

11 APRIL 2022

VOCAL ZONE V-TRAP SES YALITIM KABİNİ

AKUSTİK ANALİZ RAPORU

Kıvanç Kitapçı

PH.D.

AKUSTİK ANALİZ

RAPORU

Bu rapor, VocalZone V-Trap ürününün akustik analizini ve özelliklerini özetlemektedir. Raporda yer verilen tüm akustik ölçüm ve analizler '*ISO 16283-1:2014 Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation*' (ISO 16283-1:2014) standartları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

ISO 16283-1:2014, ses basıncı ölçümlerini kullanarak bir yapıda bulunan iki hacim arasındaki havayla doğuşumlu ses yalıtımını değerlendirmeye yönelik prosedürleri belirtir. Test sonuçları, dağınık (diffuse) bir ses alanının var olduğu veya olmadığı, mobilyasız veya mobilyalı hacimlerde hava doğuşumlu ses yalıtımını ölçmek, değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılır. Ölçülen hava doğuşumlu ses yalıtımı frekansa bağlıdır ve ISO 717-1'deki prosedürler kullanılarak akustik performansı karakterize etmek için tek bir ölçüm birimi ile tariflenir.

Test edilen ürünün işlevi doğrultusunda, 'Görünür ses azalma indeksi' temel akustik gösterge olarak değerlendirmeye alınmıştır.

Görünür ses azalma indeksi nedir?

Görünür ses azalma indeksini hesaplayabilmek için, öncelikle, iki hacim arasındaki ses basınç seviyesi farkını tanımlamak gerekir. Ses basınç seviyesi farkı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$D = Lp_1 - Lp_2$$

Bu denklemde, Lp_1 kaynak odasındaki ses basınç seviyesi iken, Lp_2 ise alıcı odasındaki ses basınç seviyesini belirtir.

Kabin içi ve kabin dışı ses basınç seviyesi farkları hesaplandıktan sonra, görünür ses azalma indeksi (D_n), kabin içi ve kabin dışı normalleştirilmiş ses basınç seviyesi farkları kullanılarak aşağıdaki denklem ile 1/3 oktav bandı frekansları bazında hesaplanmıştır.

$$D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_0}$$

Normalleştirilmiş seviye farkı D_n denkleminde; D seviye farkı, A alıcı odasındaki eşdeğer ses yutum alanı (m^2), ve A_0 referans ses yutum alanı ise $10 m^2$ olarak hesaplanır.

Ürünün biçimsel tasarımından kaynaklı olarak kabin içi ve kabin dışı arasındaki ses geçişinde yanal ses aktarımları da söz konusudur. Bu durumda, laboratuvar koşullarındaki ölçümlerde yanal aktarımlar da dikkate alınmıştır (ISO 16283-1:2014)

Bunun yanı sıra, hesaplamaların geçerliliğini doğrulamak amacıyla, ASTM E2249 standardındaki ölçüm yöntemi, mevcut ürün kurulumuna uyarlanmıştır. Yansıma odasında (reverberation chamber) her bir ilgili 1/3 oktav frekans bandı için, beyaz gürültü (white noise) verilmektedir. Ön test aşaması için, ürünün boyutları yeterince küçük olduğundan, yalnızca bir mikrofona pozisyonunda ses basınç seviyesi ölçülmüştür. Alıcı tarafında (kabin içinde) ise ses basınç seviyesi, beş alıcıdan oluşan bir ölçüm yüzeyi üzerinde ölçülmüştür. Ses basınç seviyesi, bir p-p ses basınç ölçüm probu kullanılarak gözlemlenmiştir. Standartta önerildiği gibi, kenarlar için bir tarama yolu (scanning path) ve ön yüz için iki dikey tarama yolu (scanning path) kullanılmıştır. Her iki tarama yolundan elde edilen ortalama seviyeler arasındaki fark D_n hesaplamaları ile kıyaslandığında, farkın ASTM E2249 standardı tarafından tavsiye edilen fark olan +1 dB'in altında olduğu gözlemlenmiş ve hesaplama değerleri **doğrulanmıştır**.

ANALİZ SONUÇLARI VE SES YALITIM DEĞERLERİ

Kabinin akustik analiz sonuçları iki konu özelinde özetlenmiştir: (1) Ses yalıtımı ve (2) oda modları.

Kabinin ses yalıtım değerleri Tablo 1 ve Şekil 1'de sunulmuştur.

Sound level difference	
Frequency (Hz)	Dn (dB)
50	22
63	20
80	20
125	26
160	22
200	32
250	32
315	33
400	38
500	39
630	41
800	45
1000	45
1250	46
1600	47
2000	47
2500	49
3150	52
4000	53
5000	54

Table 1. Sound Level Difference of a single panel (Dn)

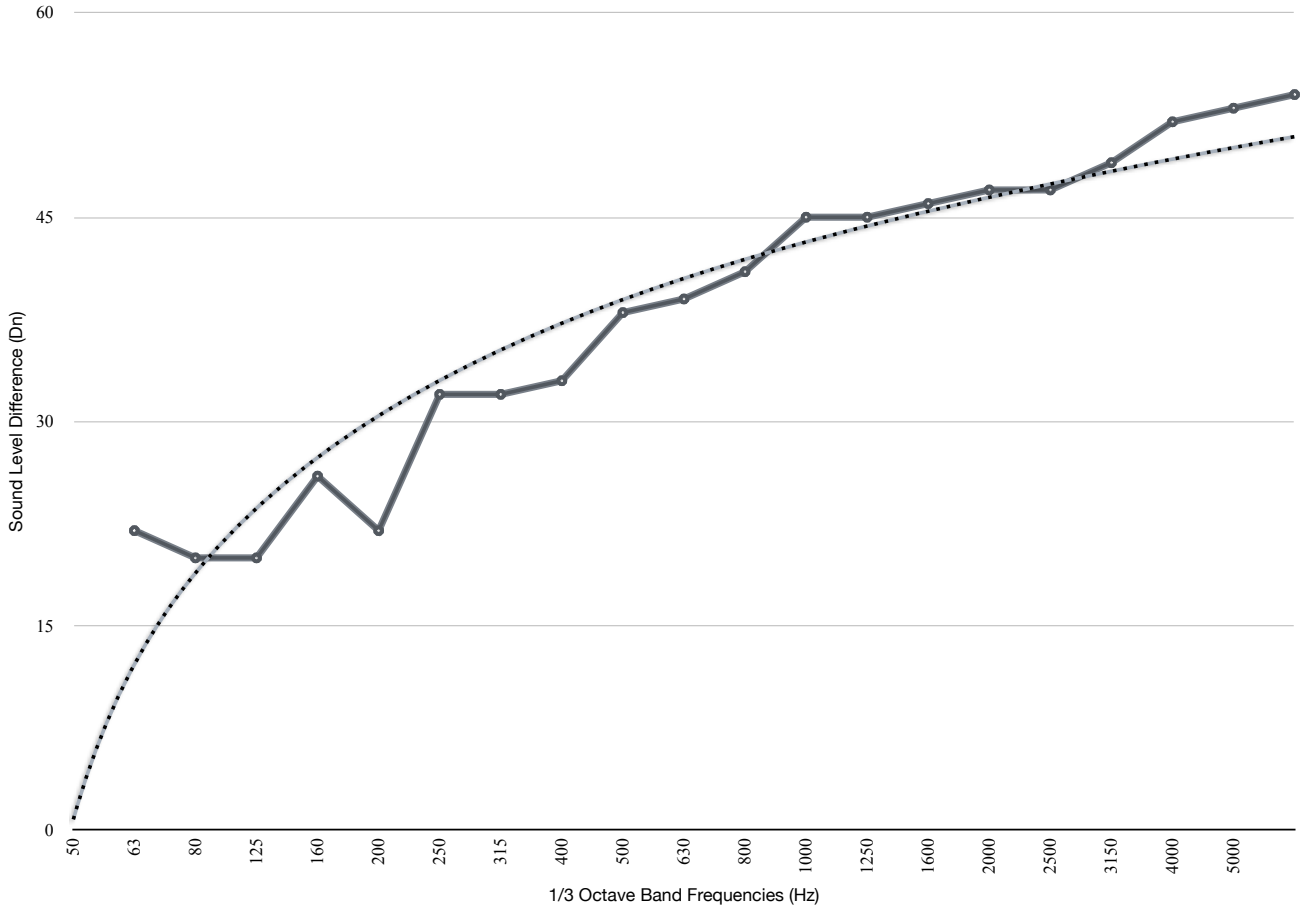


Figure 1. Weighted sound level differences for a single panel

Kabin çerperinde kullanılan malzemenin teknik özellikleri bağlamında, Tablo 1 ve Şekil 1'de de görülebileceği gibi, kabinin ses yalıtım performansı frekans ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Düşük frekanslarda -20 dB'ye kadar düşen ses yalıtım performansı, 5000 Hz 1/3 oktav band frekans bandında -54 dB'ye kadar yükselmektedir. Logaritmik yönelim incelendiğinde frekans bazında dağılımın homojen olduğu gözlemlenmektedir.

Kabinin yarı açık yapısı ve zemin kaplama malzemesinin kullanım alanına göre (masa üzeri, havada asılı durum, ve benzeri) değişiklik göstermesi nedeniyle sabit bir yansıma süresinden (reverberation time - T_{60}) bahsetmek mümkün olmamaktadır. Fakat, kabin zemin kaplama malzemesinin ve konuşmacı arka yüzeyinin bulunmadığı varsayılan durumlarda, ses yutum katsayısı 0 (sıfır) olarak hesaplanırsa bile, yansıma süresinin ilgili standartlarda konuşma işlevi için önerilen 0.5 saniyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Kabinin test kurulumunu, bir yansımali ses kaynağı tarafı (kabin dışı) ve bir yansısız (anechoic) alıcı tarafı olan bir iletim paketi olarak değerlendirebilmek ve denklemlerin geçerliliğini sağlamak için, kaynak akustik alanı (kabin dışı) dağınık (diffuse) olmalıdır. Dağınık bir ses alanında, ses seviyesi kaynak konumundan bağımsızdır ve farklı konumlarda yapılan ölçümlerin tamamı, ürün numunesi üzerindeki ses basınç seviyesini temsil edebilir durumdadır. Dağınık bir ses alanı elde etmek, tamamen kaynağın konumlandırıldığı odanın ses sönümleme özelliklerine bağlıdır.

Odada daha homojen bir basınç dağılımı elde etmek için birden çok oda modunun aynı anda tetiklenmesi gerekir. Odalardaki mod yoğunluğu frekansla artar ve modların çakışmasına neden olur: dolayısıyla dağınık bir ses alanı elde edilebilir. Modal ve dağınık yayılımlar arasındaki kesme frekansını bulmak için en yaygın olarak kullanılan, yöntem Schroeder frekansıdır:

$$f_{sch} = 2000 \sqrt{\frac{T_{60}}{V}} = 2000 \sqrt{\frac{0.163}{S\bar{\alpha}}}$$

Bu denklemde V oda hacmini, T yansıma süresini, S duvar yüzeylerinin toplam alanını, ve $\bar{\alpha}$ ise duvar yüzeylerinin ortalama ses soğurma katsayılarını tamınlar. Denklemden de görüldüğü üzere, oda ölçülerinin kesme frekansı üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır.

SONUÇ

Ses yalıtımı bağlamında akustik analize konu olan ürünün konuşma işlevine **uygun** olduğu gözlemlenmiştir.

Yansıma süresi bağlamında akustik analize konu olan ürünün konuşma işlevine **uygun** olduğu gözlemlenmiştir.

Akustik analize konu olan yalıtım kabininin hacmi doğrultusunda değerlendirme yapıldığında, kaplama malzemelerinin değişkenliği ve konuşmacı arkasındaki yüzeyin küresel geometrisi sebebiyle akustik alanın **dağınık olmadığı** ve özellikle 2000 Hz ve üzeri frekanslarda **çoklu oda modlarının varlığı** gözlemlenmiştir.

Küçük odalarda oda modlarının ektiki büyük odalara göre daha fazladır. Küçük ölçekli odalar için, Schroeder frekansının altındaki frekans aralığı büyüktür ve bu aralıktaki spektrumu optimize etmek çok önemlidir. Modal frekanslar, modların boşluklarını ve çakışmalarını önleyecek şekilde mümkün olduğunca eşit aralıklarla yerleştirilmelidir. Dağınık bir alan elde etmek ve enerji kaybını en aza indirmek için duvarlardaki soğurma mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Ancak bu tasarım kararı odanın Schroeder frekansını artıracaktır.

Yukarıda açıklanan sebepler doğrultusunda, iç kaplama yüzeyinin yalnızca ses sönümleyici değil, aynı zamanda ses saçıcı/difüzör özelliğine sahip olması önerilmektedir. Bunun yanı sıra, erken zemin yansımalarını engellemek amacıyla, paket içerisine modüler/sökülebilir bir zemin alternatifi eklenmesi hem yansıma süresini düşürecek, hem de çoklu oda modlarının engellenmesine faydalı olacaktır.

Konuşmacı arkasında bulunan küresel yüzey, sesin mikrofon konumuna yakın noktalarda odaklanmasına neden olabilmektedir. Her ne kadar bu yüzey yüksek frekanslarda ses yutucu özelliğe sahip olsa da, düşük frekanslarda oluşabilecek potansiyel odaklanma, mikrofon konumunda (nadir durumlarda) rezonansa sebebiyet verebilmektedir.

Bu raporda sunulan öneriler öncelikle matematiksel modellerle, ve ardından Odeon ve Insul yazılımlarıyla test edilmiştir. Bu öneriler, iş verenin talebi doğrultusunda ve karşılıklı görüşmelerle projelendirebilir.

Not: Akustik testler ve demo kullanımları sırasında, ilgili revizyonlardan geçirilmesi koşuluyla, ürünün semi-anechoic standartlara getirilebileceği, ve bu sayede bilimsel çalışmalar, standartlara uygun ürün/teknik cihaz gürültü ölçümleri ve benzeri bir çok sektörde kullanım alanının bulunduğu gözlemlenmiştir. Günümüzde bu gibi hizmetlerin verilebilmesi için gerekli olan laboratuvarların yerini alabilecek, modüler ve taşınabilir bir semi-anechoic yalıtım kabinini, akredite laboratuvarlar, ölçüm kuruluşları, üniversiteler ve benzeri bir çok kurumda potansiyel pazar barındırmaktadır.