



Rugalmas zaj- és rezgéscsillapító gumilemezek laboratóriumi vizsgálata

TDK konferencia

2012.

Közlekedésépítőmérnöki szekció

Konzulens:

Dr. Kazinczy László
egyetemi docens

Készítette:

Bánkuti Máté
V. éves építőmérnök hallgató

Budapest, 2012.október 27.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	3
2. Zajkibocsátás.....	4
3. Elméleti alapok.....	6
4. Termékadatok.....	9
5. Laboratóriumi mérések.....	9
5.1. A gumilemezek vízfelvételének meghatározása.....	9
5.2. A gumilemezek rugalmassági jellemzőinek meghatározása	12
5.2.1. A mérések elméleti alapjai	12
5.2.2. A mérések végrehajtásának körülményei	13
6. Összefoglalás - következtetések	28
7. Mellékeletek	32
8. Irodalomjegyzék.....	57

1. BEVEZETÉS

Az európai nagyvárosok fő céljai közé tartozik a tisztább levegő, kevesebb zaj elérése, valamint a gyors és kényelmes közösségi közlekedés biztosítása. A zajterhelés nemcsak pszichés, egészségügyi értelemben is káros az emberi szervezetre, nagyban rontja a város élhetőségét. Ma már minden környezeti hatásvizsgálat szoros részét képezi a zajvédelmi tervezés.

A hazai gyártású DV-SILENT típusú rugalmas rezgéscsillapító lemezek a vasúti pályaszerkezetek zúzottkőágyazata, illetve beton pályalemeze alá helyezve tömegrugó rendszerként viselkednek, így a járműforgalom által keltett test- és léghangokat, valamint a fellépő mechanikai igénybevételeket gazdaságos módon, hatékonyan csökkentik. A lemezek egyedi gyártási technológiával, újrahasznosított alapanyagokból, valamint környezetbarát adalékokból készülnek. Az újrahasznosítás mértéke eléri a 80-90 %-ot, mivel az őrlemény – melyet a gyártás során használnak – elkopott, megsemmisítésre szánt gépjármű gumiabroncsból készül. A rugalmas rezgéscsillapító lemezek az elvégzett laboratóriumi mérések-, és az elméleti igénybevételi számítások szerint valamennyi vasúti ágazat esetében eredményesen alkalmazhatók, így a külföldről importált gumilemez helyét átveheti az olcsóbb, itthon előállított termék.

A vizsgálatok során a „C” ágyazási tényező értékének a meghatározása volt a fő célom, ennek folyamatát, valamint eredményeit tartalmazza a dolgozatom, kiegészítve az Építőipari Műszaki Engedély kiadásához szükséges egyéb mérésekkel. Tömegrugó rendszerek tervezésénél az előzetes számításhoz szükséges az ágyazási tényező, mind zúzottkő-ágyazatú, keresztaljas-, mind betonlemezes pályaszerkezet esetében. A laboratóriumi vizsgálatokhoz a gyártó cég kétféle termékét bocsátotta rendelkezésemre, a kisebb testsűrűségű „A”, valamint a nagyobb testsűrűségű „B” típust, 6 és 12 mm vastagságban. A vizsgálatok során 25x25 cm-es mintadarabokkal dolgoztam, melyeket a beszállított táblákból kellett kivágni. A mérésekhez az egyetemi laboratórium hitelesített eszközeit használtam, melyek megbízható, pontos eredményt szolgáltatnak a további számításokhoz. A végeredményként kapott statikus és dinamikus ágyazási tényezők, valamint a csillapítási mutatók nagymértékben hasonlítanak a külföldi gyártású zaj- és rezgéscsillapító gumilemezek adataira. Ezek alapján a hazai termék versenyképes lehet a külföldi társaival szemben, műszaki jellemzőik nagymértékben megegyeznek, beszerzési árakat összehasonlítva viszont az itthon előállított termék a kedvezőbb.

2. ZAJKIBOCSÁTÁS

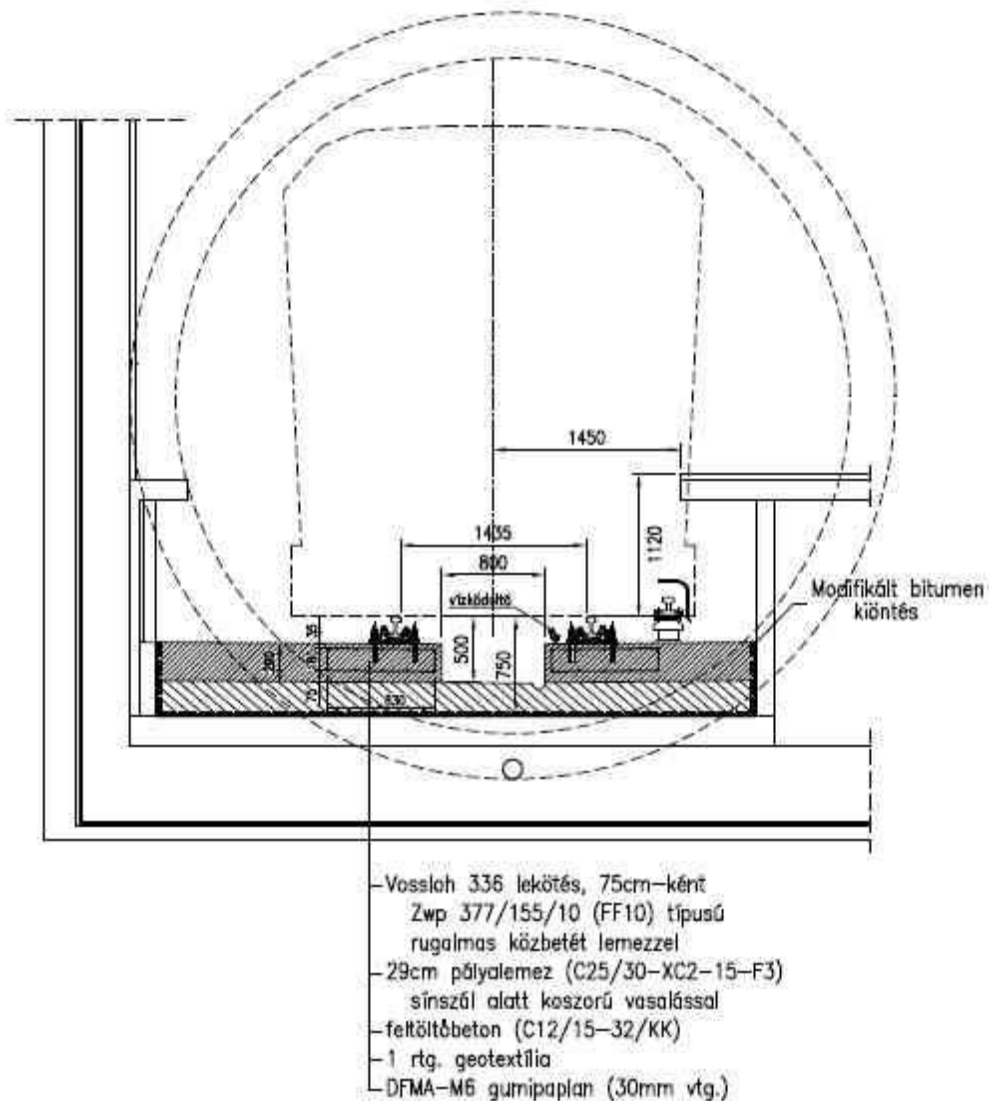
A közlekedési eszközökkel szemben napjainkban az elvárások egyre inkább fokozódnak. Legyen kényelmes, olcsó, gyors, pontos, csendes és környezetbarát. A globalizáció, a városiasodás és a piaci elvárások kiélezik a közút és a vasút közötti harcot, melyben a vasút jelenlegi rendszerével, szervezetével nehezen tud fennmaradni megújulás nélkül.

Az Európai Unió hangsúlyozza a vasút fontosságát és szerepének növelését, továbbá az egyre kimerülő úthálózat, a megnövekedett területfoglalás és a fokozott környezetszennyezés is sürgető megoldást kíván. Mégsem sikerült még elérnünk egy fejlett nyugat-európai ország színvonalára, részben a magyar vasút technikai fejlettsége, járműparkja, villamosítottóságának hiánya, részben pedig a finanszírozási kérdések miatt. Ahhoz, hogy a vasút ténylegesen reneszánszát élje, olyan körülményeket kell teremteni, hogy ne csak versenyképes legyen a közúti közlekedéssel szemben, hanem a mindennapok során le is győzze azt.

Ezen körülményeknek egyik eleme a zaj, a zajkibocsátás, mely a motorizáció fejlődésével a nagyvárosokban egyre csak nőtt, és eljutottunk ahhoz a szinthez, mikor már be kell avatkoznunk az élhetőbb környezet kialakítása érdekében. *Ma a városi zajterhelés 70-80%-a a közlekedésből származik, az ENSZ adatai szerint a civilizációs zajterhelés évtizedenként 1 dB-lel növekszik.* [1]

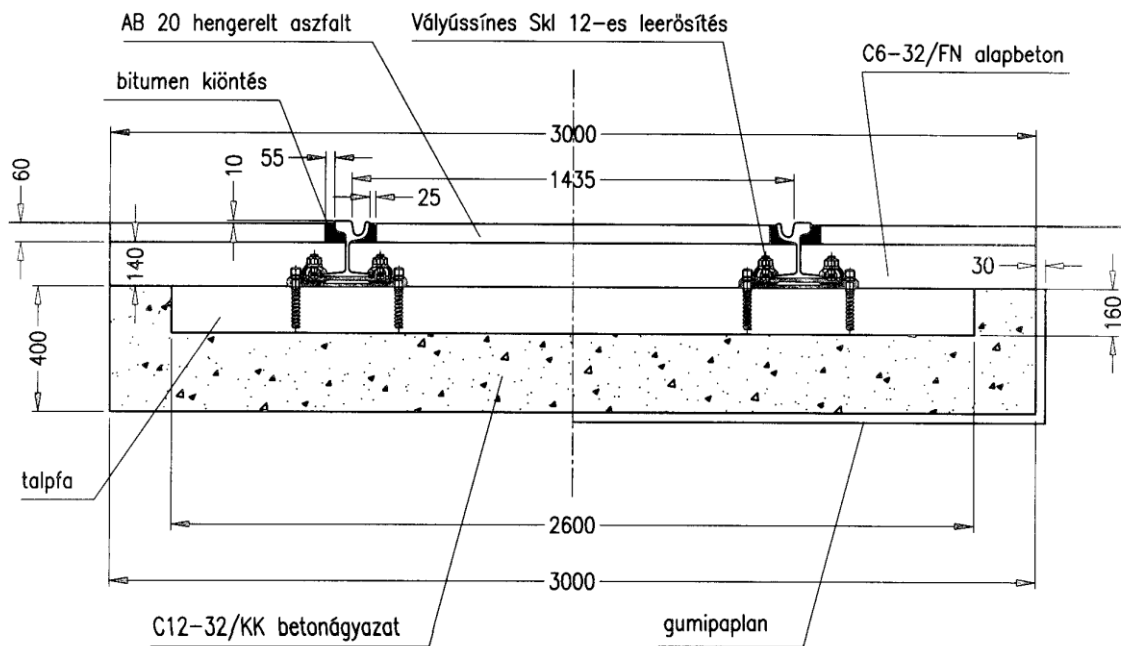
A pálya és a járművek esetében egyaránt megnőtt az igény az új megoldások alkalmazására, így sorra jelentek meg például a rugalmas leerősítések, az egyre környezetkímélőbb mozdonyok, a városi- és gyorsvasutak rugalmas pályaszerkezetei. A merev pályaszerkezetek esetében megjelent a rugalmas alátámasztás lehetősége, melyet tömeg-rugó rendszerű pályaszerkezetnek nevezünk.

A betonlemezes pálya gumipaplanokkal történő ágyazása hazai vasutaknál is megjelent az elmúlt években, például a debreceni 2-es villamos, illetve a budapesti 4-es metró esetében a fokozott zaj-, és rezgésérzékenységgű szakaszokon az elvárt rezgésesillapítás alapján különböző méretekkel és rugalmassági jellemzőkkel alakították ki.



1. ábra: A budapesti 4-es metró fokozott zaj-, és rezgésérzékenységgű szakaszainak mintakeresztmetszvénye állomások közötti pályaszakaszokon

A vasúti kitérők zajkeltés szempontjából nagyobb problémát jelentenek a folyópályához képest, így a kitérők betonlemezei alá a BKV ZRt. építési és fenntartási előírásaiban („Közúti vasúti pályaépítési és fenntartási műszaki adatok és előírások”) is megjelentette a gumipaplan elhelyezését.

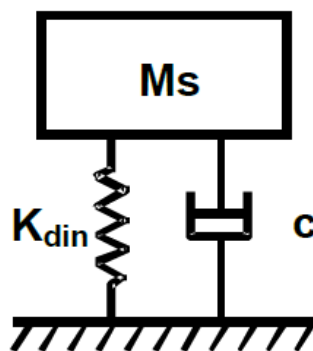


2. ábra: Betonlemezés közötti vasúti kitérők pályaszerkezeti kialakításának keresztmetszévénye a BKV ZRt. előírása alapján

3. ELMÉLETI ALAPOK

Egy szabadságfokú elmélet [5]

A vágány egy szabadságfokú rendszerként kezelhető, amelyben az úsztatott tömeget egy K merevségű és C csillapítású rugalmas anyag köti a felépítmény többi részéhez.



3. ábra: Az egy szabadságfokú rendszer mechanikai modellje

A szigetelt rendszernek a rezonanciafrekvenciája a következő általános képlettel határozható meg:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{din}}{M_s}}, \quad (1.)$$

ahol K_{din} a rugalmas elem dinamikai merevsége, és M_s a rugózott tömeg (M_t rugózott vágánytömeg + az M_r gördülőállomány tömeg 10%-a).

$$\Delta L_v = -20 \log\left(\frac{F_{\hat{a}tvitt}}{F}\right) = -20 \log\left[\frac{1}{\left(\frac{f_{gerjeszt\ddot{o}}}{f_r}\right)^2 - 1}\right] \quad (2.)$$

Ahol ΔL_v a szigetelési érték [dB].

Tehát a rezonanciafrekvenciának jóval alacsonyabbnak kell lennie, mint a gerjesztési frekvenciáinak.

Statikus teher alatti függőleges sínlehajlás általában maximum 2-3 mm lehet. Hooke-törvény alapján számítható az értéke:

$$x = \frac{F}{K} = \frac{M_r \cdot g}{K_{stat}} \quad (3.)$$

Ahol: x: sínlehajlás

F: terhelő erő

M_r : gördülő állomány tömege

Mivel $f_{gerjeszt\ddot{o}} \gg f_r$, ezért a következőképp alakul az egyenlet:

$$\Delta L_v \cong 20 \log\left[\left(\frac{f_{gerjeszt\ddot{o}}}{f_r}\right)^2\right] = 40 \log\left(\frac{f_{gerjeszt\ddot{o}}}{f_r}\right) \quad (4.)$$

Az (1.) egyenletet felhasználva:

$$\Delta L_v \cong 40 \log\left(\frac{f_{gerjeszt\ddot{o}}}{\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{din}}{M_s}}}\right), \quad (5.)$$

ahol $M_s = M_t + 0,1 \cdot M_r$.

A $\kappa = \frac{K_{din}}{K_{stat}}$ helyettesítést felhasználva:

$$\Delta L_v \cong 40 \log(2 \cdot \pi \cdot f_{gerjeszt\ddot{o}}) + 20 \log\left(\frac{M_s}{K_{din}}\right)$$

$$\Delta L_v \cong 40 \log(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{gerjesztő}}) + 20 \log\left(\frac{M_t + 0,1 \cdot M_r}{\kappa \cdot K_{\text{stat}}}\right)$$

$$\Delta L_v \cong 40 \log(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{gerjesztő}}) + 20 \log\left(\frac{M_t + 0,1 \cdot M_r}{\kappa \cdot 9,81 \cdot M_r}\right)$$

Mivel a gördülőállomány tömege (M_r) és a megengedett sínlehajlás általában adott értékek, így a szigetelési tulajdonság két változó megválasztásával javítható, ami a rugózott vágánytömeg és a $\kappa = \frac{K_{\text{din}}}{K_{\text{stat}}}$ arány.

Műszaki szempontból tehát két megoldás lehetséges:

- növelni kell a rugózott tömeget a rugalmas anyag minél mélyebbre fektetésével, ezzel nagyobb tömeget bevonva.
- olyan anyagot választani, aminél a lehető legkisebb a κ arány.

Ezek alapján helyes megállapítás, hogy önmagában nem elegendő a sínleerősítés rugalmassá tétele, javítható a zajcsökkentő hatás megfelelő gumipaplan beépítésével a betonlemez, vagy zúzottkőágyazat alá.

A vasúti vágány ágyazási tényezőjének kísérleti úton történő meghatározásának módjai [2]:

- „y” [mm] besüllyedés ismeretében:

$$C = \frac{Z}{4 \cdot s \cdot y} \cdot \sqrt[3]{\frac{Z}{E \cdot I \cdot y}}$$

ahol: Z: kerékterher [kN]
s: helyettesítő hosszgerenda szélessége [mm]
E: sín rugalmassági modulusa [N/mm²]
I: sín tehetetlenségi nyomatéka [mm⁴]

- „σ” [N/mm²] sántalp közepén mért feszültség ismeretében:

$$C = \frac{4 \cdot E \cdot I}{s} \cdot \left[\frac{Z}{4 \cdot \sigma \cdot K_t} \right]^4$$

ahol: K_t : sín keresztmetszeti modulusa a sántalpra vonatkozólag [mm³]

- A besüllyedési hullám hosszának ismeretében:

$$C = 1973 \cdot \frac{E \cdot I}{s \cdot A^4}$$

ahol: A: a besüllyedési hullám mért értéke [mm]

4. TERMÉKADATOK

A DV-SILENT hang-, és rezgésszigetelő terméket egyedi gyártási technológiával, újrahasznosított alapanyagokból (mértéke eléri a 80-90 %-ot), valamint környezetbarát adalékokból állítja elő a KARIATIDA Stúdió Kft.

A Gumi-Chem Kft. által kifejlesztett egyedi gyártási technológiával, újrahasznosított alapanyagokból, valamint környezetbarát adalékokból készülnek. Az újrahasznosítás mértéke eléri a 80-90 %-ot, mivel az őrlemény – melyet a gyártás során használnak – elkopott, megsemmisítésre szánt gépjármű gumiabroncsból és egyéb műszaki gumitermékek gyártása során keletkezett vulkanizált selejtanyagokból készül. Egyéb adalékanyagként használnak még gumiipari felhasználásra újrahasznosított olajat, vagy a kőolaj-feldolgozás melléktermékeit. A lemezek 100 cm széles, feltekercselt hengerekben kerültek a laboratóriumba 6, illetve 12 mm vastagságban, fekete színűek.

5. LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

5.1. A GUMILEMEZEK VÍZFELVÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Első vizsgálatként a gumilemez vízfelvevő-képességét határoztam meg, mely a későbbi beépítés fagyveszélyesség szempontjából fontos adat. Ha a termék pólusai közé túl sok víz szivárog be, a téli időszakban ez kárt okozhat a fölötte lévő betonlemez-rétegben. Dinamikai szempontból szintén veszélyes a túlzott vízfelvétel, hiszen a pórusok közé szorult jéggé fagyott víztől felkeményedik a gumilemez, sokkal merevebb lesz, nem tudja biztosítani az elvárt rugalmassági értékeket.

Természetesen a beszivárgás csak a helytelen beépítés következtében történhet meg, hiszen egy felszíni bitumenes kiöntőréteg elhelyezésével megelőzhető a probléma.

A vizsgálat során a kivágott darabok tömegét szárazon mértem meg, majd 60 perc időtartamra a teljes mintát víz alá helyeztem, jól ellepve azt. A nedves minták tömegét ezután szintén megmértem, az így kapott tömegkülönbségekből kiszámítható a felvett víz mennyisége.

	6 mm	12 mm
DV-SILENT A	9,00 %	6,67 %
DV-SILENT B	9,00 %	5,24 %

1. táblázat: Vízfelvétel tehermentes állapotban



1. kép: A gumilemezek tömegének meghatározására szolgáló digitális mérleg

A második mérés során szintén a vízfelvevő-képességet határoztam meg, viszont nem áztatással, hanem statikus terhelés hatása alatt. Ehhez a laboratóriumban található eszközökkel a folyópályában történő terhelést szimulálva vizsgáltam, hogy a terhelési ciklusok során milyen mértékben növekedik meg a beszivárgott víz mennyisége a pólusok közé. Az előzőhöz képest várható volt, hogy több víz kerül a mintába, hiszen a 10 ciklusból álló terhelés során nem csak a felületi pólusok telnek meg vízzel, hanem az összenyomódás során kiszorított levegő helyére is folyadék kerül. Ennek eredményeképp a következő értékeket kaptam végeredményül:

	6 mm	12 mm
DV-SILENT A	14,00 %	14,20 %
DV-SILENT B	10,20 %	9,50 %

2. táblázat: Vízfelvétel statikusan terhelt állapotban



2. kép: Terhelés alatti vízfelvétel



3. kép: Terhelés közben a pórusok közül kiszorult levegő buborékok formájában jelennek meg a vízen

5.2. A GUMILEMEZEK RUGALMASSÁGI JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA

5.2.1. A MÉRÉSEK ELMÉLETI ALAPJAI

A gumilemez függőleges irányú rugalmasságát (merevségét) dinamikai szempontból a „D” [kN/mm] rugóállandóval jellemezhetünk, melyből kiszámítható a „C” [kN/mm³] ágyazási tényező:

$$C = \frac{D}{A} \text{ [kN/mm}^3\text{]} \quad (6.)$$

Ahol A : a terhelt felület nagysága [mm²].

A „D” rugóállandó nem egy fajlagos érték, hiszen az csak az adott mintadarabot jellemzi, a megadott méretű lemez 1 mm-es összenyomódásához mekkora erő szükséges. Ezzel szemben a „C” ágyazási tényező a gumilemez fajlagos rugalmassági mutatója, hiszen a rugóállandót osztva a terhelt felülettel egy fajlagos értéket kapunk. Ezzel már jól jellemezhetjük a lemezeket dinamikai rugalmasság szempontjából.

A beszállított termékből 250 x 250 mm-es mintákat vágtam ki, így ebből adódóan a terhelt felület minden vizsgálatnál $A = 250 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm} = 62500 \text{ mm}^2$.

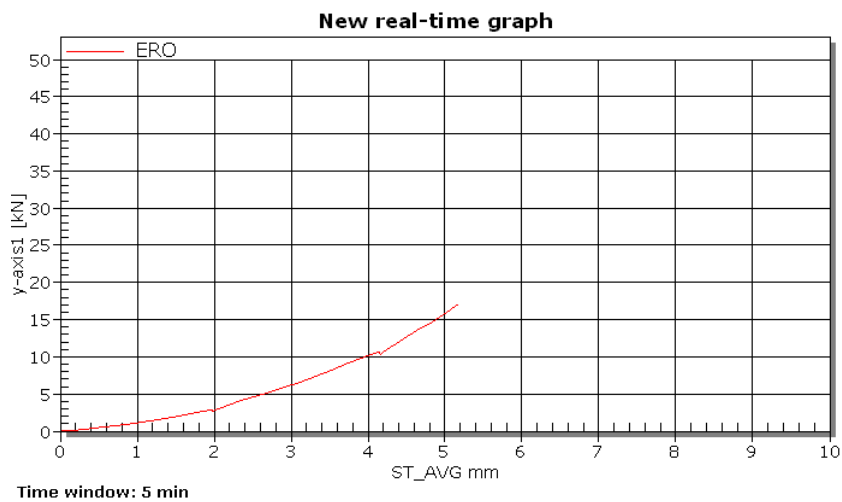


4. kép: 250x250 mm-es kivágott mintadarabok

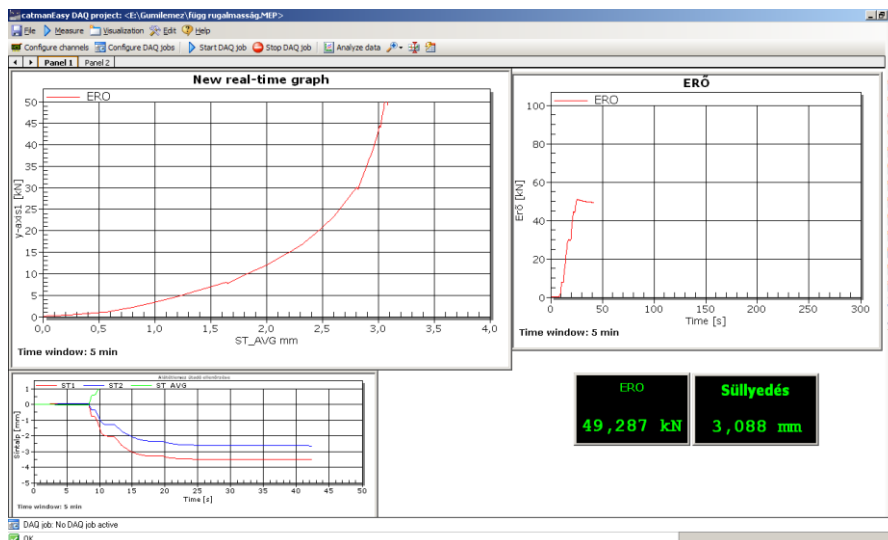
5.2.2. A MÉRÉSEK VÉGREHAJTÁSÁNAK KÖRÜLMÉNYEI

STATIKUS TERHELÉS

A „D_{stat}” rugóállandó meghatározásához a gumilemezeket függőleges terhelésnek tettem ki, mely során acéllemezek közé helyeztem a mintadarabokat és hidraulikus sajtó segítségével 50 kN nagyságú erővel terheltem. Az ebből keletkező összenyomódást 2 db induktív útdóval mértem, ezek rendkívül pontos eredményt szolgáltatnak, melyeket számítógépen azonnal megjelenítenek, illetve tárolnak.



4. ábra: „catmanEasy” program mérés közben, erő – elmozdulás diagram



5. ábra: „catmanEasy” program mérés közben, teljes képernyő

A vizsgálat kiterjedt az „A” és „B” típusokra egyaránt, valamint mindkét termékből 6 féle mérést hajtottam végre. A vastagságok a következők voltak:

- 6 mm
- 12 mm
- 6 + 6 = 12 mm
- 6 + 12 = 18 mm
- 12 + 12 = 24 mm
- 12 + 12 + 6 = 30 mm

Minden vastagság esetén 4 terhelést végeztem, ezeknek rögzítettem az eredményeit. Az első összenyomódás adataival nem számoltam, hiszen az egy kezdeti összenyomódás, nem biztosítana megbízható számadatot, így a következő 3 ciklus információi alapján dolgoztam. Összesen tehát $2 \times 6 \times 4 = 48$ mérést végeztem, melyből $2 \times 6 \times 3 = 36$ értéket kaptam.

A „catmanEasy” nevű programot használva a következő adatokat kaptam:

	A	B	C	D	E	F
1	HBM_CATMAN_DATAFILE_40					
2	Time - default sample rate CH=1	ST1 CH=3	ST2 CH=4	ERO CH=10	ST_AVG CH=11	
3		s mm	mm	kN	mm	
4	0	0,00455	0,00461	0,0009	-0,00447	
5	0,2	0,005	0,00516	0,00108	-0,00497	
6	0,4	0,00531	0,00559	0,00053	-0,00534	
7	0,6	0,00568	0,00596	0,00073	-0,00571	
8	0,8	0,00603	0,00633	0,00071	-0,00607	
9	1	0,00636	0,00673	0,0005	-0,00644	
10	1,2	0,00665	0,00707	0,0006	-0,00675	
11	1,4	0,007	0,00741	0,00056	-0,0071	
12	1,6	0,00737	0,00772	0,00068	-0,00744	
13	1,8	0,0077	0,00799	0,00017	-0,00774	
14	2	0,00801	0,00834	0,0003	-0,00807	
15	2,2	0,00834	0,00871	0,00071	-0,00842	
16	2,4	0,00871	0,009	0,00107	-0,00875	
17	2,6	0,00903	0,00927	0,00075	-0,00904	
18	2,8	0,0094	0,00953	0,0007	-0,00936	
19	3	0,00975	0,00982	0,00091	-0,00968	
20	3,2	0,01012	0,01006	0,00114	-0,00998	
21	3,4	0,01044	0,01034	0,00056	-0,01028	
22	3,6	0,01077	0,01062	0,00131	-0,01059	
23	3,8	0,01106	0,01096	0,00147	-0,01091	
24	4	0,01135	0,01129	0,001	-0,01121	
25	4,2	0,01168	0,01162	0,00084	-0,01154	
26	4,4	0,01193	0,01196	0,00086	-0,01184	
27	4,6	0,01221	0,01224	0,00134	-0,01212	
28	4,8	0,0125	0,01256	0,0012	-0,01242	
29	5	0,01278	0,01284	0,00115	-0,0127	
30	5,2	0,01308	0,01312	0,0016	-0,01299	
31	5,4	0,01334	0,01342	0,00134	-0,01328	
32	5,6	0,0136	0,01379	0,00085	-0,01359	
33	5,8	0,01382	0,01418	0,00116	-0,01389	
34	6	0,01399	0,01449	0,00156	-0,01413	

	A	B	C	D	E	F
166	25,4	-2,58062	-1,92678	7,31563	2,25381	
167	25,6	-2,58496	-1,93077	7,29149	2,25797	
168	25,8	-2,58967	-1,93497	7,28275	2,26243	
169	26	-2,59401	-1,93875	7,27802	2,26649	
170	26,2	-2,59788	-1,94211	7,27382	2,2701	
171	26,4	-2,60139	-1,94509	7,26998	2,27335	
172	26,6	-2,60446	-1,94779	7,26627	2,27623	
173	26,8	-2,60713	-1,95017	7,26141	2,27875	
174	27	-2,60886	-1,95172	7,24728	2,2804	
175	27,2	-2,60933	-1,95226	7,22388	2,2809	
176	27,4	-2,61178	-1,9591	7,30912	2,28856	
177	27,6	-2,69323	-2,01883	8,05658	2,35614	
178	27,8	-2,79579	-2,09848	8,83136	2,44724	
179	28	-2,88366	-2,16578	9,48466	2,52483	
180	28,2	-2,97323	-2,23474	10,10221	2,60409	
181	28,4	-3,04533	-2,28981	10,5966	2,66768	
182	28,6	-3,10055	-2,33257	10,9392	2,71667	
183	28,8	-3,14771	-2,36953	11,26628	2,75873	
184	29	-3,19741	-2,40784	11,65868	2,80273	
185	29,2	-3,25222	-2,44864	12,10681	2,85054	
186	29,4	-3,30763	-2,49001	12,57759	2,89892	
187	29,6	-3,36558	-2,53429	13,08511	2,95005	
188	29,8	-3,42307	-2,57921	13,61414	3,00124	
189	30	-3,48147	-2,62555	14,16294	3,05361	
190	30,2	-3,53467	-2,66805	14,65589	3,10147	
191	30,4	-3,58848	-2,71183	15,20161	3,15027	
192	30,6	-3,64517	-2,75922	15,81969	3,2023	
193	30,8	-3,70046	-2,8066	16,42155	3,25364	
194	31	-3,75329	-2,85244	17,0174	3,30298	
195	31,2	-3,80187	-2,89546	17,5594	3,34878	
196	31,4	-3,84558	-2,93441	18,05861	3,3901	
197	31,6	-3,89442	-2,97839	18,72339	3,43652	
198	31,8	-3,94465	-3,0247	19,40925	3,48479	
199	32	-3,99121	-3,06808	20,05967	3,52975	

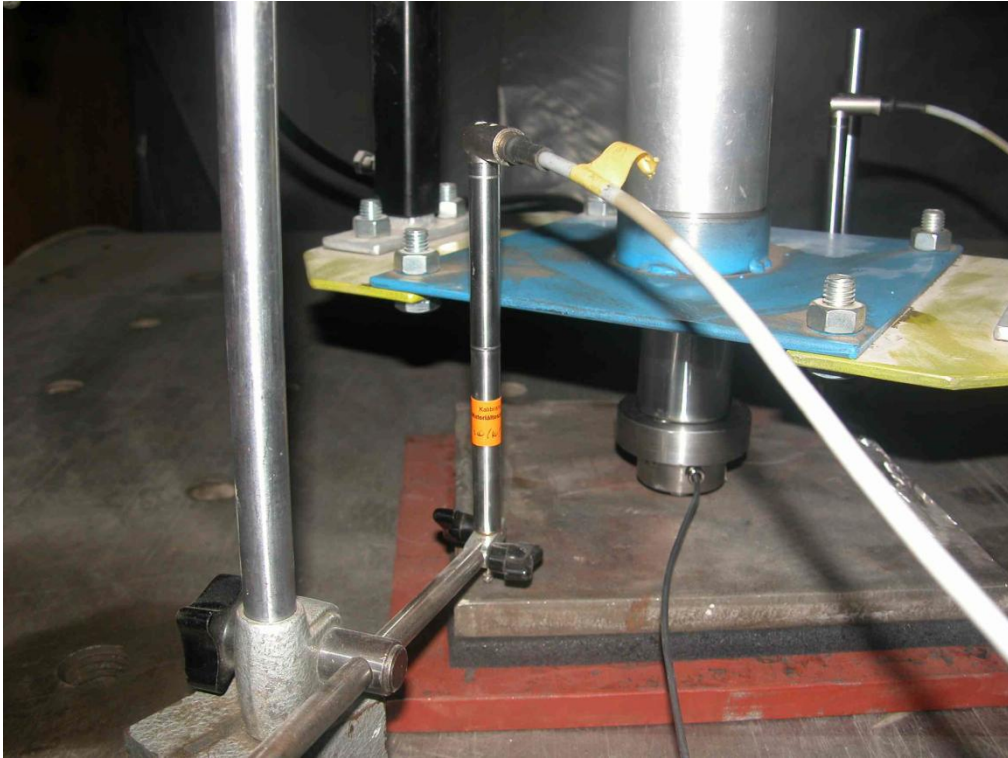
5. kép: Mérési adatok

A program „.asc” kiterjesztésű fájlokat hoz létre, melyek tabulátorral elválasztott adatok, így Microsoft Excel programmal megnyithatóak és szerkeszthetőek.

Az első oszlop tartalmazza az időt másodperc dimenzióban. A mérés során a mintavételi frekvencia 5 Hz-re volt állítva, tehát másodpercenként 5 adatot rögzített a számítógép. A második és harmadik oszlop tartalmazza a két útdó elmozdulását „mm” dimenzióban, a negyedik oszlop pedig ezek számtani közepét. Az átlagszámításra az 6. képen is látható okból volt szükség, miszerint a két útdó minimálisan ugyan, de eltérő értéket szolgáltat, hiszen nem lehetséges tökéletesen az acéllemez közepére kifejteni az erőt, viszont az átlagolással ez a hiba minimálisra csökkenthető, szinte kiejthető.



6. kép: 12 mm vastag DV-SILENT A típusú gumilemez statikus terhelése



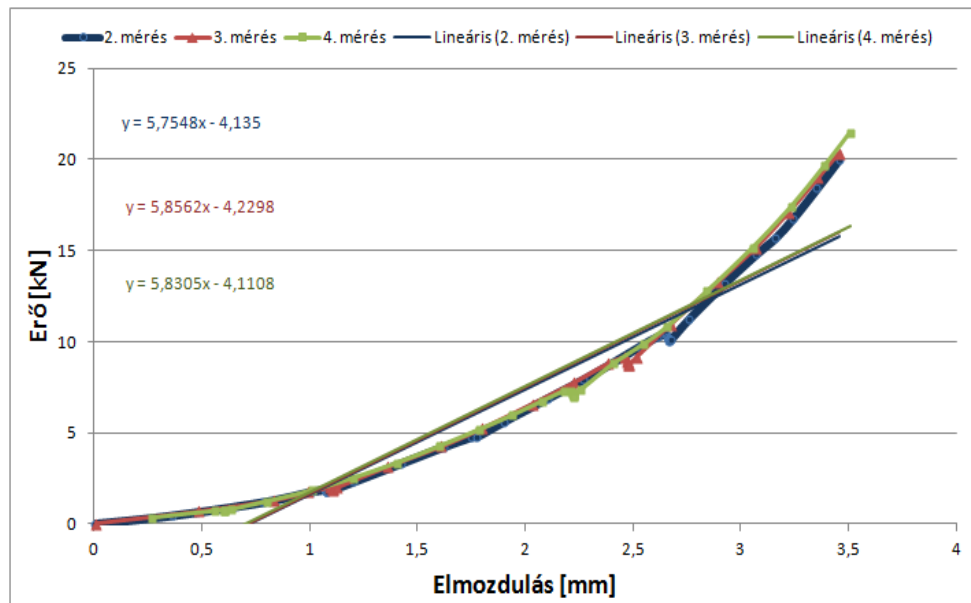
7. kép: A gumilemezek elmozdulásának mérésére szolgáló induktív útdadó



8. kép: A statikus mérések során a terhelő erő kifejtésére használt hidraulikus sajtó

LEGKISEBB NÉGYZETEK ELVE SZERINTI FELDOLGOZÁS

Az rögzített adatokból csak a 0-20 kN erőérték-intervallumot vettem figyelembe, hiszen a betonlemez vagy zúzottkőágyazat önsúlya, valamint UIC 71 jelű vasúti terhelés nagysága ezt nem haladja meg, tehát az élópályában való viselkedését a lemezeknek ezen intervallum alapján lehet modellezni. Az így kapott diagramokat egy példán mutatom be:



6. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén)

A függőleges tengelyen az erőt ábrázoltam kN dimenzióban, a vízszintesen az elmozdulást mm-ben. Látható, hogy mind a 3 mérés (2., 3., 4.) szinte azonos, ebből következik, hogy a gumilemez nem szenved maradó alakváltozást egy-egy terhelések után, azaz a Hooke-törvénynek megfelelően viselkedik.

Az Excel programban az így kapott adathalmazra trendvonalat állítottam, ezek láthatóak lineáris vonalként. „A lineáris trendvonal a legkisebb négyzetek módszere alapján a következő egyenlettel számítja ki a vonal illesztését: $y = mx + b$, ahol „m” a meredekség és „b” a tengelymetszet.”[3]

Tehát az egyenletek független változójának („x”) együtthatója („m”) matematikai szempontból az egyenes meredekségét, fizikai szempontból a gumilemez „D_{stat}” rugóállandóját adja. Valamennyi elkészített diagramot a mellékletek tartalmazzák.

A három merevedégség számtani közepe lesz az általam mért rugóállandó, ezeket a 3. táblázat tartalmazza.

D_{stat} [kN/mm]	A típus	B típus
6 mm	15,076	18,171
12 mm	7,807	6,803
6 + 6 = 12 mm	9,367	9,700
6 + 12 = 18 mm	5,814	5,657
12 + 12 = 24 mm	4,598	3,796
12 + 12 + 6 = 30 mm	3,516	3,340

3. táblázat: D_{stat} [kN/mm] rugóállandók a mérési eredmények alapján

A NÉMET DIN 45673-5:2010-08 SZABVÁNY SZERINTI FELDOLGOZÁS

A német DIN 45673-5:2010-08 (Mechanische Schwingungen - Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 5: Labor-Prüfverfahren für Unterschottermatten) szabvány valamelyest eltér ettől a fajta vizsgálatról. Eszerint két db „C” értéket kell előállítani, ezek a C_{stat1} és C_{stat2} . A C_{stat1} [N/mm³] érték 0,02 – 0,10 N/mm² feszültségi értékek közötti viselkedés, a C_{stat2} [N/mm³] érték 0,02 – 0,20 N/mm² közötti viselkedés szerinti ágyazási tényezők. Ez azt jelenti, hogy a mérések után rögzített eredményekből kell előállítanom ezeket az állandókat, a számítógépen tárolt adatsorokból.

Mint már ismertettem, a mérési eszközök 0,2 másodpercenkénti mintavétellel rögzítette az elmozdulások átlagát és a terhelőerőt. A 0,02, 0,10 és a 0,20 N/mm² feszültséghez tartozó erőket egyszerűen ki lehet számítani:

$$F^{0,02} = 250 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 0,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1250 \text{ N} = 1,25 \text{ kN}$$

$$F^{0,10} = 250 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 0,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6250 \text{ N} = 6,25 \text{ kN}$$

$$F^{0,20} = 250 \text{ mm} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 0,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 12\,500 \text{ N} = 12,5 \text{ kN}$$

A adatsorokból megkerestem azokat az összenyomódási értékeket, amik e terhelőerőkhöz tartoznak, majd a német szabványban található összefüggés alapján haladtam tovább.

A „DIN 45673-5:2010-08” 7. oldalán található összefüggés a következő:

$$\sigma_{stat 1} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \left[\frac{N}{mm^3} \right] \quad (7.)$$

Ahol: $\sigma_{stat 1}$: az előállított ágyazási tényező

σ_1 : 0,02 N/mm² feszültség

σ_2 : 0,10 N/mm² feszültség

s_1 és s_2 : a σ_1 és σ_2 feszültséghez tartozó összenyomódás

A mérések során a mintavétel nem pontosan a megadott F erők terhelési időpontjában történt. Ez azt jelenti, hogy ha például a következő értékek szerepeltek egy adatsorban, akkor lineáris interpolációval határoztam meg az előírt F értékekhez tartozó összenyomódást:

Time - default sample rate CH=1	ERO CH=10	ST_AVG CH=11
[s]	[kN]	[mm]
...
13	12,00613	1,99882
13,2	13,17611	2,08289
...

4. táblázat: Adatsor

Ebben az esetben tehát az F=12,5 kN erőhöz tartozó összenyomódás $s = 2,0343$ mm volt.

A 2 típusú gumilemez hatféle vastagságú vizsgálatához, esetenként 3 mérési eredmény 3 erőhöz tartozó „s” elmozdulás összesített adatai az 5. táblázatban lettek összefoglalva.

s [mm]	2. mérés			3. mérés			4. mérés		
Minta	F=1,25 kN	F=6,25 kN	F=12,5 kN	F=1,25 kN	F=6,25 kN	F=12,5 kN	F=1,25 kN	F=6,25 kN	F=12,5 kN
	$\bar{\sigma}=0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2$ N/mm ²
A/6 mm	0,3884	0,9478	1,2853	0,3977	0,9377	1,2937	0,3846	0,9320	1,2851
A/12 mm	0,5951	1,4395	2,0412	0,5719	1,4292	2,0447	0,6014	1,4134	2,0343
A/6+6 mm	0,6122	1,5711	2,1133	0,6330	1,5737	2,1419	0,6641	1,5563	2,1291
A/6+12 mm	0,8061	2,0020	2,8659	0,8077	1,9767	2,8225	0,8120	1,9946	2,8203
A/12+12 mm	1,0647	2,7548	4,1244	1,1487	2,8165	4,1115	1,1292	2,9380	4,0968
A/6+12+12 mm	1,1647	3,1076	4,5908	1,1603	3,1048	4,6397	1,1715	3,1218	4,5834
B/6 mm	0,3431	0,8341	1,1243	0,3699	0,8382	1,1313	0,3486	0,8280	1,1571
B/12 mm	0,6714	1,6777	2,4156	0,7095	1,6734	2,4083	0,6597	1,6698	2,4068
B/6+6 mm	0,6092	1,4139	1,9564	0,5712	1,3828	1,9818	0,5643	1,4166	1,9208
B/6+12 mm	0,8408	2,1596	3,1596	0,8750	2,1736	3,1189	0,8023	2,1594	3,1070
B/12+12 mm	1,1282	3,0081	4,4787	1,1732	3,0509	4,4203	1,0408	2,9803	4,4322
B/6+12+12 mm	1,3304	3,3969	4,9194	1,2220	3,3455	5,0342	1,2719	3,3878	4,9942

5. táblázat: Összenyomódási értékek

Következő lépésként az adott $\sigma_{stat 1} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1}$ és $\sigma_{stat 2} = \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{s_3 - s_2}$ összefüggések alapján elkészítettem az ágyazási tényezők összefoglaló táblázatát:

Cstat [N/mm ³]	2. mérés		3. mérés		4. mérés		Átlag	
Minta	Cstat1	Cstat2	Cstat1	Cstat2	Cstat1	Cstat2	Cstat1	Cstat2
	$\bar{\sigma}=0,1-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,1-0,02$ N/mm ²	$\bar{\sigma}=0,2-0,02$ N/mm ²
A/6 mm	0,1430	0,2007	0,1481	0,2009	0,1461	0,1999	0,1458	0,2005
A/12 mm	0,0947	0,1245	0,0933	0,1222	0,0985	0,1256	0,0955	0,1241
A/6+6 mm	0,0834	0,1199	0,0850	0,1193	0,0897	0,1229	0,0860	0,1207
A/6+12 mm	0,0669	0,0874	0,0684	0,0893	0,0676	0,0896	0,0677	0,0888
A/12+12 mm	0,0473	0,0588	0,0480	0,0608	0,0442	0,0607	0,0465	0,0601
A/6+12+12 mm	0,0412	0,0525	0,0411	0,0517	0,0410	0,0528	0,0411	0,0523
B/6 mm	0,1629	0,2304	0,1708	0,2364	0,1669	0,2226	0,1669	0,2298
B/12 mm	0,0795	0,1032	0,0830	0,1060	0,0792	0,1030	0,0806	0,1041
B/6+6 mm	0,0994	0,1336	0,0986	0,1276	0,0939	0,1327	0,0973	0,1313
B/6+12 mm	0,0607	0,0776	0,0616	0,0802	0,0589	0,0781	0,0604	0,0786
B/12+12 mm	0,0426	0,0537	0,0426	0,0554	0,0412	0,0531	0,0421	0,0541
B/6+12+12 mm	0,0387	0,0502	0,0377	0,0472	0,0378	0,0484	0,0381	0,0486

6. táblázat: C_{stat1} és C_{stat2} ágyazási tényezők

A kétfajta elemzés között adódtak eltérések, ami várható is volt. Ennek az oka, hogy míg az általam használt legkisebb négyzetek szerinti közelítéssel a gumilemezek 0-20 kN erővel terhelt viselkedése alapján állítottam elő az ágyazási tényezőket, addig a német szabvány 1,25 - 12,5 kN erőintervallumban írja elő a vizsgálatot. A 20 kN nyomóerő a 250x250 mm²-es gumilemezekben 0,32 N/mm² feszültséget okozott. Ezt összehasonlítva a német szabvánnyal láthatjuk, hogy kb. másfélszer akkora erővel terheltem a lemezeket.

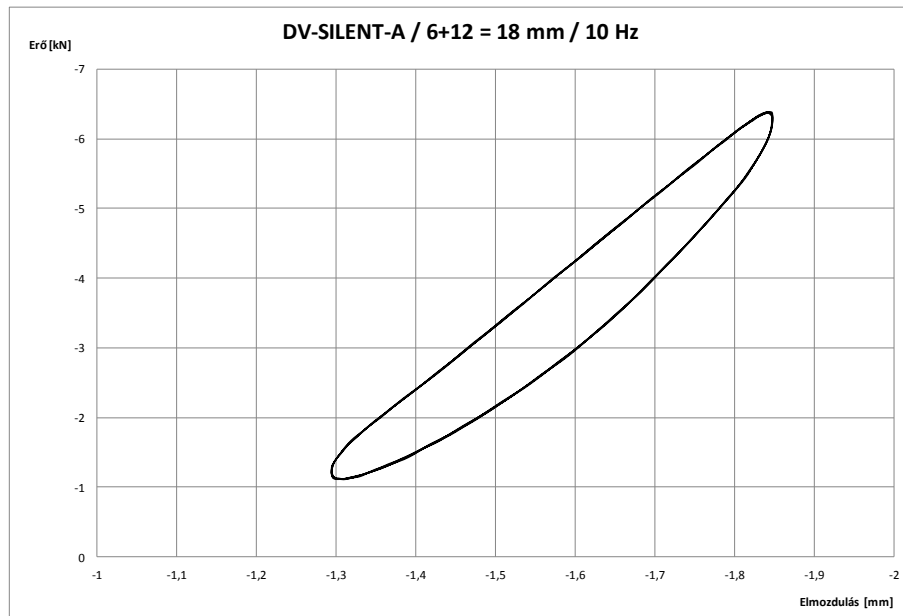
	Legkisebb négyzetek		Német szabvány			
	D [kN/mm]	C _{stat} [N/mm ³]	D _{stat1} [kN/mm]	C _{stat1} [N/mm ³]	D _{stat2} [kN/mm]	C _{stat2} [N/mm ³]
A/6 mm	15,076	0,241	9,110	0,146	12,53	0,200
A/12 mm	7,807	0,125	5,970	0,096	7,756	0,124
A/6+6 = 12 mm	9,367	0,150	5,378	0,086	7,543	0,121
A/6+12 = 18 mm	5,814	0,093	4,229	0,068	5,549	0,089
A/12+12 = 24 mm	4,598	0,074	2,907	0,047	3,755	0,060
A/6+12+12 = 30 mm	3,516	0,056	2,570	0,041	3,271	0,052
B/6 mm	18,171	0,291	10,43	0,167	14,36	0,230
B/12 mm	6,803	0,109	5,035	0,081	6,504	0,104
B/6+6 = 12 mm	9,700	0,155	6,080	0,097	8,206	0,131
B/6+12 = 18 mm	5,657	0,091	3,775	0,060	4,916	0,079
B/12+12 = 24 mm	3,796	0,061	2,634	0,042	3,380	0,054
B/6+12+12 = 30 mm	3,340	0,053	2,379	0,038	3,036	0,049

7. táblázat: Összehasonlító táblázat: a legkisebb négyzetekkel való közelítés és a német szabványban előírt módszer eredményei

DINAMIKUS TERHELÉS

A statikus terhelés után következett a gumilemezek dinamikus termelése, melyhez a BME Út és Vasútépítési Tanszékének laboratóriumában levő MTS típusú (max. 250 kN terhelésű) fárasztógépet alkalmaztam. A vizsgálatok alapját a különböző frekvenciáknál (1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz) felvett erő-út görbék szolgáltatták, melyek meredekségei alapján rugóállandókat, illetve az egységnyi felületre vonatkoztatott rugóállandók alapján ágyazási tényezőket határoztam meg. Az 7. ábrán példaként a DV SILENT-A típusú 6+12=18 mm vastagságú gumilemez 20 Hz-nél felvett erő-út diagramja látható.

A fárasztásos terhelés során 4 induktív útdát helyeztem el a terhelést átadó acéllemezre, majd ezek átlagával számoltam a továbbiakban az elmozdulásokat, a pillanatnyi erőket pedig az MTS fárasztógép kimeneti feszültségéből lehetett meghatározni.



7. ábra: DV SILENT-A típusú 6+12=18 mm vastagságú gumilemez 20 Hz-nél felvett erő-út diagramja



9. kép: MTS típusú fárasztógép (BME Út és Vasútépítési Tanszékének laboratóriuma)



10. kép: MTS fárasztógép, mérés közbeni állapot (I.)



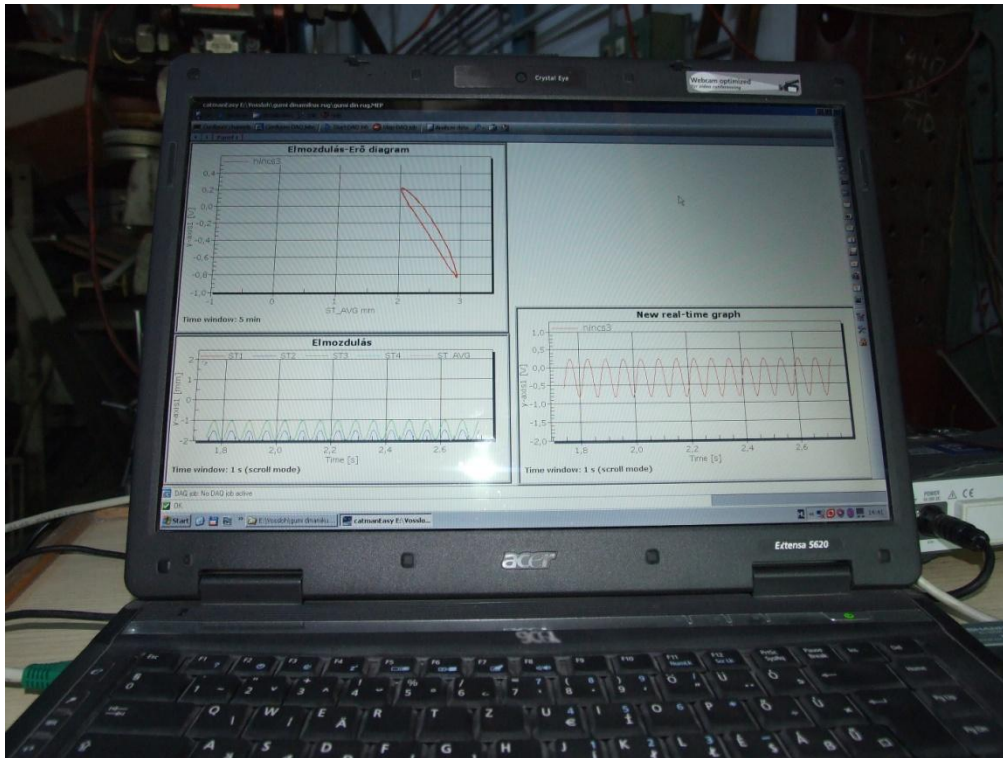
11. kép: A dinamikus fárasztás során 4 db induktív úradó mérte az elmozdulásokat



12. kép: Dinamikus fárasztáshoz felhasznált eszközök



13. kép: MTS fárasztógép, mérés közbeni állapot (II.)



14. kép: Dinamikus fárasztás közben a képernyőn megjelenő adatok

A dinamikus vizsgálat során a fárasztógéppel $0,02-0,10 \text{ N/mm}^2$ közötti feszültséggel terheltem a gumilemezeket, majd az így adódó diagramokat elemeztem. Az adatsor hasonló volt a statikus vizsgálatéhoz, erő-elmozdulás értékeket rögzített a számítógép.

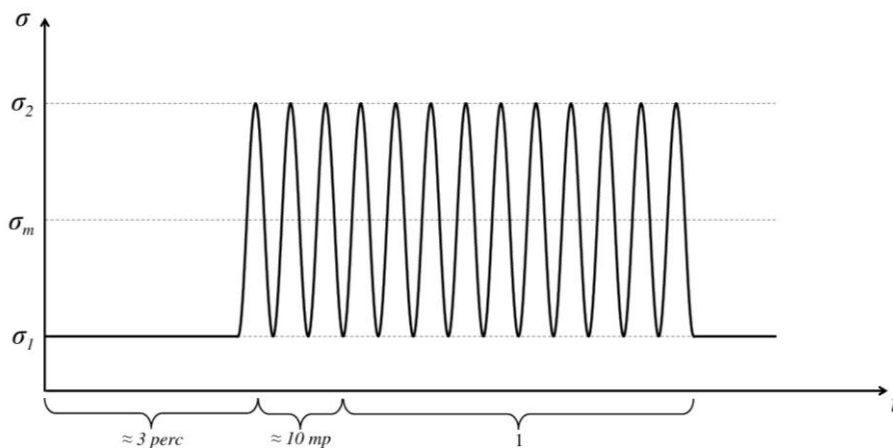
A német DIN 45673-5:2010-08 szabvány 8. oldalán található, erre a vizsgálatra vonatkozó összefüggés a következő:

$$\sigma_{din1}(f_i) = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \quad (11.)$$

Az f_i változó a képletben a különböző frekvenciájú terhelésre vonatkozik: 5, 10, 20, 30 Hz. Kiegészítettem a vizsgálatot az 1 Hz frekvenciájú adatokkal is, illetve nagyobb rétegvastagság esetén a fárasztógép nem tudta kifejteni magas frekvencián az erőket, így előfordult, hogy 20 Hz helyett 18 Hz, vagy 30 Hz helyett 25 Hz-en mértem.

A csillapítások értéke a különböző típusú és vastagságú rezgéscsillapító lemezek esetén a dinamikus ágyazási tényező 10 Hz-en mért értékének és a statikus ágyazási tényezők értékének a hányadosa, jele „ κ ”.

$$\kappa = \frac{C_{din}^{10 \text{ Hz}}}{C_{stat1}} \quad [-] \quad (12.)$$



8. ábra: A dinamikus vizsgálat időbeli sorrendje

Minden vizsgálatot az 8. ábra szerinti időrendben hajtottam végre. A szerkezet összeállítás után a gumilemezt körülbelül 3 percig $\sigma_1=0,02 \text{ N/mm}^2$ feszültséggel terheltem, majd ezután kezdődött meg a ciklikus terhelés. Mikor a fárasztógép az ábra szerinti szinuszos mozgással terhelte a lemezt, 10 másodperc után elindítottam az adatok számítógépre történő rögzítését. Minden egyes „ C_{din} ” érték előállításához 10 ciklus erő-összenyomódás adatsorát használtam fel, ezt a 8. ábrán az „1”-es jelű tartomány jelöli az időtengelyen. A mintavételi frekvenciát a terhelő erő frekvenciájának függvényében állítottam be. A vizsgálat előtti kísérletek során arra a megállapításra jutottam, hogy legalább 20-szorosa kell legyen a mintavételi frekvencia a terhelő frekvenciának, így rajzolódik ki a legpontosabban az erő-út diagram. Ha nem elég pontos a diagram, akkor nehezen lehet megállapítani a szélsőértékeket és a kívánt erőhöz tartozó összenyomódásokat, így pontatlan eredményeket kapnánk. Például ha 1 Hz-en terheltem a gumilemezt, a mintavétel 50 Hz volt, ha 30 Hz-en működött a fárasztógép, akkor a mintavétel 1200 Hz volt. Emiatt pár másodperc alatt akár több ezer értéket is kaptam, viszont így elkerülhető volt a pontatlanság.

A statikus mérések feldolgozásához hasonlóan a dinamikus vizsgálatnál is a kapott diagramok meredekségei alapján állítottam elő rugóállandókat, majd a felülettel való osztás után ágyazási tényezőket. A dinamikus terhelés adatait feldolgozó diagramok a mellékletekben találhatóak.

DV-SILENT-A / 6 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,372	0,4452	0,5844	0,527	0,5602
C_{stat1}	0,1458				
C_{stat2}	0,2005				
κ	4,008				

DV-SILENT-B / 6 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,3412	0,3893	0,414	0,5723	0,4867
C_{stat1}	0,1669				
C_{stat2}	0,2298				
κ	2,481				

DV-SILENT-A / 12 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	25 Hz
C_{din}	0,1426	0,1635	0,1819	0,1845	0,185
C_{stat1}	0,0955				
C_{stat2}	0,1241				
κ	1,905				

DV-SILENT-B / 12 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,1459	0,163	0,1724	0,1963	0,1771
C_{stat1}	0,0806				
C_{stat2}	0,1041				
κ	2,139				

DV-SILENT-A / 6+6 = 12 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,1723	0,2052	0,2252	0,2559	0,2345
C_{stat1}	0,086				
C_{stat2}	0,1207				
κ	2,619				

DV-SILENT-B / 6+6 = 12 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,186	0,2162	0,2391	0,2665	0,247
C_{stat1}	0,0973				
C_{stat2}	0,1313				
κ	2,457				

DV-SILENT-A / 6+12 = 18 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
C_{din}	0,1184	0,1355	0,1524	0,1568	0,1525
C_{stat1}	0,0677				
C_{stat2}	0,0888				
κ	2,251				

DV-SILENT-B / 6+12 = 18 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	25 Hz
C_{din}	0,1089	0,1246	0,1367	0,1431	0,1348
C_{stat1}	0,0604				
C_{stat2}	0,0786				
κ	2,263				

DV-SILENT-A / 12+12 = 24 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	
C_{din}	0,0882	0,1014	0,1072	0,1087	
C_{stat1}	0,0465				
C_{stat2}	0,0601				
κ	2,305				

DV-SILENT-B / 12+12 = 24 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	15 Hz	
C_{din}	0,0742	0,0848	0,0918	0,0903	
C_{stat1}	0,0421				
C_{stat2}	0,0541				
κ	2,181				

DV-SILENT-A / 6+12+12 = 30 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	18 Hz	
C_{din}	0,0726	0,0828	0,0867	0,0861	
C_{stat1}	0,0411				
C_{stat2}	0,0523				
κ	2,109				

DV-SILENT-B / 6+12+12 = 30 mm					
	1 Hz	5 Hz	10 Hz	15 Hz	
C_{din}	0,0648	0,0738	0,0778	0,0779	
C_{stat1}	0,0381				
C_{stat2}	0,0486				
κ	2,042				

8. táblázat: A dinamikus-, és a statikus ágyazási tényezők-, valamint a csillapítások értéke a különböző típusú és vastagságú rezgéscsillapító lemezek esetén.

6. ÖSSZEFOGLALÁS - KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálat után kapott eredmények alapján összehasonlítottam a gumilemezek C értékeit egy folyóvágány felsőágyzatának ágyazási tényezőivel. Egy, a MÁVÉPCCELL Kft. által kiadott tervezet ad egy táblázatot a C ágyazási tényező értékének felvételére:

Alépítmény minősége	E_2 (N/mm ²)	C (N/mm ³)	σ_z (N/mm ²)
Gyenge	10	0,03	0,011
	20	0,04	0,022
Közepes	50	0,07	0,055
Jó	80	0,09	0,089
	100	0,11	0,111

9. táblázat: C ágyazási tényező értékének felvétele [4]

Vasúti pályaszerkezetekkel kapcsolatos tanulmányaim során az alábbi táblázatban szereplő ágyazási tényezőkkel jellemeztük a vasútépítésben előforduló rugalmas szerkezetek minőségét:

C – ágyazási tényező [N/mm ³]	Minőség
0,02 – 0,05	Gyenge rugalmasságú
0,05 – 0,10	Közepes rugalmasságú
0,10 – 0,20	Jó rugalmasságú

10. táblázat: C ágyazási tényező értéke alapján a szerkezet minősége (közelítés)

A laboratóriumi mérések után a megállapításaimat a következőkben foglalom össze:

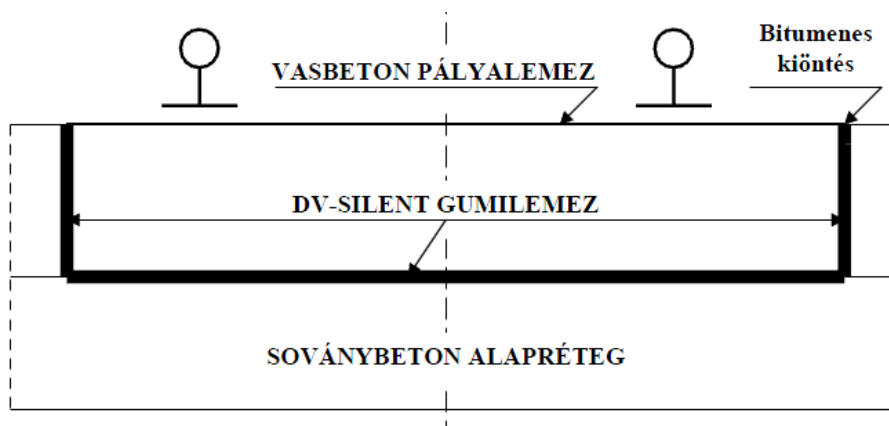
- 1.) Az általam végzett vizsgálatok, valamint a 9. és 10. táblázatok alapján megállapítható, hogy például egy 30 mm vastagságú gumilemez körülbelül akkora értékű ágyazási tényezővel rendelkezik, mint egy gyenge minőségű alépítmény, „puhább”, jobban összenyomódik. A jó minőségű, merevebb alépítmény egy 12 mm vastag gumilemezzel egyenértékű ágyazási tényezővel rendelkezik.
- 2.) Az egymásra helyezett gumilemezek mechanikai szempontból *sorba kötött rugókként* viselkednek. A kétszeres vastagság fele akkora ágyazási tényezőt és rugóállandót eredményez. Ez megfigyelhető a 7. táblázatban 6, 12 és 24 mm vastagságok esetén is, mindkét típusnál egyaránt.

- 3.) Az „A” és „B” típusú lemezek vízfelvevő-képességük, rugóállandóik és ágyazási tényezőik számadataiban egymáshoz képest a két típusnál nem volt nagyobb eltérés 20%-nál, mind statikus, mind dinamikus vizsgálatok esetében.
- 4.) A vasúti pályaépítésben a szokásos kb. $0,05-0,20 \text{ N/mm}^3$ rugalmasságot a vizsgálat szerint a gumilemezek biztosítani tudják különböző vastagságok esetén.
- 5.) Az elvégzett kísérletek és mérések alapján a DV-SILENT típusú gumilemezek a vasúti pályaépítés valamennyi területen alkalmasak a járműközlekedés hatására a pályaszerkezetben létrejött akusztikai- (zaj-, és rezgés hatások), és mechanikai (erők-, és feszültségek) igénybevételek hatékony csillapítására.

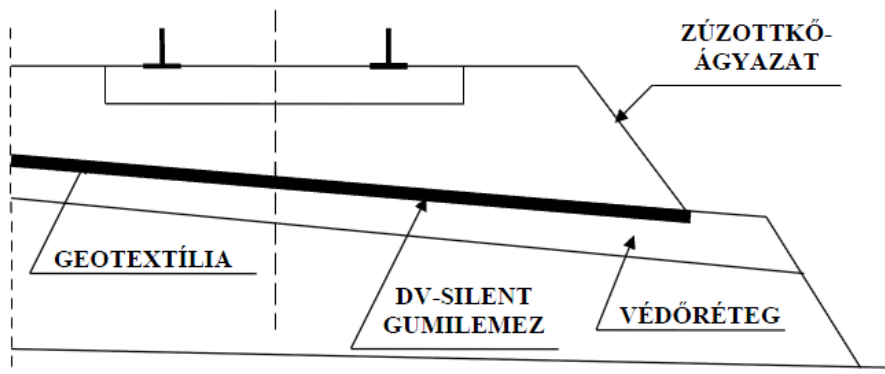
A DV-SILENT A és B típusú gumilemezek a laboratóriumi vizsgálatok alapján megkapták a vasúti felhasználáshoz szükséges Építőipari Műszaki Engedélyt, melyben a következő megállapítások szerepeltek [5]:

A gumilemezek beépítésére lehetőség van:

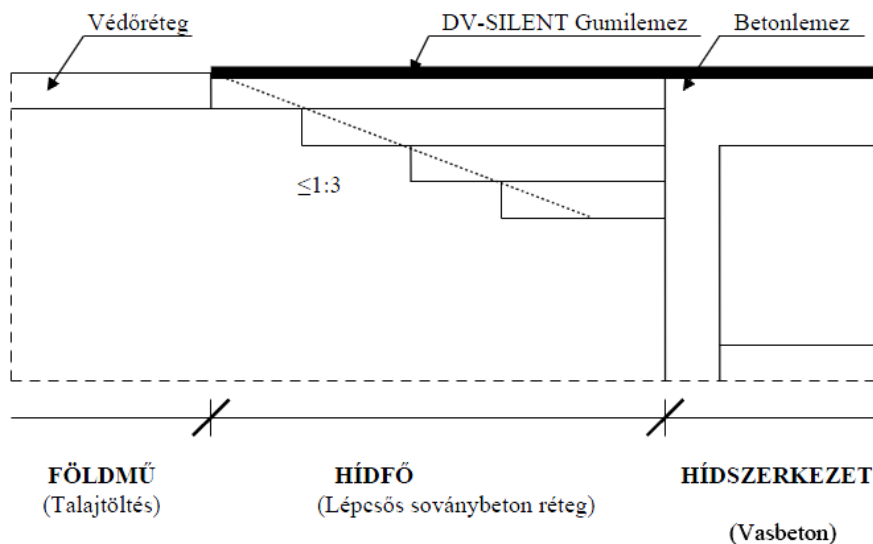
- Betonlemez vasúti pályaszerkezetek pályalemezei alá, tömeg-rugó rendszer működési elv alapján, az akusztikai igénybevételek csökkentése céljából. (9. ábra)
- Zúzottkő-ágyazatú, keresztaljas vasúti pályaszerkezetek zúzottkő-ágyazata alá, a felépítmény rugalmas ágyazása alapján az akusztikai-, és a mechanikai igénybevételek csökkentése céljából. (10. ábra)
- Betonlemez-, és földmunkán fekvő zúzottkő-ágyazatú keresztaljas vasúti pályaszerkezetek közvetlen csatlakozásánál, a zúzottkő-ágyazat alá, a mechanikai igénybevételek fokozatos átmenetének biztosítása céljából. (11. ábra)



9. ábra: DV-SILENT gumilemez betonlemez vasúti pályaszerkezetek alá beépítve



10. ábra: DV-SILENT gumilemez zúzottkő-ágyazatú, keresztaljas vasúti pályaszerkezetek zúzottkő-ágyazata alá helyezve



11. ábra: DV-SILENT gumilemez betonlemez-, és földmunkán fekvő zúzottkő-ágyazatú keresztaljas vasúti pályaszerkezetek közvetlen csatlakozásánál

Betonlemezes pályaszerkezet esetén a gumilemezek elhelyezése előtt a fektetési felületen az esetleg összegyűlt vizet el kell távolítani, a felületet meg kell tisztítani, nem lehetnek rajta kitüremkedések, bemélyedések, ezek jelentősen csökkentenék a rezgéscsillapítás hatásfokát. A bemélyedések kikenését homok, cement, víz keverékével kell elvégezni (a kikenésnek szilárdsági funkciója nincsen, szerepe az, hogy a gumilemez megtörését, valamint az üreg létrejöttét megakadályozza).

Zúzottkő-ágyazatú pályaszerkezet esetén a gumilemezek elhelyezése előtt az alépítményi védőréteget (homokos-kavicsot, stabilizációt, stb.) gondosan tömöríteni kell, síkra le kell húzni, kitüremkedések, bemélyedések nem lehetnek, az esetleg összegyűlt vizet el kell

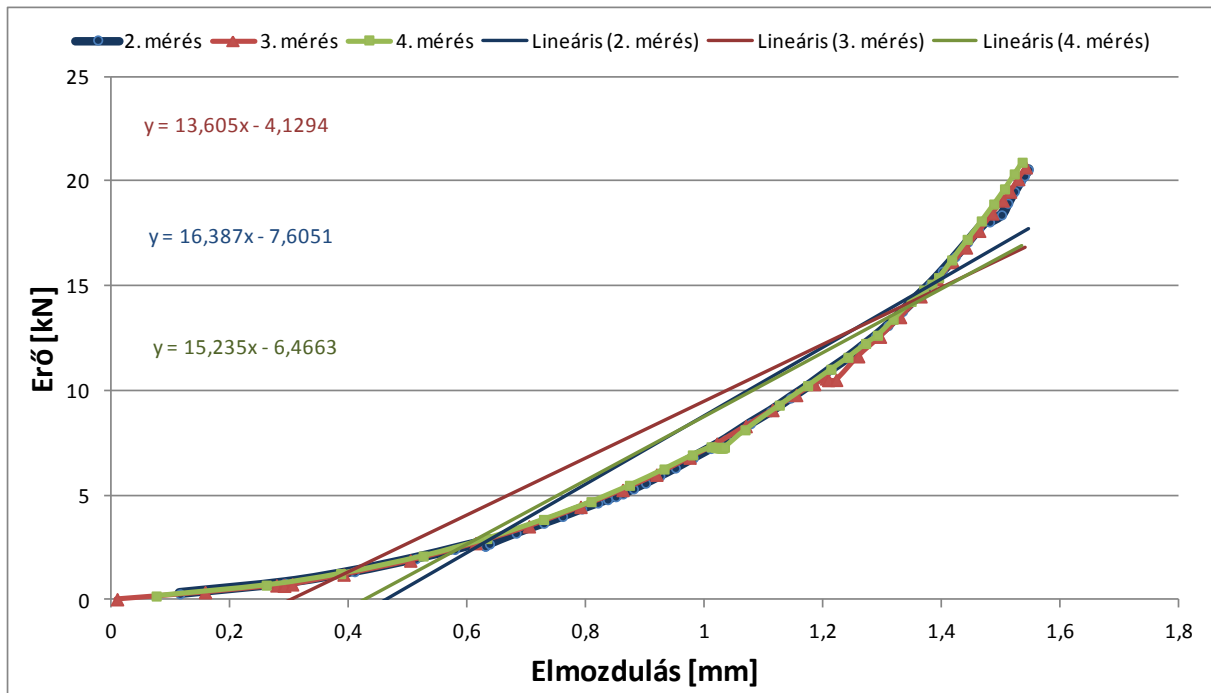
távolítani. A lefektetett gumilemezekre egy rétegű geotextíliát kell fektetni, minimum 10 cm-es átfedéssel.

A DV-SILENT típusú rugalmas rezgéscsillapító gumilemezzel készített úsztatott betonágyazatú (betonlemezes)-, valamint zúzottkő-ágyazatú, keresztaljas pályaszerkezeteken:

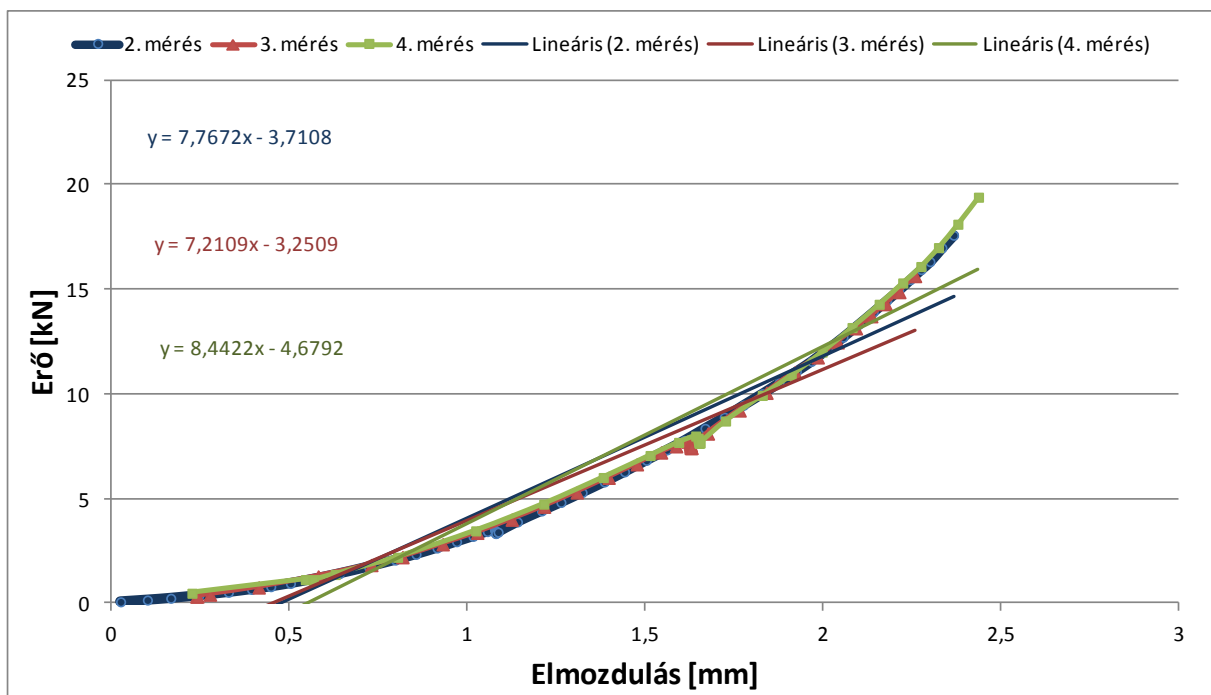
- a megengedett legnagyobb statikus tengelyterhelés 225 kN,
- a megengedett legnagyobb sebesség 160 km/h,
- az alkalmazott sínleerősítés szerkezete (közvetlen, vagy közvetett), és rugalmassága tetszőleges lehet,
- az alkalmazott sínrendszer tetszőleges lehet.
- tetszőleges pályageometriában (egyenes és íves, valamint átmeneti íves szakaszokon) alkalmazható,
- folyóvágányban és kitérőben (átszelésekben), továbbá vágánykapcsolatokban egyaránt alkalmazható,
- hidakon és alagutakban egyaránt alkalmazható.

Amennyiben a gumilemezek a pályaszerkezet két oldalán visszahajlításra kerülnek (műtárgyak esetén), úgy abban az esetben a gumilemezeket, illetve a geotextíliát hőre lágyuló bitumenes lemezzel kell a műtárgy szerkezetéhez (falazathoz, gerendához) ragasztani. Ha a gumilemezek fölé vasbeton pályalemez kerül, úgy a beton vasalását előzetesen a pálya keresztmetszvényén kívül kell meghajlítani, közties betontakarást műanyag távtartókkal kell biztosítani.

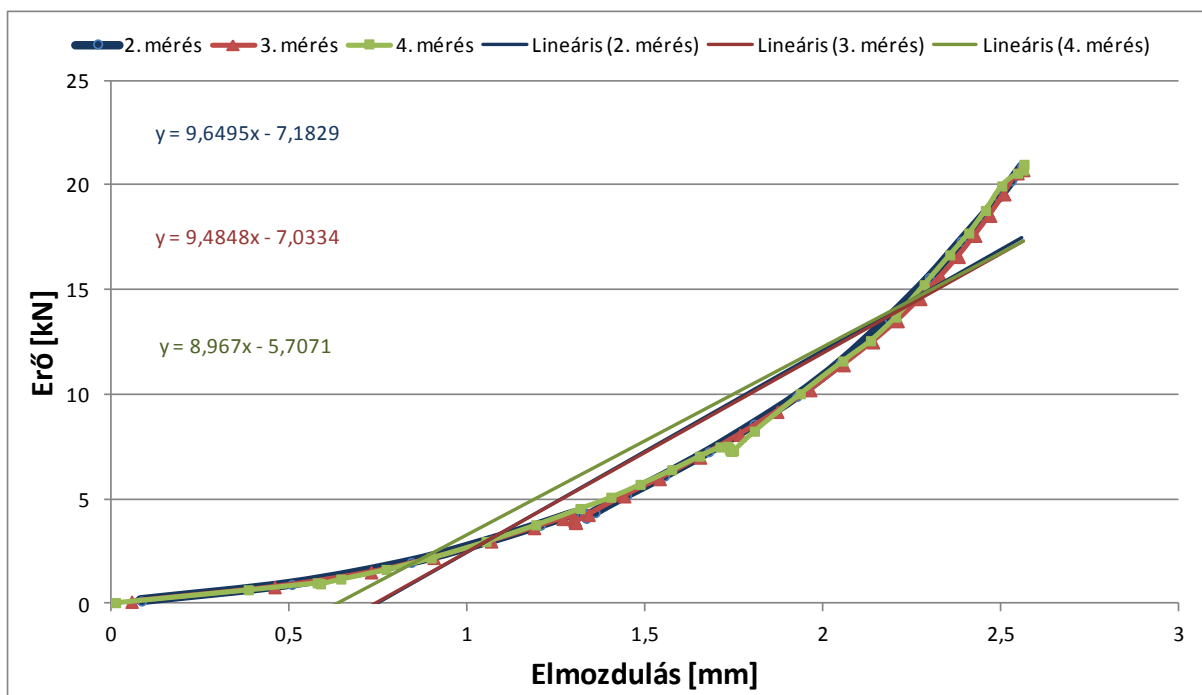
7. MELLÉKELETEK



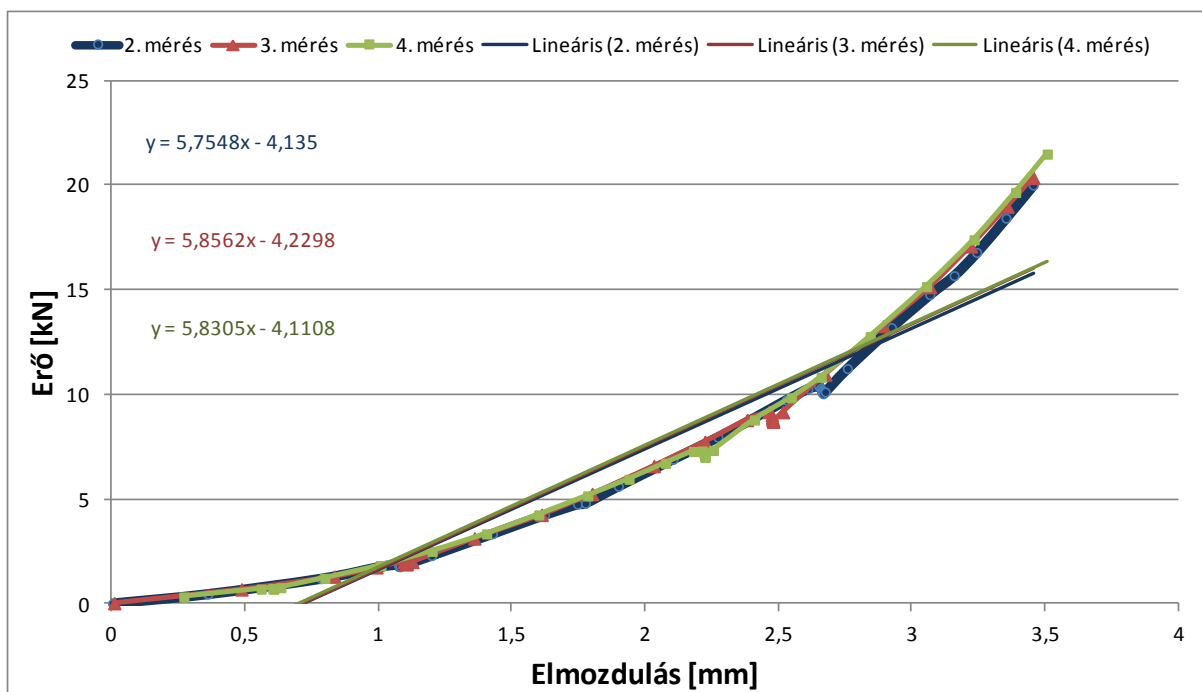
11. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén)



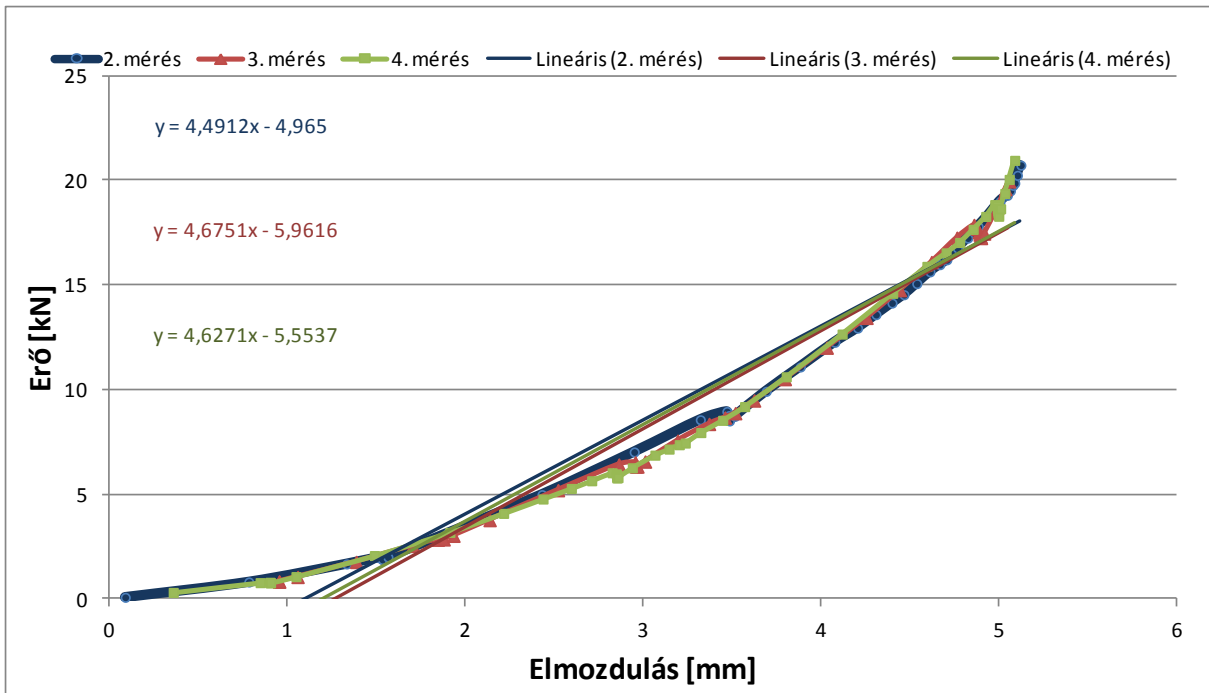
12. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén)



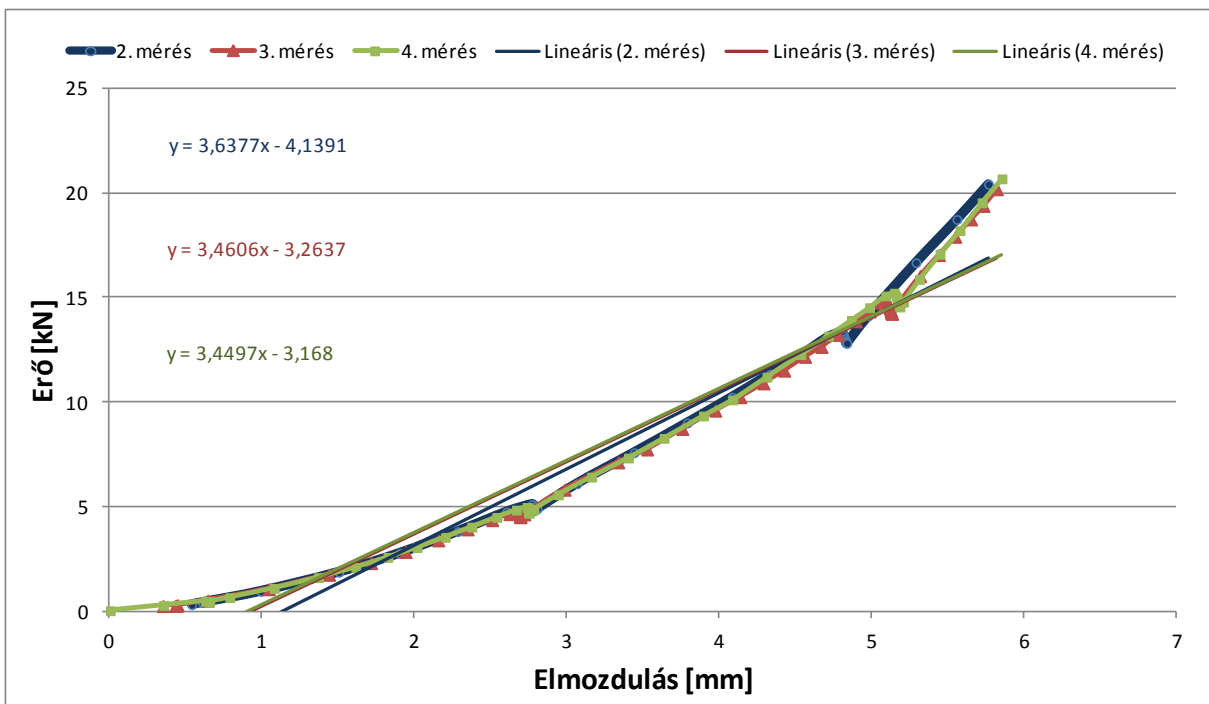
13. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén)



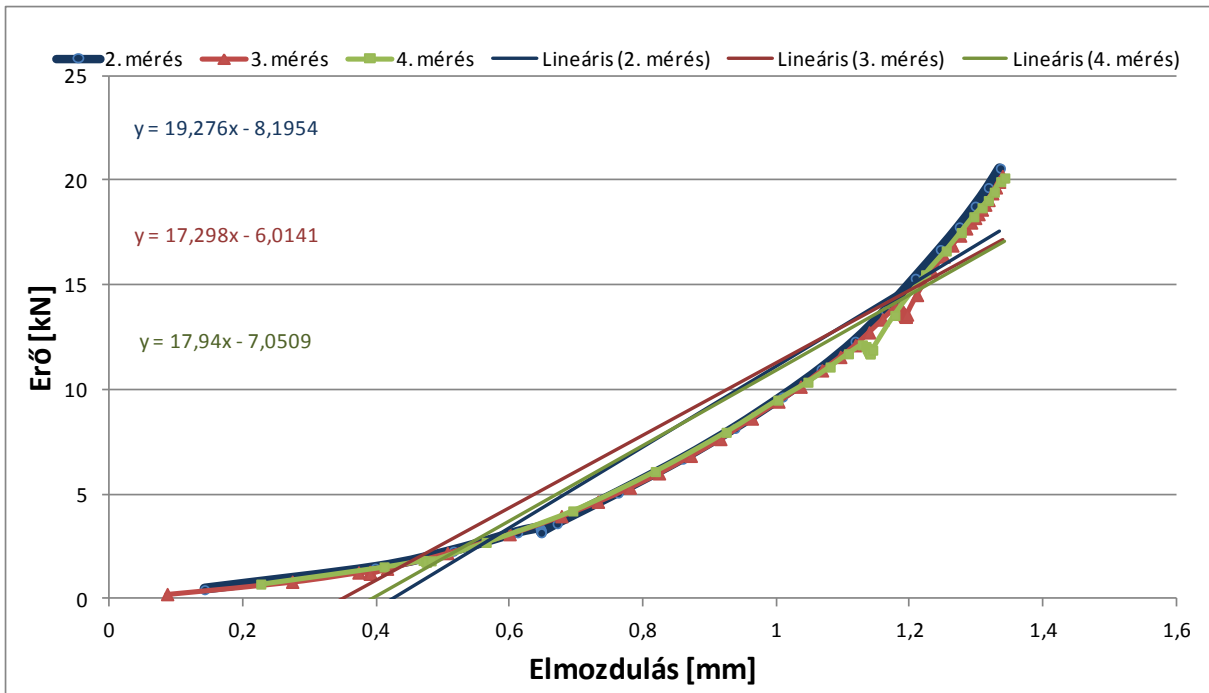
14. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6+12=18 mm vastagság esetén)



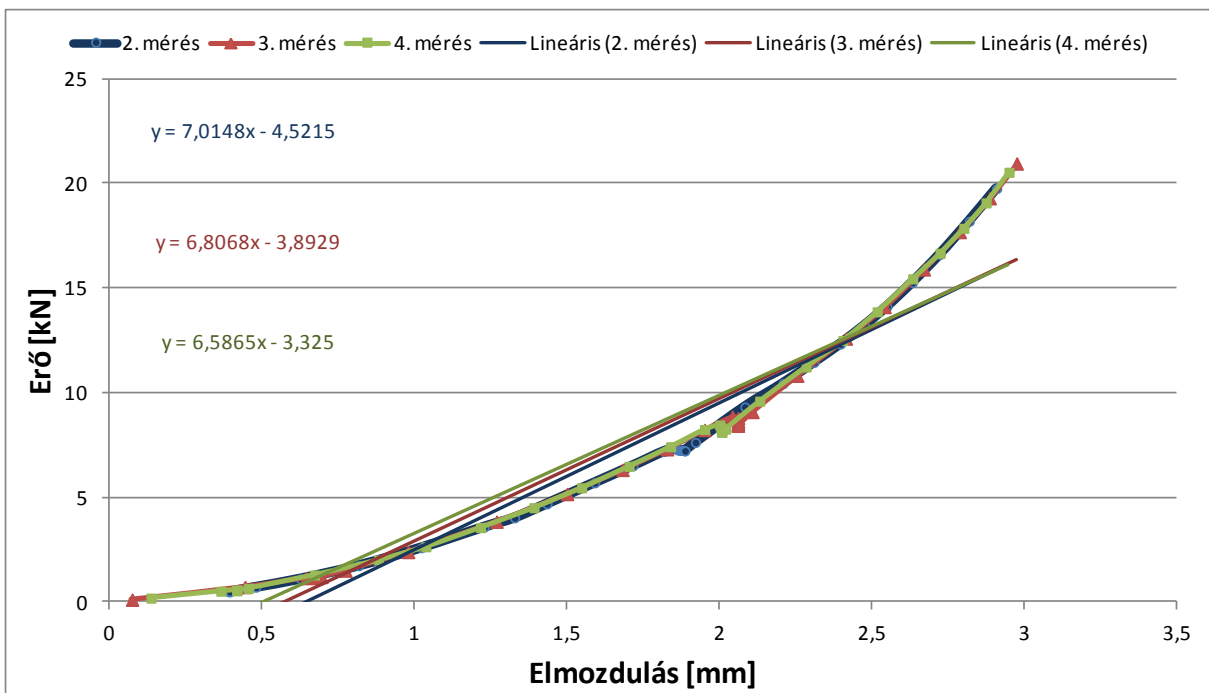
15. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén)



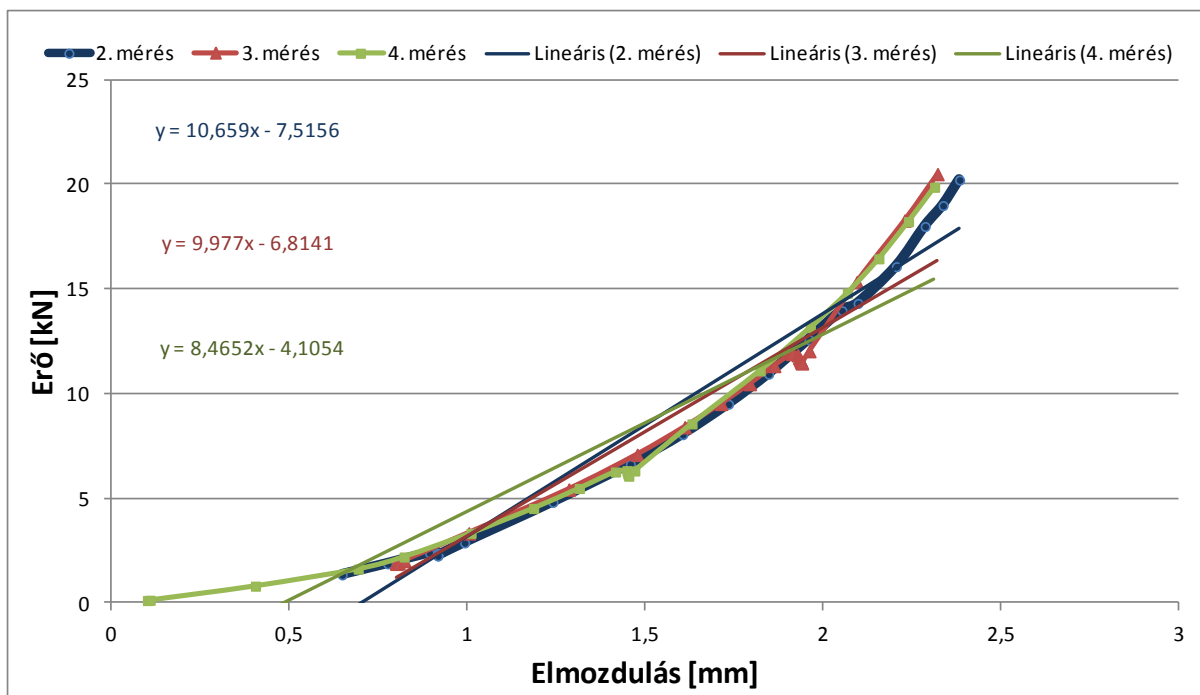
16. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén)



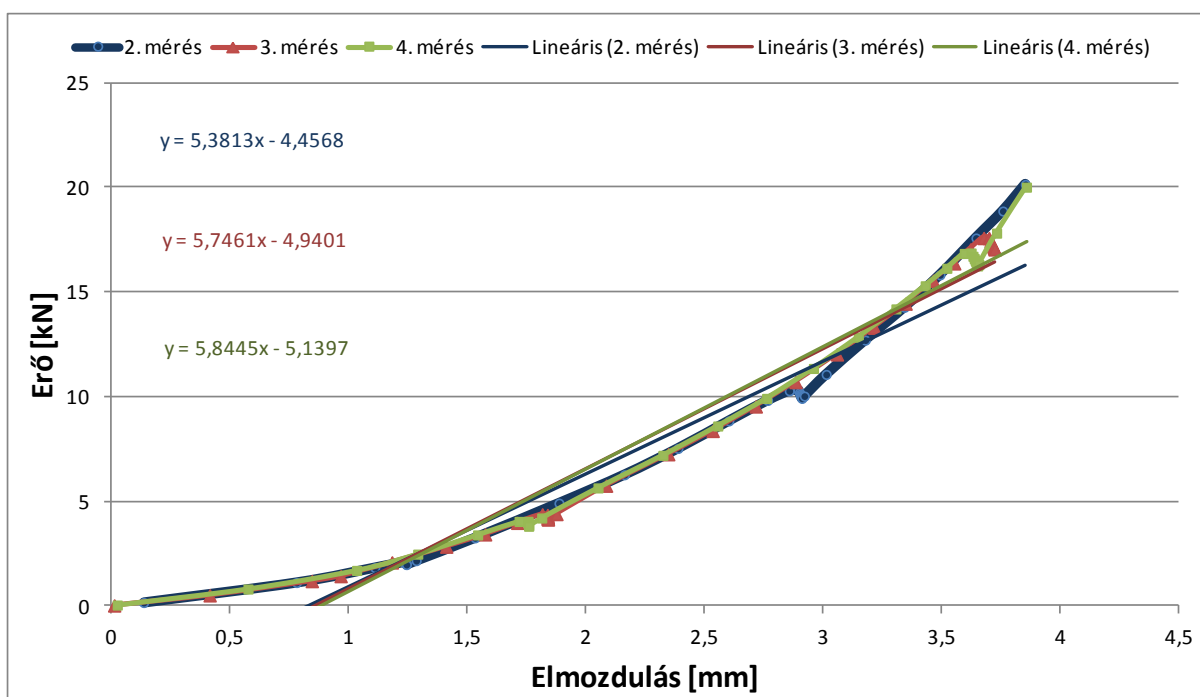
17. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén)



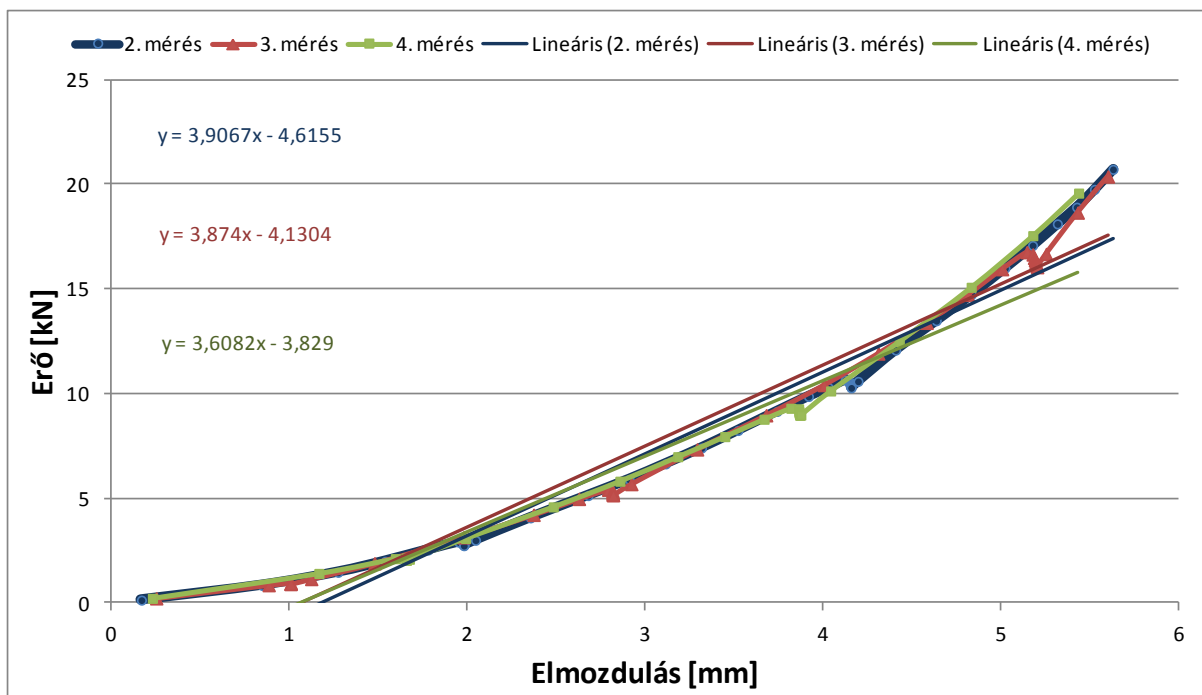
18. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén)



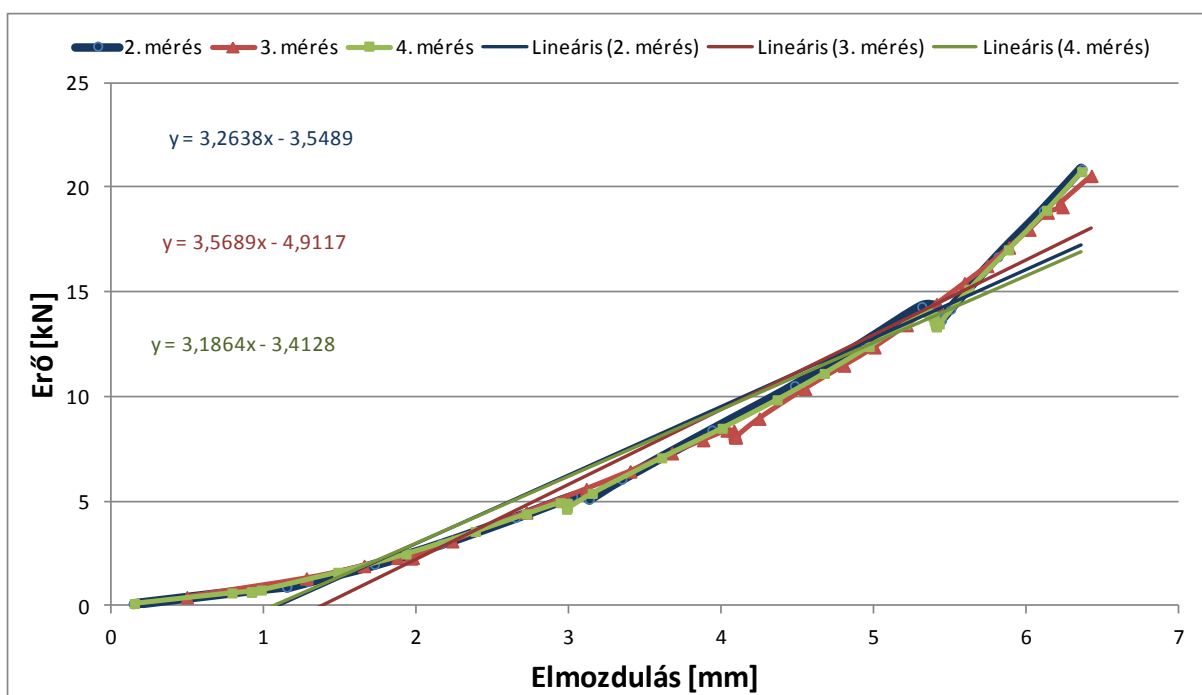
19. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén)



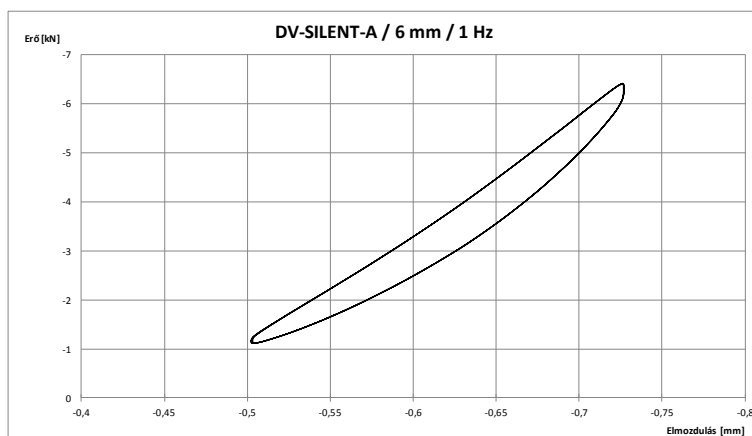
20. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6+12=18 mm vastagság esetén)



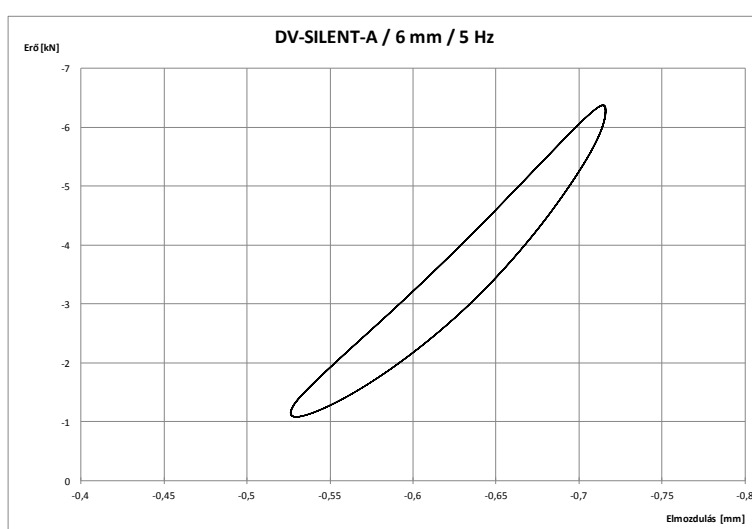
21. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén)



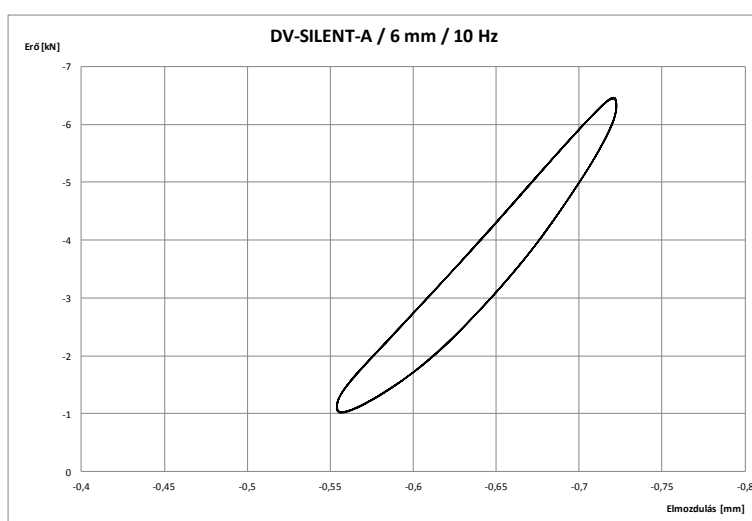
22. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez statikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén)



23. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



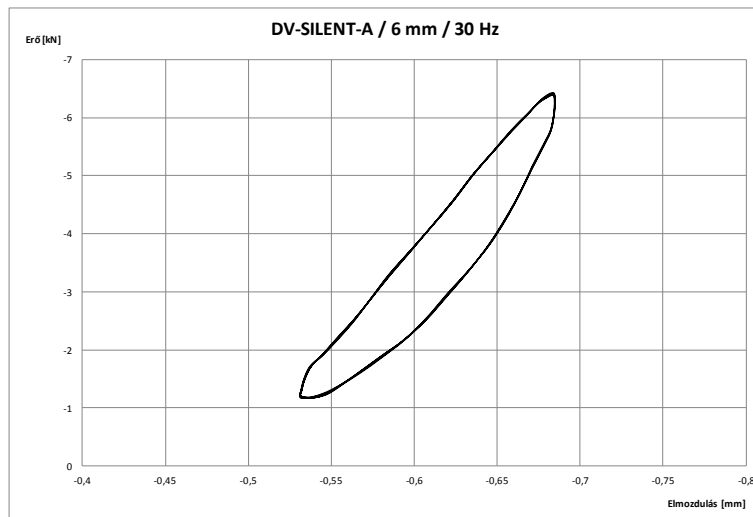
24. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



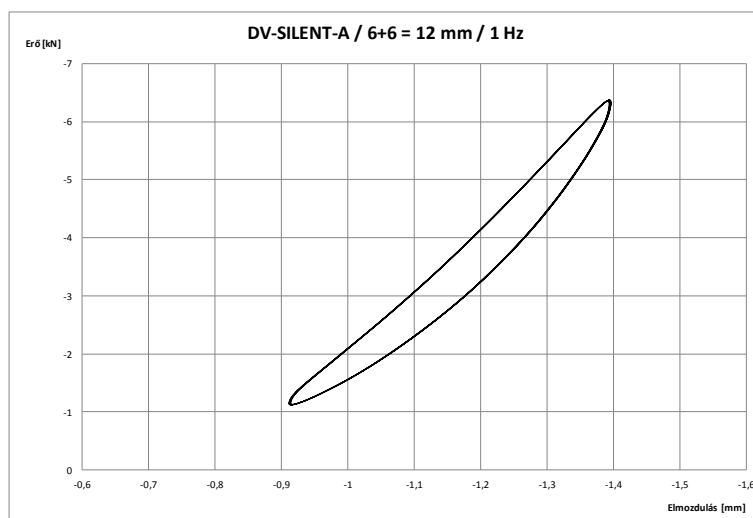
25. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



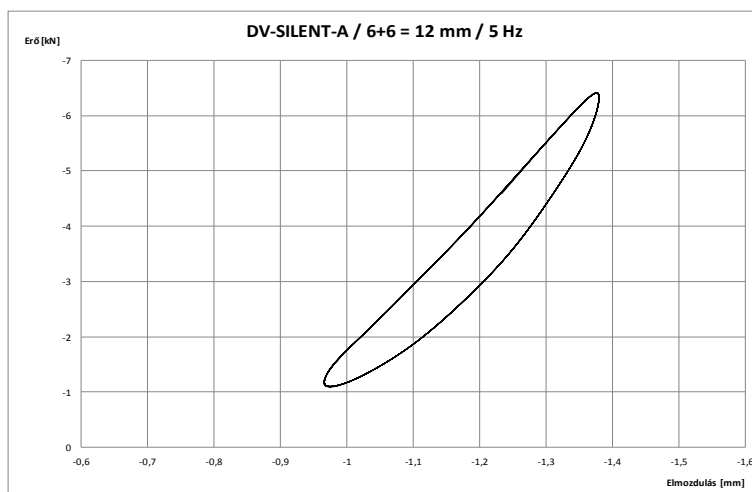
26. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



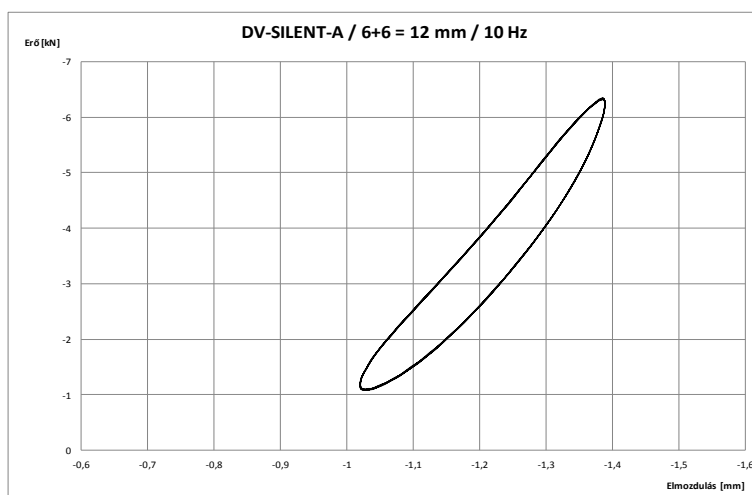
27. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



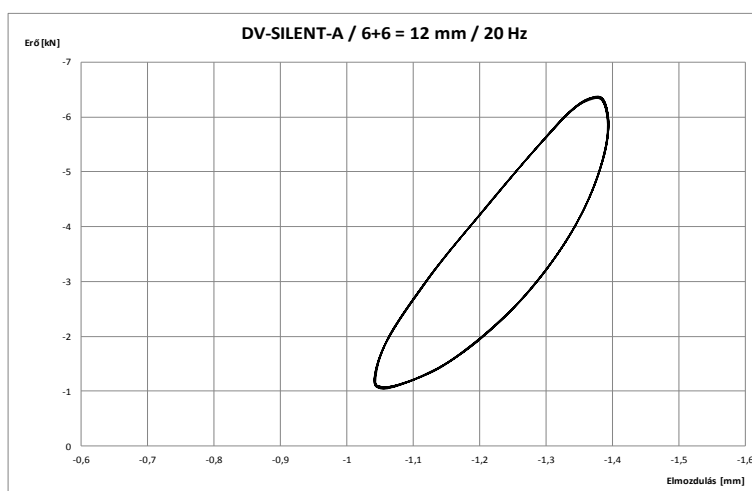
28. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



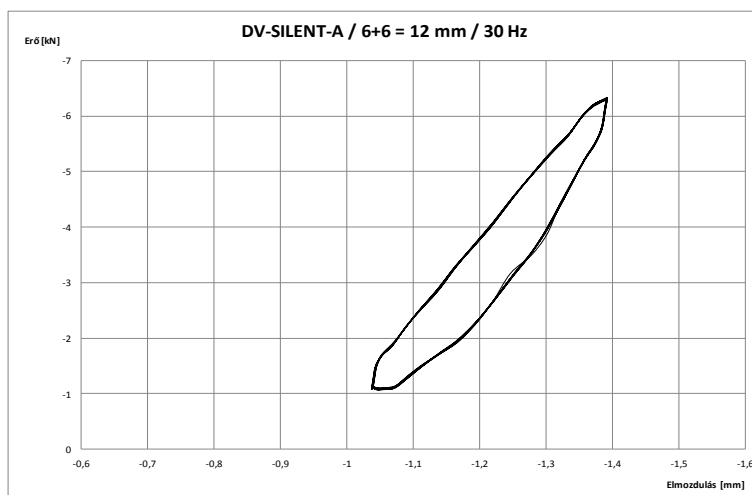
29. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



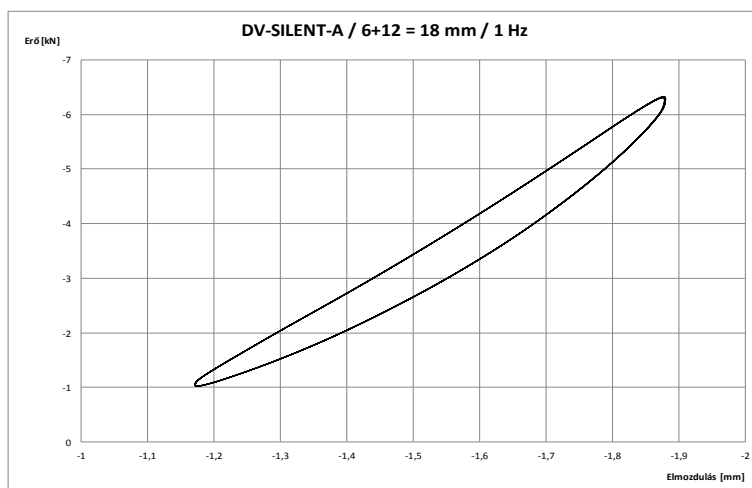
30. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



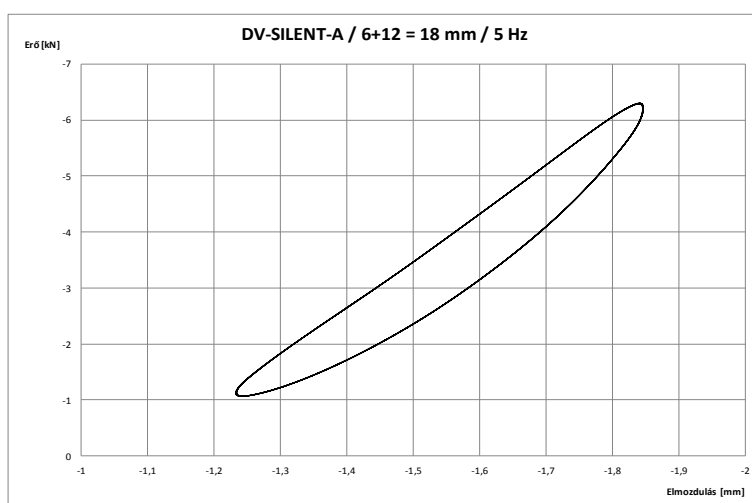
31. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



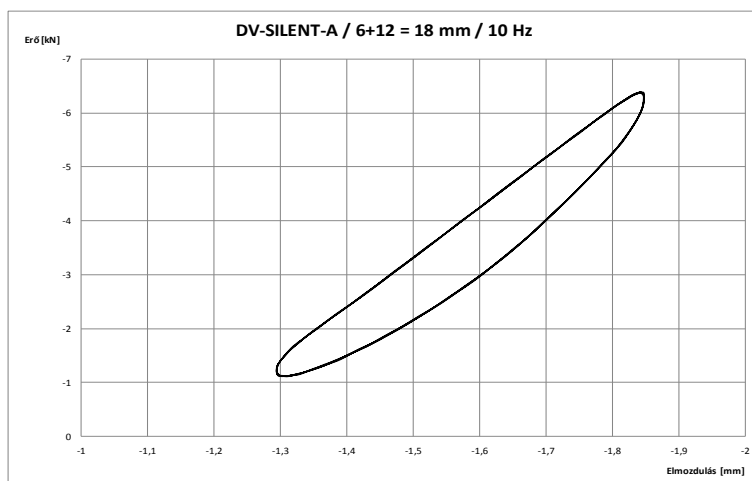
32. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



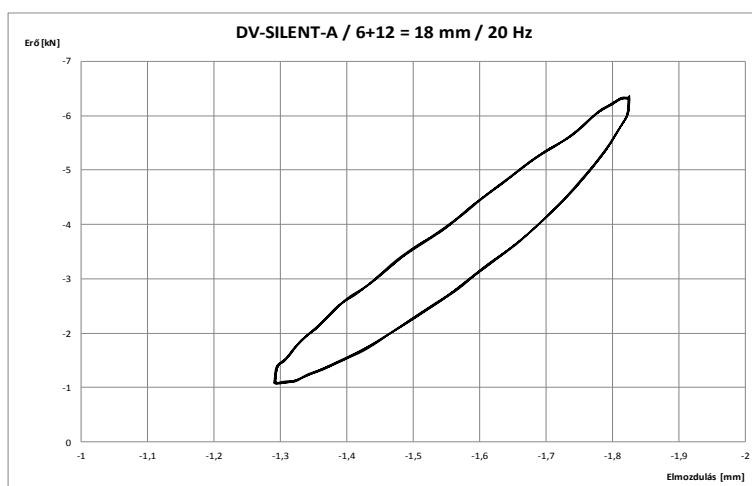
33. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



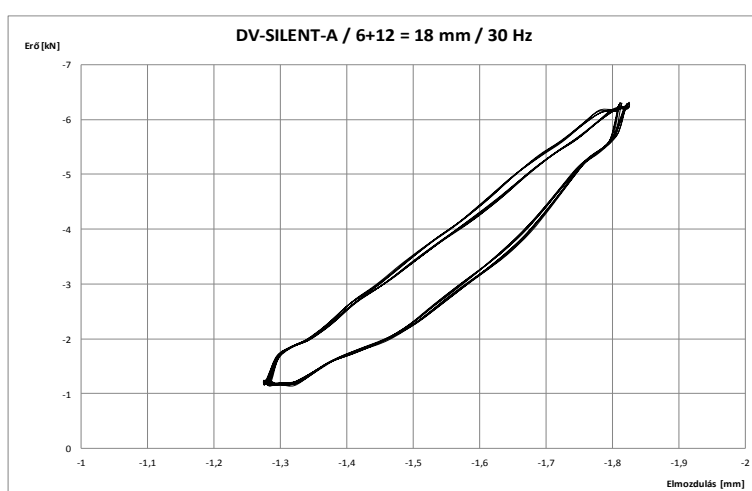
34. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



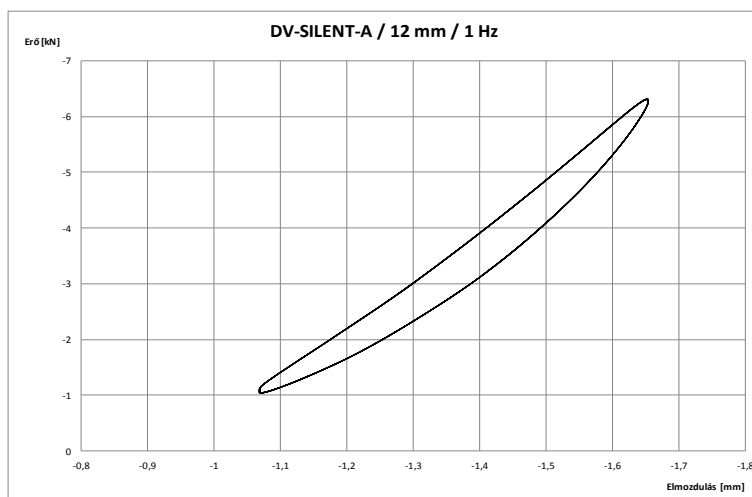
35. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



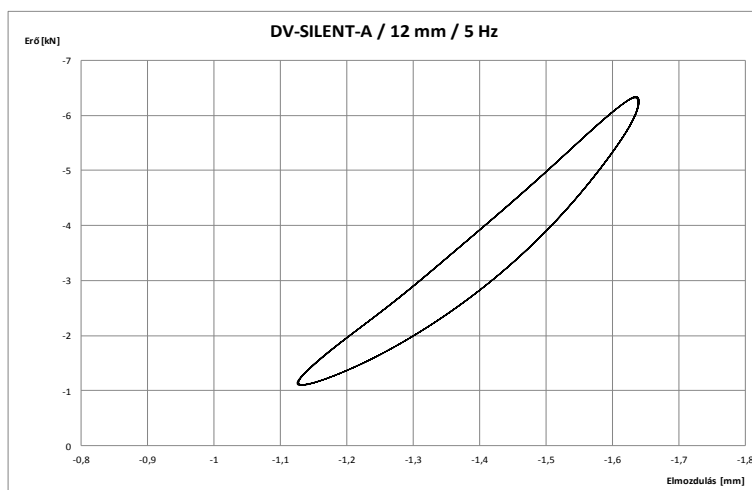
36. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



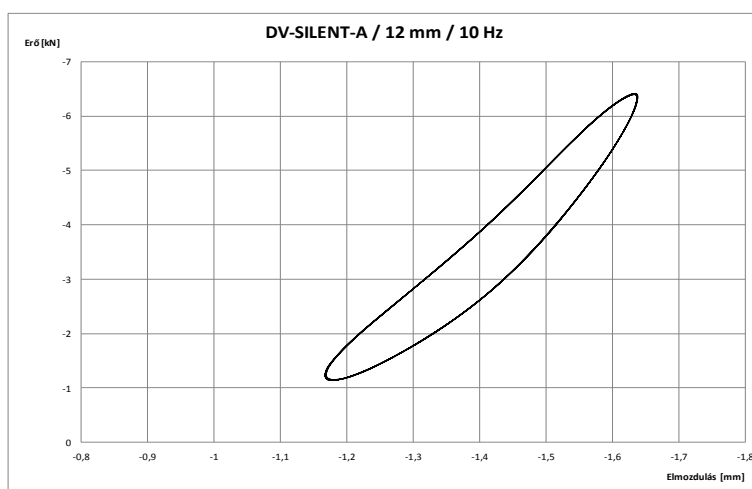
37. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



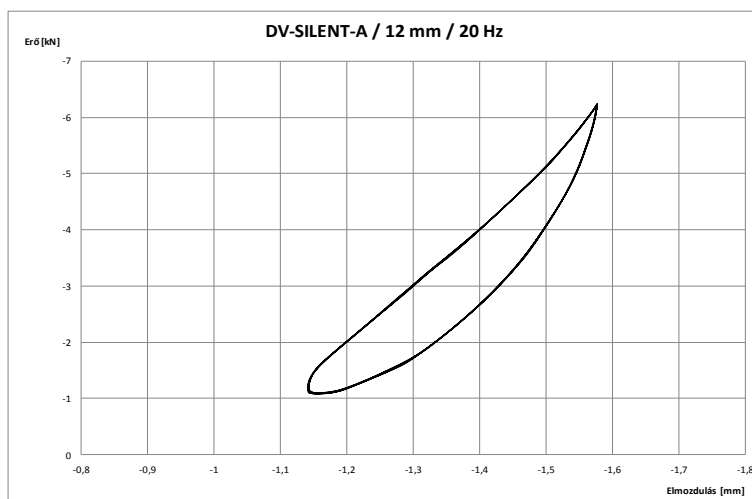
38. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



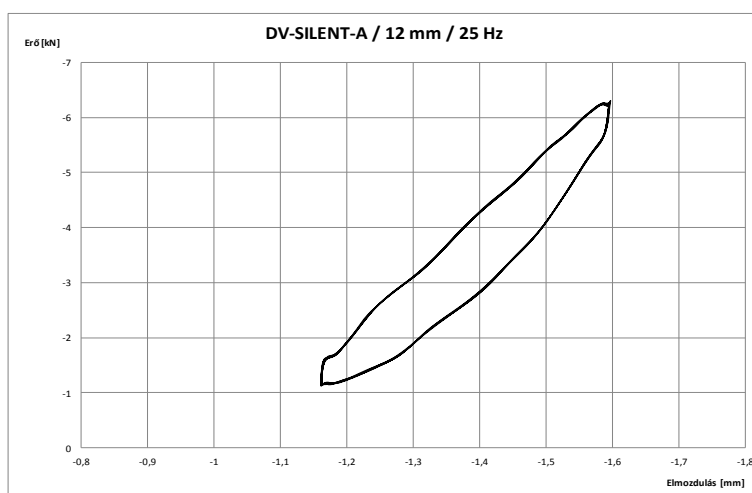
39. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



40. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



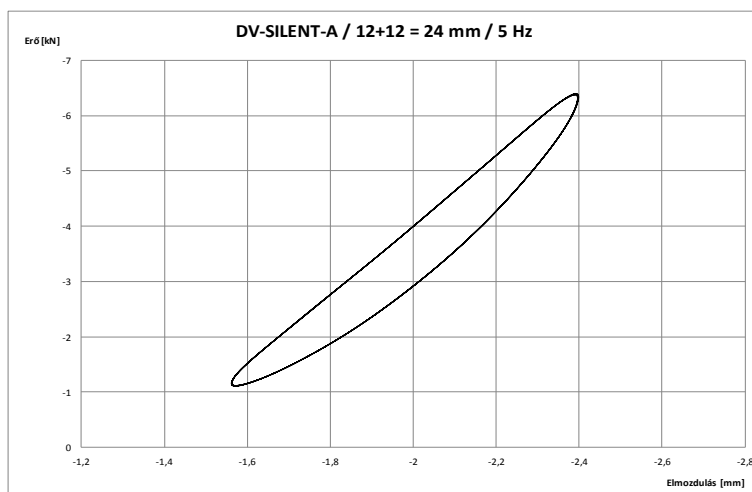
41. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



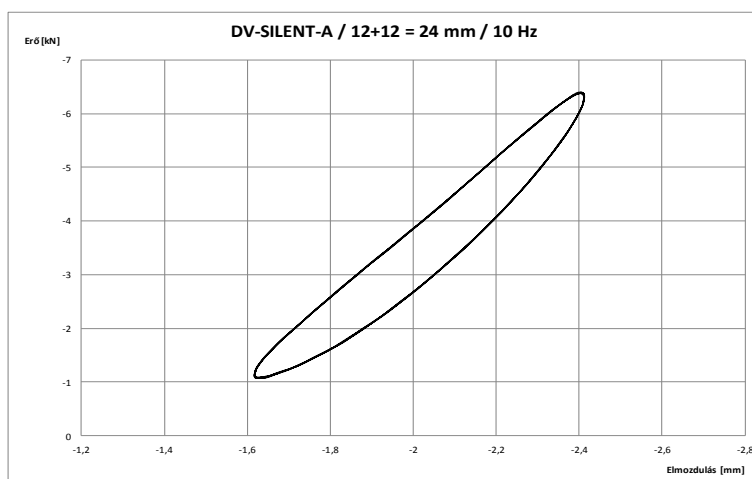
42. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 25 Hz terhelési frekvencián)



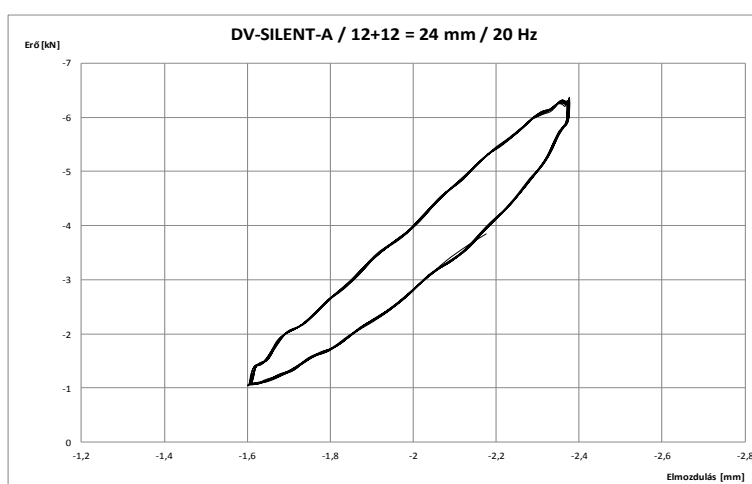
43. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



44. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



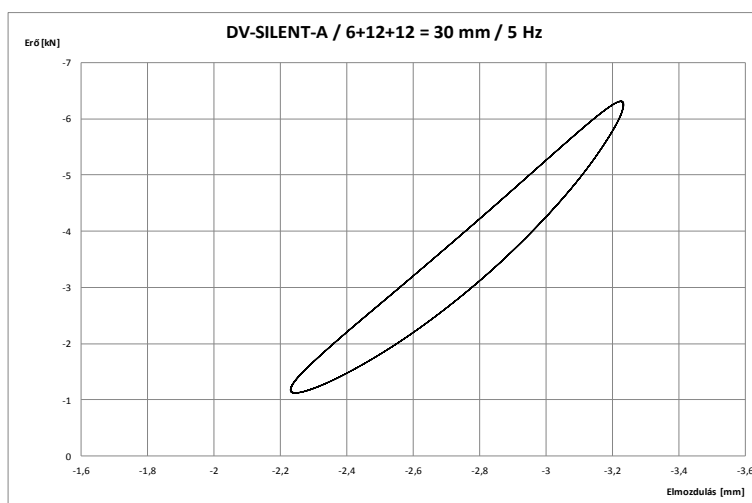
45. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



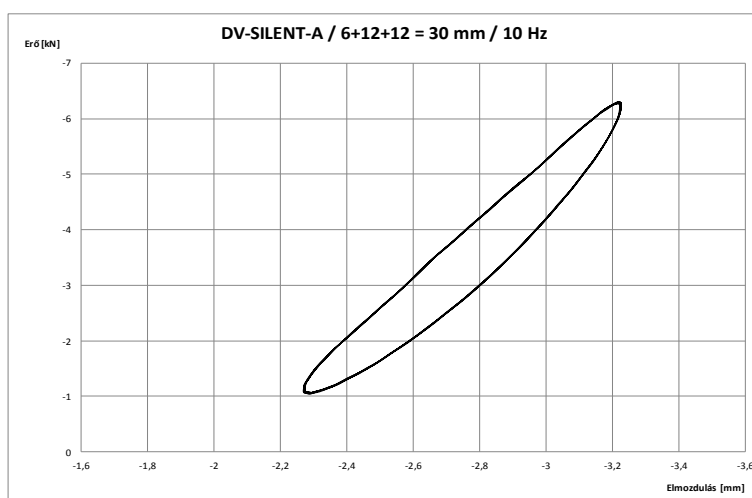
46. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



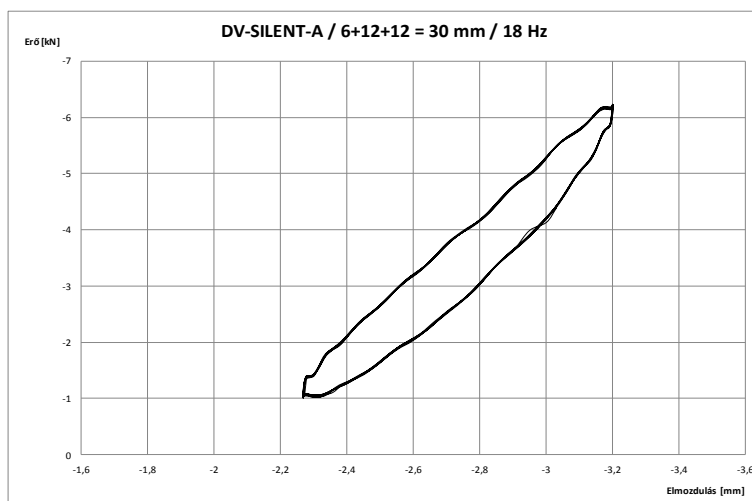
47. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 +12 = 30 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



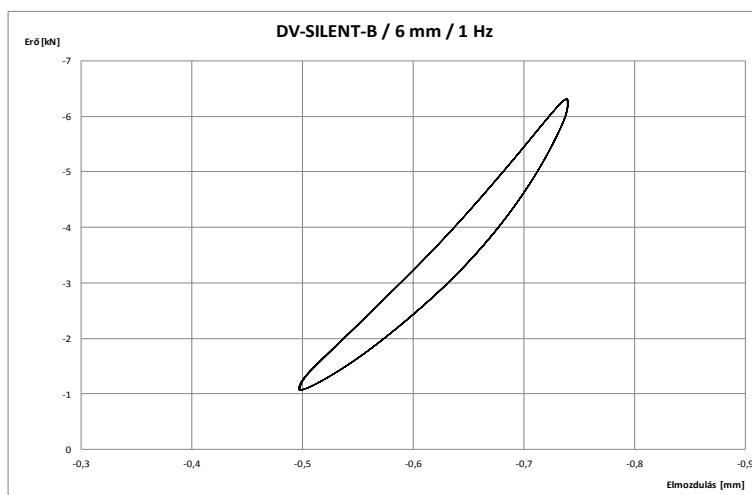
48. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 +12 = 30 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



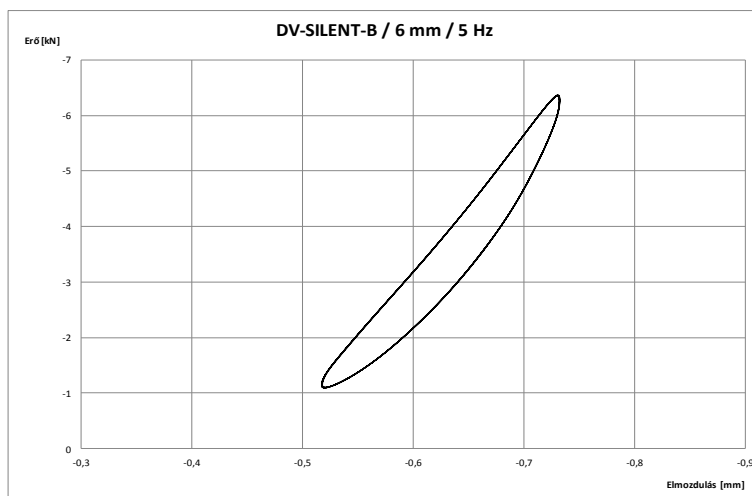
49. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 +12 = 30 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



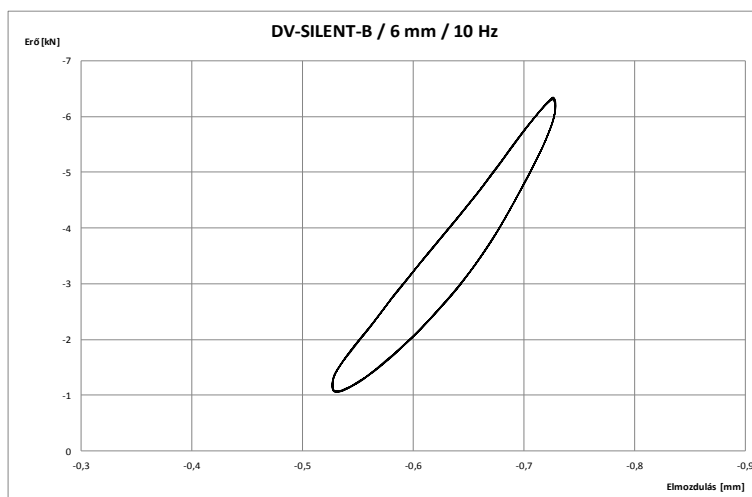
50. ábra: A DV-SILENT-A típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 + 12 = 30 mm vastagság esetén, 18 Hz terhelési frekvencián)



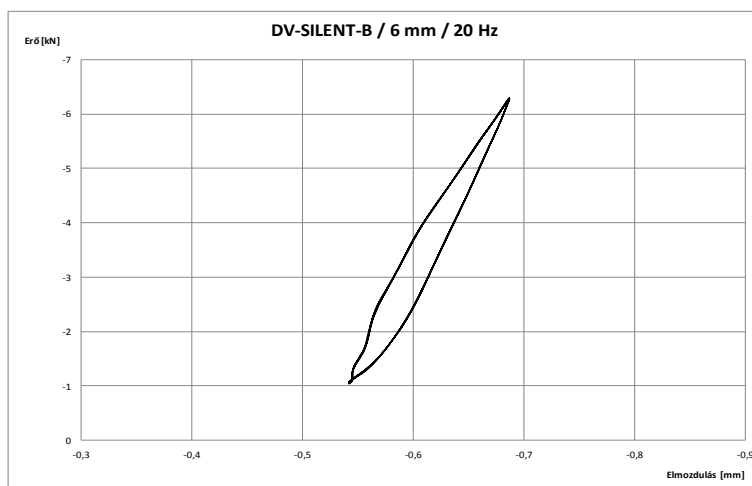
51. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



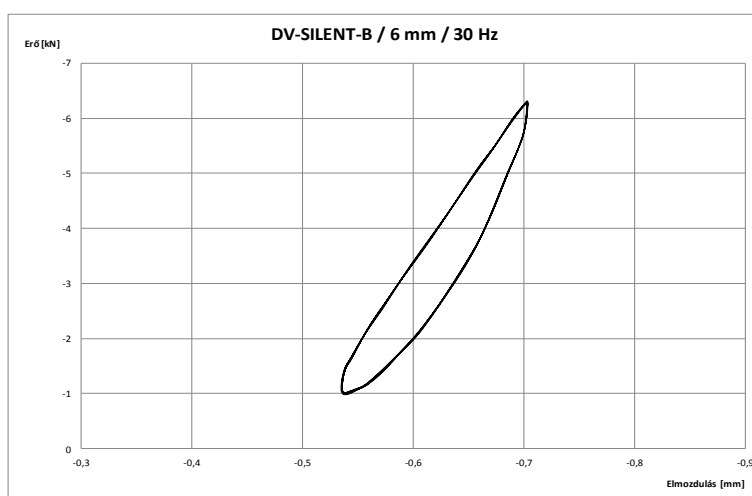
52. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



53. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



54. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



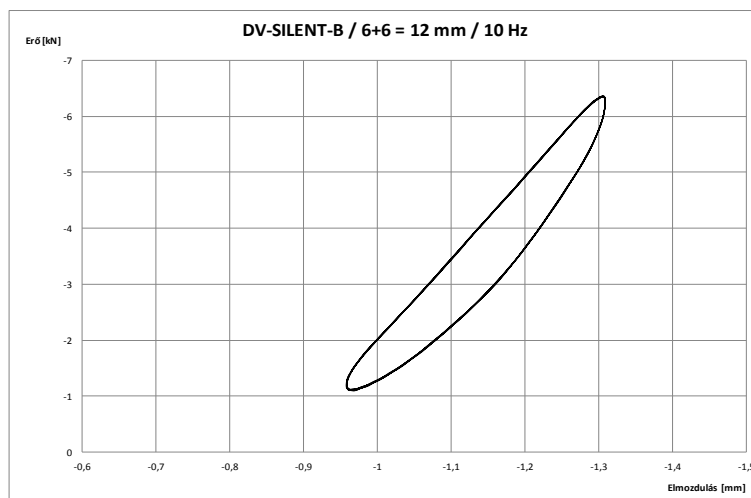
55. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



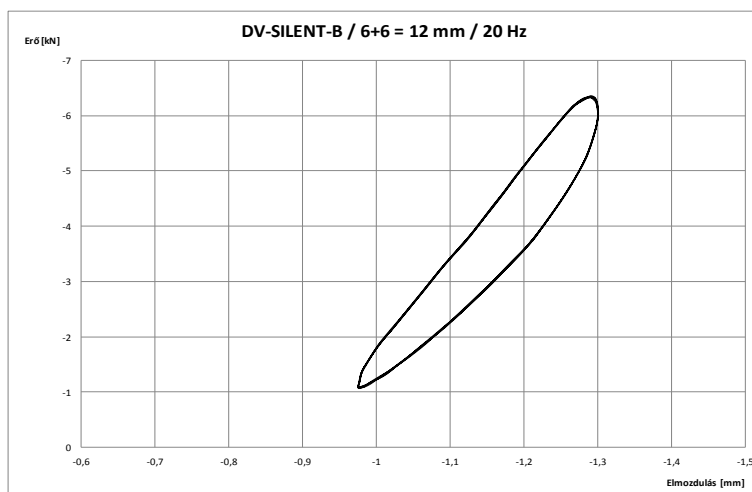
56. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



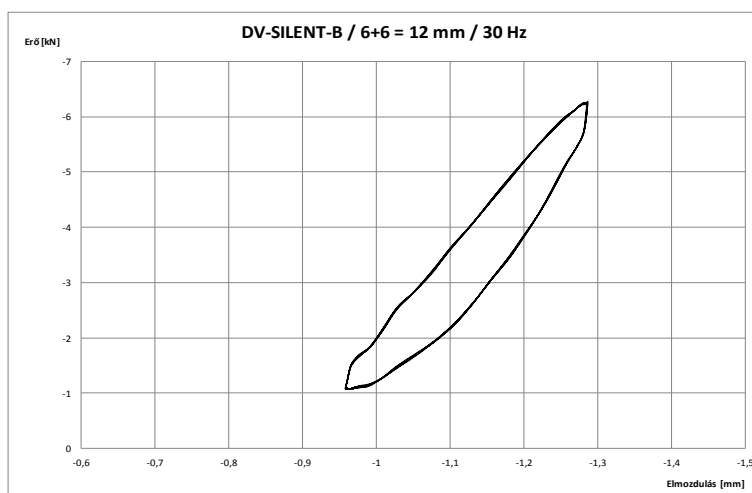
57. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



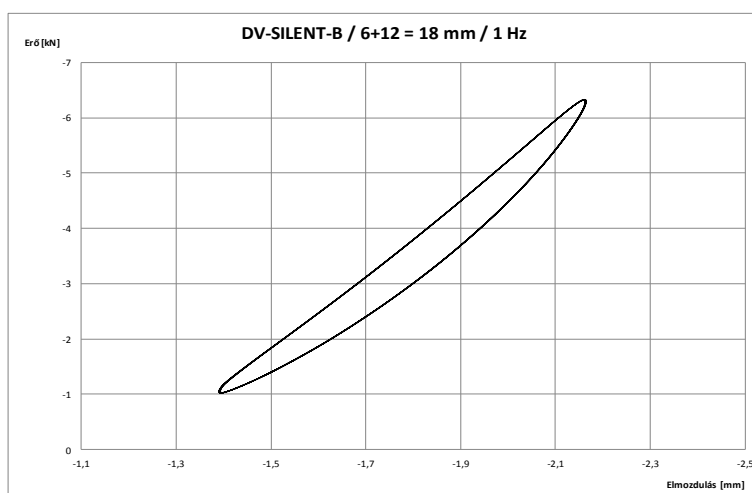
58. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



59. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



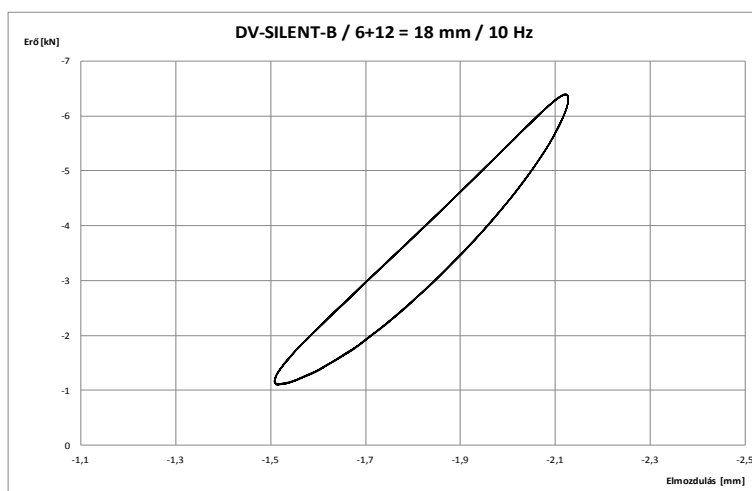
60. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 6 = 12 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



61. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



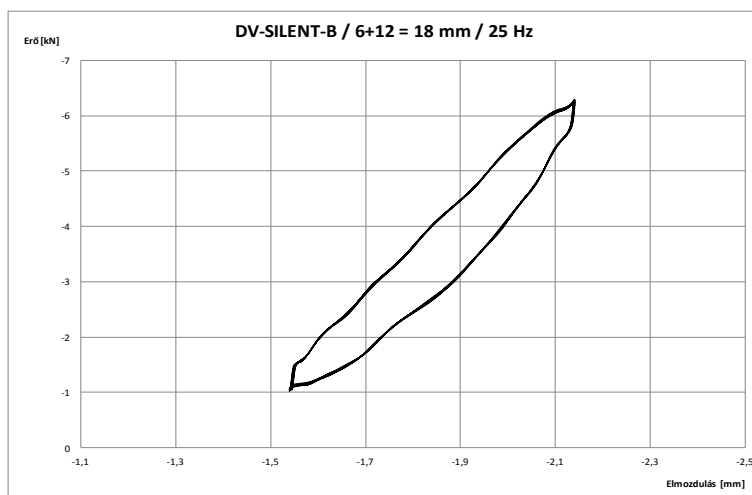
62. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



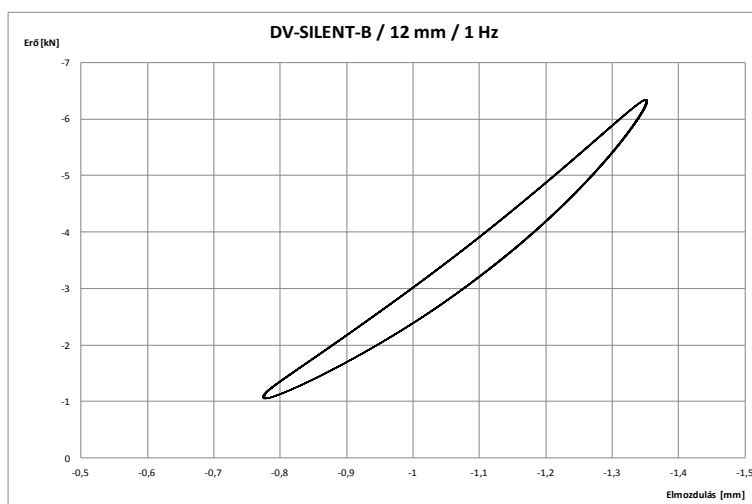
63. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



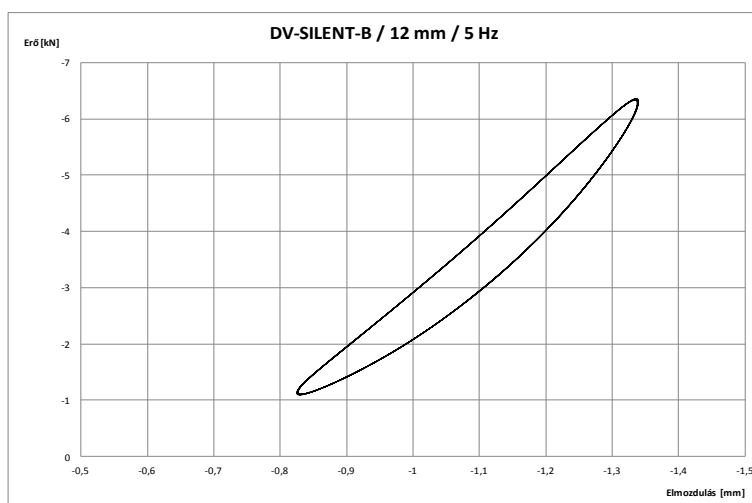
64. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



65. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (6 + 12 = 18 mm vastagság esetén, 25 Hz terhelési frekvencián)



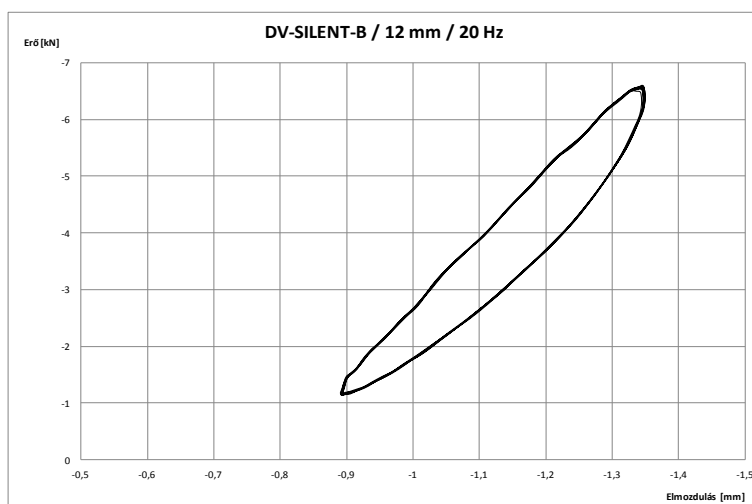
66. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



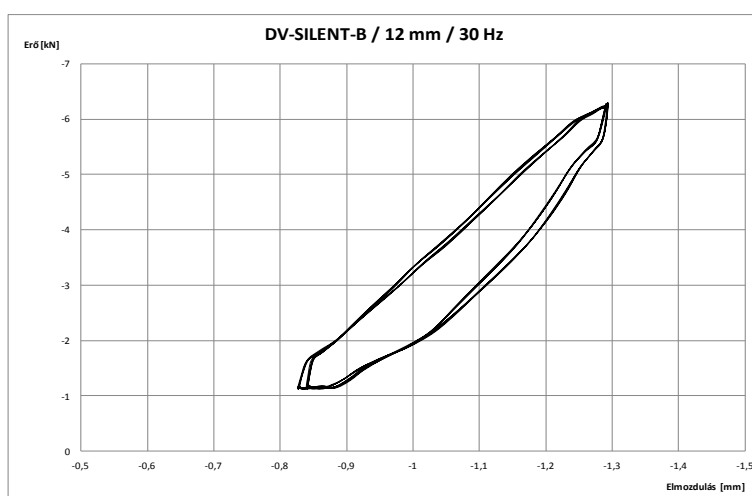
67. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-
elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



68. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



69. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 20 Hz terhelési frekvencián)



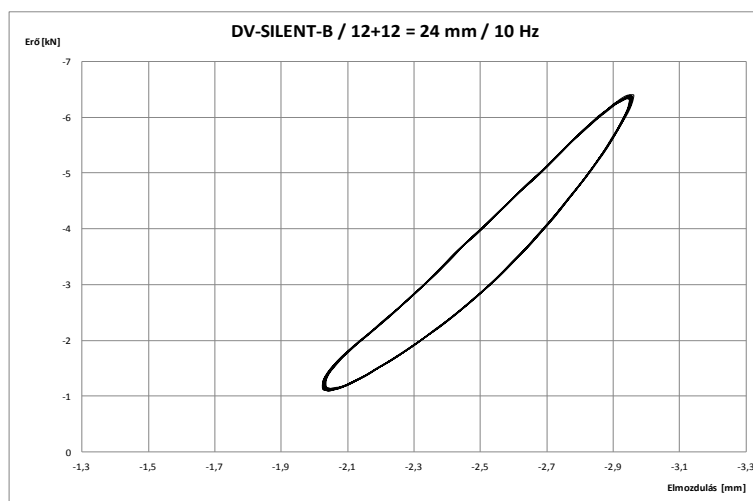
70. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 mm vastagság esetén, 30 Hz terhelési frekvencián)



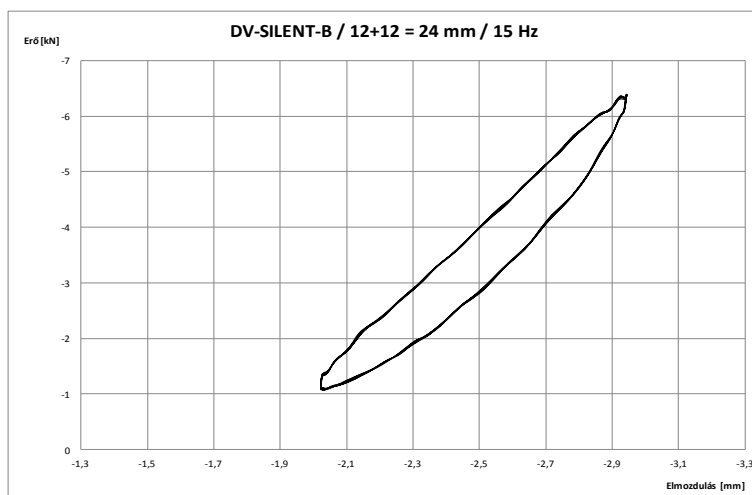
71. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



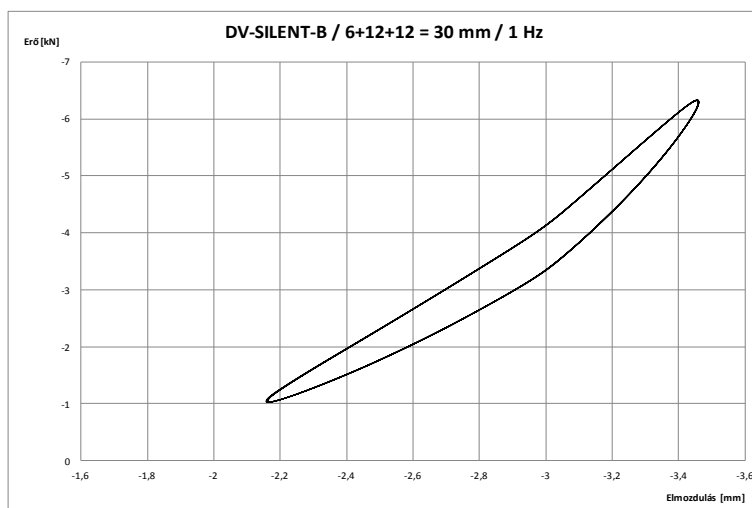
72. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



73. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



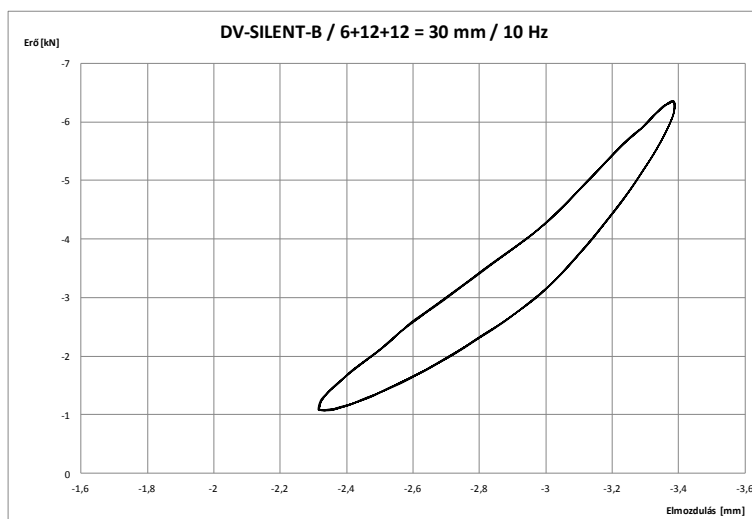
74. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (12 + 12 = 24 mm vastagság esetén, 15 Hz terhelési frekvencián)



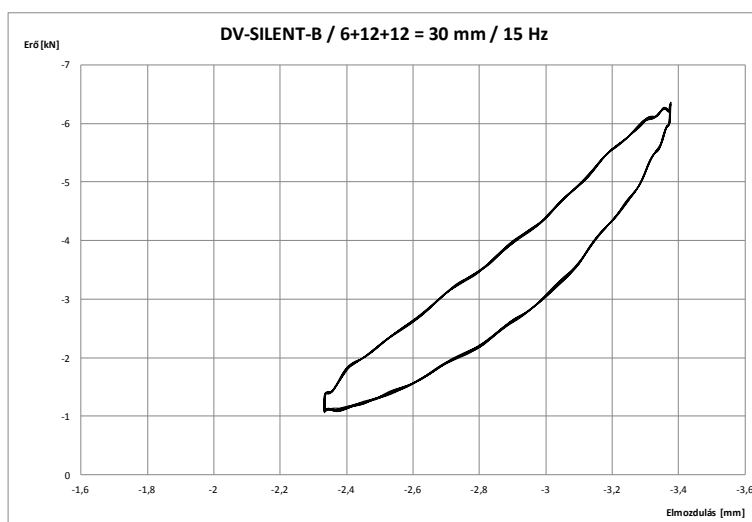
75. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén, 1 Hz terhelési frekvencián)



76. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén, 5 Hz terhelési frekvencián)



77. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén, 10 Hz terhelési frekvencián)



78. ábra: A DV-SILENT-B típusú gumilemez dinamikus rugalmasság-vizsgálata során felvett erő-elmozdulás diagramok (6 + 12 + 12 = 30 mm vastagság esetén, 15 Hz terhelési frekvencián)

8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Stratégiai zajtérkép készítése makroszkopikus közúti közlekedési modellt alkalmazó szoftverrel - „IFFK 2012” - Budapest, 2012
<http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/2012/pages/program/papers/010.pdf>
- [2] Bocz Péter – Diplomamunka, 7. fejezet: Pályaszerkezetek méretezési eljárásai
http://www.uvt.bme.hu/targyak/v_psz/v_psz_bp/v_psz_bp_7.pdf
- [3] Microsoft Office - Trend- és átlagvonal felvétele diagramban
<http://office.microsoft.com/hu-hu/excel-help/trend-es-atlagvonal-felvetele-diagramban-HA102809798.aspx?CTT=1>
- [4] MÁVÉPCELL Kft.: Vasúti alépítményi földmű kialakítása, tervezése-építése – tervezet, 2008, 12-13. old.
- [5] Műszaki megfeleléségi vizsgálat és igazolás a DV-SILENT rugalmas rezgéscsillapító lemezek tömeg-rugó rendszerű vasúti pályaszerkezetekben történő alkalmazásával kapcsolatban - FAMÍLIA Kereskedelmi és Szolgáltató Bt. – Budapest, 2012.