

3. Hesap Temelleri

3.1. Genel Teknik ve Fiziksel Koşullar

Tünellerdeki ana kirlenmeler içten yanmalı motorlar tarafından üretilen karbon monoksit ve kuru parçacıklardır. Bu, besleme hava akımının tasarımında temeli oluşturur.

Son bilgiler, özellikle trafiğin yoğun olduğu kentsel bölgelerde azot dioksit (NO₂) ve benzinin de önemli miktarlarda olduğunu göstermesine rağmen, bu bileşenler besleme havasının ilk tasarımında dikkate alınmaz. Alman 23.BımschV ile birlikte ilgili genel yönetsel düzenlemelerin, Federal Temiz Hava Yasası'nın 40. paragrafındaki işlemlerin yerine getirilmesinde temel alınmasına rağmen, burada verilen konsantrasyon değerleri, karayolu yetkilileri tarafından alınan değerler bile sınır değerler olmadığından sadece tünelin yakın çevresinin değerlendirilmesinde kullanılırlar.

23.BımschV'nin tam bir emilim (emission) yönergesi olması nedeniyle, sadece gerçek kapı alanlarında ve bu durum için olasılıkla egzoz havası konsantrasyonlarının sınırlandırılmasına götürülebilir.

3.2. Yayınım ve Emilim Yol Gösterici Değerleri

Yasa koyucular, henüz tünellerdeki egzoz gaz konsantrasyonları ve kirlilikleri için kesin sınırlar koymuş değildir. Bununla birlikte, EU'nun konuyla örtüşen yönergeleri ve Alman yasalarındaki eylemler dikkate alınmaktadır.

27 Eylül 1996 tarihli Yönerge 96/62/EC'nin 4. Maddesi kendileri hakkında sınır değerlerin ya da tehlikeli eşik değerlerin belirlenmesi gereken kirlenmeleri ortaya koymaktadır. Madde 7'de motorlu trafik doğrudan hazırlanması gereken eylem planlarıyla bağlantılı olarak belirlediğinden, bu yönerge tüneldeki trafikle ilgili bileşenlere de uygulanır.

Yönerge 96/62/EC'de belirlenen 14 bileşenden, motorlu trafikle ilgili birer yayılım kaynağı olanlar aşağıdakilerdir:

- Kükürt dioksit (SO₂),
- Azot dioksit (NO₂),
- Kurum (is),
- Havadaki kirlenmeler,
- Kurşun,
- Benzin,
- Karbon monoksit (CO),
- Polisiklik aromatik hidrokarbonlar.

Şu anda sınırlar bilinmemektedir, fakat kısa sürede sınırlar önerileceği ve bunların daha sonra bu VDI yönergesine dahil edileceği varsayılabilir. İlgili kirlenmeler ve konsantrasyon değerleri genellikle sürekli olmayan yöntemlerle kontrol edilir. Sürekli gözlemlenebilir veya sürekli gözlemlenebilir için yasal sınırlar bulunmamaktadır.

RABT'da (RABT 94 Tablo 6) karbon monoksit (CO) azalımı ve tüneldeki değişik trafik koşulları için görüş açıklığı ile ilgili maksimum değerler olarak verilen sınırlar belirlenmiştir. Tünel havalandırması genellikle bu sınırları güvenli biçimde korunma temelinde tasarlanır.

3.3. Normal İşletme için Hesap Metotları

Trafik mahallinde ya da hacmindeki egzoz gazlarını azaltmak için gerekli hava akışı (debisi), değişik sürüş (trafik) koşullarında CO ve duman yayınımları ile ilgili izin verilebilir, konsantrasyon sınır değerleri temelinde hesaplanır.

Bunun için temel, RABT'a (1994 basımı) ek olarak verilen Genel Karayolları Yapım Bülteni No 14/1997'deki yeni temel yayınımlar (emisyon) değerleridir.

Tablolar bu yayından (RABT) alınmalıdır. Hesaplama işlemleri hakkında bir açıklama aşağıdaki gibidir.

3.3.1. Karbon monoksit (CO) Temelinde Hacimsel Besleme Hava Debisinin Belirlenmesi

Hesabın temelleri aşağıdaki gibidir:

Not: Pkw taksi, Lkw kamyon anlamına gelmekte, Benzin petrolü, Dizel dizeli, Fz araçları anlatmaktadır.

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{zul}} \cdot [E_{CO}(Pkw, Benzin) + E_{CO}(Pkw, Dizel) + E_{CO}(Lkw)]; \frac{m^3}{s \cdot km} \quad (1)$$

Burada;

$$E_{CO}(Pkw, Benzin) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{x_D}{100}\right) \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_{Pkw}; \frac{m^3}{h \cdot Fz} \quad (2)$$

$$E_{CO}(Pkw, Dizel) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \frac{x_D}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_{Dizel}; \frac{m^3}{h \cdot Fz} \quad (3)$$

$$E_{CO}(Lkw) = \frac{x_{Lkw}}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_M)_{Lkw}; \frac{m^3}{h \cdot Fz} \quad (4)$$

Burada;

\dot{Q}_{ZL}	(m ³ /s.km) olarak besleme havası gerekli debisi
N	Fz /km olarak kilometredeki araç yoğunluğu
CO_{zul}	ppm olarak izin verilebilir CO konsantrasyonu
E_{CO}	(m ³ /h.Fz) olarak CO yayınımları (emisyonu)
x_{Lkw}	% olarak kamyonların payı
x_D	% olarak dizel motorlu araçların payı
q_{CO}	(m ³ /h.Fz) olarak araç başına CO yayınımları temel değeri
f_{iv}	Gradyen ve hız faktörü (-)
f_H	Yükselti faktörü (-)
f_M	Kütle faktörü (-)

Tünelin bulunduğu yere bağlı olarak zorunlu olarak bir soğukta çalışma faktörü ile çevredeki CO konsantrasyonu hesaba katılmalıdır.

3.3.2. Besleme Hava Hacimsel Akışının (Debi) Görüş Açıklığı Temelinde Hesaplanması

Dizel dumanının azaltılmasına yönelik besleme havası hacimsel debisinin hesabı bir dizel motorunun yayındığı bulanıklık birimlerine dayandırılır. Besleme havası talebi tüneldeki bulanıklığı (görüş kapanması) izin verilebilir K_{zul} değerine azaltır.

Bulanıklık yayınının araç başına m^3/h olarak temel değeri, m^3/h olarak yayılan egzoz gazı hacmi ile egzoz gazının m^{-1} olarak bulanıklık değeri K 'nin çarpımıdır.

Dizel motorlarından kaynaklanan görüş bulanıklığının hesaplanması için kullanılan temel aşağıdaki gibidir;

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{1^6}{K_{zul}} \cdot [E_T(Pkw, Dizel) + E_T(Lkw)]; \frac{m^3}{km \cdot s} \quad (5)$$

$$E_T(Pkw, Dizel) = \left(I \cdot \frac{x_{Lkw}}{100} \right) \frac{x_D}{100} \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H)_{D}; \frac{m^2}{h \cdot Fz} \quad (6)$$

$$E_T(Lkw) = \left(\frac{x_{Lkw}}{100} \right) \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H \cdot f_M)_{Lkw}; \frac{m^2}{h \cdot Fz} \quad (7)$$

Burada;

\dot{Q}_{ZL}	($m^3/s.km$) olarak besleme havası gerekli debisi
N	Fz/km olarak kilometredeki araç yoğunluğu
K_{zul}	m^{-1} olarak tüneldeki izin verilebilir bulanıklık
E_T	($m^2/h.Fz$) olarak bulanıklık yayını (emisyonu)
x_{Lkw}	% olarak kamyonların payı
x_D	% olarak dizel motorlu araçların payı
q_T	($m^3/h.Fz$) olarak araç başına bulanıklık yayınımları temel değeri
f_{iv}	Gradyen ve hız faktörü (-)
f_H	Yükselti faktörü (-)
f_M	Kütle faktörü (-)

3.4. Yangın Durumundaki Gereksinimler

Tünel havalandırma sistemlerinin tasarımı ve boyutlandırılmasında yangın çekmesi ile ilgili tüm güvenlik yönergeleri dikkate alınmalıdır.

Diğer gereklilikler; yapısal tahribatın azaltılması ve yangınla mücadele servislerinin desteklenmesidir. Bu gereksinimleri karşılamak için alınacak önlemler aşağıdakiler olabilir:

- Kaçış (çıkış) yollarının ve/veya duman çıkış yollarının sağlanması,
- Yangının hızlı biçimde algılanması ve yerinin belirlenmesi,
- Duman dağılımının belirlenmesi,
- Yangın durumunda havalandırma sistemlerinin optimal kontrolü (yangın programı),
- Boyuna (uzunlamasına) havalandırmanın bulunduğu yerlerde, dumanın geri akışının ya da tek taraflı çekilmesinin önlenmesi.

Kaçış Yolları

Kaçış yolları ve bunların minimal uzaklıkları konusunda RABT'nin belirlemelerinin yerine getirilmesi gereklidir. Standart tünel profilinin biçimi bir güvenlik konusu ortaya koyar. Örneğin Avusturya'da, boyuna havalandırma bulunan yerlerde tünel yüksekliği, kaçış yollarının arasındaki uzaklığın belirlenmesinde kullanılır [1].

Çekme Sistemleri

RABT'de iki çekme sistemi ifade edilmektedir. En az 200 m^3/s 'lik noktasal çekim ve birbirinden kısa aralıklarla yerleştirilen açıklıklar yoluyla bölgesel çekim. Bu durumda 300 m uzunluğundaki bir bölüm

için en az 60 m^3/s egzoz havası hacmi gereklidir. Fransa'da, üretilen dumanın en az 3/4'ü taşınmalıdır [2]. Tasarıma esas olan yangın için bu, 80 m^3/s 'lik bir egzoz havası hacmi ile sonuçlanır. Sistemler çatıdaki yarıklardan sürekli çekim temelinde de tasarlanır.

Yeni sistemlerdeki eğilim, yerel (bölgesel) duman çekilmesidir. Bu durumda vana büyüklüğü ve aralarındaki uzaklık konusunda uzlaşılmalıdır.

Tünel Havasının Minimum Hızı

RABT, yangın durumunda boyuna havalandırılan tünellerde ulaşılması gereken minimum hava hızlarını belirlemektedir. Geniş ölçekli testlerden [3] sağlanan yeni bilgiler, minimum hızın ve buna uygulanması gereken çekme kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlamış, bu da yeni önerilere yol açmıştır.

Aşağıdaki ana parametrelere göre kritik hızın hesaplanmasında bir formül verilmektedir [3].

- Yangın yükü,
- Gradyenin mutlak değeri,
- Yangının yerleşim yerinden çatının en yüksek noktasına uzaklık,
- Tünelin kesit alanı,
- Normal koşullar altında 10-100 MW'lık bir yangın yükü için, bu yolla hesaplanan hava hızı 2 ve 3 m/s 'dir. Bu hızın uygulanması egzoz gazlarının gelen akıma karşı geri akışını önler.

Her tünel için geometrik veriler (gradyen, düşey kesit ve yükseklik) bilindiğinde yangın yükü için bir varsayım yapılmalıdır. Genelde temel olarak bir kamyon (küçük) yangını olan 20 MW'lık yangın temel alınır. Bir tüneldeki belirli bir koşula bağlı olarak, (araç yüzeyi, tehlikeli maddeler vb) tasarım daha yüksek yangın yüküne dayandırılmalıdır (RABT Madde B.2.2.1'e de başvurunuz).

Genellikle yarıya kadar araçla dolu olan tünel varsayımı yapılır. İzdiham eğilimine bağlı olarak daha yüksek bir doluluk kabul edilir. Araç sayısının değişik zamanlarda değişik olacağı unutulmamalıdır. Kapılarda (çıkışlar) basınç farkı ile sonuçlanan meteorolojik koşullar da göz önünde tutulmalıdır.

Bu koşullar altında, yukarıda belirlenen hıza erişmek için gerekli olan çekme kuvveti sağlanmalıdır. Jet-fanı gruplarından bir ya da daha fazlasının arıza yapabileceği de düşünülmelidir.

4. Tünel Yapım (Konstrüksiyon) İlkeleri

4.1. Tünel Tasarımı

Havalandırma bakımından, tünel tasarımında aşağıdaki hususlara özel bir dikkat harcanmalıdır:

- Trafik için normal bir akış yönü öngörülmelidir (tek-yönlü, ya da iki yönlü trafik),
- Yapının bir planı (uzunluk, düşey kesit, boyuna gradyen) çizilmeli ve tünel alanındaki olası giriş/çıkışlar kontrol edilmelidir,
- Jet-fanları ile kanalların yerleştirilmesi için gerekli boşluk (hacim) sağlanmalıdır,
- Planda bir ya da daha fazla çekme şaftının yersel uyarlaması yapılmalıdır,

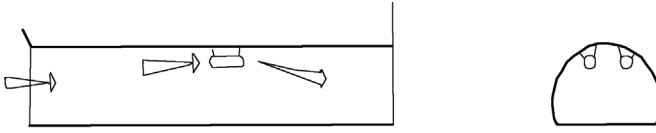
- Trafiğin akış yönüne ters yönde, kapılardaki rüzgar basınç değerleri belirlenmelidir (standart: $\leq 30 \text{ N/m}^2$),
- Örneğin yeni bir şerit eklenerek tünelin çift-yönlü trafikten tek yönlü trafiğe dönüştürülmesi halinde değişen sınır koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma, bu iş için bir havalandırma ekipmanı gerektirmez. Hava değişimi kapılar arasındaki meteorolojik olarak tetiklenmiş basınç farkları ve araçların yarattığı piston etkisiyle oluşur.

4.3. Boyuna Havalandırma

Tünelde boyuna havalandırma genellikle jet-fanları tarafından yapılır (Şekil 1'e bakınız).



Şekil 1. Jet-fanlarıyla boyuna havalandırma.

Boyuna havalandırma durumunda, egzoz gazı konsantrasyonları giriş kapısından trafiğin akış yönünde çıkış kapısında bir maksimuma ulaşarak hemen hemen lineer olarak doğru artar.

Boyuna havalandırma olması durumunda, tüneldeki hava hızı ekonomik nedenlerle aşağıdaki değerleri aşmamalıdır:

- Tek-yönlü trafiğin bulunduğu yerlerde 10 m/s,
- Çift yönlü trafiğin bulunduğu yerlerde yaklaşık 6 m/s.

Boyuna havalandırmanın bulunduğu yerlerde, hava hızının uygunsuz değerlere artmaksızın geniş hava hacimlerinin taşınması için daha geniş bir düşey kesit yararlıdır.

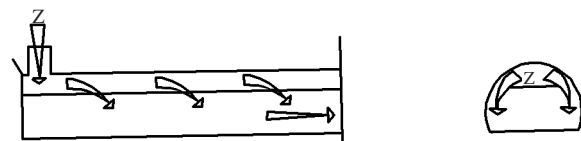
Kubbeli ya da kemerli tünellerde jet-fanları, tünel düşey kesitini artırmaksızın, temiz-profilin üstüne yerleştirilebilir. Dikdörtgen kesitler, yandaki yerel koruyucu şerit alanına doğru genişlemeyi veya çatı inişlerine ya da daha büyük toplam yüksekliğe olanak verir.

Eğer kapıdan çıkan egzoz havası miktarını azaltmak gerekiyorsa, havayı kapılardan dışarı atmaksızın yayınımları sınırlamak üzere, içerisinden egzoz havasının çekilerek dışarı atılabileceği bir egzoz şaftı, aşağıdaki biçimlerde uygulanabilir:

- Tek yönlü trafikte, çıkış kapısı alanında yerleştirilerek,
- İki yönlü trafikte tünelin merkezi alanında yerleştirilerek.

4.4. Yarı-Çapraz Havalandırma

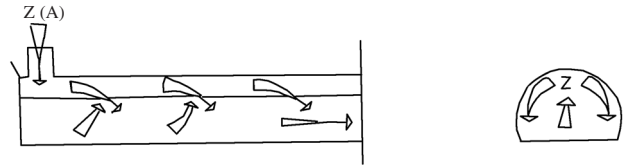
Yarı-çapraz havalandırmada besleme havası tünel boyunca yerleştirilen kanallar içerisinden üflenir. Bu uygulama için Şekil 2'ye bakınız.



Şekil 2. Yarı-çapraz havalandırma.

Egzoz havası kapılardan dış mahale doğru akar. Her iki kapıdan dış mahale akan hava miktarı araçların yarattığı piston etkisi ile rüzgar basıncına bağlıdır. Uzun tüneller birkaç alt havalandırma bölümüne bölünebilir. Havalandırma bölümlerinin sayısı, yapının izin verdiği kanal düşey kesitine ve gerekli olan hava hacmine bağlıdır.

Ters çalışabilen yarı-çapraz havalandırma sistemlerinde yangın durumunda fanlar tersine çalıştırılarak tüneldeki egzoz havası çekilir. Bunun için Şekil 3'e bakınız.

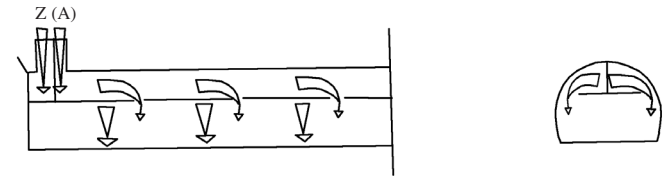


Şekil 3. Ters çalışabilen yarı-çapraz havalandırma.

Duman çekme kanalındaki havalandırma açıklıkları, trafik alanının üzerine yerleştirilmelidir. Kapılardan çıkan egzoz havasını azaltmak gerekli olduğunda, çıkışlar bir egzoz havası şaftı aşağıdaki gibi yerleştirilerek sınırlandırılabilir.

- Tek yönlü trafikte çıkış kapısı yakınlарına,
- Çift yönlü trafikte orta tünel alanına yerleştirilerek.

Tersine çalıştırılabilen çapraz havalandırmanın yeni bir gelişimi, yarı çapraz ve çapraz havalandırmadır. Şekil 4'e bakınız.

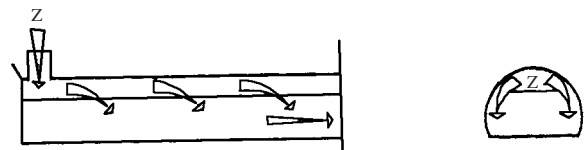


Şekil 4. Yarı çapraz ve çapraz havalandırma (ters çalışabilir).

Bu sistem birbirinden bağımsız iki hava kanalına sahip olup, besleme havası (Z) normal çalışma koşullarında trafik alanına üflenir. Egzoz havası (A) kapılardan dışarıya akar. Yangın durumunda, hava kanalındaki havanın akış yönü, fanlar tersine çalıştırılarak değiştirilerek egzoz havasının trafik alanından çekilmesi sağlanır. Besleme havası ikinci kanal içerisinden akmaya devam eder (çapraz havalandırma sistemine benzer biçimde).

4.5. Çapraz Havalandırma

Çapraz havalandırma durumunda, besleme havası trafik alanına ayrı bir dağıtım kanalından verilir ve egzoz havası bir manifold kanal yardımıyla tünel boyunca çekilir. Şekil 5'e bakınız.



Şekil 5. Çapraz havalandırma.

Yangın olasılığı nedeniyle besleme havası alttan verilmeli ve trafik alanındaki egzoz havası üstten (çatıdan) çekilmelidir.

4.6. Havalandırma Sistemlerinin Uygulama Alanları

Güç durumlarda (örneğin uzun tüneller, yeraltı girişleri, kritik emilim durumları, yangın düzenlemeleri), bu sistemlerin birleştirilmesi en iyi çözüme götürür.

Sistemi seçerken, tünelde akan trafikten yararlanarak doğal havalandırmadan en iyi yararlanma biçimine dikkat edilmeli, örneğin sadece tek yönlü (gözlem altında ve kontrollü geliş trafiği dışında) ya da çift

yönlü trafik planlamasına göre kapasiteler düşünülmelidir.

Emilim ve yangından korunma düzenlemelerindeki gereklilikler yerine getirilmelidir. Hem daha önce yapılan tünellerden elde edilen deneyler hem de hesaplama ve testler bazı havalandırma sistemlerinin, bazı sınır durumları için daha uygun olduğunu göstermiştir. Tablo 1'de tünel uzunluğuna göre havalandırma sistemlerinin uygulama alanları verilmektedir.

Uzunlamasına (boyuna) hava akışının maksimum hızı, trafik ve güvenlik bağlamında havalandırma sistemi yönünden kontrol edilmelidir.

	Tünel uzunluğu, km	
	İki-yönlü trafik, 1 tünel (tube)	Tek yönlü trafik 2 tünel (tube)
Doğal havalandırma (CO ikazına sahip)	0.4'e kadar	0.7'ye kadar
Boyuna havalandırma		
• Jet-fanlarla	2'ye kadar	4'e kadar
• Jet-fanlar ve çekme şaftı ile	4'e kadar	6'ya kadar
Yarı-çapraz havalandırma		
• Ters çalışabilir	0.7'den itibaren	
• Yarı-çapraz, çapraz havalandırma	1'den itibaren	2'den itibaren
Çapraz havalandırma	2'den itibaren	6'dan itibaren

Tablo 1. Havalandırma sistemlerinin uygulama alanları.

4.7. Havalandırma Sisteminin Elemanları

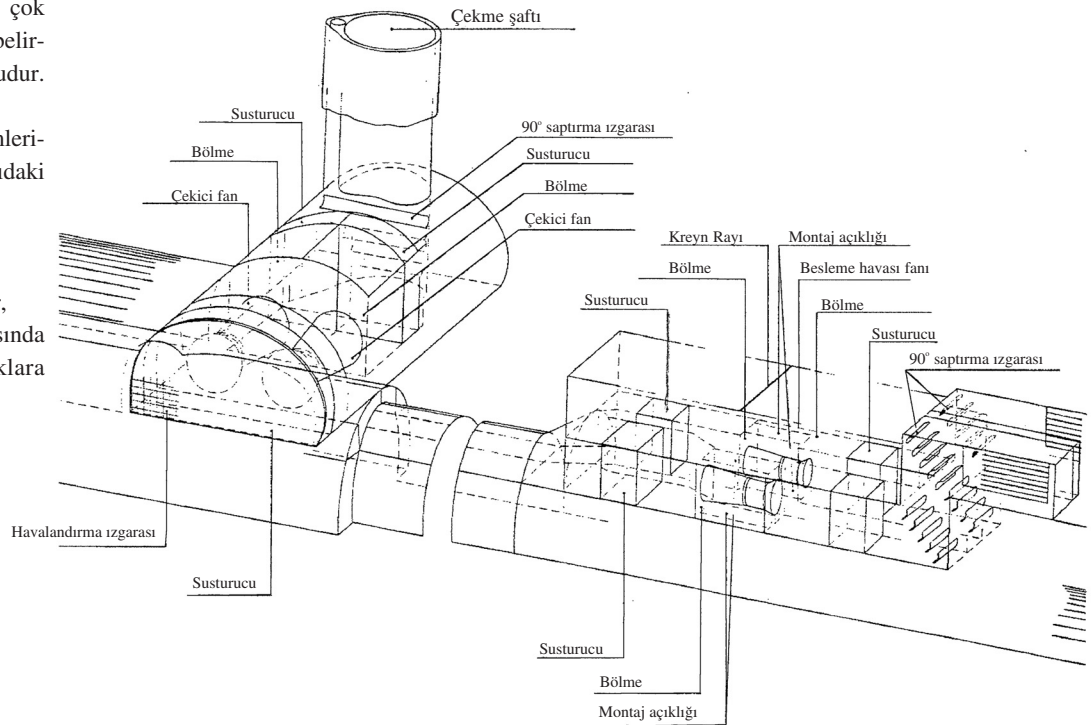
Tümüyle boyuna havalandırmanın uygulandığı yerlerde değişik büyüklüklerde jet-fanları (eksenel) yerleştirilir. Bu fanlar tek veya çift yönlü dönmek üzere tasarlanır ve her iki uçta susturucu içerirler.

Eksenel (aksiyal) fanlar genelde yarı-çapraz ve çapraz havalandırmada kullanılırlar. Bunun nedenleri, temelde düşük basınçlarda geniş hava hacimlerine duyulan gereksinim ile eşdeğer hacimsel debi/basınç değerlerinde santrifüj (tersinir) fanlara göre uygun boyutlarda oluşmalarıdır.

Yeraltı kurulumlarında ve çok yıpratıcı tünel havalarında belirli önlemler alınması zorunludur.

Tünel havalandırma sistemlerinin diğer elemanları aşağıdaki gibidir:

- Susturucular,
- Perde plakaları,
- Kelebek vana ve ızgaralar,
- Yarıklar (slot) tünel çatısında veya duvarındaki açıklıklara yerleşik elemanlar.



Şekil 6. Havalandırma sistem elemanları.

4.8. Havalandırmanın Kontrolü

Havalandırma kontrolünün amacı, minimum enerji kullanımıyla istenen havalandırma koşullarının sağlanması ve sık elektriksel anahtarlama işlemlerini gerektirmeksizin havalandırma sisteminin çalışmasını sağlamaktır.

Havalandırma sistemi belirli bir ayar değerini korumak üzere tasarlanmaz, sistem trafik alanında alt ve üst sınırlar arasında konsantrasyon değişimlerini karşılama yeteneğindedir. Birkaç noktada (tünelin türüne bağlı olarak 200-500 m aralıklarla) CO konsantrasyonu ve görsel bulanıklık ölçümleri ile birlikte havanın ani hızı ve yönünün belirlenmesi, havalandırma kontrolü için girdi verilerini oluşturur. Görsel bulanıklık ölçülürken havalandırma sisteminin, kapalı alanlardaki puslanma nedeniyle yanlış işaretlere (sinyal) maruz kalması için dikkatli olunmalıdır.

Çevresel korunma yönergeleri, boyuna hızın yön ve şiddetinin ölçülmesini, trafik alanında azot oksit konsantrasyonunun belirlenmesini, rüzgar hızı ve yönünün saptanması ile birlikte, gerekliyse dışarıdaki radyasyonun ölçülmesini zorunlu kılabilir.

Egzoz gazı miktarındaki artışlar, tünel dışındaki trafiğin sürekli ölçülmesi ile belirlenebilirken, havalandırma sistemini kısa süreler için yüksek debide çalıştırmadan, ileri havalandırma sistemi ile kaçınılabilir.

Jet-fanları kullanan boyuna havalandırma durumunda normalde, tüneldeki kirlilik düzeyine göre değişik fan gruplarını devreye alıp çıkartan kademeli bir anahtarlama sistemi kullanılabilir.

Yarı-çapraz ve çapraz havalandırma durumunda, ya tahrik motorları birkaç hız kademesine sahip olarak seçilir ya da ayarlanabilir rotor kanatları veya hava miktarını gereksinimlere kademeli olarak uyduran hız kontrollü tahrik motorları kullanılır. Belirli bir türün seçimi, beklenen çalışma süreleri ile tahmin edilen trafik koşullarını temel alan bir maliyet hesaplamasına dayandırılır.

Yangının ayrı bir kontrol durumu olduğu düşünülür. Tetikleme genellikle otomatik yangın alarmları ile gerçekleştirilir. Bir yangın alarmı genellikle acil durum telefonlarının bulunduğu tünel bölümünü kontrol eder. Bu konuda ayrıca yangın yönetmeliklerine bakılmalıdır.

5. Temel Çalışma Koşulları

5.1. Gereksinimler

Bir tünel havalandırma sistemi aşağıdaki gereklilikleri yerine getirmelidir:

- Herhangi bir noktada veya herhangi bir çalışma koşulunda egzoz gazı konsantrasyonları izin verilebilir sınırları aşmamalıdır.
- Trafik alanında havanın boyuna hızı sınırlandırılır.
- İzin verilebilir kirlilik ve bina ölçümlerinin fizibilitesine göre çevresel korunma sağlanmalıdır.
- Tünelde yangın durumunda, tüneli kullananlar ısı ve dumandan olabildiğince korunmalıdır.

- Yapım ve işletim maliyetleri toplam maliyetlerin ekonomik çerçevesi içerisinde olmalıdır.

5.2. Çevresel Korunma/Havanın Temizlenmesi

Tünel tasarımında çevresel koruma ve havanın temizlenmesi giderek önemli bir husus haline gelmekte ve öne çıkmaktadır. Aşağıdakiler dikkate alınacak ve kontrol edilecek temel noktaları oluşturmaktadır:

- Kapıda veya kapıdaki şaftta ortaya çıkan tünel havasının emisyonu kritik düzeyde midir ve havayı hava kanalları yoluyla başka bir noktadan çekmek gerekli midir?
- Tünel havası ve egzozu uygun ve ekonomik yöntemlerle temizlenebilir mi?

5.3. Yangın Güvenliği

Boyuna havalandırma yapılan bir tünelde yangın sırasında iki aşama birbirinden ayırt edilir [4]:

- Tünel kullanıcılarının boşaltılması,
- Yangın ekibinin yangını söndürmesi,

Tek-yönlü trafik karışıklığı olmayan trafik durumunda; yangının baş göstermesinden sonra ortaya çıkan duman her iki aşamada da trafik yönünde ve en düşük hızda çekilebilir (bölüm 3.4'e bakınız) ve dumanın tabakalaşması olanaklıysa ilk aşamada korunmalıdır. Bu, 2 m/s'nin altında bir minimum hızın korunmasıyla sağlanabilir. Olanak varsa, güvenlik nedenleriyle ve örneğin uygun bir trafik kontrol sistemi ile tünelde bir trafik karmaşasından kaçınılmalıdır.

Dumanı tamamen tünel kesiti içerisinde dağıtacağı ve tabakalaşmayı kolaylıkla bozacağı için dumanın tabakalaştığı alanda jet-fanlar çalıştırılmamalıdır.

Yangınla savaşım aşamasında, duman bir uçtan yüksek hızda çekilir. Bu, yangın ekibinin (itfaiye) bir uçtan gelerek yangının bulunduğu yere ulaşmasını olanaklı kılar.

6. Yangın Güvenliği

Egzoz gazı ve tüneldeki görsel bulanıklık yayılımı ve emisyon yönergelerindeki gereklerin (bölüm 3.2) kontrol edilebileceği ve havalandırma kontrol sistemi için uygun girdilerin üretilebileceği biçimde tasarlanır (Bölüm 4.8).

Tünelin içindeki ölçümler özellikle aşağıdaki bileşenleri etkiler;

- Duman nedeniyle görsel bulanıklık,
- CO,
- NO,
- Hava hızı ve yönü (doğrultusu).

Egzoz gazlarının konsantrasyonunu kapsamlı biçimde gözlemlemesini olanaklı kılmak için, tüneldeki ölçme araçları en iyisi birbirinden 200 m aralıklı olmalı fakat 500 m'den fazla olmamalıdır. Tüneldeki ölçmenin (örneğin duman ölçümü) hava akımından etkilenmemesi için tünel kapılarından önceki ölçme noktaları kapılardan yeterli bir uzaklıkta olmalıdır.

6.1. Ölçme Yöntemleri

Görsel bulanıklık ve tüneldeki gaz ölçümleri için genelde iki yöntem söz konusudur:

- Yerinde ölçüm tekniği,
- Çekmeli ölçme tekniği.

Yerinde ölçüm tekniği durumunda, ölçme araçları veya sensörler doğrudan tünel içerisinde konumlandırılır ve sensörlerden alınan sinyaller daha ileri işlem görecekları kontrol merkezine kablolarla iletilir.

Çekmeli ölçüm yönteminde; çekme boruları tünel içerisine konumlandırılırken, bir uçları analizöre bağlanır veya ölçme noktası değiştirme aracı ile multiplaks çalışan bir ya da daha fazla analizöre irtibatlandırılır.

Her iki yöntem de, avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Yerinde ölçümde kullanılan ölçme cihazları doğrudan tünele yerleştirildiklerinden dolayı bir gecikme söz konusu değildir ama bunların trafikten ve temizleme işlemlerine karşı gizlenmesi ve bakım ve onarım işlemlerinin de tünel içerisinde yapılması gerekir.

Çekmeli yöntem sadece fiziksel ölçme ve analiz tekniklerine değil fakat pompa ve vana kontrollerine de gerek gösterir ve uzun bir çekme yolu nedeniyle uzun tepki sürelerine ve olasılıkla yanlış ölçmelere de (özellikle NO/NO₂)... Bunların avantajı, tünel içerisine yerleştirilme gereğine sahip olmamaları ve bunun yerine bir kontrol odasına yerleştirilebilmeleridir.

Modern yerinde ölçüm ekipmanıyla kontrol odasındaki bir birim yardımıyla her durumun parametrelerinin alınması ve sensör yardımıyla tanı koyma olanaklıdır.

6.2. Görsel Bulanıklık Ölçümü

Tünel havası genellikle dizel gazlarındaki is ve kurumlar ile lastik aşınmalarından kaynaklanan bir bulanıklık yaratır. Buna ek olarak içeri taşınmış olan toz, aerosol ve su damlacıkları da bulunur.

Görsel bulanıklık insanlar tarafından belirli bir spektral aralıkta (gözlerin duyarlılık aralığı) algılanır. Parçacıkların dağılıma ve soğurma davranışları da dalga boyuna bağlıdır. Bu nedenle insanların görme duyarlılık sınırlarında veya aralığında çalışan bulanıklık ölçme cihazları en iyileridir.

Yerinde Ölçme

Transmisyonetreler ya da dağınık ışık ölçme cihazları kullanılır. Ölçme cihazları tünel duvarlarına, tünel çatısı altından 2 m yukarıya kadar olan yükseklikte bağlanır. Cihazın tipik karakteristik değişkenleri aşağıdaki gibidir:

- Değerleme,
- Duyarlılık,
- Sürüklenme,
- Periyodik servis verilebilirlik (kirlenme).

Transmisyonetreler ya oto yönlendirmeli (otocollimasyon) cihazlar (transmitter/receiver birim ve uzak-retroreflektör) veya uzak receiver içeren transmitter biçiminde tasarlanır. Ölçme yolları, uzun

ölçme yolları daha avantajlı olmak üzere, normalde 6~20 m arasındadır. Ölçme yolu üzerinde bulanıklığın yoldan bağımsız ölçüsü olan bulanıklık değişkeni K, bir ölçüm değişkeni olarak işlev görür. Kire karşı korunma bakımından, mercek tozlarının ve aerosollerin girerek optik girişim yaratmasını önleyen bir davlumbaz ile donatılır.

Dağınık ışık (scattered light) ölçme cihazları toz, kurum ve aerosollerin ışığı dağıtmasını ölçer. Parçacık konsantrasyonu ile orantılı olan ışık dağılımı görsel bulanıklık değerine dönüştürülür.

Çekmeli (Extractive)

Çekmeli ölçme araçları tünel içerisinden havayı borular aracılığıyla çeker ve toz, is, aerosol parçacıklarının ışığı dağıtmasını ölçer. Bu durumda, herhangi bir uzun çekme yolunun (boru) yanlış ölçme sonuçları üretmemesine dikkat etmek gerekir (hava çekme yolunun birikintilerle kirlenmesi).

Ölçme aralıkları, doğruluk ve sürüklenme yerinde ölçüm cihazlarına benzerken, bakım aralığı, çekme yollarının tasarım biçimine bağlıdır.

Tipik karakteristik değişkenler aşağıdakilerdir;

- Değerleme,
- Duyarlılık,
- Sürüklenme,
- Periyodik servis verilebilirlik (kirlenme).

6.3. CO/NO Ölçümleri

CO ve NO; gözle görülemeyen ve dizel motorlarından çıkan ve belirli konsantrasyonlarda ve belirli maruz kalma sürelerinde insanlar için zehirli olan gazlardır. Tünel uzunluğuna, trafik akışına ve CO/NO konsantrasyonuna bağlı olarak, CO/NO gaz konsantrasyonlarını düşürmek gereklidir (RABT'a bakınız).

Yerinde Optik Ölçüm

Gaza özgü kızıl ötesi ışık absorpsiyonunu 3~20 m bir yol uzunluğunda belirleyen kızıl ötesi optik cihazlar, her iki bileşeni ölçmekte de kullanılır. Bu cihazlar temelde transmitter/receiver birimleri olarak tasarlanır ve tünel içerisine tünel çatısının altından 2 m yüksekliğe kadar monte edilirler. Kire karşı korunma bakımından, mercek tozlarının ve aerosollerin girerek optik girişim (interference) yaratmasını önleyen bir davlumbaz ile donatılır. Cihazların ölçme değerleri beklenen sıcaklık aralığında önemli bir sapma ve diğer gazlara duyarlılık (cross sensitivity) göstermemelidir.

Tipik karakteristik değişkenler aşağıdakilerdir;

- Değerleme (rating),
- Duyarlılık,
- Sürüklenme,
- Periyodik servis verilebilirlik (kirlenme).

Yerinde Elektrokimyasal Ölçüm

Elektrokimyasal sensörler belirli bileşenlerin gaz konsantrasyonlarını



tünel duvarında buldukları noktada ölçerler. Elektrokimyasal hücreler, ölçümlenen belirli bileşenlere karşı duyarlı hale getirildiklerinden diğer gazlara karşı duyarlılık çok düşüktür. Çalışma ilkeleri nedeniyle bunlar, havanın sıcaklık ve nemi karşısında değer sapması gösterirler ve düzenli aralıklarda kalibre edilmelidirler.

Tipik karakteristik değişkenler aşağıdakilerdir:

- Değerleme (rating),
- Duyarlılık,
- Sürüklenme,
- Periyodik servis verilebilirlik (kirlenme).

Çekmeli

Çekmeli bulanıklık ölçümlerinde olduğu gibi, tünel havası bir noktadan çekilir ve gerçek gaz analizörüne beslenir. Bu cihazlar gaz duyarlı IR (kızıl ötesi) detektörler, elektrokimyasal sensörler ya da katalitik sensörler olarak tasarlanırlar. Ölçme aralıkları ve doğruluk düzeyleri yerinde-ölçüm cihazlarına benzer ve bu nedenle periyodik bakım zaman aralığı çekme tekniği tarafından belirlenmelidir.

Tipik karakteristik değişkenler aşağıdakilerdir:

- Değerleme (rating),
- Doğruluk,
- Sapma (ölçme sapması),
- Periyodik servis aralığı.

6.4. Güncel Akış Ölçümleri

Havanın tüneldeki hızını ölçmekte kullanılan değişik akış cihazları bulunmaktadır.

Ultrasonik Ölçme Cihazları

Ultrasonik ölçme cihazları tüneldeki borunun her iki tarafına belirli bir açıda yerleştirilir ve tünel düşey kesitinde hava hızını ölçer. Her iki birim transmitter ve receiver birimi olarak çalışır havanın hareketi nedeniyle sinyal yayılım gecikmesini ölçer. Ses hızın sıcaklıkla değişmesi nedeniyle hava sıcaklığı da belirlenebilir. Sinyaller bir analizörde analiz edilir ve ölçülen değerler bir kontrol merkezine geçirilir.

Tipik karakteristik değişkenler aşağıdakilerdir:

- Değerleme (rating),
- Doğruluk,
- Sapma (ölçme sapması),
- Periyodik servis aralığı.

Diğer akım ölçen cihazlar

Mekanik anemometreler (dönel keçeli) ya da vorteks ölçme araçları da bazen kullanılır. Çalışma ilkeleri nedeniyle bunlar sadece bir noktada hız ölçer ve tek yönlü cihazlardır. Ölçme aralıkları ve doğruluk ultrasonik cihazlardaki gibidir.

7. Kabul

Tünel havalandırma sistem elemanlarının değişik üretim kademeleri için denetim ve kabul testleri planlanmalıdır. Bu denetim ve testler

bağımsız kurumlar ve uzmanlar tarafından yapılabilir.

Kabul testleri iki ana sınıfa ayrılabilir:

- Garanti değerlerini ve malzeme özelliklerini doğrulamak için üretilen kabul testleri,
- Kurulum halinde yapılan testler (mahaldeki testler).

7.1. Elemanların Kabul Testleri (Çalışma Kabulleri)

Müşteri, eğer isterse tekil elemanlar, ya da malzemeler veya eleman parçaları üzerinde daha başka testler de uygulayabilir.

Jet-Fanlar

Jet-fanların garanti değerleri orijinal fan üzerinde ve bir test standından ölçülür (hazırlanma aşamasındaki AB standardı).

- Mil çıktısı,
- Kanat yapısı,
- Rotor boşluğu,
- Kanat ve göbek malzemeleri,
- Korozyondan korunma,
- Statik basınç,
- Motor güç tüketimi,
- Serbest bir alanda A-Ağırlıklı ses basıncı,
- Hacimsel debi,
- Çıkış hızı,
- Denge (balance).

Eksenel Fanlar

DIN 24 163 ve VDI 2044'e göre üreticinin iş yerindeki kabul ölçümleri fanın büyüklüğüne, geometrik olarak benzer bir modelinde (1:5;1:10 ölçekte) gerçek modelle (büyük türü) aynı olan bütün fittingslerde alınır veya ölçümlerde orijinal fan büyüklüğü kullanılır.

Garanti değerleri aşağıdaki gibidir:

- Hacimsel debi,
- Toplam basınç,
- Verim.

Aşağıdakiler de test edilebilir.

Tahrik Motorları

Tahrik motorları ve fanlar için DIN VDE 0100 uyarınca kabul testleri gerçekleştirilir.

7.2. Sistemin Kabul Testi

Tünel havalandırma sisteminin tamamlanmasından sonra, değişik işletme koşulları altında kontrol kriterlerine göre sistemin işlevselliği için kabul testleri gerçekleştirilir.

Hacimsel debi, elektriksel güç tüketimi, trafik alanındaki ve çevredeki ses basınç düzeyi garanti gerekliliklerine göre aynı zamanda ölçülecektir.



$$E_{CO} (Pkw, Benzin) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{x_D}{100}\right) \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_B$$
$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{25}{100}\right) \cdot (0,063 \cdot 1,520 \cdot 1,00) = 0,06464 \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$E_{CO} (Pkw, Dizel) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \frac{x_D}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_D$$
$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \left(\frac{25}{100}\right) \cdot (0,015 \cdot 1,083 \cdot 1,07) = 0,00391 \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$E_{CO} (Lkw) = \frac{x_{Lkw}}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_M)_{Lkw}$$
$$= \frac{10}{100} \cdot (0,078 \cdot 1,325 \cdot 1,13 \cdot 1,6) = 0,01869 \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{zul}} \cdot [E_{CO} (Pkw, Benzin) + E_{CO} (Pkw, Dizel) + E_{CO} (Lkw)]$$
$$= \frac{33}{3600} \cdot \frac{10^6}{100} \cdot [0,06464 + 0,00391 + 0,01869] = 8 \text{ m}^3/(\text{s km})$$

Duman azaltımı için dış hava akış debisi		
Araçların trafik yoğunluğu	N	= 33 Fz/km
İzin verilebilir CO konsantrasyonu	K _{zul}	= 5.10 ⁻³ m ⁻¹
Kamyonların yüzdesi	x _{Lkw}	= % 10
Dizel motorlu araba yüzdesi	x _D	= % 25
Bulanıklık yayılımı değeri, arabalar (dizel)	q _T	= 18.3 m ² /(h Fz)
Bulanıklık yayılımı değeri, arabalar (kamyonlar)	q _T	= 58.4 m ² /(h Fz)
Meyil ve hız faktörü, arabalar (dizel)	f _{iv}	= 1.362
Meyil ve hız faktörü (kamyonlar)	f _{iv}	= 1.291
Yükseklik faktörü, arabalar (dizel)	f _H	= 1.00
Yükseklik faktörü, arabalar (kamyonlar)	f _H	= 1.06
Kütle faktörü	f _M	= 1.6

$$E_T (Pkw, Dizel) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \frac{x_D}{100} \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H)_D$$
$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \frac{25}{100} \cdot (18,3 \cdot 1,362 \cdot 1) = 5,60804; \text{ m}^2/(\text{h Fz})$$

$$E_T (Lkw) = \left(\frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H)_{Lkw}$$
$$= \left(\frac{10}{100}\right) \cdot (58,4 \cdot 1,291 \cdot 1,6) = 12,78689; \text{ m}^2/(\text{h Fz})$$

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{1}{K_{zul}} \cdot [E_T (Pkw, Dizel) + E_T (Lkw)]$$
$$= \frac{33}{3600} \cdot \frac{1}{0,005} \cdot [5,60804 + 12,78689] = 34; \text{ m}^3/(\text{s km})$$

Bekleme/Trafik kilitlenmesi

İlerleme hızı v=0 km/h		
CO azaltımı için dış hava akış debisi		
Araçların trafik yoğunluğu	N	= 165 Fz/km
İzin verilebilir CO konsantrasyonu	CO _{zul}	= 150 ppm
Kamyonların yüzdesi	x _{Lkw}	= 10 %
Dizel motorlu araba yüzdesi	x _D	= 25 %
Temel CO yayılımı değeri, arabalar (benzinli)	q _{CO}	= 0.063 m ³ /(h Fz)
Temel CO yayılımı değeri, arabalar (dizel)	q _{CO}	= 0.015 m ³ /(h Fz)
Temel CO yayılımı değeri, arabalar (kamyonlar)	q _{CO}	= 0.078 m ³ /(h Fz)
Meyil ve hız faktörü (benzin)	f _{iv}	= 0.340
Meyil ve hız faktörü (dizel)	f _{iv}	= 0.125
Meyil ve hız faktörü (kamyonlar)	f _{iv}	= 0.368
Yükseklik faktörü, arabalar	f _H	= 1.00
Yükseklik faktörü, arabalar	f _H	= 1.07
Yükseklik faktörü, arabalar	f _H	= 1.13
Kütle faktörü	f _M	= 1.8

$$E_{CO} (Pkw, Benzin) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{x_D}{100}\right) \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_B$$
$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{25}{100}\right) \cdot (0,063 \cdot 0,340 \cdot 1,00) = 0,01446; \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$E_{CO} (Pkw, Dizel) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \frac{x_D}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_D$$
$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \frac{25}{100} \cdot (0,015 \cdot 0,125 \cdot 1,07) = 0,00045; \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$E_{CO} (Lkw) = \frac{x_{Lkw}}{100} \cdot (q_{CO} \cdot f_{iv} \cdot f_H)_{Lkw}$$
$$= \frac{25}{100} \cdot (0,078 \cdot 0,368 \cdot 1,13 \cdot 1,8) = 0,01460; \text{ m}^3/(\text{h Fz})$$

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{zul}} \cdot [E_{CO} (Pkw, Benzin) + E_{CO} (Pkw, Dizel) + E_{CO} (Lkw)]$$
$$= \frac{165}{3600} \cdot \frac{10^6}{150} \cdot [0,01446 + 0,00045 + 0,01460] = 9 \text{ m}^3/(\text{s km})$$

Duman azaltımı için dış hava akış debisi			
Araçların trafik yoğunluğu	N	=	165 Fz/km
İzin verilebilir CO konsantrasyonu	K_{zul}	=	$7.10^{-3} m^{-1}$
Kamyonların yüzdesi	x_{Lkw}	=	% 10
Dizel motorlu araba yüzdesi	x_D	=	% 25
Bulanıklık yayılımı değeri, arabalar (dizel)	q_T	=	$18.3 m^2/(h Fz)$
Bulanıklık yayılımı değeri, arabalar (kamyonlar)	q_T	=	$58.4 m^2/(h Fz)$
Meyil ve hız faktörü, araba (dizel)	f_{iv}	=	0.018
Meyil ve hız faktörü, kamyonlar	f_{iv}	=	0.329
Yükseklik faktörü, arabalar (dizel)	f_H	=	1.00
Yükseklik faktörü, arabalar (kamyonlar)	f_H	=	1.06
Kütle faktörü	f_M	=	1.80

$$E_T(Pkw,Dizel) = \left(1 - \frac{x_{Lkw}}{100}\right) \cdot \frac{x_D}{100} \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H)_D$$

$$= \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot \frac{25}{100} \cdot (18,3 \cdot 0,018 \cdot 1) = 0.07412, m^2/(h Fz)$$

$$E_T(Lkw) = \frac{x_{Lkw}}{100} \cdot (q_T \cdot f_{iv} \cdot f_H \cdot f_M)_{Lkw}$$

$$= \frac{10}{100} \cdot (58,4 \cdot 0,329 \cdot 1,06 \cdot 1,8) = 0.36660; m^2/(h Fz)$$

$$\dot{Q}_{ZL} = \frac{N}{3600} \cdot \frac{1}{K_{zul}} \cdot [E_T(Pkw,Dizel) + E_T(Lkw)]$$

$$= \frac{165}{3600} \cdot \frac{1}{0,007} \cdot [0,07412 + 0,36660] = 3 m^3/(s km)$$

Sistem en büyük değere göre yani bu durumda **34 m³/(s.km)**

9. Kaynaklar

- [1] Österreichische Forschungsgesellschaft für das-und Strassenwesen, Projektierungsrichtlinien Lüftungsanlagen, Grundlagen RVS 9.261 und Luftbedarfsberechnung RVS 9.262, Ausbagen 1996.
- [2] D.Lacroix: New French Recommendations for Fire Ventiltion in Road Tunnels.9th International Conf.On Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels,Aosta,Oktober 1997.
- [3] Memorial Tunnel,Fire Ventilation Test Program, Massachusets Highway Department,November 1995.
- [4] D.Lacroix: The New PIARC Report on Fire and Smoke Control in Road Tunnels,3rd Int.Conf.Nizza,Marz 1998.
- [5] Ventilation of Traffic tunnels,recommendations 1991, Ductch ministerie van Verkeer en Waterstat,Bouwdienst.
- [6] PIARC, World Road Association.Road Tunnels: Emmissions, Entilation, Environment 1995.
- [7] Bundesamt für Umwelt,Wald und Landschaft, Luftschadstoffemissionen des Stasenverkehrs 1950-2010,Bericht 255,1995 und Elektronisches Handbuch Emissionsfaktoren HBEFA Vrsion 1.1.1995.

[8] Österreichische Forrschungsgesellschaft für das Verkehrs-und Straßenwesen: Projektierungsrichtlinien Lüftungsanlage, RVS 9.262 Luftbedarfsberechnung,Ausgabe 1996.

[9] Umweltbundesamt:Abgas-Emissionfaktoren von PKW in der Bundesrepublik Deuschland,Bericht 8-94,UBA-FB 91-042,TÜV Rheinland im Auftrag des UBA.

[10] Umweltbundesamt:Abgas-Emissionfaktoren von Nutzfazzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für Bezugsjahr 1990, Bericht 5/95,UBA-FB-95-049,TÜV Rheinland im Auftrag des UBA.

[11] Umweltbundesamt:Emmitlung des Abgas-Emissionsverhaltens von PKW in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1998,Zwischenbericht,Texte 21/91,UBA-FB 91-042,1991.

[12] Umweltbundesamt:Emissionszenarien für PKW-und Nutzfahzeugaverkehr in Deutschland 1998st-2005,Beilage zu Texte 40/91,1991.

[13] Umweltbundesamt: HDV 2000,Requirements,Technical Feasibility and Costs of Exhaust Emission standards for Heavy Duty Vehicle Engines for year 2000 in the European Community, Juni 1996.

Bölüm 4.2~4.6 arasında genişlikle RABT'dan yararlanılmıştır.

Çeviren

Yük. Mak. Müh. Nejat DEMİRCIOĞLU YTÜ Makine Mühendislik Fakültesi'ni bitirdikten sonra, aynı üniversitede lisansüstü eğitimini tamamlamış, ABD'de kısa süreli bir Air Conditioning programından sertifika alarak DEU İMYO'da soğutma sistemleri programını yürütmüş ve bu görevden emekli olmuştur.

"zamanı değerli kılan,
içine sığdırabildiğiniz tecrübelerdir"



neredeyse yarım asıra uzanan tecrübe



ÜNTEŞ[®]
iklimlendirme uzmanı

Merkez

Cetin Ermeç, Bulvarı 73. Sok.
No: 4 Öveçler - ANKARA
Tel : 0.312.472.87.00 (Pbx)
Fax : 0.312.472.87.77

Fabrika

İstanbul Yolu 37. Km.
Kazan - ANKARA
Tel : 0.312.814.12.16 (Pbx)
Fax : 0.312.472.87.77

İstanbul Bölge

19 Mayıs Mah. Sümner Sok.
Zitas İş Merkezi D-2 Blok
Daire: 7 Kozyatağı - İSTANBUL
Tel: 0.216.410.11.88
Fax: 0.216.410.11.76

İzmir Bölge

Teknik Malzeme İş Merkezi
1202/1 Sokak No: 17/218
Gıda Çarşısı - Yenisehir - İZMİR
Tel : 0.232.469.05.55 (Pbx)
Fax : 0.232.459.12.92

Adana Bölge

Ziyapasa Bulvarı İbrahim
Özekici Apt. Asmakat
No: 62 ADANA
Tel : 0.322.459.00.40 (Pbx)
Fax : 0.322.459.01.80