

KESTİRİMCİ BAKIM SİSTEMİ içinde RULMAN ARIZASININ Yakalanmasında “PEAKVUE”nun GÜCÜ Yakalanan Arıza, Saha Örnekleri ile,

R.Kubilay KÖSE

Makina Müh. B.Sc.ODTÜ 1985

TOPAZ Makina Müh.Müş.Müm.ve Tic.Ltd.Şti.

450.cad.87-1 Soysal Apt. 06610 Birlik Çankaya - ANKARA

T:0312-495 9993 F:0312-495 9994 topaz@ada.net.tr <http://www.topazmakina.com.tr>

ÖZET

Dönen ekipmanlarda, rulman arızaları yoğun karşılaşılan sorunların başında gelmektedir. Arızaların önceden belirlenmesi, beklenmedik arıza duruşlarının azalmasını ve enerji tasarrufunu sağlayacaktır.

Rulman arızaları, Vibrasyon ölçüm analizi ile belirlenir. Ancak, arızalı rulmanların enstantane stres dalgası yaymaları nedeni ile, standart Vibrasyon Spektrum ve Dalgaformu grafiklerine Rulman arıza işaretleri taşınamayabilir ya da başka arıza sinyalleri rulman arıza işaretlerini maskeleyebilir.

Bu bildiride, Kestirimci Bakım Sistemi içinde, Rulman Arızasını önceden belirlemek için kullanılan, trendi izlenebilen, “PeakVue” – (Peak Impact Detection) “Tepe Vuruntusunu gerçek boyutunda algılama” teknolojisi tanımlanacak, PeakVue ile yakalanan Saha Örnekleri sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Rulman Arızası , Vibrasyon Analizi, Kestirimci Bakım, PeakVue

ABSTRACT

One of the main source of mechanical fault type is Bearing Problems, which cause of mechanical vibrations. For vibration, extra energy needed to be spend for to shake the machines. If the bearing problems could not caught at early steps, it can cause break downs . Standard Vibration Analysis Spectrum and Waveform graphs can not be capable to capture the stres waves, which will be create by bearings at early faulty stages.

This paper will describing what stress waves are and how they are measured with PeakVue - Peak Impact Detection. .

Key Words: Bearing Faults, Vibration Analysis, Predictive Maintenance, PeakVue

1. GİRİŞ

Arızası olmayan makina, olabilecek en optimum düzeyde enerjiyi tüketecektir. Olması gerekenden fazla yüklenen, tasarlandığı şartlar dışında çalıştırılan, ya da arızalı makinalar, daha fazla enerji tüketir. Bu enerji makinanın titremesi için harcanan enerjidir. Bu, görünen ancak farkında olunmayan büyük enerji kayıplarına neden olmaktadır. Arıza geliştikçe vibrasyon şiddetinde yükselmeler olur, Enerji kaybı daha da artar.

Arızalı makinalar, kullandıkları enerjinin bir miktarını, titreme-vibrasyon için harcar. Bu boşa harcanan enerjidir, paradır. Tıpkı 8 silindri bir arabanın yakıt tüketmesi gibi ya da buhar kazanının buhar kaçırması gibi.

Bu nedendir ki, dünyada KESTİRİMCİ BAKIM Sistemleri hızla gelişmiş, Periyodik izlenen Vibrasyon Analiz Grafikleri ile arızaların önceden belirlenmesi, sürekli çalışan işletmeler için olmazsa olmaz konumuna gelmiştir. Enerji tasarrufu hedefleniyor ise, işletmeler kesinlikle KESTİRİMCİ BAKIM Sistemine sahip olmalıdır. İşletme genelinde mevcut makina vibrasyon değerleri düşürülmelidir.

Vibrasyon, "mm/san" yada "g's" birimleri ile okunur.

"v" (velocity.....) [Hız]..: mm/san" birimli ölçüm KİNETİK ENERJİNİN >> $KE = \frac{1}{2} mv^2$

"a" (acceleration) [ivme]: g's" birimli ölçüm POTANSİYEL ENERJİNİN >> $PE = mgh$
modellenmesi temeline dayanır.

Mekanik arızalar yoğun olarak RULMAN Hasarları olarak ortaya çıkar. Rulman arızalarının önceden belirlenmesi, beklenmedik arıza duruşlarının engellenmesini ve enerji tasarrufunu sağlayacaktır.

2. KESTİRİMCİ BAKIM

Kestirimci Bakım, Makinalar üzerinden, periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makina sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir.

Kestirimci Bakım yaklaşımının temeli, makinaları durdurmadan, tahribatsız, çalışma koşullarında, sağlıkları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimini izlemektir. Makina sağlığı hakkındaki en kapsamlı veriye titreşim-vibrasyon analizi ile ulaşılır. Dönen makinalar, arıza moduna girdiğinde titrer. Bu nedenle Titreşim verilerinin izlenmesi, grafiklerinin analizi, Kestirimci Bakım uygulamasının ana teması olmuştur.

"Bugün endüstride, tahribatsız ölçümlerle, makina sağlığı hakkında en kapsamlı bilgiyi verecek parametre, Titreşimin İmzasıdır." - Art Crawford

3. RULMAN ARIZALARI

Rulman hasarlarında, yüzeyde metal metal kontak arıza işaretidir. Kontak yüzeylerinde belirgin olmayan çok daha kompleks hasarlar, mikroskop ile bakılsa bile görülemeyecek seviyede olabilir. Rulman problemleri, endüstriyel makinalarda en yoğun karşılaşılabilecek arıza kaynağıdır



Fluting

Fatik

Korozyon

Şekil.1 Rulman üzerinde oluşan hasar tiplerine örnekler

Rulman hasarlarının yada erken arızalarının ana nedenleri:

- Hatalı (az ya da çok) yağlama
- Hatalı montaj uygulaması
- Hatalı uygulama

- Montaj öncesi ya da sonrası yüksek titreşim
- Aşırı yük - Makina üzerine binen yüklerin proje değerlerinin üstüne çıkması
- Rulman yaşlanması
- Uygun olmayan nakliye ve ambarda saklama
- Üretim kusurları

Rulman Hasar Frekanslarının ilerleme sırası (yüksekten düşüğe)

- BPFI (Rulman İç Bilezik Frekansı)
- BPFO (Rulman Dış Bilezik Frekansı)
- BSF (Bilya Geçiş Frekansı)
- FTF (Kafes Frekansı)

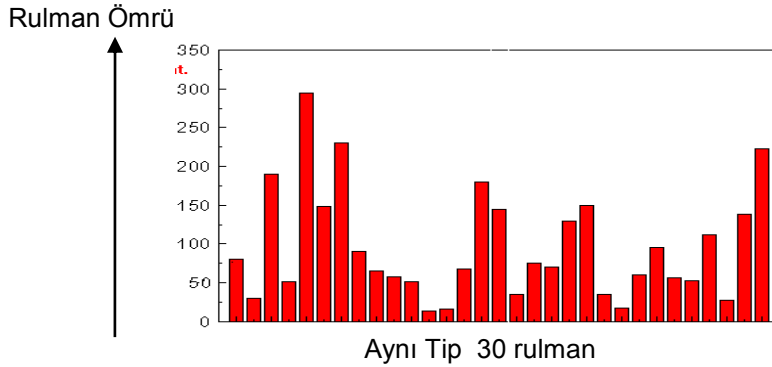
Belirtilen rulmana ait arıza frekansları rulman imalatçısından temin edilemez ise, Takip eden formüller ile rulmana ait arıza frekansları tahmin edilebilir.

- BPFO : Dış Bilezik Arıza Frekansı = Masura/Bilya sayısı X şaft devri X 0.4
- BPFI : İç Bilezik Arıza Frekansı...= Masura/Bilya sayısı X şaft devri X 0.6

Rulman tipi ve yerine göre, tek yönde ölçüm (yatay, dikey, yada eksenel), diğer yönlerden daha önemli olabilir. Standart radyal yük taşıyan rulmanda, radyal (yatay ya da dikey) yöndeki ölçüm en fazla bilgiyi verir. Eksenel ölçüm, sabit, konik rulmanlarda daha çok bilgi verir. En kararlı veri, yük zonundan yapılacak ölçümlerden edinilir.

Teoride rulman ömürleri sonsuzdur. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı kimi zaman çok uzun, kimi zaman çok kısa ömürlü olabilmektedir. Burada etken, hatalı montaj, makina yüklerindeki farklılaşmalar temel olacaktır.

Rulman Ömürleri ile ilgili Belçika'da yapılan bir çalışmada, aynı tip 30 rulmanın değişik kullanım ömürleri vermiştir. Arıza çıkarma periyotlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Şekil 2.



Şekil 2. Aynı tip rulmanın ömür karşılaştırılması

Şekil 2'de yer alan istatistiksel örnekte, Koruyucu Bakım mantığı ile gidilirse, rulman arızası ile karşılaşılmaması için, konu tip rulmanda, en düşük ömür göstergesi olarak seçilmelidir. Bu durumda daha uzun süre dayanma olasılığı olan rulmanlar gereksiz yere erkenden değiştirilecek, sonuç olarak değiştirme sürecindeki duruş ile üretim kaybı olacak, gereksiz parça ve işçilik harcanacaktır.

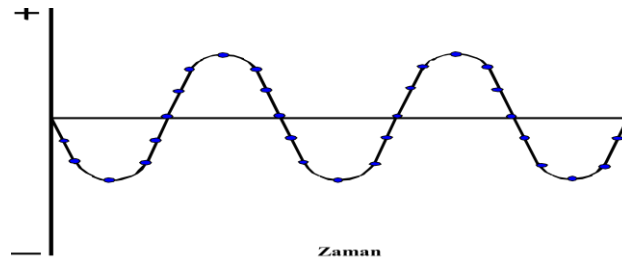
Şekil 2'de yer alan örneğe, Kestirimci Bakım mantığı ile yaklaşırsa ise, rulman arızasını yakalayacak teknoloji ile periyodik ölçümler alınarak (haftada bir olabilir) rulman sağlığı izlenecek, arıza işaretleri alınmaya başlandığında rulman değiştirilecektir. Bu suret ile işletme büyük oranda tasarruf edecek, gereksiz duruş, işçilik ve malzeme sarfiyatının önüne geçilecektir. Yaklaşımın olumlu sonuç vermesi için, rulman sağlığını doğru ve gerçekçi olarak ifade edecek, ölçüm parametreleri seçilmiş olmalıdır. Yetersiz basit ölçüm parametreleri, rulman arızalarının önceden yakalanmasında hedeflenen performansı vermeyecektir.

3.1. Rulman Arızalarının Belirlenmesi

Sanayide, rulman arızalarının belirlenmesinde Vibrasyon Ölçü Analiz Cihazları kullanılmaktadır. Bunların yerine, daha ucuz olduğu için denenen Rakamla vibrasyon ölçüm cihazları tutarlı olmayan, kesin olmayan, olasılık oranı yeterli olmayan sonuçlar verir. Basit ölçüm cihazının sağlam gösterdiği rulman arızalı çıkabilir, ya da arızalı gösterdiği rulman sağlam çıkabilir. Çözüm, Vibrasyon Analiz Cihazları ile alınacak, Spektrum ve Dalgaformlarının, aynı rulmandan daha önce alınan periyodik ölçümler ile karşılaştırılmasıdır. Rulman durumu, geçmiş ölçümler ile kıyaslanarak belirlenebilir.

Enstantane vuruntu okuması, sensörün belli frekanslarda rezonansa girmesi, FFT Spektrum Analizi, Genlik Modülasyonu, Zarf Analizi, Demodulasyon, Crest Faktörü ölçümü gibi, durumu netleştirmek için tarihsel süreçte çeşitli Rulman Analiz teknikleri geliştirilmiştir.

Vibrasyon Analizinde kullanılan FFT Spektrum Analizi teknolojisi, Vibrasyon sensörü aracılığı ile titreşimi işlenebilecek DİJİTAL sinyallere çevirir. Analiz ölçümlerinde cihaz önce, makine üzerindeki mekanik vibrasyonu dalgaformu grafiği şeklinde dijitalize eder. FFT Hızlı Fourier Çevrim Matematiksel açılımı bu amaç için kullanılır. Fourier transformu temelinde dijitalize edilen standart titreşim dalgaformu 2^n kadar örnekleme sayısı koordinat noktalarından oluşur. (time block), $2^{10}=1024$ yada $2^{12}=4096$ gibi



Şekil 3. Dalgaformu Dijitalize koordinatları

FFT Spektrum grafiği, örnekleme sayısı koordinat noktaları ile çakışan veriler temel alınarak hazırlanır. Standart FFT uygulamasında dalgaformu örnekleme koordinat noktaları arasında kalan sürelerde oluşan sinyallere duyarlılık yoktur. Sadece koordinatlara denk gelen değer kayda geçirilir.

3.2. PeakVue Analizi (Peak Impact Detection-Tepe Vuruntusunu Gerçek Boyutunda Algılama)

PeakVue, yüksek frekansta anlık oluşan stres dalgalarının, genel makina arızaları (Balanssızlık-Eksen Kaçıklığı- Gevşeklik v.b.) nedeni vibrasyonlardan-titreşimlerden ayırıştırma tekniğidir. Dr James C. Robinson tarafından geliştirilmiştir. [1] Stres Dalgaları Rulman arızalarında görülür. Örnek olarak, rulman bileziğindeki hasar nedeni ile oluşan vuruntular, sorunlu noktadan çevreye stres dalga serilerinin yayılmasına neden olur. Makina yüzeyine erişen dalga yayılımı, mutlak hareketi izleyebilen akselerometre sensörleri ile ölçülür. Rulman bileziklerinde oluşan pittingler, rulman bileziklerinde fatik çatlakları ve çizikler stres dalgası nedenlerindedir. Amaç stres dalgasının tekrarlarını ve oluşan enerjinin belirlenmesi ve nitelenmesidir. Anlık tranzient – sönümlenen sinyal, gerçek genlik şiddeti ile, dalgaformu üzerinden algılanır. Makinanın dönüş devrine ve analiz bant aralığına bağımlı değildir.

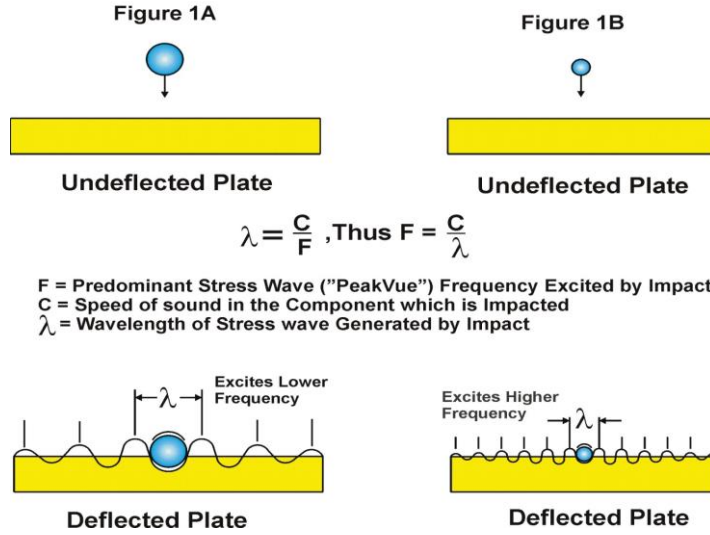
Standart FFT uygulamasından farklı olarak, PeakVue ile Dijitalize edilen Dalgaformu, saniyede 102,400 örnekleme ile gerçekleşir. 40 kHz örnekleme hızına karşılık gelir. Dalgaformunda Yüksek Örnekleme Sayısı ve Örnekleme Hızı ile diğer rulman arızası belirleme tekniklerinden ayrışır..

Makro Vibrasyon; mikroskopik düzeydeki makine titreşimleridir. Balanssızlık, Eksen Kaçıklığı, Gevşeklik gibi arıza durumlarında oluşur. Bu arızalar sonucu oluşacak vuruntular, sürtünme ya da fatik-yorulma ile, Mikro Vibrasyonları Stres Dalgaları şeklinde üretir. Stres dalgalarının nedeni, Rulman Arızaları, Yağlama Sorunları, Sürtünme, Kavitasyon, Çatlak, Dişlide gevşeklik yada backlash olabilir.

Fatık ve Sürtünme, mikro saniyeler içinde enstantane şekilde 10-50 kHz frekans aralığında ortaya çıkar. Rulman dış bilezik, iç bilezik, kafes vuruntuları tipik olarak 1-15 kHz frekans aralığında belirir.

Küçük parçalar, vuruşta oluşumunda, büyük parçalara göre çok yüksek frekanslarda stres dalgasına neden olur. Bir bilyanın yada bowling topunun havuza aynı yükseklikten düşürülmesi sonucu oluşan dalga tepkisi ile kıyaslanabilir. Şekil 4. Bilya, suya düştüğünde, düşük genlik şiddetinde (dalga boyunda), birbirine yakın sık aralıklar ile (küçük periyotta -yüksek frekansta) dalgalar üretir. Şekil 4. Bowling topu, aynı yükseklikten suya düşürüldüğünde, yüksek genlik şiddetinde (dalga boyunda), birbiri ile aralıklı (yüksek periyot-düşük frekansta) dalgalar üretir. Şekil 4.

Figure 1. Excitation of a Stress Wave within a Flat Plate due to Impact by a Larger (Fig. A) and a Smaller (Fig.1B) Spherical Object



Şekil 4. Bilya ve Bowling Topu düşüşü sonrası oluşan dalga

Makro vibrasyonları yalıtılmak için High Pass (Yüksek Geçiş) yada Band Pass (Band Aralığı) filtreleri kullanılır. High Pass filtre ölçüsü, PeakVue Spektrum ölçümü için seçilen maksimum frekans aralığına eşit yada yüksek olmalıdır. High Pass Filtre, Makina Dönüş devrine göre tercih edilir. HighPass filtrelemesi, dönüş devri düşük harmoniklerinden gelen sinyaller izole ederek, rulman arızalarından kaynaklanan vuruntuların belirlenmesini sağlar

- 0-700 RPM bölgesinde çalışan rulmanlarda 500 Hz HP Filtre
- 701-1,500 RPM bölgesinde çalışan rulmanlarda 1,000 Hz HP Filtre
- 1,501-4,000 RPM bölgesinde çalışan rulmanlarda 2,000 Hz HP Filtre
- 4001 üstü RPM bölgesinde çalışan rulmanlarda 5,000 Hz HP Filtre önerilir.

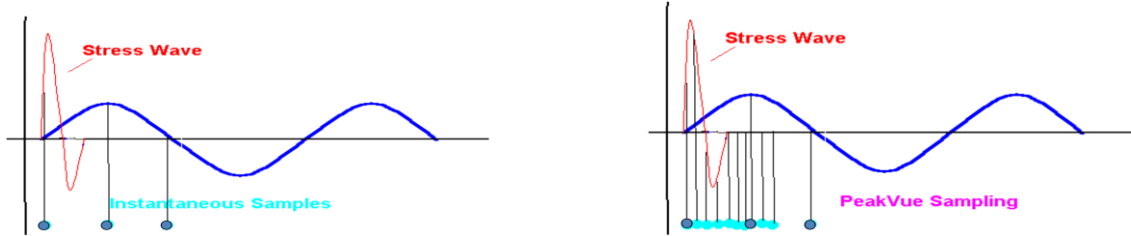
PeakVue Spektrumu için 1600 ya da daha yüksek satır hassasiyeti seçilmelidir.

PeakVue sinyal işlemcisi, dört değişik grafik ile (Spektrum- Trend- Dalgaformu- OtoKorelasyon) güçlü diagnostik bilgi sunar. Arıza önemi için PeakVue dalgaformuna bakılmalıdır.

Yüksek kaliteli, genel amaçlı akselerometre (100 mV/g) tipi sensör PeakVue ölçümü için yeterlidir. Kestirimci Bakım ölçümlerinde kullanılan Akselerometre sensörü yeterlidir. Periyodik vibrasyon ölçümlerinde kullanılan sensör ile ölçülür. Rulman durumunu görmek için sensör değiştirilmesine gerek yoktur. Bu yönü ile PeakVue ölçümleri pratiktir. Kestirimci Bakım içinde, Trendi izlenebilir veri kaydı için, ölçüm hep aynı yerden, aynı tutturma metodu ile alınmalıdır. El ile sensör dokundurularak PeakVue ölçümü alınmaz. Miknatis kullanarak ölçüm alınmalıdır. Dokunulan yüzey temiz ve boyasız (ya da boya çok ince kalınlıkta) olmalıdır. Rulmana en yakın yerden ölçüm alınmalıdır. Rulmandan uzaklaşıldıkça, sinyal genliği düşecektir, ancak rulman durumu grafiklere yansiyacaktır.

PeakVue ölçüm genliği, makina arızasının aciliyet durumu ile ilişkilidir. PeakVue tekniğini iki özellik diğer tekniklerden farklılaştırır.

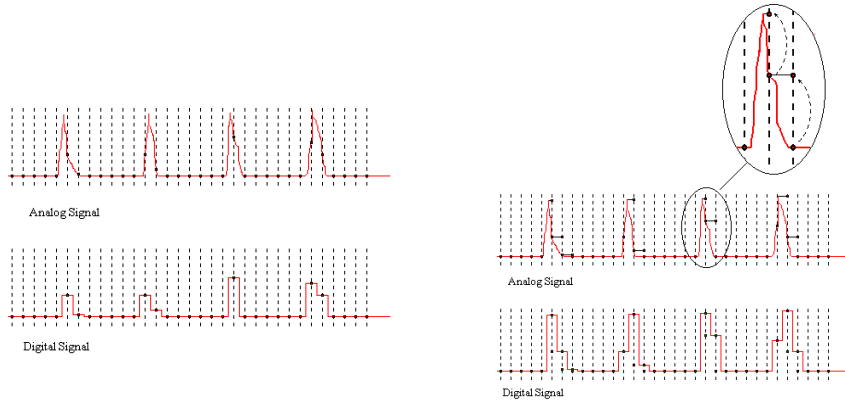
- İleri derecede duyarlı dijital işlem
- Mikro oluşumları yakalayan Ultra Süratli Örnekleme Hızı



Şekil 5. Stres Dalgası algılanması

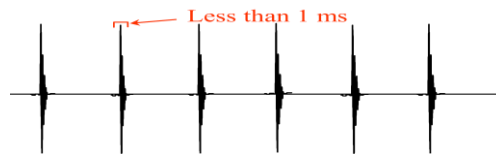
Standart FFT Analog Dijital Çevriminde, örnekleme sayıları koordinatları arasında üremesi muhtemel Rulman Arızası kaynaklı Stres Dalgaları, koordinatlar ile sinyallerin bir kısmının çakışmama olasılığı nedeni ile dijitalize edilemeyebilir. (Şekil 5. Soldaki görüntü)

PeakVue - Peak Impact Detection prosesi , rulman arızası sonucu oluşturulan stres dalgasının yüksek örnekleme ölçüsü ile yakalmasını sağlar. (Şekil 5. Sağdaki görüntü)



Şekil 6. Standart FFT tekniğinin ve PeakVue tekniğinin Stres Dalgasını Dijital sinyale çevrim görseli

Makina titreşimlerinden oluşan Analog sinyalin Dijital sinyale çevriminde standart FFT tekniğinin kaybettiği veri, PeakVue prosesi ile yakalanır. Şekil 6.



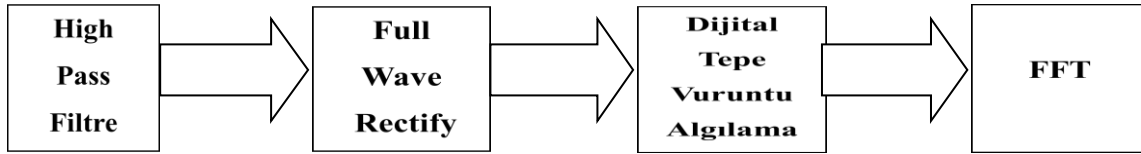
Şekil 7. 1 mili saniyeden daha kısa süre içinde oluşan vuruntu-stres dalgaformu .



Şekil 8. Demodülasyon sinyal boyunu eksik algılamakta, PeakVue tam sinyal boyunu algılar

Şekil 8'de Solda yer alan, rulman arızası belirleme için kullanılan Demodulasyon Analog filtreleme, zaman gecikmesi nedeni ile stres dalgasının gerçek boyunu yakalayamaz. Rulman vurunları, enstantanedir. Demodulasyon uygulamasında sinyalin bir miktarını işleme alır.

Şekil 8'de Sağda yer alan PeakVue – Peak Impact Detection , Tepe Vuruntusunu, gerçek boyutunda algılar. PeakVue tekniği, tipik vibrasyon ölçümlerinde görülemeyecek rulman arızalarına yönelik derinlemesine bilgi sağlar. Analog devre kullanan demodulasyon teknikleri gibi metodların kaçıracağı detaylar PeakVue ile yakalanır.



Şekil 9. PeakVue - Peak Impact Detection proses akışı

3.2.1. PeakVue ölçümünün sınıflandırılması

Dönen sorunsuz ekipmanlar, normal olarak vuruğu üretmez.

SIFIR Kuralı: Sorunsuz Makina ölçümlerinde sıfıra yakın PeakVue değerleri alınacaktır.

Dönen ekipmanlarda, Rulman, Dişli, Hatalı Yağlama, Pompada Kavitezyon gibi arızalar ortaya çıkmaya başladığında

10'lar Kuralı: PeakVue dalgaboyu 10 g's değerine ulaştığında, makinada bir anormallik olduğu PeakVue dalgaboyu 20 g's değerine ulaştığında, makinada önemli bir sorun olduğu PeakVue dalgaboyu 40 g's değerine ulaştığında, bir önlem alınma zamanı geldiği Sonucu çıkacaktır.

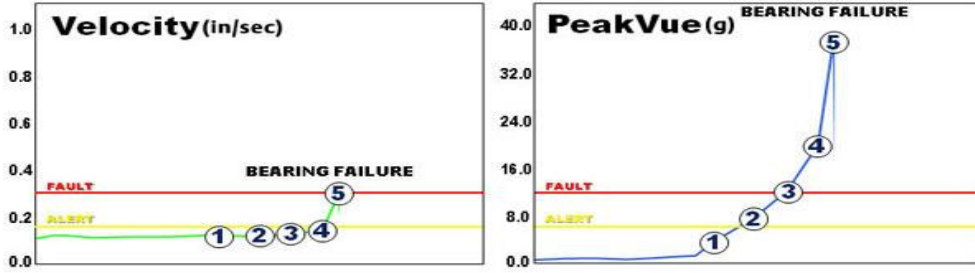
PeakVue Spektrumunda harmonik aile özeliği ile rulman arıza tipleri belirlenir. Harmonik tepelik sayısının artması, arızanın ilerlediğini gösterecektir. Rulman arızası durumunda, PeakVue Dalgaformunda, genlik şiddeti, PeakVue Spektrumdaki genlik şiddetine göre çok daha yüksek çıkar. PeakVue Spektrumunda harmonik aile ve PeakVue dalga formunda genliği yüksek vurunların olması durumun acil olduğu, derhal rulmanın değiştirilmesi gerektiği işareti olacaktır.

3.2.2. PeakVue ölçüm trendinin değerlendirilmesi

Arıza set değerleri, ölçüm yeri rulmandan uzaklaştıkça daha düşük değerlendirilmelidir. PeakVue dalgaboyu trend grafiğindeki artış, daha kararlı bilgi verecektir.

Şekil 10'da yer alan, Tipik bir proses pompası normal vibrasyon ölçümü ve aynı yerde PeakVue ölçümleri trendlerinin rulman arızasına yönelik 5 aşaması.

1. %20 Rulman ömrü kaldı
2. %10 Rulman ömrü kaldı
3. %5 Rulman ömrü kaldı
4. %1 Rulman ömrü kaldı
5. Rulman arızalı konumda



Şekil 10. Hız birimli Vibrasyon ölçümü ve PeakVue ölçümü trendleri

Hız birimli normal vibrasyon ölçümü, rulmanın hasarlandığı dönemde uyarı verebilirken, ki iş işten geçmiş olacaktır, PeakVue trendi, rulman arızası geliştikçe, trend artışı ile, arıza çıkmadan önce durumdan haberdar olunarak önlem alınmasına imkan verir. Hedef arıza büyümeden, dolaylı arızalara neden olmadan önce arızanın yakalanmasıdır.

3.3. PeakVue ANALİZİ İLE BELİRLENEBİLECEK RULMAN ARIZA TİPLERİ

3.3.1. RULMAN DIŞ BİLEZİK ARIZASI

Tipik olarak, PeakVue spektrumunda, BPFO dış bilezik arıza frekansı harmoniklerinde tepecikler olur. Genelde bu harmonik tepeciklerinde yan bant olmaz. Kimi durumlarda kafes frekansı ya da dönüş devri frekansları yan bantları görülebilir. Otokorelate edilen dalgaformunda, BPFO dış bilezik arıza frekansı periyotlarında tekrarlanan enerji genlikleri algılanır.

3.3.2. RULMAN DIŞ BİLEZİK ARIZASI – ELEKTRİKSEL ATLAMA (FLUTING)

PeakVue Spektrumunda, 1xBPFO rulman dış bilezik arıza frekansında yüksek tepecik ve harmonikleri görünür. Başka bir arıza yok ise, spektrum temizdir, başka tepecikler yer almaz. Dış bilezik arıza frekansı bütün enerjiyi içerir. PeakVue dalgaformunda, periyodik yüksek genlikler okunur. Otokorelate edilen dalgaformunda, BPFO dış bilezik bilya geçiş frekansı periyotlarında enerji işaretleri alınır.

3.3.3. RULMAN İÇ BİLEZİK ARIZASI

PeakVue Spektrumunda, BPFI rulman iç bilezik arıza frekansı ve harmoniklerinde tepecikler görülür. Yük zonundan geçiş bölgesinde yükselen, dönüş devri yan bantları yer alır. Dönüş devrine bağlı sinyaller filtre edilmesine rağmen, peakvue spektrumunda dönüş devri katlarında tepecikler bulunur.

PeakVue dalgaformunda, dönüş devri genlik modülasyonu algılanır. Bilyanın hasarlı bölgeden geçişine bağlı periyodik aktivite oluşur. Her turda yük zonundan geçerken genlik şiddeti artar. Otokorelate edilen PeakVue dalgaformunda, BPFI periyotunda yük zonundan geçerken artan dalgaboyu görülür.

3.3.4. RULMAN İÇ BİLEZİĞİNDE ÇATLAK

Tipik olarak PeakVue Spektrumunda BPFI rulman iç bilezik arıza frekansı ve harmoniklerinde tepecikler görünür. Yük zonunda daha fazla olmak üzere, BPFI frekanslarında dönüş devri frekansı yan bantları yer alır. PeakVue Dalgaformunda, her bilya bilezikteki çatlaktan geçerken periyodik tekrar eden bir aktivite olur. Yük zonundan geçerken genlik şiddeti artar. Otokorelate edilen peakvue dalgaformunda, BPFI iç bilezik arıza frekansı periyotlarında vuruntu görülür. Çatlağın yük zonu ve 180 derece karşısından geçişine bağlı olarak, dönüş devrine modülasyonlu iniş çıkışlar olur. Yük zonu 180 derece karşısındaki durumlarda birkaç bilya vuruntu üretmeyebilir. Çatlak nedeni ile iç bilezik mil üzerinde kayacağından, BPFI rulman arıza frekansı tepeciklerine uyumda sapsmalar olabilecektir.

3.3.5. BİLYA (YUVARLANAN ELEMAN) ARIZASI

Bilya arızaları PeakVue spektrumunda BSF bilya geçiş frekansı ve harmoniklerinde alınacak tepecik ailesi ile belirlenir. Bilya geçiş frekanslarında görünen tepeciklerde, genelde kafes frekansı yan bantları

olur. Arızalı bölge yük zonundan geçerken tepelik şiddetleri artar. Kafes frekansı genlik modülasyonu oluşturabilir. Bu durumda PeakVue Spektrumunda FTF Kafes frekansı ve harmoniklerinde yanbantlı tepelikler görülür. Rulman geometrisine bağlı olarak, çoğunlukla arızalı bilya dönerken iç ve dış bileziğe dokunacağından 2xBSF frekansı ve harmonikleri tepelikleri ile karşılaşılır. Genelde dalgaformunda periyodik tekrar eden sinyaller algılanır. Yük zonundan geçilirken sinyal genliğinde artışlar olur. Otokorelate edilen peakvue dalgaformunda, kafes frekansında genlik modülasyonu olur, BSF bilya geçiş frekansı periyodunda tekrarlanan sinyaller görülür.

Tablo 1. PeakVue Rulman Arıza Analizi Tablosu

PEAKVUE RULMAN ARIZA ANALİZİ TABLOSU		
Arıza Yada Problem Durumu	PEAKVUE Dalgaformu	PEAKVUE Spektrumu
RULMAN Dış Bilezik	A) 5-7 g vuruntu, tipik 1/BPFO'da B) 7.5-10 g C) >10 g	A) başta 1-3 BPFO harmonikleri B) Kötüye gittikçe BPFO 4-6 harmonik C) BPFO Harmonik sayısı 6'yı geçer 1xRPM yada FTF yanbandı
RULMAN İç Bilezik	A) 2.5-3 g vuruntu, tipik 1/BPFI B) 3.5-5 g oluşur ve kaybolur C) >5 g	A) başta 1-3 BPFI harmonikleri ve 1xRPM yanbandları B) Kötüye gittikçe 4-6 BPFI harmonikleri ve 1xRPM yanbandları ile 1xRPM harmonikleri C) BPFI harmoniklerinin artışı arıza seviyesindeki artışla orantılıdır.
İç Bilezikte Çatlak	A) 3.5-5 g 1/BPFI dalgaformunda görülmeyebilir B) Her turda, 5-7 g seviyesinde 1-2 vuruntu C) >7 g	Çatlak ortaya çıktığında bir çok 1xRPM harmoniği oluşur. Tipik olarak beklenen BPFI işareti yer almaz
Bilya/Masura/Kafes	A) 2.5-3 g (15 tur görüntüde ise) B) 2.5 turda bir 3.5-5 g vuruntu C) > 5 g	A) Başlangıçta 1-3 BSF harmonikleri FTF yan bandları ile B) Kötüye gittikçe 4-8 BSF harmoniği FTF yanbandı ile C) 8'den fazla BSF harmoniği FTF yanbandla FTF harmonikleri çatlak belirtisi
Elektriksel Fluting Rulmandan statik elektrik Atlaması. {Genelde Frekans Çeviricili değişken devirli Motorlarda görülür}	A) 5-10 g B) Ondülünleşme artınca 10-30 g C) >30 g çamaşır tahtası gibi oyuntular	A) Başta 1-3 BPFO ve/yada BPFI harmonikler B) Kötüye gittikçe bu harmonikler artar 1xRPM harmonikleri ve yanbandları çıkar C) 8'dan fazla BPFO ve/yada BPFI harmoniği 1xRPM yanband elektrik atlama olunca

NOT-1: FTF: Kafes, BSF: Bilya geçiş BPFO: Dış Bilezik , BPFI: İç Bilezik rulman arıza frekanslarıdır.

3.3.6. KAZIKLAMIS RULMAN ARIZASI

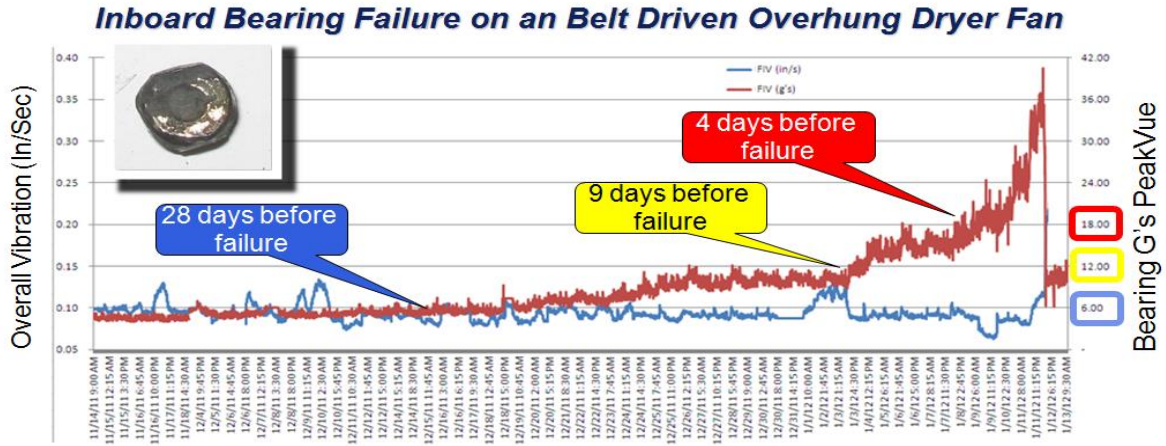
Kafes arızası olan durumlarda, PeakVue Spektrum grafiğinde FTF Kafes Frekansında çok yüksek tepelikler algılanır. PeakVue spektrumunda FTF kafes arızası frekansında tepelik görülmesinin nedeni çoğunlukla yağlama sorununu işaret edecektir. PeakVue spektrumu izlenirken, aynı anda yağlama yapılırken alınan ölçümlerde genlik şiddeti düşüyor ise, bu yağlama sorunu ispatlayacaktır. Gerçekten kafes arızası var ise yapılan yağlama sonucu tepelik şiddetinde çok az bir oynama olacaktır.

PeakVue dalgaformunda kafes frekansı periyodunda yüksek genlikler görülür. Otokorelate edilecek peakvue dalgaformunda, FTF kafes frekansı periyodunda işaretler alınır. Eğer kafes çatlak yada kırık ise, otokorelate edilen dalgaformunda kafes frekansı periyodları açılacaktır. Birebir FTF frekansında tepelikler görülmeyebilir.

4. PEAKVUE İLE YAKALANAN ARIZA ÖRNEKLERİ

4.1. Online Sürekli Vibrasyon Genel Değeri ve PeakVue Değeri izlenmesi

Kayış tahrikli, Dıştan Sarkmalı Fan İç Yatak Rulmanından alınan sürekli izleme trendleri Şekil 11'de yer almaktadır. Trend grafiğindeki üstteki eğri "PeakVue" ölçümlerine, alttaki eğri "Genel Vibrasyon" ölçümlerine ait. PeakVue trendi rulman arızasını yakalar iken, Genel Vibrasyon Ölçüm değeri rulman arızasına duyarlı olmadığı görülmektedir.

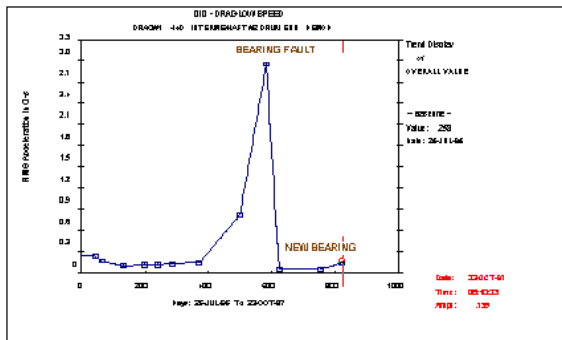


Şekil 11. Online izlenen Vibrasyon Genel Değeri ve PeakVue Trendleri

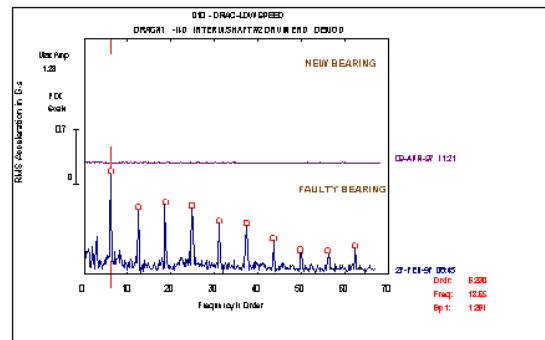
Rulman durumu için, Tepeden Tepeye PeakVue Dalga Boyu trendindeki artış en iyi gösterge olacaktır.

4.2. PeakVue Trendi ile yakalanan rulman arızası

Başka bir PeakVue trend örneği aşağıda sunulmuştur. Rulman değişimi sonrası değer düşmüştür. Rulman değişiminin işe yararlıp yaramadığı, PeakVue ölçümlerinden belgelenecektir.



Şekil 12. PeakVue Trendi.



Şekil 13. Çoklu PeakVue Spektrumları

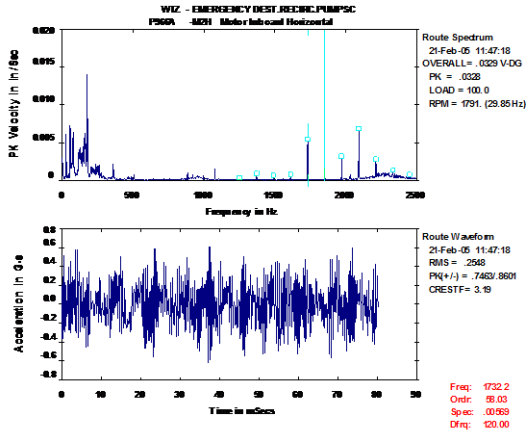
Şekil 13'te yer alan çoklu Spektrumda, alttaki arızalı rulman spektrumu, üstteki rulman değiştikten sonra alınan PeakVue spektrumu. Rulman değişimi sonrası nerde ise PeakVue Spektrum tepelikleri sıfır seviyesine inmiştir. Bu tip karşılaştırmalar ile, bakımın kalitesi ölçülür. Normal şartlarda, rulman değişimi mükemmel değişmiştir mantığı güdülmekte, rulman değişiminin fayda getirip götürmediği sorgulanmamaktadır. Kestirimci Bakım, yapılan onarımın fayda sağlayıp sağlamadığını belgeleyen sistemdir.

4.3. Standart Vibrasyon grafikleri ve PeakVue grafikleri ile rulman arızası karşılaştırması

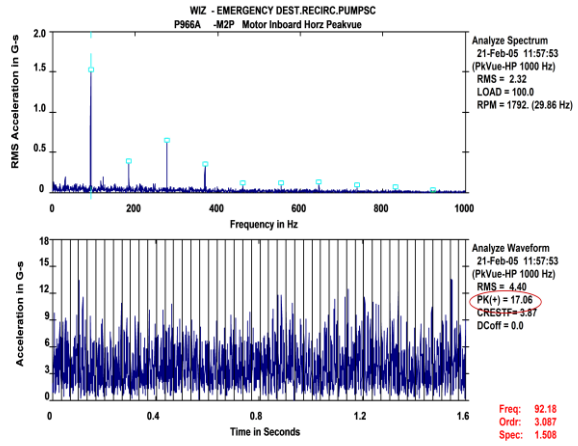
Stres dalgaları, bir vuruşta yada sürtünme durumunda ortaya çıkar.

Eğer sinyaller periyodik kendini tekrar eden şekilde değil ise, spektrum grafiği zemininde şişme olur, belirgin tepcikler alınmaz. Bu gibi durumlarda Dalgaformu üzerinde oto-korelasyon uygulanarak periyodik sinyaller ayklanır.

Spektrum zemininde şişmeye neden, düzensiz yüksek frekansta sinyal üretecek sebepler, yağlama arızası ya da kavitasyon olacaktır. Aynı anda bir rulmanda hem yağlama sorunu hem rulman arızası var ise, belirtilen teknik ile arızalar belirlenir.



Şekil 14. Standart spektrum ve dalgaformu

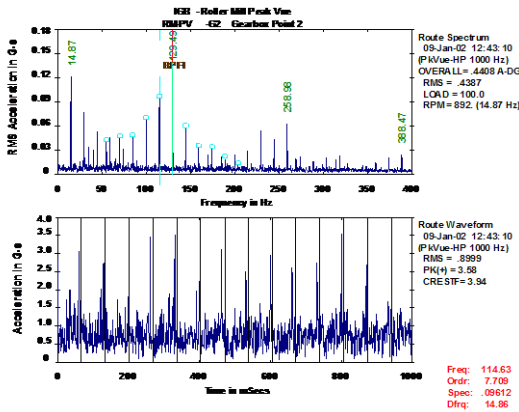


Şekil 15. PeakVue Spektrum ve Dalgaformu

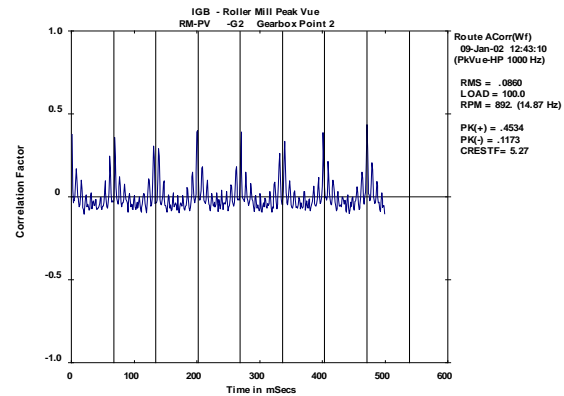
Standart, hız birimli FFT Spektrum grafiğinde, kısa devre çubukları ile ilgili sorun görünürken Aynı yerden alınan PeakVue Spektrumu ve Dalgaformu. PeakVue dalgaformundaki yüksek genlik ve Spektrumda yer alan harmonik aile, aslında sorunun rulman problemi olduğunu göstermektedir. Aciliyet seviyesi, PeakVue Dalgaformundaki Tepeden Tepeye Dalga boyu ile belirlenir.

4.4. PeakVue Oto-korelasyonlu Dalgaformu grafiği

PeakVue ölçümleri, shaft dönüş devri yanbantları ile rulman iç bilezik arızası olduğunu göstermektedir. Otokorelasyonu alınan PeakVue Dalgaformu, dönüş devrindeki genlik modülasyonunu çok net görüntülemektedir. Rulman iç bilezik arızaları, dönüş devri frekansında genlik modülasyonu üretir. Şekil 17.

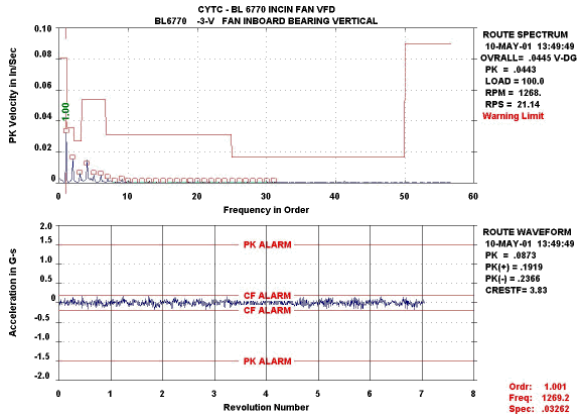


Şekil 16. PeakVue Spektrum ve Dalgaformu

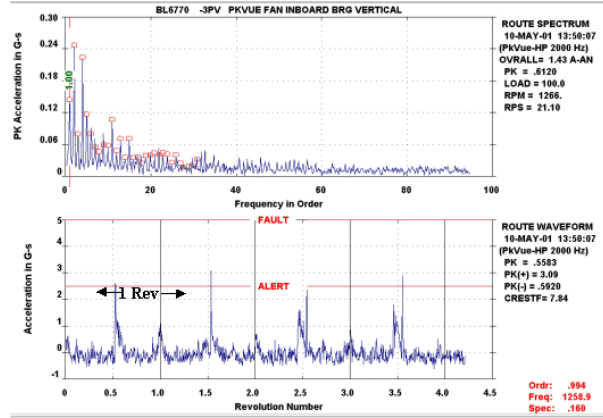


Şekil 17. PeakVue Oto-korelasyonlu Dalgaformu

4.5. Fan Ön Yatak Rulmanı İç Bilezik Çatlak Örneği



Şekil 18. Standart Spektrum ve Dalgaformu

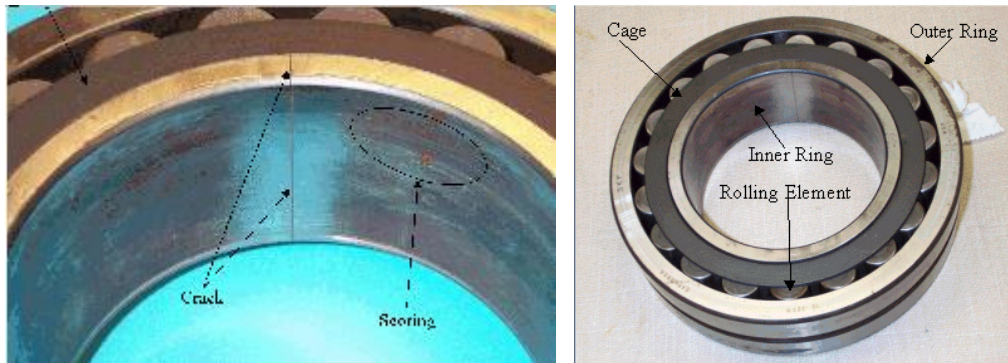


Şekil 19. PeakVue Spektrum ve Dalgaformu

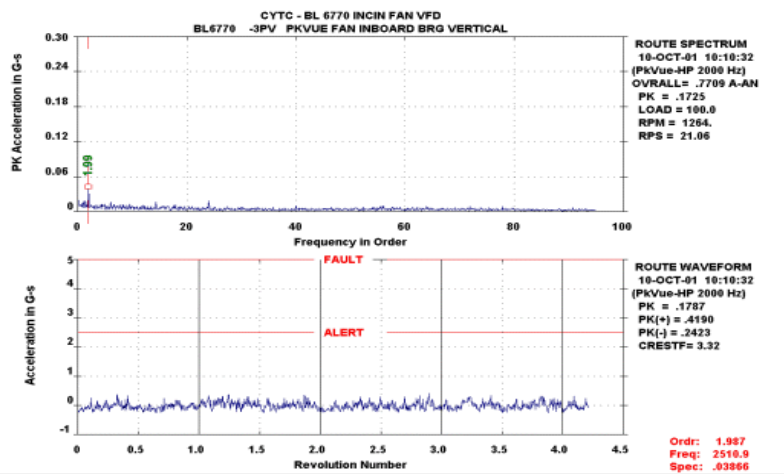
Standart Spektrum ve Dalgaformunda çatlak ile ilgili işaret alınmıyor.

PeakVue Spektrumunda harmonik aile var ancak değerler düşük.

Buna karşın PeakVue dalgaformunda her turda 1 yüksek vuruş var. Bu rulman çatlakları işaretleri.

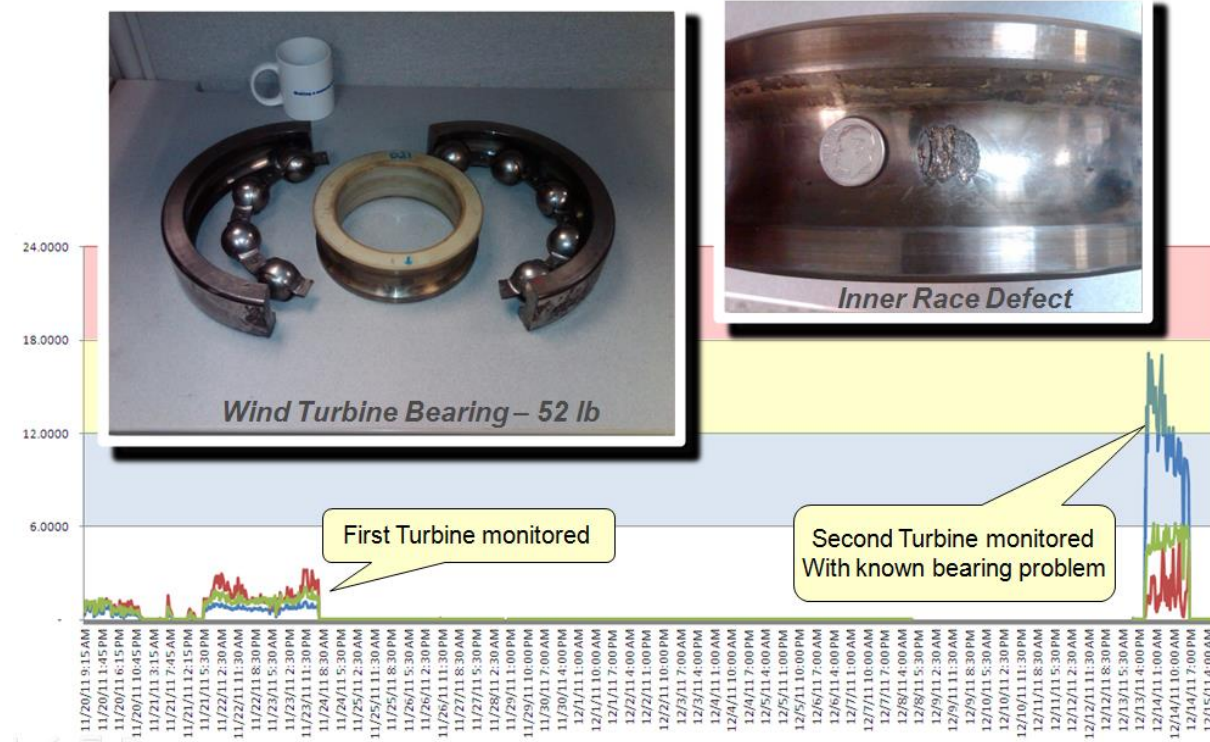
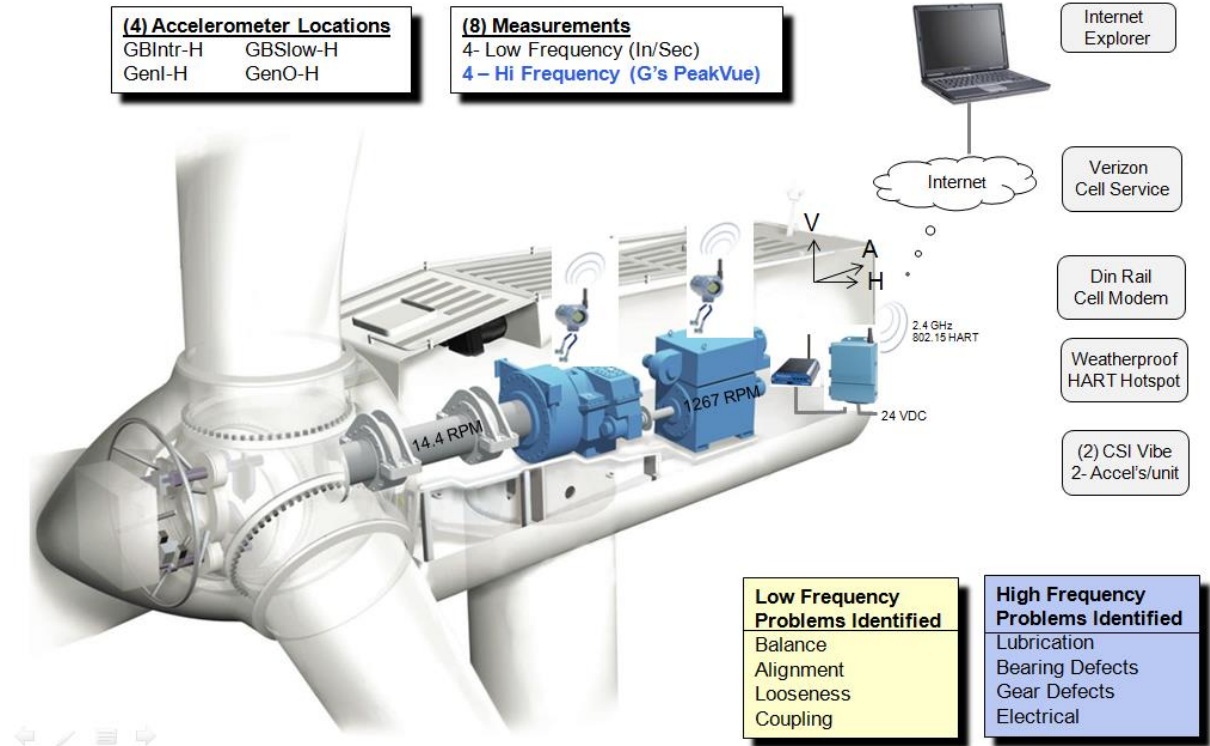


Şekil 20. Çıkan rulman iç bileziğindeki çatlak



Şekil 21. Rulman değiştikten sonra alınan PeakVue Spektrum ve Dalgaformu

4.6. Rüzgar Türbininde Online PeakVue Ölçümü ile yakalanan rulman arızaları



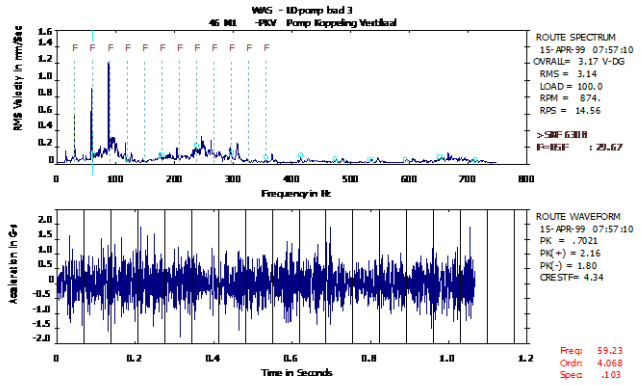
Şekil 22. PeakVue Trend izlemesi ile yakalanan rulman arızaları

4.7. Pompada Rulman ve Yağlama Problemi

Makina; Santrifuj Pompa – 869 RPM'de çalışıyor, Kayış tahrikli



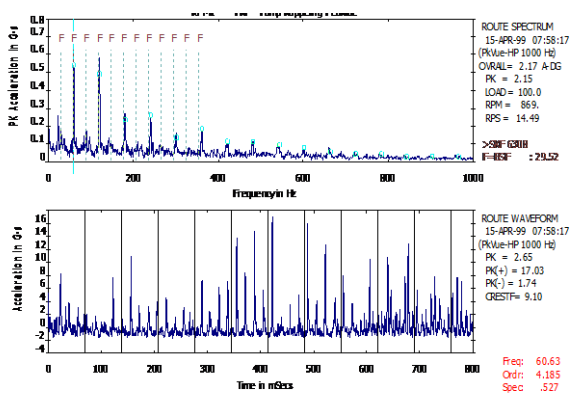
Şekil 23. Santrifuj Pompa



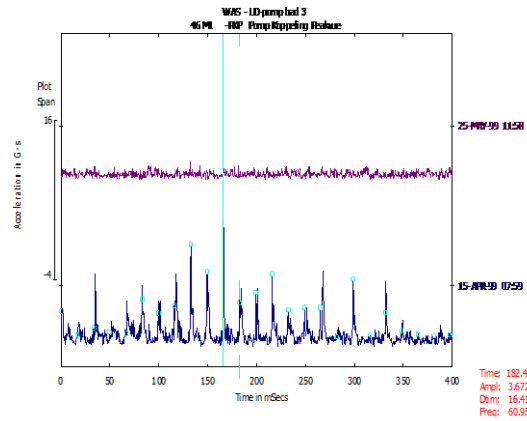
Şekil 24. Pompa yatağından alınan standart ölçüm

Standart alınan vibrasyon ölçümlerinde, rulman arızası belirtisi çok zayıf. 2xRPM kanat geçiş frekansından gelen sinyal dominant.

PeakVue Spektrumu, özellikle Dalgaformu, önemli rulman arızasını göstermektedir



Şekil 25. Pompa yatağından alınan PeakVue grafiği



Şekil 26. Değişim öncesi ve sonrası dalga

Şekil 26'da Rulman değişimi öncesi ve sonrası PeakVue Dalgaformu grafikleri karşılaştırılması ile yapılan bakımın sonucu görülmektedir. Rulman değişimi sonrası üst bölümdeki dalgaformundaki düşüş net olarak yer almaktadır.



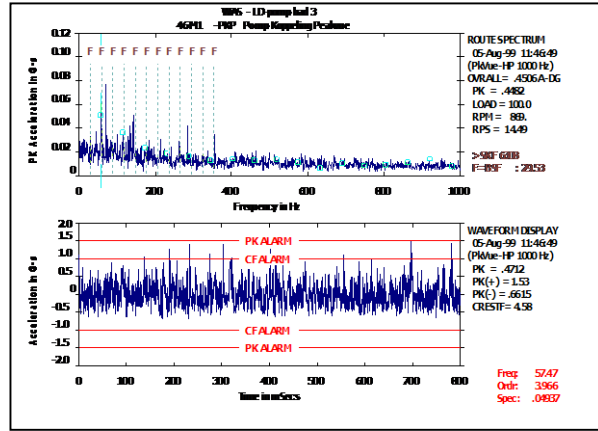
Şekil 27. Çıkan hasarlı bilyalar.

4.8. Pompada Rulman ve Yağlama Problemi

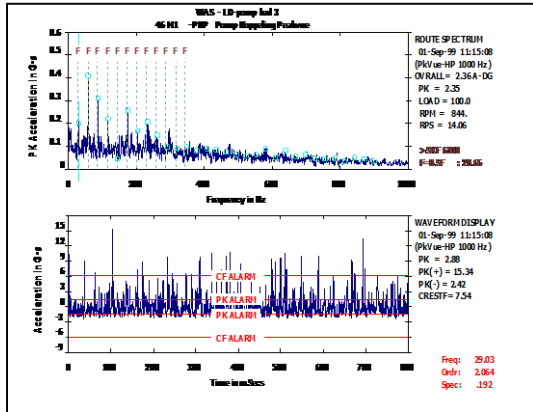
Makine; Santrifuj Pompa - 869 RPM'de çalışıyor, Kayış Tahrikli



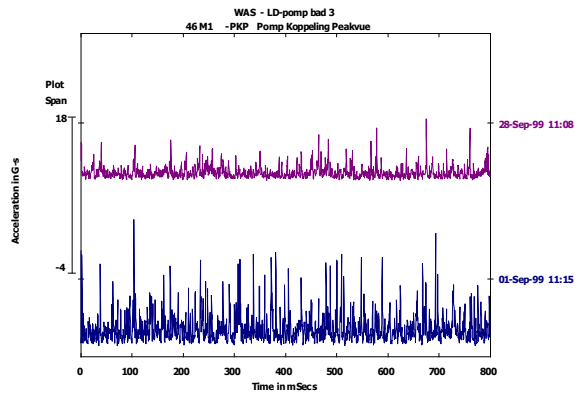
Şekil 28. Santrifuj Pompa



Şekil 29. Problem yok iken alınan PeakVue ölçümleri



Şekil 30. Rulman arızalı PeakVue ölçümleri



Şekil 31. PeakVue dalgaform grafik karşılaştırması

Birkaç hafta sonra alınan PeakVue ölçümlerinde Şekil 30, PeakVue Dalgaformunda yükselme belirleniyor. Spektrumda yer alan harmonik tepelikler BSF bilya geçiş frekansına ait.

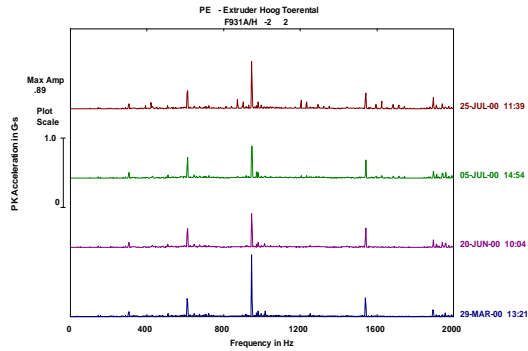


Şekil 32. Değiştirilen rulmandan Çıkan hasarlı bilyalar

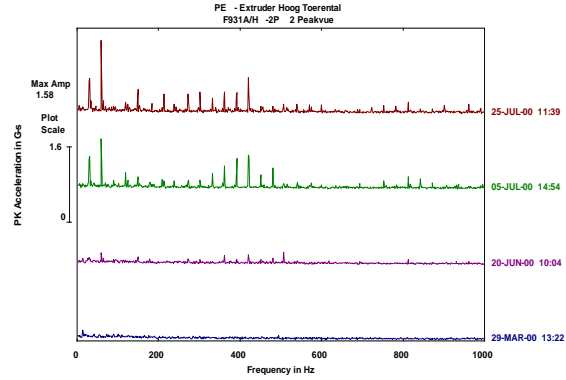
Rulman değişimi öncesi ve sonrası PeakVue Dalgaformu karşılaştırılması Şekil 31'de verilmiştir. Bu grafiklerden görünen, Rulman değişimi ile ilgili iyileşme var, ancak hatalı yağmala işaretlerinin kendini koruduğu şeklindedir.

4.9. Dişli Kutusunda rulman arızası

Şekil 33'de Periyodik alınan Standart Vibrasyon Spektrumu ölçümlerinde, belirgin bir artış görülmektedir. Belirgin tepelikler, GMF dişli kavrama frekansı kaynaklı. (GMF = Diş Sayısı x RPM) Sorun, dişli ayarsızlığı olarak tanımlanabilir. Bu grafiklerden periyodik ölçümlerde artış yönünde bir değişim görülmektedir.

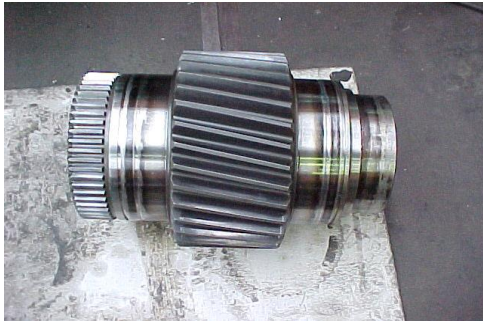


Şekil 33. Çoklu Standart Spektrum



Şekil 34. Çoklu PeakVue Spektrumu

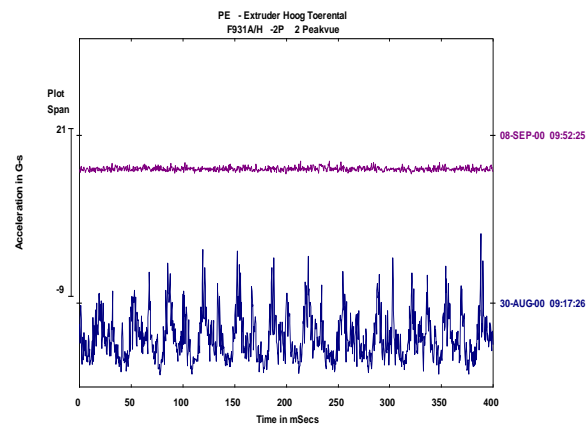
Ancak, Şekil 34'de aynı noktadan Periyodik alınan PeakVue ölçüm Spektrumlarının karşılaştırılmasında, ilk ölçümlerde görülmeyen, sonra ortaya çıkan harmonik tepelik ailesi artan rulman arızası işareti vermektedir. Dişli kutusu açıldığında görünen sonuç görüntüleri Şekil 35 ve 36'de yer almaktadır.



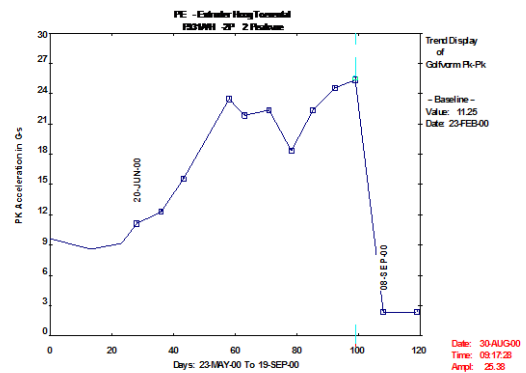
Şekil 35. Hasarsız dişli



Şekil 36. Hasarlı Rulman İç Bileziği



Şekil 37. Rulman değişim öncesi ve sonrası PeakVue Dalgaformu karşılaştırması



Şekil 38. PeakVue ölçüm trendi.

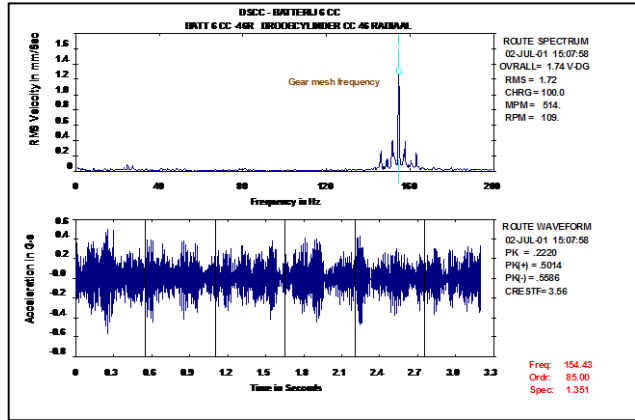
Şekil 38'de Rulman değişimi sonrası, Trend eğrisinde büyük düşüş net olarak yer almaktadır. Makinada iyileştirme sağlanmıştır.

4.10. Kağıt Makinasında Rulman Arızası

Makine; Kağıt makinası – Vals 110 RPM'de dönmekte. Yakalanan Arıza Rulman İç Bilezikte Çatlak

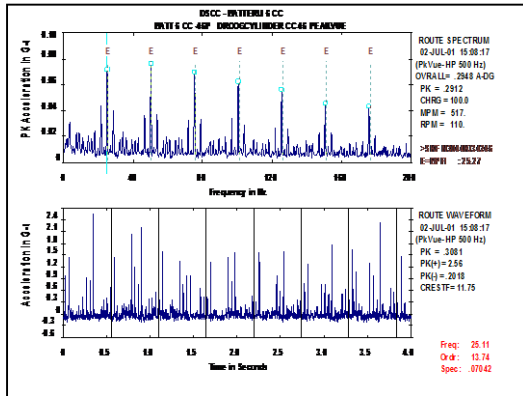


Şekil 39. Kağıt Makinası

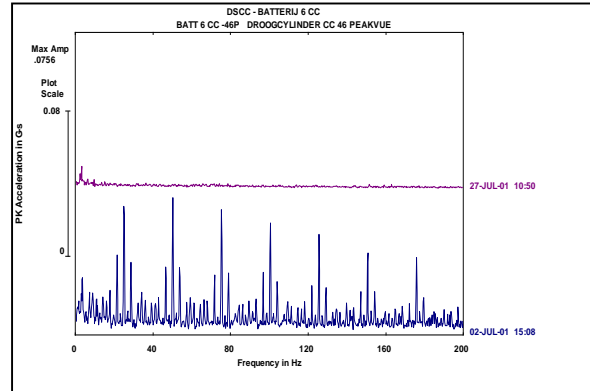


Şekil 40. Standart Spektrum ve Dalgiformu

Şekil 40'da yer alan Standart FFT Spektrum grafiğinde GMG Dişli Kavrama frekansında tepelik işareti var. Dalgiformunda genlik şiddeti çok düşük. 0.6 g's tepe seviyelerinde. Rulman durumu ile ilgili olarak önlem alınması gerektiğine dair ibareler görülmektedir.



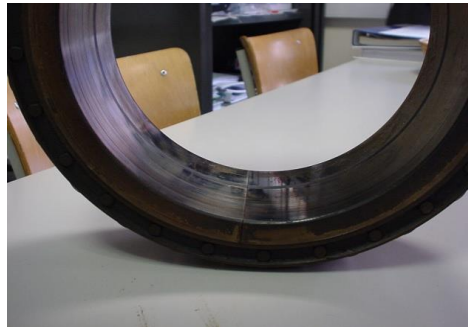
Şekil 41. PeakVue Spektrum Dalgiformu



Şekil 42. Rulman değişim sonrası Spektrum karşılaştırma

Şekil 41'de PeakVue Spektrum ve Dalgiformuna bakıldığında BPFİ rulman iç bilezik arıza işaretleri çok belirgin. Durum Kritik. Derhal önlem alınması gerektiği bilgisi edinilmekte. Dalgiformunda vuruntular çok belirgin. Şaft 110 RPM'de dönmektedir.

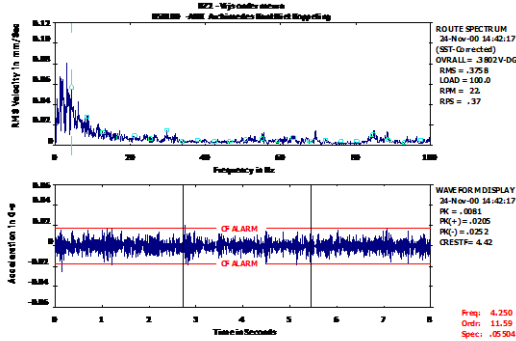
Şekil 42'de Rulman değişimi öncesi ve sonrası PeakVue Spektrum grafikleri karşılaştırması verilmiştir



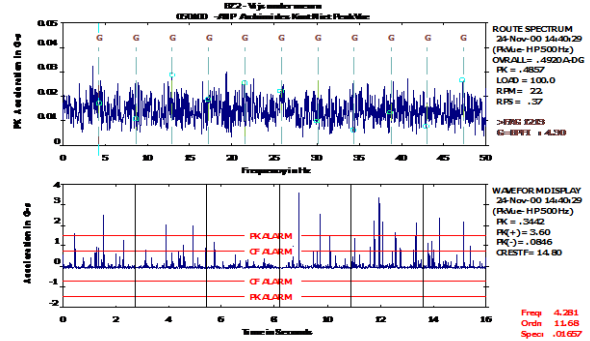
Şekil 43. Çatlak çıkan Rulman İç Bileziği

4.11. “22 RPM” devir/dakika’da dönen şaft üzerindeki rulman arızası örneği

14 metre uzunluğunda şaft 22 RPM’de dönmekte, 2 yatak ile taşınmaktadır. Şekil 44’de yer alan yatak üzerinden alınan standart Spektrum ve Dalgaformunda belirgin bir sorun işareti alınmamaktadır. Spektrum ön bölgede şişme görülmektedir.



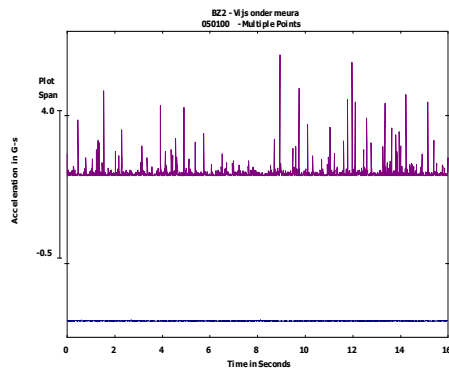
Şekil 44. Standart Spektrum ve Dalgaformu



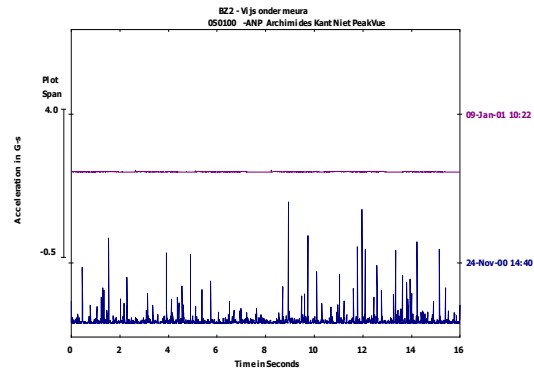
Şekil 45. PeakVue Spektrum ve Dalgaformu

Şekil 45, PeakVue dalgaformunda belirgin vuruş işareti alınmaktadır. PeakVue Spektrumunda dönüş devrine senkron olmayan enerji görülmektedir.

İlk ölçüm olması nedeni ile, yatağın daha önceki grafikleri bulunmadığından, diğer yataktan alınan PeakVue ölçümü ile karşılaştırarak durum belirlenmesi yapılmıştır. Şekil 46’da Dış yatağın, iç yatağa göre yüksek sinyaller üretmekte olduğu belirlenip Acilen Rulman değişimi kararı veriliyor.



Şekil 46. İki yatak PeakVue Dalga karşılaştırması



Şekil 47. Rulman değişim sonrası karşılaştırma

Sonuç, Şekil 47’de yer aldığı şekilde, rulman değişimi sonrası PeakVue değerleri sıfıra yaklaşmıştır.



Şekil 48. Çıkan rulmanın durumu

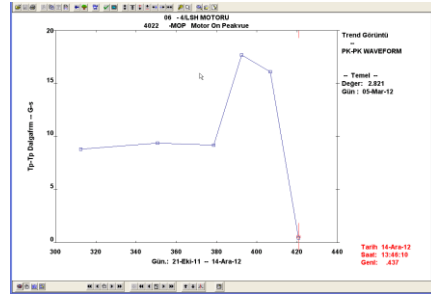
4.12 AC Motor Rulman Arızası

İşletme....: Plastik Film üreticisi, Sorunlu Makina: Elektrik Motoru

Motor hatalı çıkan malzemeleri parçalayıp tekrar hammaddeye dönüşümü sağlayan makinaryı çalıştırmaktadır.

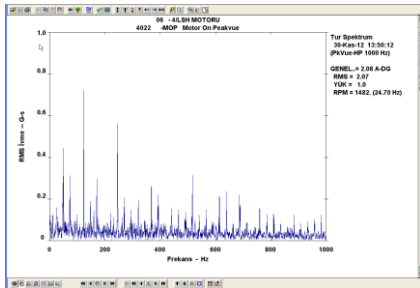


Şekil 49. AC Elektrik Motoru

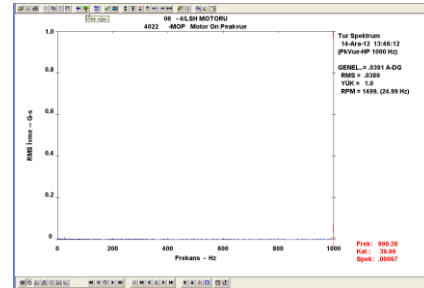


Şekil 50. PeakVue Dalgaboyu ölçüm trendi

Motor Ön Yataktan alınan Rulman Durumuna Yönelik PeakVue ölçümlerinin trend grafiğinde artış yakalanmıştır. Şekil 50. Arızalı Rulman değişimi sonrası ölçüm değerleri düşmüş, trend değerleri arıza öncesi seviyesinin çok altına inmiştir.



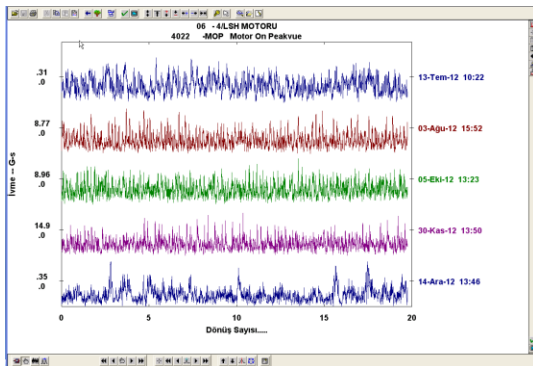
Şekil 51. Arızalı rulman PeakVue Spektrumu



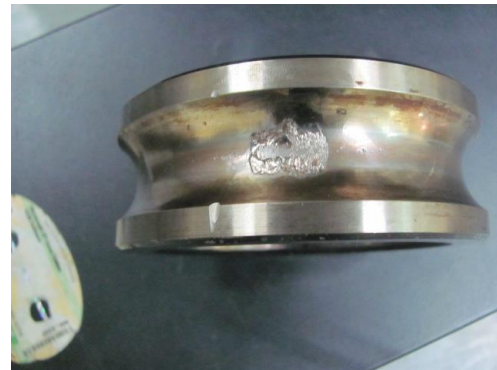
Şekil 52. Rulman değişim sonraki PeakVue Spektrum

Aynı dikey skala ile grafikler karşılaştırıldığında, rulman değiştikten sonra, nerde ise spektrum temizlenmiş, hasarlı döneme ait sinyaller kalmamıştır. Şekil 51 – 52.

Aşağıda yer alan, 13 Temmuz 2012'den itibaren periyodik alınan PeakVue Dalgaboylarında dikey skala dikkate alındığında, hasarlanma arttıkça genlik şiddetinin arttığı, 30 Kasım 2012'de en yüksek seviyeye eriştiği, rulman değişim sonrası 14 Aralık 2012 ölçümünde, genlik şiddetinin düştüğü görülecektir.



Şekil 53. Karşılaştırmalı PeakVue dalgaboyları



Şekil 54. Çıkan hasarlı rulman görüntüsü

SONUÇ

PeakVue Analiz (Peak Impact Detection – Tepe Vuruntusunu Gerçek Boyutta Algılama) teknolojisi, Kestirimci Bakım Sistemi içinde uygulanan Vibrasyon Analizleri ile makina arızalarının önceden belirlenmesinde, Rulman Arızalarının ön aşamalarda yakalanmasında yardımcı olacak bir tekniktir.

Rulmanların sık sık arızalanmasının önüne geçilerek, işletmeler titreşime dönüşen enerji kaybının düşürülmesini sağlayarak tasarruf edebilir. Arıza nedeni ile oluşacak beklenmedik duruşlar azaltılarak üretim kayıpları engellenir. Rulman sarfiyatı optimum seviyelere çekilir. Tabi olarak bu uygulamadan rulman satıcıları, tüketimin azalması nedeni ile memnun kalmayacaklardır. Ancak, sonuçta sınırlı kaynaklara sahip olan ülkemiz kazanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **James C. Robinson**, CSI, an Emerson Electric Company & **James E. Berry**, P.E., Technical Associates of Charlotte, P.C. DESCRIPTION OF PEAKVUE AND ILLUSTRATION OF ITS WIDE ARRAY OF APPLICATIONS IN FAULT DETECTION AND PROBLEM SEVERITY ASSESSMENT, Emerson Process Management Reliability Conference 2001 October 22 - 25, 2001
- [2] **Skeirik, Robert**, CSI -USA, Innovative Digital Techniques for Detection of Bearing Faults on Critical and Slow Speed Machines, 3rd Congress on Maintenance Management and Predictive Techniques June 15th, 1999
- [3] **Köse,R.Kubilay**, Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Planlaması, 3.Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı, 243-252, ODTÜ 1988
- [4] **Köse,R.Kubilay**, Endüstriyel Tesislerin Bakım Planlamasında Yeni Bir Yöntem, Kestirimci Bakım Planlaması, Mühendis ve Makine Dergisi, 24-30 Mart 1989, Sayı 350
- [5] **Köse, R.Kubilay**, Kestirimci Bakım, 1.Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, 197-207 Ekim 2003, Yayın No: E/2003/334 TMMOB Makine Mühendisleri Odası
- [6] **Köse,R.Kubilay**, Mekanik Titreşim Analizi ile Makine Arızalarının Belirlenmesi, UMTS2003 11.Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bildiri Kitabı, 323-346 Eylül 2003 Gazi Üniversitesi
- [7] "<http://www.topazmakina.com.tr>" web sayfası
- [8] **Jim CAHILL** * Emerson Process Experts – Facebook
- [9] **Köse,R.Kubilay**, Vibrasyon (Titreşim) Ölçüm ve Analizleri, Birimler Önemsenmeden Yapılabilir mi? 5.Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, 187-202 Ekim 2011, Yayın No: E/2011/564 TMMOB Makine Mühendisleri Odası

ÖZGEÇMİŞ

R.Kubilay KÖSE,

1960 Ankara doğumludur. Orta öğrenimini TED Ankara Kolejinde tamamlamıştır. 1985 ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur.

1988 yılında ODTÜ'de düzenlenen 3.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresinde sunduğu bildiri ile, Predictive Maintenance karşılığı "KESTİRİMCİ BAKIM Sistemi" tanımını Türkçe'ye kazandırmıştır.

1988 yılında, Vibrasyon Analiz tekniklerini temel alan Kestirimci Bakım Sistemleri konusunda mühendislik, eğitim, danışmanlık, sistem temini faaliyetleri sunmak üzere, Ankara'da yerleşik, TOPAZ Makina Mühendislik Müşavirlik Mümessillik ve Tic.Ltd.Şti.'ni kurmuştur. Hali hazırda ilgi firmanın Genel Müdürü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Oda Sicil No: 26359