

ENDÜSTRİYEL BACALARDA TİTREŞİM KONTROLÜ

Control of Vibration-Dampers for Industrial Steel Chimneys

Muammer AKGÜN | MMO İstanbul Şube Kazan ve Basıncılı Kaplar Komisyonu Başkanı

ÖZET

Titreşim damperleri, bacaların çalışması esnasında oluşan bacaya zarar verebilecek titreşimlerin tepkisini azaltmak için yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, damperlerin sönümlenme sisteminin prensibi anlatılmıştır. Bununla birlikte damperin kütlesi, rijitliği ve vorteks etkisi ile bacanın üst noktasında oluşan genliğin bacaya etkisi irdelenmiştir. Titreşim damperlerin boyutları ve son olarak kullanılmakta olan bazı damper sistemleri tanımlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Titreşim damperi, Sönümlenme sistemi, damper sistemleri, genlik, rijitlik

ABSTRACT

In the past there have been attempts to control wind response of chimneys using strakes, perforated screens, rubber mountings, hanging chain dampers and tuned mass dampers. However, a systematic and detailed study on latest designed vibration dampers at chimney top is not seen in literature. In the present paper, principle of the damping system is discussed.

Mass and stiffness of the damper are calculated. Amplitude of the top of chimney during vortex shedding is calculated. Results thus obtained have been discussed. Some latest damping systems have also been presented for authenticity.

Key Words: Vibration-Dampers, Damping system, Damper systems, Amplitude, Stiffness.

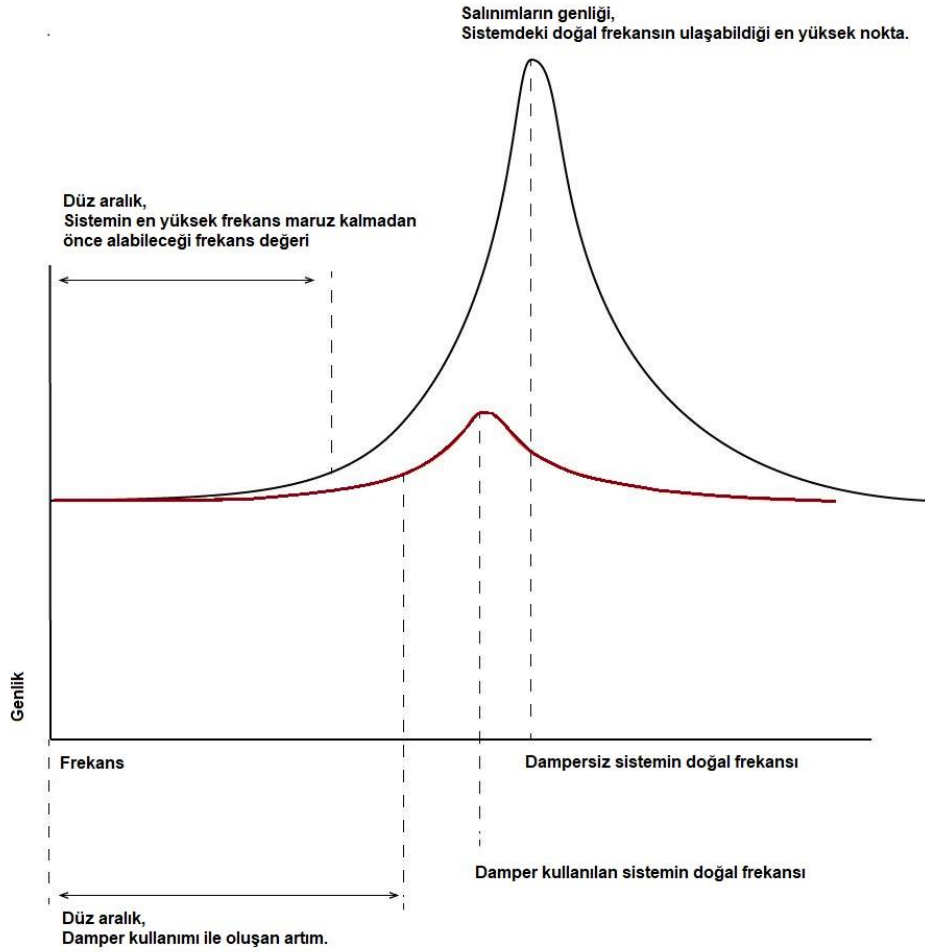
1. GİRİŞ

Endüstriyel baca sistemi tasarımı yaparken rüzgâr ve deprem etkisi dikkate alınmalıdır. Bacalar yüksek hızlı rüzgârdan kaynaklı vorteks salınımı ve deprem esnasında oluşan salınımlardan dolayı devrilme ihtimaline karşı güvenli hale getirilmelidir. Bununla birlikte bacalarda düzenli bir salınımın olması normaldir ancak düzensiz titreşimlerden kaynaklanan salınımlardan kaçınılmalıdır. Büyük ölçekli salınımlar baca sisteminin güvenliği ve bütünlüğü açısından bir tehdit olmakla birlikte, sistemdeki ekipmanların ve çevredeki insanlar için de ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu problemi aşmanın en uygun yolu, tasarım aşamasında rüzgâr ve varsa deprem yüklerinin hesaba eklenmesi ile mümkündür. Bu sorunun çözümü genellikle titreşim sönümleyici damperlerin sisteme eklenmesi ile sağlanabilir [1,2].

Bu damperler, baca sisteminde oluşan hareketin tersi yönünde kuvvet oluşturmaktadırlar. Bu sönümleyici damperler; sıvı, kuru sürtünme esaslı ya da yüzeyler arasında kayan vb. tipleri bulunmaktadır [3]. Bu çalışmada baca sistemlerinde oluşan titreşimleri kontrol etmek için kullanılan çeşitli titreşimli damperleri tanıtılmıştır. Bu damperler kendi kendini taşıyan ya da halatlarla gerilmiş serbest duran bacalara uygundur.

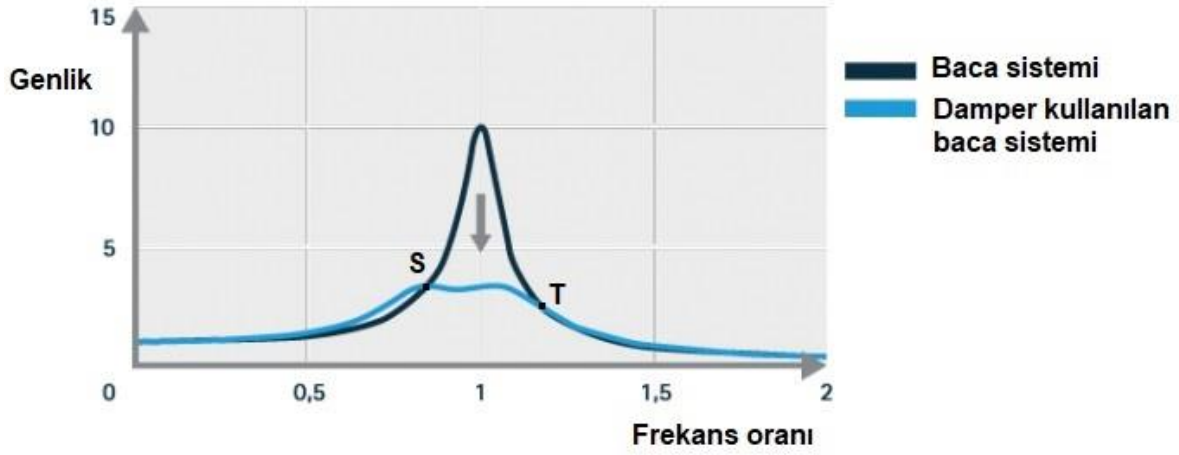
2. TİTREŞİM SİSTEMİNİN PRENSİBİ

Bacaların rüzgârın oluşturduğu girdap hareketleri vortekslere bağlı oluşan kuvvetler baca ile aynı frekansa sahip olması durumunda baca sisteminde kolaylıkla rezonans oluşturabilirler. Baca sisteminde oluşan genlik ve gerilim artar ve bu da sistemdeki malzemenin yorulmasına ve hatta devrilmesine sebep olabilir [4,5]. Damper sisteme aynı frekansta karşı kuvvet oluşturduğu için oluşacak salınımları önemli ölçüde azaltır. Damper sisteminin teorisi Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Sistemin damper uygulanan ve damper uygulanmamış durumda verdiği dinamik tepki

Dikey ekseninde baca sisteminin dinamik hareketi ve statik hareketi arasındaki değişim görülmektedir. Yatay eksen ise bacanın yük frekansı ile rezonans frekansı görülmektedir. Siyah çizgi ile bacanın sönümleyici damper olmadan dinamik hareketi görülmektedir. Kırmızı çizgi ile bacanın damper kullanılması durumunda dinamik hareketi görülmektedir.



Şekil 2. Sistemin damper uygulanması durumunda verdiği sönümlenme etkisi

Yükün frekansı, baca sisteminin frekansına eşitlenirse baca sisteminin genliği çok artar. Uygun damper sistemi tasarlanırsa genlik dalganın yatay S ve T noktalarındaki tanjantı ile sınırlandırılabilir. Genlik statik genliğin üç katından fazlaya çıkmaz [3]. Bu oluşan salınımın ve gerilmenin mükemmel bir ölçüde azaltılması ve sönümlenmenin artırılması olarak değerlendirilebilir.

Sönümlenme sistemi olmadan maksimum S ve T genişliklerine sahip bacanın tek serbestlik dereceli sistemini değiştirmek için gerekli koşullar aşağıdaki gibidir. Şekil 3'te baca sisteminde baca frekansının f_{baca} , damper sisteminin de f_{damper} olduğu durumda aralarındaki rezonans frekansı:

$$\frac{f_{damper}}{f_{baca}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_1}{m_2}}} \quad (1)$$

olarak hesaplanır.

$$m_1 = \frac{\int_0^h m(z) \cdot Y^2(z) \cdot dz}{Y_{max}^2} \quad (2)$$

Damper sisteminin rijitliği:

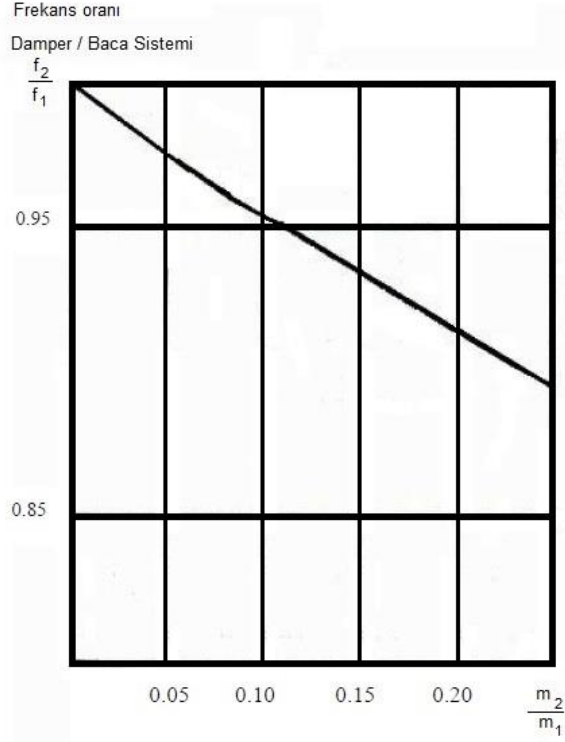
$$k_2 = k_1 \cdot \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \quad (3)$$

Sönümlenme:

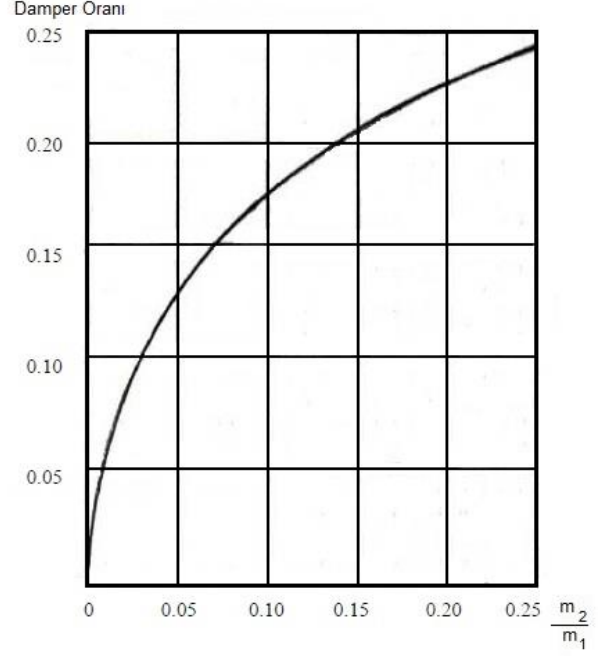
$$C_2 = \frac{C_{2cr}}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \sqrt{\frac{3m_2}{8m_1}} \quad (4)$$

$$C_{2cr} = 2 \cdot \sqrt{m_2 \cdot k_2} \quad (5)$$

m_2 damperin kütlesi ve k_2 ise damperin rijitliğidir. C/C_{cr} ise damper oranıdır.



Şekil.3- Damper frekansı



Şekil.4- Damperlerde sönümlenme

Tek dereceli serbest dinamik sistemlerde damper sönümlenme oranı aşağıda açıklanmaktadır.

- Oran 1 ise, kütlelerin yer değiştirdikten sonra hareketi bu konumu geçmeden ilk konumuna geri dönecektir.
- Oran 0 ise, sönümlenme olmayacaktır ve baca sistemi ilk konumundan hareket ederek diğer tarafa gider ve hareket devam edecektir.
- Tek serbestlik derecesindeki sistemlerde damper sönümlenme oranını belirlemenin en kolay yolu, Baca sisteminin ilk hareketinden itibaren oluşan salınımın %50 oranda azalınca kadar salınım sayısına n dersek, bu durumda sönümlenme oranı $0.11/n$ 'dir.

Kritik rüzgâr hızı;

$$V_{kritik} = C_r \cdot f_d \quad (6)$$

$C_r = 5$ 'tir. (C_r , Strouhal sayısının tersidir.)

3. BACANIN HAREKETİ

Vorteks salınımı sırasında bacada oluşan genlik mutlaka hesaplanmalıdır. Strouhal Sayısı 0,2, maksimum genliği y ; bacanın rijitliği k , ağırlığı m , damper oranı C/C_{cr} , rezonans esnasında bacada oluşan kuvveti F olması durumunda bacanın en üst kısmında oluşan genlik aşağıdaki gibi hesaplanır: [6, 8]

$$y = \frac{F}{\left(2.k.\frac{C}{C_{cr}}\right)} \quad (7)$$

Bu esnada frekansı;

$$F = \frac{1}{2.\pi} \sqrt{\frac{k}{m.h}} \quad (8)$$

Ve genliği ise;

$$\frac{y}{d} = \frac{8.C_L}{S_{CR}} \quad (9)$$

$$S_{Cr} = \frac{4.\pi.\frac{C}{C_{cr}}}{\rho.d^2} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemden m baca yüksekliğinin üçte birine karşılık gelen birim ağırlıktır. Bacanın üst noktasında oluşan hız ise;

$$V = \omega.y = \frac{8,1.\pi.C_L.d.f}{S_{cr}.f_d} \quad (11)$$

Kritik rüzgâr hızı, $5.f_d$ ile bulunur. Eğer Scruton sayısı 7'den büyükse bacanın salınımı artmaya başlar ve bacaya gelen yük artar. Scruton sayısı 15'ten büyük olması durumunda salınım çapın yüzde beşinden daha az olur ve sisteme etkisi yok denebilir [10]. Normal olarak damper sönümleme oranı C/C_r yüzde 3'ten ve Scruton sayısı 15'ten büyük olmalıdır.

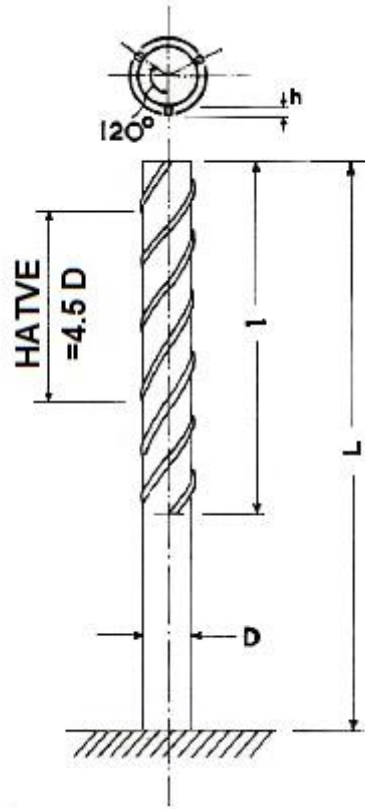
4. HELİSEL ÇEMBERLER

Helisel çemberler bacada oluşan rüzgâr kaynaklı salınımları azaltma aracı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda Scruton ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaların sonuçları tatmin edici sonuçlar vermiştir. Rüzgârın neden olduğu salınımları sönümlemek için bacanın üst kısmından aşağıya doğru belirli hatvelerde helisel çemberler kullanarak salınımları azaltmışlardır.

Baca çapının yaklaşık 4-5 katı bir adıma ve baca çapının yaklaşık onda biri kadar bir çıkıntıya sahip eşit aralıklı üç sarmal çemberle salınımları azaltmayı başarmışlardır. Boyutlara ait veriler aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 1. Helisel Çember Uygulama Parametreleri [14]

Çember Geniştirliđi h/D	Hatve	Çember Mesafesi l/L	Damperleme oranı
0.13	4.5 D	0.36 0.18	1-10 1-10
0.1	4.5 D	0.25	1-10
0.076	4.5 D	0.25	1-10



Şekil 5. Helisel çember uygulama

Dairesel kesitli bacalarda, rüzgârın neden olduğu titreşimler, bacanın üst kısmından aşağıya doğru baca yüksekliğinin 1/3 kadar 120° açı ile helisel çemberler uygulanması ile ortadan kaldırılabılır [14].

5. DAMPERLERİN ÖZELLİKLERİ

5.1 Damperlerin boyutları

Damper vorteksin oluşturduğu kuvvetini dengeleyecek bir karşı kuvvet oluşturmak zorundadır.

Kuvvet:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot V_c^2 \cdot C_L = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25 \cdot d^3 \cdot \frac{h \cdot \omega^2}{4 \cdot \pi^2} = 0,08 \cdot \omega^2 \cdot d^3 \cdot h \quad (12)$$

ile bulunabilir.

$$F_{Damper} = m e \cdot \omega^2 \quad (13)$$

Vorteksin oluşturduğu kuvvet dikkate alınır;

$$m e = 0,08 \cdot d^3 \cdot h \quad (14)$$

olursa vorteks kuvveti dengelenebilir.

Burada; m damper kütlesi ve e ise eksantriklidir.

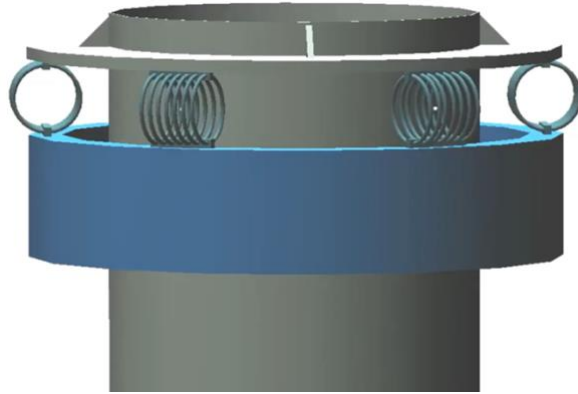
Kütlenin ağırlığı 0.08'e yakın olmalıysa, kütlenin (kg) değerinde

$$m \geq d^3 \cdot h \quad (15)$$

olmalıdır.

Uygulamada çeşitli tipte damperler mevcuttur. Genellikle çelik ve sıvı uygulamalar kullanılmaktadır. Sıvı uygulamalarda dikdörtgen kap içerisinde hareket eden sıvı, cidarlara çarpar ve vorteks kaynaklı

harekete karşı bir karşı kuvvete oluşturarak titreşimi engeller. Damperin kütlesi, damper bünyesinde kullanılan sıvı kütlesinden çok daha küçüktür, bu nedenle büyük çaplı bacalar için çelik damperler tercih edilir. (50 m yüksekliğinde 1,5 m, çapındaki baca sisteminde kullanılan damper kütlesi 169 kg'dır.) [4].



Şekil.6- Sıvı damper uygulaması.

Haddelenmiş çelik tel olabilen bir yay, bir kap içinde hareket eden sıvının frekansı, damper boyutuna bağlı olacaktır. Sıvı damper için kullanılan kabın uzunluğu ve genişliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L = \sqrt{\frac{g \cdot h}{2 \cdot f}} \quad (16)$$

f: Frekans

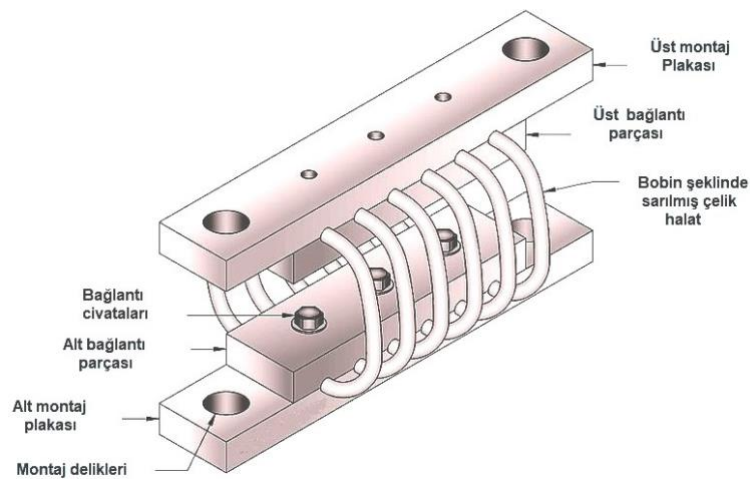
g: yerçekimi ivmesi 9,81 m/s²

Baca yüzeyinde kullanılabilecek sarkaç damperin yarıçapı;

$$R = \frac{g}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2} \quad (17)$$

Sarkaç olarak çelik halatlar ya da hidrolik amortisörler kullanılabilir.

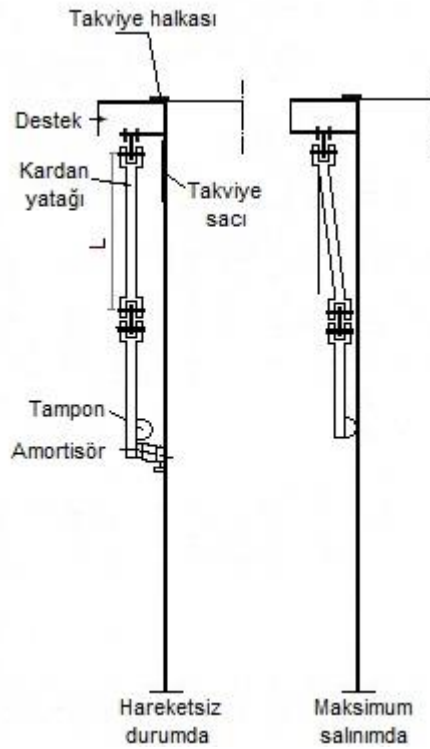
Bir baca sisteminde oluşan salınımların sönmülmesi için çelik tel sarılarak suretiyle sistemde oluşan enerji giderilebilir (Şekil.6).



Şekil 7. Çelik halatlardan yapılmış bir damper bobini

Damperlerin boyutları denklem (1) ve (2) ile belirlenir. Damperin kütlesi, bacanın toplam kütleinin %10'u gibi değerlendirilebilir ama baca sisteminde oluşan titreşimin sönümlenmesi hesaplanmalıdır. Oluşan hareketler, sistemin dinamik denge denklemleri ile iki serbestlik derecesiyle çözümlenerek hesaplanabilir.

Büyük çaplı bir baca için damper seçilecekse süspansiyon özelliği olan amortisör kullanarak damperle baca ile sallanan kütle arasındaki hareketin sınırlandırılması gerekir. Bu baca sistemlerinde kullanılan amortisörler sadece 100 mm içeri ve dışarı veya özel bir kasa ile 150 mm içeri ve dışarı hareket kabiliyetine sahip olmalıdır.



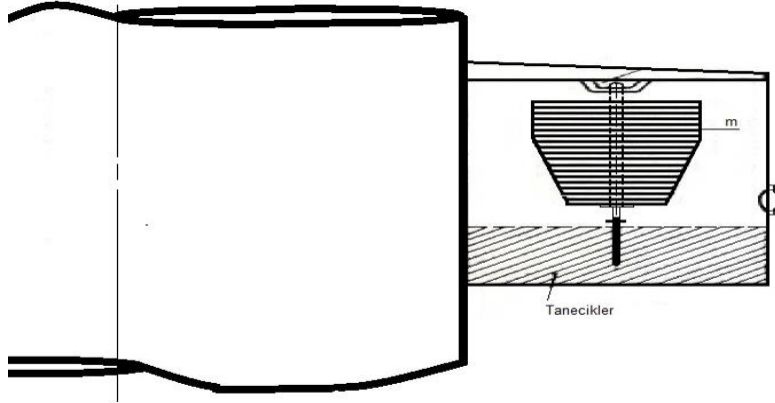
Şekil 8. Amortisörlü damper çalışma prensibi

Büyük çaplı çelik bacalarda damper olarak çelik halkalı bobin, menteşeli ve amortisör uygulamaları ile oluşan titreşimler kolaylıkla sönümlenebilir. Amortisörler, 200-3000 Ns/m, 900-1400 Ns/m ve 400-5000 Ns/m sönümlenme değerlerinde üretilmektedir.

2, 3, 4 veya 6 amortisörden oluşan kombinasyon ile büyük çaplı baca sistemlerinde oluşabilecek titreşimin sönümlenme için çözüm mümkündür [5]. Amortisörlü damper uygulaması şekil 8'de gösterilmiştir.

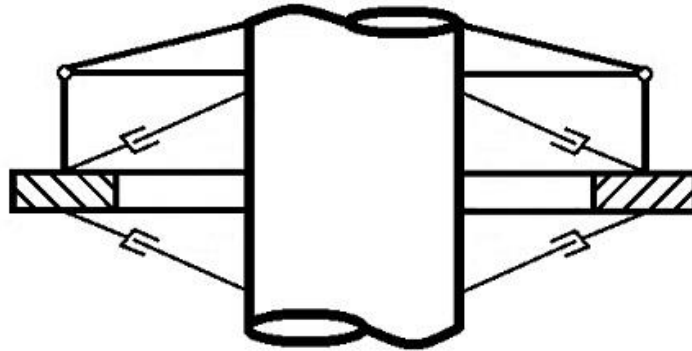
Bacanın üst kısmına monte edilen damper kütlesi baca sisteminin toplam kütleinin yaklaşık %10'u kadardır.

Bu sistem, çifte eksenli sarkaç bağı süspansiyon ucunda sallanan kütle ve çelik sürtünme plakalarından oluşur.



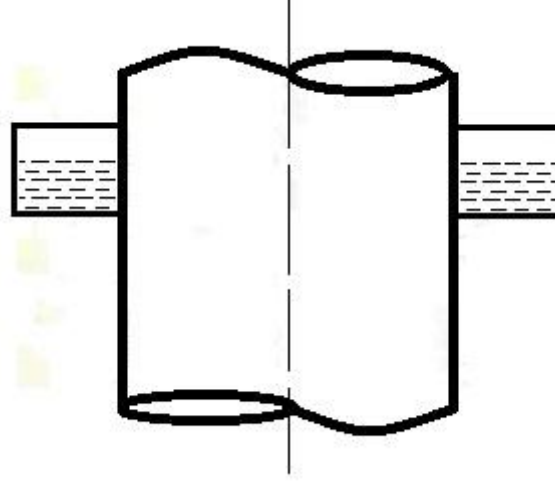
Şekil 12. Langer Sistemi

Bu sistem, çifte eksenli sarkaca bağı sallanan kütlede oluşur. Kütlede sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri plastik tanecikler arasında sürtünerek sönümlenmektedir.



Şekil 13. Reutlinger Sistemi

Bu sistemde çifte eksenli sarkaca bağı sallanan kütlede oluşur. Kütlede sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri özel hidrolik sönümleyicilerle sönümlenmektedir.



Şekil 14. Verwiebe Sistemi

Bu sistemde dairesel halka şekilde kesit içerisinde belli bir yüksekliğe kadar dolduran anti-freeze sıvıdan oluşmaktadır.

7. DAMPER SİSTEMLERİNİN YANLIŞ AYARLANMASI

Damper optimal frekans ve sönümlenmeye ayarlanması her zaman mümkün değildir. Bacada oluşan frekansın sönümlenmesi değişkenlik gösterebilir. Herhangi bir olumsuz etki oluşmaması için sönümlenme hesaplamalarının iyi yapılması önemlidir. Eğer damper rezonans frekansı optimal değer yüzde 10 dışındaysa bacanın sönümlenen frekans yüzde 20 azalır. Kritik sönümlenmenin yapılabilmesi için gereken sönümlenme miktarı minimum yüzde 3'tür. Damper sistemindeki sönümlenme değeri, 0,1 ile 0,2 Hz değerine yakın olmalıdır. Eğer sönümlenmenin değeri bundan fazla ise bacada oluşan titreşim çok değişmemektedir. [9,11,12]

8. SONUÇ

Rüzgâr kaynaklı titreşimlerinin sönümlenmesi için gereken minimum sönümlenme yüzde 3'tür. [10] Su ile yapılan damperlerin donmaya karşı korunmasına ihtiyaç durmaktadır. Uzun bacalar lineer olmayan bobin ya da hidrolik şok soğurucu (absorber) kullanarak sönümlenebilir. Bacanın temelinde oluşan gerilim değişimlerinin düzenli test edilmesi önemlidir. Bu testler damperin uygunluğunu ve damper sisteminin etkisini ölçebilmemizi sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] B.N. Pritchard, 1984, "Steel Chimney Oscillations: A Comparative Study of Their Reported Performance Versus Predictions Using Existing Design Techniques", Engineering Structures, Vol 6, pp. 315-323.
- [2] O.R. Jaiswal, Vasalasrinivas, 2006, "Pendulum Type Tuned Mass Damper to Control Along and Across Wind Response of Tall Chimneys", Third National Conference on Wind Engineering, N. Delhi, pp.162-171.
- [3] Den Hartog, 1985, "Mechanical Vibrations", Dover Publications: Newyork. ASHRAE Fundamentals
- [4] B.J. Vickery, Dec1983, "Simplified Approaches to the Evaluation of the Across-Wind Response of Chimneys", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol 14, Issue 1-3, pp. 153-166.

- [5] M. Zdravkovich, 1981, "Review and Classification of Various Aerodynamic and Hydrodynamic Means for Suppressing Vortex Shedding", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol 7, Issue 2, pp.145-189.
- [6] IS:6533-1989 (Part II), "Code of Practice for Design and Construction of Steel Chimney, Structural Aspect", Bureau of Indian Standards.
- [7] www.mecaenterprises.com
- [8] F. Ricciardelli, 2001, "On the Amount of Tuned Mass to Be Added for Reduction of the Shedding-Induced Response of Chimneys", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.89(14-15), pp.1539-1551.
- [9] Klaus K. Kaemmer, 2005, *The CICIND Chimney Book*, International Committee on Industrial Chimneys: Germany.
- [10] H. Van Koten, Calculation of Damping of Chimneys, CICIND Report 17-1.
- [11] H. Ruscheweyh, T. Galemann, 1996, "Full-Scale Measurement of Wind-Induced Oscillations of Chimneys", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol 65, pp. 55-62.
- [12] R. Ciesielski, A. Flaga, J. Kawecki, 1996, "Aerodynamic Effects on an on-Typical Steel Chimney 120 m High", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol 65, pp. 77-86.
- [13] M.j Kr. Gupta, July 2009, "Design of Vibration-Dampers for Steel Chimneys with Latest Features", *International Journal on Design and Manufacturing Technologies*, Vol 3, No 2.
- [14] B. J. Vickery And R. D. Watkins,1960, "Flow-Induced Vibrations of Cylindrical Structures", In *Proceedings of the First Australasian Conference*, pp. 213–241.