



MŰSZAKI TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**VONTATMÁNYRA HATÓ, TEREPEEN ÉS
PRÓBAPÁLYÁN LÉTREJÖVŐ IGÉNYBEVÉTELEK
ÖSSZEHAONLÍTÓ ELEMZÉSE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Gurmai László

Gödöllő
2015

A doktori iskola megnevezése:

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

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

témavezető:

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

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSJEGYZÉK.....	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	5
1.1. A választott témakör jelentősége	5
1.2. Célkitűzés	6
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	7
2.1. Mérőeszközök, és mérési módszerek	7
2.2. Mérési eredmények feldolgozása és kiértékelése	10
3. EREDMÉNYEK.....	14
3.1. Kapcsolatrendszer a terepprofil és jármű lengései között	14
3.2. Lengégyorsulás értékek eloszlásának vizsgálata	17
3.3. Az akadály és kerék ütközésekor létrejövő gyorsulások	18
3.4. Terepprofilok összehasonlító módszere	21
3.5. Épített akadályrendszerek összehasonlítása	22
3.6. Módszer az épített akadályrendszer kialakítására.....	22
3.7. A kutatás gyakorlati eredményei	24
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	26
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	28
6. ÖSSZEFOGLALÁS	29
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK.....	30

JELÖLÉSJEGYZÉK

JELÖLÉSJEGYZÉK

a :	a vontatmány egy pontjának gyorsulása	[m/s ²]
a_{max} :	a vontatmány egy pontjának maximális gyorsulása	[m/s ²]
c :	rugómerevség	[N/m]
c_{fh} :	hasonlósági egyenlet konstans értéke félhenger esetén	[-]
c_{zsz} :	hasonlósági egyenlet konstans értéke zártszelvény esetén	[-]
d :	csillapítási tényező	[Ns/m]
f :	frekvencia	[Hz]
g :	nehézségi gyorsulás	[m/s ²]
G :	egy kerékre jutó terhelés	[N]
$G_x(f)$:	terepprofil teljesítménysűrűség függvénye	[m ² s]
$G_y(f)$:	gerjesztett lengőrendszer teljesítménysűrűség függvénye	[m ² s]
h :	zártszelvény magassága	[m]
l :	nyomtávolság	[m]
l_1 :	tömegközéppont és a jobb oldali kerék nyomvonalának távolsága	[m]
l_2 :	tömegközéppont és a bal oldali kerék nyomvonalának távolsága	[m]
m :	tömeg	[kg]
n :	hullámszám	[1/m]
r :	félhenger akadály sugara	[m]
R :	a gumibroncs statikus sugara	[m]
t :	idő	[s]
T_G :	spektrális teljesítménysűrűség függvény területe	[mm ²]
v :	vontatási sebesség	[m/s]
x :	elmozdulás	[m]
y :	a tömegközéppont vertikális irányú elmozdulása	[m]
y_1 :	a jobb kerék vertikális irányú elmozdulása	[m]
y_2 :	a bal kerék vertikális irányú elmozdulása	[m]
y_3 :	a vonószem vertikális irányú elmozdulása	[m]
β :	merev kerék és talaj, valamint az akadály érintési pontja közti szög	[°]
ε :	hasonlósági egyenlet kitevője	[-]
Λ :	logaritmikus dekrementum	[-]
σ :	szórás	[-]

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

1.1. A választott témakör jelentősége

Magas fokú megbízhatóság, költséghatékony gyártás, funkcióknak megfelelő optimális kialakítás, súlycsökkentés, élettartamra történő alkatrésztervezés... Néhány példa a napjainkban oly gyakran elhangzó elvárásoknak, melyeknek a konstruktőrök által fejlesztett gépeknek meg kell felelniük. A jelenlegi piaci igényeknek megfelelően mind a jármű-, mind pedig a mezőgazdasági gépiparban egyre tökéletesebb és megbízhatóbb járműveket kell tervezni és legyártani. Ahhoz, hogy a konstruktőr tervezőmunkája során megfeleljen ezen elvárásoknak, számos információra van szüksége. Ilyen információ a jármű szerkezetének méretezéséhez elengedhetetlenül szükséges útprofilok egyenetlenségeiből adódó gerjesztések dinamikus igénybevételeinek ismerete.

A termékfejlesztés tervezést követő lépése az elkészült prototípus gépek funkcionális és szilárdsági tesztelése és validálása. A fejlesztés ezen fázisában győződik meg a tervező arról, hogy a fejlesztett szerkezet méretezését megfelelően végezte-e el.

Az eltérő terepviszonyokon történő közlekedésre tervezett járművek esetén a terepprofilból adódó gerjesztések ismerete nélkülözhetetlen információ. A terepen közlekedő járművek fárasztóvizsgálata számos esetben a valós terepi körülményeknél fellépő hibajelenségektől eltérő meghibásodásokat eredményezett. Ez arra vezethető vissza, hogy az eddig használt vizsgálati módszerek nem, vagy nem elegendő pontossággal modellezik a valóságban is előforduló, járműveket érő erőhatásokat. A terepen vontatott járművekre ható, a szerkezetet igénybevevő hatások megismeréséhez mérésorozatok lefolytatása szükséges. A mérési eredmények felhasználásával létrehozott terepmodellek segítségével lehetőség nyílik a valóságban is előforduló erőviszonyokat jobban megközelítő fárasztóvizsgálati és méretezési módszerek kidolgozására.

A terepjáró járművek, ide sorolva a vontatmányokat is, mozgásának vizsgálatával a terepjárás-elmélet foglalkozik. A talaj és jármű kapcsolatával a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának Folyamatmérnöki Intézetében a Járműtechnika Tanszéken már több évtizede folynak kutatások. Az itt folyó kutatások eredményeinek bemutatását a Laib (2002) által szerkesztett Terepen mozgó járművek című könyv foglalja össze. A tanszéken elért kutatási eredményeket alapul véve kezdtem meg a kutatómunkámat.

1.2. Célkitűzés

Minél szélsőségesebb körülmények között használunk egy járművet, az annál hamarabb elhasználódik, tönkremegy. Ahhoz, hogy megállapítsuk, milyen hatások befolyásolják járműveink élettartalmát, ismernünk kell az azokat kiváltó környezeti hatásokat. A kutatás célja egy olyan terepviszony jellemzőket összehasonlító módszer kidolgozása és kipróbálása, amelynek segítségével a fárasztóvizsgálatok során mért erőhatások összevethetőek a terepen mozgó járművekre ható erőhatásokkal.

A különböző terepviszonyokon közlekedő járműveket érő erőhatások ismeretében készíthető olyan, fárasztóvizsgálatok lefolytatására alkalmas eljárás, mellyel a normál üzemi körülmények mellett előforduló hatások modellezhetőek. Az új járműkonstrukciók fejlesztése során így gyorsabb és pontosabb képet kaphatunk a szerkezet várható meghibásodási helyeiről, mely hozzájárul a járművek pontosabb és ez által költséghatékonyabb méretezéséhez.

A kutatás célkitűzése tehát, a terepen közlekedő járművek és a terepviszonyok között létrejövő kapcsolatrendszer elemzése. Bővebben a terepprofilból, azaz a mikro és makro akadályokból eredő, járművekre ható gerjesztések leírása, vizsgálata és ezen hatások összehasonlítására alkalmas módszer kidolgozása.

A célkitűzés pontosítása során a következő követelményeket fogalmaztam meg az összehasonlító módszer kidolgozását megelőzően:

- Az útprofilokat összehasonlító módszer, mérőjármű használata nélkül, csupán a profiladatok felhasználásával bárhol elvégezhető és kiértékelhető legyen.
- A módszer egyértelmű és rangsorolható eredményeket adjon a különböző útprofilok járműveket igénybevevő hatásairól.
- Az összehasonlító módszer során kapott eredmények felhasználhatóak legyenek a gyorsított fárasztóvizsgálatok során alkalmazott mesterséges útprofilok kialakítása során.
- Az összehasonlító módszer felhasználásával két különböző fárasztóvizsgálati rendszer járműveket igénybevevő hatása is összehasonlítható legyen.
- A kidolgozásra kerülő módszer alapján létrehozott mesterséges útprofilok járműveket igénybevevő hatásának meg kell egyeznie az eredetileg, a normál üzemi körülmények mellett rögzített útprofil igénybevételeket okozó hatásával.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A mezőgazdaságban alkalmazott járművek nagy része nehéz, terepi körülmények között látja el feladatát, hasonló képen igaz ez a mezőgazdasági vontatott szerkezetekre is. A kutatás lefolytatásához egy olyan vontatott szerkezet került kiválasztásra, amelyet nagyrészt mezőgazdasági földutakon használnak. Ez a szerkezet a vágóasztalok szállítására készített szállítókosci. A vontatott szerkezet a kombájnokhoz tartozó növény-specifikus adapterek szállítására szolgál.

2.1. Mérőeszközök, és mérési módszerek

A kutatás átfogó céljának elérése érdekében a jármű és talaj kapcsolatrendszeréről mérési adatokat kellett gyűjteni. Különálló mérési feladat volt az út és a mesterségesen létrehozott akadályrendszerek profiljának felvétele és különálló mérési feladatot jelentett a vontatmányt érő hatások valamint a vontatmányra jellemző paraméterek vizsgálata is.

Első lépésben meg kellett ismerni a mérések során alkalmazott vontatmány jellemző méreteit, tömegét, tömegközéppontját, gumiabroncsának rugókarakterisztikáját, csillapítási tulajdonságait és sajátfrekvenciáját. Ezen paraméterek ismeretében vált lehetségessé a jármű dinamikai modelljének megalkotása.

Második lépésben meg kellett mérni a vontatmánynak az útprofil gerjesztő hatására jellemző lengésgyorsulásait a vontatási erőigény mellett. A járműre ható gerjesztések illetve a lengések mértékét a vontatmány több pontjának, három irányban mutató gyorsulás értékével regisztráltam. A gyorsulásértékek segítségével megállapítható a gerjesztések amplitúdója és frekvenciája is.

Harmadik lépés volt a terepprofilok meghatározása. A profiladatok befolyásolják leginkább a vontatmány lengésgyorsulásait, más megközelítésben az útprofilok gerjesztő hatása károsítja a legnagyobb mértékben a járműszerkezetet. A profilmérés során állandó lépésközzel kerültek regisztrálásra a profilpontok koordinátái.

A terepviszonyok összehasonlító elemzéséhez szükséges méréssorozat lefolytatásához választani kellett egy olyan vontatmányt, mely felhasználásával egyszerűen és gyorsan elvégezhetőek a mérések. A vágóasztalok szállítására tervezett SHERPA BG3 kocsi (2.1. ábra) megfelel ennek a célnak, hiszen felépítése egyszerű, így könnyen modellezhető, valamint kevés meghibásodási lehetőség van rajta.

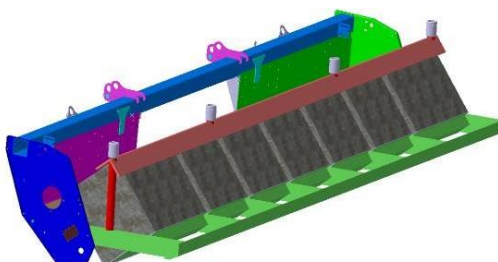
2. Anyag és módszer



2.1. ábra: SHERPA BG3 típusú szállítókocsi és CONSPEED 8soros Dummy adapter

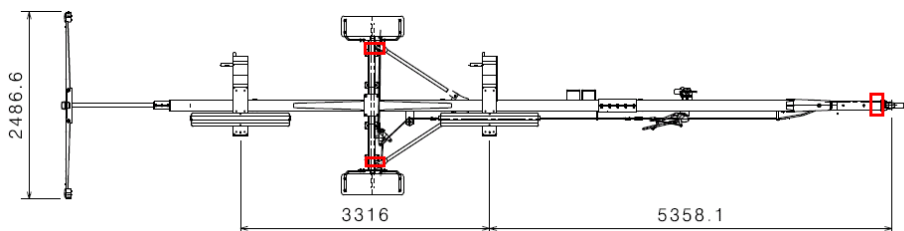
A terepviszonyok hatásainak mérését tehát egy egytengelyes, félig függesztett, vágóasztal szállítókocsin végeztem el. A kutatásom során méréseimet és a mérési adatok feldolgozása alapján kapott eredményeket és következtetéseket erre a vontatmánytípusra vonatkoztatva értelmeztem.

A szállítókocsi rakománya a mérések során egy e célra készített, a 2.2. ábrán látható dummy adapter, mely tömegét és tömegközéppontját tekintve egyenértékű egy 8 soros kukorica adapterével. A szerkezet kialakításának köszönhetően alkalmas arra is, hogy a pótsúlyként használt betontömbök fel illetve levételével különböző terhelési viszonyokat is modellezzünk vele.



2.2. ábra: CONSPEED 8-75 C dummy adapter

A szállítókocsira ható dinamikus hatások mérésére az 2.3. ábrán feltüntetett helyeken három irányban mérő gyorsulásérzékelők felhelyezésére került sor. A mérőműszerek piezoelektromos úton érzékelték a vontatmány rezgéseit, és az érzékelt jeleket továbbították a mérés adatgyűjtő egység felé.



2.3. ábra: Egytengelyes vágóasztal-szállító kocsi gyorsulásérzékelőinek mérési pontjai

2. Anyag és módszer

Az útprofilok felvétele, a 2.4. ábrán látható módon, a közlekedőedények elvén működő, szintmérő készülékkel történt. A mérések során a vontatmány előre kijelölt nyomvonalán, mindkét keréknyomban, 100 milliméteres lépésközökkel került regisztrálásra.



2.4. ábra: Profilométer alkalmazása aszfalt burkolatú úton

A méréssorozat négy egymástól jól elkülöníthető szakaszból épült fel. Az első szakaszban a szállítókocsi terepakadály leküzdő képességének, tömegközéppont koordinátáinak, valamint lengéstani tulajdonságainak mérésére került sor.

A második méréssorozatban a valós üzemi körülmények között történtek mérések öt különböző adottságú úton. Az első vontatási méréssorozat folytonos borítású, sima épített úton, majd ezt követően egy e célra kiválasztott töredezett borítású épített úton történt. A többi vontatási méréssorozatot három különböző talajtípusú mezőgazdasági földúton került lefolytatásra. Külön mérésekre került sor homok és agyag talajú és kavicsos murvás úton.



2.5. ábra: Töredezett borítású kátyús aszfaltozott útszakasz

A méréssorozat harmadik szakaszában két különböző gyorsított fárasztóvizsgálati módszer összehasonlítására került sor. Az egyik vizsgálati módszer a 2.6. ábrán

2. Anyag és módszer

látható görgős tesztpadon történő fárasztás, a másik eljárás a körpályás fárasztóvizsgálat volt.



2.6. ábra: Görgős tesztpadon történő mérés

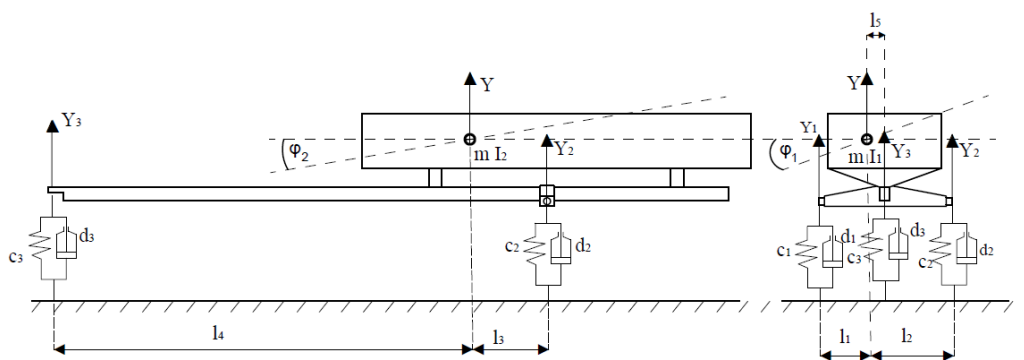
A méréssorozat negyedik szakaszában mesterséges akadálykombinációk tesztelése került sor. Ennek a méréssorozatnak az a célja, hogy különböző, mesterségesen kialakított terepakadályok hatásait teszteljem.



2.7. ábra: Akadálykalibrációs mérés Törökszentmiklóson a CLAAS Hungaria Kft. telephelyén

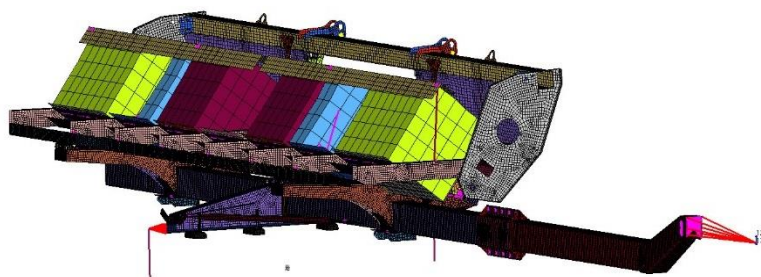
2.2. Mérési eredmények feldolgozása és kiértékelése

A szállítóközi mechanikai modelljének felírására azért volt szükség, hogy megállapítható legyen a szerkezet átviteli tulajdonsága. A mechanikai modell alapját képező szerkezeti kialakítás a 2.8. ábrán látható. Az átviteli tulajdonság teremti meg a kapcsolatot az útprofil gerjesztései és a szerkezeten mérhető válaszjelek között. Ennek meghatározása érdekében, első megközelítésként fel kellett írni a vontatmányra jellemző egyszerűsített mechanikai modellt, valamint mérések segítségével meg kellett határozni a modell elemeinek tulajdonságait.



2.8. ábra: Vontatmány lengéstani modellje menetirány szerinti szemből illetve oldalnézetből

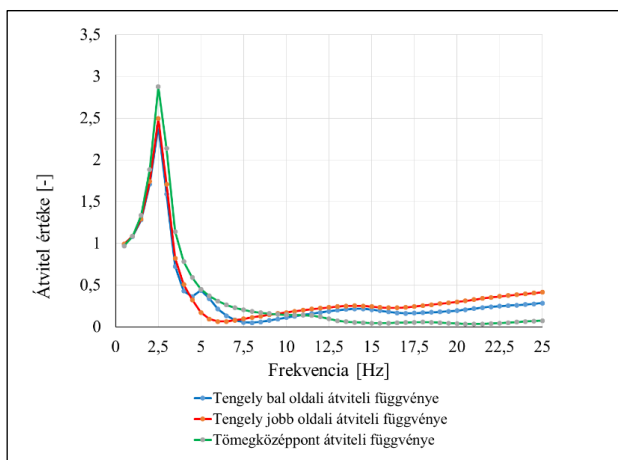
Az analitikus mechanikai modell felírását követően elkészítettem a vontatmány 3D modelljét is a 2.9. ábrán bemutatott módon. A hálózás és az elemek közötti megfelelő kapcsolatok kiválasztását követően el lehetett végezni a teljes szerkezet vége-selemes elemzését. A vontatmány hálózott modelljének felhasználásával már elkészíthető volt a szállító kocsi modális és harmonikus analízise is.



2.9. ábra: A vontatmány HyperMesh program segítségével létrehozott modelljének hálózása és kényszerítése

Az elemzés eredménye alapján meghatározhatóak azok a kritikus frekvenciatartományok, ahol a gerjesztésekre adott válaszfüggvény mértéke az átviteli karakterisztika hatására jelentősen megnövekedik. A 2.10. ábrán a szállító kocsi három nevezetes pontjában meghatározott vertikális irányú átviteli függvénye látható. Mindhárom görbe esetében jól látható, hogy a vontatmányra jellemző kritikus rezonancia tartományon az átviteli tényező maximális értéket vesz fel. Az átviteli függvény ismeretében már elviekben számíthatóvá válik egy adott gerjesztési spektrum válaszfüggvénye. Azonban mind a szimulációs modell, mind pedig a szabadföldi mérési eredmények azt igazolták, hogy önmagában a gerjesztés spektruma és az átviteli függvény ismerete nem elegendő a válaszfüggvény meghatározásához.

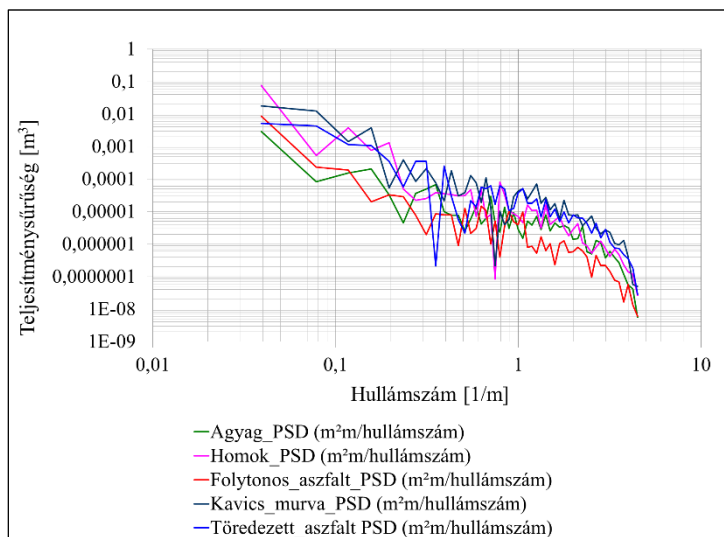
2. Anyag és módszer



2.10. ábra: A szállítókocsi vertikális irányban meghatározott átviteli függvényei három különböző pontban

Ennek oka visszavezethető a jármű kerekeinek pattogására. Minden olyan esetben ahol a jármű és talaj között megszűnik a kapcsolat, a profilból származtatott gerjesztési spektrum hatása nem érvényesül, így a válaszfüggvény értéke is módosulni fog.

A szabadföldi vontatásos vizsgálatok során begyűjtött regisztrátumok felhasználásával elkészítettem a mérésorozat kiértékelését. Meghatároztam a terepprofil regisztrátumok alapján az adott területre jellemző (*PSD*) teljesítménysűrűség spektrumokat, melyeket a 2.11. ábrán szemléltettem.

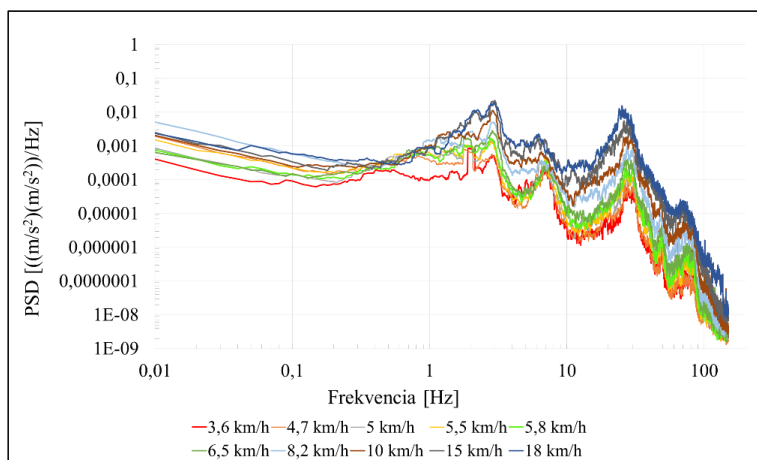


2.11. ábra: Szabadföldi terepprofil mérések teljesítménysűrűség függvényei

2. Anyag és módszer

A diagramról leolvasható, hogy az elvártan megfelelően átlagosan adott frekvencia mellett a legkisebb amplitúdójú profilja a folytonos borítású, sima aszfaltútnak van, míg a legnagyobb amplitúdója a kavicsos murvás útszakasznak volt.

A vontatmánnyal végzett mérésorozat során regisztrált lengésgyorsulások adatsorait kiértékeltem. Az elemzés során meghatároztam a mérési eredmények szélső értékeit valamint az adatsor (*RMS*) négyzetes középértékét is. Ezt követően meghatároztam a lengésgyorsulások (*PSD*) teljesítménysűrűség spektrumait. A kapott eredményeket jól példázza a 2.12. ábrán bemutatott kavicsos murvás útszakaszon regisztrált lengésgyorsulások *PSD* görbéi. A diagramon ugyanazon útprofilon, de eltérő vontatási sebességek mellett rögzített lengésgyorsulás mérések *PSD* analízise látható. A különböző színek az eltérő sebességekhez tartozó görbéket jelenítik meg, amelyek növekvő sorrendbe egymás burkológörbéit adják.



2.12. ábra: Kavicsos murvás útszakaszon a vontatmány bal oldalánál található vertikálisirányú lengésgyorsulásainak PSD analízise eltérő vontatási sebességek mellett

Látható hogy a növekvő sebességekhez tartozó frekvenciagörbék amplitúdó értékeinek lokális maximuma közel ugyanazon frekvenciatartományban maradnak. Függetlenül az útprofil típusától a szerkezetre jellemző sajátfrekvenciája érték 2,5 Hz, míg azok felharmonikusai 5 Hz és 30 Hz körüli értéknél vannak.

3. EREDMÉNYEK

A bevezetésben megfogalmazott célkitűzésnek megfelelően itt foglalom össze a mérési eredményeim alapján megállapított következtéseimet a vontatmány és a különböző útprofilok kapcsolatrendszeréről. Továbbá itt ismertetem azokat az összehasonlító módszereket melyek segítségével lehetőség nyílik a terepprofilok és épített akadályrendszerek járművet igénybevevő hatásainak összehasonlítására.

3.1. Kapcsolatrendszer a terepprofil és jármű lengései között

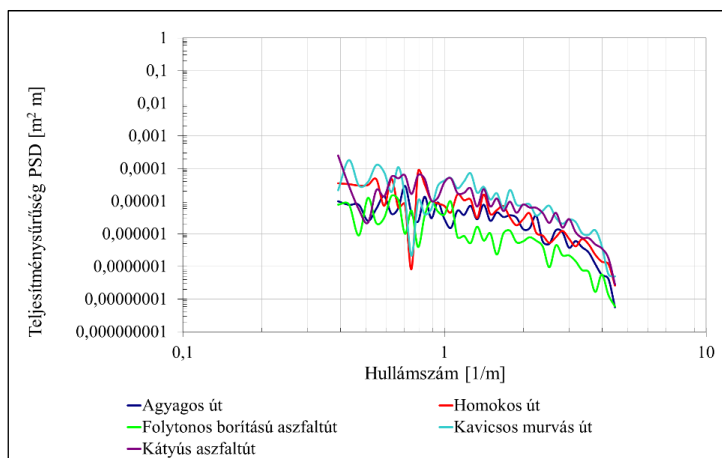
A fárasztóvizsgálatok megkezdése előtt a normál üzemi működés során előforduló maximális terhelésértékeket kell mérések segítségével meghatározni. Ennek meghatározására azonban ki kell tudni választani azokat a terhelési körülményeket, amelyek a megfelelő terheléskollektívát eredményezik. A különböző sztochasztikus jellegű utakon közlekedő járművek esetén a terhelések mértéke visszavezethető az útprofilok gerjesztő hatására.

A profil milyenségéről csak közvetett úton, egy mérőjármű bevonásával lehet következtetéseket levonni. Abban az esetben, ha ugyanazon az útprofilon másfajta mérőjárművet használnak, a kapott értékek már nem összehasonlíthatóak. Tehát egy olyan összehasonlító rendszer kidolgozására volt szükség, amely mérőjármű nélkül, megbízható és egyértelműen összehasonlítható adatot biztosít az útprofilok gerjesztő hatásáról. Más megközelítésben olyan egyszerűen mérhető módszer kidolgozására volt szükség ahol több útprofil igénybevevő hatása egymáshoz képest nagyságrendi sorrendbe rendezhető.

A sztochasztikus jellegű terepprofilok elemzéséhez a teljesítménysűrűség spektrum vizsgálata a leginkább célravezető. A *PSD* diagram kapcsolatot teremt a különböző méretű akadályok, azaz akadálymagasság amplitúdók és azok egymáshoz viszonyított egymásutániságáról pontosabban az akadályok sorozatának spektrumáról.

Méréseim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy alacsony, azaz maximálisan 20 km/h vontatási sebességig, a mezőgazdaságban használt utak esetében, a 2,5 méternél rövidebb, azaz 0,4 1/m hullámszámnál nagyobb mikroakadályok (bukkanók, gödrök) fordulnak elő. A tapasztalt értékek alapján a fenti kritériumok mellett kijelenthető, hogy a *PSD* diagram mikroakadályokra vonatkozó spektrális tartománya az 0,4 1/m hullámhossznál kisebb értékekre vonatkozik. Ezek alapján a lengéseket gerjesztő akadálymagasságokat jellemző amplitúdó értékeket az összehasonlítás során ebben a tartományban kell megvizsgálni. Az 3.1. ábrán a szabadföldi méréssorozat során regisztrált útprofilok mikroakadályokra vonatkozó teljesítménysűrűség spektruma látható.

3. Eredmények

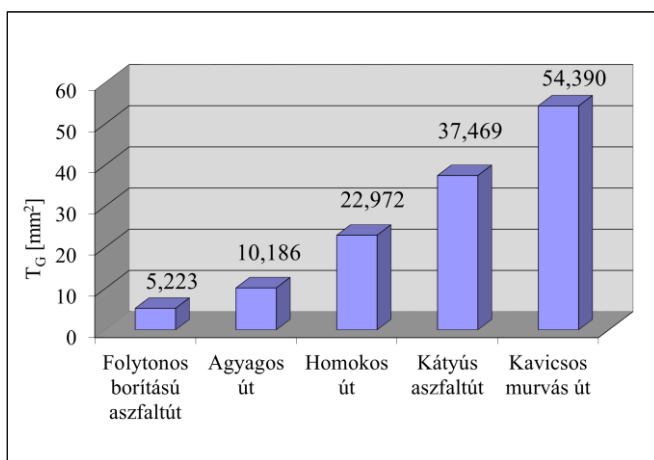


3.1. ábra: Szabadföldi úttípusok mikroakadály rendszerének PSD görbéje a bal oldali profil esetén

A görbék alapján nem lehet egyértelműen az amplitúdók nagyság szerinti sorrendjét felállítani, hiszen a görbék több esetben is metszik egymást. Az egyértelmű sorrend felállítása céljából meg kell határozni a görbék alatti területek nagyságát. A PSD görbék alatti területet (T_G) a

$$T_G = \int_{0,4}^{\infty} G_x(\omega) d\omega \quad (3.1)$$

összefüggés segítségével lehet meghatározni, ahol az ω [1/m] érték az akadályok hullámhosszát jelenti a G_x függvény pedig az adott útprofil teljesítménysűrűség függvénye.

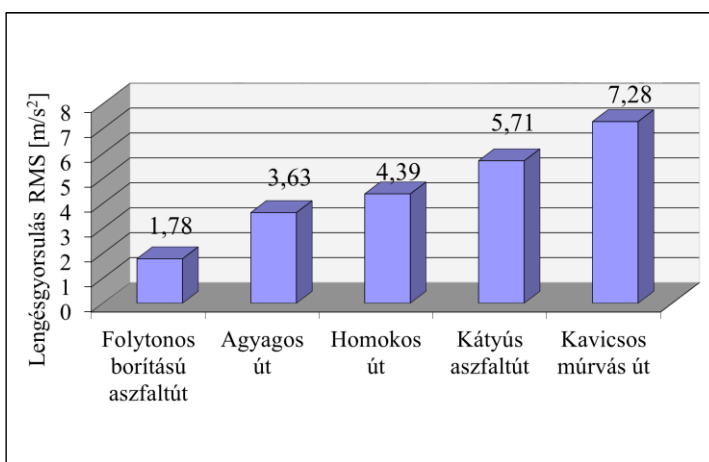


3.2. ábra: Szabadföldi úttípusok mikroakadály rendszer PSD görbe alatti területei

3. Eredmények

A számított értékeket az 3.2. ábrán foglaltam össze, ahol jól látható a vizsgált profilok mikroakadályaira jellemző területek értéke és sorrendje. Fontos kritériuma a terület alapú összehasonlítási módszernek, hogy minden profilregisztrátum az összehasonlítás során ugyanolyan hosszúságú és egyforma lépésközzel regisztrált adatsor legyen.

A terület alapú összehasonlítási módszer érvényességét a korábban alkalmazott vontatási vizsgálat segítségével lehet igazolni. Abban az esetben, ha az átvontatások során mért lengésgyorsulások átlagos, azaz négyzetes középértékeinek sorrendje megegyezik a terület alapú összehasonlítási sorrenddel, a kiértékelési módszer általános érvényűnek tekinthető a vizsgált vontatmányra nézve.

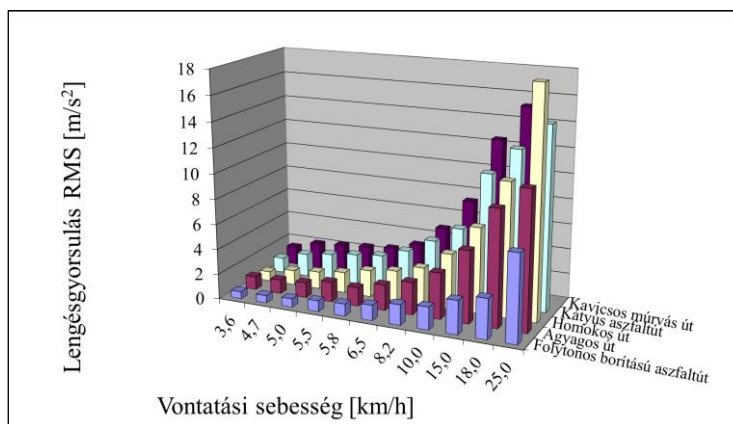


3.3. ábra: Szabadföldi úttípusok lengésgyorsulásainak RMS értékei 10 km/h vontatási sebesség mellett a jármű bal oldalánál

Jól látható a 3.3. ábrán, hogy a különböző útprofilok esetében, a járművön mért lengésgyorsulás *RMS* értékek hasonló sorrendiséget állítottak fel, mint a profilok *PSD* területeinek alapján meghatározott területek. Az útprofilok sorrendjét a lengésgyorsulások szélső értékei, azaz a pozitív és negatív előjelű maximális gyorsulásértékek is alátámasztották. A 3.4. ábrán szemléltetve látható, hogy a különböző vontatási sebességek esetén meghatározott *RMS* értékek is igazolják a mikroakadályok *PSD* területei alapján történő útprofil összehasonlítási módszert.

Összefoglalva tehát egy olyan útprofil alapú összehasonlító módszer kifejlesztésére került sor, amely alkalmas arra, hogy különböző sztochasztikus útprofilokat a járművet igénybevevő hatásaik szempontjából összehasonlítsa.

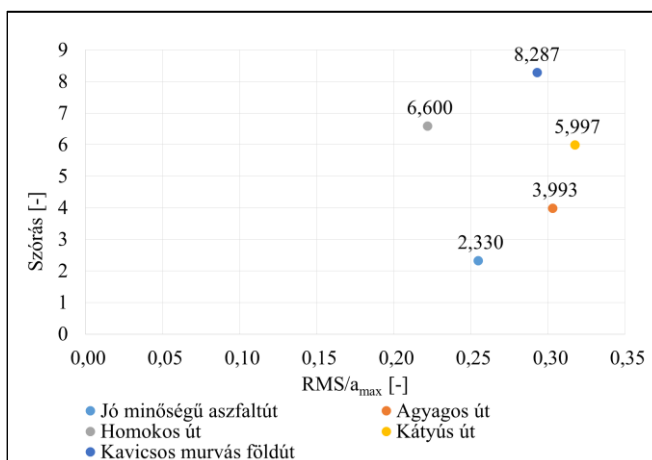
3. Eredmények



3.4. ábra: Szabadföldi úttípusok lengésgyorsulásainak RMS értékei különböző vontatási sebesség mellett a jármű bal oldalánál

3.2. Lengésgyorsulás értékek eloszlásának vizsgálata

Az RMS/a_{max} érték felhasználásával megállapítható, hogy a regisztrátum adatmennyisége elegendő hosszúságú és ezek alapján statisztikailag elfogadható, vagy ellenkező esetben kijelenthető, hogy az adatsor nem reprezentatív. Az RMS érték a regisztrátum hosszának növekedésével egy jellemző értékhez konvergál valamint a maximális gyorsulás érték is felveszi az adott típusú úton található legszélsőségesebb kilengés értékét. Amennyiben az egymást ismétlő regisztrátumok RMS/a_{max} értékei közel egy azonos értéket adnak, akkor az egyes mérések statisztikai megfelelése igazolt. Az 3.5. ábrán jól látható, hogy az azonos vontatási sebesség mellett mért gyorsulásértékek szórása az egyenetlenebb felületű útszakaszok esetében nagyobb, valamint leolvasható, hogy az RMS/a_{max} a viszonyszám a 0,2 és 0,3 érték között található.



3.5. ábra: Különböző útszakaszokon, 10 km/h-val vontatott jármű, lengésgyorsulás értékeinek szórása és RMS/a_{max} értékei

3. Eredmények

Az ideálisnak tekinthető tisztán normál eloszlású rendszerek esetén az RMS/a_{max} értéke 0,18. Ebben az esetben az amplitúdókra illesztett normál eloszlás 3σ értéknél vett maximális gyorsulás (a_{max}), az RMS értéket pedig a normál eloszlás megfelelő pontjaival súlyozott amplitúdó négyzetek átlagából számítjuk. Ha a különböző útprofilokon haladó vontatmányon mért lengésgyorsulások RMS/a_{max} értéke eltér az ideálisnak tekinthető értéktől, akkor az eloszlás eltér a normál eloszlástól.

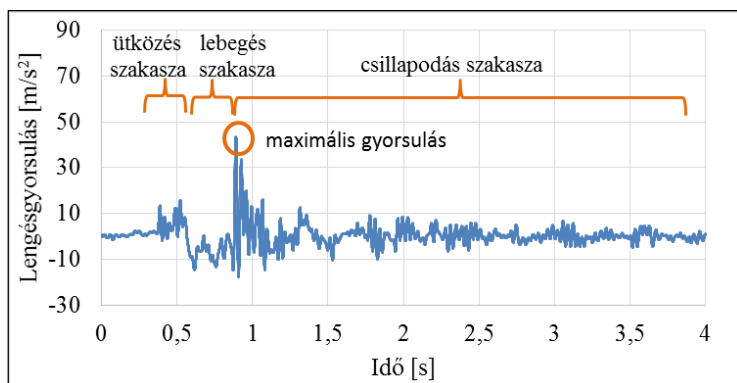
Az eltérés visszavezethető az út profilpontjai között mérhető gradiens értékekre. Ha az átlagos akadálymagasság és a maximális akadályméretek között nagy eltérés tapasztalható, akkor a 0,18 indikátor értéknél kisebb RMS/a_{max} értéket kapunk. Ilyen útprofilok lehetnek az akadálypályák, ahol az akadályméretek jelentősen nagyobbak az átlagos profil magasságától. Ha azonban az átlagos akadálymagasság és a maximális akadályméretek között csak kis eltérés tapasztalható, akkor a 0,18-as indikátor értéknél nagyobb RMS/a_{max} értéket kapunk. Ilyen útprofilok lehetnek a sztochasztikus eloszlású szabadföldi útszakaszok. Ezekben az esetekben az út profilpontjai között mérhető átlagos gradiens értéke alacsony, mint például a kavicsos murvás útszakasz, ahol a kavicsok magassága közel azonos. Ha az útprofil amplitúdóira illesztett eloszlásgörbe eltér a normál eloszlástól, akkor várhatóan a rajta áthaladó vontatmány lengésgyorsulás értékei is el fognak térni ettől. Ebből következik, hogy a vontatmányon mért lengésgyorsulások RMS/a_{max} értéke alapján is megállapítható az útprofil eloszlásának jellege.

3.3. Az akadály és kerék ütközésekor létrejövő gyorsulások

Az akadálykalibrációs mérésorozat részeként átvontatásos vizsgálatokat végeztem eltérő gumiabroncsnyomások és vontatási sebességek mellett különböző méretű zártszelvény és félhenger jellegű akadályokon. A mérés célja volt, hogy összefüggést találjak az akadályon áthaladó jármű lengésgyorsulásai és a jelenséget befolyásoló paraméterek között. A jármű mozgását befolyásoló paraméterek közötti összefüggéseket a dimenzió nélküli számok felhasználása segítségével határoztam meg.

A vizsgálat során regisztrált mérési eredmények alapján, az akadályon áthaladó vontatmány lengésgyorsulásait három jól elkülöníthető részre lehet bontani. Az első szakasz az ütközés pillanatát mutatja be, ahol a kerék nekinyomódik az akadálynak, majd ezt követően eltávolodik attól. A második szakaszban a vontatmány nem érintkezik sem a talajjal sem pedig az akadállyal, ez a lebegés szakasza. A harmadik szakaszban a kerék a talajjal érintkezik, ebben a pillanatban mérhető a maximális lengésgyorsulás, majd ezt követően csillapodik a lengésbe jött szerkezet. Ennek folyamatát jól szemlélteti az 3.6. ábra.

3. Eredmények



3.6. ábra: Akadályon történő átvontatás három szakasza és a maximális lengésgyorsulás értelmezése (P=5 bar, v=5 km/h, zártszelvény 120 x 200)

A vontatmány akadállyal történő ütközése során létrejövő lengésgyorsulás értékeit a feltételezés alapján a következő paraméterek befolyásolják:

A gumiabroncs rugómerevsége:	c	[N/m]
A gumiabroncs statikus sugara:	R	[m]
Az akadály magassága zártszelvény esetén:	h	[m]
Az akadály magassága félhenger esetén:	r	[m]
A vontatmány sebessége:	v	[m/s]
A vontatmány egy kerékre ható terhelése:	G	[N]
A nehézségi gyorsulás:	g	[m/s ²]

A vizsgált paraméterek felhasználásával, valamint a dimenzió nélküli számok képzésének módszerével felírtam a következő összefüggéseket, ahol az

$$M_1 = \frac{a}{g}, \quad M_3 = \frac{cv^2}{Gg}, \quad M_5 = \frac{M_2}{M_4} = \frac{h}{R} \quad (3.2)$$

dimenzió nélküli egyenletek az ütközési szakaszban zajló folyamatot írják le. A dimenzió nélküli számok hasonlósági egyenletrendszerét általános alakban az M_1 értékre kifejezve az

$$M_1 = cM_5^{\varepsilon_5}M_3^{\varepsilon_3} \rightarrow \frac{a}{g} = c \left(\frac{h}{R}\right)^{\varepsilon_5} \left(\frac{cv^2}{Gg}\right)^{\varepsilon_3} \quad (3.3)$$

egyenlettel lehet leírni. A független változók közötti kapcsolatot a lefolytatott mérések alapján kapott értékek behelyettesítésével lehet meghatározni.

A zártszelvényen áthaladó vontatmány várható lengésgyorsulását a

$$a = g \cdot 1,004 \left(\frac{cv^2}{Gg}\right)^{0,5206} \left(\frac{h}{R}\right)^{0,6055} \quad (3.4)$$

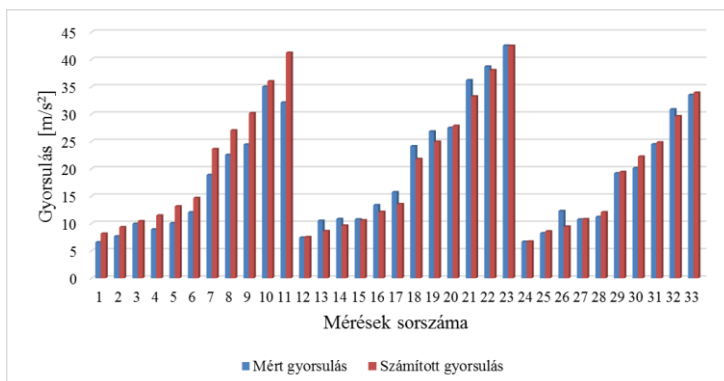
3. Eredmények

összefüggéssel, míg a félhenger jellegű akadályok esetében a

$$a = g \cdot 0,8955 \left(\frac{cv^2}{Gg} \right)^{0,5206} \left(\frac{r}{R} \right)^{0,6055} \quad (3.5)$$

összefüggés segítségével lehet kiszámolni. Az egyenletek felhasználásával költséges mérésorozatok lefolytatása nélkül is meghatározható az akadályok várható lengésgyorsító hatása.

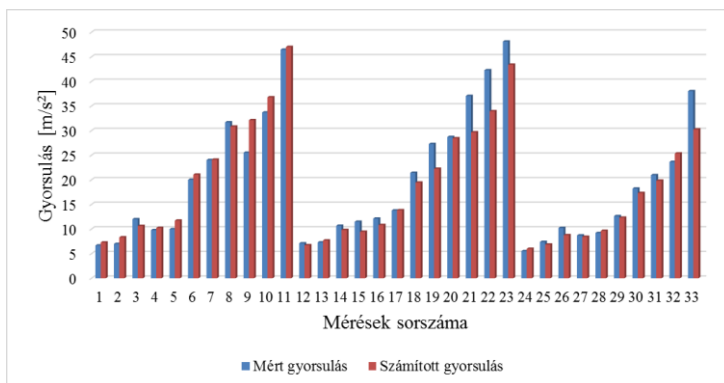
A körpályán az átvontatásos vizsgálat során különböző méretű és típusú akadályokon, eltérő vontatási sebességek és gumiabroncs légnyomások mellett lengésgyorsulás méréseket végeztem. A mérési eredményeket a Ph.D. dolgozatom M21. mellékletében ismertettem, amelynek sorszámozása megegyezik a következő ábrákon bemutatott mérési eredmények sorszámaival. A mérések során regisztrált lengésgyorsulás értékeket összevettem az egyenlet segítségével számolt várható gyorsulásértékekkel annak érdekében, hogy leellenőrizzem az egyenlet pontosságát. A zártszelvényeken mért és a számított lengésgyorsulás értékeket az 3.7. ábrán mutatom be.



3.7. ábra: A zártszelvény jellegű akadályokon áthaladó vontatmány lengésgyorsulásainak összehasonlítása mért és számított értékekre

Ebben az esetben a mért és számított értékek között az abszolút értékben vett százalékos eltérés átlaga 10 % volt. A félhenger jellegű akadályokon mért és a számított lengésgyorsulás értékek összevetését az 3.8. ábra segítségével mutatom be. A félhenger jellegű akadályok esetében a mért és számított értékek között az abszolút értékben vett százalékos eltérés átlaga 9,4 % volt. Tehát a vizsgálat szempontjából mindkét hasonlósági egyenlet pontossága megfelelő.

3. Eredmények



3.8. ábra: A félhenger jellegű akadályokon áthaladó vontatmány lengésgyorsulásainak összehasonlítása mért és számított értékekre

További eredményként mutatom be, hogy a félhenger jellegű akadályok ugyanazon méretek és beállítási paraméterek mellett, kisebb lengésgyorsulás értékeket eredményeznek, mint a zártszelvény jellegű akadályok. Ennek oka, hogy a félhenger jellegű akadály az ütközést követően kisebb meredekségben emeli meg a vontatmány tömegközéppontját, mint a zártszelvény jellegű akadály.

3.4. Terepprofilok összehasonlító módszere

A vizsgálat célja, a különböző szabadföldi útprofilok összehasonlítása. Az összehasonlító módszer, a terepprofilok makroakadályainak járművekre gyakorolt igénybevevő hatásának mértékét hasonlítja össze. A módszer segítségével a jármű lengéstani sajátosságaitól függetlenül megállapítható, hogy a vizsgált útprofil közül melyik okozza a legnagyobb lengésgyorsulásokat a profilon történő átvontatás során. Az összehasonlítás a következő lépések alapján határozható meg:

1. Első lépésként a szabadföldi profiladatokat kell begyűjteni. A profilok regisztrálása során legalább 50 méteres útszakaszon 100 milliméteres vagy annál kisebb mérési lépésközzel a járművek által használt nyomvonalakban kell a profilkoordinátákat rögzíteni.
2. A második lépésben a terepprofil regisztrátumok teljesítménysűrűség spektrumát kell meghatározni.
3. Ezt követően a spektrum mikroakadályokra jellemző szakaszának görbe alatti területét kell meghatározni. A mikroakadályok definíciója alapján a 0,4 [1/m] hullámszámnál nagyobb tartomány görbe alatti területét kell kiszámolni.
4. Végül a görbék alatti területek összehasonlítása alapján sorba rendezhetőek a vizsgált útprofilok. A legnagyobb görbe alatti területtel rendelkező útszakasz okozza a legnagyobb igénybevételt a rajta áthaladó járművek számára.

3. Eredmények

A módszer segítségével, átvontatási vizsgálatok nélkül is összehasonlíthatóak a különböző útszakaszok egymáshoz viszonyított igénybevevő hatásai. Itt fontos azonban megjegyezni, hogy a módszer determinisztikus, azaz mesterségesen létrehozott ciklikusan ismétlődő profilok összehasonlító vizsgálatára nem alkalmas.

3.5. Épített akadályrendszerek összehasonlítása

Módszert dolgoztam ki fárasztóvizsgálatok során is alkalmazható épített akadályrendszerek igénybevevő hatásának összehasonlítására és csoportosítására. Megállapítottam, hogy az akadályok gerjesztő frekvenciája csak elhanyagolhatóan kis mértékben befolyásolja a járművön mért válaszfüggvény rezonancia tartományának helyét, de a válaszfüggvény amplitúdó értékeit nagymértékben módosítja. Ennek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a járműveket érő igénybevevő hatások összehasonlítására, a gerjesztések során létrejövő lengés amplitúdók nagyságát kell megvizsgálni, ami közvetett módon jellemzi a gerjesztő akadályrendszer sűrűségét és nagyságát. Tehát az összehasonlító módszer során az adott haladási sebességek mellett a szerkezeten mért lengésgyorsulások szélső- valamint *RMS* értékeit kell meghatározni. Az akadályrendszerek járműveket igénybevevő hatásának mértéke minden esetben függ az adott szerkezettől, így a mért értékek nem általánosíthatóak, de a módszer általánosan alkalmazható.

3.6. Módszer az épített akadályrendszer kialakítására

A megfogalmazott céloknak megfelelően az útprofilok összehasonlító módszerével megállapítható, hogy a tetszőlegesen kiválasztott szabadföldi útprofilok közül mely okozza a legnagyobb járművet igénybevevő erőhatásokat. Az összehasonlító módszer azonban nem alkalmas arra, hogy diszkrét, ciklikusan ismétlődő akadályrendszerek igénybevevő hatását összevesse. Azaz mesterségesen épített fárasztóvizsgálati módszerek összevetése a teljesítménysűrűség spektrumok terület alapú összehasonlítása alapján nem lehetséges. Erre a célra más módszert kell alkalmazni.

A fárasztóvizsgálatok esetében fontos, hogy a valós üzemi körülmények során tapasztalt terhelésekkel megegyező nagyságú igénybevételeket hozzunk létre. Ha a terhelések mértéke a fárasztás során túl nagy a szerkezet a validációs vizsgálat során idő előtt tönkremegy, így a jármű szerkezetét tovább erősítik, aminek hatására a jármű indokoltnál erősebb és ez által drágább lesz. Abban az esetben, ha a fárasztóvizsgálat terhelése kisebb a normál üzemi terhelésekhez képest a jármű az elvártnál hamarabb hibásodhat meg.

3. Eredmények

A megfelelő mesterséges akadályrendszer kialakításához a vizsgálandó szerkezetet érő erőhatások mesterséges és szabadföldi összehasonlító vizsgálata szükséges. Ezzel a kikötéssel elérhető, hogy a sajátfrekvencia közeli gerjesztések extrém nagy lengésgyorsulásai elkerülhetőek legyenek. A fárasztóvizsgálatok során alkalmazható akadályrendszer kiválasztásához a következő lépések lefolytatása szükséges:

1. Normál üzemi körülmények között előforduló, legkritikusabb szabadföldi útszakasz kiválasztása a szabadföldi útszakaszok összehasonlító módszerével.
2. Második lépés a terheléskollektíva meghatározása. A kiválasztott útszakaszon el kell végezni a normál üzemi körülmények mellett elfogadható legmagasabb sebesség mellett a vontatási vizsgálatot. A mérés során az adott útszakaszon mérni kell a jármű vertikális irányú gyorsulás értékeit a jármű tengelyén a gumibroncsok mellett.
3. Meg kell határozni, az adott vontatási sebességekhez tartozó gyorsulásértékek szélsőértékeket, valamint az RMS nagyságát is.
4. A negyedik lépés az akadályrendszer kalibrálása. A fárasztóvizsgálat lefolytatására alkalmas akadályrendszert be kell állítani a szabadföldi mérések során kapott gyorsulásértékeknek megfelelően. Az összeállítás célja, hogy olyan akadályrendszert hozzunk létre, amely az eljárásnak megfelelő pontossággal reprodukálni tudja a szabadföldön mért lengésgyorsulások RMS és szélső értékeit. A beállítás során nemcsak az akadályok elrendezését, méretét és formáját kell kiválasztani, hanem a megfelelő vontatási sebességet is. Az akadályrendszer egymást követő megegyező formájú és elrendezésű akadályokból készült ciklusokból áll. Első lépésben a ciklus maximális lengésgerjesztő akadálytípusát kell kiválasztani, majd ezt követően a megfelelő kisebb rezgéseket gerjesztő akadályok kiválasztása következik. A vizsgálati ciklus összeállításának iterációs lépései akkor fejeződnek be, ha az átvontatási vizsgálatok során mért lengésgyorsulások értéke megegyezik a kívánt maximális és RMS értékekkel.

A módszer segítségével létrehozható egy olyan fárasztóvizsgálati rendszer, amely hasonló terheléskollektívát hoz létre a jármű szerkezetében, mint normál üzemi körülmények mellett. A szerkezet fárasztóvizsgálatának lefolytatásához azonban meg kell határozni azt az energia bevitellel arányos mennyiséget (járatás időtartama vagy ütések száma) amit a szerkezetnek el kell viselnie a gyártó elvárásainak megfelelően. Ennek meghatározása visszavezethető az élettartam számítási módszerekhez. A jármű validálása során tehát nemcsak a megfelelő terheléskollektíva meghatározása szükséges, hanem a várható élettartamhoz köthető vizsgálati ciklus meghatározása is.

3.7. A kutatás gyakorlati eredményei

1. Terepprofilok összehasonlíthatóságának előnyei

A sztochasztikus jellegű útprofilok mikroakadály rendszerét összehasonlító módszer alkalmas arra, hogy különböző útprofilok igénybevevő hatását rangsorolja. A gyakorlatban ennek segítségével osztályozható egy adott terület terepen kiépített úthálózata az áthaladó járművek lehetséges károsodása szempontjából. Tehát az útprofilok ismerete alapján kiválasztható a legkevésbé járművet igénybevevő útvonal. Ennek nagy jelentősége lehet olyan esetekben, amikor fontos, a terepen történő gyors és biztonságos áthaladás. A módszer alkalmazása tehát nagyban megkönnyítheti a terepen közlekedő mezőgazdasági és egyéb terepen mozgó (erdészeti és harcászati) eszközök biztonságos útvonalának megválasztását.

2. Általánosan alkalmazható fárasztóvizsgálati módszer terepen közlekedő járművekre

Terepen közlekedő vontatmányok fárasztóvizsgálatához általánosan alkalmazható terheléskollektíva meghatározására alkalmas módszert dolgoztam ki. A kidolgozott módszer segítségével a normál üzemi körülményeknél tapasztalt erőhatások és ennek következményeként az ott előforduló meghibásodásokkal megegyező károsodások idézhetők elő. A módszer célja, függetlenül a fárasztóvizsgálat fajtájától a valós terhelések modellezése. Ebből következik, hogy bármely tesztrendszer, amely alkalmas a megfelelő gerjesztések létrehozására, alkalmassá tehető a módszer alkalmazására. Minden esetben az üzemi terhelési szinteknek megfelelően kell a fárasztóvizsgálatok során alkalmazott akadályrendszereket összeállítani. Ha az előírtaknak megfelelően történik az erőhatások (lengésgyorsulások) mérése és ennek megfelelően történt a terhelési szintek beállítása, abban az esetben a vizsgálat tetszőleges fárasztóvizsgálati módszer alkalmazásával reprodukálható valamint járművalidáció lefolytatására is alkalmassá tehető

3. Fárasztóvizsgálati módszer alkalmazhatósága más géptípusokra

Az itt kidolgozott fárasztóvizsgálati módszer alkalmazható minden olyan járműnél, amely nehéz terepviszonyok igénybevevő hatásának van kitéve. Mivel az épített terepprofilok kialakítása minden esetben a valós üzemi terhelésektől függ, így a módszer általánosan is alkalmazható különböző járműszerkezeteknél. Ilyen járművek lehetnek a vontatott és önjáró mezőgazdasági, vagy erdészeti eszközök is.

3. Eredmények

4. Korábban alkalmazott fárasztóvizsgálati módszerek összehasonlítása

Az épített akadályrendszerek igénybevevő hatásának összehasonlítására alkalmazott módszer segítségével a korábban alkalmazott fárasztóvizsgálati rendszerek terheléskollektívája összevethető. Ennek köszönhetően a standardizált fárasztóvizsgálati rendszerek igénybevevő hatásuk alapján rangsorolhatóak, azaz megállapítható, hogy a tesztelt jármű az adott vizsgálati rendszerrel mennyire volt alul, vagy túlterhelve a normál üzemi terhelésekhez képest.

5. Optimalizált járműkonstrukciók létrehozása

A sztochasztikus jellegű útprofilok gerjesztési frekvenciájának ismeretében pontosabban méretezhetővé válik a terepen közlekedő járművek szerkezete. A gerjesztések frekvenciájának és amplitúdójának ismerete lehetővé teszi, hogy a jármű szerkezetének lengéseket csillapító hatásait úgy állítsák be, hogy az a megkívánt élettartam elérését tegye lehetővé. Ezáltal a terepen közlekedő jármű, optimális kialakítása (csillapító elemek milyensége, jármű tömege, geometriai méretek, tömegközéppont...) könnyebben elérhetővé válik.

A terepviszonyok modellezésére kidolgozott módszer felhasználásával készített fárasztóvizsgálati rendszerek alkalmazásával optimális konstrukciók készíthetőek. Pontosabban fogalmazva a megfelelő terheléskollektíva felhasználásával a fárasztások során elkerülhető az indokolatlan túl- vagy alulméretezés. A vizsgált szerkezet ennek értelmében nem egy standardizált, hanem a valós üzemi terhelésnek megfelelően létrehozott terhelési szinthez lesz optimalizálva.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A célkitűzésemnek megfelelően megvizsgáltam az épített és a sztochasztikus eloszlású útprofilok vontatmányokra gyakorolt igénybevevő hatásait. Ezek alapján hét különböző témakörbe csoportosítva foglaltam össze kutatásaim tudományos eredményeit.

1. Megállapítottam, hogy a különböző sztochasztikus eloszlású útprofilok szerkezetet igénybevevő hatása megegyezik, ha a profilokból képzett teljesítménysűrűség spektrum mikroakadályokra vonatkozó tartományainak területe egyenlő. A mikroakadályok spektrális analízise során kapott görbe alatti területét (T_G) a

$$T_G = \int_{0,4}^{\infty} G_x(\omega) d\omega$$

összefüggéssel lehet meghatározni, ahol az ω [1/m] érték az akadályok hullámhosszát jelenti a G_x függvény pedig az adott útprofil teljesítménysűrűség függvénye. Az összehasonlító módszert, az adott vontatmány felhasználásával, az átvontatási vizsgálataim során, különböző vontatási sebességek mellett mért lengésgyorsulások szélsőértékeivel valamint RMS értékeivel igazoltam.

2. Megállapítottam, hogy a mikroakadályok spektrális analízise során kapott görbe alatti területe (T_G) alapján a különböző útprofilok adott vontatmányt igénybevevő hatásai rangsorolhatóak. A rangsor a sztochasztikus eloszlású útprofilok mikroakadály tartományának elemzése alapján hozható létre. Az általánosan alkalmazható összehasonlító módszer segítségével, csak a regisztrált útprofilok felhasználásával, az egytengelyes vontatmányokat érő igénybevevő hatások összehasonlíthatóak és minősíthetőek.
3. A mérési eredmények alapján igazoltam, hogy a profil gerjesztő függvény spektrumának karakterisztikus része a vontatmány válaszfüggvényének jellemző frekvenciatartományát nem vagy csak nagyon kis mértékben fedi át. A vontatmány szerkezetén mért lengésgyorsulások frekvencia-amplitúdó jelleggörbéjéből egyértelműen nem állapítható meg a gerjesztő útprofil jellege a vizsgált vontatmány kategóriájában. Másképpen megfogalmazva, az útprofil gerjesztő frekvenciáinak hatásáról általános érvényű következtetéseket a vizsgált vontatmányon mért regisztrátumok alapján nem lehet megállapítani.

4. Új tudományos eredmények

4. Megállapítottam, hogy az útprofilok adott vontatmányt igénybevevő hatásai megegyeznek, ha a szerkezeten mért lengésgyorsulások szélsőértékei valamint RMS értékei azonosak. A megállapítás két különböző, de egyforma hosszúságú útszakasz esetén tekinthető általános érvényűnek, függetlenül attól, hogy a profil sztochasztikus vagy determinisztikus jellegű.
5. A különböző útprofilokon haladó vontatmányon mért lengésgyorsulások RMS/a_{max} értéke minél távolabb van az elméleti 0,18 értéktől, annál inkább eltér a lengések eloszlása a normál eloszlástól. Ha az RMS/a_{max} hányados csökken, az indikátor értékéhez képest, akkor az útprofilban előforduló tranziens hatásokat előidéző akadályformák gyakorisága csökken. Ha az indikátor értéknél nagyobb az RMS/a_{max} aránya, akkor az útprofilban a tranziens jeleket keltő akadályformák nagy számban fordulnak elő.
6. Összefüggést írtam fel a vontatmány kerekének akadállyal történő ütközése során fellépő lengésgyorsulások meghatározására. A kapcsolatrendszer befolyásoló paraméterek a vontatási sebesség, a gumibroncs rugómerevsége, a kerék statikus sugara, az akadály mérete, a vontatmány adott kerékre eső tömege és a nehézségi gyorsulás. Az ütközés pillanatában létrejövő lengésgyorsulás értéke zártszelvény jellegű akadályok esetében az

$$a = g \cdot 1,004 \left(\frac{cv^2}{Gg} \right)^{0,5206} \left(\frac{h}{R} \right)^{0,6055}$$

összefüggéssel, míg a félhenger jellegű akadályok esetében az

$$a = g \cdot 0,8955 \left(\frac{cv^2}{Gg} \right)^{0,5206} \left(\frac{r}{R} \right)^{0,6055}$$

összefüggés segítségével lehet meghatározni.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Ebben a fejezetben foglaltam össze azokat a kutatás során felmerült észrevételeimet és javaslataimat, amelyek kidolgozása és fejlesztése mind a gyakorlati mind pedig az elméleti kutatás folytatásaként hasznos lenne.

Mivel a kutatás során számos tudományág területét érintettem (talajtan, terepjárás-elmélet, élettartam számítás, járműdinamika) így több különböző kutatási területet is érintő javaslat és fejlesztési ötlet fogalmazódott meg.

A szakirodalmi munkák áttekintése során arra a következtetésre jutottam, hogy az általam alkalmazott lengésgyorsulások *RMS* és szélsőértékek alapján történő összehasonlító módszere mellett alkalmazható lehetne a halmozódó károsodások kiértékelési rendszere is. A módszer alkalmas lehet egy adott hosszúságú útszakaszon áthaladó jármű gyorsulásértékeinek összehasonlító elemzésére is. Célszerűnek látom az általam mért értékeket a halmozódó károsodások módszerével is meghatározni és eredményeit összehasonlítani.

Új kutatási cél lehet a különböző talajtípusok tömörödöttségi szintjéhez tartozó csillapítási viszonzyszám megállapítása. A talaj deformációja során elnyelt energiamennyiség, azaz a talaj lengéseket csillapító hatása jelentősen csökkenti a jármű lengéseit. Úgy vélem további kutatási terület lehet a gumiabroncs talajba történő benyomódási sebességének vizsgálata a talaj deformáció szempontjából.

Kutatásom során az ADAMS szimulációs programban létrehozott virtuális mérésorozat eredményességét nagyban befolyásolta a fűvott gumiabroncs modelljének működése. A valóságban alkalmazott valamint a virtuális gumiabroncs modell viselkedése ugyanazon beállítási paraméterek mellett eltért. Az eltérés oka még nem ismert. Ezek alapján további kutatások lefolytatása lenne szükséges a mezőgazdaságban alkalmazott vontatott szerkezetek esetén használt gumiabroncs modellek alkalmas verzióinak továbbfejlesztésére.

A szerkezetek tönkremeneteléhez energia bevitelére van szükség. Célszerű lenne egy olyan összehasonlításra alkalmas paramétert választani, amely a fárasztás során befektetett energiamennyiséggel arányos. A fárasztóvizsgálat során az adott kerékre jutó teljesítmény meghatározásának módszerével meg lehetne határozni egy teljes validációs ciklus egy kerékre jutó befektetendő teljesítménymennyiségét. Ennek segítségével tetszőleges akadályrendszer és vontatási sebesség esetén is meghatározható lenne a fárasztás során felhasznált, valamint még felhasználásra kerülő teljesítmény mennyisége. A módszer így biztosítaná, hogy különböző dinamikai jellemzőkkel rendelkező járművek validálása tesztrendszer-től függetlenül is összehasonlítható legyen. Úgy vélem a módszer kidolgozása fontos lépés lenne a járművek validációja szempontjából.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A járművek, élettartalmát nagyban befolyásolják a használatuk során fellépő erőhatások. Minél szélsőségesebb körülmények között használunk egy járművet, az annál hamarabb elhasználódik, tönkremegy. Ahhoz, hogy megállapítsuk, milyen hatások befolyásolják járműveink élettartalmát, ismernünk kell az azokat kiváltó környezeti hatásokat. Az itt bemutatott kutatás célja egy olyan módszer kidolgozása és kipróbálása, mellyel a különböző terepviszonyokon közlekedő járművekre ható erők összehasonlító elemzése elvégezhető.

A terepen közlekedő járművek fárasztóvizsgálata számos esetben a valós terepi körülményeknél fellépő hibajelenségektől eltérő meghibásodásokat eredményezett. Ez arra vezethető vissza, hogy az eddig használt vizsgálati módszerek nem, vagy nem elegendő pontossággal modellezik a valóságban is előforduló, járműveket érő erőhatásokat. A terepen vontatott járművekre ható, a szerkezetet igénybevevő hatások megismeréséhez egy általánosan is használható összehasonlító módszer kidolgozására volt szükség.

Első lépésben meg kellett ismerni a talaj mechanikai tulajdonságait és a terepprofil járműmozgást befolyásoló hatásait. Második lépésben meg kellett állapítani a vizsgált mérőjármű mechanikai és lengéstanai tulajdonságait, melynek ismeretében megállapítható a szerkezetre jellemző nagytitási, vagy más megfogalmazásban átviteli függvénye. Ezt követően lehetett mérésorozatok lefolytatásával megállapítani a különböző sztochasztikus és épített akadályrendszerek igénybevevő hatásának mértékét, melyet a szerkezet gerjesztésekre adott válaszfüggvénye ír le. A negyedik lépésben következhetett a különböző útprofilok által létrehozott gerjesztések összehasonlító vizsgálati módszerének leírása.

A kutatásom során több olyan mérésorozat lefolytatására került sor, amelynek eredményei mind a terepjárás-elméletben mind pedig a járművek validációja során alkalmazható megoldásokat tartalmaznak. Általános érvényű módszert dolgoztam ki a sztochasztikus útprofilok mikroakadály rendszerének járműveket igénybevevő hatásait alapul vevő összehasonlíthatóságára. Továbbá módszert dolgoztam ki az épített terepakadály rendszerek járműveket gerjesztő hatásának összehasonlítására, valamint a járművek fárasztóvizsgálatának lefolytatására alkalmas vizsgálati tematikát állítottam össze. A kidolgozott módszerek alapján a gyakorlatban sokkal megbízhatóbb, a normál üzemi körülményeknek megfelelő terheléseket alapul vevő, fárasztóvizsgálati rendszerek készíthetőek. Az új tematika alapján készített fárasztóvizsgálatok alapján várhatóan kevesebb, olyan terepen közlekedő jármű fog készülni, amely alul- vagy túl- méretezett lesz a nem megfelelő validációs eljárások miatt.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT
PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven:

1. **Gurmai, L.** – Kiss, P. (2014): The Towed Vehicle as an Oscillating System. International Journal of Heavy Vehicle Systems Vol. 21, No. 3, 2014, pp. 262-280. ISSN: 1744-232X
2. **Gurmai, L.** – Kiss, P. (2014): Analysis of relations of towed vehicles and road profile. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, volume 11/1, pp. 90-97. ISSN: 1302-7050.
3. **Gurmai, L.** (2010): A comparative study of methods used for testing towed vehicles. Hungarian Agricultural Engineering N°22/2009 pp. 46-48. HU ISSN 0864-7410
4. **Gurmai, L.** – Kiss P. – Laib L. (2012): Modelling of Terrain and towed vehicle interaction. Mechanical Engineering Letters, volume 6, pp. 88-92. ISBN: HU ISSN 2060 - 3789
5. **Gurmai, L.** – Kiss P. – (2012): Comparative analysis of destructive forces acting on the structure of off-road towed vehicles. Mechanical Engineering Letters, volume 8, pp. 98-106. ISBN: HU ISSN 2060-3789

Lektorált cikk magyar nyelven:

6. **Gurmai, L.** (2013): Terepen vontatott jármű fárasztóvizsgálatainak összehasonlító elemzése. Mezőgazdasági Technika. LIV. évfolyam, 2-5. o. HU ISSN 0026 1890
7. **Gurmai, L.** (2012): Terepviszonyok hatása a mezőgazdaságban alkalmazott vontatmányokra. Mezőgazdasági Technika. LIII. évfolyam, 19-21. o. HU ISSN 0026 1890
8. **Gurmai, L.** (2011): Szállítókoszok tesztelése és validációja a terepviszonyok figyelembevételével. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (<http://on-and-off-road-vehicles.hu>) , III. évf., 1. sz., No.I. 49-58. o. HU ISSN 2060-4408
9. **Gurmai, L.** (2013): Vágóasztal-szállító kocsik fejlesztése. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat (<http://on-and-off-road-vehicles.hu>), 1-8. o. HU ISSN 2060-4408