

HVAC SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM *

Mak. Müh. Norman J. Mason

1. ÖZET

Bu makale, HVAC sistemlerinde kullanılan titreşim kontrol sistemlerinin çeşitleri, bileşenleri ve çalışma esasları hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Kapsanan konular arasında titreşim izolasyonunun tarihi, gereken formüller, mesnetler, kaideler ve askılar (örneğin neopren mesnetler, çelik ve havalı yaylar, beton kaideler vs.) gibi ürünlerin ayrıldığı dallar bulunmaktadır.

2. HVAC SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM

1960'lardan önce mühendisler seçimle rini mantar, çeşitli pedler, tek ve çift çökmeli kauçuk ayaklar veya maximum 1 inch çökmeli çelik yaylar arasından yaparlardı. Seçim tamamen kişisel tercihlerine bağlıydı.

Bu metod, HVAC endüstrisine, titreşim kontrolü olarak sunulmuştur. Eğer ekipman bodrum katta, küçük ve kullanan kişiler makinaya zarar vermiyorlarsa bu yöntem herhangi bir sorun çıkartmıyordu. 1900'lü yılların başlarında binalar çok iyi değildi. Döşemeler ince, kişiler kısıydı ve perde duvarlar nadiren kulla-

nılırlardı.

İkinci Dünya Savaşı'nı takip eden yıllarda HVAC sektöründe önemli gelişmeler oldu. Bütün binalar havalandırılmaya başlandı. Önceden makina dairesi veya depo olarak kullanılan bodrum katları, ofis veya otopark olarak kiralanmaya başlandı. Böylece havalandırma üniteleri binanın başka yerlerine, genellikle de soğutma kulelerinin bulunduğu katın altında, yönetim katının üstünde bulunan penhouse'lara yerleştirilmek zorunda kalındı. Birçok durumda, yüksek basınçlı fanlar veya yüksek basınçlı HVAC üni-

teleri, orta katlarda bulunan ofislere konuşu mahallere yerleştirildi ve çok büyük titreşim problemlerine yol açtılar. Ofis mahallerini küçültmemesi için kolon aralıkları arttırıldı. Sonuç olarak da eski yöntemlerle yapılan rastgele seçimler problem yaratmaya başladı.

Bütün bunlar, teorik olarak çok basitleştirilmiş titreşim kontrol eşitliği devrini başlattı. Bu eşitlikten de anlaşılacağı gibi; frekansı bilinen, yukarıda tanımlanan rahatsız edici frekanstan daha düşük bir frekansta rezonansa girilen bir makinanın yattığı titreşimi iste-

Norman J. Mason

1924 yılında New York'ta doğdu. City Collage of New York'ta makina mühendisliği eğitimine başladı. 3 yıl sonra United States Merchant Marine'e çağrıldı.

Gemide operasyon mühendisi olarak çalışırken, ileri geri çalışabilen büyük güçlü makinalar, buhar türbini normal ve dizel makinalar için işletme lisansı aldı. Merchant Marine Naval Academy, Connecticut ve Nordberg Diesel School'da eğitim aldı. 2. Dünya Savaşı'ndan sonra üniversiteye geri döndü ve 1948 yılında makina mühendisliği unvanını aldı. 1923 yılından beri New York'ta profesyonel mühendis olarak çalışmaktadır.

Titreşim kontrolü alanındaki çalışmaları, Amerika'nın en eski titreşim firmasında çalışmaya başlaması ile 1948 yılında başladı. 1958 yılında Mason firmasının kurulmasından önce ikinci bir firmanın ortağı ve teknik müdürü olarak çalıştı.

Mason Industries, 1958 yılında, sektörün en seçkin firması olmak amacıyla kuruldu. O günden beri Mr. Mason'ın bütün dizaynları bütün dünyaca kabul edildi 41 yıldır mason firmasının başkanı ve tasarım müdürü olarak çalışmakta olup, 45 yıldır da Amerika, İngiltere, Çin ve diğer Asya ülkelerinde seminerler vermektedir.

* TTMD IV. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı'ndan alınmıştır.

nen oranda yalıtabiliriz. Rahatsız edici frekansın, doğal frekans oranı 3 olduğunda, teorik olarak titreşimin %90'ı elimine edilmiş olur.

hazırladıkları şekil 1'deki gibi verimlilik çizelgeleri vardır. Rahatsız edici frekans her zaman bilindiği ve deşken olmadığı için doğal veya re-

VERİMLİLİK EŞİTLİĞİ

$$E = 100 \times [1 - (1 / (f_d / f_n)^2 - 1)]$$

E : Yalıtılan titreşimin yüzdesi

f_d : Yalıtılmış makinanın rahatsız edici frekansı

f_n : Yalıtılmış makinanın doğal frekansı

Rahatsız edici frekans olarak en düşük devir sayısı dikkate alınır. Bütün makinalar ilk hızlanma esnasında balans problemi yaşarlar. Eğer formülde yüksek frekansa göre hesap yapılırsa, makina devrini alana kadar yalıtım yetersiz kalır.

Dakikadaki devir sayısı cinsinden doğal frekansın formülü

$$f_n = 188 (1 / d)^{1/2} \text{ şeklindedir.}$$

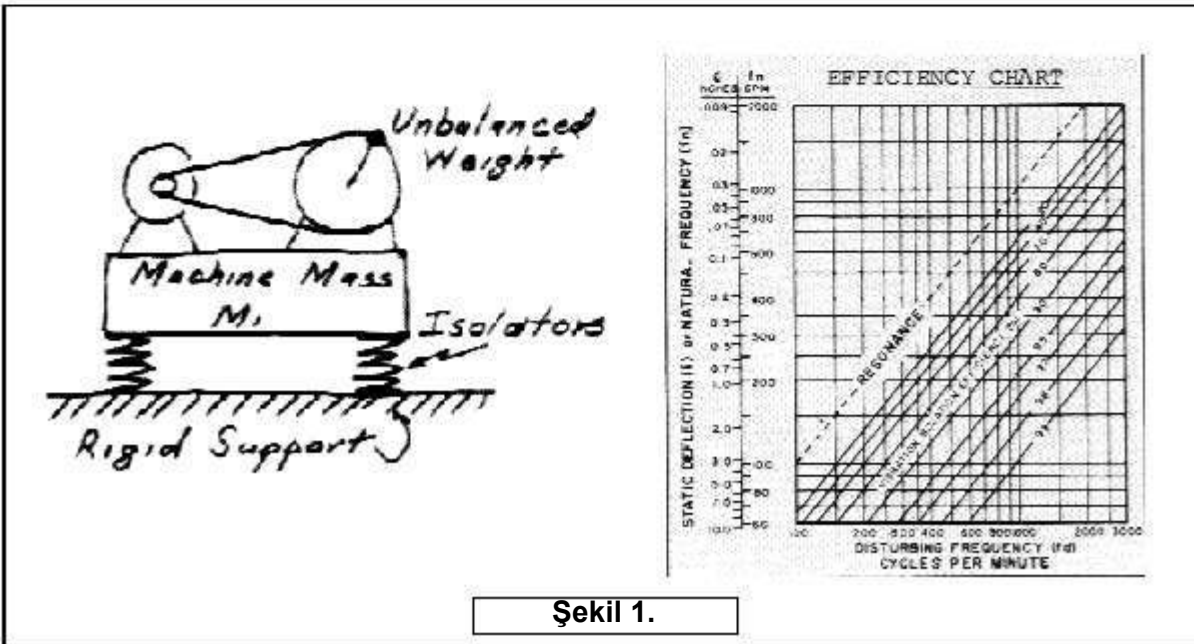
d: statik çökme

Formül, sadece düzenli çökmesi olan kaideler için geçerlidir.

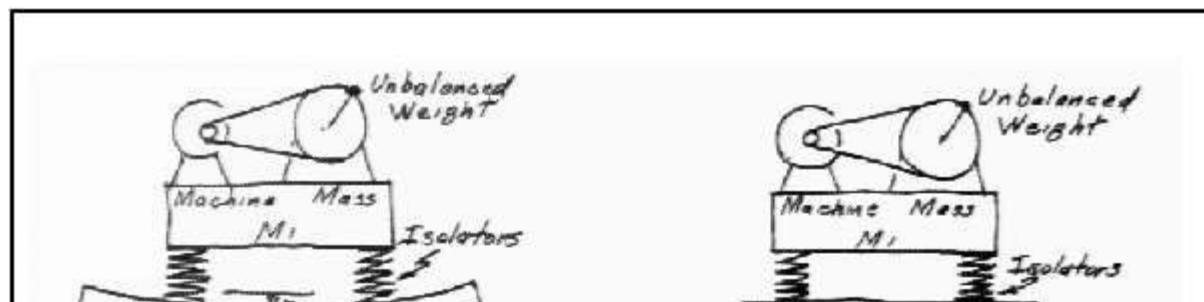
Titreşim yalıtımı ile ilgilenen bütün firmaların, teorik eşitliği grafik şeklinde göstermek için

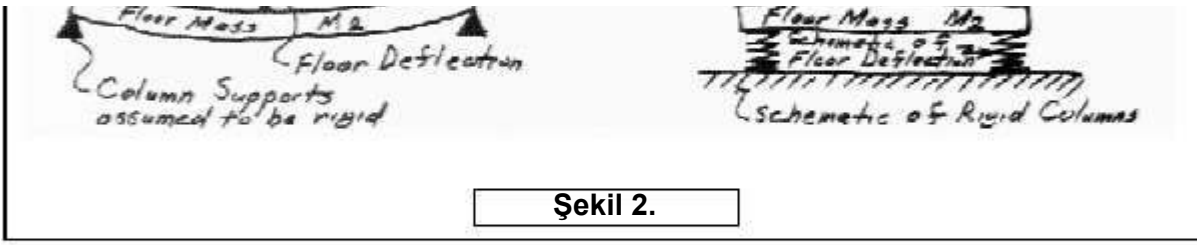
zonans frekansı ile uygun özelliklerdeki yalıtım malzemesi belirlenebilir. Bir sarkacın frekansı gibi; ağırlığından daha çok uzunluğun fonksiyonudur. Bir yalıtım sisteminin frekansı, sistemin ağırlığından çok, titreşim yalıtımının statik çökmesinin fonksiyonudur. 600 d/d'lık bir kompresörün %90 yalıtım verimine sahip olabilmesi için 1 inch çökme yapabilen veya rezonans frekansı 188 d/d olan bir yalıtım malzemesi seçilmelidir. Titreşim yalıtımı yapan firmalar, titreşim yalıtım malzemesiyle havalandırma cihazından yayılan titreşimin %90'ını elimine edecek şekilde yalıtım yapılması gerektiğini savunmaktadırlar.

Bu yaklaşım, titreşim alıcı seçimlerinde önsezellere dayalı bir düzeltme idi ve sadece bir başlangıç olarak oluşturulmuştu. %90 yalıtımda, titreşimin büyüklüğü gözönüne alınmamıştı. Bir titreşim problemiyle karşı karşıya kalındığında öncelikle bilinmelidir ki; titreşim kuvveti, dengelenmemiş ağırlıkla, dengesizliğin merkezden olan uzaklığıyla, hızın veya devir sayısının karesiyle değişmektedir. 300 d/d ile çalışan 18'' bir fanın titreşim kuvveti, 100 d/d ile çalışan 60'' class 3 fanın titreşim kuvveti ile



Şekil 1.





Şekil 2.

karşılaştırıldığında çok önemsiz kalmaktadır. %90 yalıtım 18'' olan fan için gereksizdir, fakat büyük olan için yetersizdir. Teorik eşitliğe göre yapılmış olan yanlış seçimlerden dolayı ciddi hatalar yapılabilmektedir.

Yalıtım malzemesindeki çökmenin, kat zeminindeki çökmeden çok çok büyük olduğu düşünülmesine dayalı olan eşitlik yanlıştır. Bu varsayımlar, küçük cihazların bulunduğu eski binalar için doğrudur, günümüzde nadiren geçerlidirler. Çünkü tek kütleli sistemlerden daha çok çift kütleli sistemlerle çalışılmaktadır. Zeminin bir kütlesi vardır ve Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem, basit teorik eşitlikle analiz edilemez. Teorik eşitlik kullanılırsa çoğunlukla zeminin çökmesinden daha küçük çökmeli bir titreşim yutucu seçilebilmektedir. Örneğin, 3000 d/d'lık bir cihazı yalıtım ve titreşimin %95'ini elimine etmek istiyorsak, grafiğe göre 0.09'' çökmeli yalıtım malzemesi seçeriz. Zeminler, iki giriş arasındaki mesafenin maksimum 1/360'ı kadar çökmeye izin verecek şekilde dizayn edilmiştir. Yaygın olarak 30 foot açıklık kullanılmakta ve zemin çökmesi 1/360 x 360'' (1'') kadar olabilmektedir. Eğer zemin, izin verilen maksimumun sadece yarısı kadar çökmeye sahip ise bile 0.5'' çökmesi olacaktır. Bu da yalıtım malzemesinin çökmesinin 5.5 katıdır.

Bu sert yalıtım malzemesi, zemin titreşimini hemen hemen hiç azaltmayacaktır. Vibrasyon

yalıtımı uygulama problemlerini çözecek karmaşık bir takım eşitlikler vardır. Ne yazık ki bir takım şartlar tahmini olarak alınmıştır ve sonuçlar da bu tahminler doğru olduğu sürece doğrudur. Eğer döşemeyi oluşturan beton hafif ise, yalıtım malzemesinin çökmesinin döşeme çökmesinden 6-8 kat daha fazla olması gerekmektedir. Problem çözerken, bu rakamlar ekstrem ise; teorik grafikte tavsiye edilen ve yeterli olma yacak 3/8'' çökmeli malzemeler yerine 3'' statik çökmesi olan titreşim alıcılar kullanılır.

Tavsiye edilen çökme miktarları, tamamen tecrübeye dayandırılmış genel değerlerdir.

Bazı durumlarda, bu değerler problemin çözülmesi için gerekenden daha fazla olabilirler, fakat ticari uygulamalar daha geniş anlamda ele alınmalıdır. Çok büyük ve kritik işlerde, kaliteli akustik projecilerin tarafsız profesyonel kararlarına güvenmek istenebilir. Yapılan analizlerde, büyüklüğüne ve bulunduğu binadaki yerine göre her bir cihaz için gerekenler kesin olarak belirtilmelidir. ASHRAE rehberindeki Mühendislik Spesifikasyon Bülteninin sonundaki seçim tablosunda çeşitli giriş aralıkları için gerekli çökme miktarları verilmiştir. Bu değerler, standart hale gelmiştir.

Daha fazla çökmeli malzeme ihtiyacı olması hali, ürünlerin sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır.

Pedler, ister neopren veya mantar, ister her

ikisinin kombinasyonu, fiberglas, sisal lifler, keçe, kurşun veya başka bir malzeme olsun, sıvı geçirmez bir çökmeye sahiptirler. Çökmeler normal



olarak 1'' kalınlığındaki bir ped için kalınlığın %10-20'si gibidir. Yüksek katlardaki cihazların

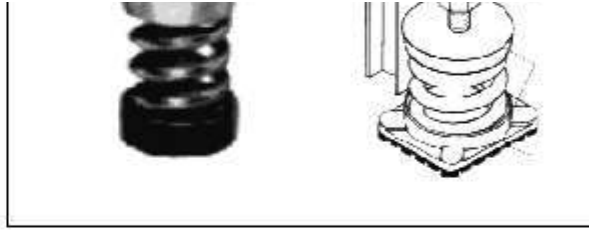
lanırlılar. Çünkü neopren malzemeler, yayların tek başlarına yapamayacakları kadar yüksek frekanslı sesleri elimine ederler.

Çelik yaylar, kritik durumlarda kullanımı en yaygın olan titreşim alıcılarıdır. Çelik yaylar, pratik olarak 5'', bazı özel durumlarda da daha fazla çökme yapabilirler. Yaylar, çeşitli dizayn imkanları verirler. Çelik yaylar makina kadar ka

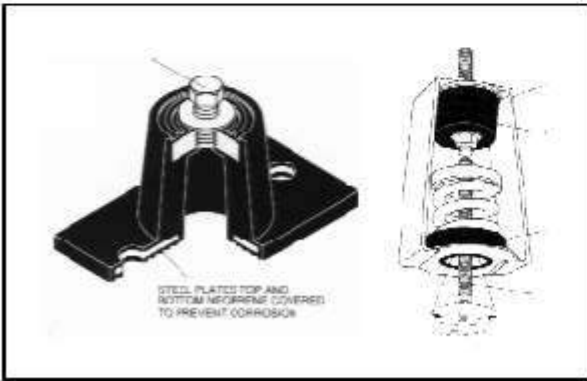


titreşimlerinin alınması için bu çökme miktarları yeterli olmayacağı için, kullanım alanları bodrum katlar ve kritik olmayan cihazlar ile sınırlıdır.

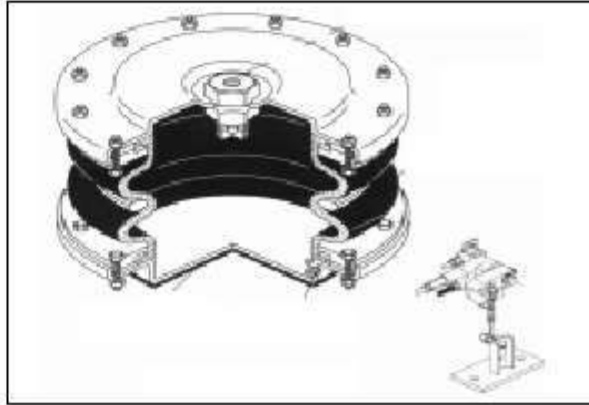
1 Neopren ayaklar ve askıların çökme miktarları 0.20'' - 0.50'' arasındadır. Bunlar 3 HP'ye kadar olan pompaların, küçük ısıtma ve havalandırma üniteleri gibi cihazların, yüksek hızlı küçük ekipmanların titreşim yalıtımında, dengesiz kuvvetlerin çok küçük olduğu, sadece ses probleminin ya da küçük bir titreşim probleminin olduğu yerlerde gerekli statik çökmeyi sağlayabilirler. Neopren askılar, nadiren titreşen, aslında normal olarak yüksek frekanslı ısılık sesi çıkartan buhar hatlarında kullanılırlar. Titreşim alıcıların en randımanlısı hava yaylarıdır. Genel olarak bir hava yayı; 100 psi veya daha fazla hava basıncına dayanıklı olarak üretilmiş ve cihaza stabil destek sağlayan geniş lifli takviyeli kauçuk balondan oluşur. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş bir hava yayı, çelik yayın 6-7'' çökmesine eşdeğer bir çökme sağlar -



lıcı ve uzun ömürlüdür. Modern titreşim alıcıların, yani ilave bir şeye gerek kalmadan gerekli stabilizeyi sağlayacak yeterli büyüklükteki çelik yayların bağlantı şekilleri çok önemlidir. Yaylar genellikle bir ayar civatası ve neopren ped veya yüksek frekanslı sesi hafifletici malzemeler ile birlikte kullanılırlar.



lerde, spesifikasyonlar yay kullanılmasını önerirler. Çünkü neopren ayaklarla küçük yayların fiyatları arasında fazla fark yoktur. Neopren askı elemanları, genellikle yaylarla seri olarak kul-



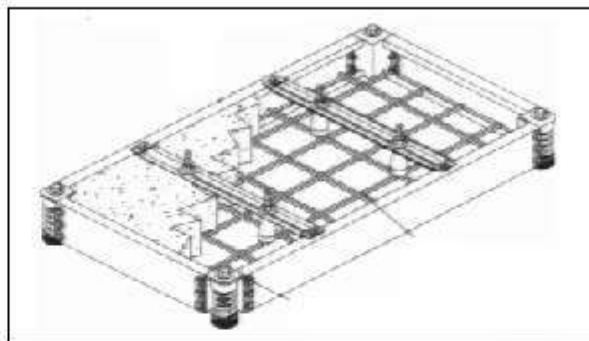
78 ■ TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ - Ekim 2000

. Hava yayının cidarları kauçuktan olduğu için, çelik yaylarda meydana gelebilen rezonans veya ses köprüsü riski yoktur. Hava yayları, tek bir boyuttaki yay ile hava basıncını çok az miktarda değiştirerek çeşitli ağırlıklardaki yükleri taşıyabilme avantajına sahiptir. Hava yayları, küçük kaçakları ya da büyük sıcaklık farklarından doğabilecek genişleme veya büzülme hareketlerini kompanze edecek bir yükseklik kontrol vanası ile birlikte monte edilirler. Hava yaylarının montajı, çelik yaylarınkine nazaran daha pahalı olduğu için hava yayları son derece kritik yerlerde uygulanır.

Çelik veya beton kaideler, genellikle ekipmanı düzenli bir biçimde muhafaza etmek için kullanılırlar. Kaideler, dökme demir pompa kaidesi gibi mevcut bir kaidenin kuvvetlendirilmesi, sant rifüj kompresörler gibi uzun cihazları stabil hale

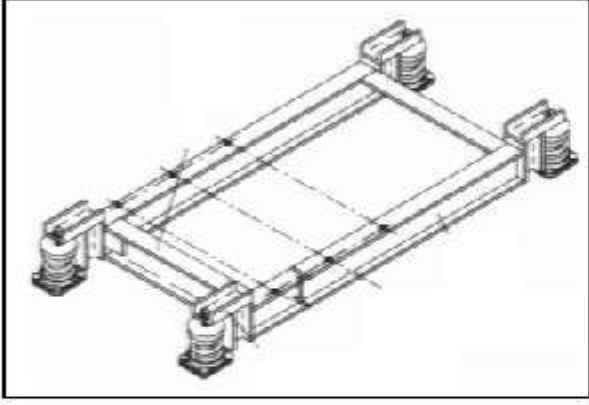
lıdır. Özellikle büyük güçlü cihazlar için ilave bilezikler kullanılabilir.

Yüzer beton kaideler özellikle pompalar için tavsiye edilmektedir. Pompa için gerekli olan ekstra sağlamlık ve şaplanmış yüzey gibi özellikler, yüzer beton kaidelerde mevcuttur. Eğer en önemli faktör sağlamlık ise, beton derinliği, ka-



idenin en uzun kenarının 1/12'si kadar olmalıdır.

getirmek veya uzun ve birçok bölümden oluşan ısıtma ve havalandırma ünitelerini birarada tutmak için de kullanılabilirler. Birçok durumda, beton yerine çelik kaideler kullanılır çünkü kullanacağı mahale kaynaklanmış, hazırlanmış halde gönderilebilmektedir. Beton kaide ile karşılaştırıldığında hafifliği sebebi ile döşeme



betonunun güçlendirilmesine ihtiyaç kalmaz. Çelik kaidelerin kullanılması halinde dikkat edilmesi gereken en önemli konular; cihazı taşıyabilmesi için yeterince rijit olması ve taşıdıkları cihazın frekansında rezonansa girmemesidir. En iyi yöntem, kaide elemanları olarak çelik kirişlerin kullanılmasıdır. Kiriş derinlikleri, kaidenin en uzun kenarının en az 1/10'u kadar olma

Beton kaideler, cihazın balanssızlığına, dışardan gelebilecek bir takım kuvvetlere karşı dayanım için bir kütle artışı gerekli olması halinde de kullanılmaktadır.

Tek veya çift silindiri, yatay veya dikey, düşük hızlı hava kompresörü, balanssız bir cihaza örnek olarak gösterilebilir. Bu geniş kalibreli, uzun stroklu makinalar genellikle 350 d/d'da çalışırlar ve sadece kısmen balanslanabilirler.

Beton kaidenin ağırlığı, kompresör üreticisinden alınan dengelenmemiş kuvvet bilgilerine göre hesaplanır. Beton kaidelerin ağırlıkları, hareketi kabul edilebilir limitlere indirebilmek için kompresör ağırlığının 5-7 katı kadar olmalıdır.

Beton kaideler, fan itme kuvveti gibi dış kuvvetlere karşı da dayanıklıdır. Fan itme kuvveti ve ters vakum gibi cihazları yerinden oynatacak kuvvetler yüzünden, yüksek basınçlı, kabinli cihazların yalıtımı yapılırken beton kaidelerin kullanılması gerekmektedir. Yüksek basınçlı fanların titreşim yalıtımında da beton kaidelerin kullanılması önerilmektedir. Bu durumda ağırlık ihtiyacı, cihaz ağırlığının 1-3 katı gibi bir değer düşmektedir.

Basit çelik kaideler, beton dolu kaidelere göre daha ekonomik olmalarına rağmen, spesifikasyonlarımızın çoğu, daha kolay bir uygulama

metodu olan beton ile ilgilidir.

Kauçuk genişleme parçaları, ses köprüsünü ve borudaki gerilimi azaltması için, kesme vanalarının cihaz tarafına yerleştirilmelidir. Sıcaklık ve basıncın çok yüksek olduğu tesisatlarda kauçuk yerine paslanmaz çelik veya bronz metalik hortumlar önerilir. Flexible metalik hortumlar, boru hattındaki seslere karşı çok az koruma sağlarlar. Cihaz bağlantı noktalarında esneklik sağlarlar. Bu da, flanşlardaki gerilimi azaltır ve titreşim yalıtımı yapılmış olan cihazın yaylar üzerinde serbest olarak hareket etmesine olanak verir. Kauçuk bağlantı parçaları, ses köprülerini ve borudaki gerilimi azaltır. Vibrasyon iletimini azaltmaz.

Vibrasyon, boru hatları boyunca çok uzak mesafelere iletilir. Bu yüzden de bina içindeki bütün boruların titreşime karşı yalıtılması şarttır. Bu yalıtım malzemeleri ile yapılmalıdır.

Bütün yüksek basınçlı kanal bağlantıları flexible olmalıdır. Bu bağlantılar, vibrasyonun binaya iletilmesini engelleyemezler. Kanallar normal olarak cihazdan 50' uzaklığa kadar 1" çökme askı yayları ile yalıtılmalıdır.

Mühendislik spesifikasyonları, endüstride yaygın olarak kullanılan cihazların statik ve sismik bölgelerini tanımlamaktadır. Bizim seçim kılavuzumuz, bu cihazları tavsiye edilen minimum statik çökmeleri ile birlikte göstermektedir. Bu kılavuzun amacı, spesifikasyonlar hakkında genel bilgi vermektir. Konu ve uygulamalar hakkında genel bir görüş açısı kazandırması bakımından, kullanılmasını öneririz.

Umarız bütün bu öneriler, sizlere işlerinizde yardımcı olur ve bizler de titreşim kontrolü ile ilgili bilgi havuzuna katkıda bulunmaya devam ederiz.



U HAKKAK

Soğutma Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şti.

SOĞUTMADA UZMAN, GÜVENİLİ

- Soğuk Muhafaza Depoları, Donmuş Muhafaza Depoları,
- Dondurma (şok) Tünelleri, Endüstriyel Soğutma Tesisleri,
- Buz Üretim Tesisleri,
- Paket ve Split Tip Soğuk Oda Üniteleri,
- Kondenser ve NH₃ Soğutucuları,
- Su Soğutma Kuleleri,
- Amonyak Genleşme Tankları,
- Süt Soğutma Tankları,
- Komple Soğutma Tesisleri Tamir, Bakım ve Revizyonu,
- Amonyak ve Freon Gazları

Merkez: Necatibey Caddesi Leblebici Şaban Sok. No. 24 Mart Han Kat: 3/1
Tel. (0212)293 45 55 - 252 40 08 Fax: (0212) 252 58 99 Karaköy-İSTAN