mutatják. A vontató és a pótkocsi modellben a jelfolyam zárt hurkot alkot. Az egyes almodellek további almodelleket tartalmaznak, melyek egymás alá rétegződnek.

A járműszerelvények mozgásának megjelenítésére egy animációs ablakot hoztam létre, mely a szimuláció futásának állapotán kívül a járműmozgás vizuális ellenőrzésén át demonstráció céljából készített animált mozgásklipp létrehozását is lehetővé teszi. Az animációs ablakon jelennek meg a stabilitás-program működési állapotának indikátorai is.

Kerékhajtás és kormányzás almodelleket is létrehoztam annak érdekében, hogy a járműmodellel a szokásos manővereket és szabványosított tesztek is el lehessen végezni. E két almodell a járművezető utasításait modellezi a szimuláció során. Ezek határozzák meg a járműszerelvény haladási irányát és sebességét.

2.2. A járműszerelvény instabil állapotának felismerése

A járműszerelvény instabil állapotának felismerése a hajtásszabályzás kétszintű biztonsági rendszerének első szintje, ami az instabil állapot észlelését, és jelzését foglalja magában. A második szint egy aktív biztonsági szint, ahol a passzív kijelzésen túl a jármű mozgását befolyásoló beavatkozás történik a kerekek szelektív fékezése, vagy a kerekek hajtása által.

$$\gamma_1 = \arctan\left(\frac{l_k}{r_B}\right) \text{ és} \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{l_{pót}}{r_{lk}}\right) = \arcsin\left(\frac{l_{pót}}{\sqrt{(l_k^2 + r_B^2)}}\right). \quad (3)$$

A (1) egyenletbe (2)-t és (3)-öt behelyettesítve:

$$\gamma_{stat} = \arctan\left(\frac{l_k}{r_B}\right) + \arcsin\left(\frac{l_{pót}}{\sqrt{(l_k^2 + r_B^2)}}\right) \quad (4)$$

A képletben szereplő hátsó tengely fordulási sugara:

$$r_B = \frac{l_{tr}}{\tan(\delta_L)} + \frac{w_A}{2} \quad (5)$$

2.2.2. A vonószög meghatározása

A kiszámított γ_{stat} vonószög csak állandó sugarú körpályán haladás közben állandósult állapotban egyezik meg a vonószög pillanatnyi értékével. Ennek oka az, hogy a vonószög a kormányzott kerekek δ_L , δ_R . A vonószög állandósult állapotbeli értéke csak a jármű mozgása során, a kormányzó beállítását követően egy bizonyos idő elteltével alakul ki, ezért annak időbeli alakulását leíró egyenletét elő kellett állítanom.

A vonószög kanyarmenti értéke csak geometriától és a kormányzógtól függ. Gyors kormánymozdulattal egységugrást közelítő függvény állítható elő, amivel a rendszer viselkedését vizsgálni lehet. A rendszernek a vizsgálófüggvényre adott válaszából megállapítható, hogy a rendszer, melyet jelen esetben a traktor-pótkocsi szerelvény alkot az egytárolós rendszerekhez hasonlóan viselkedik.

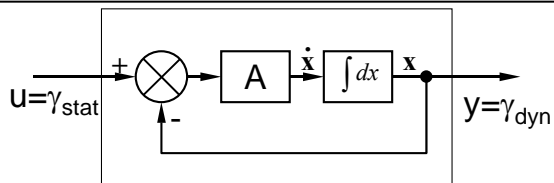
Mivel a jelenség modellezésére egy egytárolós rendszer modelljét használom. A γ_{stat} állandósult állapotbeli, vagy statikus és a γ_{dyn} dinamikus vonószög átszámítását 3. ábrán bemutatott PT1 típusú (arányos, egytárolós) tagból álló rendszer végzi el.

A késleltetést leíró egyenlet állapotter modell formájában a következő alakban írható fel:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A \cdot (\gamma_{stat} - x) \\ \gamma_{din} &= x \end{aligned} \quad (6)$$

ahol x az állapotváltozó, jelen esetben ez maga a vonószög pillanatnyi értéke.

Az egyenlet egyetlen, A együtthatja a járműszerelvény geometriájából és a haladási sebességből számítható a 7 képlet szerint.



3. ábra: Az γ_{dyn} dinamikus vonószög meghatározása az γ_{stat} Ackermann szerinti állandósult állapotbeli vonószög alapján.

A 3. ábra a (6) egyenlet bloksémáját mutatja. Az ábra az irányítástechnikában megszokott jelöléseket használja (u: bemenet fv., y: kimenet fv., x: állapotváltozó). Jelen esetben az A mátrix skalárrá egyszerűsödik, és értéke a pótkocsi hátsótengelyének a vontató hátsótengelyének t_0 időpontban elfoglalt helyének eléréséig megtett t idő reciproka.

Képlettel felírva:

$$A = \frac{v_x^{tr}}{l_{pót} - l_k} \left(\frac{1}{s} \right), \quad (7)$$

ahol v_x^{tr} a traktor sebessége, $l_{pót} + l_k$ traktor és a pótkocsi tengelyének távolsága.

A vonószög pillanatnyi értéket leíró az egyenlet differenciálegyenlet formájában felírva:

$$\frac{1}{A} \frac{d\gamma_{din}}{dt} + \gamma_{din} = \gamma_{stat} \quad (8)$$

Az egyenlet megoldása a bemenet függvény (γ_{stat}) alakjától függ. γ_{stat} nagyságú ugrásfüggvény bemenő jel esetén a γ_{din} kimenet alakja

$$\gamma_{din} = \gamma_{stat} (1 - e^{-At}) \text{ lesz..} \quad (9)$$

2.2.3. Perdülési sebesség meghatározása

Perdülési sebesség: a jármű súlypontján átmenő függőleges tengelye körüli perdülési, vagy szögsebessége. Jele: ψ (1/s v. rad/s).

Ha a jármű r sugarú körpályán v sebességgel halad, akkor egy teljes kör megtételéhez T időre van szüksége. A megtett út $2r\pi$ (m) nagyságú, a sebesség eközben

$$v = \frac{2r\pi}{T} \left(\frac{m}{s} \right) \quad (10)$$

A perdülési sebesség:

$$\psi = \frac{2\pi}{T} \left(\frac{rad}{s} \right) \quad (11)$$

A 10 és 11 egyenletek összevonásából a perdülési sebesség :

$$\psi = \frac{v}{r} \quad (12)$$

Ahol az

- elvárt a stabilitásprogram által a jármű paramétereiből meghatározott a vizsgált mozgásjellemző stabilnak ítélt állapotában számított értéke,
- $elvárt_{min}$ küszöbérték, mely alatt a stabilitásprogram nem értékelhet instabil állapotot,
- $elvárt_{alsó}$ az elvárt és a mért mozgásjellemző összehasonlításakor használt tolerancia-, vagy tűréssáv alsó határa,
- $elvárt_{felső}$ az elvárt és a mért mozgásjellemző összehasonlításakor használt tolerancia-sáv felső határa.

A konkrét egyenletek az adott stabilitásprogramon belül:

Vonószög módszer esetén:

$$stab_v = 1 \mid \psi_e > \psi_{min} \wedge \psi \notin \left[\left(1 - k_\psi\right) \cdot \psi_e \dots \left(1 + k_\psi\right) \cdot \psi_e \right] \quad (16)$$

Ez esetben a toleranciasáv a ψ_e elvárt perdülési sebesség körül k_ψ környezetben lett kijelölve.

Perdülési sebesség módszer esetén:

$$stab_p = 1 \mid \gamma_{din} > \gamma_{min} \wedge \gamma \notin \left[\left(1 - k_\gamma\right) \cdot \gamma_{din} \dots \left(1 + k_\gamma\right) \cdot \gamma_{din} \right] \quad (17)$$

Ez esetben a toleranciasáv a γ_{din} elvárt vonószög körül k_γ környezetben lett kijelölve.

Sebességkomponens módszer esetén

$$stab_v = 1 \mid v_y > v_{y_min} \wedge \delta \cdot v_y < 0 \quad (18)$$

2.2.6. Jelző- beavatkozó rendszer

Az előző fejezetben ismertetett stabilitásvizsgálati kritériumokra alapozva létrehoztam egy figyelmeztető és egy beavatkozó rendszert. A figyelmeztető rendszer a járművezető felé a jármű instabil állapotba kerülését tudja jelezni. A jelzőrendszer az instabil állapot megítélésére használt paraméter a referencia modell által generált referenciajel körül kialakított tolerancia-sávon kívül esése esetén jelez. A tolerancia sáv többféle képen választható meg. Nagysága a referencia jel körül állandó érték, vagy a referencia jel nagyságának valamilyen százaléka által behatárolt tartomány lehet. A referenciasáv kialakítása a stabilitásprogramok jóságának fontos kritériuma.

A beavatkozó-rendszerhez használt stabilitásvizsgálati kritériumok toleranciasávjai eltérhetnek a jelzőrendszerétől. Az a javaslatom, hogy a jelzőrendszer toleranciasávja a beavatkozó-rendszerhez képest szűkebb legyen. Ezáltal a téves, vagy utólag kevésbé kritikusnak bizonyuló jelzések száma csökken, a járművezető nem fog arra a

következtetésre jutni, hogy a jelzések egy részét figyelmen kívül hagyhatja, vagy hogy a rendszer indokolatlanul riaszt.

2.3. Validációs mérési módszerek

A validációs méréseket egy SR-10 típusú hazai gyártmányú erdészeti kihordóval végeztem el, melyet a Kisalföldi Erdőgazdaság Rt. Ravazdi Erdészete biztosított a számomra. A szerelvény adatai:

Pótkocsi típusa SR-10 erdészeti kihordó

Abroncs: 4db Mitas 405/70 R20 MPT-01

Öntömege: 5400 kg, Rakomány tömege: 4200 kg

A vontató típusa: Landpower Landini 135 TDi

Abroncs hátul Kleber Fitker 520/70 R38

Abroncs elől Kleber Fitker 420/70 R28
Tömege: 5600 kg

Tengelytáv: 2800 mm

Nyomtáv elől: 2014 mm

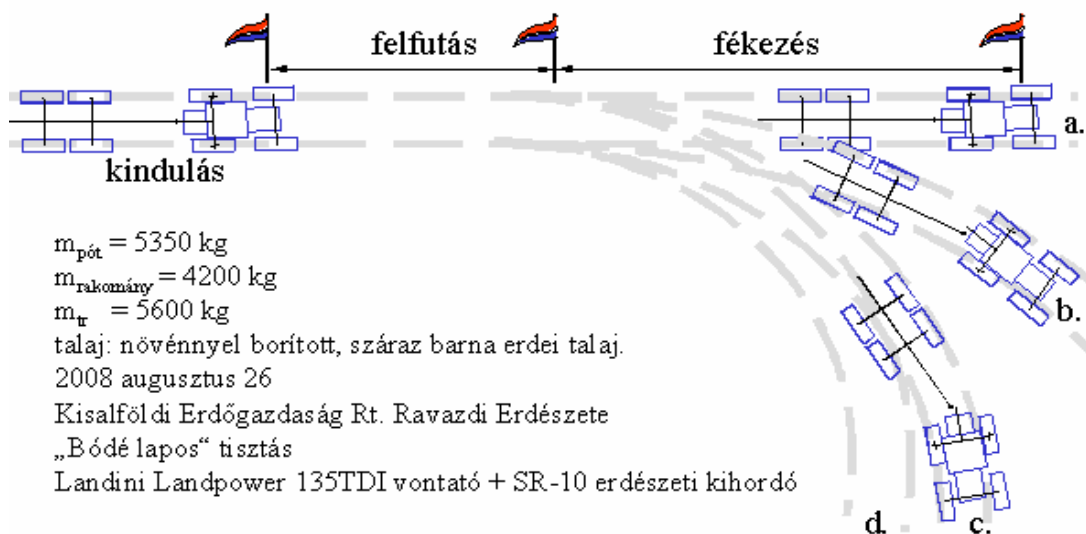
Nyomtáv hátul: 2014 mm

Teljes hossz: 5143 mm

Fékezési vizsgálat

A fékezési vizsgálatot előre kijelölt mérőszakaszon hajtottam végre. A mérés 2 szakaszból áll: az állandó sebességű felfutási és az állandó lassulású lefutási szakaszból (5. ábra). A mérést négy kormányszög beállítással végzem el (a-d változatok az ábrán).

A mérés célja a fékezés és a kombinált fékezés-kanyarodás során fellépő gyorsulások hatásának vizsgálata, hajtott kerékszip mérés, vontatási képesség, kanyarodási stabilitás vizsgálata.



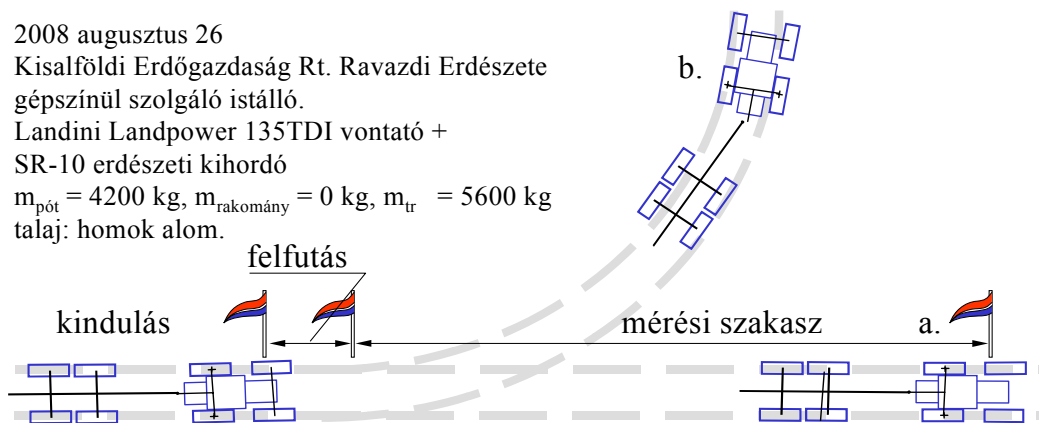
5. ábra: A fékezéses vizsgálat érőszakasza, és a mérés adatai

Pótkocsi szöghelyzetének mérése

A stabilitásvizsgálati algoritmusok egyike a pótkocsi és a vontató között bezárt szög (vonószög) az elvárttól való eltéréseinek mérésén alapszik. A járműszerelvénnyel haladási és geometriai adataiból kiszámítható hogy a vontató a pótkocsival csúszásmentes állapotban milyen szöget zár be.

Ellenőrző mérések

2008 augusztus 26
 Kisalföldi Erdőgazdaság Rt. Ravazdi Erdészete
 gépszínül szolgáló istálló.
 Landini Landpower 135TDI vontató +
 SR-10 erdészeti kihordó
 $m_{pót} = 4200 \text{ kg}$, $m_{rakomány} = 0 \text{ kg}$, $m_{tr} = 5600 \text{ kg}$
 talaj: homok alom.



6. ábra: Ellenőrző mérés terve

Az ellenőrző méréseket az erdőgazdaság üres lovardájában végeztem. A lovardai száraz homokos alomtalajon kialakított rövid gyorsítási szakaszt követő 20 méteres mérőszakaszon végeztem két kormánybeállítással (6. ábra a és b).

3. A MÉRÉSI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE, EREDMÉNYEK

3.1. Mérési adatok feldolgozása, utókezelése

Fékezőes vizsgálat:

A fékezőes vizsgálatkor a járműszerelvény egy felfutási szakasz után egyenesen, 7 fokban, 15 fokban, vagy 18 fokban elkormányozva haladt tovább, miközben a lehetőségekhez képest egyenletesen fékezve tette meg a mérőszakasz második felét. A mérés a járműszerelvény megállásáig tart. A mérés során a kormányzög, a vonászög, a járműtest gyorsulásai kerültek műszeresen mérésre, a hajtott kerekek fordulatszámai valamint a két mérőszakasz megtételéhez szükséges idő pedig kézi úton volt rögzítve. Az első méréssorozat végeztével ugyanolyan ütemezés szerint további két ismétlődő sorozat következett, így minden beállítást három külön alkalommal mértem le és rögzítettem.

3.1.1. Ellenőrző mérések adatai és kiértékelése

Az 1. Táblázat a kézzel mért adatokat tartalmazza, valamint az egyidőben mért villamos jeladók méréssorozatának kódjelét.

1. táblázat: Az ellenőrző mérések kézzel mért és számított adatai

Kód	file	δ	T	n_b	n_j	v_h (km/h)	l_b	l_j	s_b	s_j	l_{b0} (m)	l_{j0} (m)
B1		0				10.00	-	-	(1.00)	(1.00)	19.00	
B2	10.29	bal	20.00	3.25	3.50	3.70	17.77	19.13	0.05	0.04	17.00	18.40
B3	10.30.54	0	21.00	4.25	4.50	3.70	23.23	24.60	0.01	0.07	23.00	
B4	10.37.50	bal	20.00	3.25	3.75	3.70	17.77	20.50	0.05	0.11	17.00	18.40
B5	10.40.38	0	22.00	5.00	5.00	3.60	27.33	27.33	0.19	0.19	23.00	
B6	10.42.	0	21.00	4.75	4.75	3.60	25.97	25.97	0.13	0.13	23.00	
B7	10.43.35	bal	17.00	3.50	3.75	3.60	19.13	20.50	0.13	0.11	17.00	18.40

Jelölések:

Beállítási adat:

δ : kormányzög: 0°: egyenes menet, bal: balra 30°-ban elkormányozva

Méréssel meghatározott adat:

T mérőszakasz megtételéhez szükséges idő (s)

n_b , n_j hajtott kerekek körfordulásainak számai (bal és jobboldalon, a teljes mérőszakaszon)

Számítással meghatározott adat:

l_b , l_j hajtott kerekek által megtett út, bal és jobboldalon (m)

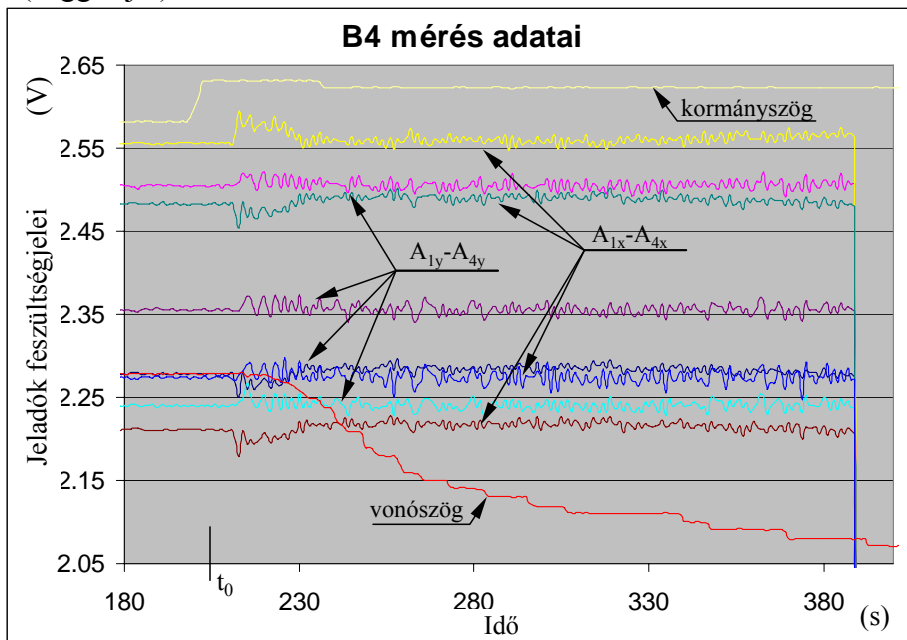
s_b , s_j hajtott kerekek szlipje, bal és jobboldalon (m)

Eredmények

l_{b0} : mérési hossz, mért adat (bal kerék nyomában) (m)

l_{j0} : mérési hossz kanyarodás közben, mért adat (jobb kerék nyomában) (m)

A 7. ábra az a példaként kiragadott B4 kódjelű mérés nyers adatainak kondicionálás utáni alakulását mutatja be. A kondicionálást az ezred-másodpercenként rögzített adatok tized-másodpercenkénti átlagolásával végeztem. Az ábrán t_0 jelöli a mérés kezdetét (trigger-jel).



7. ábra: A B4 jelű ellenőrző mérés gyorsulás és szög-jeladóinak alakulása jelkondicionálás után

3.1.2. Fékezéssel vizsgálat kiértékelése

A fékezéssel mérés a Kisalföldi Erdőgazdaság Rt. Ravazdi Erdészetének területén található, előre kijelölt területen, előre megtervezett ütemben folyt. A tervezett mérőszakaszt az 5. ábra mutatja. A felfutási szakasz 30m, a lassulási szakasz 30m, a kormányoszögek a-d-ig 0, 7, 15, 28 fok voltak. A kormányoszögeket a bal első kormányzott keréken mértem le.

A mérést 20-23°C hőmérsékletű napos száraz időben végeztem. A talaj kötött, növényvel borított, rendszeresen kaszált erdei barna talaj.

A mérés során részben műszeres, részben kézi adatrögzítés történt. A mérési beállítások kódjelet kaptak, mely alapján az adatok feldolgozásakor az összetartozó kézi és műszeres adatok összepárosíthatók voltak.

A kézzel rögzített és azokból meghatározott adatait a 2. táblázat foglalja össze.

Az F-el kezdődő kódú jelek a fékezéssel vizsgálat, a H-val kezdődők a körbejárási teszt adatait ismertetik.

2. táblázat: Terepen végrehajtott fékezéses (F) és körbejárás (H) mérés adatai

Kód	δ_e	δ	γ	t_1	t_2	n_b	n_j	v_h	l_b	l_j	s_b	s_j	$l_{b0}(m)$	$l_{j0}(m)$
F10	0	0	0					18	0.00	0.00	-100.00	-100.00	32	32
F10a	0	0	0					12	0.00	0.00	-100.00	-100.00	32	32
F10b	0	0	0	12.79	23.41	12	12	10	37.70	37.70	17.81	17.81	32	32
F11	8	7.2	10	13.38	25.03	9.5	8.5	10	29.85	26.70	10.54	11.26	27	24
F12	18	17	21	14.5	24.45				0.00	0.00	-100.00	-100.00	23	20
F13	23	22	29	14.45	26.16	8	7	10	25.13	21.99	32.28	46.61	19	15
F20	0	0	0	14.42	23.25	12	12	10	37.70	37.70	17.81	17.81	32	32
F21	8	9	12	14.5	28	10	8.25	10	31.42	25.92	16.36	7.99	27	24
F22	18	17	22	12.6	28.78	8.75	7.75	10	27.49	24.35	19.52	21.74	23	20
F23	23	23	30	18.41	33.84	7.5	6.25	10	23.56	19.63	24.01	30.90	19	15
F30	0	0	0	15.32	23.31	12	12.3	10	37.70	38.48	17.81	20.26	32	32
F31	8	8	11	14	27.8	9.75	8.25	10	30.63	25.92	13.45	7.99	27	24
F32	18	19	22	14.51	27.22	8	7.75	10	25.13	24.35	9.27	21.74	23	20
F33	23	26	32	16.98	30.35	7	6	10	21.99	18.85	15.74	25.66	19	15
F40	0	0	0	14.8	25.2	13	12	10	40.84	37.70	27.63	17.81	32	32
F41	8	10	13	14.73	29.13	10	8.5	10	31.42	26.70	16.36	11.26	27	24
F42	18	17	22	13.1	28.85	8.5	7.75	10	26.70	24.35	16.10	21.74	23	20
F43	23	23	31	13.39	24.53	6.5	5.5	10	20.42	17.28	7.48	15.19	19	15
H1	0			47.39				2.5	0.00	0.00	-100.00	-100.00	32	32
H2	23	23		29		12.3	8	2.5	38.48	25.13				
H3	23	23		29		12.8	9	2.5	40.06	28.27				

Jelölések:

Beállítási adat:

δ_e : kormányszög beállítási érték ($^\circ$)

v_h : A járműszerelvény sebessége (m/s)

Méréssel meghatározott adat:

δ : kormányszög mért értéke ($^\circ$)

γ : vonószög ($^\circ$)

t_1 felfutási szakasz megtételéhez szükséges idő (s)

t_2 fékezési szakasz megtételéhez szükséges idő (s)

n_b , n_j hajtott kerekek körülfordulásainak számai (bal és jobboldalon, a fékezési szakaszon)

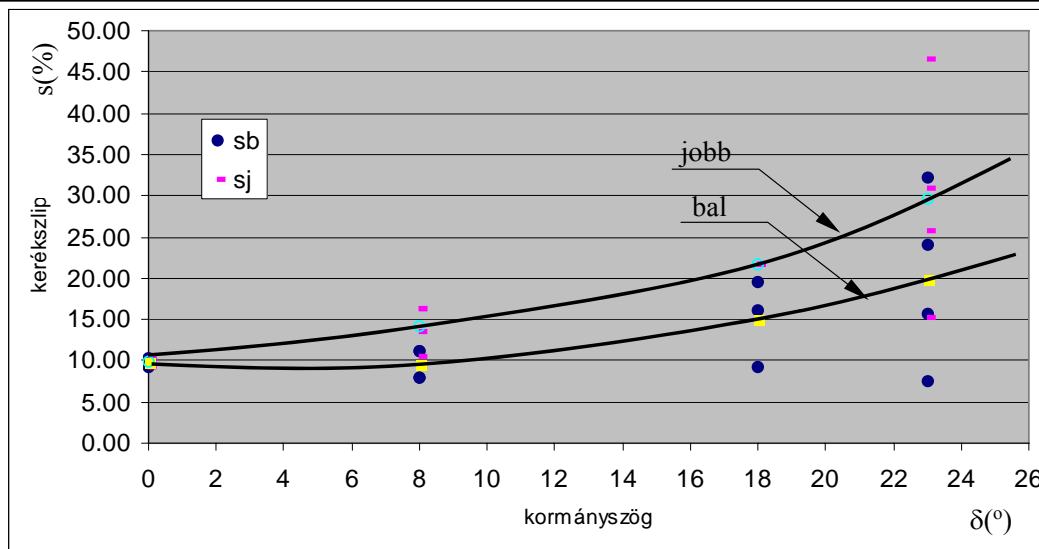
Számítással meghatározott adat:

l_b , l_j hajtott kerekek által megtett út, bal és jobboldalon (m)

s_b , s_j hajtott kerekek szlipje, bal és jobboldalon (m)

l_{b0} : mérési hossz, mért adat (bal kerék nyomában) (m)

l_{j0} : mérési hossz kanyarodás közben, mért adat (jobb kerék nyomában) (m)



8. ábra: A kerékszlipek alakulása a fékezéses vizsgálat során

A 8. ábra a kerékszlip alakulását mutatja a fékezéses vizsgálat során. A kormányaszög - kerékszlip pontpárok a 2. táblázat adatainak felhasználásával készült. A folytonos vonallal berajzolt görbék a kormányaszöghöz tartozó kerékszlipek átlagaira illesztett görbék. Az ábrán megfigyelhető, hogy kanyarodás közben a kerékszlip a kanyarodás irányába eső belső és a külső kerekek között differenciálódik. A külső kerék szlipje a kormányaszöggel arányosan nagyobb a belsőnél. A kerékszlipek átlaga is nő, ahogy a kormányaszög egyre nagyobb értéket vesz fel. Ennek oka az, hogy a kanyarodás veszteséggel jár, a veszteségek legyőzéséhez szükséges kerékerőhöz pedig a növekvő szlip tartozik.

3.1.3. Körbenjárás mérés kiértékelése

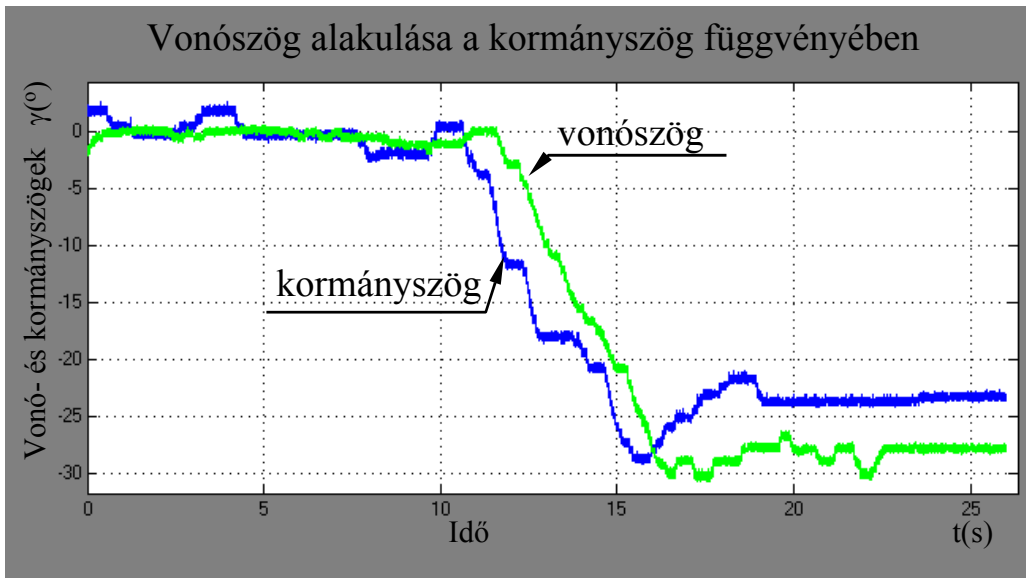
A körbejárás teszt célja a járműszerelvény extrém állapotba juttatása, stabilitásvizsgálat, és a vonószög számítás validálása. A vizsgálat során csak a pótkocsi hajtás üzemel. A kormányaszög jobb szélső helyzetébe lett állítva.

A mérés során rögzítésre kerültek:

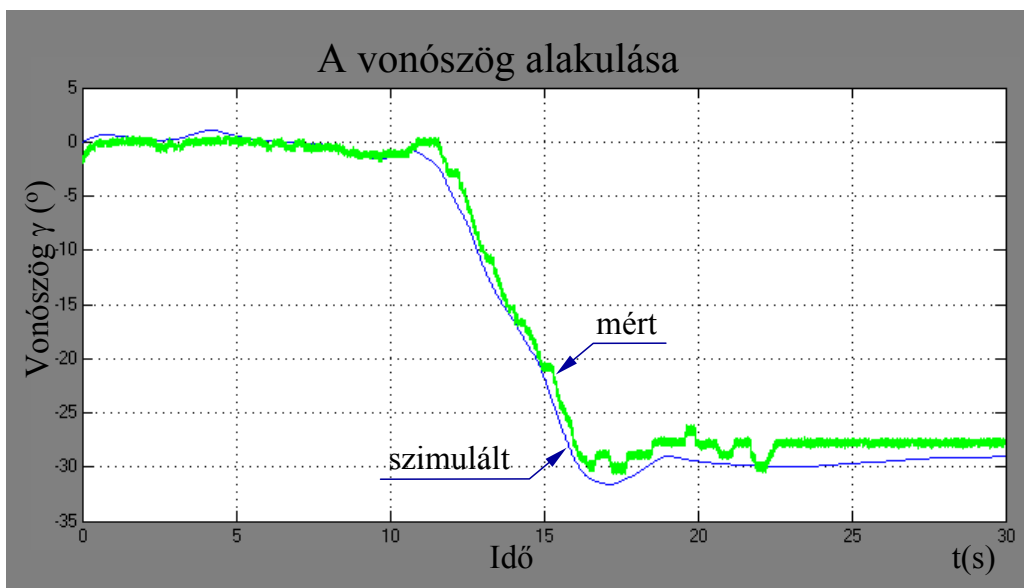
- A pótkocsi kerékfordulatszámok (n_b, n_j)
- A pótkocsi gyorsulásai (a_{A1x} - a_{A4y})
- A kormányaszög (δ)
- A vonószög (γ)
- A vontató haladási sebessége (v_h)

A validáció során a H2 jelű mérés során rögzített adatok közül a kormány- és a pótkocsi-szöghelyzet adatokat vettem alapul. Létrehoztam a vizsgált kihordó szerelvény számítógépes modelljét és beállítottam a paramétereit. A rögzített kormányhelyzet és sebességadatokat felhasználva szimuláltam a H2 mérés során végzett körbejárást, a mérés során beállított adatokkal. A számítógépes szimuláció

által kiszámított vonószögeket a mérés során rögzítettekkel egy koordináta rendszerben ábrázoltam és összehasonlítottam őket (10. ábra), mely alapján következtetéseket vontam le.



9. ábra: A kormány és a vonószög alakulása az idő függvényében



10. ábra: Szimulált és mért vonószögek alakulása

Az összehasonlítás eredményét a 10. ábra ismerteti. Az ábrán látható, hogy a szimulációval meghatározott vonószög a mértet jól közelíti, a számítógépes szimuláció a valósággal egyező szöghelyzet adatokkal szolgál. A 9. ábra a mérés során nyert kormány- és vonószög jeladók szögértékeit mutatja a Matlab/Simulink modellkörnyezetbe importálva. Ezeket a jeleket mátrixokká alakítva a szimuláció során felhasználtam.

Eredmények

A szimuláció során a jármű kormánysszöge a méréskor felvett kormánysszög időbeli függvényével volt egyenlő. Az így kapott szimulált vonószöveget a mért vonószöggel együtt egy diagrammon ábrázoltam, amit a 10. ábra mutat be. Az ábrán a vastag vonal mutatja a mérés során rögzített vonószöveget, a vékony pedig a szimuláció során létrehozottat. A jelek egyezése kielégítő, megállapítható, hogy a modell kormánysszög időbeli alakulását kellő pontossággal számítja ki.

3.2. Szimuláció módszerrel nyert adatok

A szimulációs vizsgálatok során a mérési adatokat a járműszerelvény-modellekkel végzett szimulációk segítségével szerettek helyettesítették. Ezeket az adatokat a diagrammokon „szimulált” jelzővel különböztetem meg. A járműdinamikai jellemzők szimulációs meghatározása mellett, azokkal egyidejűleg egy referencia modell is fut, mely a vonószög, a vontató és a pótkocsi perdülési sebesség valamint oldalsebesség elvárt értékeit határozza meg. A referenciamodell által létrehozott jelek az ábrákon a „számított”, vagy „elvárt” jelzőt kapták. Ez a két jel megegyezik a stabilitásprogrammal ellátott járműszerelvényen végzett méréssel, ahol a stabilitásprogram referenciajelei, és a járműszerelvény dinamikai jellemzői is hozzáférhetők.

Instabillá vált szerelvény stabilitása aktív biztonsági rendszerrel

Az instabil menetállapotba jutott járműszerelvény stabilizálásának legegyszerűbb módja a hajtónyomaték csökkentésével megvalósított járműsebesség csökkentés.

Az igazolást a járműszerelvény modell felhasználásával végeztem el. A modellezés során egy mezőgazdasági vontatóból és hajtott kerekű pótkocsiból álló szerelvényt hoztam létre. A szerelvény haladási sebességét és kanyarodásának mértékét úgy választottam meg, hogy a pótkocsi megcsússzon.

A beavatkozás szükségességének és mértékének megállapításához különböző stratégiákat dolgoztam ki.

Az elvárt és mért szabályozási paraméterek eltérését egy tolerancia-sáv átlépése után kell figyelembe venni. A tolerancia-sáv megállapítását körültekintően kellett elvégezni, mert túl szűkre választott sáv esetén téves riasztások jelentkeznek, melyek egyrészt zavaróak, másrészt a járművezető egy idő után figyelmen kívül hagyja őket. A túl nagyra választott tolerancia pedig valós riasztás esetén kevés időt hagy a kézi, vagy automatikus beavatkozásra. Célszerű a tolerancia-sávot sebesség függvényeként meghatározni. alacsony sebesség esetén szűkebb, nagyobb sebesség esetén tágabb sáv megadása csökkentheti a téves riasztásokat, beavatkozásokat.

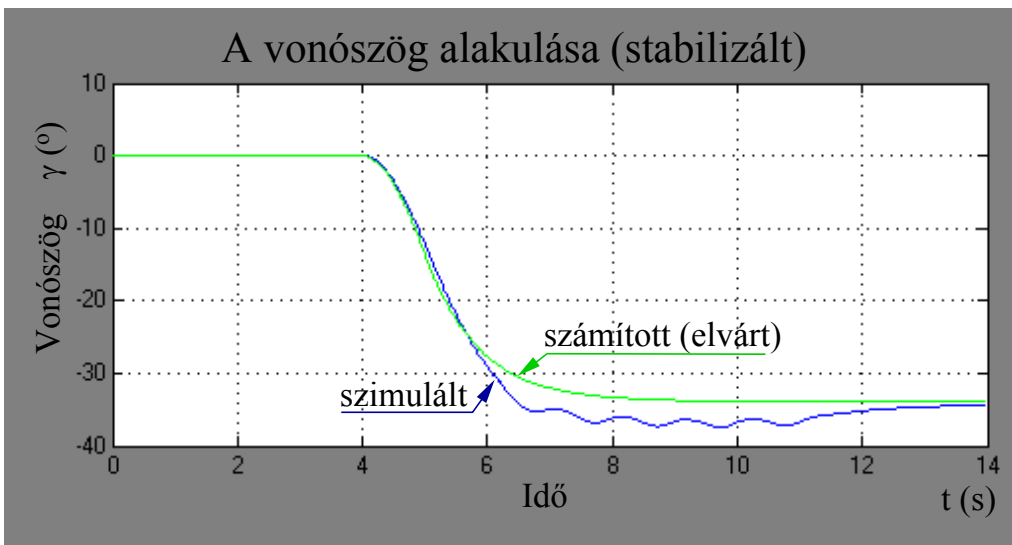
A beavatkozási stratégiák is eltérőek lehetnek. Sebességcsökkenést el lehet érni hajtónyomaték csökkentéssel, vagy fékezéssel. E kettő közül a nyomatékcsökkentés egyszerűbben kivitelezhető, vagy oldható meg utólag.

A hajtónyomaték csökkentés is megvalósítható egy lépésben, fokozatokban, vagy fokozatmentesen.

A szimulált balesetben a sebességcsökkenést egy egyfokozatú nyomatékkelvételrel valósítottam meg.

Először a járműszerelvény modellel egy nagymértékben instabil haladási állapotot hoztam létre, amely valós körülmények között is balesethez vezetne, majd megvizsgáltam a baleset lefolyását. Ezt követően a kiválasztott stabilizáló algoritmust engedélyezve a szerelvénnyel ugyanazt a manővert hajtottam végre, majd a beavatkozás hatását megvizsgáltam.

A 11. ábrán a vonószög időbeli lefutását mutatja a vizsgálat során. Látható, hogy a vonószög szimuláció során rögzített értéke korlátlan mértékben nem tér el az elvárttól, vagyis a szerelvény nem kerül instabil állapotba.



11. ábra: Stabilizált járműszerelvény vonószögének alakulása

Különböző sebességgel és különböző kormányzással vizsgálva a balesetet megállapítottam, hogy hajtónyomaték szabályozással lehetőség van a kezdődő oldalcsúszás mérséklésére és megszüntetésére.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1 A hajtott vontatmányú járművek kanyarstabilitásának megítélésére vonatkozó Ackermann féle összefüggést bizonyítottan pontosítottam. Ezáltal a kerékszögeken kívül a kanyarstabilitás további fontos jellemzője a vonószög állandósult állapota is meghatározható.

Az állandósult állapotbeli vonószög meghatározására a következő egyenletet írtam fel, és bizonyítottam:

$$\gamma_{stat} = \arctan\left(\frac{l_k}{r_B}\right) + \arcsin\left(\frac{l_{pót}}{\sqrt{(l_k^2 + r_B^2)}}\right)$$

$$\text{ahol: } r_B = \frac{l_r}{\tan(\delta_L)} + \frac{w_A}{2}$$

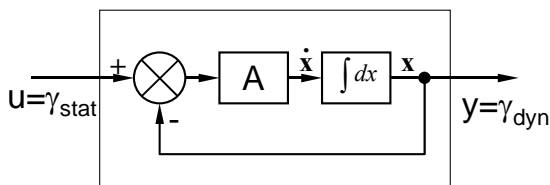
- 2 Meghatároztam a vonószög kanyarmenti változásait leíró összefüggést, amely a járműszerelvény geometriai adatainak, a kormányszögnek és a szerelvény sebességének ismeretében adja az γ_{din} vonószög-kanyarodás függvényt.

A vonószög kanyarmenti változását az alábbi differenciál-egyenlet írja le:

$$\frac{1}{A} \frac{d\gamma_{din}}{dt} + \gamma_{din} = \gamma_{stat}$$

Az egyenlet megoldása a bemenet függvény (γ_{stat}) alakjától függ. γ_{stat} nagyságú ugrás bemenő függvény esetén a kimenet $\gamma_{din} = \gamma_{stat}(1 - e^{-At})$ alakú lesz, ahol A a szerelvény haladási sebességéből és geometriájából meghatározható, (1/s) dimenziójú változó.

A modell blokkdiagramját a következő módon valósítottam meg:



Ez a modell numerikus úton, tetszőleges kormányszög esetében elő tudja állítani a vonószög-függvényt. A vonószög pillanatnyi értéke a járműszerelvény stabilitás elbírálásának egyik legfontosabb tényezője.

- 3 Igazoltam, hogy a vonószög mérésen alapuló stabilitásvizsgálati módszer alkalmas a járműszerelvény alul- vagy túlkormányzott állapotának meghatározására. Ezzel a mezőgazdasági hajtott vontatmányok kormányzotttsági anomáliái kiküszöbölhetők.

A módszer a járműszerelvény sebesség, geometria és kormányszög ismeretében határozza meg a vonószög elvárt értékét, majd azt a vonószög mért értékével összehasonlítja. Az eltérés nagyságából és irányából az alul- vagy túlkormányzottság meghatározható.

Megállapítottam, és numerikus (számítási) módszerrel igazoltam, hogy járműszerelvény esetén stabilitásvizsgálati alapparaméterek lehetnek járműegységként a perdülési sebesség és oldalirányú sebességjellemzők, valamint a járműegységek egymáshoz viszonyított szöghelyzete, a vonószög.

- 4 Szimulációs módszerrel megállapítottam és méréssel igazoltam, hogy járműszerelvény esetén a legmegbízhatóbb stabilitás-meghatározást a vonószög mérésén alapuló módszer adta. A perdülési sebesség mérésén alapuló módszer is kielégítő eredményt adott, de ennek alapparaméterét nehezebb mérni és kiértékelni, mint a vonószögmérés módszer alapparaméterét. Az oldalirányú sebesség módszer használata nem alkalmas az összes instabil állapot felismerésére, és az észlelt állapotokat is később jelzi, mint a többi módszer.

Különböző algoritmusokat hoztam létre a perdülési sebesség-, oldalirányú sebesség- és vonószögmérés alapján működő stabilitás-vizsgálatokhoz, melyeket számításal validáltam.

Egy jelzőalgoritmust hoztam létre, és meghatároztam a rendszer állapotait leíró függvénykapcsolatot, amely instabil menetállapot észlelése esetén figyelmeztető jelzést szolgáltat a gépjárművezető számára. A jelzőrendszer kialakítása olyan módon történt, hogy az a lehető legkevesebb téves riasztást szolgáltatassa, de mégis idejében jelezen ahhoz, hogy a járművezető beavatkozásával el tudja háritani a balesetet, vagy csökkenteni tudja kimenetelének súlyosságát.

Eredmények gyakorlati használhatósága.

A mezőgazdasági szállítójármű-szerelvényre kifejlesztett stabilitásprogram egyik gyakorlati haszna a jelenlegi szállítórendszerek biztonságának növelése, mivel utólagosan felszerelve, kiegészítő aktív, vagy passzív (riasztó- vagy riasztó-beavatkozó) rendszert alkot.

Az általam kifejlesztett gépjármű-szerelvény modelleket úgy alkottam meg, hogy a konkrét feladaton túl más feladatok megoldásában is felhasználhatók legyenek. Ilyen feladat lehet olyan további járműdinamikai, járműszabályozási probléma, mint például a járműszerelvény borulásának szimulációja, blokkolás- vagy kipörgésgátló rendszerek fejlesztése, autonóm járművek illetve elektronikus vonórúdfejlesztés.

A létrehozott stabilitásvizsgálati módszerek további gyakorlati hasznát jelenti, hogy alkalmazásával teljesül a hajtott vontatmányok üzemeltetési feltétele, miszerint hajtott kerekű pótkocsit kizárólag szabályozott hajtásrendszerrel és stabilitásprogrammal szabad üzemeltetni.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Hajtott kerekű pótkocsik alkalmazásával az energiahatékonyság növelésére és a talajkárosítás csökkentésére, valamint mobilitás növekedés érhető el. A hajtott kerekű pótkocsik alkalmazása azonban csak olyan hajtásszabályozó rendszerrel lehetséges, amely megakadályozza a szerelvény becsuklását, és optimális hajtónyomaték-elosztást biztosít.

Az irodalomkutatás során megállapítottam, hogy ugyan vontató-pótkocsi járműkombinációk szabályozásának bőséges irodalma lelhető fel, de ezek többsége szilárd útburkolaton közlekedő gépjárművek és vontatmányuk problémáit és az azokra kidolgozott megoldásait ismertetik. Ezen kívül a legtöbb publikáció nagymértékben leegyszerűsített járműmodell és linearizált kerékmodell ismertet, mely nem megfelelő mezőgazdasági, és terepen mozgó járműszerelvények modellezésére.

A járműszerelvényen végzett mérések során a járműszerelvény a legnagyobb igénybevételt kifejtő beállítás során is stabil maradt. Becsuklás, oldalcsúszás nem vette kezdetét. Ennek legfőbb okai a kis sebesség és az alacsony terepszögek voltak, valamint a járműszerelvény stabil felépítése. Szükség lehet egy olyan mérésre, amikor létre lehet hozni instabil állapotot. Ebben az esetben a megvalósított riasztó rendszer üzemi körülmények közötti validálására is sor kerülhetne.

A perdülési sebesség és oldalirányú sebesség mérésén alapuló stabilitásprogramok bemeneti adatai indirekt módon, gyorsulásmérésekkel lettek meghatározva. A gyorsulásmérésre rendelkezésre álló eszközökkel meg lehetett ugyan határozni a jármű gyorsulási értékeit, és azokkal ugyan elő lehetett állítani sebességelet, de ki kell dolgozni egy mérési eljárást, mely jobb jel/zaj viszonytal, kevesebb zavaró hatással és több biten kódolt információval szolgáltat eredményt.

A szöghelyzet-mérésen alapuló stabilitásvizsgálati módszer a mérés során is megbízhatóan működött, és a sebességméréseken alapuló módszerekhez hasonló probléma sem merült fel. A jel-zaj arány lényegesen jobb volt, és a zavaró hatások is kevésbé jelentek meg a mért jelen. A szöghelyzet-jeladó mechanikus elemeket tartalmaz, így annak karbantartásigénye van, így a meghibásodási lehetősége is nagyobb.

A kidolgozott járműmodell parkot tovább kell fejleszteni a modulok cseréjét át kell alakítani úgy, hogy azok menürendszerből elvégezhetőek legyenek, amivel programozási ismeretek nélkül is használható lehet a modell.

A Matlab/Simulink programcsoportha épített többparaméteres függvény minimumhely kereső algoritmusa a megfelelően választott célfüggvény segítségével, egy lépésben, kellő pontosságban el tudta végezni a kiválasztott kerékmodell paramétereinek mérési eredményhez való beazonosítását.

A kiválasztott és módosított kerékmodell, a létrehozott paraméteridentifikáló algoritmussal együtt jól használható eszköze lehet a számítógépes jármű-szimulációknak.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági szállítási feladatokra használt járműszerelvények kapacitásának és szállítási útvonalának növekedése volt megfigyelhető az utóbbi évtizedben. A szállítási feladatokra használt járműszerelvényekkel kapcsolatos elvárások szintén megnöttek. A szerelvénynek a lehető legkisebb talaj és környezetkárosítás mellett kell kedvezőtlen talajkörülmények között is megbízhatóan közlekednie, miközben szilárd burkolatú úton nagy sebességgel, kis energiaráfordítással kell haladnia.

Mind az energiahatékonyság, mind a mozgékonyság és talajkímélés szempontjából megoldást jelent a hajtott kerekű pótkocsik alkalmazása a mezőgazdaságban és az erdészetben egyaránt.

A hajtott kerekű pótkocsik használata nem új keletű. Alkalmazásának elterjedésnek gátat szab a hajtásrendszer szabályozásának megoldatlansága. Korábbi próbálkozások súlyos, többször emberéletet követelő balesetek miatt vallottak kudarcot, miközben speciális területeken, például az erdészetben megmaradtak a hajtott kerekű pótkocsiból álló szállító rendszerek.

A járművek hajtásszabályozó és biztonsági rendszereinek fejlődése újból előtérbe hozta a hajtott kerekű pótkocsik mezőgazdasági használatának lehetőségét. A rendelkezésre álló eszközökkel kielégítően meg lehet oldani a szerelvény stabilitásának fenntartását, az instabil állapot érzékelésével és megszüntetésével.

Disszertációmban a hajtott kerekű pótkocsikat magába foglaló szállítójárműszerelvények baleseteinek kialakulásával, stabilitásának mérőszámaival foglalkoztam. Kidolgoztam egy különböző vontató és pótkocsi-modellekből álló járműparkot, mellyel járműdinamikai szimulációkat lehet végezni elsődlegesen mezőgazdasági szállítószelvények stabilitásvizsgálatának céljából. Megkerestem azokat a jellemzőket, amelyek ismeretében el lehet különíteni a szerelvény stabil állapotát az instabiltól. Különböző stabilitásprogramokat dolgoztam ki, valamint megvizsgáltam azok alkalmazhatósági lehetőségeit.

A számítógépes szimuláció során elért eredményeket összehasonlítottam hajtott kerekű pótkocsin mért adatokkal a modellpark- és a referenciajeleket adó számítási módszerek validálásának érdekében.

A modellpark létrehozása során szem előtt tartottam a modell további feladatokra való felhasználhatóságát, így azt moduláris felépítéssel a kezelést könnyítő funkciókkal és kezelő, valamint animációs felülettel láttam el. További szempont volt a modell felsőoktatásban való felhasználhatósága is, melynek eleget tettem.

7. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SZAKMAI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Lektorált cikk magyar nyelven:

1. Szakács T., „Mezőgazdasági szállító járműszerelvény stabilitásának vizsgálata számítógépes szimuláció módszerével” Gép 2005/2-3. LVI. évfolyam
2. Szakács T., „Hajtottkerekű pótkocsik alkalmazása mezőgazdasági szállítási feladatokban” Mezőgazdasági Technika 2005 Szeptember 2-4 oldal
3. Szakács T.: „Mezőgazdasági szállító járműszerelvény stabilitásának vizsgálata számítógépes szimuláció módszerével” CD kiadvány. CD ISBN 963_7154_36_1

Nemzetközi konferencia kiadvány:

1. Szakács T., Angol nyelvű proceeding „Development directions in the goods, agricultural and personal transport industry in order to decrease environmental damages.” The Energy and the Environment Konferencia kiadványában 2004.10.27-29 Opatija, Horvátország
2. Szakács T., Angol nyelvű proceeding „Vehicle Train Simulation Model for Developing Stability Control System” az ISTVS: New Developments in Off-Road Vehicles and Machinery konferencia kiadványában Budapest 2006.10.3-6 ISBN 963 06 08324
3. Szakács T., Oktatási célra használható járműszerelvény modell „100 éves a ford t-modell” nemzetközi konferencia 2008. október 20-21
4. Szakács T., A vehicle model for education goal International Conference on Science and Technique in the Agri-Food Business ICoSTAF2008 5-6 November 2008

Magyar konferencia kiadvány:

1. Szakács T., A traktor-pótkocsi járműkapcsolat közötti haladását szabályozó magyarországi és Európai Unió szabályok összehasonlító elemzése. "A Mezőgazdasági Szállítás Műszaki Háttere" workshop kiadványa. 1999, 5 oldal
2. Szakács T., Környezetvédelmi, és technológiai lehetőségek a járműtechnika utóbbi évi eredményeinek felhasználásával. Proceeding a XXIX. Óvári tudományos napok CD kiadványában. 2002. október 3-4
3. Szakács T., A talajtömörödés csökkentésének egy további lehetséges módszere. Proceeding a XXX. Óvári tudományos napok CD kiadványában 2004. október 7-én.

Nemzetközi konferencia absztrakt:

1. Szakács T., Angol nyelvű abstract: "Energy saving and environmental protecting possibilities in the near future of vehicle industry." 7th Workshop on Energy and Environment" kiadványa. Szent István Egyetem 2001.
2. Szakács T., Angol nyelvű abstract: "Energy saving and environmental protecting in the vehicle industry" 9th Workshop on Energy and Environment" kiadványa. Szent István Egyetem 2003
3. Szakács T., Angol nyelvű abstract „Decreasing the environmental damages in the agricultural transport process” címmel a "10th Workshop on Energy and Environment” keretén belül. Szent István Egyetem 2004-11-09
4. Szakács T., Angol nyelvű abstract „Modeling of agricultural transport vehicles in order to develop a vehicle control system” címmel a 11th Workshop on Energy and Environment” kiadványában Szent István Egyetem 2005-11-07
5. Szakács T., Certain Questions About Vehicle Dynamic Simulations Hatodik országos gépészet konferencia (Gépészet 2008) 2008. május 29-30 CD Proceedings of Sixth Conference on Mechanical Engineering ISBN:978-963-420-947-20
6. Szakács T.: Angol nyelvű abstract: „Research Results on Improving Efficiency of the Internal Combustion Engines and Vehicles” címmel a Workshop on Energy and Environment” kiadványában Szent István Egyetem 2006-09-19

Magyar konferencia absztrakt:

1. „Mezőgazdasági szállító járműszerelvény stabilitásának vizsgálata számítógépes szimuláció módszerével” Budapesti Műszaki Főiskola Jubileumi rendezvénysorozat a Bánki Donát Gépészmérnöki kar jogelőd intézménye alapításának 125. évfordulóján 2004-11-12 rendezvény absztraktja

Külföldön benyújtott szabadalmak:

1. Weiss H., Gerd B., Szakács T., Palm U. Invention Report: Control of Electric Wheel Drive Motors. Beterjesztett szabadalom. 2003..08.06, Deere & Company. Patent Nr. 03017910.5 Case No. 9010 LL/Gh 09

Magyar nyelvű könyv

1. Szakács T., Terepen mozgó járművek c. egyetemi jegyzet. Szerkesztette: Dr. Laib Lajos 9.3 to 9.5 fejezet: Terepen mozgó járművek modellezése, ISBN 963 9422 01 0 Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2002. 7 oldal

TDK konzulensi munka: beadott dolgozatok

1. Bogár József: **Paraméter Identifikáció Kerékerő Modellek Esetében XXXI.** TDK Konferencia – 2006. november 23. BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, III. évf. Konzulens: Szakács Tamás, főiskolai adjunktus.
2. Szabó András: **Járműdinamikai Rendszerek Matematikai Modellezése XXXI.** TDK Konferencia – 2006. november 23. BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, III. évf. Konzulens: Szakács Tamás, főiskolai adjunktus

Publikációk jegyzéke

3. Dzurits Péter Tibor: **Gépjárművek stabilitásának vizsgálata** XXXII. TDK Konferencia – 2007. november 15. BMF Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, III. Konzulens Szakács Tamás, főiskolai docens

Ezek közül díjazott

1. Bogár József: **Paraméter Identifikáció Kerékerő Modellek Esetében** XXXI. TDK Konferencia – 2006. november 23. BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, III. évf. Konzulens: Szakács Tamás, főiskolai adjunktus.