

SZENT ISTVÁN EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

SZEMÉLYGÉPJÁRMŰ FEDÉLZETI LENGÉSCSILLAPÍTÓ FELÜGYELETI RENDSZER FEJLESZTÉSE

Készítette: **HORVÁTH CSONGOR**
IV. évf. BSc hallgató

Témavezető: **FARKAS CSABA**
PhD hallgató



**Gödöllő
2013**

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi feldolgozás	5
2.1. Gépjármű dinamikai modellje	5
2.2. Lengéscsillapítók	6
2.2.1. Lengéscsillapító feladatai.....	6
2.2.2. Lengéscsillapító felépítése	6
2.2.3. Lengéskényelem	7
2.3. Lengéscsillapító vizsgálati módszerek	8
2.3.1. Lengéscsillapító vizsgálat a gépjármű ejtésével	8
2.3.2. Lengéscsillapító vizsgálat a kerék ejtésével (BOGE eljárás)	8
2.3.3. Dinamikus talperő-ingadozás mérés (EUSAMA)	9
2.3.4. EUSAMA vizsgálat kiértékelése	11
2.3.5. EUSAMA vizsgálat jogi háttere	11
2.4. A lengéscsillapító mérések eredményét befolyásoló tényezők	11
2.4.1. Gépjármű konstrukciója.....	11
2.4.2. Gumiabroncsok.....	12
2.4.3. Járműterhelés és a terhelés eloszlása	13
2.4.4. Hőmérséklet	13
2.5. EUSAMA rendszerű vizsgálópád felépítése	14
2.6. Gyorsulásérzékelők	14
2.6.1. Gyorsulásérzékelők működési elve.....	15
2.6.2. Gyorsulásérzékelők típusai	15
2.7. Villamos mérések	17
2.7.1. A/D konverzió.....	17
2.7.2. Az A/D átalakítás folyamatábrája	18

3. Módszer és eszközök.....	20
3.1.1. Az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad.....	20
3.1.2. Az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad műszaki adatai.....	22
3.2. Gyorsulásérzékelők mérőrendszere.....	23
3.2.1. Spider 8 mérés adatgyűjtő.....	24
3.2.2. Gyorsulás érzékelők paraméterei is kalibrációjuk a gravitációs térben.....	25
4. Lengéscsillapító vizsgálatok	27
4.1. Mérési adatok értelmezése.....	27
4.1.1. Energotest mérő rendszer függvényei.....	27
4.1.2 Az talperő viszony (A%) meghatározása Energotest függvényekből.....	29
4.1.3 A HBM mérőrendszer függvényei.....	30
4.1.4. Az A% meghatározása HBM mérőrendszer függvényeiből.....	31
4.2. Mérési eredmények kiértékelése	33
5. Összefoglalás.....	35
5.1. Javaslatok a beépített mérőrendszer jövőbeni fejlesztésével kapcsolatban.....	35
5.2. Köszönetnyilvánítás.....	35
Irodalomjegyzék.....	37
Mellékletek.....	39

1. Bevezetés

Napjainkban elmondható, hogy igen sok személygépjármű rója az utakat. Az emberek ezt a járművet kénytelenek a mindennapok során használni, de nem várható el mindenkitől, hogy megfelelő műszaki „véna” legyen az üzemeltetéséhez. Az időszakos műszaki vizsga segítséget nyújthat a drasztikus problémák feltárásában, de a két műszaki vizsga közötti időszakban a tulajdonos „magára van hagyva”. A motorirányító egységek, a motor működését felügyelő és bonyolító rendszerek hibáját már elég régóta képesek jelezni. A gépjármű technika jelenlegi fejlettsége lehetőséget adott az olyan rendszerek felügyeletére is, amiket eddig nem tudtunk a fedélzeti OBD, EOBD diagnosztikai csatlakozón keresztül diagnosztizálni. Ennek a fejlődési lépcsőfoknak szüksége volt arra, hogy a diagnosztizálendő rendszerben elektromos elven működő részegységek legyenek. Ezáltal például az alapvetően hidraulikusan működő fékrendszer is diagnosztizálható lett.

Nem foglalkozik viszont fedélzeti diagnosztika a lengéscsillapítók állapotával, és ezen részegységek igen ritkán vannak érzékelőkkel felszerelve, szabályozási körbe csatolva. A lengéscsillapítók feladata ugyanakkor rendkívül fontos. Ha a kerék nincsen megfelelően, - lehetőleg folyamatosan- a talajjal kapcsolatban, az tapadásvesztést jelent. A nem tapadó kerék számtalan kellemetlenséget okoz, többek között jelentősen megnövekedett fékutat illetőleg a gépjármű stabilitásának elvesztését.

A probléma felvetés sajnos valós, a piacvezető Monroe lengéscsillapító gyár 2005-ben végzett európai felméréséből kiderült, hogy az általuk tesztelt autók 47%-ának lengéscsillapítója alkalmatlan volt közúti használatra. Még drasztikusabb eredményt mutatnak a műszaki kultúrájáról híres Németországban végzett felmérések, ahol a tesztelt autók 52,38%-ának volt használatra alkalmatlan a lengéscsillapítója. Nem hinném, hogy ezeknél az értékeknél jobb aránnyal találkozhatnánk Magyarországon.

Dolgozatom célja, hogy olyan kísérleti mérőrendszert építsek ki, melynek segítségével figyelhető a gépjármű lengéscsillapítóinak a különböző gerjesztésekre adott válasz függvénye. A vizsgálatot először szabványos gerjesztésekre adott válaszfüggvények eredményeinek elemzésével kezdem, ami könnyen hasonlítható a jelenleg hatályos hatósági vizsgálatok lengéscsillapító minősítő eljárásához. A távlati cél olyan mérőrendszer fejlesztése, amely később a gépjármű CAN-bus rendszeréhez csatlakoztatva, hibakóddal tud utalni az egyes lengéscsillapítók meghibásodására, így a tulajdonos hamar fel tudja keresni a megfelelő

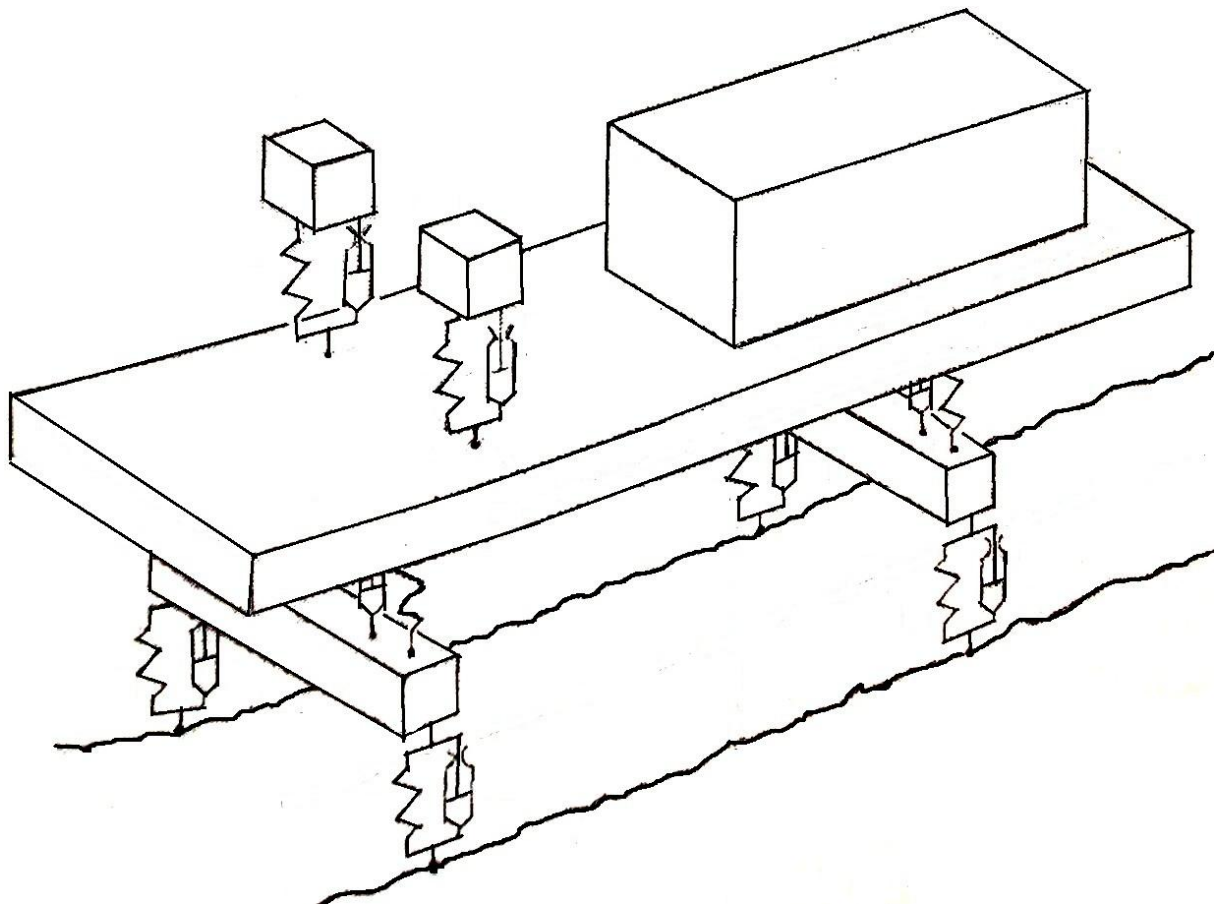
szakszervizt, ahol a hibát elhárítják. Ezáltal minden gépjármű használó nagyobb biztonságban tudhatja utasait, önmagát és a közlekedésben résztvevő többi embert.

A dolgozatomban megvalósított mérések az Energotest Kft. által nyújtott szakmai támogatás segítségével valósulhattak meg. A vizsgálatokat a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karán telepített Energotest lengéscsillapító diagnosztikai eszköz, valamint a Folyamatmérnöki Intézet méréstechnikai berendezései tették lehetővé.

2. Szakirodalmi feldolgozás

2.1. Gépjármű dinamikai modellje

Egy jármű dinamikai modellje, sok egyszabadságfokú lengőrendszer összekapcsolásaként fogható fel. Egy négykerekű járművet, 8 szabadságfokú lengőrendszerként modellezhetünk, ha csak a talaj által előidézett, függőleges irányú elmozdulásaira vagyunk kíváncsiak. Mind a négy gumiabroncs külön egy-egy rugó-csillapítás párosként modellezhető. A gépjármű tengelyeit, egy a karosszériától elkülönülő tömegként kell kezelni, amelyek két-két a karosszériához (mint legnagyobb tömeghez) kapcsolódó rugó-csillapítás páros köt (ez a valóságban is így van). Ha a járműben lévő utasok elmozdulásának feltérképezése a cél, akkor ezt felül még utasonként egy-egy egyszabadságfokú lengőrendszerrel modellezhetjük. Jól látható ez az 1. ábrán is, ami egy teherautó lengéstani modelljét szemlélteti. [5]



1. ábra: Teherautó lengéstani modellje [5]

2.2. Lengéscsillapítók

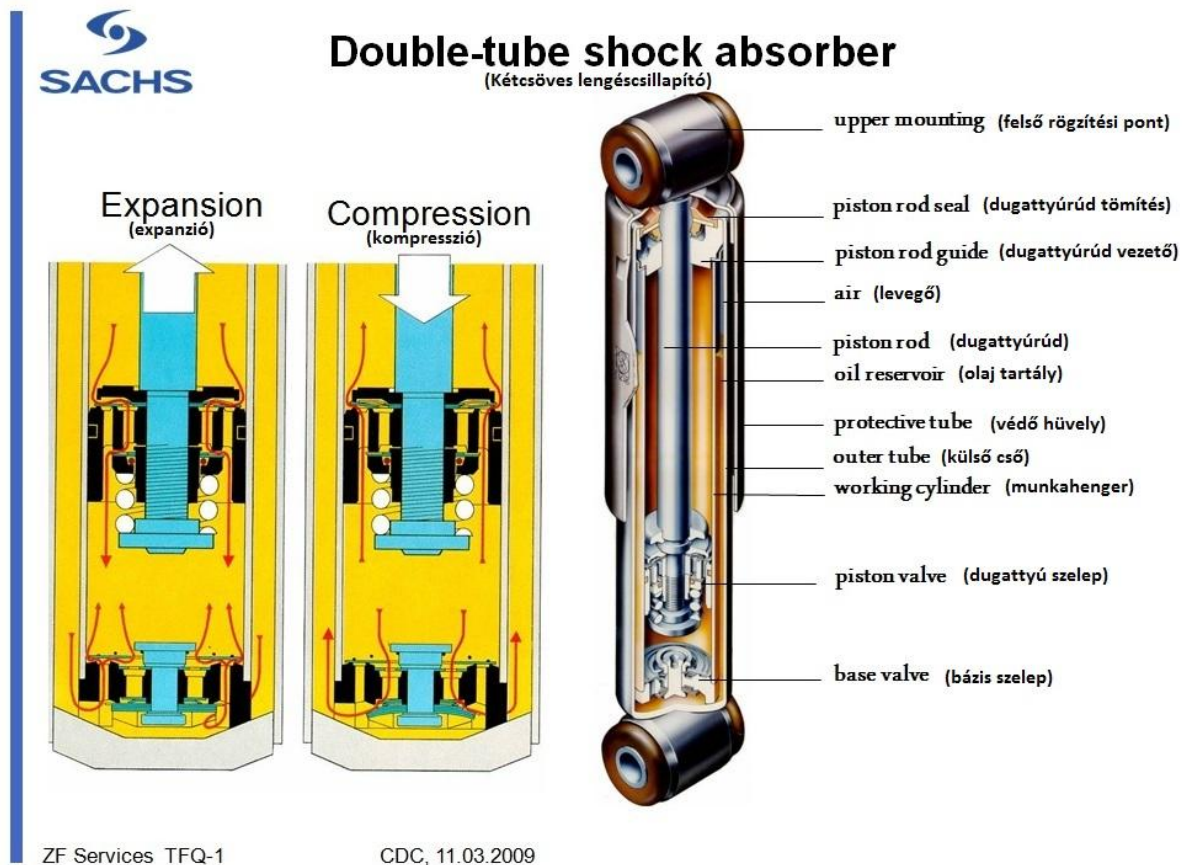
2.2.1. Lengéscsillapító feladatai

A lengéscsillapítók az alábbi funkciókat látják el:

- Lengéskényelem fenntartása: „Kis értékű függőleges irányú elmozdulásoknál (kis keréksebességeknél) a karosszerialengések amplitúdójának optimális értéken tartása.”
- Talperő-stabilitás biztosítása: „Nagyobb értékű függőleges kerékelmozdulásoknál a talpponti terhelésingadozás csökkentése.”

Közlekedésbiztonsági szempontból nagyon fontos a tapadás, vagyis hogy a kerék folyamatos kontaktusban legyen az út felülettel. [8]

2.2.2. Lengéscsillapító felépítése



2. ábra: Kétsőves lengéscsillapító [8]

Az 2. ábrán kétsőves felépítésű, napjainkban igen gyakran alkalmazott lengéscsillapító látható. A típus kompakt méreteinek köszönhetően jól használható, kis helyre is beszerelhető, ezzel teret hagyva a többi futóműalkatrész könnyű elhelyezésének.

A mai lengéscsillapítók folyadéksúrlódásos elven működnek, ez a tény azt eredményezi, hogy könnyen befolyásolható a súrlódás mértéke és alakulása. A folyadéksúrlódásos elven működő lengéscsillapítónak, nagy előnyük, hogy a működésük nem szimmetrikus. A lengéscsillapítók berugózáskor kisebb erőt kell, hogy kifejtsenek, mint kirugózáskor! [8]

2.2.3. Lengéskényelem [6]

Az emberi test lengésérzékenysége frekvenciafüggő. A 15-18 Hz-es tartomány az, ahol az emberi szervezet lengést érzékel. A bőrfelület rezgés érzékelése ennél jóval tágabb tartományban működik, ami 18-1500 Hz közé esik. Az emberi szervezet leginkább azokra a frekvenciákra érzékeny, amelyeknél egyes testrészei rezonanciába jönnek, ezeket kell elkerülni. (Egyes testrészek rezonancia frekvenciái: Fej: 1,8 .. 2,0 Hz és 20 Hz; Mell: 4,5 ... 5,0 Hz)

Általánosságban elmondható, hogy a lengéskényelmi mutatók a jármű útra merőleges, azaz függőleges irányú lengéseit értékelik. A javasolható önfrekvencia értéke: $f_0=0,75...1,45$ (alatta tengeri betegség, felette rázás lép fel). A VDI 2057 sz. ajánlás szerinti "K" lengéskényelmi mutató értéke az 2.1-es képlet szerint határozható meg:

$$K = \frac{18}{\sqrt{1+0,01+f^2}} \cdot D_z \quad (2.1)$$

Az 2.1-es képlet harmonikus lengésekre érvényes ahol, f - lengésfrekvencia [Hz], D_z - lengésgyorsulás szórás [m/s^2], gépjárművekre ajánlott értékek: $K=10...25$.

Az ISO 2631 sz. ajánlás szerinti "D_{ze}" lengéskényelmi mutató értéke az 2.2-es képlettel határozható meg:

$$D_{ze} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot D_{zi}^2} \quad (2.2)$$

Az 2.2-es képletben, D_{zi} - az i-edik frekvenciasávhoz tartozó lengésgyorsulás szórás, a_i - az i-edik frekvenciasávhoz tartozó súlyozó tényező.

A következő jellegzetes, redukált lengésgyorsulási értékek fontosak, illetve szem előtt tartandóak a mérnöki gyakorlatban:

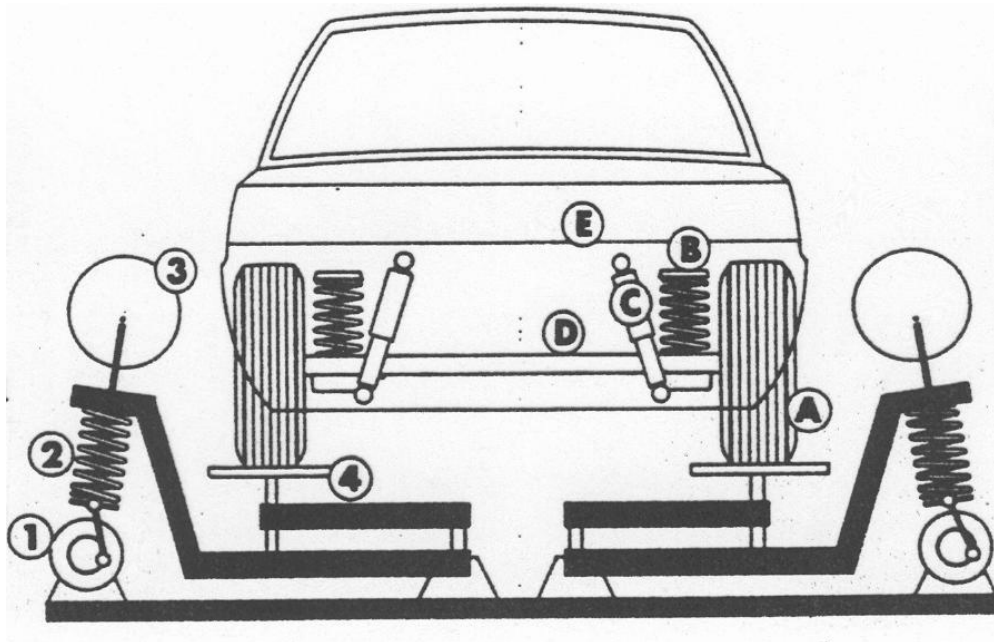
- $0,10 \text{ m/s}^2$ - a lengés még fáradtság nélkül elviselhető
- $0,315 \text{ m/s}^2$ - az adott szintű munkavégző képesség még változatlan
- $0,630 \text{ m/s}^2$ - felső határ (egészségkárosodás nélkül)

2.3. Lengéscsillapító vizsgálati módszerek

2.3.1. Lengéscsillapító vizsgálat a gépjármű ejtésével [6]

A vizsgálat során a gépjárművet 100 mm magasságból leejtjük. Ez a fajta teszt a rugózott tömeget gerjeszti. Valamilyen módon rögzítenünk kell a karosszéria lengéseinek adatait, illetve a lengés függvényét pl: gyorsulásfüggvény. A lengéscsillapító megfelelő működésére az amplitúdó és frekvencia csökkenéséből, illetve a megtett lengések számából következtetünk. Evvel a módszerrel csak a karosszéria lengési önfrekvenciájával megegyező gerjesztés hozható létre (kb. 1,5 Hz). Ez kis lengési sebességet jelent, ezért közlekedésbiztonsági diagnosztikára alkalmatlan.

2.3.2. Lengéscsillapító vizsgálat a kerék ejtésével (BOGE eljárás) [7]



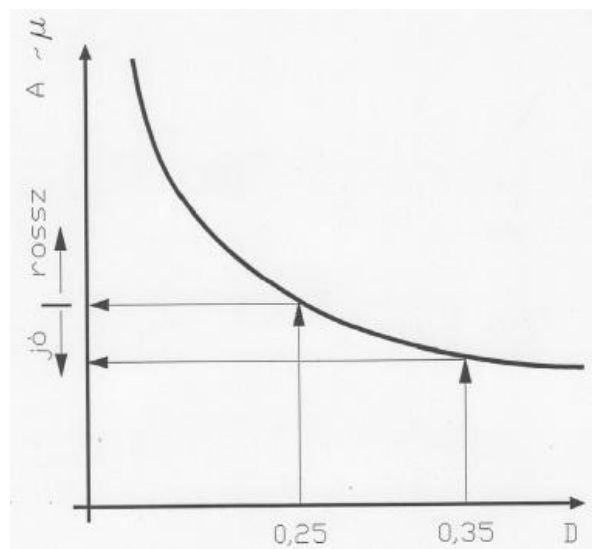
3. ábra: Boge-féle lengéscsillapító vizsgáló próbapad [7]

(1. hajtómotor, 2. nyomórugó, 3. regisztráló tárcsa, 4. keréktárcsa, A: kerék, B: rugó, C: lengéscsillapító, D: tengely, E: felépítmény)

A 3. ábrán a Boge-féle lengéscsillapító vizsgáló próbapad felépítése látható. A létrehozható gerjesztő frekvencia értéke: $f_1=14,7$ Hz. Az f_1 frekvencia nagyobb a futómű önfrekvenciájánál. A gerjesztő motor lekapcsolása után a rendszer lassul és áthalad az $f_{\text{futómű}}$ önfrekvencia értéken. Ezek után beáll az A_{max} értéke. Mivel X_g ismert ezért képezhető a nagyítási tényező a 2.3-as képlet szerint:

$$\mu = \frac{A_{\text{max}}}{X_g} = \sqrt{1 + \frac{1}{4 \cdot D^2}} \quad (2.3)$$

Tehát a maximális amplitúdó értéke kapcsolatban van a D azaz a relatív csillapítási tényező értékével, ahogy az a 4. ábrán látható.



4. ábra: Az amplitúdó és a relatív csillapítási tényező (D) értékének kapcsolata [7]

Az eljárás hibája abból adódik, hogy gépjármű tömegéhez mérés közben jelentős tömeget kapcsol és azt a gerjesztett rugókon keresztül közli. A kapcsolt rendszer önfrekvenciája csökken, 5-9 Hz közé, így nem a valóságos közlekedésbiztonsági tartományban mérünk.

2.3.3. Dinamikus talperő-ingadozás mérés (EUSAMA) [6]

Magyarországon hatósági célra kizárólag ez a mérési eljárás alkalmazható!

Az EUSAMA eljárás a talperő (keréktalppont és az útfelület illetve a keréktámasz között ébredő) változása alapján minősíti a lengéscsillapítót. Tökéletesen sík útfelületen a tapadási erő állandó, tehát a 2.4-es képlet írja le a folyamatot:

$$F = \varphi \cdot G \quad (2.4)$$

ahol: φ – tapadási tényező, G – kerékterhelés

Tökéletesen sima útburkolat a valóságban nincsen, emiatt a kerékterhelés és a tapadási erő is folyton változik. A legrosszabbak a tapadási feltételek a rezonancia állapotában. Valós esetben a 2.5-ös képlet alkalmazható:

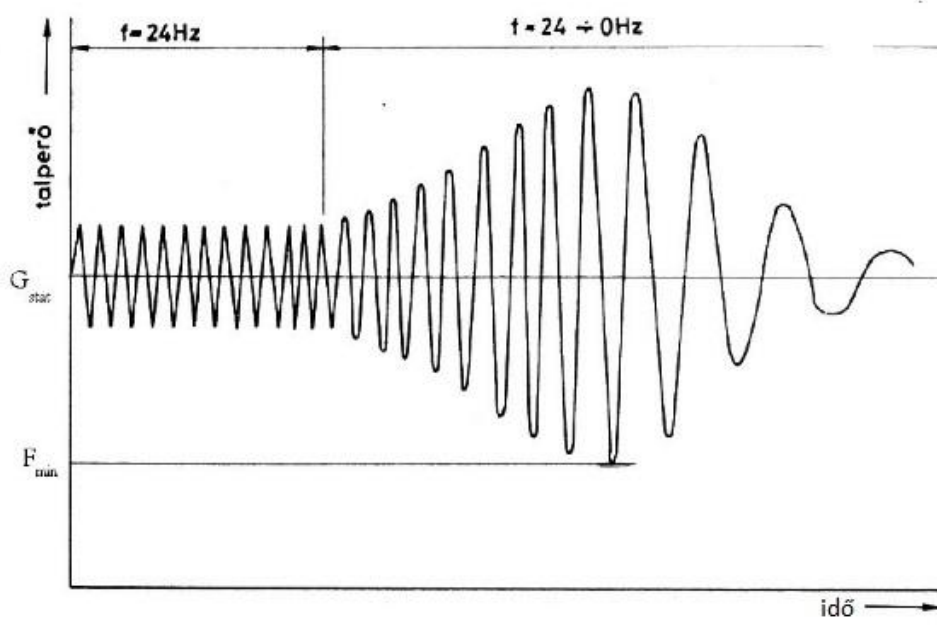
$$F = A \cdot \varphi \cdot G \quad (2.5)$$

ahol: „A” a talperő viszonyt jelenti, általában százalékban.

Definíció szerint a talperő viszony értéke a 2.6-os képlet szerint határozható meg:

$$A\% = 100 \cdot \frac{F_{\min}}{G_{\text{stat}}} \quad (2.6)$$

ahol: $F_{\min}$ – a rezonancia állapotában fellépő minimális talperő értéke, G_{stat} – a statikus talperő értéke.



5. ábra: A talperő változása az idő függvényében [6]

2.3.4. EUSAMA vizsgálat kiértékelése [7]

A talaperőviszony százalékos arányában a következő minőségi kategóriák állíthatók fel:

- 60...100% nagyon jó
- 45...60% jó
- 30...45% gyenge
- 20...30% elégtelen
- 0% nincsen érintkezés a talajjal

Egyes berendezések az eredmények kiértékeléséhez ún. B% értéket is használnak. Ez azt mutatja meg, hogy mennyivel csökken a statikus talperő értéke a rezonancia állapotában. A 2.7-es képlet szerint A% és B% értéke a következő:

$$A\%+B\%=100 \quad (2.7)$$

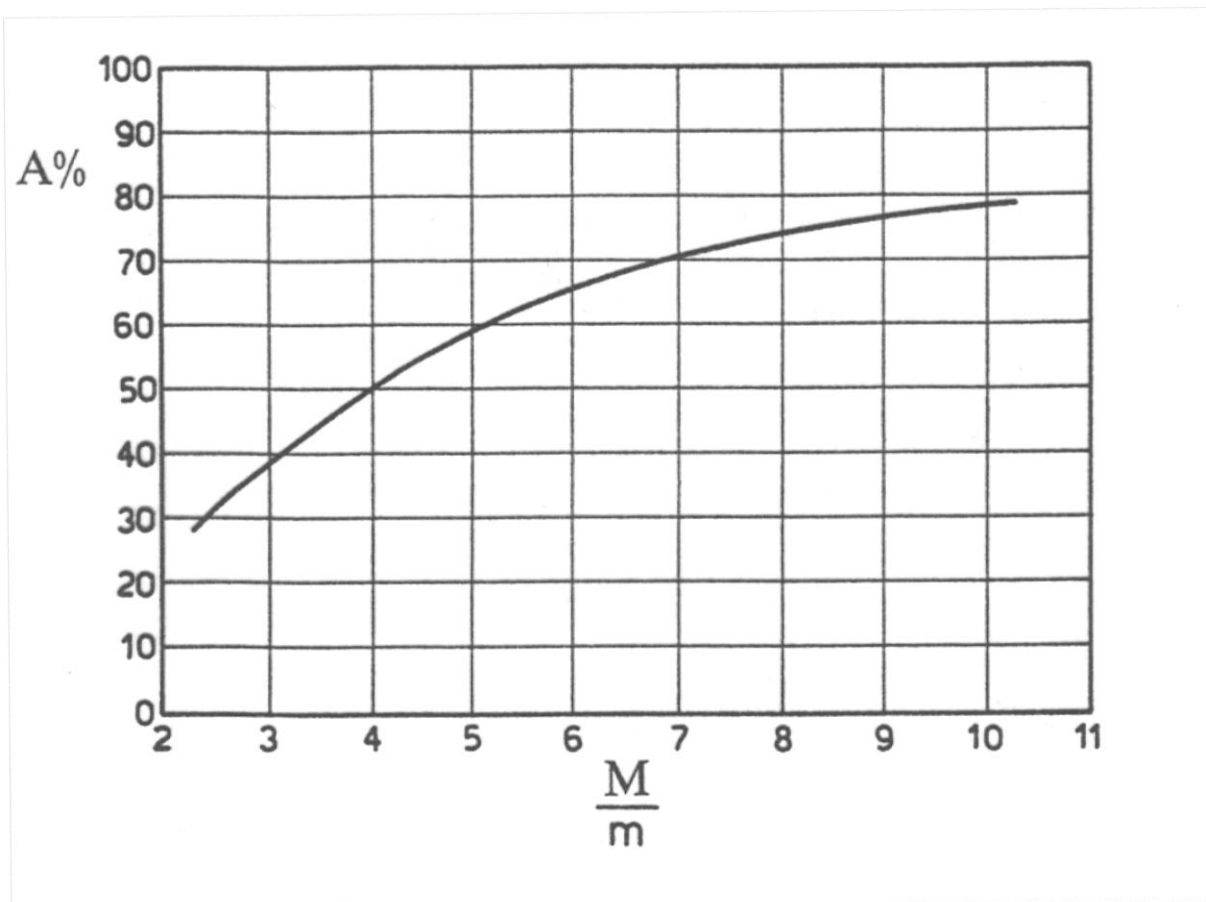
2.3.5. EUSAMA vizsgálat jogi háttere: [13]

„A 14/1999. (IV. 28.) számú rendelettel módosított 5/1990. (IV. 12.) számú KöHÉM rendelet értelmében a talperő ingadozást mérő (úgynevezett EUSAMA – rendszerű) lengéscsillapító vizsgáló próbapaddal végzett hatásosság vizsgálat meghatározott határidővel a műszaki vizsgáztatás során kötelezővé vált.”

2.4. A lengéscsillapító mérések eredményét befolyásoló tényezők

2.4.1. Gépjármű konstrukciója [6]

A rugózott (M) és rugózatlan (m) tömeg aránya befolyásolja a dinamikus talperő viszonyának (A%) értékét. Minél nagyobb a rugózott tömeg, annál jobb a tapadási viszonyok. Utasok, súly a csomagtartóban, jelentősen megalapítja a vizsgálat eredményét, hiszen a rugózott tömeg értékét növelik. Ebből következik, hogy terhelt állapotban a lengéscsillapító jobbnak ítéltető, mint amilyen valójában. A 6. ábra mutatja a rugózott és rugózatlan tömeg arányának drasztikus hatását a talperő viszony értékére.



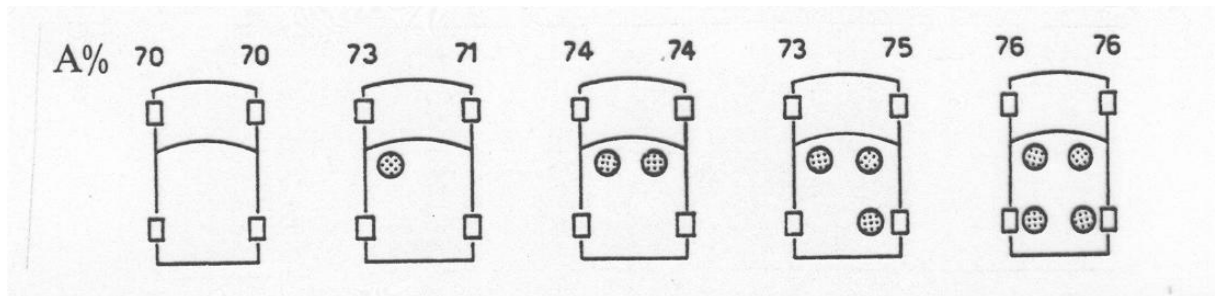
6. ábra: A rugózott (M) és rugózatlan (m) tömeg arányának hatása a talperőviszony (A%) értékére [7]

2.4.2. Gumiabroncsok [7]

A gumiabroncsok saját rugalmassága is részt vesz a csillapításban, sőt a gumiabroncsban lévő levegő összenyomhatósága is csillapít. Az abroncsnyomás növelésével csökken a tapadás, 0,5 bar-onként 10%-os tapadási erő változás lép fel, ami óriási változás. Ez alapján arra következtethetnénk, hogy az abroncsok nyomásának csökkentésével célszerű elérni a jobb tapadást, ám ez elégtelen megoldás, mivel: 0,5 baronként 100 kg-al csökken az abroncsok teherbíró képessége. A gumiabroncs élettartama is csökken alacsonyabb abroncsnyomásnál: 0,5 bar abroncsnyomás csökkenés, mintegy 40%-al rövidíti meg az élettartamát. Hogy reprodukálható, egzakt mérési eredményt kapjunk, mérés előtt a gumiabroncs nyomását a névleges értékre be kell állítani, amit a gépjármű gyártója határoz meg adattáblán, illetőleg az autó kezelési útmutatójában.

2.4.3. Járműterhelés és a terhelés eloszlása [7]

A terhelés és annak eloszlása is nagymértékben befolyásolja a mérés eredményét. Ha utasokkal terheljük a járművet talperőviszony növekedést tapasztalunk. A 7. ábráról az is leolvasható, hogy a féloldalasan terhelt gépjármű bal és jobb oldali talperő viszonya mintegy 2-3%-al eltérhet egymástól.



7. ábra: A terhelés eloszlásának hatása az „A%”, vagyis a talperőviszony értékére kerekenként [7]

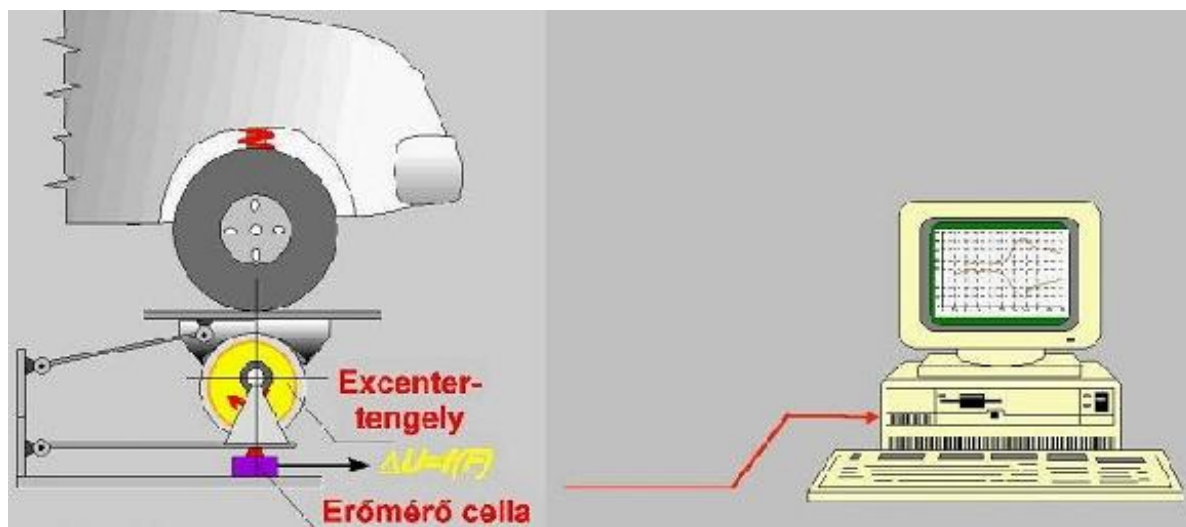
2.4.4. Hőmérséklet

A hőmérséklet jelentős hatást gyakorol a lengéscsillapítóban lévő olaj viszkozitására, ezáltal a csillapítási tényezőre is. Ha például az olaj hőmérséklete -15 fokról +60 fokra növekszik, a csillapítási tényező akár 60%-al is csökkenhet. Ebből következik, hogy a mérés üzemmeleg lengéscsillapítókkal végezendő! Az 8. ábra, öt mérési cikluson keresztül szemlélteti, hogy a lengéscsillapító bemelegedése milyen hatással van a talperőviszony értékére. Az 5. ciklusban a lengéscsillapító elérte az üzemmeleg állapotot.



8. ábra: A dinamikus talperő (A%) változása egymást követő mérési ciklusok során

2.5. EUSAMA rendszerű vizsgálópád felépítése [7]



9. ábra: Eusama rendszerű vizsgálópád működési vázlata [7]

A 9. ábrán látható, hogy a keréktámasz 25^1 Hz-es gerjesztő frekvenciával és 6 mm-es lökettel rázza meg a motorral hajtott excenteres mechanizmust. A keréktámasz alá beépített erőmérő cella méri a talperő pillanatnyi értékét. A számítógép az erőmérő cellából származó adatokat, táblázatosan és/vagy diagram formában megjeleníti. Az excenter tengelyen elhelyezkedő rázólapot mérés előtt a szerkezet önállóan gerjeszti, és a lengéseit méri. A rázólap méréséből származó függvényt a gépjármű lengéscsillapítójának vizsgálatakor, a számítógép frekvencia helyesen kivonja a vizsgálati függvényből.

¹ A dolgozatban ismertetett mérésekre használt Energotest mérőpad 24 Hz-es gerjesztő frekvenciával működik.

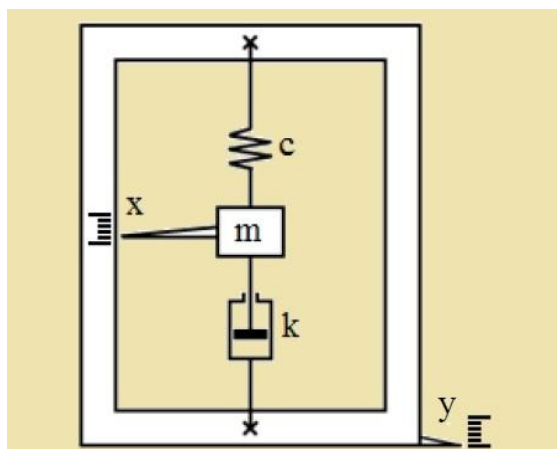
2.6. Gyorsulásérzékelők

2.6.1. Gyorsulásérzékelők működési elve [1]

Az elektromechanikai gyorsulásmérés során egy ismert tömegre ható tehetetlenségi erőt határozzunk meg. Ez a tömeg egy egyszabadságfokú csillapított mechanikai lengőrendszer része, melyet szeizmikus tömegnek nevezünk. A gyorsulás érzékelő általános modelljét a 10. ábrán láthatjuk.

A rendszerre ható erő kitéríti a szeizmikus a tömeget, melyet a rugó térít vissza.

Az erő nagysága meghatározható a tömeg kitérésével vagy a rugó alakváltozásának mérésével. A modell házát mereven kapcsolják a mérendő rendszerrel, melynek mozgási koordinátája y . A rezgésmérő tömege (m) külső gerjesztés hatására x -irányú mozgást végez.

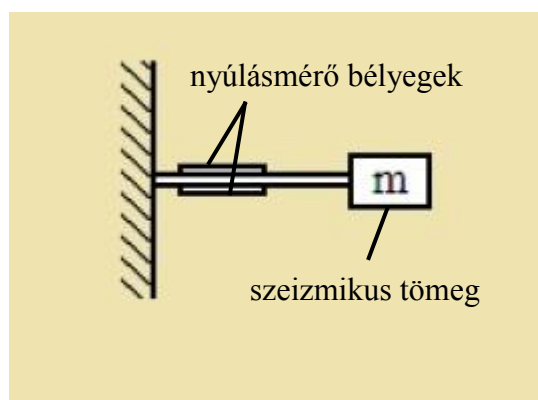


10. ábra: Gyorsulás érzékelő általános modellje [1]

2.6.2. Gyorsulásérzékelők típusai

A piacon kapható érzékelők gyakran az előző fejezetben ismertetett egyszerű lengőrendszerek működési elvén alapulnak. Mindegyik érzékelőben található szeizmikus tömeg, illetve valamilyen rugóként viselkedő visszatérítő elem, a gyorsulás pedig minden esetben a tömegre ható erővel lesz arányos. A különbség a konstrukciók között az eltérő méretek mellett csak a kitérés illetve alakváltozás mérésének módjában található. [9]

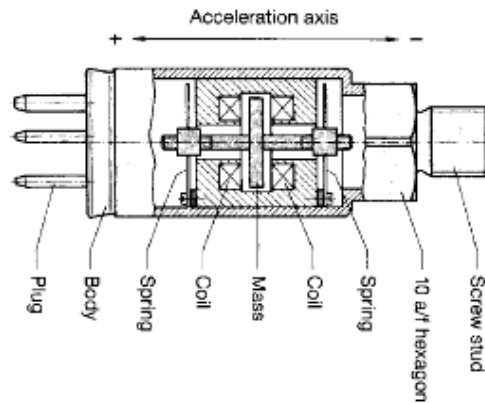
Rezisztív érzékelők: A rezisztív érzékelőkben nyúlás mérő ellenállások, (nyúlásmérő bélyegek) segítségével mérhető a gyorsulással arányos alakváltozás, mint mechanikus mennyiség. A 11. ábrán, egy ilyen elven működő mérőműszer működési vázlata látható. Itt a lemez rugó lehajlásának mértéke arányos a gyorsulás értékével. Ezen szenzorok



képesek állandó gyorsulás, azaz gravitáció mérésére is. [4]

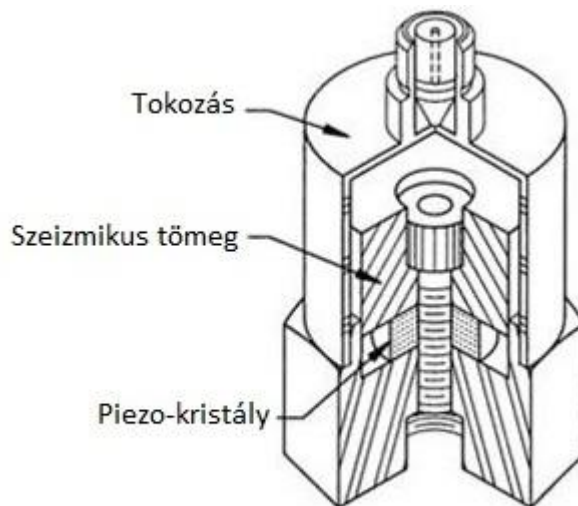
11. ábra: Hajlított rugós, gyorsulás érzékelő [1]

Induktív érzékelők: A bennük található tekercsek adnak információt a gyorsulás értékéről. Felépítése a 12. ábrán látható.



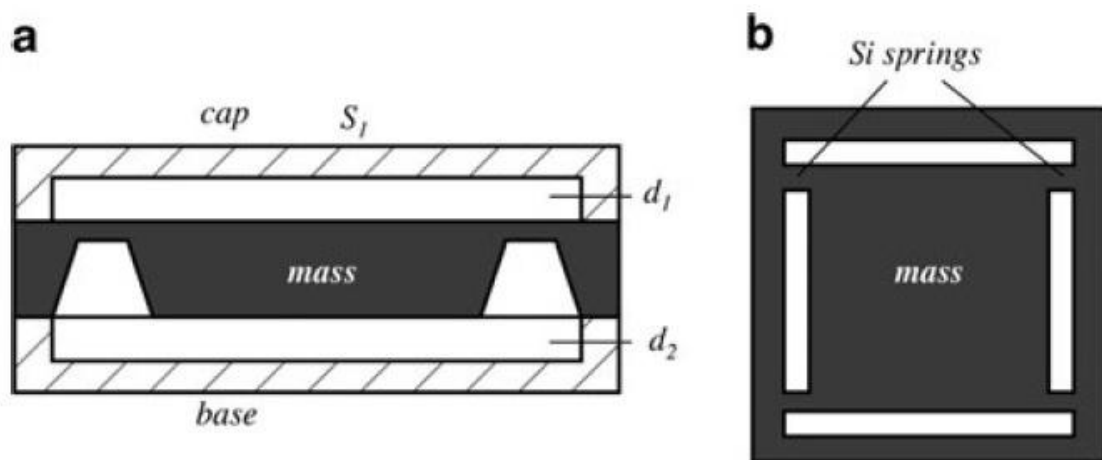
12. ábra: Induktív érzékelő felépítése (HBM B12) [3]

Piezelektromos érzékelők: A piezo elektromos érzékelőkben, a szeizmikus tömeget a piezo kristály fölött helyezik el. Mozgás közben a tömeg által kifejtett erő hat a kristályra, amelyben ennek hatására töltésváltozás következik be, ami arányos a gyorsulás értékével. A piezelektromos érzékelő felépítése a 13. ábrán látható. [4]



13. ábra: Piezo elektromos gyorsulás érzékelő [4]

Kapacitív érzékelők: A kapacitív érzékelőkben az elmozdulással együtt a bennük található „kondenzátor” egyik fegyverzete is elmozdul. A kapacitás változása arányos lesz a gyorsulás értékével. A 14. ábrán a kapacitív gyorsulás érzékelő elvi felépítése látható. [4]

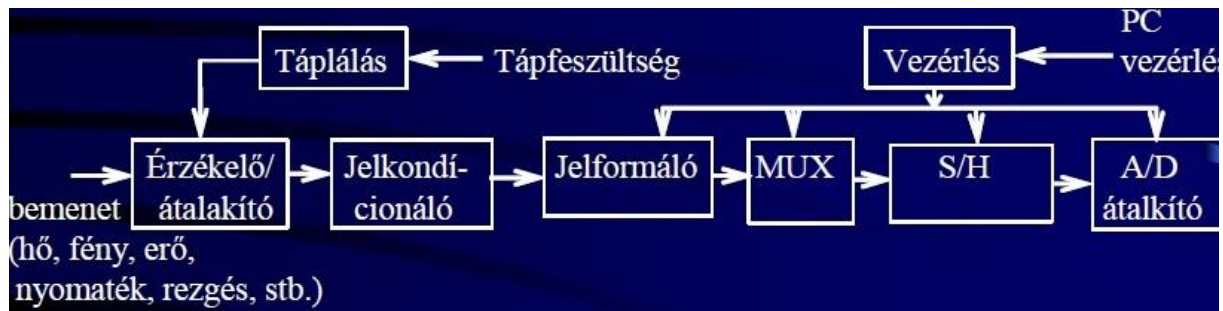


14. ábra: Kapacitív gyorsulás érzékelő, a) oldalról ; b) felülről [4]

2.7. Villamos mérések

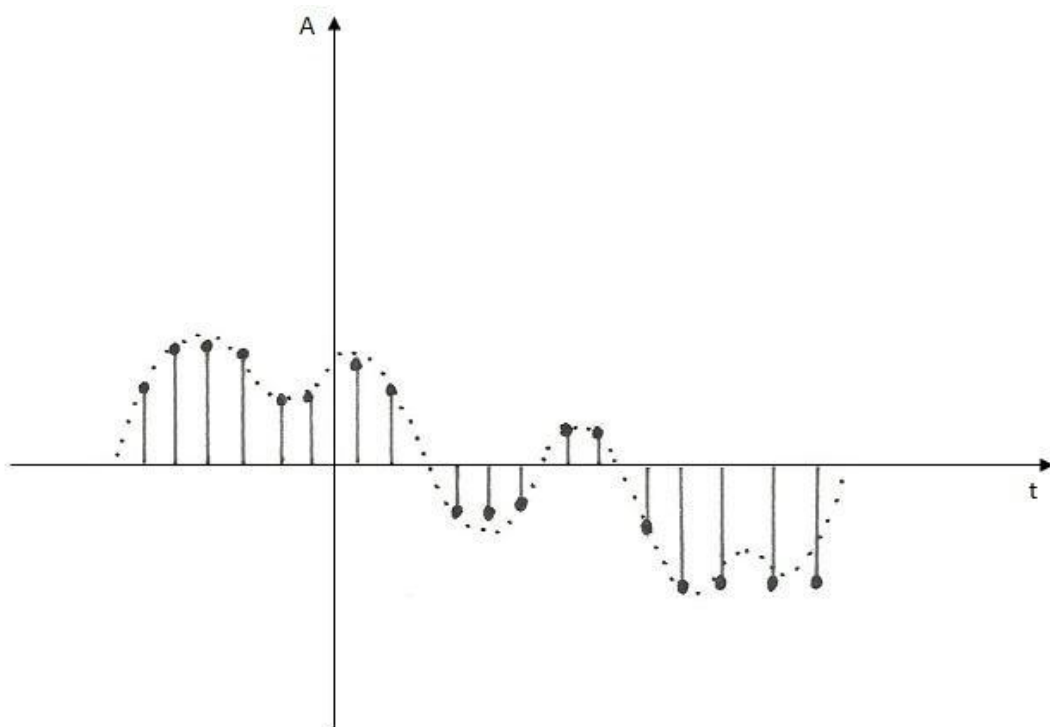
2.7.1. A/D konverzió [10]

A 15. ábrán egy számítógépes mérőrendszer blokkábrája látható. Ahhoz, hogy, a számítógépen történő jelfeldolgozás lehetővé váljon, a mérési eredményeket digitális jelekké kell átalakítani.



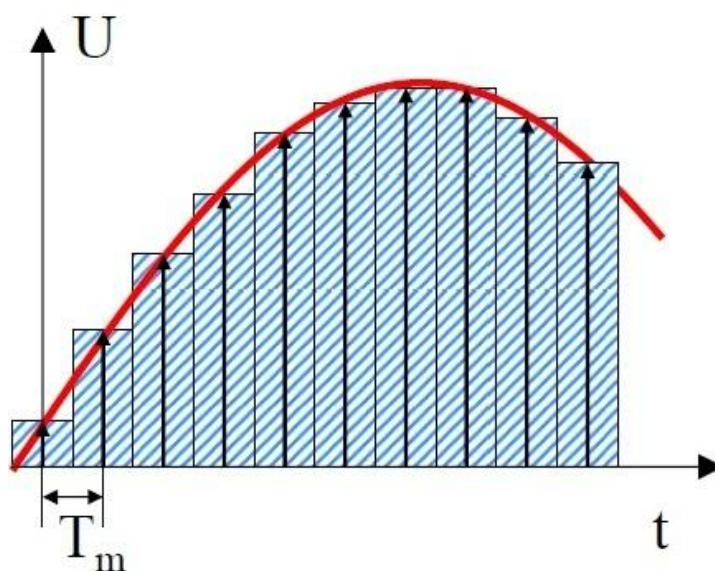
15. ábra: Számítógépes mérő rendszer elvi rajza

Amikor diszkrét időpontokban történik a mintavétel, és egyszerre kvantálják is a jelet, akkor digitális jel keletkezik, ahogy a 16. ábrán látható. [9] Ezt a feladatot az analóg-digitális átalakítók (AD konverterek) látják el.



16. ábra: Diszkrét idejű és értékű jel [9]

Egy analóg bemeneti jel diszkrét jelek sorozatává alakítható, ha $t[i] = i \cdot T_m$ egyenlő időközönként mintát veszünk a bemenetről. A kapott lépcsős függvény annál jobban közelíti az eredeti jelet, minél nagyobb a mintavételi frekvencia, $f_m = 1/T_m$. Ez a 17. ábrán látható.



17. ábra: A/D konverzió, mintavételezés [10]

2.7.2. Az A/D átalakítás folyamatábrája

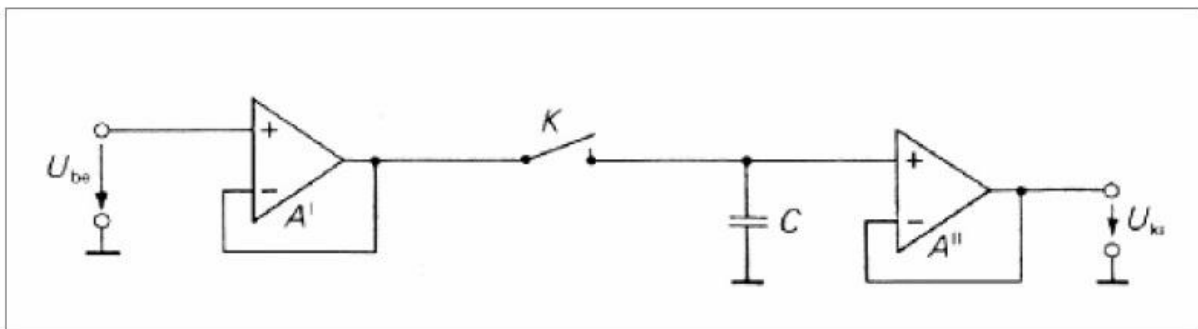
Az A/D átalakítás általános folyamata a 18. ábrán látható.



18. ábra: A/D átalakítás folyamatábrája [10]

Anti aliasing szűrő: alul-áteresztő szűrő, feladata a jelből eltávolítani az esetlegesen jelenlévő maximális frekvencia feletti komponenseket.

Mintavevő és tartó: Bekapcsolt állapotban a kimeneti feszültség követi a bemeneti jel feszültségét. Kikapcsoláskor tartja a feszültséget addig, míg az A/D átalakító elvégzi az átalakítást. Kapcsolási rajza a 19. ábrán látható.



19. ábra: Mintavevő és tartó [10]

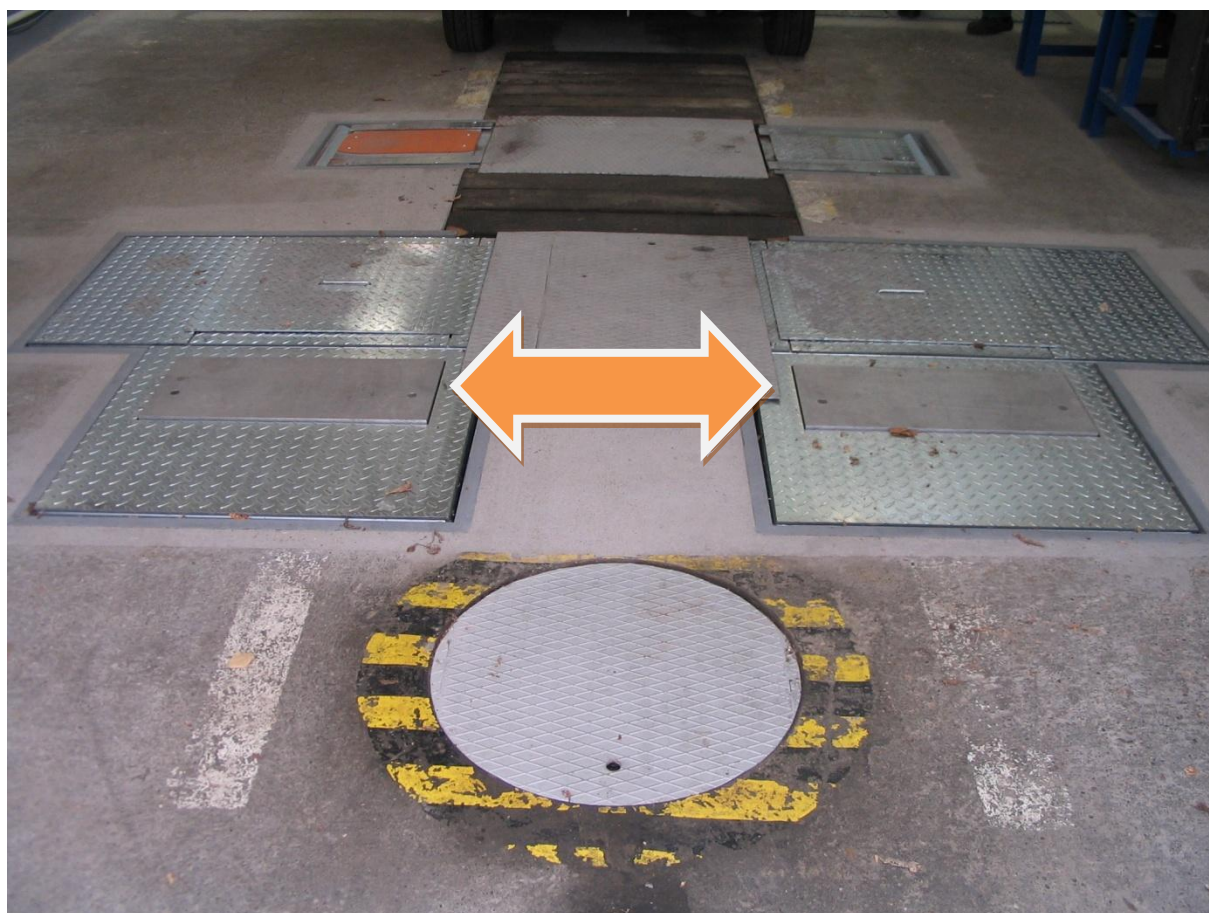
A tároló (tartó) funkciót a „C” kondenzátor látja el. A K kapcsoló zárásakor a kondenzátor U_{be} feszültségre töltődik. A kapcsoló nyitásakor a kondenzátor feszültsége U_{be} , amit minél tovább meg kell őriznie ezért egy feszültség-követő van utána kapcsolva, ami leválasztja a terhelést.

3. Módszer és eszközök

A személygépjármű lengéscsillapítójának vizsgálatát alapvetően két külön mérőkör segítségével hajtottam végre. A szabványos gerjesztést az EUSAMA mérési ciklus szerint működő Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad szolgáltatja. Az egyik mérőkör az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad mérőköre. A másik mérőrendszerben a lengéscsillapítók vizsgálatára 1-1 darab gyorsulás érzékelő van beépítve lengéscsillapítónként. Ebben a mérőkörben a mérés adatok gyűjtése HBM Spider 8 mérőrendszer segítségével történik.

3.1.1. Az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad

Az EUSAMA szabványnak megfelelő lengéscsillapító vizsgáló padok általános felépítését már a szakirodalmi feldolgozásban részletesen szemléltettem. Az alábbiakban az Energotest Kft. saját fejlesztésű lengéscsillapító vizsgáló padjának, gyakorlati felépítését kívánom szemléltetni.



20. ábra: Az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad

A 20. ábrán nyíllal jelölve láthatók a rezgő lapok, melyeknek a feladata a megfelelő gerjesztést átadni a gépjármű futóművének. A lapok alumíniumból készültek, de a pontosság érdekében a mérőrendszer számítógépe a lapok saját lengéseit fázishelyesen kivonja a gépjármű vizsgálatokor kapott függvényből. Így a lapok alatt elhelyezkedő talperő mérő cella által küldött jel megfelelően korrigálható lesz, és a kapott függvény kizárólag a gépjármű futóművére jellemző értékeket mutat.



21. ábra: Energoline kiértékelő állomás

A mért adatok kiértékelése a 21. ábrán látható számítógépes Energoline munkaállomáson történik.



22. ábra: Mérési eredmények megjelenítése

A mérési eredményeket az Energoline munkaállomás a 22. ábrán látható módon jeleníti meg. Baloldalt (pirossal) látható a baloldali lengéscsillapító vizsgálatokor keletkező függvény, ami nem más, mint a talperő-frekvencia függvény burkológörbéje. Jobb oldalon (zöld színnel), a jobb oldalra vonatkozó függvény látható. A narancssárga téglalapokban az adott rezgő lapon –nyugalmi állapotban- mérhető tömeg érték láthatók.

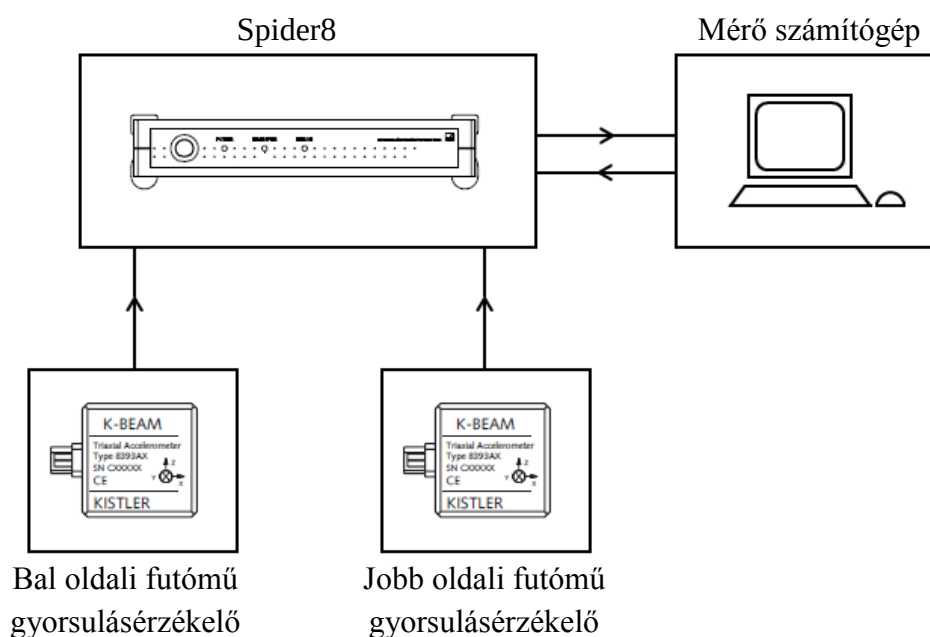
3.1.2. Az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad műszaki adatai [2]

Típusa:	ETL-20
Mechanika:	Maximális tengelyterhelés: 20kN
	Nyomszélesség belül min.: 850 mm
	Nyomszélesség kívül max.: 2170 mm
	Gerjesztési út: 6 mm

	Villamos motorok teljesítménye: 2 x 2.2 kW Méretei: 2 db 850x740x260
	Óránkénti kapcsolások száma: 30
Működtetés:	Mérési elv: EUSAMA
	Mérésiadatgyűjtés: számítógépes
	Erőmérés: 0.05% pontosságú erőmérő cellával
	Vezérlés: kézi vezérlőről
Elektromos paraméterek:	Működtető feszültség: 3 x 400/230 V +N +F
	Energiaigény: 5kW

3.2. Gyorsulásérzékelők mérőrendszere

A 23. ábrán, az általam elvégzett laboratóriumi vizsgálaton használt HBM mérőkör elvi vázlata látható.

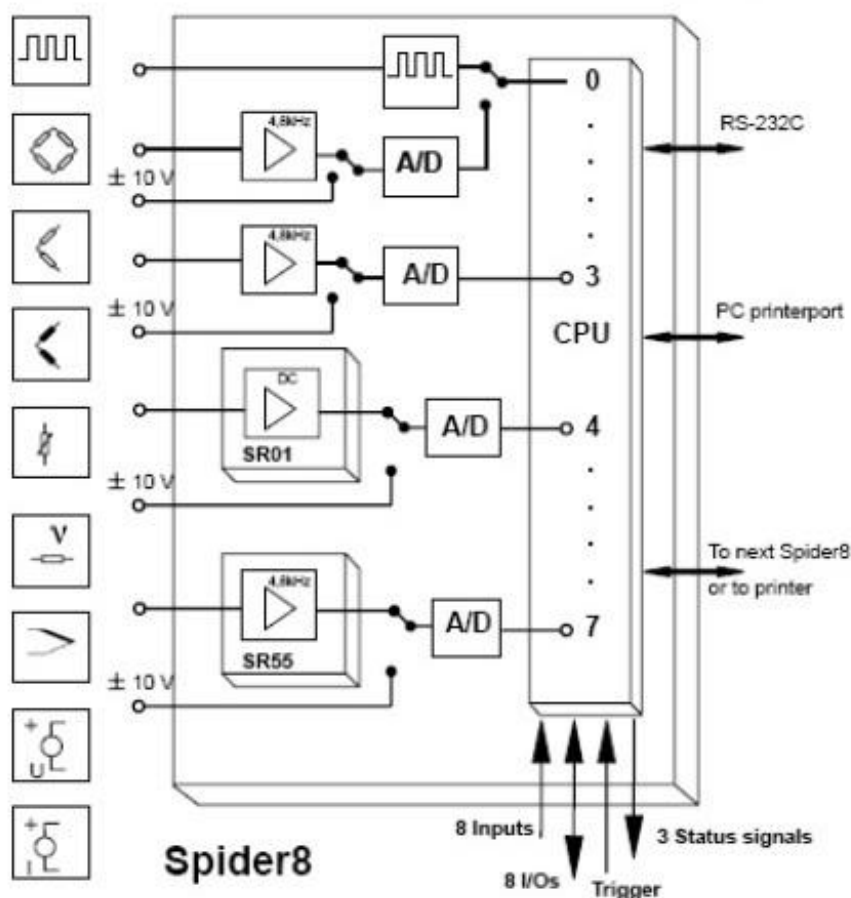


23. ábra: HBM mérőrendszer blokk-vázlata

A 23. ábrán, az általam elvégzett laboratóriumi vizsgálaton használt HBM mérőkör elvi vázlata látható. A Spider 8-as mérőerősítő 2db bemenetét használtam, mivel a Kistler K-Beam gyorsulás érzékelőknek egy-egy mérési irányára van szükségem a vizsgálatok során. A mérő számítógép, ahol a mérési folyamat elindítható, valamint az érzékelők által küldött jel fogadható és rögzíthető folyamatos kapcsolatban van a Spider 8-as mérő rendszerrel.

3.2.1. Spider 8 mérés adatgyűjtő [8]

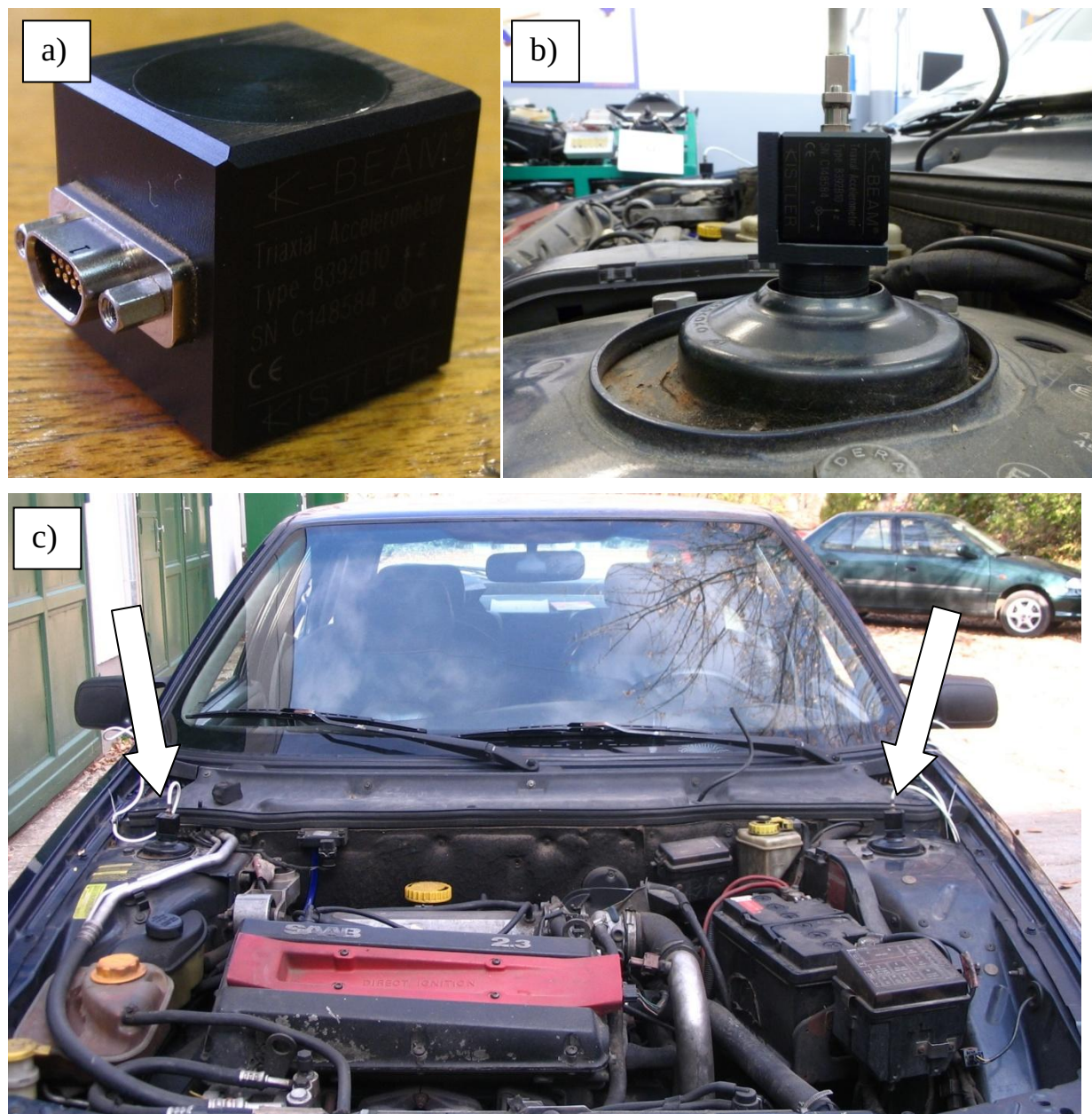
A Spider 8 (24. ábra) egy elektromos mérőrendszer Pc-k számára fejlesztve, olyan jelek mérésére mint: nyúlás, gyorsulás, hőmérséklet, erő, nyomás. A készülék magában foglalja az erősítő, A/D konverter, PC interface, csatlakozó egységeket. A kommunikáció párhuzamos porton keresztül valósul meg a számítógéppel. Négy darab digitális erősítő helyezkedik el benne, egyenként 4,8 kHz vivőfrekvenciával. A készülékben passzív belső bélégek helyezkednek el, ezek félhíd mérésére alkalmassá teszik. Minden egyes csatorna külön A/D konvertert tartalmaz és minden csatorna A/D konvertere szinkronizált. Az első két csatorna impulzusszámlálóként is funkcionál. A mérhető jelek a következők: hőmérséklet, feszültség 10 V-ig, áramjel 200 mA-ig, ellenállás 4000 Ω -ig.



24. ábra: Spider 8 diagrammja [8]

3.2.2. Gyorsulás érzékelők paramétereit is kalibrációjuk a gravitációs térben

Kistler K-Beam 8393B10: Kistler által gyártott gyorsulás érzékelő egy három irányú (ú.n. triaxiális) érzékelő. Az érzékelő tokozásán látható koordináta rendszer (25. ábra) mutatja az érzékelő iránytengelyeit.



25. ábra: a) Kistler K-Beam érzékelő, b) a lengéscsillapító menetes szárára épített műszer, c) gyorsulásérzékelők beépítési helye

A kapacitív működési elvű Kistler érzékelő $\pm 10g$ gyorsulás mérésére alkalmas. Az műszer képes állandó gyorsulás mérésére is.

A Kistler érzékelő statikus kalibrálása: A gyorsulásérzékelők statikus kalibrálása a gravitációs térben a mérőeszköz forgatásával valósítható meg. Amikor a gravitációs gyorsulás irányvektora az érzékelő elhelyezéséből adódóan merőleges a mérés síkjára (jelen esetben a Kistler érzékelő x-tengelyével párhuzamos síkjára), akkor az érzékelő nulla helyzetben van. Ebben az állapotban az érzékelő kimenő jelét az adott irányhoz kapcsolódóan a Spider 8-hoz tartozó Catman szoftverben tárazni kell. Ezután a szoftverben egy táblázat (26. ábra) segítségével rendelhetjük hozzá a gyorsulásértékekhez a megfelelő kimenő jelet, amely ez esetben „Volt” mértékegységű lesz. Az előzőekben tárgyalt pozícióban helyet foglaló érzékelő esetén a 0 m/s^2 gyorsuláshoz a tárazás után már 0 V-os kimenő jel fog tartozni, amennyiben pedig a szenzor mérési síkja a gravitációs vektorral párhuzamos, a $9,81 \text{ m/s}^2$ gyorsulás esetén megjelenő kimenő jel is rögzíthető (a Kistler K-Beam esetén ez 0,1 V.) Ezzel az értékpárral egy lineáris függvénykapcsolat definiálása révén a szenzor a továbbiakban rezgésmérésre alkalmazható a beállított mérési irányban. A leírt művelet könnyen kivitelezhető, ugyanis a Kistler K-Beam kialakításából adódóan a részletezett beállítások megvalósításához a szenzoron alkalmas síkfelületek állnak rendelkezésre.

Természetesen az asztal, ahol a beállításokat végezzük, minden esetben merőleges kell, hogy legyen a gravitációs gyorsulás vektorára. Bár a Kistler érzékelő triaxiális, elég volt egy mérési irányát bekalibrálni, ugyanis a tényleges mérés is egyetlen irányban történik.

v		m/s ²
1	-0,0992	-9,81
2	0,0004	0
3		
4		

26. ábra: Lineáris függvénykapcsolat megadása a mért feszültségértékek és a gyorsulás között 0 és $9,81 \text{ m/s}^2$ -es állapotban.

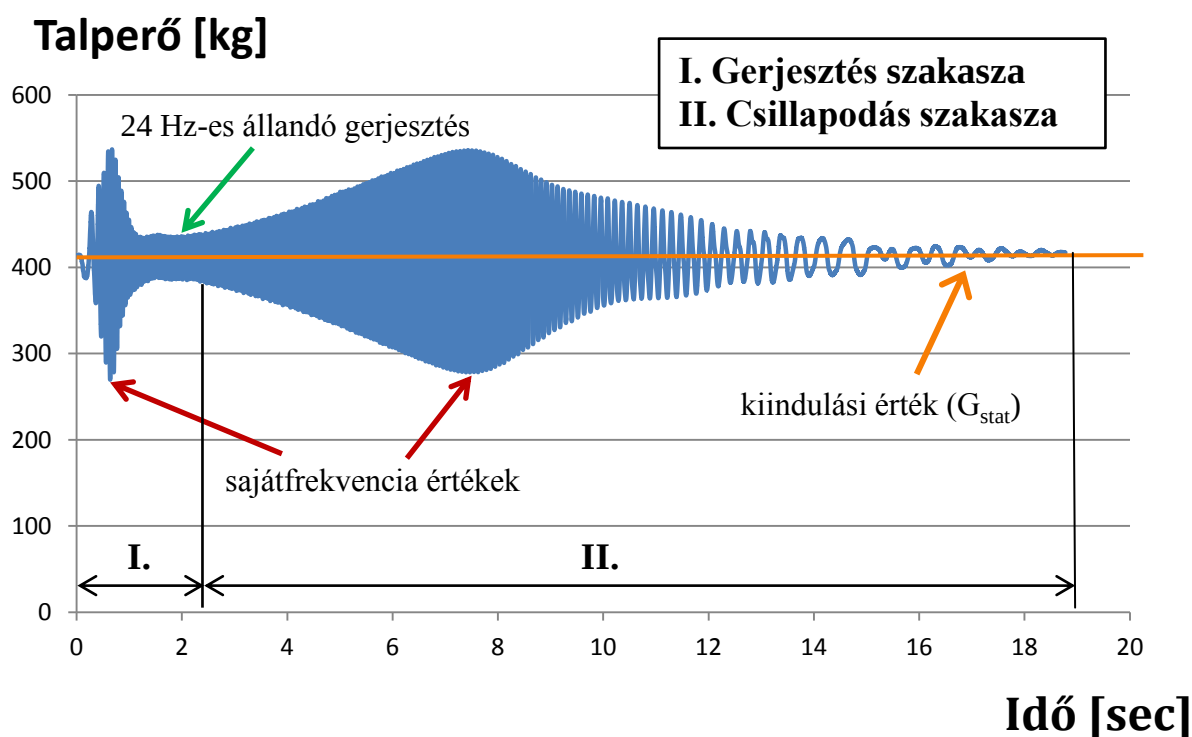
4. Lengéscsillapító vizsgálatok

A lengéscsillapító vizsgálatok során, az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad mérő rendszere szolgáltatott számomra egy talperő-idő függvényt illetve egy -a mérő pad saját függvényével- korrigált talperő-idő függvényt, ami már a gerjesztési szakasz adatait nem tartalmazta. A Spider mérőrendszer által szolgáltatott függvény egy gyorsulás-idő függvény. A két függvény összehasonlítható egymással, hiszen ugyanazon szabványos gerjesztés hatására jöttek létre, amit az Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad nyújtott.

4.1. Mérési adatok értelmezése

4.1.1. Energotest mérő rendszer függvényei

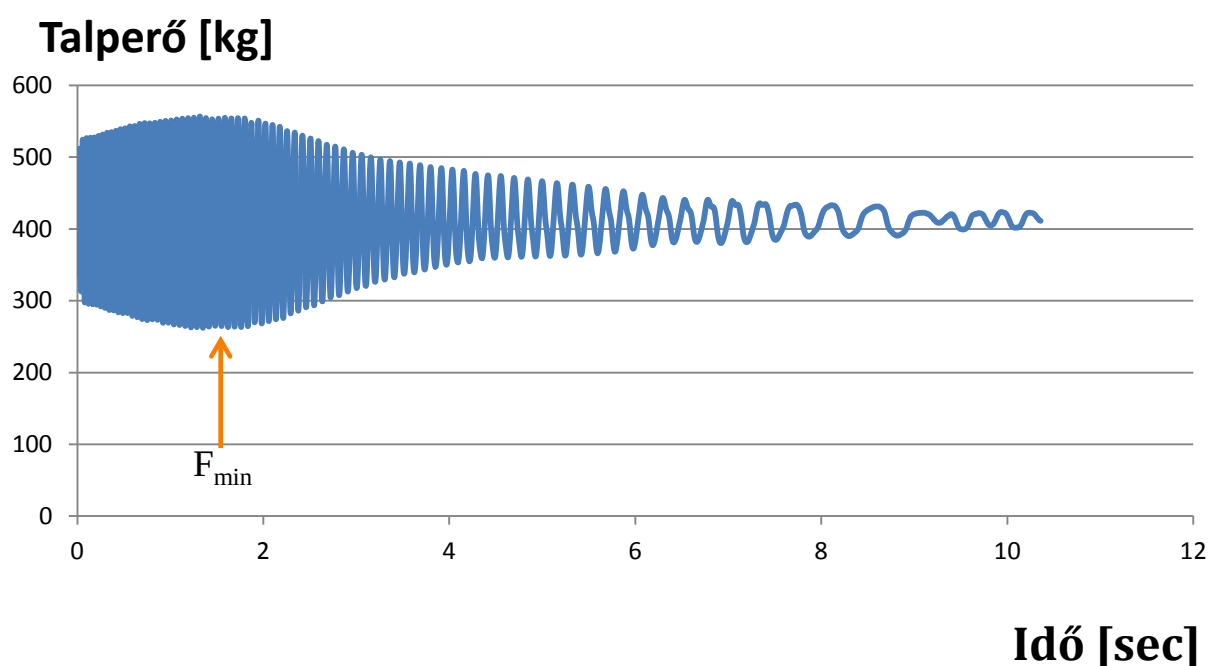
A 27. ábrán az Energotest mérőrendszeréből származó nyers (pad lengéseivel nem korrigált), talperő-idő függvény látható, 2,4 baros gumiabroncs nyomás mellett.



27. ábra: Energotest nyers talperő-idő függvény 2,4 bar abroncsnyomásnál

A narancssárga nyíllal jelölt érték a talperő tengelyen (ahonnan a függvény kiindul) az a tömeg érték, amely a pad nyugalmi állapotában az éppen mért kerékre esik. A piros nyilak jelölik azt a két pontot ahol a lengés frekvenciája eléri a gépjármű saját frekvenciájának értékét. Ez két alkalommal fordul elő a vizsgálat során.

Az egyik alkalommal akkor, amikor a gerjesztő motor felpörgése közben áthaladunk a gépjármű saját frekvenciáján, a másik alkalommal pedig akkor, amikor a csillapodási szakaszban áthaladunk a gépjármű saját frekvenciáján. Amikor a csillapodási szakaszban áthaladunk a saját frekvencián a függvénynek lokális minimum értéke lesz, mely a talperő-viszony számításához használandó fel. A zöld nyíl azt az állandó amplitúdójú szakaszt jelöli, ahol a gerjesztés elérte az EUSAMA szabvány szerinti 24 Hz-es értéket, ennek a szakasznak (I. szakasz) a végén a gerjesztés lekapcsolódik és elkezdődik a lengések csillapodási szakasza (II. szakasz).

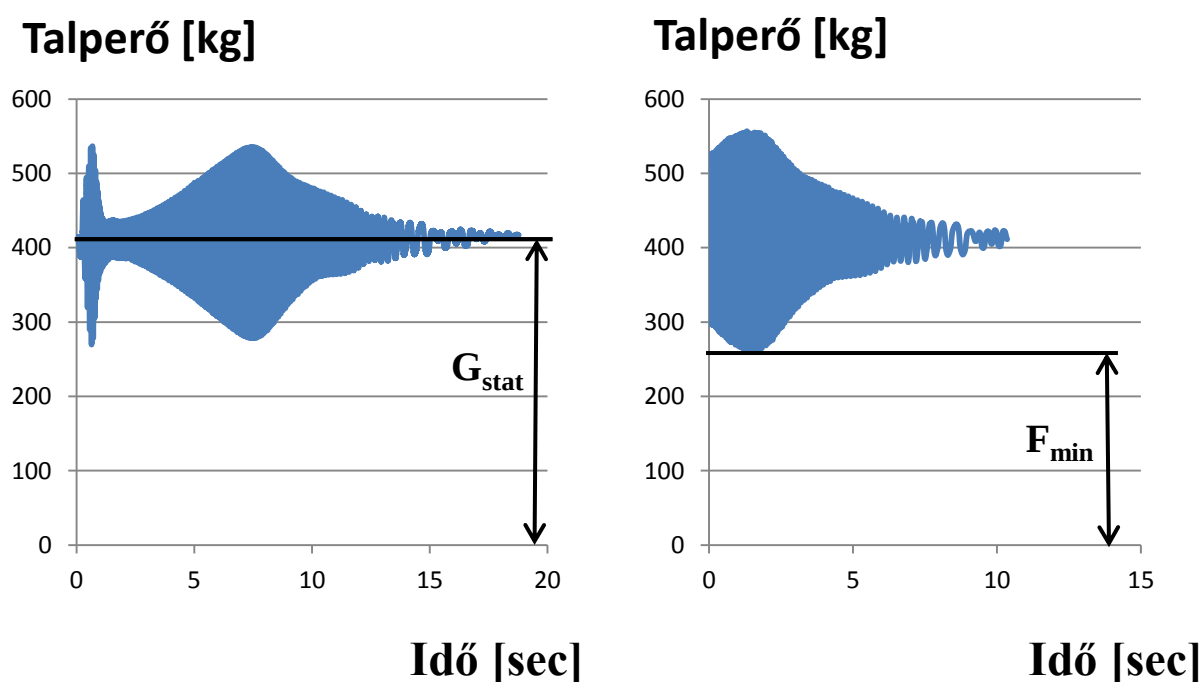


28. ábra: Energotest korrigált talperő-idő függvény; 2,4 bar abroncsnyomásnál

A 28. ábrán az Energotest mérőrendszeréből származó, már a pad saját lengéseivel korrigált talperő-idő függvény látható. Erről a függvényről a 27. ábrán még látható I. szakasz (gerjesztés szakasza) már lemaradt, ugyanis a gerjesztés szakaszából egyetlen számértékre van csak szükségünk. Ez az érték a kiindulási érték, amely az adott kerékre eső tömeg értékét adja meg számunkra. A kiindulási érték egy valós számérték, hisz itt még a gerjesztő motor éppen nem indult be. A gerjesztés többi szakaszának korrigált értékeire nincs szükségünk. A fontos az, hogy a talperő-idő függvény mutassa a 27. ábrán jelölt II. szakasznak (csillapodás szakasza) a korrigált értékeit úgy, hogy a minimum hely jól kivehető, leolvasható legyen. Ez a 28. ábrán látható módon történik meg. A függvény minimum értékét a narancssárga nyíl jelöli.

4.1.2 Az talperő viszony (A%) meghatározása Energotest függvényekből

A szakirodalmi feldolgozásban részletesen tárgyaltam, hogy milyen módon számítható a talperő-viszony százalékos értéke. Most a gyakorlati alkalmazásra térek ki, az Energotest mérőrendszer által nyújtott függvények analizálásával. Az eredmény ellenőrizhető, ugyanis a mérőrendszer gyári szoftvere is kiértékelte az adott függvényt, ezt éppen az általam illusztrációként is használt 22. ábra mutatja. A példában szereplő mérés a gépkocsi névleges gumiabroncs nyomása (2,4 bar) mellett lett elvégezve.



29. ábra: Bal oldalon korrigálatlan, jobb oldalon korrigált talperő-idő függvény

A 29. ábrán látható, Energotest mérőrendszeréből származó baloldali korrigálatlan talperő-idő függvény kiindulási értéke, amely még nyugalmi helyzetben mért legyen: G_{stat} . A jobb oldalt látható, már a pad saját lengéseivel korrigált talperő-idő függvény minimum értéke legyen: F_{min} .

A második fejezetben használt 2.6 összefüggés:

$$A\% = 100 \cdot \frac{F_{min}}{G_{stat}}$$

A G_{stat} értéke a nyers talperő-idő függvény adatsorából leolvasva: **413,962 kg**. Az F_{min} értéke a korrigált talperő-idő függvény adatsorából leolvasva: **262,39 kg**. Ezen értékeket behelyettesítve a talperő-viszony (A%) értékét számító összefüggésbe a következőt kapjuk:

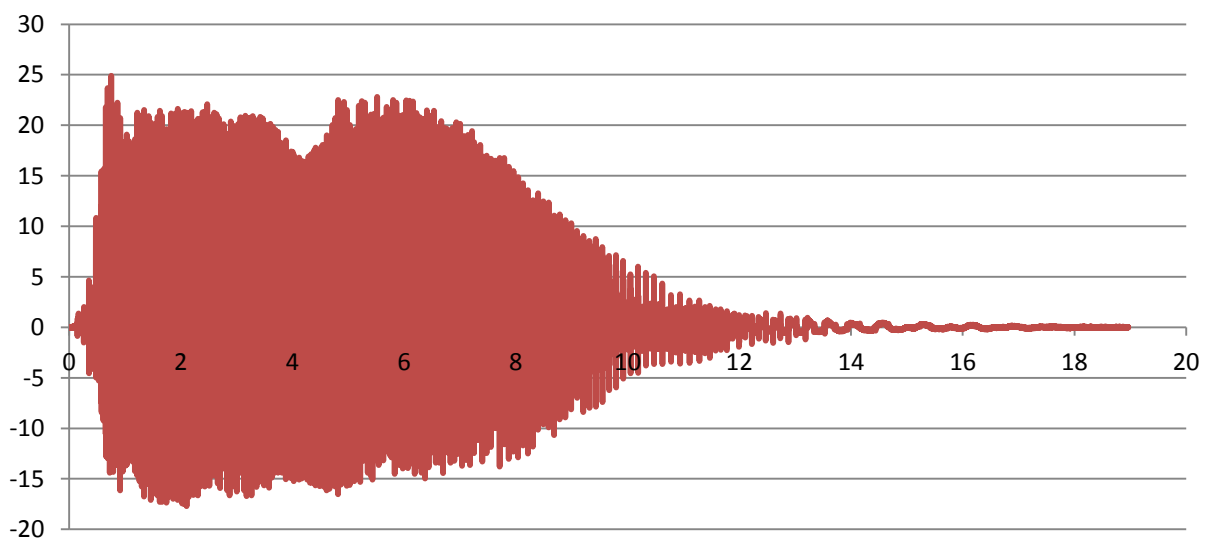
$$A\% = 100 \cdot \frac{262,39}{413,962} = 63,38505 \%$$

A függvények analízisa során a 22. ábrán látható jobb oldalt vizsgáltam. A fényképen jól látható, hogy az Energotest mérőrendszerének kiértékelő szoftvere **63%-os** minősítést adott az adott lengéscsillapítóra. Az általam a 2.6-es képletből kapott A% érték a kerekítési szabályok használata után ugyan azt az eredményt adja.

4.1.3 A HBM mérőrendszer függvényei

A HBM mérőrendszer gyorsulás-idő függvényének képe, eltérő az Energotest mérőrendszer által regisztrált talperő-idő függvény képétől. Itt a függőleges tengelyen, egy más fizikai mennyiség szerepel. A gyorsulás érzékelő is egy lényegesen eltérő helyen mér, mégpedig a gépjármű futómű tornyaiban található lengéscsillapító menetes végén. Mivel itt a gépjármű egyes alkatrészei, a futómű elemei is rezgésbe jönnek, sok zaj keletkezik a függvényen (30. ábra).

Gyorsulás [m/s²]



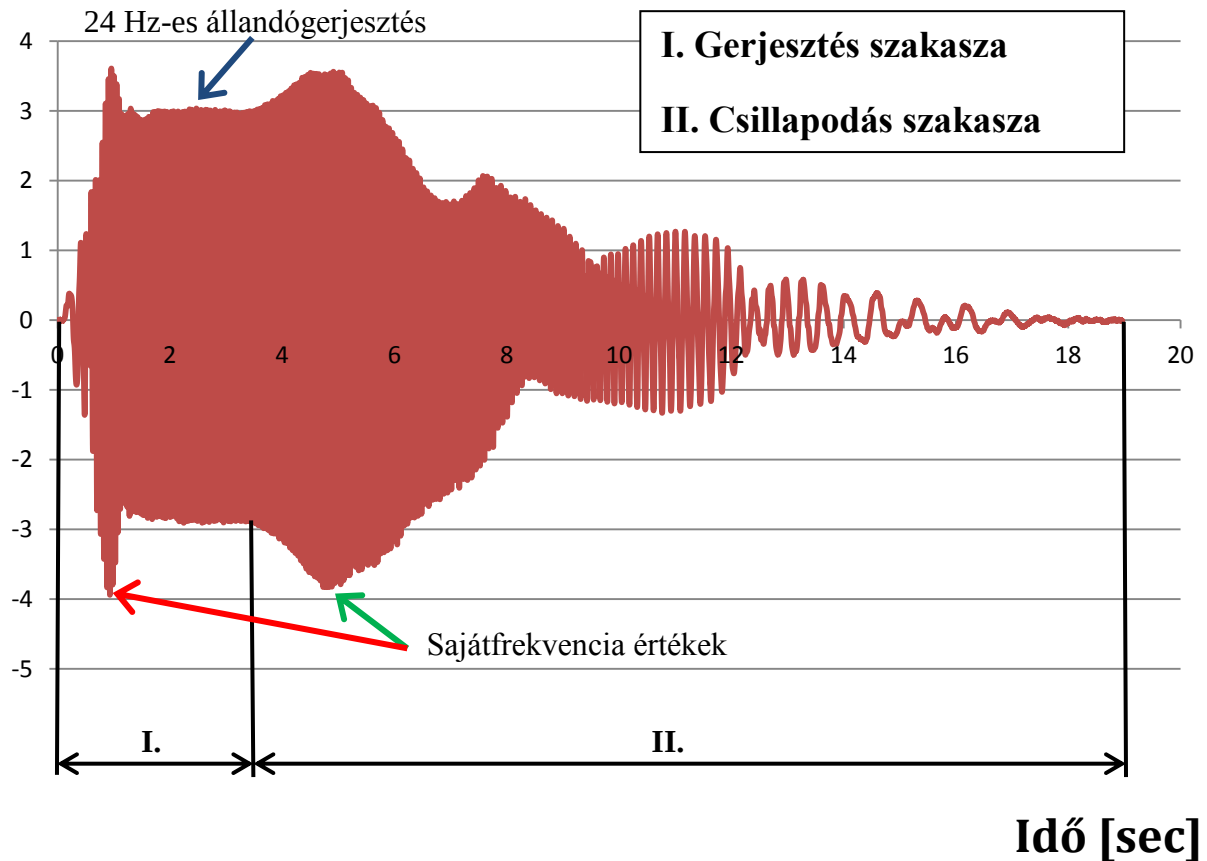
Idő [sec]

30. ábra: HBM mérőrendszerből származó nyers, zajos gyorsulás-idő függvény; 2,4 bar gumiabroncs nyomás mellett

A függvény zajossága szükségessé teszi a szűrést. Ez a Spider 8-as mérőrendszerhez tartozó Catman programban oldható meg, amelyben Butterworth elven működő alul áteresztő szűrőt választottam.

Mivel a gerjesztés 24 Hz-en megy végbe, ezért szűrési határfrekvenciának is ezt az értéket választottam. A szűrőt ötöd rendűnek választottam. A szűrt gyorsulás-idő függvény a 31. ábrán látható.

Gyorsulás [m/s^2]



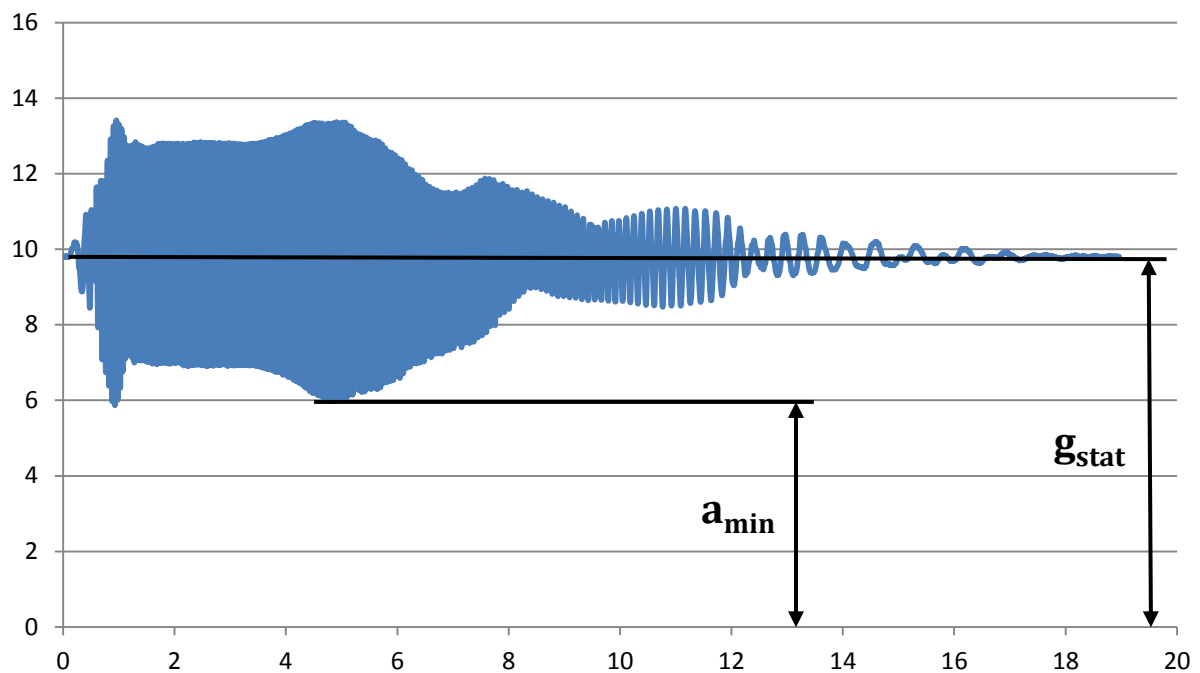
31. ábra: gyorsulás-idő függvény; 2,4 bar gumiabroncsnyomás mellett 24 Hz-es Butterworth szűrés után

A 31. ábrán látható szűrt gyorsulás-idő függvényen a piros nyíl jelöli, mikor a gerjesztés szakaszában felfelé áthaladunk a gépjármű saját frekvencia értékén. A kék nyíl által jelölt szakasz, a gerjesztés 24 Hz-re beállt állandó szakasz. A zöld nyíl jelöli azt a pillanatot, mikor a csillapodás szakaszában lefelé áthaladunk a gépjármű saját frekvencia értékén. A 31. ábrán jelölt I. szakasz a gerjesztés szakasza. A II. szakasz pedig a csillapodás szakasza.

4.1.4. Az A% meghatározása HBM mérőrendszer függvényeiből

A 32. ábrán látható a gyorsulás-idő függvény szűrt változata, amit a gravitációs gyorsulás értékével ($9,81\text{m/s}^2$) eltoltam. Ennek az oka az, hogy a gyorsulás érzékelőket a gravitációs gyorsulás értékére nulláztam a kalibrálási eljárás során.

Gyorsulás [m/s²]



Idő [sec]

32. ábra: Gyorsulás-idő függvény szűrt változata, a gravitációs gyorsulás értékével eltolva

Amikor a gépjármű gerjesztése még nem indult el, a gépjármű nyugalomban van. Nyugalmi állapotban csak a gravitációs gyorsulás hat a gépjárműre. Ez egy statikus érték, és nem függ a gépjármű egyéb jellemzőitől. Ha azt vizsgáljuk, hogy a gravitációs gyorsulás értékét nem kell mérnünk, még célszerűbb is lehet a gyorsulás változások alapján megállapítani az A% értékét.

A gyorsulás-idő függvényre vonatkozóan, az A% megállapítására vonatkozó képlet a következő:

$$A\% = 100 \cdot \frac{a_{\min}}{g_{\text{stat}}} \quad (4.1)$$

Az $a_{\min}$ értéke a szűrt, eltoló gyorsulás idő függvényből: **5,983 m/s²**. A g_{stat} értéke a szűrt, eltoló gyorsulás-idő függvényből: **9,81 m/s²**. Ezeket behelyettesítve a következőt kapjuk:

$$A\% = 100 \cdot \frac{5,983}{9,81} = \mathbf{60,98878\%}$$

A szűrt, eltolt gyorsulás-idő függvényből kapott A% értéke: **60,98878 %**. A szabványos Energotest mérőrendszerből származó talperő-idő függvények segítségével (2.6 képlet) megállapított pontos A% értéke: **63,38505%**. A kettő közötti eltérés a hiba mértéke, ami: **2,39627%**. Az Energotest erőmérő cellájával és a gyorsulás érzékelőkkel meghatározható százalékos minősítés az ismételések során 5 %-on belül van. A gyorsulásérzékelő csak a gépjármű rugózott tömeg egységén helyezkedett el a futómű tornyában a lengéscsillapító menetes szárának végén. Figyelembe véve az egyéb kapcsolódó kisebb és nagyobb alkatrészek, rezgéseit², és ezek zajkeltő hatását elmondható, hogy a gyorsulás érzékelővel végzett lengéscsillapító diagnosztika megvalósítható.

4.2. Mérési eredmények kiértékelése

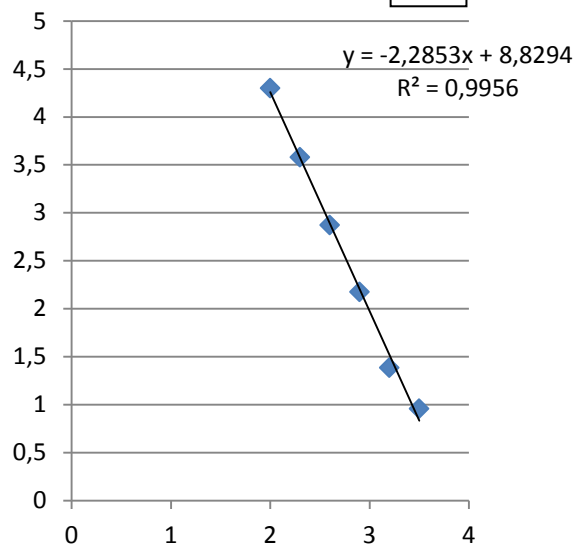
Kutatásom során a célom az volt, hogy a gyorsulás érzékelők segítségével reprodukálni tudjam az Energotest mérőrendszere által meghatározott eredményeket. Ehhez több különböző mérési eredményre volt szükség. Mivel a mért gépjármű lengéscsillapítójának csillapítása nem állítható, ezért más módon kellett a változó csillapítást előállítani. A legkézenfekvőbb megoldást –a szakirodalmi feldolgozásban is tárgyalt (2.4.2 fejezet)-gumiabroncs és a benne található közeg csillapításának megváltoztatása nyújtotta. A méréseket 2,0 bar és 3,5 bar gumiabroncsnyomás közt végeztem 0,3 bar-os lépcsőkkel. A mérést minden mérési pontban négyszer ismételttem.

A menetirány szerinti bal oldalon egy szálszakadt gumiabroncs található, így lehetőség nyílik megvizsgálni ennek a mérésekre kifejtett hatásait.

Az egyes guminyomások során tapasztalható eltérés átlag értékeit a 33. ábra szemlélteti a jobb és bal oldalon.

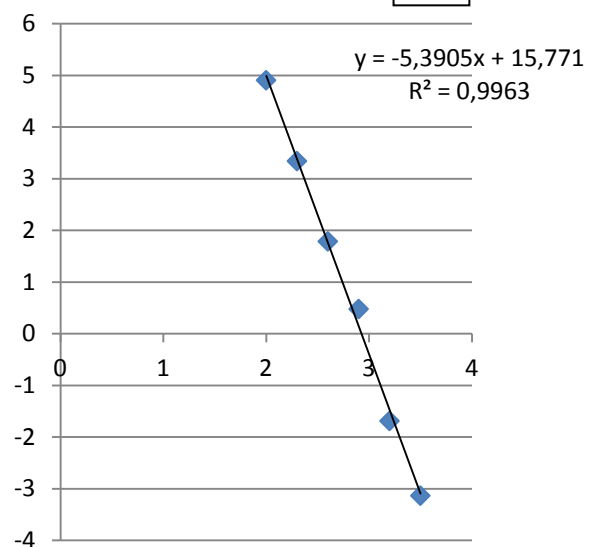
² Amikor a gyorsulás-idő függvény az alkatrészek saját frekvencia értékein halad át a gerjesztés vagy a csillapodás szakaszában.

Hiba [%]



Nyomás [bar]

Hiba [%]



Nyomás [bar]

33. ábra: A Energotest cella és gyorsulás érzékelők által mért adatok alapján meghatározott értékek eltérése a jobb (a) és bal (b) oldalon

A kapott mérési eredményekből megállapítható következtetések:

- A kapott hibafüggvények lineáris lefolyásúak.
- Kisebb guminyomáson nagyobb a két mérőkör által regisztrált adatok közti eltérés
- A két mérőkör érzékelőinek mérési helye eltérő. A talperő mérés a rugózott és rugózatlan tömeg lengéseinek ingadozását vizsgálja a gépjármű kereke alatt elhelyezett rázó lapon. A gyorsulásérzékelők a futómű toronyban a rugózott tömeg egységén vannak telepítve.
- A különböző guminyomásokon a hiba mértéke láthatóan változik. A gyorsulásérzékelő által szolgáltatott mérési eredményekre tehát nagy hatással van a rugózatlan tömeg elemeinek (gumiabroncs, gumiabroncsban lévő levegő) csillapítása. (Erre utal az is, hogy a 33/b ábrán látható –bal oldali- mérésnél nagyobb a hibasáv, ugyanis a baloldali gumiabroncs szálszakadt volt, -amely az Energoline számítógép százalékos kiértékelésében is látható eltérést hozott létre a jobb oldalhoz képest azonos guminyomáson- és ez a műszaki hiba megváltoztatta csillapítását.)

5. Összefoglalás

A laboratóriumi mérések során azt a problémakört vizsgáltam, hogy lehetséges-e a rugózott tömeg egységére beépített gyorsulásérzékelő használatával reprodukálni az Energotest laboratóriumi lengéscsillapító vizsgáló berendezés mérési eredményeit. A gyorsulásérzékelőket tartalmazó mérőrendszer a laboratóriumi mérőberendezésektől függetlenül üzemeltethető, tehát egy jövőbeni fedélzeti diagnosztikai rendszer alapját képezheti. A két mérőkör összevethetőségének érdekében a mérőrendszerek azonos gerjesztésnek lettek kitéve. A gerjesztést az EUSAMA szabvány alapján üzemelő Energotest lengéscsillapító vizsgáló pad szolgáltatta. A végrehajtott mérések alapján kijelenthető, hogy az adott hibaszázalékok figyelembe vételével (melyek gépkocsi típusonként és a beépített alkatrészekről függően eltérőek lehetnek) a szabványos minősítő vizsgálatok megismétlésére a beépített kísérleti mérőrendszer alkalmas. A rugózatlan tömeg egységében található alkatrészek gépjármű típusonként eltérő hatást gyakorolhatnak a vizsgált lengőrendszerre, mely eltérések felderítése érdekében a dolgozatban ismertetett módon összehasonlító vizsgálatok végezhetők egy adott gépkocsi gyártmány beépített felügyeleti rendszerének tervezésekor.

5.1. Javaslatok a beépített mérőrendszer jövőbeni fejlesztésével kapcsolatban

Egy adott gépjármű típushoz alkalmazott rezgésmérésen alapuló mérőrendszer megfelelő beállítása érdekében a közúton végzett teszteket a szabványos laboratóriumi vizsgálatokkal kell összevetni. Ezen vizsgálatok során számos felderítésre váró paraméter figyelembevételéről kell gondoskodni:

- a laboratóriumban beállított különböző gumibroncs nyomások alkalmazása
- a minősítéshez megfelelő haladási sebesség megválasztása
- különböző minőségű útburkolatok figyelembevétele
- ideális jelkondicionálási (szűrési, kiértékelési) paraméterek meghatározása
- gépjármű terhelésének, gumibroncs nyomás érzékelésének fedélzeti megjelenítése

5.2. Köszönetnyilvánítás

Munkám elkészítéséhez az Energotest Kft. munkatársai jelentős szakmai segítséget nyújtottak. Ezúton szeretném megköszönni Zentai Tamás igazgató úrnak a szakirodalmi háttér felderítésében nyújtott támogatását, valamint a mérések lebonyolításával kapcsolatos

értékes javaslatait. Köszönet illeti Lázár Gábort a mérési adatok rögzíthetőségének érdekében tett technikai segítségnyújtásáért.

Kitűzött feladatom elkészítéséhez a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának oktatói és dolgozói nyújtottak segítő kezet. Külön köszönet illeti a FOMI labor munkatársait, Sánta Györgyöt és Török Tamást. A gyorsulásérzékelők beépítését biztosító tartók legyártásában Szabó Lajos és Hegedűs József tanár úr működött közre. Munkájukat köszönöm.

Az adatok kiértékelésében témavezetőm Farkas Csaba, és Bércesi Gábor PhD hallgató támogatott. Segítségüket köszönöm.

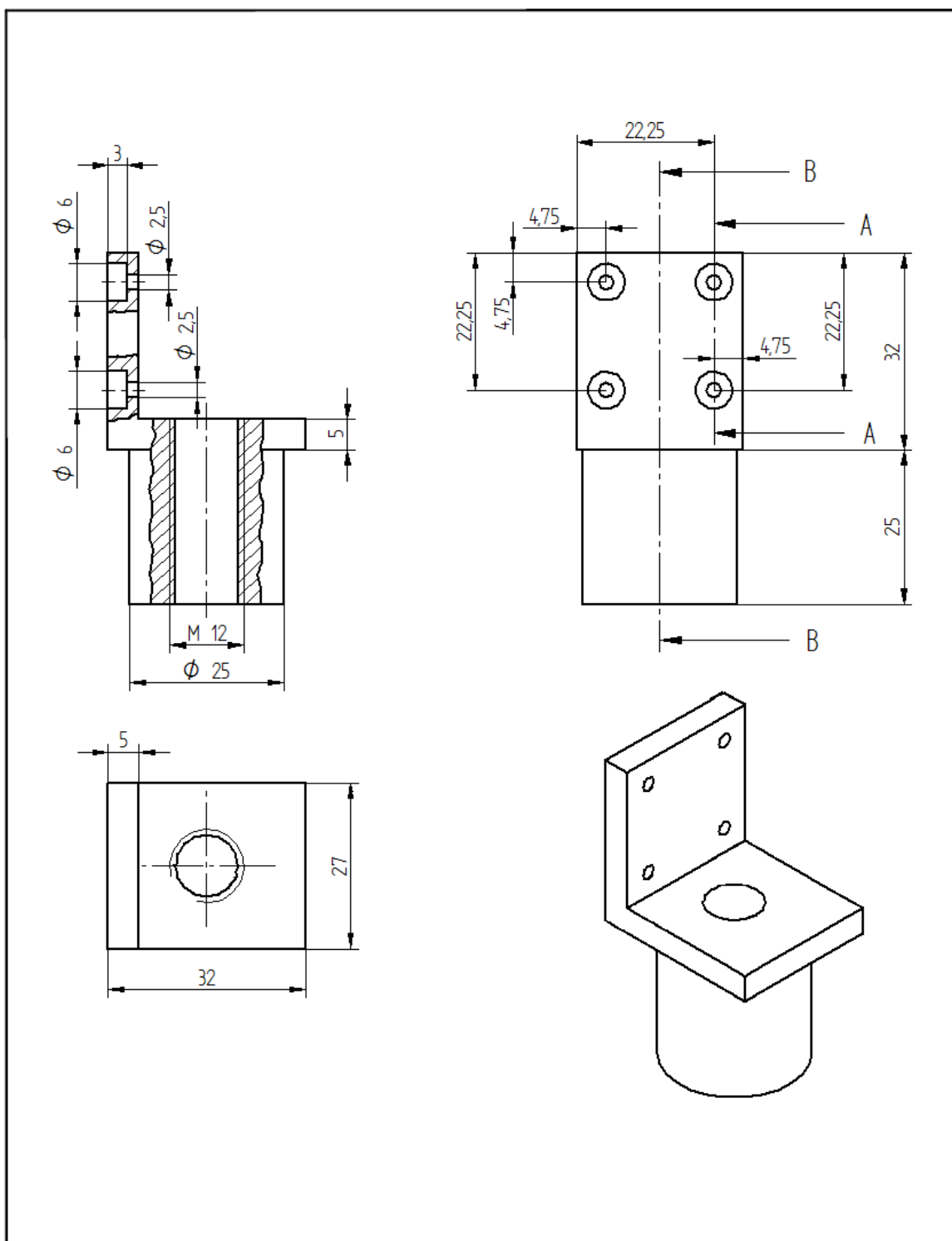
Irodalomjegyzék

- [1] – Dr. Boros Andor: Villamos mérések a gépészetben, Budapest, Műszaki könyvkiadó, 1978
- [2] - Energotest Kft.: Energotest ETL-20 Felhasználói gépkönyv, 2013
- [3] - HBM: B12 Acceleration transducer mounting instructions, Darmstadt, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, évszám nélkül
- [4] - Jacob Fraden: Handbook of Modern Sensors, New York, Usa, Springer, 2010
- [5] – Dr. Laib Lajos: Terepen mozgó járművek, Budapest, Szaktudás kiadó ház, 2002
- [6] – Dr. Lakatos István: Lengéscsillapító diagnosztika, online oktatási segédlet, Forrás: <http://rs1.sze.hu/~lakatos/Leng%E9scsillap%EDt%F3%20diagnosztika.pdf> , Letöltve: 2013.09.18.
- [7] – Dr. Lakatos István: Lengéscsillapító diagnosztika, online tankönyv (szerkesztve 2011), Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0007_06-Jarmudiagnosztika/1_lecke_lengscsillapt_diagnosztika.html , Letöltve: 2013.09.25.
- [8] – Dr. Lévai Zoltán: Szerkezetan oktatási segédlet, Forrás: <http://www.lezo.hu/szerkezetan/futomuvek/felfuggesztes/lengescsillapitas/lengescsillapitas.html> , Letöltve: 2013.09.27.
- [9] - Norbert Hesselmann: Digitális jelfeldolgozás, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1985
- [10] - Rencz Márta, Ress S.: Analóg-digitális átalakítás, online oktatási segédlet, Forrás: <http://www.eet.bme.hu/~ress/viee2219/17.ea.adda.pdf> , Letöltve: 2013.09.24.
- [11] - Schiffer Ádám: Mérés nyúlásmérő bélyegekkel, adatgyűjtés Spider 8 – CATMAN rendszerrel, online előadás anyag, Forrás: http://e-oktat.pmmf.hu/webgui/www/uploads/images/1165/Mrs_nylsmr_blyegekkel_adatgyjts_Spider_8_.pdf , Letöltve: 2013.09.30.
- [12] - Váradiné Dr. Szarka Angéla: Számítógépes mérés technika, Forrás: http://www.unimiskolc.hu/~elkszl/Oktatasi_anyag/szamitogepes_meresek_dia_mi_nyomtathato.pdf , Letöltve: 2013.09.28.
- [13] - 5/1990. (IV. 12.) számú KöHÉM rendelet

Mellékletek

Szenzor rögzítésére szolgáló polimer tartó gyártási dokumentációja

Műhelyrajz



Mérési adatok összehasonlító táblázatai

keréknyomás/oldal	Energotest valós %	Kistler minimum érték (24HZ LP FILT) [m/s ²]
2,0 bar; bal 1.	67,8339	-3,554
2,0 bar; bal 2.	67,89269	-3,588
2,0 bar; bal 3.	67,87878	-3,584
2,0 bar; bal 4.	67,70345	-3,586
2,0 bar; jobb 1.	67,23998	-3,635
2,0 bar; jobb 2.	67,39775	-3,69
2,0 bar; jobb 3.	67,18269	-3,683
2,0 bar; jobb 4.	68,23525	-3,664
2,3 bar; bal 1.	65,3846	-3,751
2,3 bar; bal 2.	65,22491	-3,772
2,3 bar; bal 3.	65,25318	-3,736
2,3 bar; bal 4.	65,22491	-3,773
2,3 bar; jobb 1.	64,87285	-3,768
2,3 bar; jobb 2.	64,91609	-3,744
2,3 bar; jobb 3.	64,82763	-3,773
2,3 bar; jobb 4.	64,82763	-3,814
2,6 bar; bal 1.	62,11662	-4,04
2,6 bar; bal 2.	61,73801	-4,053
2,6 bar; bal 3.	61,61843	-4,052
2,6 bar; bal 4.	61,60179	-3,984
2,6 bar; jobb 1.	60,55126	-4,028
2,6 bar; jobb 2.	60,55017	-4,019
2,6 bar; jobb 3.	60,43908	-4,05
2,6 bar; jobb 4.	60,48208	-4,101
2,9 bar; bal 1.	58,26128	-4,308
2,9 bar; bal 2.	57,81058	-4,337
2,9 bar; bal 3.	57,59415	-4,398
2,9 bar; bal 4.	57,87875	-4,336
2,9 bar; jobb 1.	56,30654	-4,3
2,9 bar; jobb 2.	56,41694	-4,343
2,9 bar; jobb 3.	56,3309	-4,342
2,9 bar; jobb 4.	56,22579	-4,342
3,2 bar; bal 1.	53,13171	-4,756
3,2 bar; bal 2.	53,02761	-4,739
3,2 bar; bal 3.	52,7682	-4,761
3,2 bar; bal 4.	52,7682	-4,76
3,2 bar; jobb 1.	52,54315	-4,517
3,2 bar; jobb 2.	52,02574	-4,498
3,2 bar; jobb 3.	51,91895	-4,545
3,2 bar; jobb 4.	52,32763	-4,532
3,5 bar; bal 1.	49,50195	-5,005
3,5 bar; bal 2.	49,24196	-5,097
3,5 bar; bal 3.	49,22073	-5,091
3,5 bar; bal 4.	49,02559	-5,098
3,5 bar; jobb 1.	46,70408	-4,864
3,5 bar; jobb 2.	46,727	-4,921

3,5 bar, jobb 3.	46,7498	-4,944
3,5 bar, jobb 4.	46,87647	-4,93
keréknyomás/oldal	Energotest valós %	Kistler minimum érték (24HZ LP FILT) [m/s ²]
2,0 bar; bal 1.	67,8339	-3,554
2,0 bar; bal 2.	67,89269	-3,588
2,0 bar; bal 3.	67,87878	-3,584
2,0 bar; bal 4.	67,70345	-3,586
2,0 bar; jobb 1.	67,23998	-3,635
2,0 bar; jobb 2.	67,39775	-3,69
2,0 bar; jobb 3.	67,18269	-3,683
2,0 bar; jobb 4.	68,23525	-3,664
2,3 bar; bal 1.	65,3846	-3,751
2,3 bar; bal 2.	65,22491	-3,772
2,3 bar; bal 3.	65,25318	-3,736
2,3 bar; bal 4.	65,22491	-3,773
2,3 bar; jobb 1.	64,87285	-3,768
2,3 bar; jobb 2.	64,91609	-3,744
2,3 bar; jobb 3.	64,82763	-3,773
2,3 bar; jobb 4.	64,82763	-3,814
2,6 bar; bal 1.	62,11662	-4,04
2,6 bar; bal 2.	61,73801	-4,053
2,6 bar; bal 3.	61,61843	-4,052
2,6 bar; bal 4.	61,60179	-3,984
2,6 bar; jobb 1.	60,55126	-4,028
2,6 bar; jobb 2.	60,55017	-4,019
2,6 bar; jobb 3.	60,43908	-4,05
2,6 bar; jobb 4.	60,48208	-4,101
2,9 bar; bal 1.	58,26128	-4,308
2,9 bar; bal 2.	57,81058	-4,337
2,9 bar; bal 3.	57,59415	-4,398
2,9 bar; bal 4.	57,87875	-4,336
2,9 bar; jobb 1.	56,30654	-4,3
2,9 bar; jobb 2.	56,41694	-4,343
2,9 bar; jobb 3.	56,3309	-4,342
2,9 bar; jobb 4.	56,22579	-4,342
3,2 bar; bal 1.	53,13171	-4,756
3,2 bar; bal 2.	53,02761	-4,739
3,2 bar; bal 3.	52,7682	-4,761
3,2 bar; bal 4.	52,7682	-4,76
3,2 bar; jobb 1.	52,54315	-4,517
3,2 bar; jobb 2.	52,02574	-4,498
3,2 bar; jobb 3.	51,91895	-4,545
3,2 bar; jobb 4.	52,32763	-4,532
3,5 bar; bal 1.	49,50195	-5,005
3,5 bar; bal 2.	49,24196	-5,097
3,5 bar; bal 3.	49,22073	-5,091
3,5 bar; bal 4.	49,02559	-5,098
3,5 bar; jobb 1.	46,70408	-4,864
3,5 bar; jobb 2.	46,727	-4,921

3,5 bar, jobb 3.	46,7498	-4,944
3,5 bar, jobb 4.	46,87647	-4,93
keréknyomás/oldal	Energotest valós %	
2,0 bar; bal 1.	67,8339	
2,0 bar; bal 2.	67,89269	
2,0 bar; bal 3.	67,87878	
2,0 bar; bal 4.	67,70345	
2,0 bar; jobb 1.	67,23998	
2,0 bar; jobb 2.	67,39775	
2,0 bar; jobb 3.	67,18269	
2,0 bar; jobb 4.	68,23525	
2,3 bar; bal 1.	65,3846	
2,3 bar; bal 2.	65,22491	
2,3 bar; bal 3.	65,25318	
2,3 bar; bal 4.	65,22491	
2,3 bar; jobb 1.	64,87285	
2,3 bar; jobb 2.	64,91609	
2,3 bar; jobb 3.	64,82763	
2,3 bar; jobb 4.	64,82763	
2,6 bar; bal 1.	62,11662	
2,6 bar; bal 2.	61,73801	
2,6 bar; bal 3.	61,61843	
2,6 bar; bal 4.	61,60179	
2,6 bar; jobb 1.	60,55126	
2,6 bar; jobb 2.	60,55017	
2,6 bar; jobb 3.	60,43908	
2,6 bar; jobb 4.	60,48208	
2,9 bar; bal 1.	58,26128	
2,9 bar; bal 2.	57,81058	
2,9 bar; bal 3.	57,59415	
2,9 bar; bal 4.	57,87875	
2,9 bar; jobb 1.	56,30654	
2,9 bar; jobb 2.	56,41694	
2,9 bar; jobb 3.	56,3309	
2,9 bar; jobb 4.	56,22579	
3,2 bar; bal 1.	53,13171	
3,2 bar; bal 2.	53,02761	
3,2 bar; bal 3.	52,7682	
3,2 bar; bal 4.	52,7682	
3,2 bar; jobb 1.	52,54315	
3,2 bar; jobb 2.	52,02574	
3,2 bar; jobb 3.	51,91895	
3,2 bar; jobb 4.	52,32763	
3,5 bar; bal 1.	49,50195	
3,5 bar; bal 2.	49,24196	
3,5 bar; bal 3.	49,22073	
3,5 bar; bal 4.	49,02559	
3,5 bar; jobb 1.	46,70408	
3,5 bar; jobb 2.	46,727	

3,5 bar, jobb 3.	46,7498
3,5 bar, jobb 4.	46,87647

Nyomás	Átlag bal	Átlag jobb
2	4,300191748	4,904335441
2,3	3,579749134	3,339643272
2,6	2,872178351	1,78495433
2,9	2,175180826	0,476515487
3,2	1,384684332	-1,690118229
3,5	0,957547306	-3,136274121
Átlag	2,54492195	0,946509363