

Siklócsapágyazású fogaskerék-hajtómű rezgésvizsgálata a VÉRT-nél

Péczely György (A.A. Stádium Kft.)

Bevezetés

A rezgésvizsgálatoknak különösen érdekes területei a siklócsapágyazású berendezések és a fogaskerekes hajtóművek.

Az előbbieknél sokáig erőteljes volt az a nézet, miszerint siklócsapágyazású berendezéseket eredményesen csak érintkezésmentes szondával lehet vizsgálni. Az utóbbi évek gyakorlata mind inkább rációfól erre a nézetre.

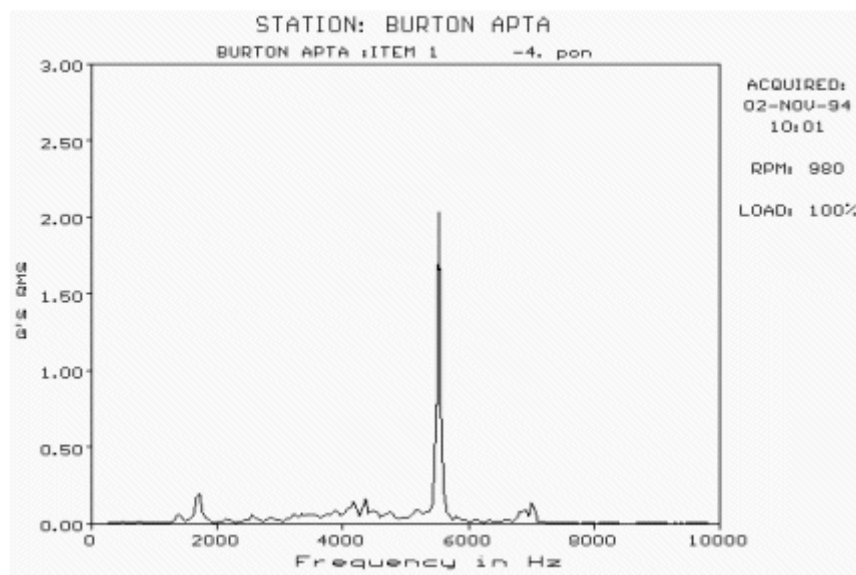
A fogaskerekes hajtóműveknél nagy szerepe van az oldalsávok és az időjelek analízisének is, tehát vizsgálatuk sokban eltér a hagyományos rezgésvizsgálati megközelítéstől.

Az előadásban szereplő siklócsapágyazású fogaskerekes hajtómű vizsgálata tehát kétszeresen is érdekes feladat elé állította a szerzőt és kollégáit. Az e gépnél szerzett tapasztalatokat ismerteti e munka.

A siklócsapágyak hibáiról

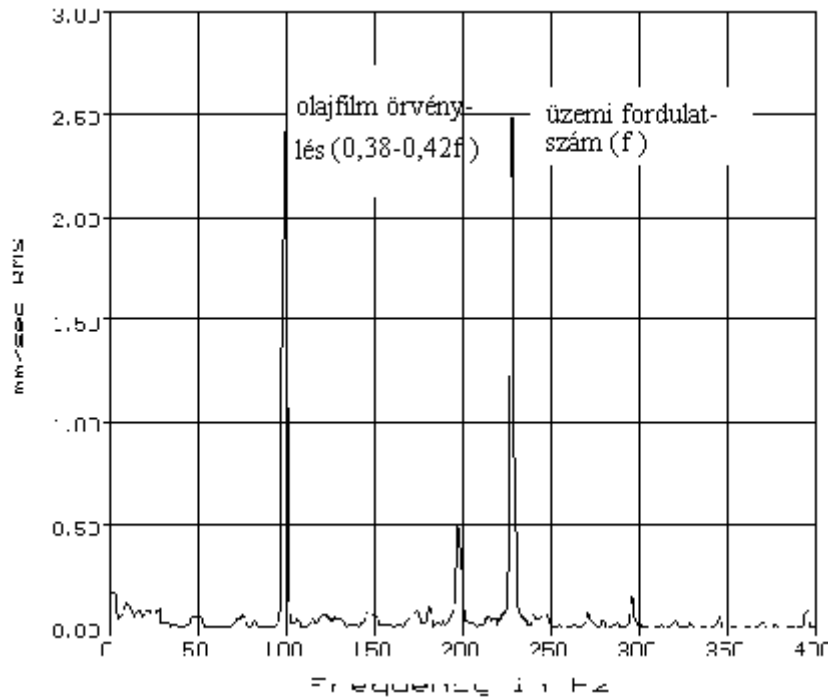
Három típusú siklócsapágyhibával talákoztunk méréseink során: berágódás, olajfilm örvénylés és hézagnövekedés jellegűekkel.

A csapágyfémnél keletkező berágódások, a vegyes súrlódás kialakulása az 1. ábrán látható módon jelentkezik a rezgési spektrumban. A 2-10 kHz-es frekvenciatartományban egy diszkrét, 10-100 m/s²-magas csúcs jelentkezik a berágódás vagy vegyes súrlódás (mikrohegedések) létrejöttékor.



1. ábra A siklócsapágyak berágódási hibája esetén jellegzetes a 2-8 kHz-s tartományban megjelenő diszkrét csúcs

Az *olajfilm örvénylés* elsősorban erőművi nagyberendezések és turbógépek hibája. Erőteljes rezgéssel jár (hasonló intenzitású, mint a kiegyensúlyozatlanság), az üzemi fordulatszám 42-48%-án jelentkezik, radiális irányban. Önmagában nem erősödő hiba, ugyanakkor a siklócsapágyfémnél eróziós kihordásának és ennek következtében haváriáknak gyakori kiváltó oka, ezért súlyos üzemleállási veszélyt jelent. Megszüntetés konstrukciós módosítással (a csapágy felületi terhelésének növelésével, pl. hagyományos csapágy helyett citromcsapágy beépítésével) vagy a hordozó olaj viszkozitásának növelésével érhető el. A 2. ábra az olajfilmörvénylés spektrumban megjelenését mutatja.



2. ábra Siklócsapágnál jelentkező olajfilmörvénylés és a rezgési spektrum

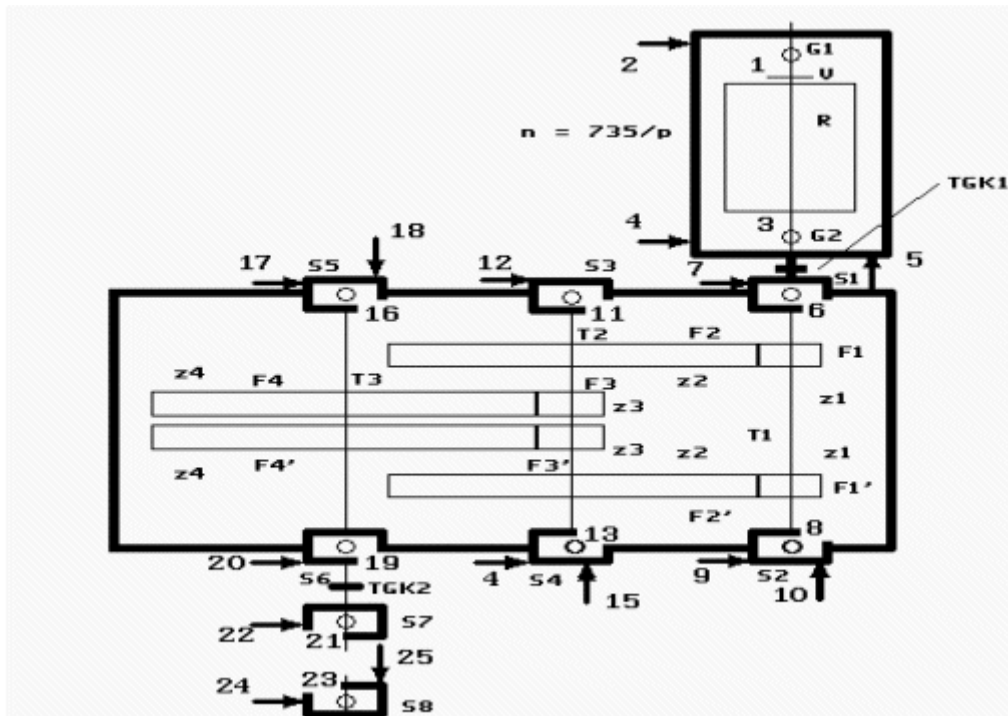
A harmadik típusú siklócsapágy hiba a *csapágyhézag megnövekedése*. E siklócsapágy hiba kimutatása okozza a legtöbb problémát a gyakorló rezgésdiagnosztának. Sokáig az elmélet is úgy tartotta, hogy ez a hiba az abszolút rezgést mérő érzékelőkkel gyakorlatilag kimutathatatlan.

J. I. Taylor kimutatta, hogy a forgási frekvencia magasabb rendű harmonikusai a kopás és az erősödő moduláció következtében megnövekednek, jelezve a hibát, továbbá fogaskerék kapcsolatoknál a csapágyhézag növekedése a fogkapcsolódási frekvencia mellett jelentkező alsó oldalsávok amplitúdójának növekedésével jár. [1]

Az erősödő rezgésszintet radiális irányban észlelhetjük a csapágyházon, mértéke az egyensúlyozatlanságénál 1-2 nagyságrenddel kisebb. (Többek közt ez is a magyarázata annak, hogy miért nem elégséges az értékelés során a szabvány alapján a V_{eff} értékre vagy a 2-3 legnagyobb csúcs megfigyelésére támaszkodni.)

A vizsgált berendezés leírása

A VÉRT Márkushegyi Bányauzemben működő kasemelő hajtóművét egy 600 kW-os villamos motor hajtja. A berendezés feladata a személy és teherszállítás biztosítása. A berendezés esetleges kiesése a bánya működése szempontjából igen súlyos következményekkel jár.



A 3. ábra a villamos motor-hajtómű kinematikai vázlatát mutatja a mérési pontokkal.

3. ábra Villamos motor-fogaskerekes hajtómű kinematikai vázlata és a mérési pontok

Az 1. táblázat a fogaskerékajtás által keltett várható frekvenciákat mutatja be.

1. táblázat A fogaskerékszámítás outputja

Fogaskerék frekvenciák OROSLÁNY (RPM= 735)

F1 (fogsám az 1. keréken): 28
 F2 (fogsám a 2. keréken): 136
 Fogsám arány (F2 / F1): 4.8571

Harmonikusok	seb.1	seb. 2	kapcsolódás
1	12.250	2.5221	343.00
2	24.500	5.0441	686.00
3	36.750	7.5662	1029.0
4	49.000	10.088	1372.0

Fogkapcsolódás plusz oldalsávok				
Harmonikus	1. sebességgel		2. sebességgel	
1	343.00		343.00	
	330.75	355.25	340.48	345.52
	318.50	367.50	337.96	348.04
2	686.00		686.00	
	673.75	698.25	683.48	688.52
	661.50	710.50	680.96	691.04
3	1029.0		1029.0	
	1016.7	1041.2	1026.5	1031.5
	1004.5	1053.5	1024.0	1034.0
4	1372.0		1372.0	
	1359.7	1384.2	1369.5	1374.5
	1347.5	1396.5	1367.0	1377.0

* A 2. és 3. fogaskerék a 2. tengelyen 2.522059 Hz-cel forog

Fogaskerék frekvenciák OROSZLANY (RPM= 735)

F3 (fogsám a 3. keréken): 29
 F4 (fogsám a 4. keréken): 115
 Fogkapcsolódási arány (F4/ F3): 3.9655

Harmonikusok	seb.1	seb. 2	kapcsolódás
1	2.5221	0.6360	73.140
2	5.0441	1.2720	146.28
3	7.5662	1.9080	219.42
4	10.088	2.5440	292.56

Fogkapcsolódás plusz oldalsávok				
Harmonikus	1. sebességgel		2. sebességgel	
1	73.140		73.140	
	70.618	75.662	72.504	73.776
	68.096	78.184	71.868	74.412
2	146.28		146.28	
	143.76	148.80	145.64	146.92
	141.24	151.32	145.01	147.55
3	219.42		219.42	
	216.90	221.94	218.78	220.06
	214.37	224.46	218.15	220.69
4	292.56		292.56	
	290.04	295.08	291.92	293.19
	287.51	297.60	291.29	293.83

A fogkapcsolódási frekvencia körüli oldalsávok diagnosztikai jelentősége

Néhány géphiba diszkrét frekvenciákat gerjeszt. Például, ha csupán kiegyensúlyozatlan a forgórész, akkor az a rotor forgási frekvencián gerjeszt rezgést. Minden ciklus során azonos az amplitúdó és jellege szinuszos. A fogkapcsolódási frekvencia megegyezik a fogak számának és a fordulathoz a szorzatával. A fogkapcsolódási frekvencia szintén szinuszos.

Néhány géphiba harmonikusokat gerjeszt. A rotor lazaság jó példa erre. Amennyiben a rotor fellazul és nem fogja le a szíj vagy más elem, a rotor sebesség harmonikusai megjelennek. A harmonikusok száma a lazaság mértékére utal.

Egyéb gépproblémák torzult hullámformákat eredményeznek és az FFT eredményeképp megjelenik a harmonikus, ami a torzulást okozta. Az egytengelyűségi hiba, a hajlott tengely, a lazulás néhány formája és néhány fogaskerék excentricitás jó példák erre.

Az excentrikus és fellazult kerekek modulációt okoznak. A fogkapcsolódási frekvenciát gyakran egy vagy több fogaskerék forgási frekvenciája vagy annak többszöröse modulálja. A modulációk oldalsávokat eredményeznek a magas vagy az alacsony frekvenciás vagy mindkét oldalon. Az oldalsávok elhelyezkedése és amplitúdója a modulációs folyamattól függ, a moduláció jellegétől, a hordozó és a modulátor közötti fáziskapcsolattól, a hiba jellegétől és mértékétől.

Az excentricitási problémák fázisban vannak. Például a hajlott tengely kiegyensúlyozatlanságot eredményez és a jel eltorzul. A tengely meghajlása fázisban van a kiegyensúlyozatlansággal. A fogaskerék excentricitási problémák szintén fázisban vagy állandósult fázis helyzetben vannak. Ezek a problémák a magasfrekvenciás oldalon lévő oldalsávok amplitúdójának megnövekedését okozzák.

A fellazulás jellegű problémák, mint például a növekvő hézag fázison kívüli jelet adnak vagy változó fázis helyzetet. Például, ha a rotor laza és nem fogja le a szíj vagy tengelykapcsoló vagy hasonló, a rotor felütközik és visszalökődik a forgás közben. Mivel egyedül a lazaság szabályozza a felütközést és visszalökődést, a harmonikusok nem lesznek fázisban az alapharmonikussal vagy legalábbis fordulatanként más fázisban lesznek vagy más fáziskapcsolatban.

A fellazulás jellegű problémák az alacsonyfrekvenciás oldalsávok amplitúdójának megnövekedését okozzák.

A vizsgáló rendszer leírása

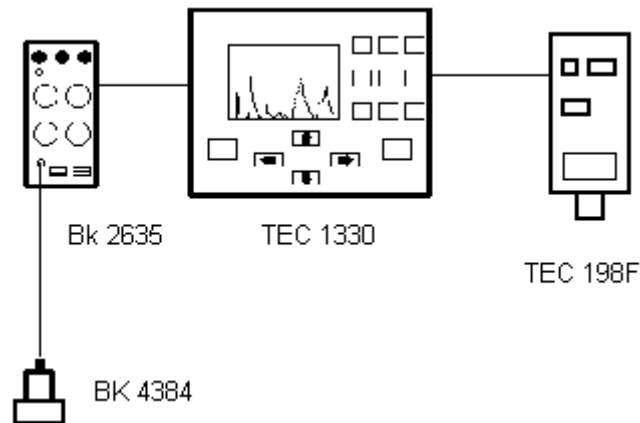
1992 vége óta a méréseket a 4. ábrán látható rendszerrel végeztük.

A rendszer elemei: **BK 4384**-es gyorsulásérzékelő (10 pC/m/s², mágneses felerősítéssel), 0,8-10 m hosszú **BK AC 0200** jelű koaxiális kábel, **BK 2635** előerősítő, **TEC 1330 Smart Meter** és a **TEC 198 F** lézeres tachométer. A rendszerhez kapcsolódik még a **TEC Intelli Trend** elnevezésű adatbázis-kezelő- és kiértékelő szoftvere.

A TEC 1330 egy olyan számítógépes mérőműszer, amelyen a rezgés technikában szokásos szinte valamennyi beállítást szoftver úton megvalósíthatjuk.

A lézeres tachométer fázis- és fordulatjelet ad 0,1 fordulat/perces pontossággal, a forgó tengelyről akár 15 méterről is képes érzékelni az optikai jelet.

A szoftver az adatbázis létrehozására, a mérés paramétereinek meghatározására, a mérőműszer útvonallal való feltöltésére, a mért adatok befogadására, megjelenítésére és trendelemzésére alkalmas. A szoftver kiegészítő részei lehetővé teszik a kiegyensúlyozást akár 6 síkban, 5 sebesség mellett, a tengelybeállítást és a mozgás animálást.



4. ábra TEC 1330 Smart Meter

A mérés lefolytatása

A vizsgálatokat az alábbi paraméterekkel végeztük el:

spektrumfelvétel az 1 - 5. és a 21-25. pontokon
 0 - 1 000 Hz között 0,625 Hz-es felbontással
 0 - 10 000 Hz között 12,5 Hz-es felbontással

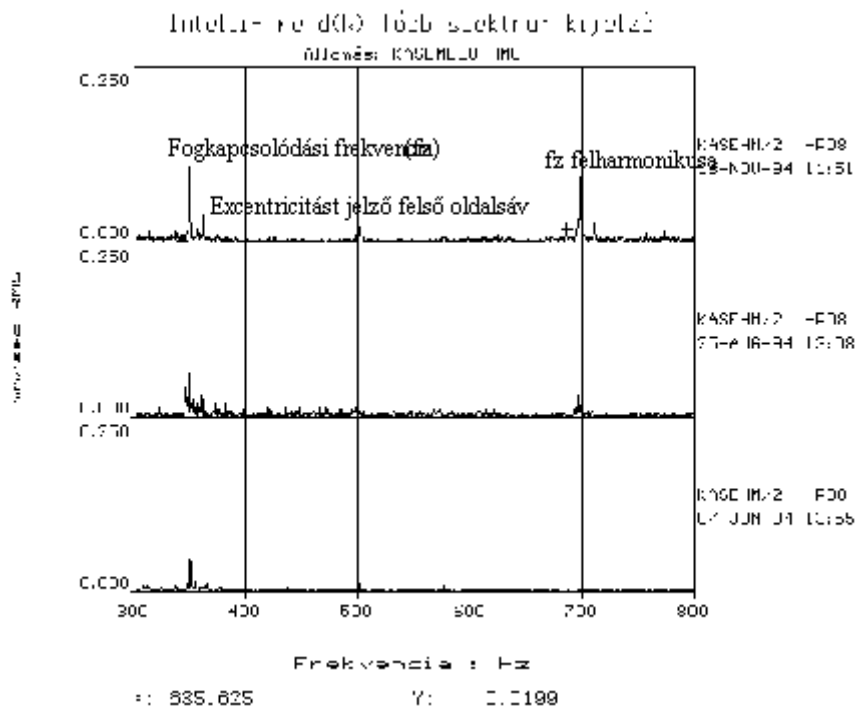
spektrumfelvétel a 6 - 20. pontok között
 0-500 Hz között 0,08 Hz-es felbontással
 0-1 000 Hz között 0,3125 Hz-es felbontással
 0 - 10 000 Hz között 3,125 Hz-es felbontással

időjel felvétel a 6-20. pontok között

1994. június 7. és 1995. február 19-e között összesen négy mérést végeztünk a berendezésen. Az 1. mérés előtt javították fel a berendezést, az ezt követő mérések célja az állapotváltozás figyelemmel kísérése volt.

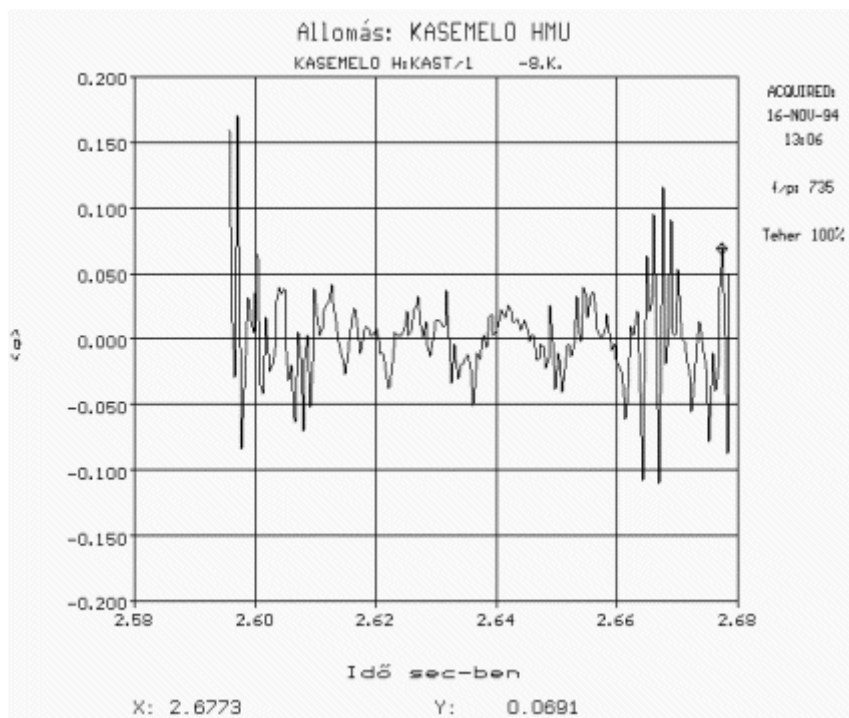
A június 7. és november 16. közötti mérési eredmények kiértékelése (részlet a mérési jegyzőkönyvből)

A legkritikusabbnak tekinthető 8. ponton a gyorstengely fogkapcsolódási frekvenciához tartozó értékben, illetve annak felharmonikusaiban, oldalsávjaiban a növekedés, mint azt az 5. ábra is mutatja.



5. ábra Szintnövekedés a fogkapcsolódási frekvencián, felső oldalsávján és felharmonikusán

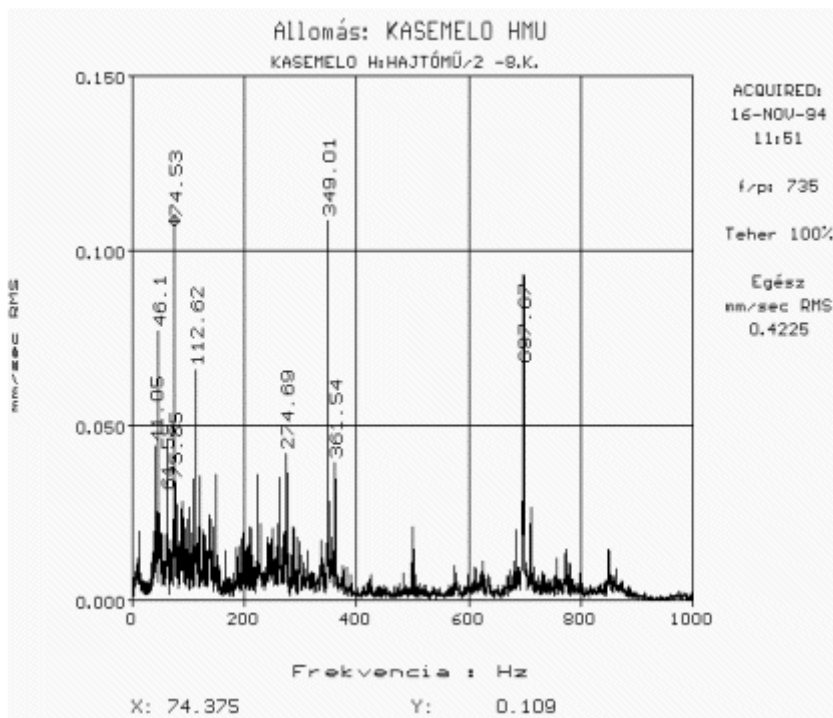
A 6. ábra ugyanezen a ponton egyetlen fordulatról felvett időjelet mutatja be, ami azt jelzi, hogy nincs olyan fogpár, ahol durva hiba, kitörés lenne.



6. ábra A gyors tengely egyetlen körfordulása során felvett időjel nem mutat foghibát

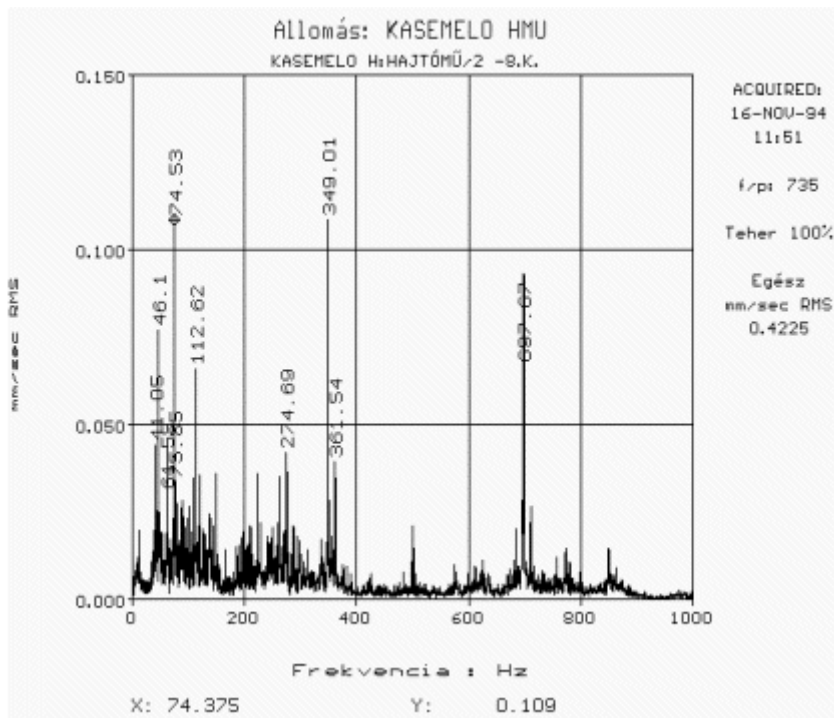
A 7. ábra a hajtómu gyors tengelyről november 16-án felvett spektrumot mutatja. Bár az abszolút rezgésértékek nem jelentősek, de jól látható a fogkapcsolódási frekvencia a gyors és a középső (349.01 Hz és 697.67 Hz), illetve a középső és a lassú tengely között is (74.53 Hz). Feltűnő, hogy a gyors és a középső

tengely közötti fogkapcsolódási frekvencia felső oldalsávja dominánsan megjelenik, míg az alsó alig.

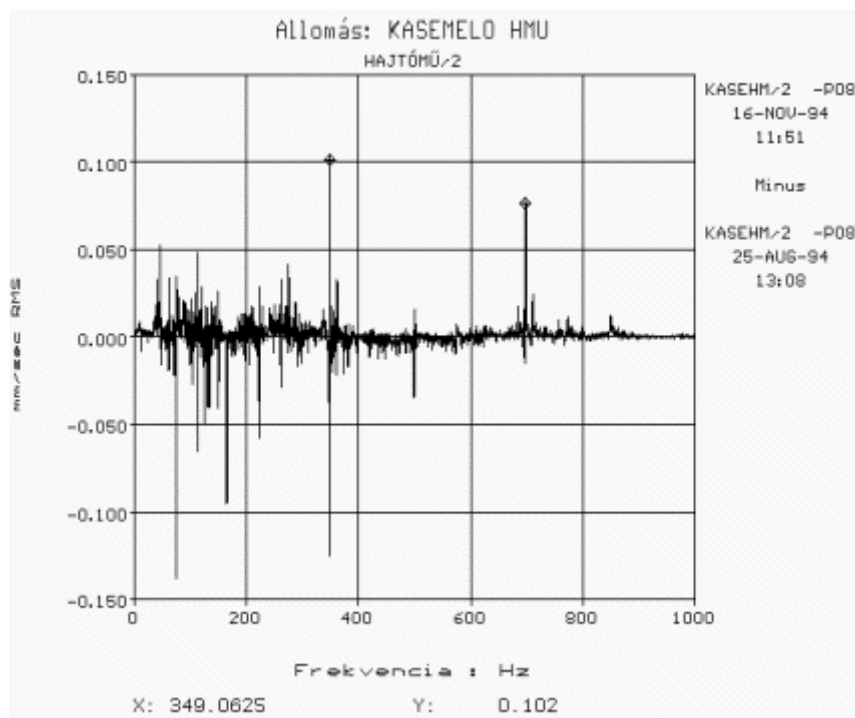


7. ábra A 8. ponton a fogkapcsolódási frekvenciák jól kivehetők

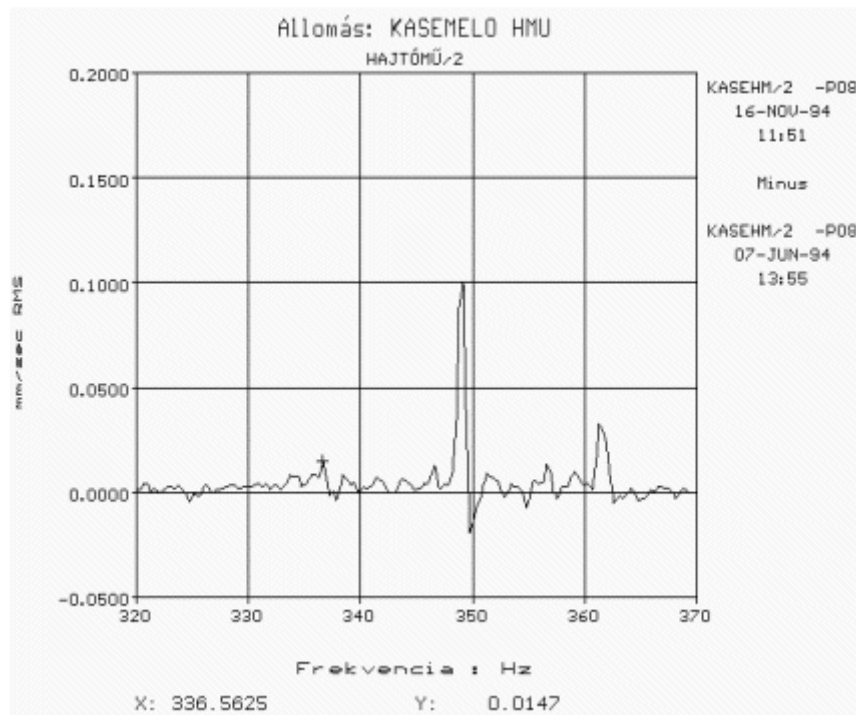
A 8.a. ábra a 8. pont novemberi és augusztusi mérései során felvett spektrumok különbségét, míg a 8.b. ábra a 8. pont novemberben és júniusban felvett spektrumának különbségét mutatja. Feltűnő, hogy a fogkapcsolódási frekvencia (349 Hz), annak első harmonikusa (697 Hz) és felső oldalsávjai (349+12,5 Hz és 697+12,5 Hz) folyamatosan növekednek. A felső oldalsávok növekedése excentricitás növekedésre utal. A 8.c. ábra a gyorstengely fogkapcsolódási frekvenciájának környezetét mutatja szintén különbségi spektrum formában. A 12,5 Hz-re levő oldalsávok jelentősek, közülük a felső a domináns. A 2,5 Hz-re levő oldalsávok a lassú tengelyre mutatnak, de méretük csekély. A moduláció a gyorstengely esetében 51,65%-os, a lassú esetében 28,35%-os, ami azt mutatja, hogy ha van probléma, akkor az a gyorstengelyhez kapcsolódik. A 8.d. ábra a fogkapcsolódási frekvencia környezetét mutatja spektrum formában.



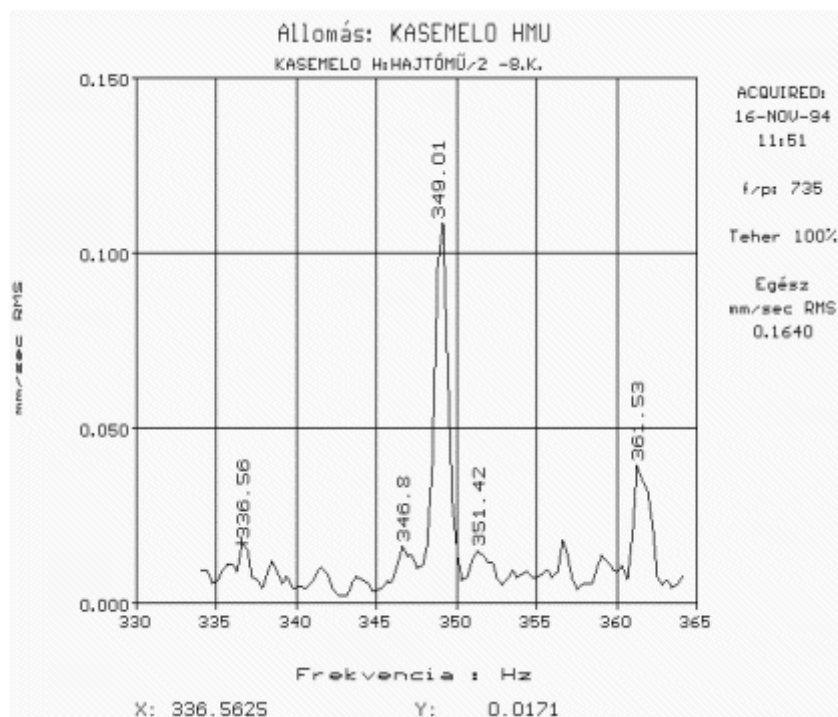
8.a. ábra 1994. novemberi és augusztusi mérési eredmények különbsége



8. b. ábra 1994. novemberi és júniusi mérési eredmények különbsége



8.c. ábra Különbségi spektrum a fogkapcsolódási frekvencia környezetében



8.d. ábra A gyorstengelyhez tartozó fogkapcsolódási frekvencia és környezete

Tekintve, hogy a moduláció foka az egyes mérések során az 1. táblázatban bemutatott módon változik, **beavatkozásra még nincs szükség**, de a jelenséget fokozott figyelemmel kell kísérni.

1. TÁBLÁZAT A moduláció foka mérésenként a gyorstengely fogkapcsolódási frekvenciáján (Fz) számolva

Amplitúdó Fz-n	Fz-12,5 Hz-en	Fz-2,5 Hz-en	Fz+2,5 Hz-en	Fz+12,5 Hz-en	Dátum	Moduláció foka (2.5Hz)	Moduláció (12.5 Hz)
0,0479	0,0096	0,0118	0,0154	0,0128	június	56.78 %	46.65%
0.137	0.0037	0.042	0.0217	0.0323	aug.	46.49 %	26.28%
0.109	0.0171	0.016	0.0148	0.0392	nov.	28.35 %	51.65 %

A nagyobb moduláció rosszabb állapotra utal, ezért azt kell feltételezni, hogy a 2.5 Hz-es oldalsávi moduláció csökkenése a gép "összekopásához" kapcsolható, de a 12.5 Hz-es oldalsávi moduláció lehetséges, hogy kezdődő hibát jelez.

Amennyiben a moduláció foka megközelíti a 100%-ot vagy a fogkapcsolódási frekvencia harmonikusai is erőteljes növekedésnek indulnak, akkor meg kell fontolni a beavatkozást.

Összefoglalás

Az ismertetett mérés után tervezetünk szerint még egy adatfelvétel következett volna, amely azonban mérési hiba miatt meghiúsult.

A bemutatott elemzési módszer mindenesetre jól példázza a fogaskerekes és siklócsapágyas egységek diagnosztizálási lehetőségeit.