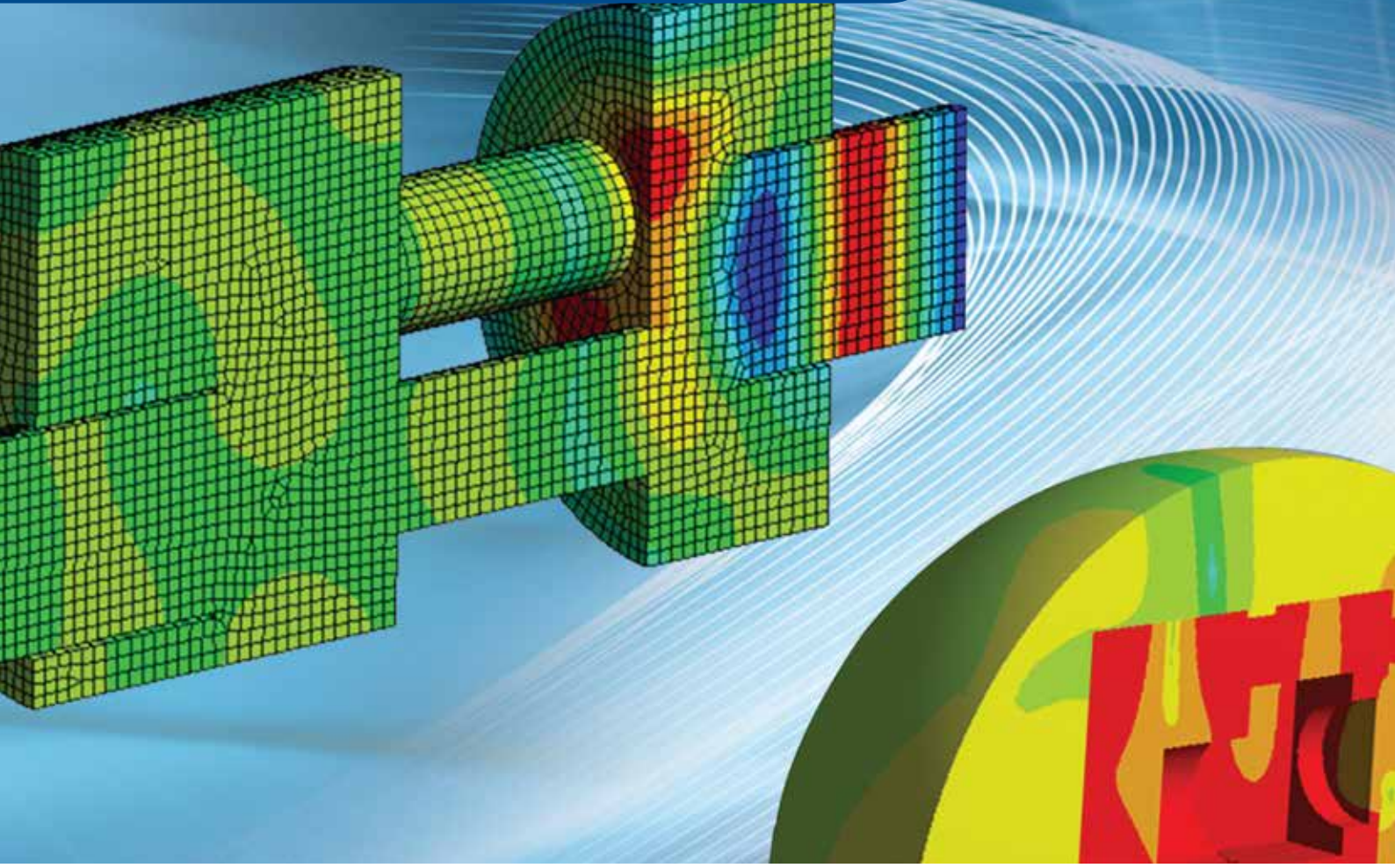


DİZEL JENERATÖR SETLERİNDE GÜRÜLTÜ DENETİM ÇÖZÜMLERİ



Hakan Doğan

hakan.dogan@teksanjenerator.com.tr
Ar-Ge Müdürü

TEKSAN JENERATÖR



Murat Uysal

murat.uysal@teksanjenerator.com.tr
Uzman Ar-Ge Mühendisi

TEKSAN JENERATÖR

Günümüzde insanların daha düşük gürültülü bir ortamda yaşama ve çalışma talebiyle beraber dizel jeneratörlere yönelik gürültü kontrolü uygulamaları da gitgide artarak önem kazanmıştır. Bu sektördeki firmaların pazardaki paylarını koruyabilmeleri veya artırebilmeleri için daha sessiz ürünler sunmaları gerekmektedir. Gürültüyü azaltmak için sektörde en sıklıkla kullanılan uygulamalardan birisi dizel jeneratör setinin bir akustik kabin (kutu) içine yerleştirilmesidir. Bu çözümle beraber gelen ısınma problemini de göz önüne alarak, kullanıcının beklentisine göre pratik ve ucuz çözümler üretebilmeleri gerekmektedir. Aşağıdaki bölümlerde dizel jeneratörler özelindeki gürültü problemleri ve gürültü kontrol çözümleriyle ilgili bilgilerin yanı sıra bazı temel akustik tanımlamalardan bahsedilecektir.



Şekil 1. Dizel Jeneratör Seti ve Akustik Kabini

GİRİŞ

Sesin fiziksel olarak tanımı "Mekanik bir uyarı sonucu oluşarak katı, sıvı ya da gaz gibi elastik bir ortamda yayılan basınç dalgalarıdır" şeklinde yapılabilir. Sesin oluşumu, sesin yayılımı ve sesin algılanması olarak üç ana kısımda ayrıştırılarak irdelenir. Gürültü ise oldukça öznel bir kavram olmasına rağmen genellikle çoğu insanı rahatsız eden sanayi problemlerindeki yüksek düzeyli, istenmeyen, hoşnutsuzluk yaratan seslerdir.

Ses iki farklı şekilde oluşabilir:

- 1- Doğrudan hava içinde oluşan ses (türbülanslı akış)
- 2- Titreşim hareketi yapan katı bir cismin oluşturduğu ses(kilise çanı).

Sesi yayılım koşullarına göre ise:

- 1- Sadece hava üzerinden geliyorsa hava iletimli (birincil),
- 2- Kaynaktan titreşim yoluyla ilerleyip farklı bir konumda sese dönüşüyor ise yapı iletimli (ikincil) olarak iki gruba ayırabiliriz.

Gürültü ülkemizde ilgili bakanlıklar tarafından yürürlüğü konulan çeşitli yönetmeliklerle kontrol altına alınmaktadır. Daha katı yasalar ise Avrupa ve Amerika'da uzun yıllardır uygulanmaktadır. Bunlara ek olarak, müşteriler tarafından daha sessiz ürünlere yönelik talepler giderek artmaktadır.

Toplam gürültünün azaltılarak, seviyelerin kontrol altına alınması için:

- 1- Baskın olan gürültü kaynaklarının belirlenmesi,
- 2- Baskın olan frekansların belirlenmesi,
- 3- Gürültünün hangi yolu izleyerek algılayıcıya ulaştığının tespit edilmesi gerekmektedir.

DİZEL JENERATÖR SETLERİNDEKİ GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI

Dizel jeneratör setlerinde ana gürültü kaynağı olarak dört adet birimden bahsedilebilir (Şekil. 3.) :

• Motor Bloğu Gürültüsü

Mekanik kuvvetler ve silindir içindeki yanma ve patlamalar sonucu oluşan gürültü genellikle geniş bantlıdır (63 Hz – 8,000 Hz). Alçak frekanstaki belirgin bant, motorun silindir sayısı ile ters orantılıdır. Ses basıncı düzeyi (1m mesafede) ise motor hacmine ve çalışma devrine bağlı olarak 100 dB(A) ile 125 dB(A) arasında değişmektedir.

• Radyatör Fanı Gürültüsü

Fandan geçen yüksek hızdaki havanın öncesinde ve sonrasında türbülansa girmesi sebebiyle oluşan gürültüdür. Orta ve yüksek frekanslarda daha belirgin olup geniş bantlıdır (250 Hz – 8,000 Hz). Baskın olan frekansları ise fanın dönüş hızı ve kanat sayısı belirlemektedir. Ses basıncı düzeyi (1m mesafede) ise genellikle 95 dB(A) ile 105 dB(A) arasında değişmektedir.

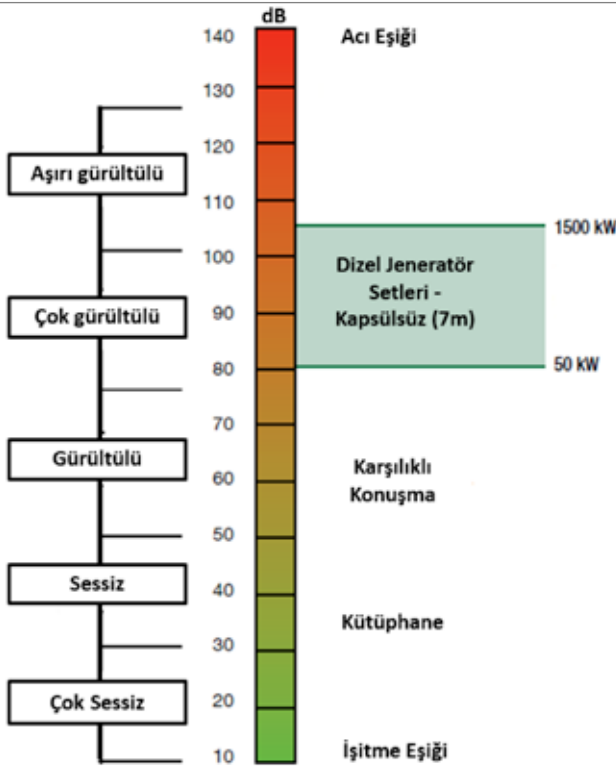
• Alternatör Gürültüsü

Sürtünme, titreşim (elektromanyetik kaynaklı) ve hava akışının sebep olduğu bu gürültü geniş bantlıdır. Motor gürültüsünün genellikle 15 dB altında bir ses basıncı düzeyine sahip olduğu için hesaplamalarda ihmal edilebilir.

• Egzoz Gürültüsü

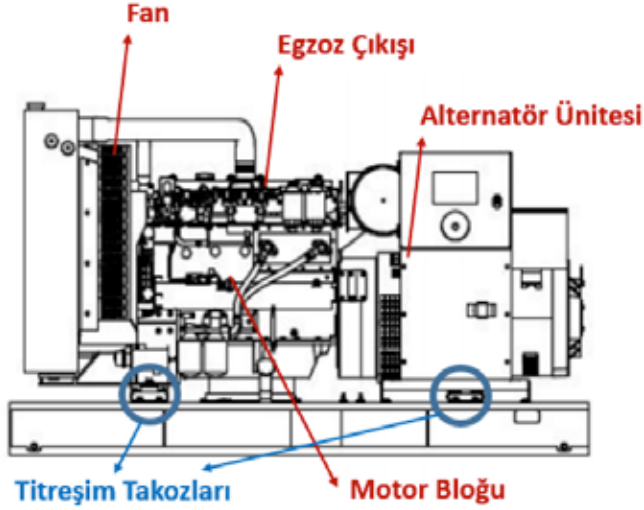
Motor silindirlerindeki patlamalar sonucu oluşan bu gürültü herhangi bir susturucu takılmadığı durumda motor gürültüsünden yaklaşık 20 dB daha fazladır. Kullanılan susturucuya bağlı olarak egzoz gürültüsü 10 dB - 40 dB arasında düşürülebilir. Bunların yanı sıra, yapı iletimli ikincil gürültüler ise motor bloğuna ait olan dengelenmemiş kuvvetlerin yaratmış olduğu titreşimlerin, set üzerindeki panelleri etkileştirilerek dolaylı olarak ortaya çıkan alçak frekanslı gürültülerdir.

Sistem ile zemin arasındaki titreşim takozlarının dinamik özelliklerinin doğru belirlenmesi bu gürültünün azaltılmasında kritik seviyede önemlidir.



Şekil 2. Gürültü Düzeyleri

Gürültü kontrol uygulamalarının geliştirilmesinden önce yukarıda bahsedilen birimlerin ses gücü spektrumlarının bilinmesi gereklidir. Genellikle bu değerler üretici tarafından sağlanmaktadır. Aksi durumda ses gücü düzeylerinin belirlenmesi için ISO 3744:2010 standardına uygun şekilde ölçüm yapılmalıdır.



Şekil 3. Dizel jeneratör seti üzerindeki baskın gürültü kaynakları

DİZEL JENERATÖR SETLERİ İÇİN GÜRÜLTÜ KONTROL STRATEJİLERİ

Dizel jeneratör gürültüsünü azaltmak için uygulanan stratejilerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

1. Akustik Kabin

Jeneratör gürültüsünü düşürmek için en sıklıkla kullanılan yöntemdir. Jeneratör seti çepeçevre kompozit bir panel ile kapatılıp, etrafa yayılan gürültünün 1- geri yansıtma 2- sönümleme mekanizmaları sayesinde düşürülmesi hedeflenir. Akustik açıdan en iyi performansı alabilmek adına kabinde açıklık bırakılmamalıdır. Fakat jeneratördeki ısınma probleminin önüne geçebilmek için hava emiş ve hava atış açıklıkları olacağından, iyi bir kabin tasarımı akustik ile ısı transferi çözümünün ortak değerlendirilmesiyle mümkündür.

Kabini oluşturan kompozit panelin akustik performansı "iletim kaybı" ve "ses yutma katsayısı" parametreleri ile değerlendirilmektedir. İlk parametre panel üzerine gelen ses enerjisinin ne kadarını ilettiğini, ikinci parametre ise ses enerjisinin ne kadarını sönümleyip ısı enerjisine çevrildiğini göstermektedir. Bu iki parametrenin özellikle gürültünün baskın olduğu frekanslarda yüksek, diğer frekanslarda ise uygun seviyelerde olması beklenir. Paneli oluşturan çelik (ya da alüminyum) ve yalıtım malzemelerinin kalınlıkları ve fiziksel parametreleri gürültünün baskın olduğu

frekanslara göre belirlenmelidir. İzolasyon malzemeleri akustik enerjinin sönümlemesinde soğurucu, metal katmanlar ise akustik enerjinin yansıtılmasında bariyer görevine sahiptirler.

DİZEL JENERATÖR SETLERİ İÇİN GÜRÜLTÜ KONTROL STRATEJİLERİ

Dizel jeneratör gürültüsünü azaltmak için uygulanan stratejilerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

1. Akustik Kabin

Jeneratör gürültüsünü düşürmek için en sıklıkla kullanılan yöntemdir. Jeneratör seti çepeçevre kompozit bir panel ile kapatılıp, etrafa yayılan gürültünün 1- geri yansıtma 2- sönümleme mekanizmaları sayesinde düşürülmesi hedeflenir. Akustik açıdan en iyi performansı alabilmek adına kabinde açıklık bırakılmamalıdır. Fakat jeneratördeki ısınma probleminin önüne geçebilmek için hava emiş ve hava atış açıklıkları olacağından, iyi bir kabin tasarımı akustik ile ısı transferi çözümünün ortak değerlendirilmesiyle mümkündür.

Kabini oluşturan kompozit panelin akustik performansı "iletim kaybı" ve "ses yutma katsayısı" parametreleri ile değerlendirilmektedir. İlk parametre panel üzerine gelen ses enerjisinin ne kadarını ilettiğini, ikinci parametre ise ses enerjisinin ne kadarını sönümleyip ısı enerjisine çevrildiğini göstermektedir. Bu iki parametrenin özellikle gürültünün baskın olduğu frekanslarda yüksek, diğer frekanslarda ise uygun seviyelerde olması beklenir. Paneli oluşturan çelik (ya da alüminyum) ve yalıtım malzemelerinin kalınlıkları ve fiziksel parametreleri gürültünün baskın olduğu frekanslara göre belirlenmelidir. İzolasyon malzemeleri akustik enerjinin sönümlemesinde soğurucu, metal katmanlar ise akustik enerjinin yansıtılmasında bariyer görevine sahiptirler. Bu parametreler akustik empedans tüpünde frekansa bağlı olarak ölçülerek elde edilmesinin yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak da hesap edilebilmektedir. Şekil. 4'te ses yutma katsayılarını ve iletim kaybı değerlerini ölçmek için geliştirmiş olduğu empedans tüpüyle beraber tipik bir panel kesitine ait görsel paylaşılmıştır.



Şekil 4. Empedans Tüpüne (solda) ve Tipik Bir Panelin Kesitine ait Görseller

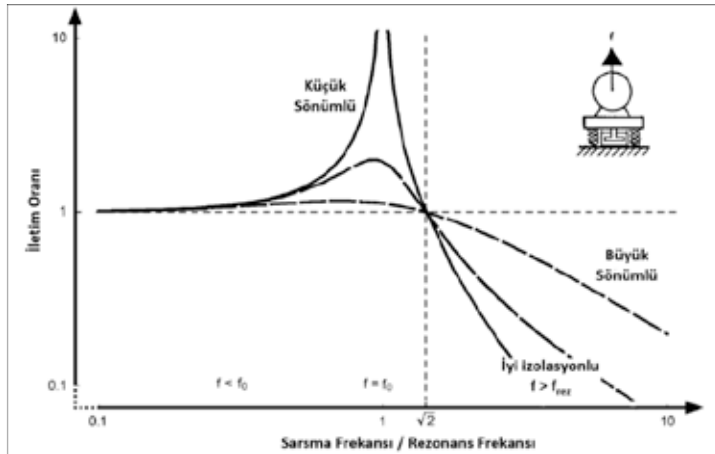
2. Egzoz Susturucuları

İçten yanmalı motorların egzoz gürültüsü susturucular kullanılarak ses enerjisini geri yansıtma ve sönümleme yolları ile azaltılmaktadır. Geometrik boyutlarla beraber ses yutucu malzemelerin akustik özellikleri susturucuların tasarımında dikkate alınan parametrelerdir. Tek bir susturucu ile egzoz gürültüsünün yeteri kadar susturulamadığı durumlarda ikinci bir susturucu ya da rezonatör sisteme entegre edilebilir. Susturucuların akustik performansları iletim kaybı veya eklenti kaybı parametreleri üzerinden değerlendirilir.

İletim kaybı parametresi susturucunun girişi ve çıkışındaki ses güçlerinin logaritmik oranıdır ve sayısal olarak hesap edilmesi eklenti kaybına göre oldukça pratiktir. Ölçümü ise boyutu uygun bir empedans tüpünde transfer matris yöntemi (ASTM E2611 – 09) ile yapılabilir. Eklenti kaybı ise sistemin çıkış noktasında susturucusuz ve susturuculu durumlardaki ses güçleri arasındaki logaritmik orandır. Ses kaynağındaki ve çıkıştaki akustik empedans etkileri eklenti kaybı parametresi içinde yer aldığından hesap edilmesi daha zordur, fakat ölçülmesi daha kolaydır.

3. Titreşim Takozları

Dizel motordaki dengelenmemiş kuvvetlerin yaratmış olduğu titreşimlerin motor ile oturduğu yüzey arasındaki titreşim yalıtımının sağlanması özellikle büyük hacimli motorlarda mutlaka dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Motorun bağlandığı yapıya ve etrafına yapısal hasar vermemesi için alınması gereken bu önlem aynı zamanda ikincil gürültü (ağır frekanslı) oluşumunun önüne geçilmesini sağlamaktadır. İletim oranının (Şekil.5) birden düşük değere sahip olduğu bölgeler hedeflenerek titreşim takozunun mekanik parametreleri belirlenebilir.



Şekil. 5. Titreşim İzolasyonu için Kullanılan İletim Oranının Fonksiyonu

4. Diğer Stratejiler

Yukarıda belirtilen ana stratejilerin yanı sıra jeneratör seti gürültüsünün azaltılmasına yönelik;

• Mesafenin artırılması:

Gürültü kaynağı ile alıcı (insan kulağı) arasındaki mesafe ne kadar fazla olur ise, işitilen gürültü o kadar az olacaktır. Yansıtıcı herhangi bir yüzey yok ise, gürültü kaynağından uzaklaşılan her iki katı mesafede gürültü yaklaşık 6 dB azalacaktır.

• **Optimum konumlandırma:** Dizel jeneratör setinin alıcının konumu göz önüne alınarak, en uygun pozisyonda ve lokasyonda yerleştirilmesi hedeflenen noktadaki gürültünün düzeyinde azalma sağlanacaktır.

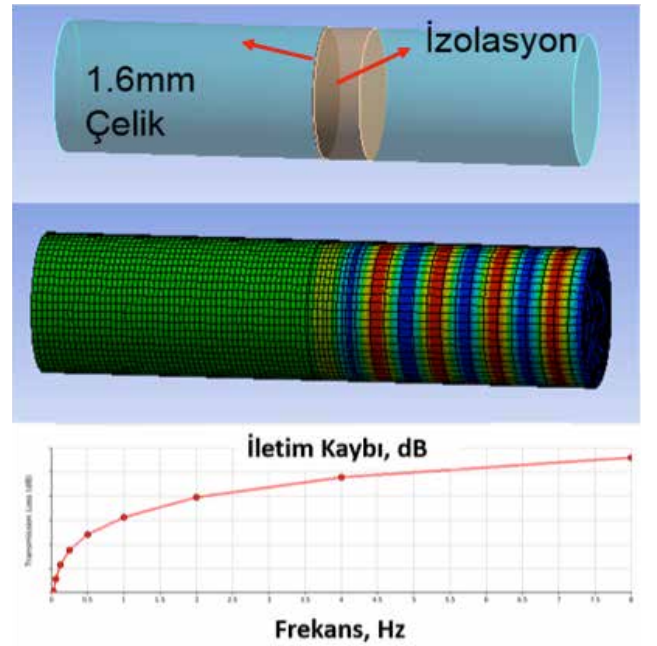
• **İzolasyonlu ve bariyerli hava emiş ve atış kanalları:** Kabin üzerindeki bu açıklıkların etrafına yalıtım ve bariyer (engel) çözümleri uygulanabilir.

Numerik Hesaplama Örnekleri

Gürültü kontrol uygulamaları fiziksel hale dönüştürülmeden önce dizel jeneratör sistemlerinin akustik hesaplamaları sayısal olarak günümüz teknolojileri ile pratik ve yüksek doğrulukla yapılabilmektedir. En çok kullanılan sayısal yöntemlerden birisi de sonlu elemanlar yöntemidir.

Panel İletim Kaybı Hesaplamaları

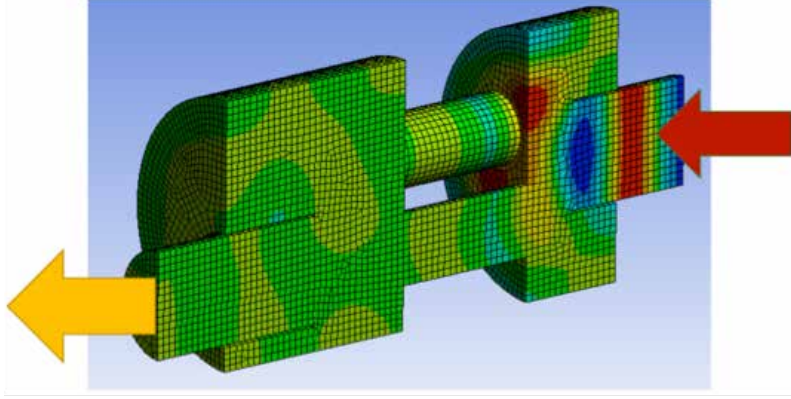
Kabin panellerinin akustik iletim kayıpları sonlu elemanlar yöntemi ile harmonik olarak hesap edilebilmektedir. ASTM E2611 – 09 standardında belirtildiği şekilde malzemenin üzerine düzlemsel ve dik açılı bir ses dalgasının gelmesi durumunda sönümlenen ve iletilen akustik enerji hesap edilmektedir (Şekil.6).



Şekil. 6. Kabin Panelinin İletim Kaybı Hesabına Ait Görseller

Susturucu İletim Kaybı Hesaplamaları

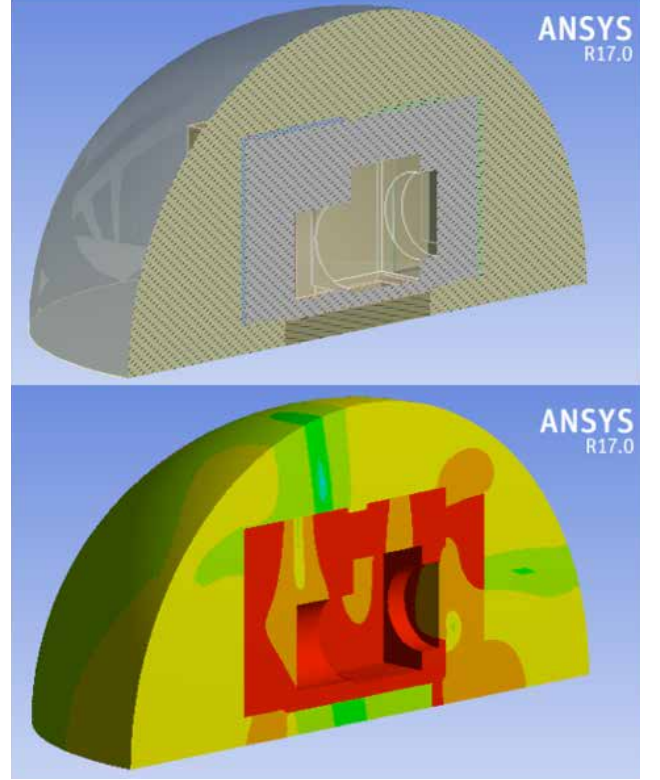
Egzoz susturucuların iletim kaybı değerleri sonlu elemanlar yöntemi ile bulunabilmektedir. Susturucu içindeki delikli çelik sacların akustik fonksiyonları 2x2 transfer admitans matrisi üzerinden tanımlanmaktadır. İzolasyon malzemelerinin sönüm etkisi ise Johnson-Champoux-Allard, Delany-Bazley veya Miki akustik modeller ile hesap edilebilmektedir. (Şekil. 7)



Şekil. 7. Susturucu Akustik İletim Kaybı Hesaplaması – Akustik Basınç Dağılımı

Gürültü Yayılmı Hesaplamaları

Kabin çevresindeki gürültü dağılımının sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmiş çözüm örneği Şekil. 8'de gösterilmiştir. Kabin içinde yer alan gürültü kaynakları farklı yollar ile tanımlanabilir (yüzey titreşim hızı, tekil akustik kaynak, çiftli akustik kaynak). Kabin etrafında muhtelif yüzeylerdeki yalıtım malzemeleri matematiksel modele dâhil edilebilir. Sonlu elemanlar bölgesinin uzağındaki akustik sonuçlar ise Kirchhoff yüzey integral yöntemi ile hesap edilebilmektedir.



Şekil. 8. Jeneratör Seti Kabini Etrafındaki Ses Basınç Düzeyi

Sonuç

Gürültü denetimi iyi yapılmamış bir dizel jeneratör seti o bölgedeki insanların sağlığını ve psikolojisini tehdit edebilecek seviyede gürültü yaratabilir. Bu sebeple dizel jeneratör setlerinin gürültülerini azaltmak için çeşitli yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Ürün çeşidine ve kullanım yerindeki ihtiyaçlara göre gerekli akustik hesaplamaların daha önceden yapılarak müşteriye sunulması, bu ihtiyaçların sonradan dikkate alınarak yapılan uygulamalara göre daha ucuz ve iyi bir çözüm olacaktır. Bu yazıda anlatılan temel stratejilerin akustik uzmanlardan destek alınarak ve sayısal hesaplama araçları kullanarak uygulanması dizel jeneratörler için hedeflenen gürültü düşüşünü mümkün kılacaktır.

GÜVENİLİR GÜÇ HER ZAMAN YANINIZDA