

Komisyon Kararı 2006/751/EC, FIPEC20 Senaryo 1
(prEN 50399)'e göre elektrik kabloları ile yapılan testlerde
ek FTIR ölçümlerinin fizibilite çalışması

Patrik Johansson
Per Blomqvist
Björn Sundström

SP- İsveç Teknik Araştırma Enstitüsü

Amaç

Bu çalışma, prEN 50399:2008'e göre yapılan testlerde duman gaz içeriğinin analizi için FTIR tekniğinin uygulanabilirliği konusunda bir fizibilite etüdü sunar.

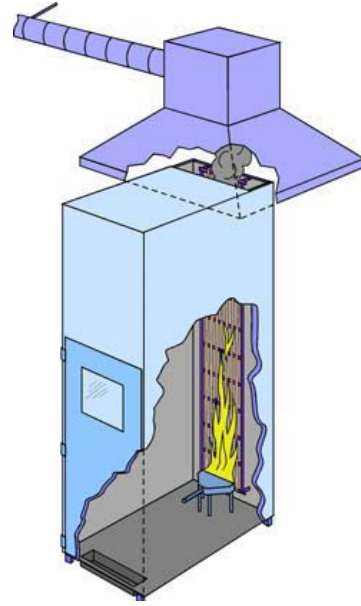
Bu etüt, iki farklı türde kablo, bir PVC kablo ve bir poliolefin kablo ile prEN 50399'e göre yapılan çift testlerdeki FTIR ölçümlerini kapsar. FTIR kantifikasyon sınırlarının prEN 50399 testlerinde ölçümler için uygun olup olmadığının araştırılması maksadıyla temel yanma gazlarının konsantrasyonları analiz edilmiştir. Fizibilite etüdü ayrıca, prEN 50399 testlerinden çıkan toksik gazların ölçümlerin uygunluğunun genel bir değerlendirmesini de içermiştir. Değerlendirme bu etütte test edilen türde kablolar ile sınırlıdır.

Test yöntemi

prEN 50399:2008

Kablolar, Karar 2000/147/EC, FIPEC20 Senaryo 1 (prEN 50399:2008)'i değiştiren Komisyon Kararı 2006/751/EC'e göre test edilmiştir. Propan ocağın nominal ısı saçma hız çıkışı 20.5 kW idi. Odacıktan çıkan duman gazları oradan gaz analizi için örneklerin alındığı bir davlumbaz ve egzoz sistemi ile toplandı. Isı saçma hızı, HRR, ve duman üretim hızı, SPR, sürekli ölçüldü.

Montaj, Karar 2000/147/EC, FIPEC20 Senaryo 1 (prEN 50399:2008)'i değiştiren Komisyon Kararı 2006/751/EC'te tanımlanan prosedüre göre yapıldı.



FTIR

FTIR ölçümleri, ISO 19702'de (ISO 19702:2006, yangında ortaya çıkan maddelerin toksisite testleri – FTIR gaz analizi kullanılarak yangında ortaya çıkan maddelerin gaz ve buharlarının analiz kılavuzu) verilen kurallara göre yapıldı.

Duman gaz içeriğinin analizinde, bir ısıtılmış gaz hücreli (150°C) bir BOMEM MB 100 FTIR spektrometresi kullanıldı. Kullanılan spektral çözünürlük, 4 cm⁻¹ idi ve dakikada 3 ortalama spektrum kaydedildi. Duman gazları sürekli olarak prEN 50399 test gerecinin egzoz kanalına takılı bir seramik filtreli (M&C SP-2K) çok delikli bir ölçüm çubuğu kullanılarak 4 l/dak'lık bir örnekleme hızı ile FTIR'a örneklendi. Ölçüm çubuğu gaz örnekleme için normal prEN 50399 ölçüm çubuklarının arkasında akış yönünde 0.5 metre konumuna takıldı. Hem filtre, hem de gaz örnekleme hattı (7 m uzunlukta ısıtılmış PTFE boru, 4 mm iç çap) 180°C'ye ısıtıldı.

FTIR cihazının doğru çalıştığı her gün testlere başlanmadan önce kalibrasyon gazı üzerinde yapılan ölçümlerle doğrulandı.

Toplam FTIR ölçüm sisteminin doğru çalıştığı prEN 50399 30 kW ocak ile yapılan bir testte CO₂'nin ölçülmesi ile doğrulandı. Bu testin sonucu ayrıca bir NDIR CO₂/CO analizörünün verileri ile kıyaslandı.

Ölçülen gazlar arasında aşağıdakiler bulunuyordu: karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), hidrojen klorür (HCl), hidrojen bromür (HBr), hidrojen florür (HF), hidrojen siyanür (HCN), nitrojen oksit (NO), nitrojen dioksit (NO₂) kükürt dioksit (SO₂). FTIR kantifikasyon sınırları Tablo 1'de verilmiştir.

Ayrıca, PVC kablolu testlerde FTIR'ın örnekleme filtresi, filtrenin yakaladığı HCl olup olmaması açısından analiz edildi. Referans olarak poliolefin kablolu testlerin filtreleri analiz edildi.

Tablo 1 prEN 50399 egzoz kanalında ölçülen gaz türlerinin pratik LOQ (kantifikasyon sınırı)'ları

Gaz türleri	LOQ, ppm (v/v)
CO ₂	100
CO	10
HCl	5
HBr	10
HF	5
HCN	2
NO	15
NO ₂	5
SO ₂	5

Ürünler

Kullanılan CEMAC II kabloları:

- C/9/4 – tek çekirdekli kılıflı PVC kablosu
- C/12/4 – tek çekirdekli kılıfsız halojensiz kablo.

Örnekler istemci tarafından sağlandı. Alınan ürünlerin ortalama üretim özelliklerini temsil edip etmediğini SP Fire Technology bilmemektedir. Örnekler SP Fire Technology'de 14 Ocak 2008'de (C/9/4) ve 4 Ağustos 2008'de (C/12/4) alındı.

Test sonuçları

Aşağıdaki tablo 2, prEN 50399'e göre yapılan testlerin test sonuçlarının bir özetini verir. Test parametre açıklaması Ek 2'de verilmiştir. FTIR ölçümlerinin sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir. Ortalama değerler (\bar{x}) ve standart sapmalar (s) tablo 3'te verilmiştir. Bazı ayrıntılı sonuçlardan örnekler ek 1'de verilmiştir.

Tablo 2, Test sonuçları özeti - prEN 50399

Ürün	FS [m]	THR _{1200s} [MJ]	Pik HRR _{av} [kW]	FIGRA [W/s]	TSP _{1200s} [m ²]	Pik SPR _{av} [m ² /s]
C/9/4, test 1	3.30	71.5	320	1496	748	2.8
C/9/4, test 2	3.30	72.0	324	1519	783	2.7
C/12/4, test 1	0.43	2.9	7	43	9	0.02
C/12/4, test 2	0.41	2.4	7	41	6	0.01

Tablo 3, Çift kablo testleri FTIR sonuçlarının özeti

Ürün	CO ₂ * X	s	CO x	S	HCl x	s
C/9/4, pik konsantrasyon	14500 ppm	770 ppm 5.3 rel-%	900 ppm	14 ppm 1.6 rel-%	2580 ppm	147 ppm 5.7 rel-%
C/9/4, toplam yield	1.82 g/g	0.12 g/g 6.6 rel-%	0.052 g/g	0.0018 g/g 3.4 rel-%	0.18 g/g	0.013 g/g 7.3 rel-%
C/12/4, pik konsantrasyon	1020	28 ppm 2.7 rel-%	N.D.	-	N.D.	-
C/12/4, toplam yield	**	**	-	-	-	-

* Ocağın katkısı dahildir:

** Ocak katkısı egemen olduğundan yield hesabı C/12/4 için geçerli değildir.

N.D.= Algılanamadı

Sonuçların irdelenmesi

Test edilen iki tür kablo, bir PVC kablo olan C/9/4 ve bir halojensiz kablo olan C/12/4, prEN 50399 testinde net olarak farklı yangına tepki davranışı gösterdiler. PVC kablosunda alevler merdivenin tepesine kadar yayıldı ve 300 kW'dan fazla ısı saçtı. Diğer yanda, halojensiz kablo, çok sınırlı alev yayılımı gösterdi ve 10 kW'dan daha az ısı saçtı. İki tür kablonun ikinci testleri hayli tekrarlanabilir sonuçlar verdi (bkz. Tablo 3).

Alev yayılma miktarı ve dolayısıyla beher zaman birimi başına yanan malzeme miktarı, prEN 50399 testinde egzoz kanalındaki gazların temel yanma gazlarının konsantrasyonunu belirledi.

Dolayısıyla, PVC kablo ile yapılan testler yüksek gaz konsantrasyonu için şartlar doğururken, halojeniz kablo ile yapılan testler çok düşük konsantrasyonlar için şartlar doğurdu.

PVC kablosu ile yapılan testlerde CO₂, CO ve HCl görüldü. Tablo 1'de yazılı diğer gazlar görülemedi. Test sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir (bkz. ayrıca şekil 1-5):

- Temel yanma gazları (CO₂, CO ve HCl) yoğunlukları FTIR için pratik LOQ değerlerinin çok üzerindedir.
- Çifte testlerdeki ölçülen pik konsantrasyonların tekrarlanabilirliği yüksektir. (Standart sapmalar % bağıl 2-6 - aralığında).
- Çifte testlerde hesaplanan toplam yield'lerin tekrarlanabilirliği yüksektir (Standart sapmalar % bağıl- 3-7 aralığında)
- CO₂ ve CO konsantrasyonlarının prEN 50399 testinin NDIR gaz analiz enstrümanı ile kıyaslaması FTIR sonuçları ile doğru uyum göstermiştir.

NDIR enstrümanının kurumuş gazları ölçtüğü, FTIR'ın ise ıslak gazları ölçtüğü söylenebilir. Duman gazlarındaki su konsantrasyonu kurumuş gazlarda olmayan bir kısmi basınca yol açtığından bu NDIR için FTIR'a göre daha yüksek değerler oluşturur. Ancak, testler esnasındaki su konsantrasyonları karbon dioksit konsantrasyonu ile aynı büyüklük mertebesinde küçük olduğundan bu etki göreceli olarak küçüktür.

Duman gazlarında HCl'in ölçümü, Hidrojen Klorür, tüm kondanse sularda kolayca eridiğinden ve açık yüzeylere yapışabildiğinden zordur. Böylece, üretilen HCl'in bir kısmının FTIR analizörüne erişmezden önce kaybolma riski vardır. Bu, FTIR için özel bir sorun olmayıp; bir genel test ve örnekleme zorluğudur. Bu çalışmada yürütülen HCl kaybı araştırmaları şunları içermiştir:

- FTIR'a erişmeden önce duman gazlarını kurumdan temizlemek için kurulan seramik filtrelerin analizi. Filtrelerde HCl kayıpları görüldü, ancak kayıpların büyüklüğü test esnasında FTIR'a örneklenen tüm HCl'inin % bağıl 5'inin altında ve küçüktü.

Yapılabilecek olan kayıplarla ilgili başka bir araştırma, testlerde bulunan HCl yield'ini ve kablo malzemesindeki klor içeriğinden hesaplanan nominal yield'i kıyaslamaktır. Kablo malzemesinin bileşimi ile ilgili veriler bulunmadığından, böyle bir kıyaslama yapılamamıştır.

Eğer prEN 50399 test odacığında ve duman gaz çıkarma sisteminde HCl kayıpları ve birikmesi varsa; bu, daha sonraki testlerde kirlenmelere yol açabilir. Özellikle odacığın ve duman çıkarma kanalının duvarlarını ısıtacak ve mevcut HCl'i serbest bırakacak yüksek yanma hızı olan sonraki testlerde. Bu çalışmada yapılan birikim araştırmaları şunları kapsadı:

- 10 dakika süre ile 300 kW propan ocağı kullanarak bir dummy test ile test cihazının temizlenmesi. Temizleme prosedürü C/9/4 - test 2'den sonra uygulandı.

- Halojensiz kabloların test edildiği daha sonraki testlerde (C/9/4 – test 2'den sonra) HCl'nin analizi. Bu testler gerçekleşme sırasıyla iki C/12/4 testi (düşük ısı saçma) ve bir diğer poliolefin kablosu C/10/3 ile yapılan iki testi içeriyordu. C/10/3 ile yapılan testlerin ayrıntılı sonuçları bu raporda yoktur, ancak bu araştırma açısından ısı saçımının bu testlerde yüksek olduğunu ve hiçbir HCl'in görülemediğini belirtmek yeterlidir.
- HCl birikimi ve sonraki testleri olası kirlenme konusundaki sonuç, eğer yukarıda tanımlanan temizleme prosedürüne uyulursa bunun bir sorun yaratmayacağıdır.

Halojensiz kablo, C/12/4 ile yapılan testlerdeki FTIR ölçümlerinin sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir. CO₂ bu testlerde algılanan tek test olmuştur. Tablo 1'de sıralanan diğer gazlar görülmemiştir. Test sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

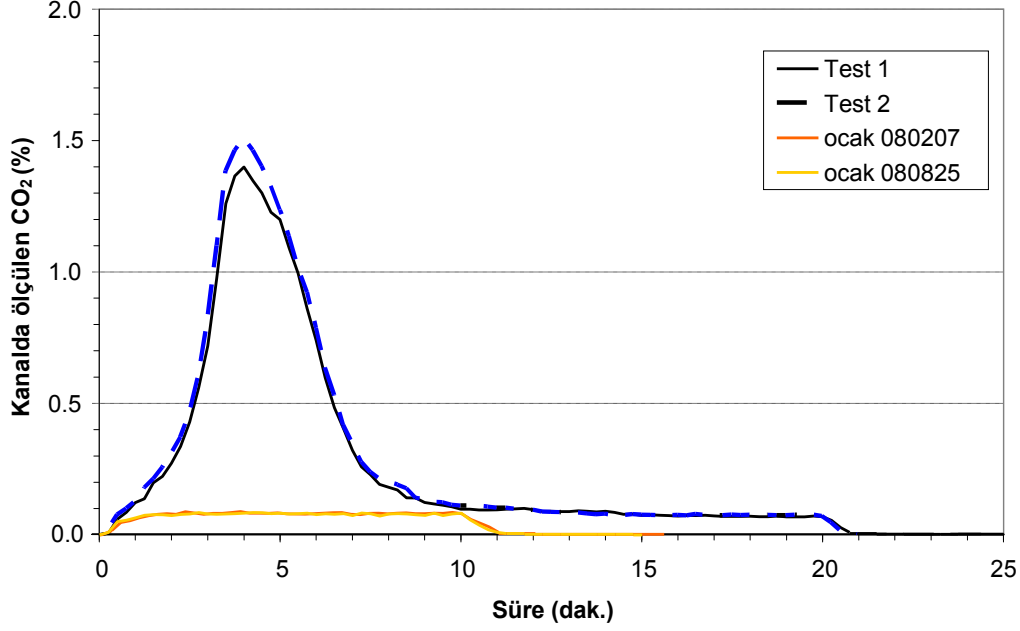
- Alev yayılma ve yanma hızı algılanabilir gaz konsantrasyonları oluşturmak için bu kablo için çok düşüktü. Ancak ocağın üreyen karbon dioksit algılanabildi (bkz. şekil 3).

Sonuçlar

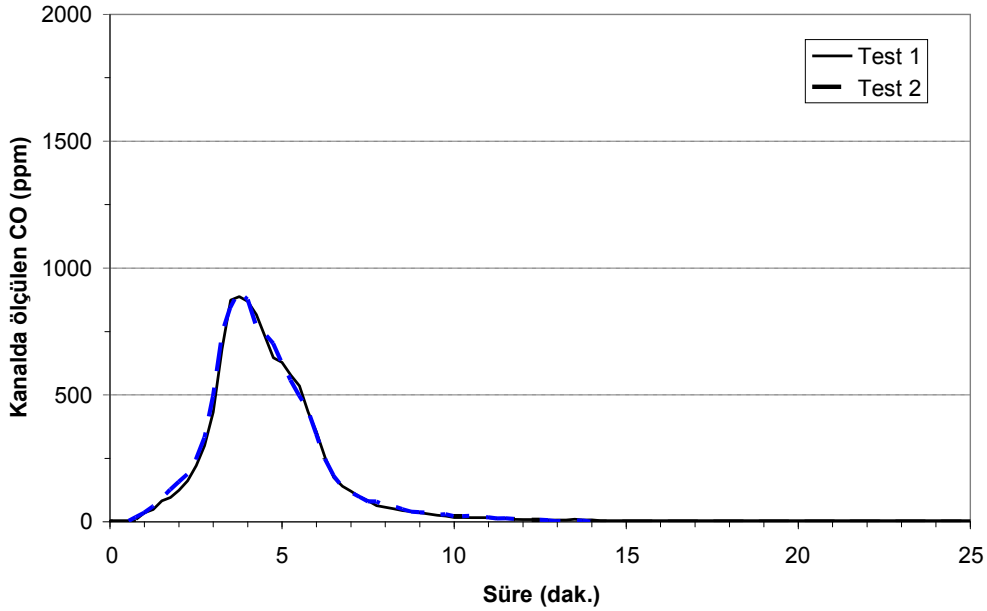
Fizibilite etüdünün genel sonuçları şunlardır:

- prEN 50399 kablo test yöntemi ile yapılan testlerde temel yanma gazlarının ölçümü için FTIR kullanmak mümkün ve uygundur.
- Bu etütte, HCl konsantrasyonunun PVC kablosu testlerinde CO₂ ve CO konsantrasyonları ile birlikte süreye bağlı olarak ölçülebileceği gösterilmiştir.
- Örnekleme filtrelerindeki HCl kayıpları sınırlı olmuştur. Ayrıca, olası HCl birikiminin ve daha sonraki testlerin kirlenmesinin bir propan ocak kullanan basit bir temizlik prosedürü ile engellenebileceği gösterilmiştir.

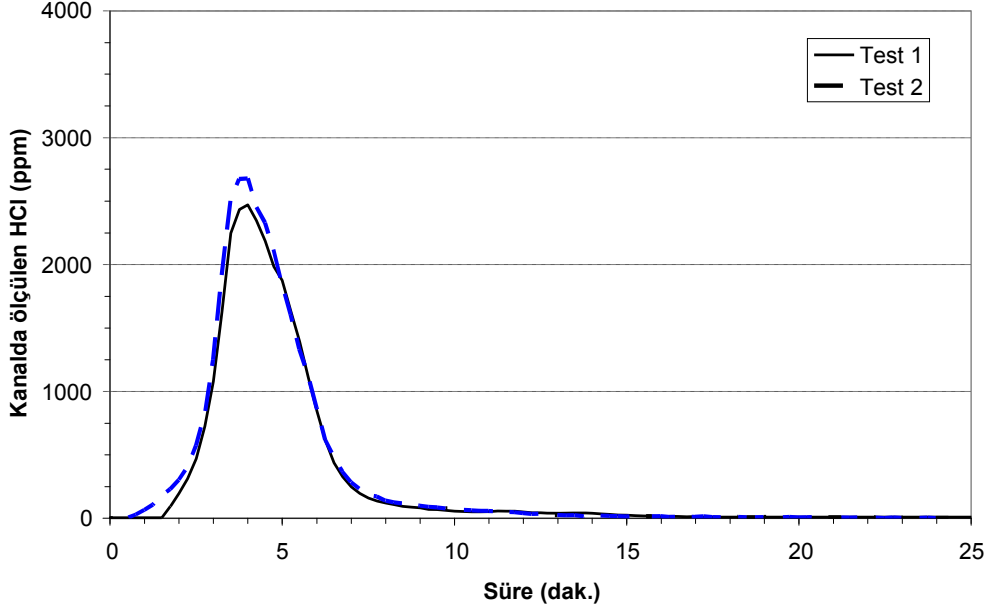
Ek 1. Test verisi örnekleri



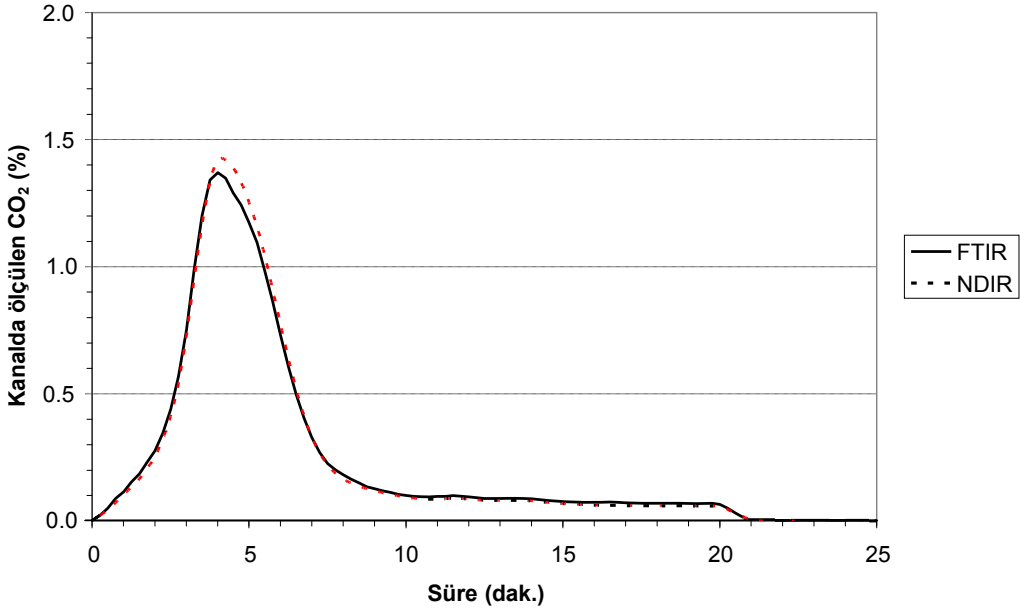
Şekil 1 C/9/4 kablosu ile yapılan çifte testlerde ölçülen karbon dioksit (CO_2) konsantrasyonları. Ocaktan gelen CO_2 katkısı, Test 1 ve Test 2'ye dahildir. Şekilde 10 dak. ocak testlerinin sonuçları gösterilmiştir.



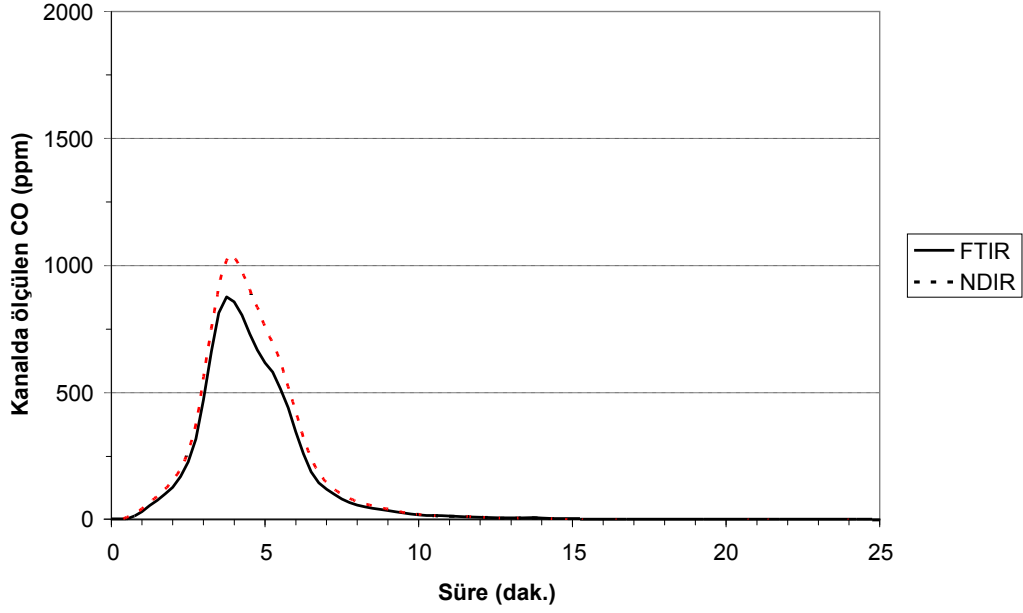
Şekil 2 C/9/4 kablosu ile yapılan çifte testlerde ölçülen karbon monoksit (CO) konsantrasyonları.



Şekil 3 C/9/4 kablosu ile yapılan çifte testlerde ölçülen hidrojen klorür (HCl) konsantrasyonları



Şekil 4 C/9/4 kablosu ile yapılan Test 1'de FTIR ve NDIR ile ölçülen karbon dioksit (CO_2) konsantrasyonlarının kıyaslanması. Her iki durumda ortam CO_2 'si çıkartılmıştır. Her iki durumda veri ortalaması 60 saniyedir. NDIR verilerinin "ıslak gaz" için olduğuna dikkat ediniz.



Şekil 5 C/9/4 kablosu ile yapılan Test 1'de FTIR ve NDIR ile ölçülen karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarının kıyaslanması. Her iki durumda veri ortalaması 60 saniyedir. NDIR verilerinin "ıslak gaz" için olduğuna dikkat ediniz.

Ek 2. Test parametreleri açıklaması

Tablo 1. Komisyon Kararı 2006/751/EC ve prEN 50399:2008'deki test parametrelerinin tanımları

Parametre	Açıklama
Test başlangıcı	Ocağı yakma.
Test sonu*	Ocağın yakılmasından 20 dakika sonra.
HRR_{av} , kW	30-s kayar ortalama ile ortalananmış Isı Saçma Hızı.
SPR_{av} , m^2/s	60-s kayar ortalama ile ortalananmış Duman Üretim Hızı.
Pik HRR_{av} , kW	Ateşleme kaynağının katkısı hariç olmak üzere, test başlangıcı ve test sonu arasında maksimum HRR_{av}
Pik SPR_{av} , m^2/s	Test başlangıcı ve test sonu arasında maksimum SPR_{av}
THR_{1200s} , MJ	Ateşleme kaynağının katkısı ve tüm negatif değerler hariç olmak üzere, test başlangıcından test sonuna kadar toplam ısı saçımı (HRR_{av})
TSP_{1200s} , m^2	Tüm negatif değerler hariç olmak üzere test başlangıcından test sonuna kadar toplam duman üretimi (SPR_{av})
FIGRA, W/s	Ateşleme kaynağı ve süre katkısı hariç olmak üzere HRR_{sm30} arasında bölümün en yüksek değeri olarak tanımlanan Yangın Büyüme Hızı endeksi. Eşik değerler $HRR_{av} = 3$ kW ve $THR = 0.4$ MJ.
PCS	Brüt kalorifik değer.
FS	Alev yayılması (hasarlı uzunluk).
H	EN 60332-1-2'e göre alev yayılması.
FIPEC	Elektrik Kablolarının Yangın Performansı

*Parametre hesabı için süre sonu