

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRBİNMETRELİ GAZ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE
TASARIMIN SAYAÇ HASSASİYETİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. M.Şükrü ÖZDEN
(505991057)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdurrahman SATMAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkin NASUF (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Şenol YAMANLAR (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

Değerli eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Kıt, temini külfetli ve diğer yakıtlara göre kullanım üstünlüklerine sahip olan doğal gazın alım ve satımında hassas ölçümlemenin önemi gittikçe artmaktadır.

Yirmi yıldan fazladır ülkemizde, özellikle şehirlerde kullanılmakta olan doğal gazın hassas ve doğru şekilde miktarının ölçülmesi ve faturalandırması hem müşteriler hem de dağıtıcı kuruluşlar açısından önemlidir.

Bu çalışmada, gazlara ait esaslar, ölçme yöntem ve uygulama teknikleri, yapılan ölçme ve faturalama sistemi, tez kapsamında yapılan araştırma ve inceleme sonuçları ele alınacaktır.

Yüksek Lisans Eğitimimiz boyunca bizlere desteklerini esirgemeyen Sn.Prof. Dr. Abdurrahman Satman'a, Sn. Prof.Dr. Mustafa Onur'a ve tüm Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği bölüm hocalarımıza, tez kapsamında yapılan deney için tesisleri kullanıma açan UGETAM yöneticilerine ve değerli çalışanlarına teşekkür etmeyi borç bilirim.

HAZİRAN 2010

M.Şükrü ÖZDEN
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tarihçe.....	2
1.3 Ölçümün Rolü	3
2. GAZ ÖLÇÜMÜNÜN TEMELLERİ	5
2.1 Gaz Kanunları	5
2.1.1 Genel ideal gaz kanunu	5
2.1.2 Gerçek gaz kanunu.....	6
2.1.3 AGA 8 yöntemi	7
2.1.4 G.E.R.G. yöntemi.....	8
2.1.5 AGA NX19 yöntemi	10
2.2 Hacim Düzeltme (Çevrim)	12
2.2.1 Düzeltmenin yapılması	12
2.3 Temel Kavramlar.....	13
2.3.1 Görelî yoğunluk	13
2.3.2 Akış debisi.....	14
2.3.3 Kinematik akmazlık	14
2.3.4 Dinamik akmazlık	14
2.3.5 Hız profili ve Reynolds sayısı	14
3. GAZ ÖLÇÜMÜ	17
3.1 Ölçüm Denklemleri ve Sayaç (Karıştırıcı) Uygulaması.....	17
3.1.1 Sistem - Sayaç	18
3.1.2 Sayaç sistemi ve T çevrim düzeneği	19
3.2 Gaz Ölçümünü Etkileyen Faktörler.....	21
4. ÖLÇÜM CİHAZLARI - SAYAÇLAR.....	25
4.1 Sayaçların Sınıflandırması ve Özellikleri	25
4.2 Körüklü (Diyaframlı) Sayaçlar.....	28
4.2.1 Körüklü sayacın çalışma ilkesi	30
4.3 Rotary Tip (Döner Pistonlu) Sayaçlar	32
4.3.1 Çift pistonlu rotary sayaçlar	32
4.3.2 Rotary sayacın yapısı	33
4.3.3 İşletme basıncı ve sıcaklığı	33
4.3.4 Başlangıç debisi	34
4.3.5 Ölçüm dinamiği.....	34
4.3.6 Hassasiyeti	34

4.4 Türbinli Sayaçlar	35
4.4.1 Sayacın yapısı.....	35
4.4.2 Türbinli sayaç tasarımı	37
4.4.3 Türbin tip sayacın çalışma ilkesi	39
4.5 Kuantometreler	44
4.6 Ultrasonik sayaçlar	44
5. ÖLÇÜM HATALARI ve KALİBRASYON	49
5.1 Hata.....	49
5.2 Belirsizlik	50
5.3 Doğruluk (Hassasiyet)	52
5.4 Ölçüm Aralığı.....	54
5.5 Sayaç Hataları.....	55
5.6 Kalibrasyon.....	56
6. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ TASARIMI	61
6.1 Ölçüm İstasyonları.....	61
6.2 Körüklü (Diyafıramlı) Sayaçlı Sistemler.....	62
6.3 Rotary Sayaçlı Sistem Tasarımı ve Uygulaması	63
6.4 Türbinmetreli Sistem Tasarımı.....	64
6.5 Sayaç Seçimi	67
7. ÖLÇÜM HATLARINDA SAYACIN KONUMUNUN ÖLÇÜME ETKİSİNİN DENEYSEL YOLLA BULUNMASI.....	73
7.1 Testin Amacı	73
7.2 Test Hazırlığı	73
7.3 Boru Bağlantı Elemanlarının Boru içindeki Gaz Akışına Etkisi.....	74
7.4 Akış Doğrultucular	75
7.5 Testin Yapılışı	76
7.5.1 Test -1 : Sayaç öncesi ve sonrası bir metre düz boru kullanılması	77
7.5.2 Test – 2 Bir önceki düzenek kullanıldı	80
7.5.3 Test - 3 : Sayaç girişine çapın 5 misli uzaklığa (45 cm) 90° açılı dirsek konuldu.....	81
7.5.4 Test 4 Sayaç öncesine 5D uzaklığa 1 tane, 10D uzaklığa 1 tane 90° lik dirsek konuldu	83
7.5.5 Test 5 Sayaç girişinde 3D uzaklığa 90° açılı dirsek konuldu	85
7.5.6 Test 6: Sayaç girişine 3D uzaklıkta 5 cm lik eksantrik orifis (kısıtlayıcı) konuldu.....	86
7.5.7 Test 7 - Sayaç girişine 5D uzaklıkta 5 cm lik eksantrik orifis (kısıtlayıcı) konuldu.....	89
7.5.8 Test 8: Sayaç girişine 1D uzaklıkta 90° açılı dirsek konuldu.....	91
7.5.9 Test 9: Sayaç girişine 1xD uzaklıkta 90° lik 1 dirsek ve ikinci bir dirsek konuldu.....	93
7.6 Tartışma.....	94
8. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	99

KISALTMALAR

AGA	: American Gas Association
ASGMT	: American School of Gas Measurement Technology
App	: Appendix
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EN	: European Norms
GERG	: Groupe Europeen de Recherches Gazieres
OIML	: International Organization of Legal Metrology
PTB	: Alman Referans Laboratuvarı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UGETAM	: Uluslar arası Gaz ve Teknoloji Araştırma Merkezi
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
GERG	: The European Gas Research Group
UGETAM	: Uluslar arası Gaz ve Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi
TURKAK	: Türkiye Akreditasyon Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Sayaçların minimum ve maksimum değerleri.....	26
Çizelge 4.2 : Sayaç sınıflarına göre debiler	28
Çizelge 4.3 : Bazı rotary sayaçlar için başlangıç debileri	34
Çizelge 4.4 : Sayaçların büyüklükleri ve debi aralıkları	40
Çizelge 5.1 : Örnek G250 Türbinmetrenin hata değerleri	55
Çizelge 6.1 : Başlıca endüstriyel ölçüm sistemlerinin üstünlükleri ve dezavantajları..	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doğal gaz için indirgenmiş basınç ve sıcaklığa göre z değeri.....	9
Şekil 2.2 : Ölçüm koşullarıyla standart koşulların dönüşümü.....	12
Şekil 2.3 : Boru içindeki hız profili.....	15
Şekil 3.1 : Karıştırıcı İlke şeması	17
Şekil 3.2 : Sistem – sayaç uygulaması	18
Şekil 3.3 : Sistem T çevrim uygulaması	19
Şekil 3.4 : Sistem P+T+Z çevrim uygulaması	20
Şekil 3.7 : Yükseltiye bağlı atmosfer basınç formülü.....	21
Şekil 3.8 : İstanbul ve Erzurum atmosfer basınç farkları.....	22
Şekil 4.1 : Bir sayacın veri aktarım ilkesi.....	27
Şekil 4.2 : Körüklü sayaç.....	29
Şekil 4.3 : Bir sayacın işaret ve numarator plakası	29
Şekil 4.4 : Diyaframli sayacın çalışma ilkesi	31
Şekil 4.5 : Çift pistonlu bir rotary sayacın kesiti	32
Şekil 4.6 : Çift pistonlu bir rotary sayacın hacimsel devri.	33
Şekil 4.7 : Rotary sayacın temel yapısı	33
Şekil 4.8 : Rotary sayaçların tipik hata eğrisi.	35
Şekil 4.9 : Eksenel akışlı türbin sayaçların iki şematik versiyonu	36
Şekil 4.10 : Türbinli sayacın kinematik ilkesi	37
Şekil 4.11 : Türbin rotorunun dönüşünü algılayan elektronik pick-off (sensör)...	39
Şekil 4.12 : Türbin sayaç kesiti.....	41
Şekil 4.13 : Türbin sayaç sinyal üretim cihazları	43
Şekil 4.14 : Ultrasonik sayaç.....	45
Şekil 4.15 : Sırasıyla Doppler Yansımali ve Geçiş Zamanlı ultrasonik sayaç çalışma şemaları	45
Şekil 4.16 : Ultrasonik metrede geçiş zamanına göre debi hesabı	46
Şekil 5.1 : Türbinmetrenin EN 12261 e göre hassasiyeti [7].....	53
Şekil 5.2 : Türbinmetre nin farklı akışkan ve farklı basınçtaki hassasiyet örneği	53
Şekil.5.3 : Diyaframli sayaç kalibrasyon ünitesi	57
Şekil 6.1 : Doğal Gaz Ölçüm İstasyonu Modeli	61
Şekil 6.2 : Türbinmetre montaj ilkesi	65
Şekil 6.3 : Çoklu ölçüm hatlı bir şehir giriş istasyonunun ölçüm kısmı	70
Şekil 6.4 : Türbinmetrenin EN standardına göre ölçüm hattı.....	71
Şekil 7.1 : Test cihazının çalışma düzeneği	74
Şekil 7.2 : Dirseklerin oluşturduğu akıştaki distorsiyonlar.....	75
Şekil 7.3 : Dirsekler sonrası akış içindeki hız profili	75
Şekil 7.4 : Akış düzelticileri.....	76
Şekil 7.5 : Test 1 düzeneği, sayaç öncesine ve sonrasına 1 m lik boru kullanıldı	78
Şekil 7.6 : Test 1'in düzeneğinin hazırlanışı.....	78
Şekil 7.7 : Test 1 Sonuç sayfası, girilen değerler, çıkan sonuçlar liste ve grafik olarak gösterilmiştir.....	79
Şekil 7.8 : Test 2 sonuç tablosu.....	80

Şekil 7.9 : Test 3 Düzenegi, sayaç girişinde 5D uzaklıkta 90° dirsekli uygulama..	81
Şekil 7.10 Test 3 düzenegi	82
Şekil 7.11 Test 3 Sonucu.....	82
Şekil 7.12 Test 4 Düzenegi.....	83
Şekil 7.13 Test 4 Sonucu, yüksek debilerde bağıl hata oranı artmaktadır.....	84
Şekil 7.14 Sayaç girişe 3D uzaklıkta 90° açılı dirsek testi.....	85
Şekil 7.15 Test 5 sonucu.....	86
Şekil 7.16 Sayaç öncesi regülatörlü ölçüm hattı.....	87
Şekil 7.17 Sayaç girişinde eksantrik orifis (50 mm çapında) uygulaması.....	87
Şekil 7.18 Test 6 sonucunda, bariz bir şekilde toleranslardan sapma gözlemlendi....	88
Şekil 7.19 Sayaç girişinde 5D (45 mm) uzaklıkta orifis uygulaması.....	89
Şekil 7.20 Test 7 sonucu.....	90
Şekil 7.21 Test 8 düzenegi, sayaç girişine 1xD uzaklıkta 90° açılı dirsek testi....	91
Şekil 7.22 Test 8 sonucu.....	92
Şekil 7.23 Sayaç girişine 1xD uzaklıkta 1 adet, 24 cm uzaklıkta 1 adet 90° dirsek uygulaması.....	93
Şekil 7.24 Test 9 sonucu.....	94

TÜRBİNMETRE SAYAÇLI GAZ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE TASARIMIN SAYAÇ HASSASİYETİNE ETKİSİ

ÖZET

Doğal gaz uygulamalarında kullanılan sayaçlar, gaz tedarikçisi ile tüketici arasındaki ticari anlaşmanın en önemli kısmını oluşturmaktadır. Dolayısıyla gaz teslim noktalarında kullanılacak ölçüm sistemlerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Doğru uygulamalar, kişi ve kuruluşlara yarar sağlayacak, adaletsizliği önleyecek, hukuki ve ticari anlaşmazlıkların azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada, genel gaz ölçüm ilkelerinin ortaya konulması, sistemlerin tasarım esasları, gaz ölçümünü etkileyen faktörler, kalibrasyon, evsel ve endüstriyel alanda ülkemizde yaygın olarak kullanılan ölçüm cihazlarından olan türbinmetreli sistemlerin hata ve sapmalarının tespit edilmesi ve öneriler ele alınacaktır.

Ayrıca türbinmetreli gaz ölçüm sistemlerinin tasarımının ölçüm hassasiyeti ve doğruluğa etkisinin görülebilmesi ve tasarımda dikkat edilmesi gereken kriterlerin belirlenmesi için deneysel çalışma ile tez konusu desteklenmiştir.

DESIGN AND ACCURACY OF GAS MEASUREMENT SYSTEMS WITH TURBINE METERS AND INFLUENCE OF DESIGN ON METERING

SUMMARY

It is important for gas consumers and sellers that natural gas flow rate measurement should be correct and reliable in natural gas infrastructures based on sales contract. Thus, the selection of metering devices is very important to cause great benefit and prevent unjust situation and legal and commercial disagreements in delivery points.

In this study, general gas metering principles, fundamentals of metering system design, factors affecting gas measurement, calibration, comparison of meters, measurement accuracies and standards are discussed especially for largely used meters. Inaccuracies and deviations involved in measurement have been evaluated as well.

In addition that subject issue is supported by experimental study which has turbine metering system, to see design effects on accuracy of meter.

1. GİRİŞ

Gaz ölçümü, verilen bir zaman diliminde belirlenmiş bir bölümden (borudan) geçen gaz miktarının bilinmesi işlemlerin tamamıdır. Bu işlemleri/ölçümleri gerçekleştiren cihazlara gaz sayaçları denir. Endüstride ve evsel kullanımda çok çeşitli tip ve yöntemleri olsa da genel olarak, kullanım ve bakım kolaylıkları, ilk yatırım bedellerinin düşüklüğü ve basit tasarımları dolayısıyla en çok hacim ölçme ilkesiyle çalışan sayaçlar tercih edilmektedir. Uygulamaya göre değişen çeşitli türleri vardır. Çok büyük debilerin ölçüleceği yerlerde, sözgelimi şehir giriş istasyonlarında, güç santrallerinin ölçüm istasyonlarında ya da büyük tüketim merkezlerinde, bakım kolaylıkları ve fiyatları dolayısıyla orifisli sayaçlar kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber alternatif sayaçların gelişmesi, ucuzlaması ve hassasiyetlerinin artmasından dolayı orifisli sayaçlar pek tercih edilmemektedir.

Orifisli sayaçlar yerine hassasiyetleri daha iyi ve donanımları gelişmiş, türbinmetreler ve ultrasonikmetrelerin kullanım alanı yaygınlaşmaktadır.

Isınma, mutfak ve sıcak su amaçlı gaz kullanımlarında, gaz debisi çok değişken olduğundan, ölçüm aralığı geniş olan, yapıları basit ve ucuz olan pozitif yer değiştirmeli sayaçlar kullanılmaktadır. Evsel kullanım gibi küçük debilerde diyaframli sayaçlar, biraz daha büyük debilerde ise rotorimetreler kullanılmaktadır. Diyaframli sayaçlar ve rotorimetreler önödeme (pre-paid) sistemlerde de kullanılabilirler.

Gaz akışları boru içinde doğrusal ve sürekli olduğu için, sayaçların, teknik ve yapısal özellikleriyle beraber, içinde buldukları ölçüm düzeneklerinin de hassas ve doğru bir ölçüm için değerlendirmeye katılması gerekir. Kısaca sayaçla birlikte tesisatların da uygun tasarlanması ve sayaç imalatçısının ve ilgili standartların ön gördüğü şekilde montajının yapılması gerekmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Gaz ölçümü ve kurallarıyla ilgili yurtdışında özellikle Kuzey Amerika'da ve Avrupa'da uzun yılların birikimi teknik literatürü zenginleştirmiştir. Başlıca AGA

(American Gas Association) Raporları (özellikle No:3,7,8,9,19 vb.), ASGMT (American School of Gas Measurement Technology) bildirimleri ve makaleleri, OIML (International Organization of Legal Metrology) nin tavsiye raporları, gaz kullanım geçmişi oldukça eski olan Fransız, Alman ve Hollanda gibi ülkelerin beraber şekillendirdikleri EN (European Norms) standartları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca gaz kullanım geçmişi olan ülkelerin yerel gaz kuruluş ve laboratuvarlarının yayınları ve gaz sayaçlarına ve ölçüme dair yazılmış kitapları bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Örneğin David W. Spitzer in 1995 yılı basımı “Industrial Flow Measurement”[1], ve Lohit Datta-Barua nın 1991 yılı basımı “Natural Gas Measurement&Control” [2] yararlanılan literatürün özünü oluşturmaktadır.

Ülkemizde ise gaz kullanımını yeni olduğu için bu konuda EN Standartlarının çevirisi niteliğinde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Standartları, TÜBİTAK bünyesindeki UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) yayınları ve bir kısmının kuruluşunda Avrupalı şirketlerin yer aldığı gaz dağıtım ve iletim şirketlerinin standartları ve yayınları vardır. Tez kapsamında hem uluslar arası literatürden, hem de ulusal literatürden yararlanılmıştır.

1.2 Tarihçe

İlk gaz sayacı, 1815'de Clegg tarafından yapılmıştır[3], ve ıslak sayaç olarak adlandırılmıştır. Bu türden sayaçlar temel olarak, ölçme tamburu, gövde ve sayıcı mekanizmasından oluşurlar. Bugün kullanılmaları yoktur.

Pozitif yer değiştirmeli sayaçlar 1830 — 1850 yıllarında geliştirilen ilk örneklerle dayanmaktadır. Bugünkü çalışma ilkesiyle ilk hali birbirine yakındır.

Türbinli Sayaçlar, Reinhard Woltman tarafından 1790'da icat edildi [3]. O tarihten bugüne, en az altı türbin sayaç tipi daha icat edildi. Bugün birçok türbin sayaç özellikle uçaklarda olmak üzere yakıt akışını ölçmek için kullanılmaktadır. İlk zamanlarda türbinli sayaçlar askeri uçaklardaki yakıt tüketimini ölçmek için geliştirildi. 1950'lere kadar pratik olarak bu sayaçlar doğal gaz ölçümünde kullanılmamıştır. Almanya'da ilk sayaç patenti 1953 yılında 12:1 ölçüm dinamiği ve $\pm \% 2$ hassasiyetle alınmıştır. Endüstri uygulamalarında, son yıllarda ağırlıklı olarak türbinli sayaçlara yer verilmektedir. Bunlar, gazın oluşturduğu basınçla dönen bir türbinden oluşur. Mekanik ya da elektronik bir alıcı, basınçta ve sıcaklıkta ortaya

ıkan değişmeleri algılayarak, sayaç üstündeki mekanik gösterge okumalarını düzeltir. İki tane evsel sayaç byklğindeki bu tür sayaçlar, oda byklğindeki lme sistemlerinin yerini almıştır.

1.3 Ölümün Rolü

Gaz miktarının ölümü, hem sözleşmeye dayalı ticari alanda, hem de taşıma şebekeleri kavramı ve idaresi için kaçınılmaz bilgileri vermeyi sağlayan teknik alanda gaz sanayisinin çok önemli bir aktivitesidir.

Ticari/hukuki alanda:

- Alımlar: yabancı gaz ikmali (ithalat)
- Satış: Özel veya büyük tüketiciler (sanayi müşterileri)
- Taşıma: Ülkelerarası veya ülke içi

Teknik alanda:

- Gaz dengesi: gaz hareketlerinde, gaz ikmali, tüketime ve depolanması arasında dengenin kurulması.
- Boruların boyutlandırılması için temel veriler, bir taşıma hattının yedekleme kararı.
- Verim hesaplaması için temel veriler, bir gaz kompresörünün termodinamik verim hesabının yapılmasında kullanılır.

2. GAZ ÖLÇÜMÜNÜN TEMELLERİ

Molekülleri serbest halde bulunan gaz akışkanlar, sıkıştırılabilirlik özelliklerinden dolayı üzerinde etkili olan basınca ve sıcaklığına göre farklı hacimler işgal ederler. Gazların ticari ve teknik nedenlerle ölçülmeleri gerektiğinde, geçerli teknoloji olanaklarında çeşitli yöntemler vardır. Gazların kütlesele ölçümleri daha zor olduğu için yaygın olarak hacimsel olarak ölçülürler.

2.1 Gaz Kanunları

Moleküllerin birbirleri üzerine çekim uygulamadıkları düşünülen ve kabul edilen gaza “ideal gaz” denir. İdeal gazların moleküler hacimleri de yoktur. İdeal gaz kavramına uyan gazlar azdır (H₂, He gibi). İdeal gaz gibi davranmayan gazlara ise “gerçek gazlar” denir. Bu gazlar ideal gaz kavramından saparlar.

Gazlar, yüksek sıcaklık ve düşük basınç altında ideal gaz davranışına yakın bir davranış gösterirler.

2.1.1 Genel ideal gaz kanunu

Boyle yasasına göre herhangi bir ideal gaz veya ideal gaz karışımının hacmi, sabit sıcaklıkta, mutlak gaz basıncıyla ters orantılıdır. Diğer bir ifadeyle hacim artarken basınç ters orantılı olarak düşer.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{p_0}{p} \quad (\text{sabit } T) \quad (2.1)$$

Burada

V: gaz hacmi

p: mutlak basınç

Charles yasasına göre ise, herhangi bir ideal gaz veya ideal gaz karışımının hacmi, sabit basınçta mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Diğer bir ifadeyle hacim artarken sıcaklık ta artar.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (2.2)$$

Burada

V: gaz hacmi

T: sıcaklık

Charles ve Boyle yasalarının birleştirilmesiyle; özel koşullar altındaki ideal gazların davranışlarının genelleştirilmiş ifadesi bulunur.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (2.3)$$

$$n = m / M \quad (2.4)$$

Burada

n: mol sayısı

R: gaz sabiti

T: mutlak sıcaklık

m: gazın kütlesi

M: moleküler kütle

2.1.2 Gerçek gaz kanunu

İdeal gaz kanunu sadece hidrojen veya helyum gibi küçük molekülü hafif gazların düşük basınçtaki özelliklerini belirler. Diğer gazların çok büyük bir kısmı, yüksek basınç, düşük sıcaklık ve doymuş koşullarda ideal gazlardan farklı davranırlar. Bu gazlar “ideal olmayan” ya da “gerçek gazlar” olarak ifade edilirler ve onların davranışları, İdeal Gaz Kanunu değiştirilerek aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. İdeal gaz kanunu ile gerçek gaz kanunu arasındaki fark sıkıştırılabilirlik faktörü (z) dür.

İdeal gazlar için sıkıştırılabilirlik katsayısı 1 kabul edilir.

$$p \cdot V = z \cdot n \cdot R \cdot T \quad (2.5)$$

z: Sıkıştırılabilirlik faktörü

Doğal gaz gibi “gerçek gazlar” ideal gaz kanunundan sapma gösterirler. Bu sapma miktarının ölçütü *sıkıştırılabilirlik faktörü* z ile belirlenir.

z faktörü gazın bileşimine, sıcaklığına ve basıncına bağlıdır.

z faktörü indirgenmiş basınç ve sıcaklığın fonksiyonu olarak genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik çizelgelerinden bulunabilir (Şekil 2.1).

İndirgenmiş basınç (p_r) ve sıcaklık (T_r)

$$p_r = \frac{P}{p_c} \quad (2.6)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (2.7)$$

şeklinde tanımlanır. Burada T_c ve p_c kritik sıcaklık ve basınçtır.

Karışımlarda ise, gaz karışımın kritik basıncı ve sıcaklığı, bileşenlerin kütleli yüzdelere her bir bileşenin kritik basınç ve sıcaklık değerlerinin çarpımlarının toplanmasıyla bulunur [4].

$$T_c = \sum_j y_j T_{cj} \quad (2.8)$$

$$p_c = \sum_j y_j p_{cj}$$

Burada y_j , bileşenlerin mol kesridir.

Sıkıştırılabilirlik katsayısı ayrıca uluslararası geçerli hesap yöntemleriyle de bulunabilir, bunlardan başlıcaları

- AGA 8 yöntemi,
- G.E.R.G. yöntemidir,
- AGA NX 19 yöntemidir.

2.1.3 AGA 8 yöntemi

Bu yöntem, 1981'den itibaren Oklahoma Üniversitesi'nde AGA (Amerikan Gaz Kuruluşu) ve GRI (Gaz Araştırma Enstitüsü) arasında bir sözleşme ile geliştirilmiştir.

$$z = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \quad (2.9)$$

$$= 1 + Bd + Cd^2 + Dd^3 + Ed^5 + A_1 d^2 (1 + A_2 d^2) \exp(-A_2 d^2) \quad (2.10)$$

d: gazın molar yoğunluğu,

A_1, A_2, B, C, D, E : bileşim ve sıcaklığa bağlı katsayılarıdır, sıcaklık, basınç ve bileşim biliniyorsa bu değerler AGA Rapor No.8 bulunabilir [6].

p : Mutlak basınç

V : Molar hacim

T : Mutlak sıcaklık

R : Gaz sabiti

Aşağıda belirtilmiş geçerli alanlara yerleştirilmiş olan bileşim tipinin önce kontrol edilmiş olması koşulu ile, bu yöntemin açıklanmasını sağlamaya C_{5+} ile sınırlı bir analiz yeterlidir.

Geçerlilik alanı

Geçerlilik alanı denenmiş bilgilere göre:

% 0.1'den düşük hata için: $p \leq 103 \text{ bar}$ - $51 \leq T \leq 82^\circ\text{C}$

% 0.3'den düşük hata için: $p \leq 172 \text{ bar}$ - $68 \leq T \leq 115^\circ\text{C}$

% 0.5'den düşük hata için: $p \leq 690 \text{ bar}$ - $128 \leq T \leq 205^\circ\text{C}$

$\text{CH}_4 \geq \% 50 \text{ mol}$ $\text{N}_2 \leq \%50 \text{ mol}$ $\text{CO}_2 \leq \%50 \text{ mol}$ $\text{C}_2 \leq \%20 \text{ mol}$

$\text{C}_3 \leq \%5$ $\text{C}_4 \leq \%3$ $\text{C}_5 \leq \%2$ $\text{C}_{6+} \leq \%1$

Kullanılması

Karışıklığı bir kenara, bu yöntem sanayi sayaçlarında elle zor hesaplanabilir, fakat bilgisayarlarda kullanılacak özel yazılım sayesinde kolay hesaplanabilmektedir.

2.1.4 G.E.R.G. yöntemi

Bu yöntem 1988'de Amsterdam Üniversitesi'nde van der Waals Laboratuvarı'nda Avrupa Gaz Araştırma Grubu ile anlaşmalı olarak geliştirilmiştir [7].

Bu yöntem aşağıdaki durum denklemini kullanır:

$$z = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = 1 + \sum B_{ij} X_i X_j \left(\frac{1}{V}\right) + \sum C_{ijk} X_i X_j X_k \left(\frac{1}{V^2}\right) \quad (2.11)$$

Burada X_i, X_j, X_k : oluşumların molar kesirleri

B_{ij}, C_{ijk} : Virial katsayısı

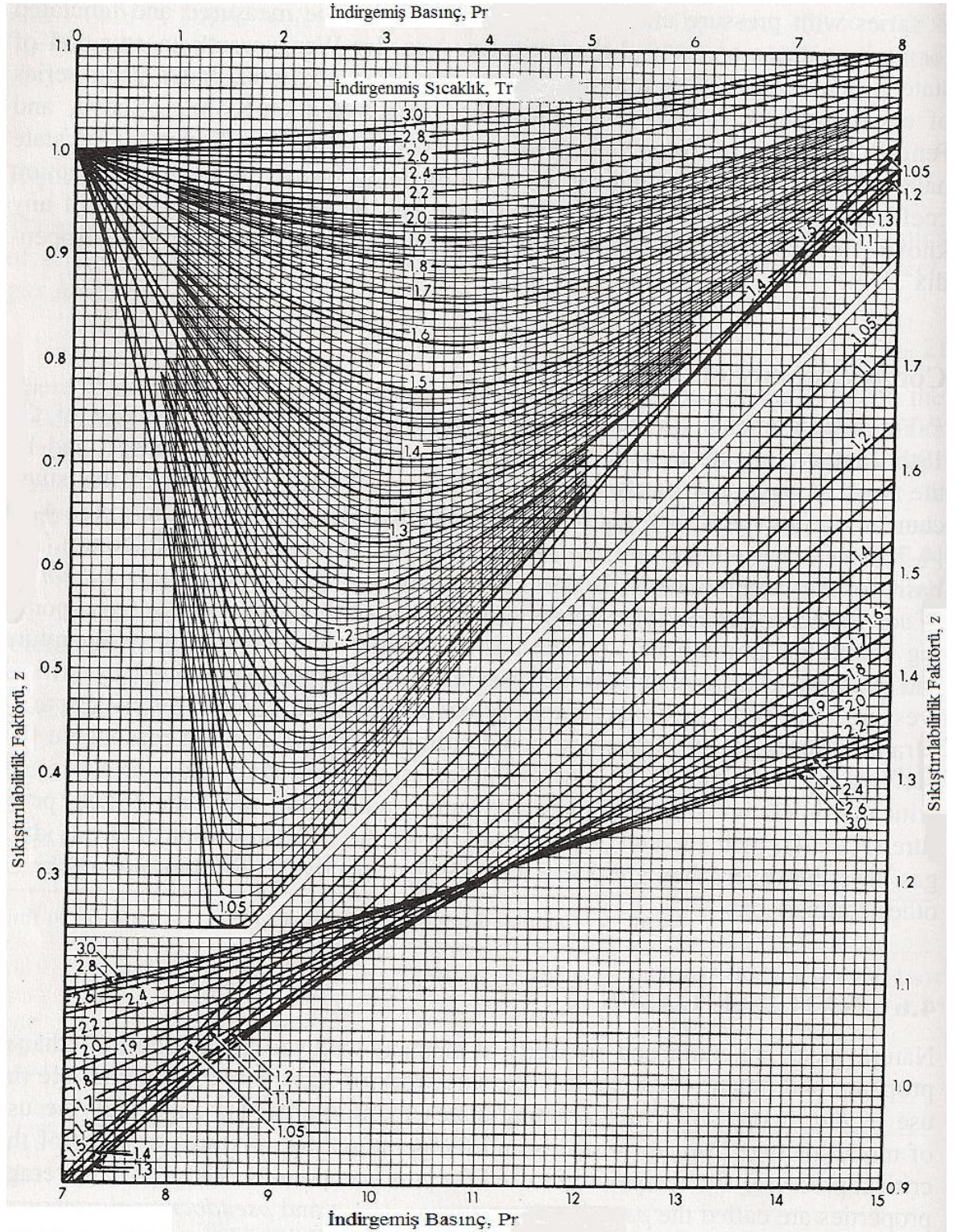
p : mutlak basınç

V : molar hacim

T : mutlak sıcaklık

z : sıkıştırılabilirlik faktörü

Virial katsayıları, çeşitli Avrupa Gaz kuruluşları tarafından belirlenen deneysel verilere göre karışım cetvelleri ve etkileşim katsayıları yardımıyla elde edilmektedir.



Şekil 2.1 : Doğal gaz için indirgenmiş basınç ve sıcaklığa göre z değeri (Standing-Katz Sıkıştırılabilirlik Faktörü Grafiği) [5]

Komple G.E.R.G. yönteminin kullanılmasına ağırlıklı Avrupa'daki ilgili resmi otoriteler tarafından tavsiye edilmektedir.

Aşağıdaki geçerlilik alanı içinde kalmak koşuluyla, bileşim tipini kontrol etmeden önceki koşullarda % 0.1'den daha iyi hassasiyette bir sonuç elde etmek için, doğal gazda C₅+ ile sınırlı bir analiz yapmak yeterlidir:

Geçerlilik alanı

CH₄ ≥ %50 Mol yüzdesi

C₂H₆ ≤ %20

C₃H₈ + C₃H₆ + C₃H₄ ≤ %5

C₄H₁₀ (N ve ISO) + C₄H₈ + C₄H₆ ≤ %1.5

N₂ + O₂ + Ar ≤ %50

CO₂ + C₂H₄ + C₂H₂ + H₂O + H₂S ≤ %30

CO ≤ %3

H₂ ≤ %10

Kullanılması

Karışıklığı bir kenara, bu yöntem sanayi sayaçlarında zor programlanabilir, ancak mikro-bilgisayarlarda kullanılabilir.

2.1.5 AGA NX19 yöntemi

Bu yöntem AGA'nın Boru Hattı Araştırma Projesi (PAR)'nin altında NX-19 nolu araştırma projesi için geliştirilmiştir ve AGA el kitaplarında yer alır.

AGA NX19 yöntemi süper sıkıştırılabilirlik çarpanını orijinal olarak hesaplamayı sağlayan görel olarak karmaşık formun bir bağıntısıdır: [2]

$$F_{pv} = \frac{\sqrt{\frac{B}{D} - D + \frac{n}{3\pi}}}{1 + \frac{0.00132}{\pi^{3.25}}} \quad (2.12)$$

$$B = \frac{3 - mn^2}{9m\pi^2} \quad (2.13)$$

$$m = 0.0330378\tau^{-2} - 0.0221323\tau^{-3} + 0.0161353\tau^{-5} \quad (2.14)$$

$$n = \frac{0.265827\tau^{-2} + 0.0457697\tau^{-4} - 0.133185\tau^{-1}}{m} \quad (2.15)$$

$$\pi = \frac{P_{adj} + 14.7}{1000} \quad (2.16)$$

$$\tau = \frac{T_{adj} + 460}{500} \quad (2.17)$$

$$D = (b + \sqrt{b^2 + B^3})^{1/3} \quad (2.18)$$

$$b = \frac{9n - 2mn^3}{54m\pi^3} - \frac{E}{2m\pi^2} \quad (2.19)$$

Burada:

F_{pv} : Süpersıkıştırılabilirlik

G_r : Özgül yoğunluk

p_{adj} : Ayarlanmış basınç, standardın içindeki tablolardan bulunabilir

T_{adj} : Ayarlanmış sıcaklık, standardın içindeki tablolardan bulunabilir

E : bir katsayı, ilgili standartta bulunabilir.

Geçerlilik alanı

$p < 345$ bar, -40 °C $< T < 115$ °C

Görelî Yoğunluk < 0.75 , $N_2 < \%15$ mol, $CO_2 < \%15$ mol

Bu yöntemde, referans koşullar şunlardır:

$p_n = 14.7$ psia (1.0136 bar) ve $T_n = 60$ °F (15.6 °C)

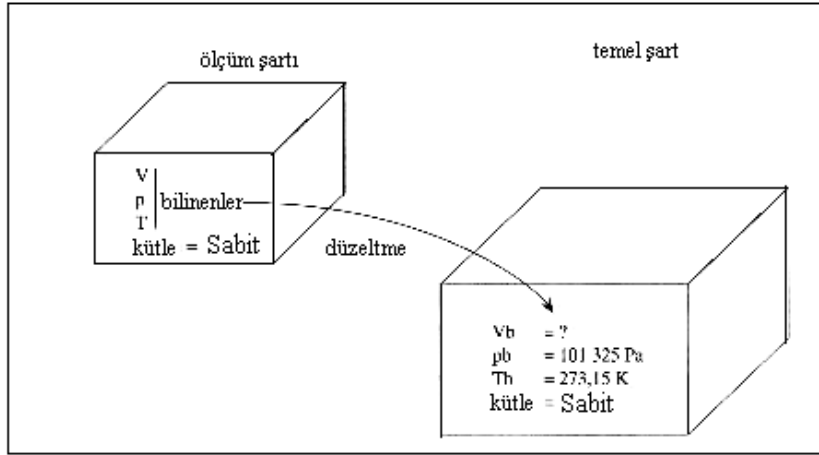
Bu yöntem, yoğunluk, N_2 ve CO_2 dikkate alındığı, basınç ve sıcaklığın kullanıldığı deneysel verilere dayalı olarak yaygınlaşmıştır.

Genel olarak gazın tam olarak bileşimi bilinmediği zaman uygulanmış olan bu yöntemlerde $z_n = 1.0$ olarak varsayılmaktadır.

Hesaplama için kullanılan üst ısıl değer, 0°C'de, 1.01325 bar basınç altında bir hacimde ölçülmüş gazın 15.6°C'de (60° F) üst ısıl değeridir.

2.2 Hacim Düzeltme (Çevrim)

Gaz halindeki akışkanların hacimsel ölçümleri, ölçüm cihazlarının buldukları yerdeki basıncına ve sıcaklığına gazların sıkıştırılabilir özelliklerinden dolayı doğrudan bağlıdır. Gaz miktarlarının tanımlanmasındaki belirsizlik referans koşullara indirgemeye aşılır; referans koşul olarak ise yaygın olarak *standart koşullar* kullanılır.



Şekil 2.2: Ölçüm koşullarıyla standart koşulların dönüşümü [9]

Standart Koşullar: $T_s=15\text{ °C} = 288.15\text{ K}$ sıcaklık değeri ve $p_s = 1.01325\text{ bar}$ (deniz seviyesi atmosfer basıncı) basınç değerine sahip koşullardır. Bu koşullar altındaki gazın hacmi de *standart hacim* olarak anılır. Standart hacim S_m^3 şeklinde gösterilir ve ölçüme esas hacim olarak kullanılır.

Ölçüm cihazlarının göstergelerindeki değerden standart değere, değişken koşullara göre belirlenen bir katsayıyla çarpılmasıyla ulaşılır. Bu değere “Düzeltilmiş Hacim” denir. Düzeltilmiş hacim, sıcaklığın ve basıncın gerçek koşullarda ölçülen hacmin, basınç, sıcaklık ve sıkıştırılabilirliğin (z) referans koşullardaki eşdeğer hacme çevrilmiş halidir. Bu işlemler otomatik düzelticiler ile yapılmaktadır.

2.2.1 Düzeltmenin yapılması

Ölçüm sisteminde otomatik düzeltici bulunmaması halinde, sayaçta okunan değer düzeltilmiş standart hacme dönüşümü aşağıdaki eşitliğe göre yapılır (2.21, 2.22) [8].

z, doğal gazın yüksek basınç ve sıcaklık değerlerinde dikkate değer sapmaya neden olur. Fakat düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde ihmal edilebilecek düzeyde düşük olduğundan hesaplamalarda “1” olarak alınır.

Düzeltilmenin temelini genel gaz denklemi oluşturur:

$$\frac{p \cdot V}{T \cdot Z} = \frac{p_s \cdot V_s}{T_s \cdot Z_s} \quad (2.20)$$

Burada eşitliğin sol tarafı sayaçtan geçen koşulları, “s” indisi ise standart koşulları belirtmektedir. Bu durumda gazın standart hacmi şu şekilde hesaplanır:

$$V_s = \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T} \cdot \frac{Z_s}{Z} \cdot V \quad (2.21)$$

$$K = \frac{p_g}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T_g} \cdot \frac{Z_s}{Z_g} \quad \text{K: Düzeltme Katsayısı} \quad (2.22)$$

$$V_s = K \cdot V \quad (2.23)$$

$$K = \frac{V_s}{V} \quad (2.24)$$

Burada,

K : Sayaçtan geçen gaz miktarını standart hacme çeviren çarpan,

V_s : Düzeltilmiş hacim, standart değer

V : Sayaçta okunan değer, gösterge değeri

p : Ölçüm mutlak basıncı

p_s : Referans koşullardaki basınç (1.01325 bar)

T : Ölçüm sıcaklığı (K)

T_s : Referans koşullardaki sıcaklık (K)

z_s : Standart koşullardaki sıkıştırılabilirlik

z : Ölçüm koşullarındaki sıkıştırılabilirlik

2.3 Temel Kavramlar

2.3.1 Göreli yoğunluk

Standart koşullardaki havaya göre, standart koşullardaki gazların yoğunluklarıdır; başka bir deyişle gaz yoğunluğunun havanın yoğunluğuna oranıdır. Her iki

yoğunluğun da aynı koşullarda olması gerekir. Göreli yoğunluk boyutsuzdur, havanın standart koşulları farklı kabul edilen durumlarda, aynı gaz için farklı değerler söz konusu olabilir.

$$SG = \frac{\rho_{gaz}}{\rho_{hava}} \quad (2.25)$$

2.3.2 Akış debisi

Birim zamanda birim kesitten geçen akışkan olarak tanımlanır. Birimi m³/st dir.

Formülü:

$$Q = A \text{ (alan) } \cdot V \text{ (hız) olarak verilir.} \quad (2.26)$$

2.3.3 Kinematik akmazlık

Akışkanların hangi ölçüde serbestçe akabileceklerini gösterir bir kavramdır. Akışkanın akışa karşı gösterdiği iç direnç olarak adlandırılır. Sıcaklıkla değişkendir ve birimi cSt (centistokes) dur.

2.3.4 Dinamik akmazlık

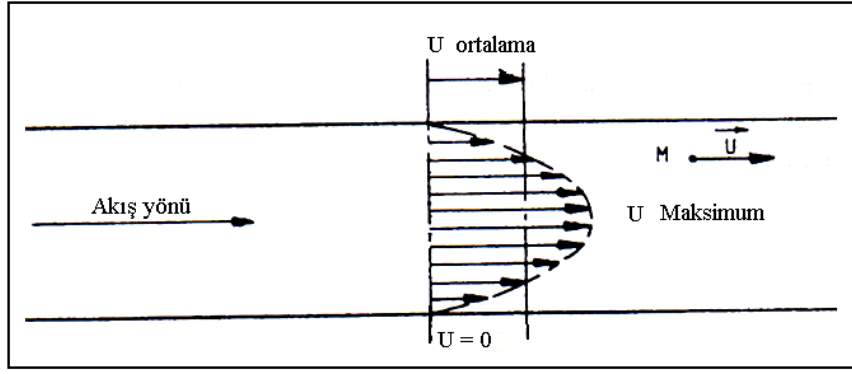
Kinematik akmazlığın yoğunlukla çarpılmış halidir. Birimi centipoise (cP) dir. Sıcaklıkla değişkendir. Sıvılarda basınç değişikliklerinde akmazlık önemli oranda değişmez, gazlar da ise değişir.

2.3.5 Hız profili ve Reynolds sayısı

Boru içindeki hız profilinin şekli atalet ve momentum kuvvetlerine bağlıdır. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerin vizkoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanırlar. Deneyler göstermektedir ki, akış koşullarına göre bir akışkan iki farklı akış rejimlerinde olabilir. Bunlar laminer ve türbülanslı olabilir:

Laminer akış:

Şekil 2.3 de vektörler akış yönünde her bir paralel taneciğin kendilerine özgü hızı gösterirler. Bu laminer adı verilen tabakalı akıştır.



Şekil 2.3: Boru içindeki hız profili [9]

Bu akış sadece aşağıdaki koşullarda söz konusu olabilir:

- Eğer akışkan yeterli derecede viskoz ise,
- Eğer hız ortalaması düşükse,
- Eğer boru çapı küçük ise.

Bu tip bir akış ile, boru yuvarlak kesitli olduğu zaman, yük kayıpları, akışkanın akmazlığı (ν) ile, kanal uzunluğu (L) ile, akış hızı (u) ile orantılıdır ve boru çapının (d) karesi ile ters orantılıdır (Poiseuille kanunu).

$$\text{Yük Kayıpları} : k \frac{L u \nu}{d^2} \quad (2.27)$$

k: kayıp katsayısı

Türbülans akış:

Türbülanslı akışta, akışkan tanecikleri bir birine karışır ve girdapların (vortekslerin) oluşumuna neden olur. Bir M noktası olarak bir biri arkasından gelen taneciklerin hız vektörleri sabit değildir. Yönleri ve modülleri bir birinden farklıdır. Akış sürekli değildir ve örneğin M noktasındaki hız vektörü zamana bağlı olmayan ortalama bir değere sahiptir (Şekil 2.3).

Yük kayıpları, bu durumda, akış hızının (u) karesi ile, kanal uzunluğu (L) ile orantılıdır, boru çapı (d) ile ters orantılıdır.

$$\text{Yük Kayıpları} : k \frac{L u^2}{d} \quad (2.28)$$

Akışkanlar mekaniğinde büyük önemi olan Reynolds sayısı (2.28) ve (2.27) ifadeleri arasındaki orandır.

$$\text{Re} = \frac{d \times u}{\nu} \quad (2.29)$$

d: boru çapı (m)

u: akış hızı (m/s^2)

ν : kinematik akmaçlık ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Reynolds sayısı boyutsuz bir sayıdır ve akışın türbülans derecesini anlatır.

- $\text{Re} < 2000$ ise: akış laminerdir
- $\text{Re} > 4000$ ise: akış türbülanslıdır.
- $2000 < \text{Re} < 3000$ ise: akış rejimi belirsizdir, karışık bir rejimin olduğu söylenir.

Bir rejimden diğetine geçiş dereceli değil, aniden olur.

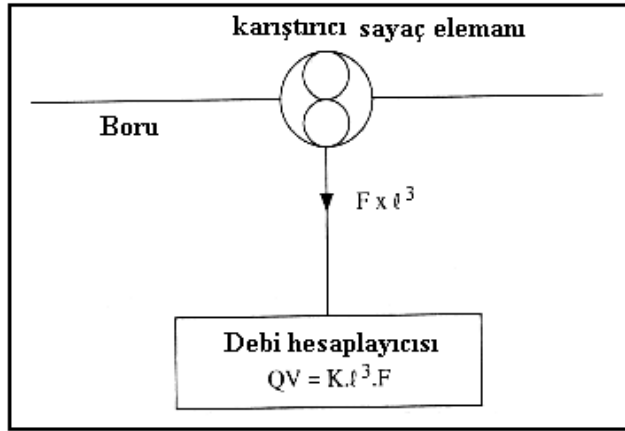
3. GAZ ÖLÇÜMÜ

Ölçüm, gerçek koşullar veya ölçüm koşulları denilen şebeke koşullarında bir hacmi ölçmektir. Gazların miktarlarının ölçülmesinde bir çok ilke ve yöntem (ultrasonik, kütleli, basınç farklı, açık kanal, hacimsel, manyetik vb.) dayalı sistem kullanılmaktadır. Kullanım kolaylığı, basitliği ve ucuzluğundan dolayı, evsel, ticari ve sanayi amaçlı kullanımlarda genellikle hacim ve hızölçerler kullanılmaktadır.

Teorik hesaplamalar için hızölçerler esas alınacaktır, bunlar boru içinde akışı karıştırıcı etki yaparlar ve bir impuls ile sinyal üretip bir algılayıcıya gönderirler.

3.1 Ölçüm Denklemleri ve Sayaç (Karıştırıcı) Uygulaması

Ölçüm sistemini örnekleyecek düzenek ve formüller aşağıdaki Şekil 3.1 deki gibi olabilir.



Şekil 3.1: İlke Şeması [9]

Genel ölçüm ile ilgili boyut denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$V_b = V \times K \quad (\text{çevrim}) \quad (3.1)$$

$$Q_v = k \cdot t^3 \cdot F \quad (\text{sayaç kullanımı}) \quad (3.2)$$

$$Q_v = k \cdot t^2 \sqrt{\frac{p}{\rho}} \quad (\text{orifis sisteminin kullanılması}) \quad (3.3)$$

Q_v : Hacimsel debi

ℓ^3 : Sabit hacim

F: İmpuls sayısı (sayacın ürettiği frekans)

p: ölçüm basıncı

p_s : standart basınç

ρ : yoğunluk

K: çevrim oranı

Bu durumda sayaç ölçüm koşullarında bir hacmi (V) belirler.

Temel koşullarda (V_b) hacmi elde etmek için, (p.T.Z)'ye göre (V) hacmi üzerinde uygun çevrim katsayısı için (K) Denklem 3.1'i uygulamak yeterli olacaktır.

Bu durumda

$$K = \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T} \cdot \frac{z_s}{z} \text{ olacaktır.} \quad (3.4)$$

Öyleyse ölçüm denkleminin son hali:

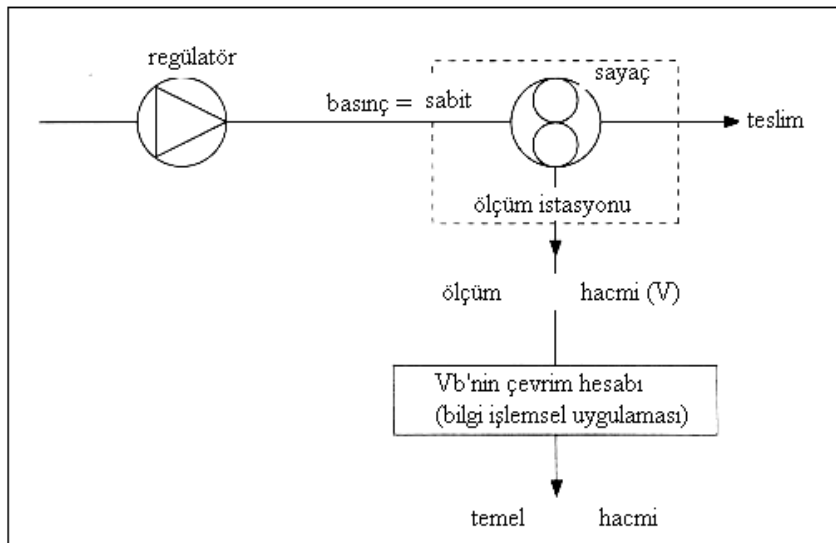
$$V_s = V \cdot \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T} \cdot \frac{z_s}{z} \quad (3.5)$$

Çevrim üç farklı şekilde uygulanmaktadır:

3.1.1 Sistem – sayaç ilişkisi

Bu her zaman karşılaşılan bir durumdur, çünkü evsel kullanımlarda uygulanmaktadır.

Bu durumda ölçüm cihazı sadece bir sayaçtan ibarettir.



Şekil 3.2 : Sistem – sayaç uygulaması [9]

Ölçüm denklemi

Sayaç ölçümlemesinin yerinde yapılmasından itibaren, çevrim işlemi özel yazılım ve donanımlarla yapılmaktadır.

Bu ölçümleme sistemi:

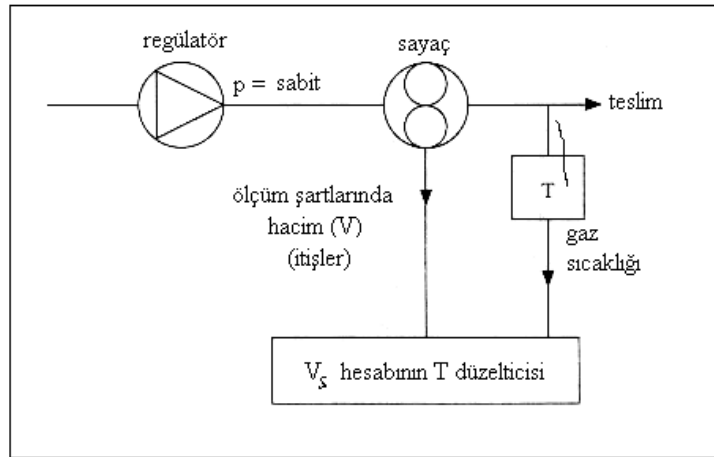
- Teslim basıncının bilinmiş olmasını ve bir regülatör kullanılarak sabit tutulmasını,
- Sıcaklık için, iki sıcaklık ortalaması değerinin tutulmasını
- $\frac{z_s}{z} = 1$ oranını gerektirir, çünkü teslim basınç değerinin düşük olmasından dolayı z_s ve z arasındaki fark önemsizdir.

Bu durumda ölçüm denklemi: $V_s = V \cdot \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T}$ olur. (3.6)

(T_s ve p_s standart sıcaklık ve basınçtır)

3.1.2 Sayaç sistemi ve T çevrim düzeneği

Sayaç ile sıcaklık (T) çevrimi yapacak sistem tasarımı Şekil 3.3 deki gibidir.



Şekil 3.3 : Sistem T çevrim uygulaması [9]

Bu durumda ölçüm cihazında:

- teslim basıncını sabit tutan regülatör,
- sayaç
- bir sıcaklık dönüştürücü ile birleştirilmiş T düzelticisi bulunur.

Ölçüm denklemi:

$$V_s = V \cdot \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T} \cdot \frac{z_s}{z} \quad (3.7)$$

p, p_s, T, z_s, z'nin bilinen ve sabit olmasından dolayı

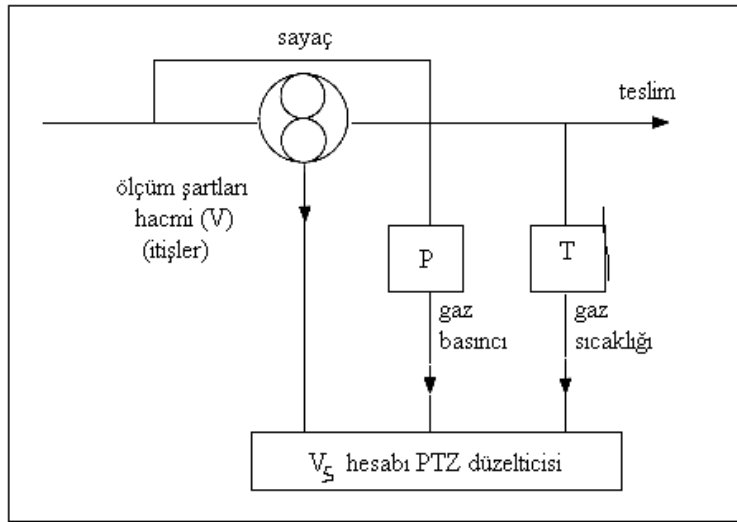
$$V_s = V \cdot \frac{k}{T} \quad (3.8)$$

$$\text{veya } k = \frac{p}{p_s} \cdot T_s \cdot \frac{z_s}{z} = \text{sabit olur.} \quad (3.9)$$

Öyleyse bu durumda çevrim katsayısı: $\frac{k}{T}$ sıcaklık fonksiyonundan başka değişken olmamaktadır.

3.1.3 Sayaç sistemi ve pTz çevrim düzeneği

Sayaç ve basınç-sıcaklık-sıkıştırılabilirlik çevrim düzeneği Şekil 3.4 deki gibidir.



Şekil 3.4 : Sistem p+T+z çevrim uygulaması [9]

Bu durumda ölçüm cihazında:

- Sayaç
- Basınç ve sıcaklık dönüştürücüleri ile birleştirilmiş PTZ düzelticisi bulunur.

Ölçüm denklemi:

$$V_s = V \cdot \frac{p}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T} \cdot \frac{z_s}{z} \quad (3.10)$$

Bu durumda p, T ve z parametreleri değişkendir:

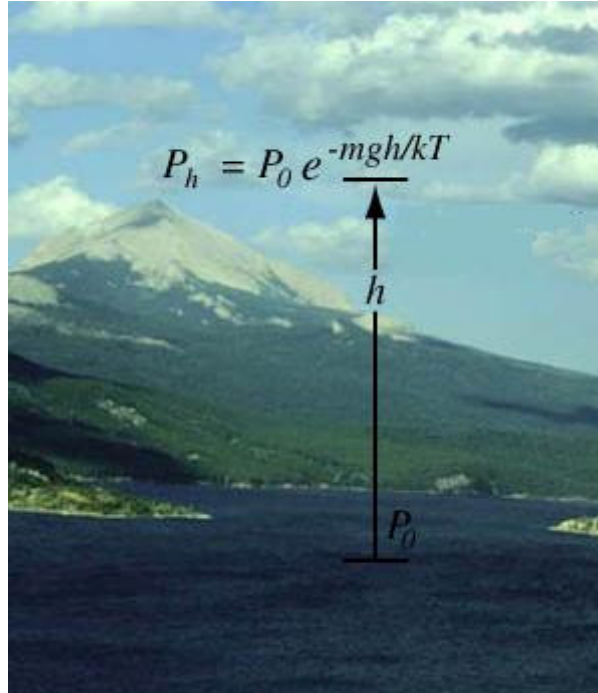
- p ve T ölçülmüştür,
- şebekenin p ve T'sine ve ölçülen gazın kalitesine (üst ısıl değer, N₂%, CO₂%, yoğunluk vs.) göre bir hesap yöntemi ile z hesaplanmıştır.

3.2 Gaz Ölçümünü Etkileyen Faktörler

Genel gaz denklemi incelenirse, burada geçen ifadelerin her birinin bulunacak düzeltilmiş hacim (V_s) üzerinde etkisi var demektir. PTZ tipi düzeltici olan ölçüm düzeneklerinde, düzeltme katsayısını (K) en fazla, gösterge basıncı, atmosfer basıncı ve gaz sıcaklığı (ortam sıcaklığına da bağlı) etkilemektedir. Ayrıca sayacın ve düzelticinin yanlış montajları da ölçüm hassasiyetini etkilemektedir.

3.2.1 Coğrafi yükselti/rakım

Atmosfer basıncına, herhangi bir noktanın üzerindeki hava katmanının ağırlığı veya üzerindeki sütun yüksekliği neden olmaktadır. Yani yüksek yerlerin üzerindeki hava katman kalınlığı azaldığından atmosfer basıncı da azalacaktır.



Şekil 3.7 : Yükseltiye bağlı atmosfer basıncı formülü

Herhangi bir noktadaki atmosfer basıncını hesaplayan formül:

$$p_h = p_0 \cdot e^{-mgh/kT} \text{ şeklindedir.} \quad (3.11)$$

Burada,

p_h : herhangi bir yükseklikteki atmosfer basıncı

p_0 : deniz seviyesi atmosfer basıncı

m : havanın molekül kütlesi,

g : yerçekimi ivmesi

h : yükselti

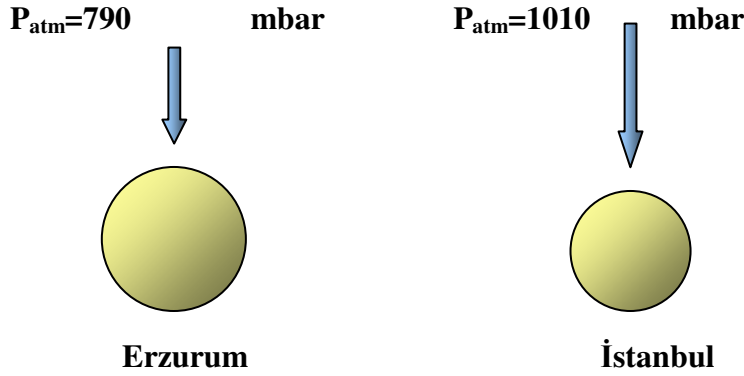
k : hava için gaz sabiti

T : sıcaklık

Fakat ampirik ifadesi Alman Standardı DVGW G 685 de: [10]

$$p_h = 1016 - 0.12 \cdot H \quad (\text{mbar}) \quad (3.12)$$

şeklindedir. H : yükseklik (metre)



Şekil 3.8 : İstanbul ve Erzurum atmosfer basınç farkları

Yukarıdaki temsili resimde, içinde aynı miktarda (n sabit) gaz bulunan iki elastik kap farklı rakıma sahip iki şehirde (İstanbul ve Erzurum olabilir) hacimleri karşılaştırılırsa, farklı atmosfer basınçlarına sahip olduklarından, Boyle kanununa göre (sabit sıcaklıkta) farklı hacimler işgal ederler.

Bu örnekteki atmosfer basınçları (3.12) formülüne göre hesaplanırsa, Erzurum için rakım 1900 m, İstanbul için 50 m alınır, Erzurum için ortalama atmosfer basıncı 790 mbar, İstanbul için ise atmosfer basıncı 1010 mbar bulunur.

Elastik balon Erzurum'da resimde görüleceği üzere daha büyük bir hacme sahipken, İstanbul'da daha küçük bir hacme sıkışmak zorunda kalacaktır.

Gaz ölçüm sistemlerinde hep mutlak basınç kullanıldığından ölçüm yapılan noktanın atmosfer basıncı doğrudan ölçümde etkilidir.

Ülkemizde doğal gaz ölçümünde standartlaşma için, bu konuda EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) şehirlerin atmosfer basınçlarının ortalamalarını meteoroloji verilerine dayanarak her yıl ilan etmektedir.

3.2.2 Sıcaklık

Tüm maddeler gibi gazlar da sıcak ortamda etraftan enerji çekerek hacimlerini artırır, soğukta ise enerji vererek hacimlerini azaltır (Charles Kanunu). Ölçüm standardı 15 °C iken bunun altındaki ölçümlerde gaz daha yoğun bir hale gelerek daha az hacim işgal eder.

Doğal gazın kaynak noktasından ölçüm cihazlarına kadar olan seyrinin büyük bir kısmı, boru hatlarıyla taşındığından toprak altındadır. Yapılan araştırmalara göre boru yeraltı kotlarında (ortalama 1-1.5 m), atmosfer koşullarının etkili olmadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla boru hattındaki gazın dış sıcaklıktan etkilenmediği sonucuna varılmıştır. Gazın boru hattıyla yer altından çıktığı noktadan, yer üstünde ölçüm cihazlarının olduğu noktaya ulaşana kadar gaz sıcaklığında dikkate değer değişiklikler olmadığı gözlenmiştir.

Fakat regülatör sonrası basınç düşümünün olduğu noktalarda gaz sıcaklıklarında, Joule-Thomson etkisiyle 2 bar basınç düşümünde, yaklaşık 1 °C düşüş olduğu için sıcaklık düşüşleri dikkate alınmalıdır.

Gaz sıcaklığı aşağıdaki etkilere bağlı olarak değişir:

- Dağıtım ağı içindeki gaz sıcaklığındaki değişim miktarına,
- Ölçüm sayacının yerleştirildiği yere, içeride veya dışarıda olması, korumalı olup olmadığı, basınç düşümünden önce veya sonra olmasına bağlıdır.

Sonuç olarak, otomatik düzelticilerin olmadığı yerlerde gaz sıcaklığındaki 10 °C' lik bir değişim % 3' lük bir ölçüm hatasına neden olur. Bunun için ölçüm cihazları basınç düşürücülerden hemen sonra konulmamalıdır. Ayrıca dış sıcaklıkların çok düşük olduğu yerlerde sayaçlar izoleli kabin içine konulmalıdır.

Atmosfer basıncının etkisinin dikkate alınmadığı durumlarda da, Erzurum-İstanbul karşılaştırmasında olacağı gibi, yaklaşık %20 ölçüm hatasıyla karşılaşılabilir.

3.2.3 Boru Hattı Basıncı

Gaz hatlarında basıncı düşürmek ve düzenlemek için kullanılan regülatörlerin çalışma ilkeleri gereği, basıncı sabit değerde değil belirli bir aralıkta tutarlar. Bir hacim ölçüm sayacının regülatörün çıkışına yerleştirilmiş olması durumunda, ayar basıncı regülatör tipine bağlı olarak % 3' den % 5' e değiştiğinden, ölçüm hassasiyetini etkileyecektir.

Düşük basınçlı gaz sağlayan regülatörlerde (20 – 300 mbar) tam basınçtan sapma \pm 40 mbar değerine ulaşabilir. Bu durumda hata % 2 civarında olabilir.

Orta ve yüksek basınç veren sistemlerde değişim regülatör tipine bağlı olarak % \pm 5 aralığında değişebilir. Fakat EPDK bu sistemlerde hacim dönüştürücüleri zorunlu hale getirdiğinden uygulamada böyle bir hatayla karşılaşılmamaktadır.

4. ÖLÇÜM CİHAZLARI - SAYAÇLAR

Sayaçlar, evsel tüketimlerden, endüstriyel büyük ölçekli tüketimlerden (güç santralleri vb.), şehir giriş istasyonlarına kadar çok çeşitli aralıkta tüketilen gazın ölçümünü yapmayı sağlarlar. Sayaç uygulamaları dağıtım sisteminin analizi için gaz akışını kontrol etmede veya şebeke hakkında bilgi sağlamada da kullanılır. Gaz endüstrisinde alım, satım ve dağıtımda çok değişik tip ve özellikte sayaçlar kullanılmaktadır. Sayaçlar belirli p basıncında ve T sıcaklığında gazın hacmini ölçerler. Bu tez kapsamında yaygın uygulama dolayısıyla hacim ölçerler ele alınmıştır.

4.1 Sayaçların Sınıflandırması ve Özellikleri

Sayaçlar ölçüm ilkelerine göre:

Hacim ölçme ilkesine göre:

- Körüklü Sayaçlar
- Döner pistonlu (Rotary sayaç) sayaçlar

Akışkan hızına göre:

- Türbinli sayaçlar
- Ultrasonic Metreler
- Venturi İlkesiyle Çalışan Sayaçlar
- Orifis metreler

olarak ayrılırlar.

Sayaçlar maksimum debilerine göre de sınıflandırılırlar.

Avrupa tanımlarına göre bir sayaç, maksimum debi veya bu sayacın kapasitesini gösteren G harfi ile belirtilmektedir. G harfinin yanındaki rakamlar sayacın maksimum ve minimum değerlerini göstermektedir.

Maksimum debiyi bulmak için rakam 1.6 ile çarpılır, minimum debi ise rakamın dm^3 olarak kendisidir [11].

Çizelge 4.1 : Sayaçların minimum ve maksimum değerleri [13]

Avrupa tanımı G	Maksimum debi $m^3/st (Q_{maks})$	Sayaçlar		
		Minimum debi $m^3/st (Q_{min})$		
		Türbin	Döner pistonlu	Vorteksli
40	65		3	
65	100		5	
100	160		8	
160	250	13	13	
250	400	20	20	
400	650	32	32	20 – 65
650	1000	50	50	32 – 100
1000	1600	80	80	80 – 160
1600	2500	130	130	80 – 250
2500	4000	200		130 – 400
4000	6500	320		

4.1.1 Ölçüm aralığı (dinamik)

Sayaçın maksimum debisi ile minimum debisi arasındaki orandır. İlgili standartların belirlediği oranlardır.

Türbinli sayaçlarda 30:1

Rotary sayaçlarda 160:1

Diyaframlı sayaçlarda 100:1 gibidir.

4.1.2 Yük - basınç kaybı

Sayaçlardaki basınç kayıpları:

- iç sürtünmelerin,
- numaratorün çalışması için gerekli enerjinin

sebebi olduğu statik basınç kaybıdır.

Milibar veya milimetre su sütunu olarak ifade edilir. Hacimsel kütle ve debiye bağlıdır. Örneğin:

- Maksimum debide, döner pistonlu bir sayaçtaki basınç kaybı, 50 bardaki doğal gaz ile 110 milibar, açık havada yani atmosferik basınçta ise 4 milibar civarındadır.
- Türbinli bir sayaç için basınç kaybı, genel olarak aynı koşullarda döner pistonlu sayaç kaybından daha düşüktür.

4.1.3 Sayaç sistemlerinin kısımları

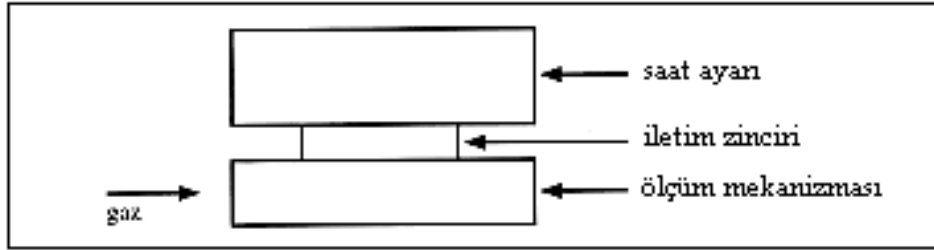
Ölçüm mekanizması:

Mekanik veya elektronik numarator:

- Ölçüm koşullarında toplam hacmi göstermeyi sağlar.
- Ölçülen miktarın değerinin daha uzaktaki sistemlere iletimini sağlar.

Veri iletim zinciri:

- Doğrudan: bu durumda numarator basınç altındadır.
- Dolaylı: bu durumda numarator ve ölçüm mekanizması arasında fiziki ayrımı sağlayan manyetik bir çekici vardır.



Şekil 4.1 : Bir sayacın veri aktarım ilkesi [9]

4.1.4 Sayaç ile ilgili ek işlevler

Akış koşullarında hacim iletimi ile ilgili iki teknoloji vardır:

- Mekanik
- Elektriksel

Mekanik:

İletim bir kablo ile yapılır; özellikle bu tip bağlantılara pTz düzeltici mekanizmalarında karşılaşılr.

Elektriksel:

İletim iki şekilde olabilmektedir:

- LF → Alçak frekans, ölçüm koşullarında hacim iletimi.

- HF → Yüksek frekans, anlık debi iletimi.

Bir LF vericisi 1 ile 3 Hz arası değişen frekanslı impuls şeklinde bir bilgi çıkarır. İmpuls yükü: $10 \text{ m}^3 - 1 \text{ m}^3 - 0.1 \text{ m}^3$ 'dür.

HF verici daha büyük bir frekansa sahiptir, 200 ile 300 Hz.

İmpuls yükü $n \text{ m}^3$ veya $n \text{ dm}^3$ 'tür, anlık (enstantane) debiyi ölçmeye yarar.

Verilen (sayaç) impuls yükü, işlenen (düzeltici) impuls yükü ile uygun hale getirilmelidir.

4.2 Körüklü (Diyaframlı) Sayaçlar

Yaygın olarak kullanılan körüklü sayaçlar dört odacıklı tasarıma sahiptir. Farklı ebatlarda sayaçlar farklı maksimum ve minimum akış miktarına sahiptir. Körüklü sayaçlar geniş ölçüm aralıklarında doğru ölçümler yapmaktadır. Tüm pozitif yer değiştirmeli sayaçlar gibi körüklü sayaçlar da sırayla dolan ve boşalan ve hacmi bilinen odacıklara sahiptir. Bu sayaçların üç temel parçası ölçüm odacıkları, odacıklara gaz girişini ve çıkışını sağlayan bir valf mekanizması ve numarator mekanizmasıdır.

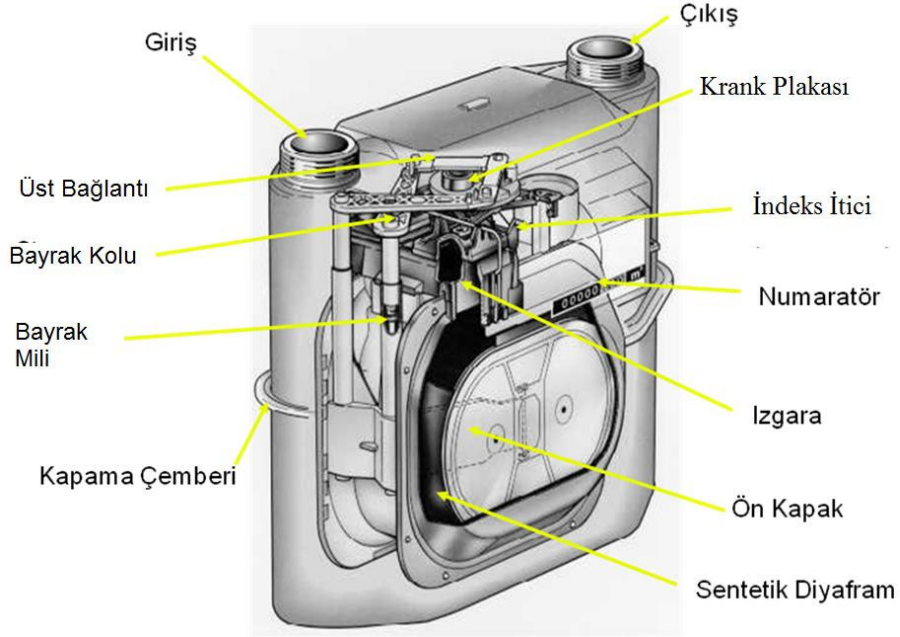
Körüklü sayaçların işletimi gaz özelliklerinden bağımsızdır. Gazın ısı değeri, özgül yoğunluğu ya da diğer fiziksel özellikler odacıkların hacmini etkilemez. Sayaç, iç sıcaklık düzeltimi yapılmadan kendi içinde bulunan gazın basınç ve sıcaklığında hacim ölçümü yapar. Ülkemizde geçerli olan ve Avrupa da körüklü sayaç standardı TS 5910 EN 1359'dur [12].

Sayaçtan geçecek gazın minimum ve maksimum miktarına göre sayaç kapasitesi belirlenir.

Çizelge 4.2 : Sayaç sınıflarına göre debiler [13]

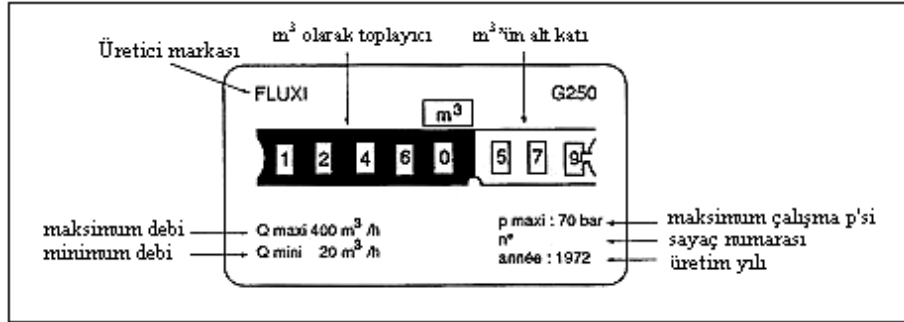
Sayaç Anma Büyüklüğü (G)	En büyük debi Q_{\max} (m^3/st)	En küçük debi Q_{\min} (m^3/st)	Ölçüm hacmi V (dm^3)
4	6	0.040	1.2 veya 2
6	10	0.060	3.5
10	16	0.100	6
16	25	0.160	10

G4 ve G6 sınıfı körüklü sayaçlar için başlangıç debisi (sayacın hareketlenmeye başladığı debi) 1 - 4 litre/saat'tir.



Şekil 4.2: Körüklü sayaç

Anma basınçlarına göre dört tipe ayrılırlar; PN 0.1 - PN 0.2 - PN 0.5 ve PN 1bar



Şekil 4.3: Bir sayacın işaret ve numaratör plakası [9]

Bir sayacın işaret ve numaratör plakası (Şekil. 4.3) örneğinde bulunanlar:

- Üretici markası
- Sayaç tipi
- Sayacın genel özellikleri
- Numaratör

4.2.1 Körüklü sayacın çalışma ilkesi

Körüklü sayaçlar bir çeşit pozitif yer değiştirmeli sayaçlardır. Bu sayaçlarda ilke, bilinen hacimdeki bir sayaçtan geçen gazın hacminin sayılmasına bağlıdır. Körüklü sayaçlar herhangi bir bakım gerektirmez. Sayaç numaratöründe imalatçı firma, sayaç numarası ve imal tarihi, sayaç sınıfı (G ...), maksimum debi (Q_{max}), minimum debi (Q_{min}), maksimum işletme basıncı (p_{max}), devir hacmi ve hangi standarda uygun olduğuna dair bilgiler yer alır.

Bu sayaçlar, pozitif yer değiştirmeli diyafram ilkesiyle çalışırlar. Sayaçların tasarımı, iki diyafram odacıklı ölçüm ünitesinden oluşur. Tüm mekanizma gaz sızdırmaz koruyucu bir kutu içerisinde yer almaktadır. İki diyafram ünitesinin her biri esnek ve gaz sızdırmaz bir diyaframla donatılmıştır. Bu diyaframlar, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkıyla hareket ederler.

Şekil 4.4 de, gazın gelmesiyle meydana gelen debi “B” hacmini etkisi altına alır.

“B” hacmindeki basınç “A” hacmindekinden daha yüksektir. Diyafram soldan sağa geçer. Mekanik yardımcı parçalar vasıtasıyla bu yer değiştirmeler göstergeler üzerine yazılmaktadır.

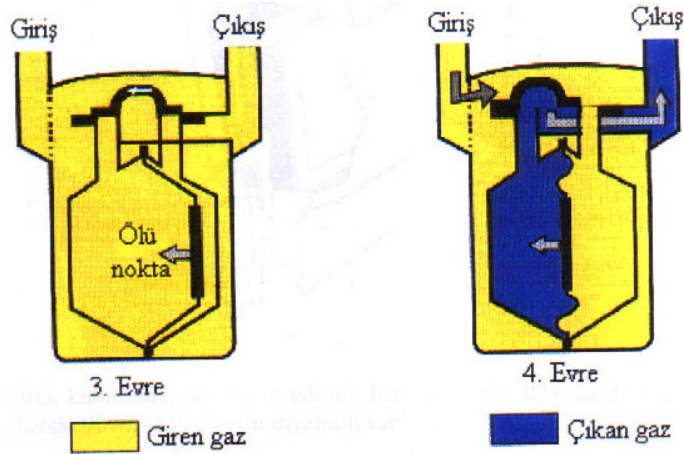
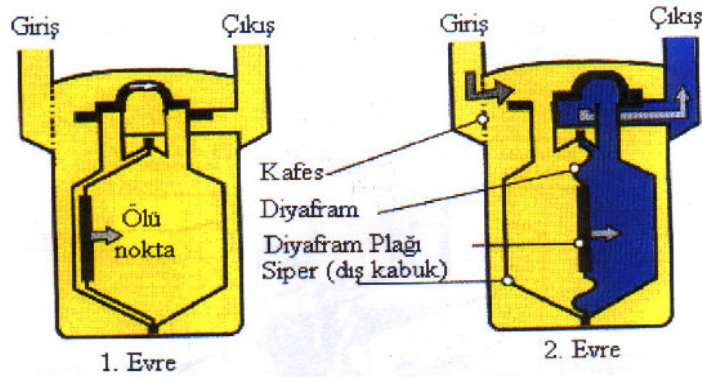
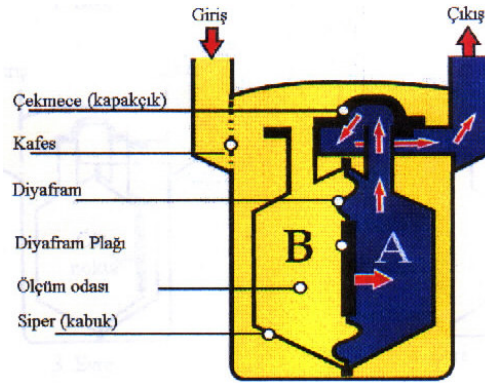
“A” hacmi boşaltılmıştır, çekmece sola doğru kayar, basıncı düşük olan “B” dir ve giriş basıncında olan “A” dır. Diyafram diğer yöne, sağdan sola geçer. Mekanik parçalar saymaya devam eder.

Her bir diyaframın hareket başlangıcında olduğu sırada gaz akışının kesintiye uğramaması için sayaçlar, ileri geri hareketle çalışan iki körük kutusu ile donatılmıştır. Bu sayede sayaç mekanizmasındaki çekmecenin (mono valfin) ölü noktaları ortadan kaldırılmış olur ve düzenli bir gaz akışı sağlanır. Körüklerin mekanik hareketleri, dişli mekanizmalar vasıtasıyla numaratöre iletilir. Bu iletim bazı sayaçlarda dişli bir çarkla, bazı sayaçlarda ise manyetik kuvvetten faydalanılarak bir manyetik kavrama ile sağlanır.

Sayaçlarda kullanılan diyaframlar, sentetik malzemeden imal edilmişlerdir. Sızdırmazlıkları tamdır. Her bir diyafram körüklerin hareketini mekanik numaratörü çalıştırarak sürekli dönüş hareketi haline çevirmeyi sağlayan hareket kollarına bağlıdır.

Körüklerin dolu ya da boş olmasına göre hareket kollarına bağlı mekanizmanın konumu değişmektedir. Körüklerin hareketi bir çekmece (mono valf) ve dişli mekanizma sistemi aracılığı ile numaratörü döndüren bir harekete dönüştürülür.

Sayaç dişli mekanizmasında bir çıkıntı sistemi mevcuttur. Bu çıkıntı sistemi, numaratörün tersine dönmesini engeller ve diyaframın çalışmasını bloke eder.



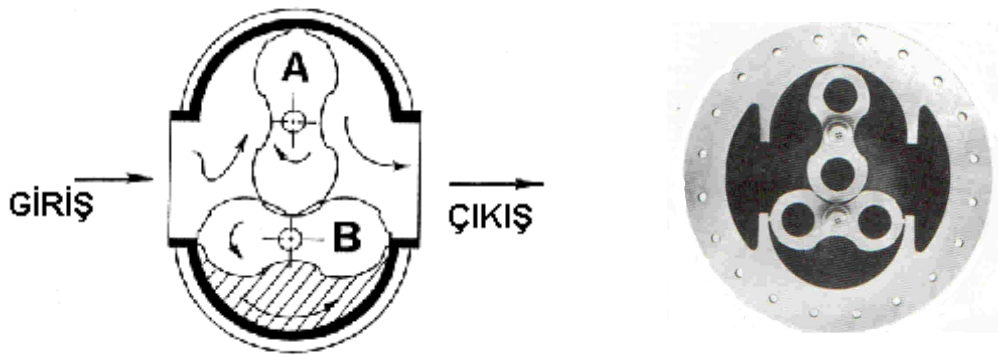
Şekil 4.4 : Diyaframlı sayacın çalışma ilkesi [13]

4.3 Rotary Tip (Döner Pistonlu) Sayaçlar

En küçük rotary sayaçların kapasitesi büyük körüklüler kadardır. Büyük rotary sayaçların kapasitesi ise büyük körüklü sayaçların on katı daha fazladır. Bu nedenle büyük debi gerektiren ticari ve endüstriyel uygulamalarda rotary sayaçlar kullanılmaktadır. Rotary tip sayaçlarla ilgili Avrupa standardı olan EN 12480 [14] normu yürürlüktedir.

4.3.1 Çift pistonlu rotary sayaçlar

Bu sayaçlar ismini ölçüm odacıklarını süpüren döner pistonlardan (kanatlardan) almıştır. Şekil 4.5’de bir rotary sayacın süpürülen hacmi görülmektedir. Rotary tip sayaçlarla debi ölçümünde ilke, “8” şeklindeki iki adet kanatçığın ölçüm odası içinde serbest olarak dönmesi sırasında belli hacimde gazın hapsedilip bırakılması esasına dayanmaktadır.



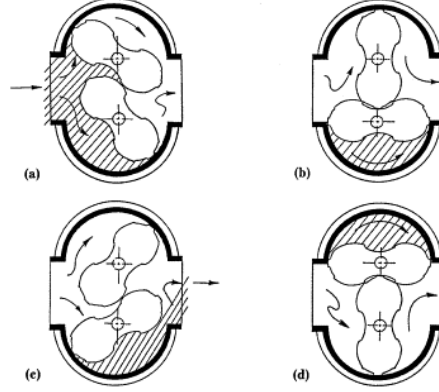
Şekil 4.5 : Çift pistonlu bir rotary sayacın kesiti [13]

B pistonu, altındaki hacmi 180°’lik bir dönüşle çıkışa gönderir. Bu hacim “devirsel hacim” olarak adlandırılır. Pistonun tam bir devrinde aynı hacim 2 kez gönderilmiş olur. A pistonu da dönüşüyle aynı hacim gazı çıkışa gönderir. Pistonların tam bir devrinde her bir odacık 2 kez süpürülmüş olur. Sayacın her bir devrinde aynı odacık hacminden 4 kez elde edilmiş olur. Tam hacimsel devir Şekil 4.6’da görülmektedir. Son yıllarda ataleti azaltmak için dönen parçalar alüminyumdan üretilmektedir.

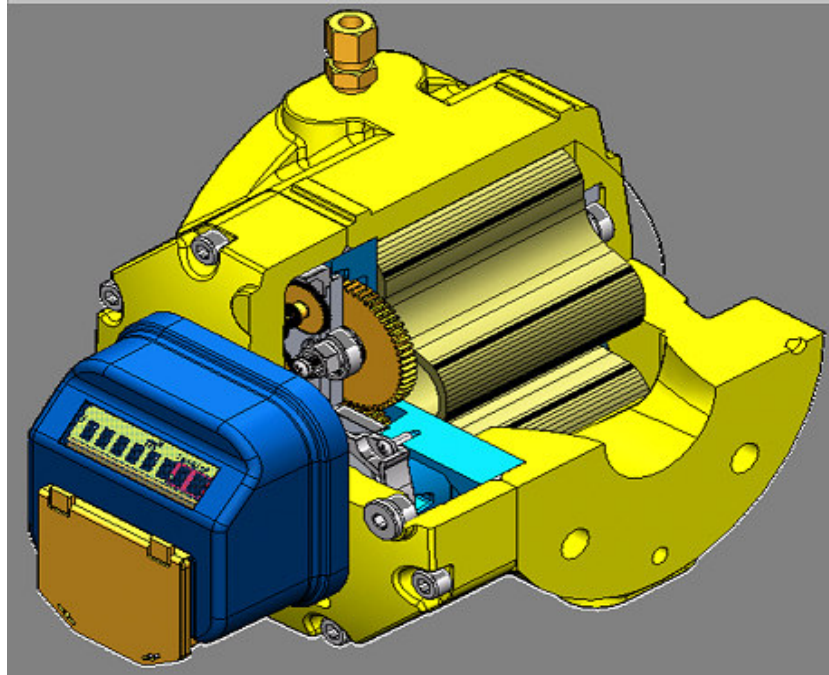
Sayaç kanatçıkları dönme sırasında her durumda birbirine değmeksizin sürekli sızdırmazlığı sağlayacak şekilde tasarlanır ve imal edilir. Aynı sızdırmazlık kanatçık uçlarıyla sayaç gövdesi arasında da bulunmaktadır.

4.3.2 Rotary sayacın yapısı

Sayaç gövdesi; iki adet uç plakası ve koruma kutusu arasında yer alan ölçüm hücresi ve kumanda dişlileriyle ters bağlantılı, zıt yönlere dönen iki adet piston ve iki adet yağ karterinden oluşur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Çift pistonlu bir rotary sayacın hacimsel devri [13]



Şekil 4.7: Rotary sayacın temel yapısı.

4.3.3 İşletme basıncı ve sıcaklığı

Bazı sayaçlarda max. işletme basıncı 16 bar'dır. Bazılarında ise sayaçta max. işletme basıncı 12 bar'dır. Özel üretimlerle 70 bar ya da 102 bar basınca kadar rotary tip

sayaçlar yapılabilir. Birçok rotary sayaçta çalışma sıcaklığı aralığı doğal gaz için – 20 ile + 60 °C'dir.

4.3.4 Başlangıç debisi

Sayaçlarda Q_{min} debi değerinden itibaren standartlarda istenen maksimum değere kadar hata aralıklarında ölçümler gerçekleştirilir.

Sayaçların çarklarını harekete geçirecek debi değeri " Q_{min} "den çok daha düşüktür. Ancak bu debi değerlerinde çok sağlıksız ve yüksek hata oranlarıyla ölçüm yapılabilir. Çizelge 4.4 başlangıç debileri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Bazı rotary sayaçlar için başlangıç debileri [13]

TİP	Min. Debi (m ³ /st)	Başlangıç Debisi (m ³ /st)
G 16	1.25	0.030
G 25	2	0.050
G 40	2.16	0.150
G 65	3.33	0.150

4.3.5 Ölçüm dinamiği

Q_{max}/Q_{min} oranıdır (Maksimum debinin minimum debiye oranı). Tüm sayaçlarda ölçüm dinamiği minimum 20:1 olmalıdır. Onaylı ölçüm dinamiği sayaç modeline bağlı olarak 30:1 veya 50:1 olabilir. Gerçek ölçüm dinamiği 160:1'e kadar çıkabilmektedir.

4.3.6 Hassasiyeti

Standartlara göre;

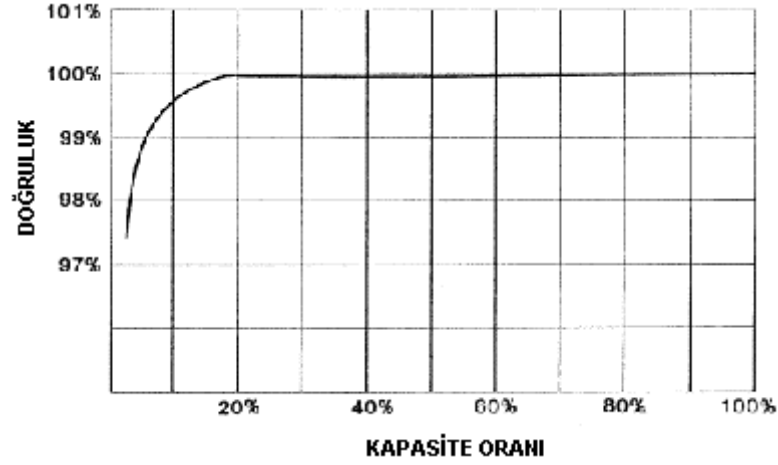
$$Q_{min} \leq Q \leq Q_{geçiş} \rightarrow \text{Max hata} : \pm \% 2$$

$$Q_{geçiş} \leq Q \leq Q_{max} \rightarrow \text{Max hata} : \pm \% 1$$

$$Q_{geçiş} \rightarrow 0.2Q_{max} (20:1 \text{ için}); 0.15Q_{max} (30:1 \text{ için}); 0.10Q_{max} (50:1 \text{ için})$$

Rotary sayaçlar genellikle 1 ½" bağlantı çapından başlamaktadır. Bugüne kadar üretilen en büyük bağlantı çaplı sayaç 36" liktir ve 28000 m³/st kapasitelidir. ANSI B109.3-1980 standardına göre rotary sayaçlarda % 100 ve % 10 kapasiteler için max. hata oranları $\pm \% 2$ 'dir. Tipik olarak kapasitenin % 10'u altında sayaç doğruluğu Şekil 4.8'de gösterildiği gibi keskin bir şekilde azalmaktadır.

Hata oranındaki bu artış, sayacın yavaş hareket etmesinden ve ölçülemeyen gaz sızmalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8 : Rotary sayaçların tipik hata eğrisi.

4.4 Türbinli Sayaçlar

Geniş bir kullanım alanı olan türbinli sayaçlar, tüm temiz akışkanlar için kullanılabilen cihazlardır. Atmosfer basıncının altından, 4137 bar (60.000 psi) basınca kadar ve çok düşük sıcaklıktan (cryogenic) 800 °C sıcaklığa kadar geniş bir aralıkta bulunan akışkanların ölçümünde kullanılabilir.

Türbin sayaçlar, akışkan akışını saptamak için bir rotor ya da dönen kanatçıklar kullanır. Türbin sayaçlar, pislik ve diğer kalıntılar rotorun düzgün çalışmasını bozabildiğinden en iyi şekilde temiz akışkanlarla çalışırlar. Woltman sayaçlarına ek olarak diğer türbin sayaç tipleri arasında eksenel, tek jet, çoklu jet, pervane çarklı, Pelton çarklı ve pervaneli tipleri bulunmaktadır.

Sayaçta olan akış yönü rotor eksenine paraleldir ve debi rotorun dönme hızıyla orantılıdır. Ülkemizde türbin sayaçlarla ilgili olarak Türk Standartları TS 5477 EN 12261 [16] standardı geçerlidir.

4.4.1 Sayacın yapısı

- Gaz akışıyla oluşan türbülansı azaltmada kullanılan sabitlenmiş akış düzenleyicisi
- Dönen bir şafta monte edilmiş, çok sert kanatlardan ve dengeleyici aerodinamik parçadan oluşan türbin çarkı

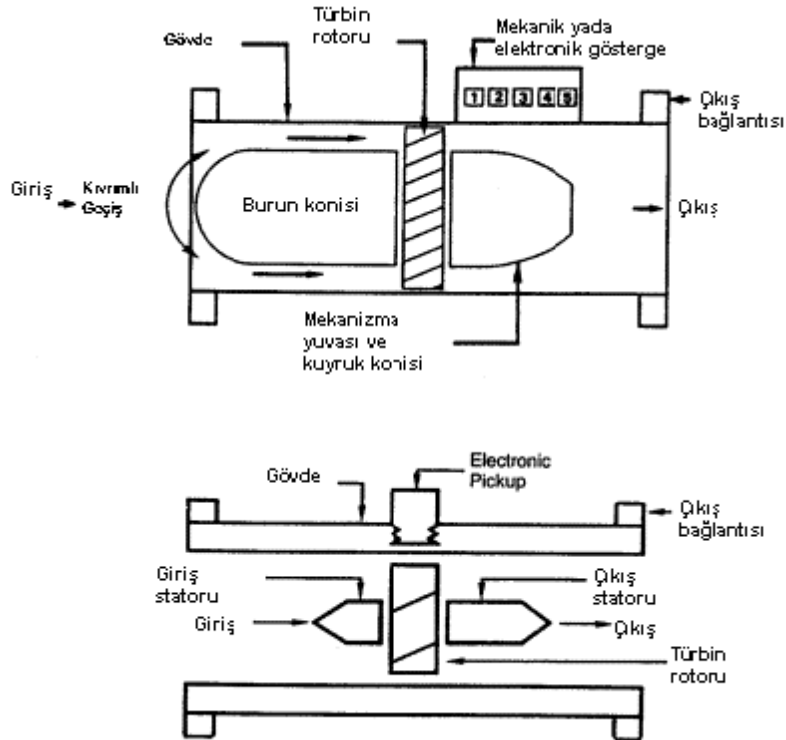
- Yataklar
- Birincil düşürücü
- Manyetik kavrama
- Numaratör türbin sayacı oluşturmaktadır.

Avrupa normlarıyla gövde uzunluğu 3xDN, ölçüm aralığı 20:1 ve doğruluk \pm % 1 olarak kabul edilmiştir.

Sayaç gövdeleri çelik, alüminyum ya da dökme demirden yapılmaktadır.

Türbin çarkları ise alüminyum ya da poliasetal, poliamid gibi özel plastiklerden üretilmektedir.

Türbin sayaçlar genellikle dış yağlama gerektirmezler. Ölçüm mekanizması içerisinde yatakların yağlanması için bırakılan yağ rezervi genellikle yeterli olur. Ancak kurutucu ve kirli gazları ölçen sayaçlar için çelik ve dökme demir gövdeli sayaçlara monte edilen dış yağlama pompaları mevcuttur. Bu pompalar sayesinde kuruyan yataklara yağ gönderilir.



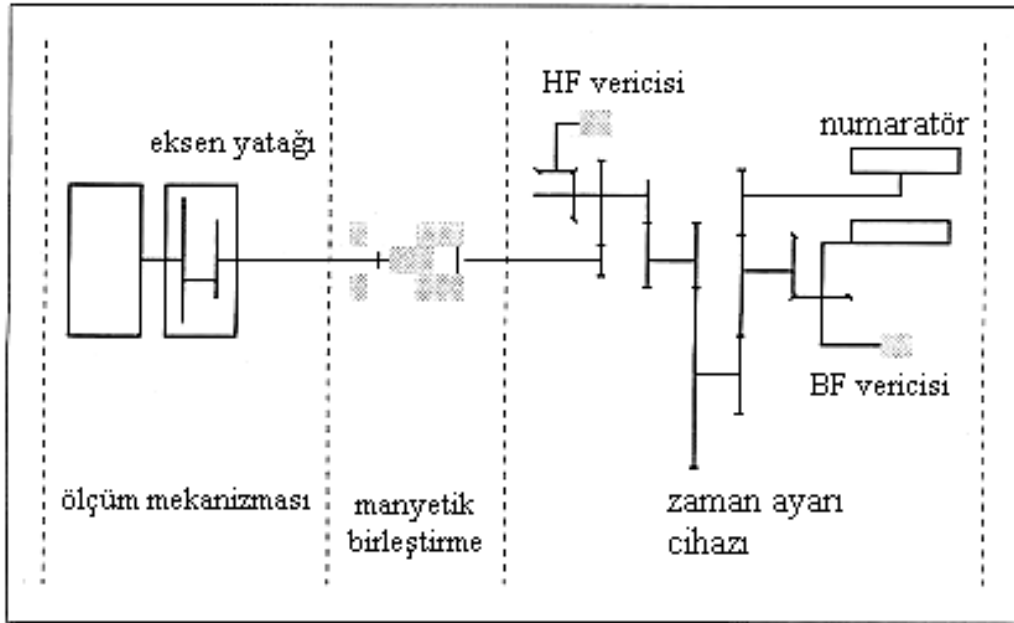
Şekil 4.9 : Aksenal akışlı türbin sayaçların iki şematik versiyonu [9]

Üreticiler belli bir debi değeri için her kullanım koşulunda \pm % 1'lik bir doğruluk beklemektedir. Rotary sayaçlarda olduğu gibi düşük debi değerlerinde sayaç

doğruluğu azalmaktadır. Oldukça doğru ve güvenilir cihazlar olmalarına rağmen türbin sayaçların kullanımında dikkatli olunmalıdır. Sayaç performansını etkileyen faktörler;

1. Borulama tesisatı
2. Titreşim ve türbülanslar,
3. Gaz yoğunluğu,
4. Basınç,
5. Sıcaklık,
6. Sayaç yağlaması
7. Reynolds sayısı.

Doğal gaz tesisatları için 1/2" bağlantı çapından 24" bağlantı çapına kadar, atmosferik basınçtan 100 bar'a kadar kullanılan türbin sayaçlar mevcuttur. Bu nedenle hem dağıtım hem de iletim hatlarında kullanılabilirler. G16000 sınıfına kadar üretilmektedirler.



Şekil 4.10 : Türbinli sayacın kinematik ilkesi [9]

4.4.2 Türbinli sayaç tasarımı

Akışkan, açıldırılmış rotor kanatçıklarına akış miktarına bağlı bir dönmeyle bir açısal hız verir. Kanatçık şekli ve açısı ve diğer yapısal ayrıntılar üreticiden üreticiye değişir. Gerçek akış kesiti, hesaplanan açık alan değildir, fakat türbülans kesitin bir

kısmını tıkadığından bunun biraz düşüğüdür. Sürtünme, türbülans ve gerekli imalat toleransları nedeniyle her sayaç deney eğrisini saptamak üzere kalibre edilmelidir.

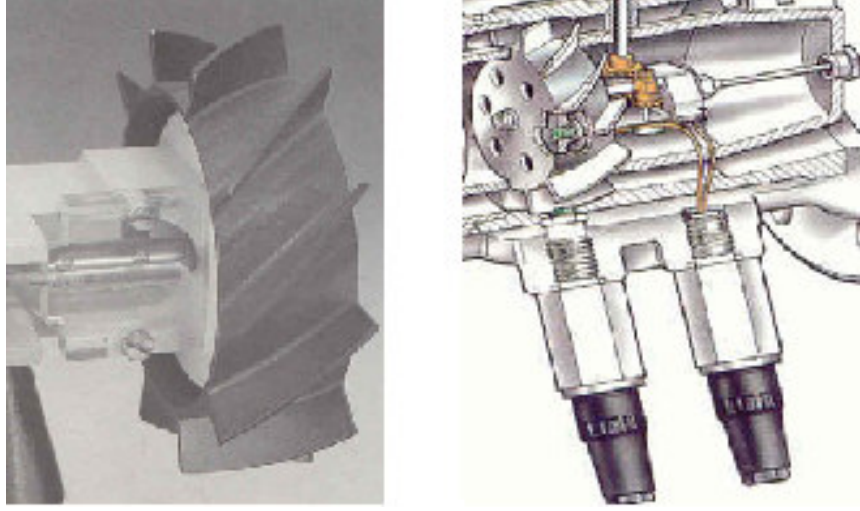
Türbin içindeki akış ilk kez sıfırdan yükselirken, belirli bir miktar akışkan rotor dönmeye başlamadan önce rotordan geçer. Bir noktada akışkan, rotor yataklarındaki yavaşlatıcı sürtünme kuvvetini yenmek için yeterli kuvveti sağlar. Bu noktada rotor dönmeye başlar ve yataklardaki sürtünme kuvvetleri giderek azalır. Aerodinamik kuvvetler rotor hızı üzerinde hakim olur ve kontrol eder. Bu yavaşlatıcı kuvvetlerin mevcudiyeti ve akış kesitinde küçük bir değişiklik teorik ve gerçek rotor hızları arasında bir fark oluşturur. Bu farklılıklar, her sayacın kalibrasyon çalışmasında kayda alınmalıdır. Akış miktarı artarken bu aerodinamik ve yatak sürtünme kuvvetleri azalır ve deney eğrisi sadece hızda bir artış göstererek doğrusal hale gelir. Gerçek akış ölçümünü gerçekleştirmek üzere, rotor hızını ölçecek bir cihaz kullanılır. Sensör, sayaca bağlı bir mekanik dişli tahrikli shaft ya da puls üreten her bir rotor kanatçığının geçişini denetleyen bir elektronik sensör olabilir. Sensör shaftının dönme hızı ve pulsların frekansı sayaç boyunca akan hacimsel akış miktarıyla orantılıdır (Şekil 4.11).

Dikkate alınması gereken başka bir kinetik etki daha vardır. Sayaca giren akışkan, rotordan geçmeden önce bir saptırıcı ile hızlandırılır. Artan hız ve rotordan dışa doğru oluşan ortalama hız nedeniyle rotorda daha fazla çekiş kuvveti oluşur. Bu, düşük akış miktarlarında performans eğrisini iyileştirir. Akış saptırıcısı, ayrıca akan akıştan rotor merkezine siper olarak, rotor yatağı üzerindeki itme yüklerini azaltma görevi görür.

Gaz sayaçları için saptırıcı daha büyüktür (halka açılımı daha küçüktür). Bu nedenle sayaç kesitinin yaklaşık % 66'sını bloke eder. Daha yüksek hız üretme ihtiyacı nedeniyle düşük yoğunluklu akışkanlarda kullanılan gaz sayaçlarındaki tork, sıvı akışkan sayaçlarına göre daha düşüktür. Gaz sayaçları minimum sürtünme için contalı ya da koruyuculu rulman yatak kullanırlar.

Kanatçıkların oluşturabileceği kayıpları en aza indirmek için kanat tasarımı ve verimliliği önem arz etmektedir. Yüksek verimli bir kanatçık akış hızının bir fonksiyonu olarak verimde değişikliğe neden olur. Hız, hız profili, sıcaklık ya da yoğunluk gibi işletme koşullarıyla değişmeyen verime sahip bir kanatçık tasarımı en iyi seçimdir. Diğer bir deyişle Reynolds sayısındaki değişimlere karşı hassasiyeti en az olan bir tasarım optimum seçimdir.

Türbin sayaç rotorlarında kanatçık ucu yarıçapının kanat göbeği yarıçapına oranı rotor yarıçap oranı olarak tanımlanır.



Şekil 4.11 : Türbin rotorunun dönüşünü algılayan elektronik pick-off (sensör) [13]

Kanatçığın rotor eksenine olan açısı uygulamada maksimum 45° olabilir. Genel olarak kanatçık açısı ne kadar büyük olursa rotor hızı o oranda yüksek, sayaç kararlılığı o oranda yüksek, rulman yükleri o oranda yüksek, ölçüm aralığı o oranda geniş ve basınç farkı da o oranda yüksek olur.

Mekanik sensörler bazı türbin sayaçlarda kullanılırlar. Bir mekanik sensör genellikle rotor şaftındaki bir dişli ile hareket ettirilen bir şafttan oluşur. Bu göstergelerin bazıları hem akış miktarını (anlık debiyi) hem de toplam akış miktarını gösterirken bazıları sadece akış miktarını toplamak üzere tasarlanmıştır.

Genellikle “pickoff” olarak adlandırılan elektronik sensörler (sinyal çıkışı), üreticiler tarafından türbin metrelerle birlikte sağlanır. Üç temel tip pickoff (sinyal çıkışı) vardır: manyetik inductive, manyetik reluctant ve modülasyonlu taşıma frekansı. Bunlar türbin gövdesine ya da yuvaya monte edilirler ve ince bir membran ya da diyafram aracılığıyla rotor ucundan çok az ileride bir uzaklığa yerleştirilirler.

4.4.3 Türbin tip sayacın çalışma ilkesi

Türbinli sayaçlar hız ölçen cihazlardır. Türbinli sayaçlarda boru hattı boyunca akan gazın aksel hareketi kanatçıklı türbin rotorunun dönmesine neden olur.

Rotor hızı hacimsel debi ile doğru orantılıdır. Böylece gaz hacmi rotorun dönüş sayısının sayılmasıyla saptanır. Rotorun dönme hareketi bir dişli mekanizması

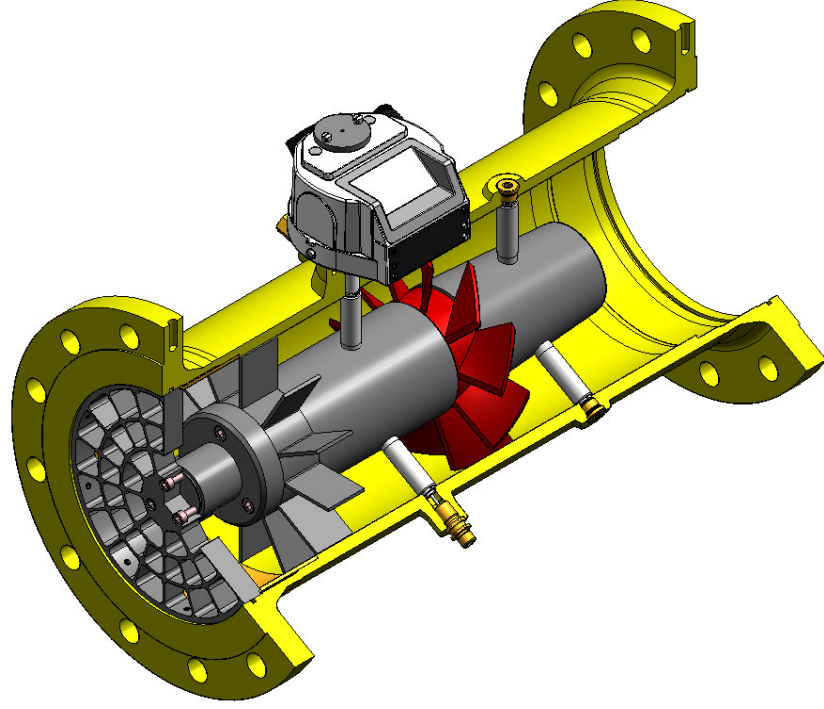
vasıtasıyla kolaylıkla numaratóre aktarılabilir. Gaz akışı silindirik gövdedeki şafta merkezlenmiş türbin çarkını döndürür. Kanatçıkların açılmal hızı gaz debisiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Gazın bu hareketi, dönüş sayısını mekanik olarak hesaplayarak geçen debi miktarını “m³” cinsinden okuyan numaratóre manyetik kavrama vasıtasıyla iletilir.

Doğal gazda türbin sayaçlar yapılarına göre aksnel akışlı ve radyal akışlı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 4.12).

Çizelge 4.5 sayaçların debi aralıklarına göre min. debilerini göstermektedir.

Çizelge 4.5 : Sayaçların büyüklükleri ve debi aralıkları (TS 5477 EN 12261)

Sayaç Büyüküğü	Q _{maks} (m ³ /st)	Ölçüm Aralığı (Dinamiğı)				
		50:1	30:1	20:1	10:1	5:1
		Q _{min} (m ³ /st)				
G16	25	0.5	0.8	1.3	2.5	5.6
G25	40	0.8	1.3	2	4	8
G40	65	1.3	2	3	6	13
G65	100	2	3	5	10	20
G100	160	3	5	8	16	32
G160	250	5	8	13	25	50
G250	400	8	13	20	40	80
G400	650	13	20	32	65	130
G650	1 000	20	32	50	100	200
G1000	1 600	32	50	80	160	320
G1600	2 500	50	80	130	250	500
G2500	4 000	80	130	200	400	800
G4000	6 500	130	200	320	650	1 300
G6500	10 000	200	320	500	1000	2 000
G10000	16 000	320	500	800	1 600	3 200
G16000	25 000	500	800	1 300	2 500	5 000



Şekil 4.12 : Türbin sayaç kesiti

Giriş basıncı artışıyla kapasite de artış gösterir. Türbin sayaçlar devir/dakika cinsinden belli bir rotor dönme hızını aşmayacak şekilde maksimum bir debiye göre tasarlanırlar. Eğer belirtilmemişse maksimum rotor hızı maksimum basınç değerine kadar olan tüm basınç değerlerinde aynı kalır. Verilen hat koşulları için max. temel debi alttaki denklemden bulunabilir.

Çarkın dönme hızı gaz yoğunluğuna değil hacimsel debiye bağlıdır. Eğer basınç ve sıcaklık önemli derecede standart koşullardan farklılık arz ediyorsa pozitif yer değiştirmeli sayaçlar gibi düzeltme yapmak gereklidir. Türbin sayaçlar, basınç tapasına yerleştirilen bir yoğunluk ölçer ile birlikte ile kütleli debi ölçümünde de kullanılabilir.

4.4.4 Ölçüm aralığı (dinamiği)

Avrupa Normları'na göre kanuni ölçüm aralığı " $Q_{max}/Q_{min} = 20:1$ "dir. Doğal gaz için ölçüm aralığı bir türbin sayaçta atmosferik basınçta 10:1 mertebelerindeyken 69 bar'da 100:1'in üzerinde değerler almaktadır. Daha yüksek basınçlarda 200:1'e kadar çıkabilmektedir. Sayaç kapasitesi, izin verilebilir rotor hızı (yatak hız sınırı), basınç düşüşü ve akışkan hızı (kanatçık açısı) ile belirlenir. Tüm üreticiler farklı tasarım

parametreleri seçerler, böylece bunların özel sayaç ebatları verilen hacimleri karşılayabilir. Bunlar benzer görünebilir fakat diğer üreticilerinkiyle eşit değildir.

Türbin sayaçların Q_{max} değeri rotary ve körüklü sayaçlarda olduğu gibi yüksek basınçlarda mutlak basınçla çarpılarak bulunur.

Örneğin G100 sayaç için $Q_{max} = 160 \text{ m}^3/\text{st}$ 'dir. 4 bar gaz ölçümü için;

$$Q_{max} = (4+1) \times 160 = 800 \text{ m}^3/\text{st}' \text{ dir.}$$

Bir türbin sayaç için minimum debi değeri, maksimum debide olduğu gibi mutlak basınçla çarpılarak bulunamaz. Bunun için (4.1) formülü kullanılmaktadır.

$$Q_{min YB} = \frac{Q_{min AB}}{\sqrt{\rho \cdot p_{mutlak}}} p_{mutlak} \quad (4.1)$$

Burada;

$Q_{min YB}$ = Yüksek basınçta minimum debi

$Q_{min AB}$ = Atmosferik basınçta minimum debi

ρ = Gazın özgül yoğunluğu (0.6 civarındadır)

p_{mutlak} = Mutlak basınç, bar ($p_{mut} = p_{atm} + p_{efektif}$)

Yukarıdaki denklemle bağlantılı olarak gerçek ölçüm aralığı basınçla artış gösterir.

Örneğin 20:1 ölçüm aralığına sahip bir türbin sayaç yukarıdaki formüle göre 20 bar doğal gaz için yaklaşık 74:1'lik bir ölçüm aralığına sahip olur.

4.4.5 Hassasiyet

Avrupa normu EN 12261'e göre türbinmetrelerin sahip olması gereken hassasiyet aralıkları,

$$Q_{min} \leq Q \leq 0.2 Q_{max} \text{ için } \text{Max hata} = \pm \% 2$$

$$0.2 Q_{max} \leq Q \leq Q_{max} \text{ için } \text{Max hata} = \pm \% 1' \text{ dir.}$$

4.4.6 Kısa süreli aşırı yükleme

TS 5477 EN 12261'e [16] göre sayaç, en büyük işletme basıncı altında, en büyük debinin (Q_{max}) 1.6 katında ve en fazla 30 dakika süreyle yüklenerek çalıştırılır.

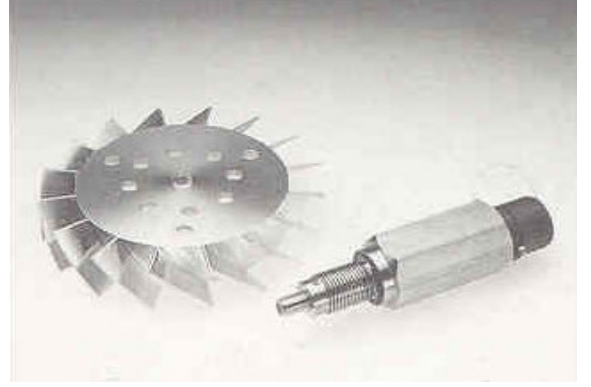
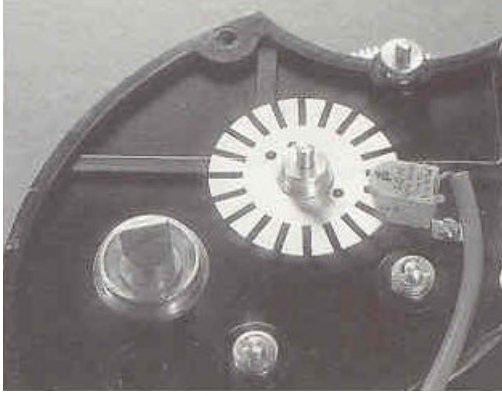
Deney sonucunda sayaçta sızdırma ve kalıcı biçim değişikliği görülmemelidir.

Basınç düşmesiyle ölçüm aralığının artması kanatçıklara hasar verebilir ya da yüksek hız yatakları hasara uğratabilir. Bu durum özellikle sayaçları işletmeye alırken ve işletmeden çıkarırken karşılaşılan bir problemdir. Böyle durumlarda akış miktarı yavaşça değişmelidir.

4.4.7 Elektrik bağlantıları

Sayaca tek elektrik bağlantısı pickoff'a (sinyal çıkışı) olan bağlantıdır. (Şekil 4.13) Pickoff'ların iki ve üç telli versiyonları vardır. Üçüncü tel mevcut olduğunda genellikle topraklama ya da koruyucu olarak kullanılır.

Yükselticiye ya da diğer elektronik elemanlara bağlantılar üreticiden üreticiye oldukça farklılıklar gösterir. Sayaçla birlikte sağlanan bağlantılar için ilgili uyarıları okumakta fayda vardır. Yükselticiler (amplifikatörler) DC ve AC güç tiplerinde ve iki ya da üç telli biçimdedirler. Genellikle bir sıcaklık ya da basınç sensörü sayaç yerleşiminin bir parçasıdır.



Şekil 4.13 : Türbinmetreli sayaç sinyal üretim cihazları [17]

4.4.8 Türbinli sayaçların avantaj ve dezavantajları

4.4.8.1 Avantajları

- Sayacın tam doğrusal aralığının üzerinde iyi bir doğruluğa sahiptir. Doğruluk tüm skalanın yüzdesi değil, akış miktarının (debinin) yüzdesidir.
- Kısa bir zaman periyodunda sağlanması olası olan yüksek çözünürlük oranında doğrudan elektronik çıkışı mevcuttur.
- Sayaç maliyeti orta değerlerdedir. Fakat toplam sayaç istasyonu verilen hat boyutundaki yüksek debi nedeniyle ortalamasının altında maliyete sahiptir.
- Basınç ve sıcaklık sınırlamaları olmasına rağmen normal akış koşullarını sağlar.
- Yüksek basınçta çok iyi ölçüm aralığı sağlar.

4.4.8.2 Dezavantajları

- En doğru kullanımı sağlamak için akış denemesi gerektirir.
- Düşük basınçlarda ölçüm aralığı diğer gaz sayaçlarıyla yaklaşık olarak aynıdır.
- Türbülans oluşumunu önlemek için sayaç girişinde doğrultucu kanatçıklar ya da çok uzun giriş borusu gerektirir.

4.5 Kuantometreler

Kuantometreler şekil ve çalışma ilkesi olarak türbinmetrelere benzerler. Farkı giriş kısmındaki akış koşullandırıcıların olmaması ve yapısının basit olmasıdır. Kısa uzunluklu bağlantıya imkan sağlar.

Ölçüm hassasiyeti türbin sayaca göre kötü olduğundan faturalandırma amaçlı olarak kullanılmaz. Genelde tesis içi maliyetleri hesaplamak için kullanılır.

G 10.000'e kadar imal edilebilirler. Bağlantı uzunluğu 1.5 x DN olabilir.

Ölçüm dinamiği 20:1'dir.

Ölçüm doğruluğu $\pm \% 1.5$ 'dir.

4.6 Ultrasonik sayaçlar

Ultrasonik sayaçlar doğal gaz alım satımındaki gittikçe artan önemli rolleri nedeniyle son birkaç yıl içinde dikkatleri üzerine çekmiştir. Haziran 1998'de American Gas Association (AGA), doğal gaz alım satımlarında ultrasonik sayaçların kullanımına dair rapor olan AGA – 9'u yayınladı [19]. O tarihten bugüne doğal gaz ölçüm pazarında ultrasonik sayaç kullanımında bir patlama yaşandı. Fakat ultrasonik sayaçlar henüz daha yaygın olarak kullanılmamaktadır (Şekil 4.15).

Ultrasonik sayaçların doğal gaz ölçümünde kullanımı, GERG'in koşulnamesini onayladığı 1995'den bu yana artış göstermiştir. Bu doküman doğal gaz alım satımında ultrasonik sayaç kullanımı kriterlerini ortaya koymaktadır. Bu sayaçların yüksek hassasiyet değerleri tercih edilmelerinde en önemli etkidir.

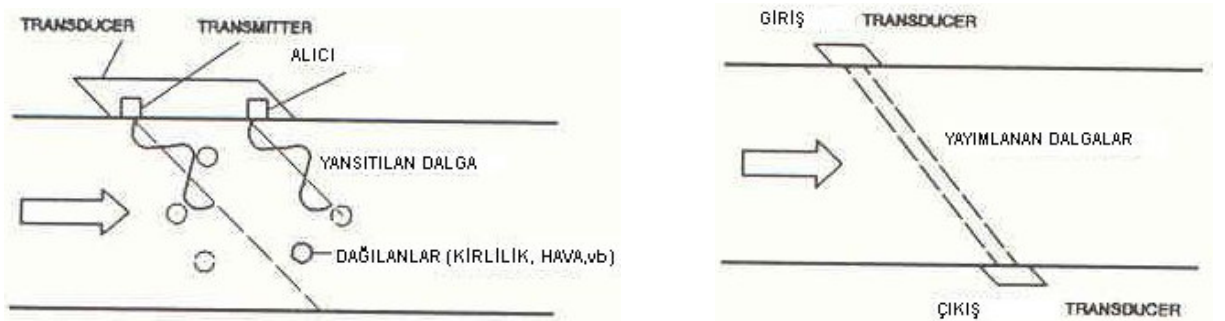


Şekil 4.14 : Ultrasonik sayaç

Ultrasonik sayaç kategorisi, bir akış sistemindeki ortalama bir hızı ölçmek için çok sayıda farklı tasarımlardan oluşmaktadır. Bunların hepsi, akan akışın hızı ile değiştirilen ya da yansıtılan ultrasonik bir sinyal esasına dayanmaktadır. Sayacın doğruluğu, sayaç gövdesinin hidrolik kesitinden geçen akıştaki ortalama hızı gösterecek sistemin kabiliyetine bağlıdır. Bu kabiliyet, yerleşim ihtiyaçlarını ve elde edilen sonuçların doğruluğunu etkiler.

4.6.1 Doppler

Ultrasonik sayaçların iki ana tipi, Doppler frekans kayması ve geçiş süresi değişimidir. Doppler sayaç akışın ana gövdesiyle aynı hızda ilerleyen bazı parçacıklar içeren su ve gaz akışkanlarda kullanılır. Ultrasonik sinyal, akış boyunca bu ilerleyen parçacıklardan geri yansır ve zaman geçtikçe bu parçacıkların ortalama hızıyla ilgili frekansta kayma olur. Sayaçlar çeşitli tiplerde yapılırlar. Bir tip akan akış içine transducer yerleşimi gerektirirken, bir diğeri akan akışı kapatmaya gerek kalmadan yerleştirilebilen kayışla bağlanan bir modeldir.

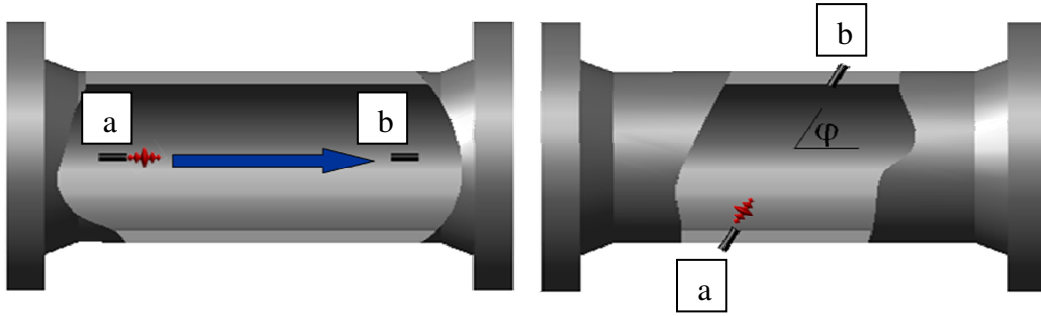


Şekil 4.15 : Sırasıyla Doppler Yansımali ve Geçiş Zamanlı ultrasonik sayaç çalışma şemaları [13]

4.6.2 Geçiş zamanı

Bir geçiş zamanı ünitesi direk akan akış içine yerleştirilir ve ortalama hızı belirlemek için tekli ya da çoklu transducer'larla yapılır. Bu üniteler sıvıda ya da gazda kullanılabilir. Çoklu transducer üniteleri, girdap dahil hız profili bozukluklarını da kontrol edebilir. Böylece yerleşim ihtiyaçları azaltılmış olur. Fakat maliyet de dahil sayaç karmaşıklığı giderek artar. Çünkü ortalama hız ve akışı hesaplamak için daha karmaşık elektronik sistemler ve çoklu transducer üniteleri gerekmektedir.

Çok yollu sayaçlar, akış eksenine bir açıyla yerleştirilmiş transducer'lar kullanırlar. Bir çiftteki her bir transducer aynı yol uzunluğunda, dönüşümlü olarak transmitter (sinyal üretici) ve alıcı olarak çalışırlar. Ana geçiş zamanını belirlemek için "giriş" ve "çıkış" geçiş zamanları için denklemler kullanıldığında ortamdaki ses hızı dışarı çıkar. Sonuç olarak, sayaçtaki gaz hızı geçiş zamanlarından ve gövdenin fiziksel ölçülerinden elde edilir.



Şekil 4.16 : Ultrasonik metrede geçiş zamanına göre debi hesabı

$$V_{gaz} = \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{1}{t_{ab}} - \frac{1}{t_{ba}} \right) \quad (4.2)$$

$$V_{gaz} = \frac{L}{2 \cdot \cos \varphi} \cdot \left(\frac{1}{t_{ab}} - \frac{1}{t_{ba}} \right) \quad (4.3)$$

Burada:

- V_{gaz} : Gazın hızı
- L : İki nokta arası uzunluk
- φ : Gaz akış doğrultusuyla sensör doğrultusu arasındaki açı
- t_{ab} : a noktası ile b noktası arası dalgasının ulaşım süresi
- t_{ba} : b noktası ile a noktası arası dalgasının ulaşım süresi

Bir ultrasonik sayacın performansı, onun ortalama hızı bulmasına, debiyle bir değişme olmaksızın sayaç açık kesitinin koşullarına ve okuma sisteminin kabiliyetine bağlıdır. Sayaç kalibrasyonu, yapının mekaniğiyle doğrudan ilgili olan geçiş zamanı esasına dayanır. Geometrik ölçüleri belirlemek için mekanik bir gözlemle kontrol edilebilir ve hesaplanabilir. Sayaç ayrıca herhangi bir akış koşulu olmadan, ses hızı bilinen (nitrojen gibi) bir akışkanla doldurularak ve sinyal yolundaki geçiş zamanı hesaplanarak da kontrol edilebilir. Hacim standartlarına ya da referans sayaçlara göre de kalibrasyonlar gerçekleştirilebilir.

4.6.3 Ultrasonik sayaçların avantaj ve dezavantajları [13]

Avantajları

- Bağlandığı boruyla aynı çapta olduğundan basınç düşmesi olmaz.
- Çıkışın yüksek frekans (HF) sinyali (puls), değişken akışlar ve titreşim etkilerinden kaynaklanan hataları en aza indirir.
- Tesisata yerleşim basit ve ucuzdur.
- Yüksek ölçüm aralığı sağlar.
- Akan akışkanla temas eden hareketli bir parçası yoktur.
- Bir ürün testi yapmadan temel mekanik kalibrasyon kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

Dezavantajları

- İşletimi için güç gereksinimi.
- Yatırım maliyeti yüksektir.
- Bir tekli yoldan ya da yansıtma ünitesinden elde edilecek ortalama bir hız için akış profili tam geliştirilmelidir.

5. ÖLÇÜM HATALARI ve KALİBRASYON

Ölçüm cihazları yapıları gereği, ölçüm koşulları gereği ve mevcut teknoloji gereği hata yaparlar. Bu hatalar, ilgili standarda göre üretim yapan üreticiler tarafından belirlenir ve cihazlarla sertifikalandırılır. Ayrıca sayaçlar, üretim sonrası bağımsız ve onaylanmış test laboratuvarları tarafından da kalibre edilerek kontrol edilirler.

5.1 Hata

Teorik olarak *hata*, test edilen cihazdan ölçülen değerlerin gerçek değerden olan sapmasıdır.[20]

Sistemik Hata: Tekrarlanabilirlik koşulları altında, aynı değerde belli sayıda ölçüm alınarak tespit edilen, gerçek değerden olan sapmadır.

Rastgele Hata: Aynı büyüklüğün bir dizi ölçümleri esnasında önceden tahmin edilemeyecek şekilde değişen ölçüm hatasıdır.

Tekrarlanabilirlik Hatası: Aşağıdaki koşulların tümüne uyarak, aynı noktada gerçekleştirilen ölçümlerin ortalamasından her bir ölçümün gösterdiği sapmadır.

- Aynı ölçüm yöntemi
- Aynı gözlemci
- Aynı konum
- Aynı kullanım koşulları
- Kısa zaman aralığında tekrar

Tekrar Gerçekleştirilebilirlik: Her bir ölçümün, değişken koşullarda gerçekleştirildiği zaman, aynı ölçülen büyüklüğe ait ölçüm sonuçları arasında uyuma yakınlığıdır.

Histerisiz: minimumdan maksimuma doğru yapılan ölçüm ile maksimumdan minimuma doğru yapılan ölçüm sonuçları arasındaki farktır.

5.1.1 Sistemik Hata – Göreli Hata

Q_{min} , Q_t , $Q_n/2$, Q_n ve Q_{max} gibi noktalarda alınan ölçümlerin göstermiş olduğu % göreli hatalar aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Hata\% = \left(\frac{Q_m - Q_r}{Q_r} \right) \cdot 100 \quad (5.1)$$

Q_m : ölçülmüş debi

Q_r : referans debi

Hassasiyet görelî hatalar olarak ifade edildiği zaman, bunlar görelî olarak yapılan ölçümlerdir ve anlık olarak hataları verirler.

Bulunan görelî hataların ortalamaları hesaplanır, Görelî Hata (%) – Debi grafiğinden elde edilen doğrusallık eğrisi denklemi B olarak adlandırılır ve toplam belirsizlikte aşağıdaki formüldeki gibi (5.2) yer alır.

$$(U_r)_{95} = 2 \times \left[\frac{(u(ref))^2 + (u(ss))^2 + (u(çöz))^2 / 3 + (u(zn))^2 / 3 + (u(pt))^2 / 3 + (u(lin))^2 / 3 + (u(ters))^2 / 3}{(u(lin))^2 / 3 + (u(ters))^2 / 3} \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

Hesap edilen bu değerler kalibrasyon ya da test sonrası düzenlenecek sertifikada belirtilir.

5.1.2 Doğrusallık (lineerite) hatası

Oluşturulan doğrusallık eğrisinin, korelasyon katsayısı hesaplanıp, doğrusallıktan ne kadar saptığı belirlenir. Bu şekilde tespit edilen hata, % olarak $u(lin)$ olarak anılır. Bu hata dikdörtgensel hata olduğundan, toplam belirsizlik hesaplarına $u(lin)/3^{1/3}$ olarak alınır.

5.2 Belirsizlik

Hata değerlerini teşkil eden fiziksel büyüklüklerin değişim aralığıdır.

Belirsizlik bileşenlerini tespit etmek için formülde kullanılan parametreler incelenirse,

$$\text{Görelî Hata} = \frac{Q_m - Q_r}{Q_r} = \frac{\frac{V_m}{t_2} - \frac{V_r}{t_1}}{\frac{V_r}{t_1}} \quad (5.3)$$

V_m : test edilen cihazdan okunan hacim

V_r : ilgili standarttan okunan hacim

t_1 : ilgili standartta hacmin geçiş zamanı

t_2 : test edilen cihazdan hacmin geçiş zamanı

Q_m = test edilen cihazda okunan debi

Q_r = standarttan okunan debi

V_m ve V_r ölçümlerindeki belirsizlik, aşağıda belirtilen büyüklüklerin fonksiyonu olarak verilebilir:

$U_m = f(t, P, T, \text{tekrarlanabilirlik, histerisiz, tekrar üretilebilirlik, çözünürlük})$

$U_r = f(t, P, T, D, H/L)$ ($H = f(\text{pulse})$, sadece Bell Prover tipi kalibrasyon sistemleri için geçerlidir)

t: zaman

P: basınç

T: sıcaklık

D: ölçümün gerçekleştiği hacmin(silindir) apı

H: hacmin yer değiştirme miktarı (yükseklik olarak)

L: hacmin yer değiştirme miktarı

Q_r değerindeki belirsizlik, yukarıda belirtilen fiziksel büyüklüklere bağlı olarak hesaplanmıştır. Belirli zaman aralıkları ile i kalibrasyon yapılarak bu değerler kontrol edilmekte ve yenilenmektedir. Bu yüzden toplam belirsizlik hesaplarında bu bileşenler dikkate alınmaz, doğrudan olarak standardın belirlemiş olduğu belirsizlik kullanılır.

5.2.1 Belirsizlik kapsamına dahil edilen parametreler

Aşağıdaki maddeler hesaplamalara dahil edilirler:

A – Sistematiik hata

•Sistematiik hata değer: **u(s)**

•Doğrusallık Hatası: **u(lin)**

B – Referanstan gelen belirsizlik

•Referansa ait Ölçüm belirsizliği: **u(ref)**

C – Ölçülen Değerdeki Belirsizlik

•Standart Sapma (tekrarlanabilirlik hatası): **u(ss)**

•Çözünürlük Hatası: **u(öz)**

•Zaman başlatılıp durdurulmasından gelen hata: **u(zn)**

•Sıcaklık ve basınç değişiminden kaynaklanan hata: **u(pt)**

- ♦ Sıfır hatası: **u(sıf)**
- ♦ Tersinebilirlik hatası: **u(ters)**

5.2.2 Belirsizlik kaynakları

Referansın Ölçüm Belirsizliği:

Her referansa ait uluslar arası izlenebilirliği olan belirsizlik değerleri burada kullanılır. Bu değerler ilgili kalibrasyon kapsamında belirlenirler.

Ölçülen Değerdeki Belirsizlik:

Standart sapma (tekrarlanabilirlik hatası) değerleri her bir ölçümde hesapla bulunarak ortalamalar çıkartılır, bunlar içindeki en büyük ortalama sapma, **u(ss)** değeri olarak alınır.

5.2.3 Toplam Belirsizlik Hesabı

Hesaba Katılan Parametreler:

Kalibrasyondaki belirsizlik ISO 5168 standardına uygun olarak hesaplanmaktadır. Kalibrasyonun toplam belirsizliği genişletilmiş belirsizlik olup, bileşik belirsizlikten kapsam faktörü $k=2.0$ kullanılarak elde edilmiştir.

Güvenirlilik düzeyi %95'tir.

Genel olarak ölçümler, Q_{min} , Q_t , $Q_n/2$, Q_n ve Q_{maks} olmak üzere, her bir durum için en az iki defa minimumdan maksimum değere çıkarken, iki defa da maksimum değerden minimum değere inerek veri alınır. Bu veriler veri ve hesap çizelgesine işlenir. (Q_n : ortalama debi = $Q_{maks}/2$)

Toplam Belirsizlik Hesabının Yapılması [20]:

Genişletilmiş toplam belirsizlik yukarıdaki (Formül 5.2) deki gibi hesaplanır.

5.3 Doğruluk (Hassasiyet)

Bu konuda iki duruma göre uluslar arası normların belirlediği hassasiyet değerleri aşağıdadır:

- ♦ **1. Durum** Üretim sonrası standartların istediği kontrol sırasında $Q_{min.}$ 'dan % 20 $Q_{maks.}$ 'a kadar \pm % 2

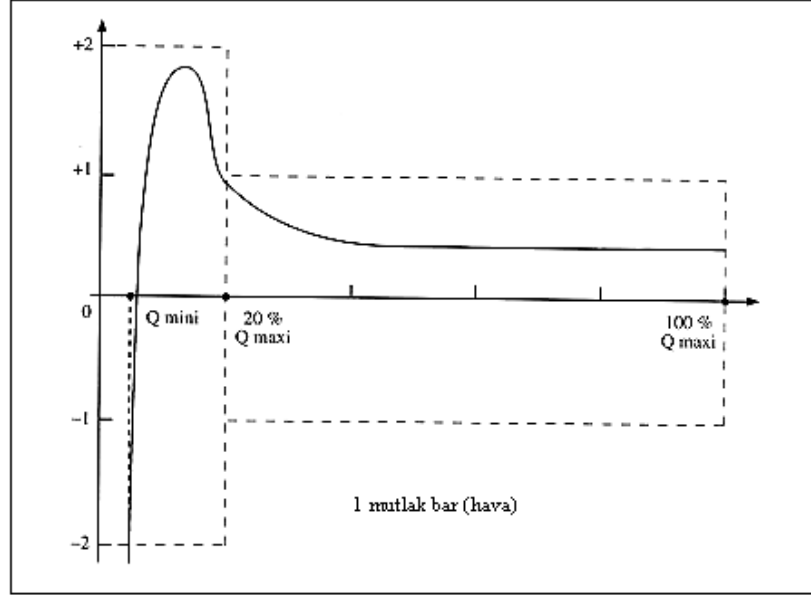
$\pm 1\%$ $Q_{maks.}$ 'dan $\pm 1\%$ $Q_{maks.}$ 'a kadar

- **2.durum** Periyodik kontrol sırasında (sayacın çalışırken istenen kontrolü)

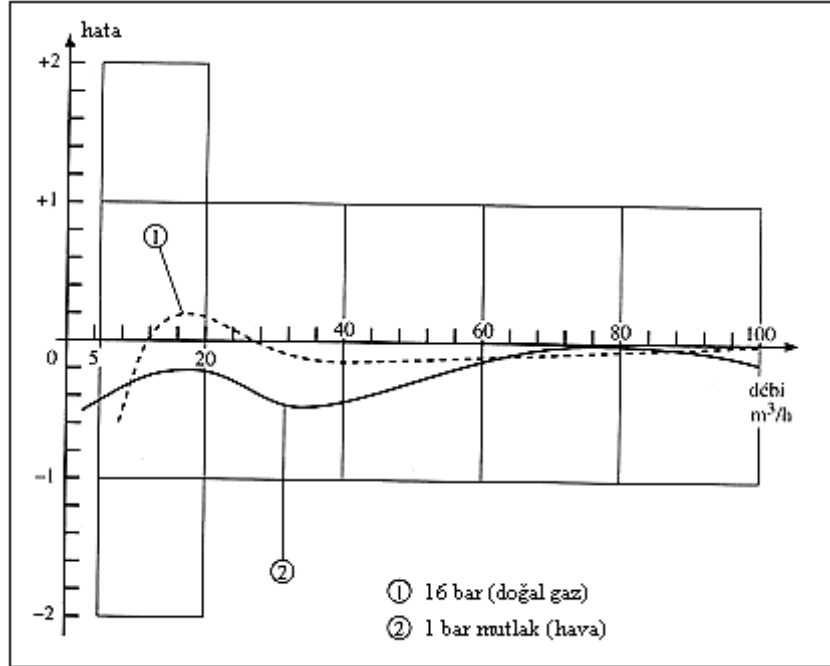
$\pm 4\%$ $Q_{min.}$ 'den $\pm 4\%$ $Q_{maks.}$ 'a kadar

$\pm 2\%$ $Q_{maks.}$ 'den $\pm 2\%$ $Q_{maks.}$ 'a kadar

Bir ölçüm cihazı (türbinmetre) nın ölçüm hassasiyet grafiği Şekil 5.1 dedir.



Şekil 5.1 : Türbinmetrenin EN 12261 e göre hassasiyeti [9]



Şekil 5.2 : Türbinmetrenin farklı akışkan ve farklı basınçtaki hassasiyet örneği [9]

5.3.1 Ölçüm sistemi hataları

Hassasiyet sadece sayaç ile ilgili değildir, sistemin içinde bulunan cihazların ve aktarma organlarının hepsinin hassasiyetinin beraber değerlendirilmesi gerekir.

Basıncın, sıcaklığın ve gaz özelliğinin dikkate alınmasıyla düzeltilmiş ölçüm değerinin hassasiyeti üzerinde etkili olan parametreler:

- Sayacın hassasiyeti
 - Diyaframlı Sayaçlar: % 2
 - Rotary Sayaçlar: % 0.2-1
 - Türbin metreler: % 0.5-1
- Sıcaklık Ölçer–Termometre hassasiyeti (sensor veya transmitter): % 0.05-0.1
- Basınç Ölçer – Manometre hassasiyeti (transmitter) : % 0.2-1.5
- Kalorimetre hassasiyeti: % 0.1

Ölçme sistemindeki toplam hassasiyet ya da belirsizlik aşağıdaki ampirik formüle göre hesaplanır:

$$\frac{\Delta V_n}{V_n} = \frac{\Delta V}{V} + \sqrt{\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + 0.00000064} \quad (5.4)$$

$\frac{\Delta V}{V}$: Sayaçtaki hatalar

$\frac{\Delta p}{p}$: Basınç ölçümündeki hatalar

$\frac{\Delta T}{T}$: Sıcaklık ölçümündeki hatalar (Kelvin olarak)

Dönüştürülmüş ölçümün bütününde karşılaşılan hassasiyet : % 0.5 – 2.5 arasında olur.

5.4 Ölçüm Aralığı

Yasal olarak, verilen hassas tolerans değeri içinde maksimum debi ve minimum debi arasındaki bağıntıdır. Bu değerler hava ile kalibrasyon yapılarak belirlenirler.

Yasal ölçüm oranı:

- genel olarak rotary tip sayaç için 160:1
- türbin tip sayaç için 20:1 ile 30:1 arası
- vorteksli tip sayaç için 30:1'e kadar.

Üretici ölçüm oranı:

Sayaçlar üretim sonrası minimum değerleri hava ile atmosfer koşullarında yapılan testlerde belli olduğu için, gerçekte kullanılacakları gaz ve basınç farkına göre minimum ölçme debileri aşağıdaki bağıntıya göre tekrar imalatçı tarafından hesaplanır:

Bir türbin için gerçek ölçüm minimumu:

$$Q_{\min}(\text{gazla}) = \sqrt{\frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{hava}}}} \cdot Q_{\min}(\text{havayla}) \quad (5.5)$$

5.5 Sayaç Hataları

Sayaç hataları genellikle zamanla kullanım sonrasında içten kirlenmeler, yağsızlık sebebiyle dişlerde aşınmalar hatalara (genellikle eksik sarfiyata) neden olurlar. Örnek olarak 19 yıllık G250 türbinmetrenin hata analizi Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Örnek G250 Türbinmetrenin hata değerleri [21]

Test Noktası	Q_s (m ³ /st)	Q_{ref} (m ³ /st)	dp (mbar)	Hata (%)
Q_{max}	400.00	398.45	20.00	0.68
0.7 Q_{max}	280.00	288.39	12.00	0.57
0.4 Q_{max}	160.00	161.92	4.19	-0.06
0.25 Q_{max}	100.00	100.85	1.83	-0.17
0.10 Q_{max}	40.00	38.48	0.29	-3.13
Q_{min}	20.00	17.24	0.06	-12.58

Yukarıdaki çizelgede sayaca ait hata değerleri bulunmaktadır. Bu hata değerleri TS 5477 EN 12261 türbinmetre standardına göre değerlendirildiğinde, bu sayaç için Q_t geçiş debisi 0.2 Q_{max} debisidir. Standarda göre

Q_t geçiş debisine kadar %2

Q_t den Q_{max} a kadar olan aralıkta %1 hata toleransı geçerlidir.

Burada sayaç 0.10 Q_{max} ve Q_{min} debilerine izin verilen toleransın üzerinde hata değeri göstermektedir. Söz konusu sayaç min. Debide 20 m³/st debi geçirmektedir.

%12.58 hata değeriyle min. debide 19 bar_g de çalıştığı durumda,

$$\text{Hata} = 20 \text{ m}^3/\text{st} \times 20 \text{ bar} (\text{mutlak}) \times 0.1258 = 50 \text{ Sm}^3/\text{st}$$

Bu hatanın günlük, aylık ve yıllık miktarlarının ekonomik büyüklüğü gaz satışı kuruluşlar açısından kalibrasyon zarureti ortaya koymaktadır.

5.6 Kalibrasyon

Kalibrasyon, belirlenmiş koşullar altında bir ölçüm cihazının gösterdiği değer ile gerçekte göstermesi gereken değer arasındaki farkın belirlenerek kayda geçirilmesi işlemidir. Metrolojik sistemin bir parçası olarak düşünülen kalibrasyon kavramı, bir laboratuvar ortamında kullanılan cihazların daha üst seviye bir laboratuvardaki daha hassas ölçüm yapan cihazlarla karşılaştırılması anlamına gelir.

5.6.1 Kalibrasyonun önemi

Sayaçlar kullanıldıkça içerisinden geçen gazın kirliliği ve kullanılan malzemelerin zamanla deformasyonları sonucu, akışa karşı direnç (basınç kaybı) artar ve sayaç eksik ölçmeye başlar. Ölçüm cihazları kullanılsın veya kullanılmasın ölçüm hassasiyetini koruyamazlar. Dolayısıyla kullanıma sıklığı, depolama ve ölçüm istikrarları göz önüne alınarak istenilen doğruluğun ve hassasiyetin temin edilmesi için düzenli aralıklarla kalibre edilmeleri gerekmektedir.

Ülkemizde ölçmede "ölçmede hukuki düzenin sağlanması" görevi 3516 sayılı yasa ile Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na verilmiştir. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Ölçü ve Ölçü Aletleri Yönetmeliği 9. maddesi b bendinde "Elektrik, su, havagazı, doğal gaz sayaçları ile akım ve gerilim transformatörlerinin muayeneleri 10 yılda bir yapılır" ibaresi yer almaktadır. Ayrıca EPDK Dağıtım ve Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinin 68.Maddesinde Gaz Dağıtım Şirketlerinin, sayaçların ayar ve tamirlerini, yukarıdaki yasaya atıfla, 10 yılda bir defa akredite olmuş laboratuvarlarda yapmaları gerekliliği vurgulanır.

Kalibrasyon işlemi, TURKAK (Türkiye Akreditasyon Kurumu) tarafından onaylı olmuş laboratuvarlar tarafından yapılmaktadır; bu laboratuvarların yeterlilikleri 3 yılda bir bakanlık tarafından denetlenir.

Ölçülen her birim gazın parasal bir değeri olduğu için sayaçların doğru ölçüm kabiliyetleri gerek gazı alan gerekse satan açısından büyük öneme sahiptir. Gaz sayaçlarında negatif (-) yönde ölçüm kaydedilmesi gaz satıcısı aleyhine, pozitif (+) yönde tüketim kaydedilmesi müşteri aleyhinedir. Sayaç büyüklüğü ve kapasitesi

arttığı ölçüde ölçüm hassasiyetinin (doğruluğunun) de önemi artar. Bu sebeple sayaçların doğru ölçüm garantisi kalibrasyon ile sağlanır.



Şekil 5.3 : Diyaframlı sayaç kalibrasyon ünitesi

5.6.2 Sayaçların Kalibrasyon Uygulaması

Gaz kullanıcılarına gazın teslim noktalarında kullanılan sayaçlar G4 ten G4000 tip kapasiteye kadar olabilir.

Gaz sayaçları *sonic nozzle* teknolojisi ile veya başka bir referans yöntemle kalibre edilirler. Bu kalibrasyon üniteleri uluslararası norm ve standartlara göre tasarım ve kontrol edilirler. Örneğin OIML R31 ve R32 (Uluslar arası Ölçüler ve Tartılar Organizasyonu) önerilerine, PTB 29 (Almanya Test Kuruluşu) test talimatlarına, TS 5910 EN 1359 (Türk Standartları), 71-318-AT Gaz Sayaçları Yönetmeliği gibi.

Sayaçlar standardına uygun olarak üç noktadan kalibre edilmektedir. Kalibrasyon sonrası sayaçların hata değerleri değerlendirilir ve tolerans dışı kalan sayaçların mekanizmalarındaki dişliler değiştirilerek hata oranları tolerans aralığına çekilirler.

Büyük kapasiteli (rotorimetre, türbinmetre ve ultrasonik) sayaçların kalibrasyonu ise Master Referans sayaç teknolojisine göre yapılır.

Kalibrasyon işleminde önemli hususlardan biri de izlenebilirliktir; onun için tüm sayaçlar seri numaralarına göre data banklarda kayıt altına alınır ve sonraki kalibrasyonlarda bu değerleriyle karşılaştırma edilir. Sayaçlar koşullandırıcısıyla beraber kalibre edilmelidir.

5.6.3 Türbinmetre kalibrasyonu

Uygun bir şekilde işletilen türbinlerin bakımı periyodik temizlik ve fiziksel incelemeden oluşmaktadır. Ülkelerarası alım satım ölçümü sayaçlarındaki deney eğrilerini tekrar doğrulamak için kalibrasyon gerekli olabilir. Bu işlem standardize edilmiş referans sayaca karşı kalibrasyon ya da doğrudan standartlara (yani gaz için kritik akış nozulları) karşı kalibrasyon şeklinde olabilir. Almanya'da yağ pompalı türbin sayaçlarda kalibrasyon süresi 8 yıl, rulman yataklı sayaçlarda ise 12 yıl olarak belirlenmiştir. Ülkemizde 3516 sayılı Ölçüler ve Ayar Kanunu nedeniyle kalibrasyon süresi 10 sene olarak uygulanmaktadır.

5.6.4 Gaz sayaçlarının belli başlı kalibrasyon yöntemleri

5.6.4.1 Bell prover yöntemi

Sabit basınç altında yer değiştiren gazın hacmini hassas bir şekilde %0.2 hata ile ölçmekte kullanılan primer bir standarttır. Elektronik arabirim yardımıyla yer değiştirme hacmini ve bu yer değiştirme sırasında geçen zamanı ölçer, böylece akış debisi, hassas bir şekilde belirlenir. Burada, gaz kaynağından gönderilen ve sayaçtan geçen gaz, bell(çan gibi ters bir tank) içinde toplanarak sayaç debisi belirlenir [19].

5.6.4.2 Orifis yöntemi

Primer Standart Bell Proverla izlenebilir olan Orifis Sistemi, 3 ana bölümden oluşmaktadır: Basınçlı hava kaynağı, orifislerin yerleştirildiği kısım ve kalibrasyon yapılan cihazın takıldığı kısım. Orifis sisteminde, Bell Prover dan izlenebilirliğini alan ilk iki nolu orifisler ve buna bağlı kalibreli diğer orifisler kullanılmaktadır. Orifislerin kalibrasyonu sonucunda, gazın orifislerden geçişi sırasında değişen basınç farklarına karşı gaz debi değerleri elde edilir ve grafiğe geçirilir. Bu sistem gaz debi ölçümlerini küçük debilerde daha düşük olmak üzere, %0.5-1 belirsizlik ile yapmaktadır. Bu sistemde basınçlı hava belli güçte, debide ve basınçta çalışabilen bir fan tarafından, devir ayarlayıcı ile kullanılarak sağlanır. Sistemde bir çok birbirine

paralel orifis bulunur. Orifisler iki flanş arasına contalar ile destekli olarak yerleştirilir. Diferansiyel manometre bağlantıları, hava giriş yönünde orifisten D (boru çapı) kadar uzaklıktan ve çıkış yönünde D/2 kadar uzaklıktan yapılır. Paralel orifislerden sonra ise kalibre edilecek sayaç montaj edilir [19].

5.6.4.3 Statik pitot tüp anemometreli rüzgar tüneli yöntemi

Bell proverla izlenebilir olan Statik Pitot Tüplü Anemometreler 400-4500 m³/st debi aralığındaki türbinmetre, körüklü sayaç, rotari piston tipi, orifis metre ve sonik nozul gibi sayaçların kalibrasyon ve testlerinde kullanılır.

Hava beslemesi uygun güce ve basınca sahip bir fan ile sağlanır ve frekans ayar cihazıyla debisi kontrol edilir. Pitot tüpü 300x300 mm² kesitli rüzgâr tünelinin ağzından 60 cm geride olmak üzere yerleştirilmiştir.

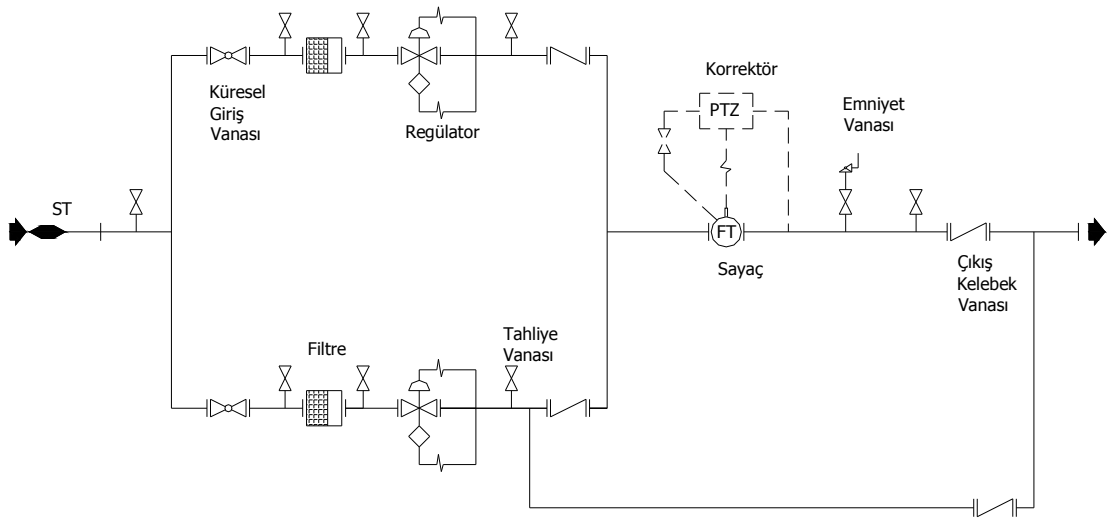
Bu pitot tüpünün ucundaki iki farklı delikten birinden toplam basınç diğerinden statik basınç okunur. Anemometre bu basınçların arasındaki farkı alarak uygun matematiksel yöntemle basınç farkını hıza çevirir. Kesit alanının bulunan bu ortalama hızla çarpılmasıyla debi bulunur [19].

6. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ TASARIMI

Doğru ve hassas ölçüm için sadece ölçüm cihazlarının doğru ve hassas olmaları yetmemektedir. Bununla beraber sayaçların montaj yapılacağı sistemin de (ölçüm istasyonları) iyi tasarlanmış olması gerekmektedir.

6.1 Ölçüm İstasyonları

Genel olarak doğal gaz ölçüm istasyonları EN-12186 [22] şartnamesine göre aşağıdaki Şekil 6.1'deki ana elemanlarla ve düzenekte tasarlanırlar.



Şekil 6.1: Doğal Gaz Ölçüm İstasyonu Modeli

Ölçüm istasyonlarında başlıca aşağıdaki kıstaslara göre tasarlanırlar:

- İstasyon kapasitesi ortalama 20 yıllık yük dikkate alınarak belirlenir.
- Gaz arzının sürekliliği için bakım gerektiren filtre ve regülatör gibi donanımlar yedekli olur.
- İstasyon devreye alınırken ani vana açılması sonrası oluşacak yüksek hızlardan sayacın zarar görmemesi için sayaç hattı için bir by-pass hattı bulunur.
- Sayaç sonrası sayacın ölçüm kontrolünü yapabilmek veya sayacın bulunduğu hattan gazın tahliyesinin yapılabilmesi için uygun çapta tahliye vanası bulundurulur.

- Sayaç çapıyla, istasyon boru çapı aynı tercih edilir.
- Daha hassas ölçüm için, sayaçlar regülatör öncesine konulabilir. Fakat ölçme aralığında ya da minimum ölçüme sorun varsa sayaçlar regülatör sonrasına en az 10 D(çap) uzaklığa konulur.
- 500 mbar'ın altında ve 50 m³/st'ın altındaki istasyonlarda diyaframlı sayaçlar tercih edilebilir.
- Ekonomi açısından türbinmetreler G250 4" ten aşağı kullanılmazlar; G65-G160 arasında rotary sayaçlar kullanılırlar. Türbinmetreler, 4" ile 12" arası tercih edilirler.
- Türbülanslı akışı engelleyen akış doğrultucuları özellikle sistemde türbinmetre kullanılacaksa tercih edilirler.
- Rotary sayaçlar öncesi hem filtre hem de süzgeç kullanılır.
- Rotary sayaç uygulamalarında ani basınç değişimlerinden etkilenmemesi için sayaç sonrası uzun borulama (buffer gibi) olması ya da emniyet vanası bulunur.
- Regülatör sonrası sayacı ve sistemi korumak için tasarım basıncının 1.1 katında tahliye yapacak emniyet vanası (relief) konulur..
- İleri ölçüm teknikleri için bir sistemde iki farklı ilkeyle çalışan sayaçların birbirlerini denetlemek için aynı sistemde kullanılır.
- Düzeltici girişi için, sıcaklık ve basınç değerleri sayacın bulunduğu hattan ve en az 3D uzaklıkta sayaç sonrasında alınır.
- Eğer istasyonun maksimum kullanımıyla, minimum kullanımı arasında sayaçların temin edemeyeceği ölçüm dinamiği olursa, bu durumda yükler ikiye ayrılıp, farklı kapasitede ve hassasiyette iki farklı sayaç da konulabilir.

6.2 Körüklü (Diyaframlı) Sayaçlı Sistemler

Yaygın olarak evsel ve küçük ölçekli ticari ve sanayi uygulamalarında kullanılırlar. 500 mbar ın üzerinde kullanma imkanı olmadığı için EPDK yönetmeliğine göre düzeltici kullanma zorunluluğu yoktur.

EPDK Doğal Gaz İç Tesisat Yönetmeliği ve Teknik Şartnamesi'ne göre aşağıdaki ilkelere göre montajı yapılmalıdır:

- Körüklü sayaçlar duvardan en az 2 cm uzaklıkta olmalıdır; duvarlara temas etmemelidir. Bu amaçla destek saclarına asılmalıdır.
- Nemli ve ıslak mahallere montaj yapılmamalıdır.
- Sayaçlar, merdiven altlarına, yangın anındaki kaçış yollarına, yangın merdivenleri üzerine konulmamalıdır.
- Sayaç ve bağlantı boruları, duman bacaları üzerine yerleştirilmemelidir.
- Merkezi sistem için kullanılan sayaçlar kazan daireleri içine yerleştirilmemelidir.
- Sayaçlar, müstakil yapılarda konut içine konulmamalıdır.
- Ticari abonelerde bina içerisine konulan sayaçların bulunduğu yerler, gıda maddeleri deposu, çöplük vb. Şekilde kullanılmamalı ve patlayıcı ve parlayıcı maddelerden uzak olmalıdır.
- Körüklü doğal gaz sayaçlarının yerden yükseklikleri max. 210 cm, min. 180 cm olmalıdır.
- İ tesisatlarda kullanılacak en büyük körüklü sayaç “G 25” sınıfında olabilir. Daha büyük kapasiteler nedeniyle kullanımı gerekli olan “G 40” ve üzeri sınıftaki sayaçlar körüklü olmaları ekonomik olmaz.
- Sayaçlar elektrik anahtarı, elektrik sayaçları, priz, buat ve zil gibi elektrikle çalışan alet ve cihazlardan en az 15 cm uzağa yerleştirilmelidir.
- Duvara monte edilecek sayaçlar, uygun askı ve destekler üzerine yerleştirilmelidir.
- Yapı dışına konulması gerekli sayaçlar ve vanaları, koruyucu ve korozyona dayanıklı malzemeden olmak kaydıyla bir dolap içine konulabilir.
- Sayaçlar, ilgili görevlilerin kolayca girip denetim yapabilecekleri ve göstergeleri kolayca okuyabilecekleri, ayrıca gazı rahatça kesip açabilecekleri Şekilde aydınlık, havalandırılabilen, rutubetsiz ve donmaya karşı korunan çok sıcak olmayan (max. 35  C) yerlere yerleştirilebilir.

6.3 Rotary Sayaçlı Sistemler

Sayaçlar dengeli olarak, tam terazisinde tesisata bağlanmalıdır. Sayacın tesisata bağlanmasından önce boru tesisatı basınçlı hava ile süpürülerek, kaynak cürufları, kalıntılar temizlenmelidir. Sayaçlar titreşimden etkilenmemesi ve kolay bakım yapılabilmesi için uygun bakım aralıkları (el ve anahtar uzunluğu kadar) bırakılarak

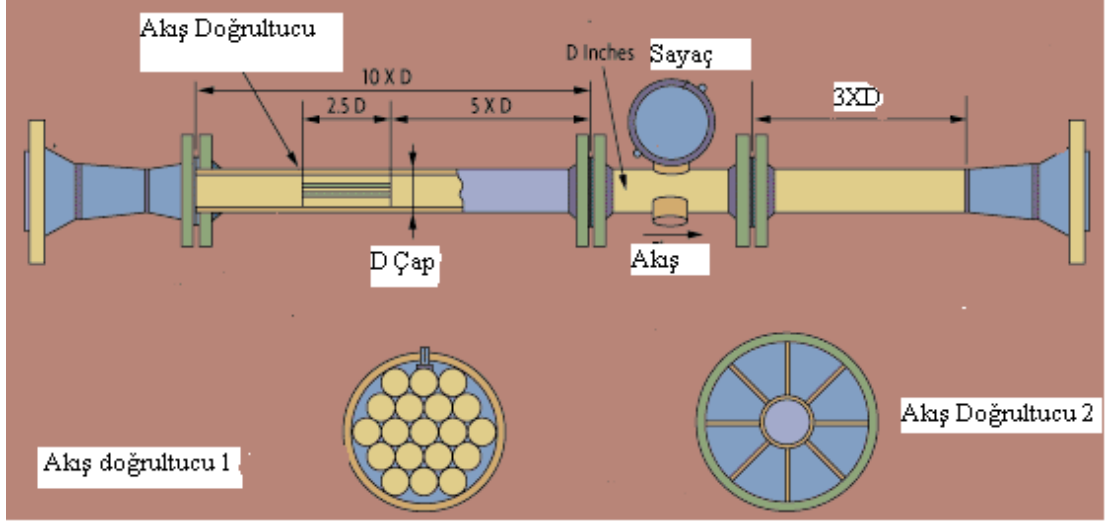
yerleştirilmelidir. G400 ve üzeri gibi büyük olanları beton ya da metal bir kaide üzerine yerleştirilmeli, böylece yağ seviye kontrolü ve değişimi, montaj-demontaj işlemleri rahatlıkla yapılabilecektir. Sayaca, boru bağlantılarından bir kasıntı gelmemesine de dikkat edilmelidir. Bunun için sayacın bir ya da iki tarafına da esnek bağlantılar yerleştirilmelidir.

Sayaçlar yaşam mahallerine çok yakın yerleştirilecekse işletmeden kaynaklanabilecek muhtemel gürültülerden kaçınmak için maksimum kapasitede çalıştırılmamalıdır. Ölçüm ilkesi nedeniyle giriş ve çıkışta belli uzunlukta düz borulamaya gerek yoktur. Sayacın tesisata düşey ve yatay montajı olasıdır. En çok tercih edilen bağlantı düşey ve gaz girişinin üstten olduğu bağlantıdır. Bazı sayaçlarda numarator kafası kendi etrafında 350° dönebildiğinden yatay ya da düşey bağlantının önemi yoktur. Rotari sayaçta bağlantı yönü önemlidir. Bağlantı esnasında sayaç üzerindeki ok yönüne dikkat edilmelidir. Rotary sayaçların çoğu tesisata ters bağlandığında numarator azalarak dönecektir. Sayaç yerleşiminde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar;

- Sıvı ya da partikül birikiminden kaçınmak için tesisatın alt noktasına yerleştirilmemelidir.
- Anlık olarak yüksek debiler elde edilecek ise sayaç çıkışına akış sınırlayıcı orifis yerleştirilmelidir.
- Sayaç öncesinde yağlamalı vana kullanılmamalı. Sayaca giren yağ arızaya neden olabilir.
- Sayacı yerleştirmeden önce hatlar temizlenmelidir ve sayaç öncesinde filtre ve pislik tutucu süzgeç kullanılmalıdır.

6.4 Türbinmetreli Sistemler

Türbinli sayaçların montaj ilkesi EN 12 261 e göre, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 deki gibi olmalıdır. Sayaç, pisliklerin ve yoğuşma sıvılarının sayaçta birikmesini önlemek için hat seviyesinden daha alçak bir noktada tesisata bağlanmamalıdır. G 2500 ve G 4000 gibi büyük çaplar dışında özel bir destek gerekmez. Boru hattı sayacı kolaylıkla taşıyabilir. Borular sayaç üzerinde zorlama oluşturmamalı ve çok iyi temizlenmelidir.



Şekil 6.2: Türbinmetre montaj ilkesi [17].

Sayaç üzerindeki ok yönüyle gaz akış yönü aynı olmalıdır. Ters istikamette de ölçüm yapılabilir fakat yanlış değerlerle karşılaşılır.

Rotorun dönmesi sayaca hafifçe üflenerek kontrol edilmelidir. Rotoru hızlı bir şekilde döndürmek için güçlü bir şekilde üfleme koşul değildir. Normal bir üflemeyle sayaç rahat bir şekilde dönmüyorsa sayacın yataklamasında ya da diğer aksamında bir bozukluk olabilir. Bir sayacı döndürmek için asla bir hava hortumu ya da diğer yüksek basınçlı jetler kullanılmamalıdır.

Türbin sayaçlar kompakt cihazlar olduğundan hem yatay bağlantıya hem de düşey bağlantıya uygundur. Sayaç yerleşiminin yönü, sayaç performansını etkileyebilir. Rotor üzerindeki yerçekimi kuvvetleri yataklardaki yükleri etkileyecek ve rotor üzerinde dönmeye engel bir faktör olacaktır. Sayacın, kalibre edildiği vaziyette tesisata yerleştirilmesi öneri edilir.

Genellikle en uygun yerleşim sayacın yatay konumda olduğu durumdur. Gaz eğer su ve hidrat gibi yoğunlaşabilen maddeler içeriyorsa düşey pozisyon tercih edilmelidir. Bu durumda akış yönü yukarıdan aşağıya doğru olmalıdır.

Sayaçların devreye alınması işlemi çok yavaş yapılmalıdır. Eğer tek bir giriş vanası varsa vana, türbin dönene kadar çok yavaş açılır. Sayacın hareketi numaratordeki yarık plakadan izlenebilir. Hiçbir zaman sayaçtan geçen debi belirtilen Q_{max} değerini aşmamalıdır. Eğer bir giriş bir çıkış vanası varsa önce sayaca kademeli olarak basınç uygulanır. Basınç artışı saniyede 0.3 bar'ı geçmemelidir. Çıkış vanası kapalıyken giriş vanası yavaşça açılır. Basınç dengelendiğinde sayaçtaki dönme gözlenerek

(Qmax geçilmeden) çıkış vanası yavaşça açılır. Veya sisteme by-pass hattı kullanarak gaz verilir, çıkış hattı dolduktan sonra sayaç hattı açılabilir.

Sayaç girişinde ani yön değişimleri (fitting vb) olmamalıdır. Sayaç girişinde düzgün bir uzunluğun olması akışın düzelmesini sağlar. Gerekli uzunluğun sağlanamaması durumunda ve özellikle büyük sayaçlarda sayaca giren akışı laminer hale getirmek için akış doğrultucuları kullanılmalıdır. Türbin sayaçta kullanılan akış doğrultucusu bazı modellerde çepeçevre oluklu kanatçıklardan oluşurken bazı modellerde delikli kevgir şeklindedir (Şekil 6.2). Sayaç girişinin hemen önüne akış kesici eleman takılmamalıdır. Hacim düzeltici cihaz (düzeltici) sensörleri ve sinyal algılayıcı sensörler sayaç çıkışına yerleştirilmelidir.

Yabancı partiküller sayacı ciddi şekilde hasara uğratar. Sayaç yerleşiminden önce tüm akış hattının süpürülmesi zorunludur. Bu süpürme işlemiyle macun artıkları, metal parçacıkları, teflon bant parçacıkları, cüruf, kirlilik ve sayacı bozabilecek ya da çalışmasına zarar verecek diğer kalıntılar atılacaktır. Hatlar temizlendikten sonra sayaç yerleştirilebilir. Girişte gözenek çapı max. 5 mikron olan bir filtre kullanılmalıdır. Sayacın sorunsuz çalışabilmesi için ortam sıcaklıklarının $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olması gereklidir.

Sayaca çok yakın olarak regülatör gibi bir kısma valfi kullanımı önerilmez. Regülatör kullanımının gerekli olduğu yerlerde bağlantı çapının 8 katı kadar sayaç girişinde ya da çapın 3 katı kadar sayaç çıkışında düz bir borulama kullanılmalıdır. Tesisat koşullarına göre ise sayaç giriş ve çıkışında çapın 5 katı kadar düz borulama istenmektedir. Titreşimli bir akış ölçümü zor bir akıştır. Türbin sayaçlar çok hızlı cevap veren cihazlardır fakat akıştaki titreşimlere hala yeterince cevap verememektedir. En yüksek performans titreşimsiz düzgün bir akışta elde edilir. Sayacın en yüksek performansını yakalamak için titreşimler, akış miktarının % 10'undan düşük tutulmalıdır.

Talep edilen debilerin maksimumu ile minimumları arasındaki oran, türbin metrenin ölçüm dinamiği yani 20:1 i geçiyorsa (şehir giriş istasyonlarında yaz ve kış çekişlerinin arasındaki 50-100 misli fark gibi) bu durumda sayaç hattının ve sayacın çapı-kapasitesi düşürülerek minimum değer yakalanır, paralel bağlantılı yeni hatlar ve sayaçlar ilave ederek de maksimum debide elde edilir. Bu durumda akışın miktarına göre, ölçüm hatlarının başına otomatik açılıp kapanacak aktüatörlü vanalar konulmalıdır.

6.5 Sayaç Seçimi

Sayaç seçimi, kullanım özelliklerine, kullanım basıncına, çapa ve debiye bağlı olarak yapılır. Yaygın olarak kullanılan sayaçlardan, körüklü sayaçlar genellikle evsel kullanımlar gibi küçük debilerde kullanılırken, orifis sayaçlar şehir giriş istasyonları gibi yüksek basınç ve büyük debi gerektiren yerlerde kullanılır. Ortalama yük aralıklarında ise çeşitli tipte sayaçlar kullanılır. Bu tüketim aralığına ticari ve bir çok endüstriyel tüketicinin kullanımıyla oluşur. Bu bölgede körüklü sayaç kapasiteleri yetersiz kalır, rotary, türbin ve orifis sayaçlar kullanılır. Ortalama yük aralığında sayaç seçiminde maliyetler, mevcut basınç, gaz talep miktarı, büyük durma-çalışma yüklerinin varlığı ya da yokluğu ve sayaç tesisatı için mevcut alan, belirleyici kriterler olmaktadır. Kapasite başına kurulum ve bakım maliyetleri körüklü sayaçlara göre daha düşük olduğundan bu bölgede rotary ve türbin sayaçlar en çok tercih edilenlerdir. Aynı kapasite için kıyaslandığında rotary sayaçlar körüklülerin 1/4 ile 1/6'sı kadar bir hacme sahiptir.

Rotary sayaçlar işletme karakteristiklerine bakıldığında kapasitelerinin % 5'inden daha düşük yüklerde uzun süre çalışabilirler. Ya da ani etkili kazan brülörleri gibi büyük durma- çalışma yüklerinde çalışabilirler. Bazen körüklü ve rotary sayaçların birlikte aynı tesisatta kullanıldığı olur. Körüklü sayaç küçük tüketimlerin ölçümünde kullanılırken daha büyük tüketimler için rotary sayaç kullanılır. Geniş aralıktaki çekişlerde doğru ölçüm iki farklı sayaç kullanımıyla sağlanır.

Çok küçük şehir giriş istasyonlarında bir ultrasonik ya da türbin sayacın yanına küçük tüketimleri ölçmek için bir körüklü ya da rotary sayaç kullanılır. Daha büyük şehir giriş istasyonlarında ise Ultrasonik ve türbin sayaç ölçmenin doğrulanması için seri olarak birlikte yerleştirilir.

Çizelge 6.1'de görüleceği gibi sistemin talep edeceği özelliklere göre sayaç seçimi yapılır.

6.5.1 Sayaç seçim uygulamaları

Bir ölçüm sayacının gerçekte boyutunun ne kadar olacağı debiye bağlıdır.

Sayaç seçimleri, işletme basıncının p_{max} değerine göre sayacın Q_{min} 'u seçilir, p_{min} da Q_{max} seçilir. Verilen bir referans hacme bağlı olan gaz sağlamadan dolayı, gerçek gaz hacmi yüksek basınçta düşük basınçtakinden daha küçüktür ve daha küçük basınç gerçekte daha küçük sayacı gerektirir.

Çizelge 6.1 Başlıca endüstriyel ölçüm sistemlerinin üstünlükleri ve zayıflıkları [9]

Sayaç Özellikleri	Orifis	Türbin	Rotarimetre	
	$2 < Q_v < 100 \text{ m}^3/\text{st}$	-	++	+++
Fiyat	$100 < Q_v < 1\,600 \text{ m}^3/\text{st}$	+	+++	+
	$Q_v > 1\,600 \text{ m}^3/\text{st}$	+++	+	-
Katı partikül etkisi	+	++	+++	
Yüksek basınçlı sayaç = 100 bar	+++	+	-	
Sıvı taneciklerine duyarsızlık	++	+	-	
Sert parçacıklara duyarsızlık	++	+	-	
Yüksek dinamik oranı	+	++	+++	
Sıcaklığa göre tutum	+++	++	+	
Hızlı debi veya basınç değişikliklerinde tutum	++	+	-	
Zararlı (korozif) gazlara direnç	+++	-	-	
Bloke olma imkansızlığı (akış durması)	+++	++	-	
Doğruluk (hassasiyet)	++	+++	++	
Güvenilirlik	++	++	+	
Gürültü düzeyi azlığı	+++	+++	+	
Montaj (tesis) kolaylığı	+	++	+++	
İşletme kolaylığı	++	+++	++	

+ Orta, ++ İyi, +++ Çok iyi

Örnek olarak;

Akış (referans koşullarında) ölçülen : $1000 \text{ (N) m}^3/\text{st}$

Ayar basıncı : 2 bar

Gerçek Akış Hesaplaması:

$$Q = Q_o = \frac{p_0 \cdot T \cdot z}{p \cdot T_0 \cdot z_0} \quad (6.1)$$

Eğer sıkıştırılabilir ve sıcaklık etkilerin ihmal edersek

$$Q = 1000 \cdot [1/(1 + 2)] = 333 \text{ m}^3/\text{st} \text{ olur.}$$

Gaz ölçüm sayacı $333 \text{ m}^3/\text{st}$ akış miktarını ölçebilmelidir. Bu durumda kullanılacak sayaç G 250' dir. Bu tip sayacın ölçebileceği maksimum gaz miktarı $400 \text{ m}^3/\text{st}$ ' dir.

6.5.2 Gerekli sayaç büyüklüğünü belirleme

Evsel tüketimler için müşteri sayacı belirlenirken tüketim debisini karşılayacak en küçük sayaç seçilir. Ancak beklenen maksimum tüketim debisini aşacak şekilde belirlenir. Muhtemel maksimum tüketim debisi, müşteri cihazlarının debi değerlerinin toplamıdır. Bazı kurumlar tüm cihazların aynı anda ya da hepsinin tam kapasiteyle kullanılmayacağı varsayımıyla bir eş zaman faktörü uygulamaktadırlar. Konut sayaçları için eş zaman faktörü, sayacın beslediği konut sayısı, cihazların tipi ve sayısı ve farklı cihazların kullanıldığı gün içindeki saatlere göre belirlenir. Bu faktöre göre sayaç seçimi pratik değildir. Bu nedenle evsel kullanımlar için birkaç farklı sayaç büyüklüğü standart olarak seçilir. Merkezi sistemle ısınanlar farklı, bireysel ısınanlar farklı sayaçları kullanırlar.

Bir sayacın seçiminde yakıcı cihazların tüketeceği maksimum gaz debisi ve sayaç hattındaki minimum gaz basıncı belirleyici olur.

Sistemin gereksinim duyduğu debi aşağıdaki (6.2) formüle göre belirlenir, buradan bulunacak debiye göre üretici tablolarından sayaç seçilir.

$$Q = \frac{TG}{H_u \cdot p_{mut} \cdot \eta} \quad (6.2)$$

Burada

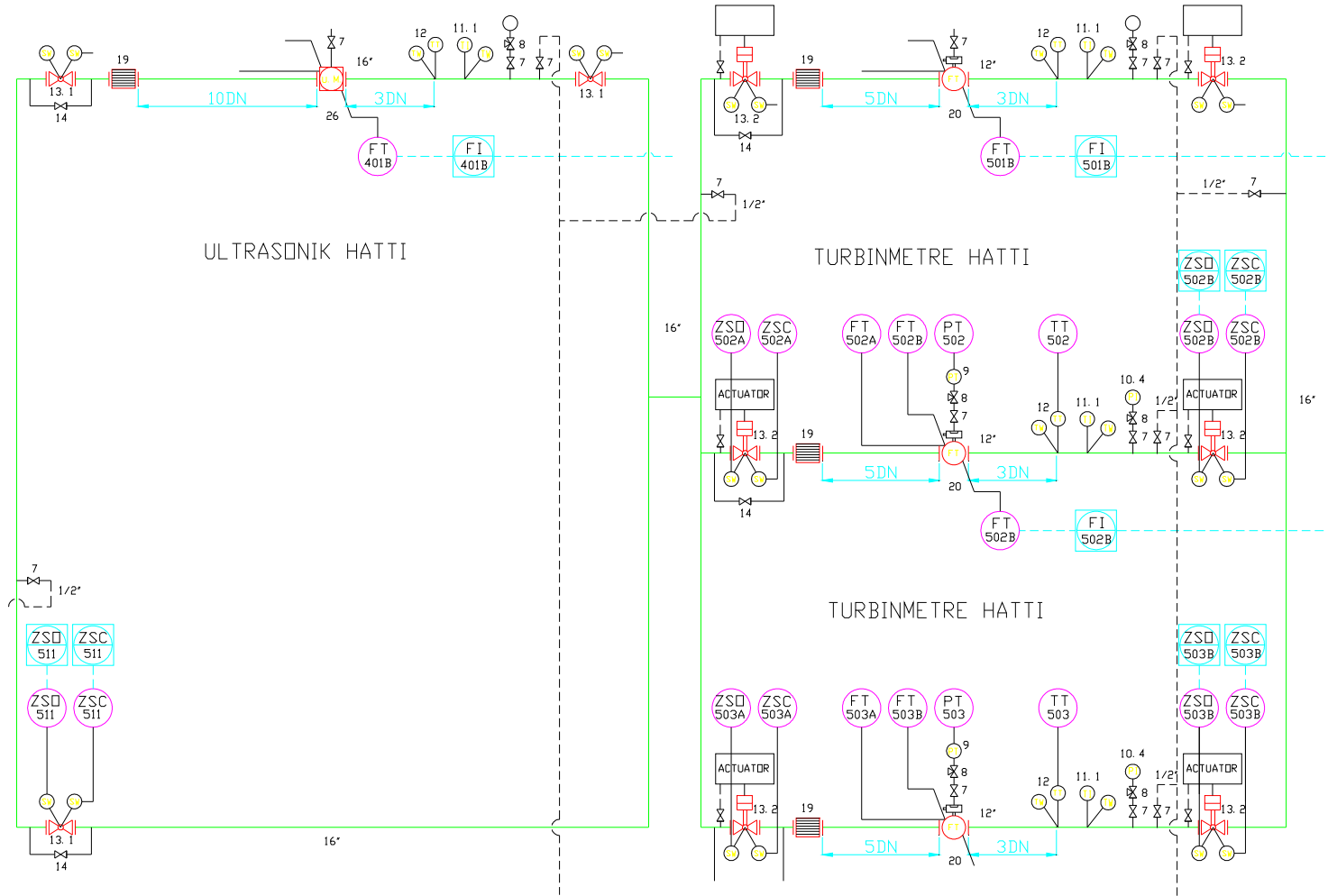
Q = Sayaç göstergesinde okunan debi, m³/st

TG = Tesis edilen ısı güç, kcal/st

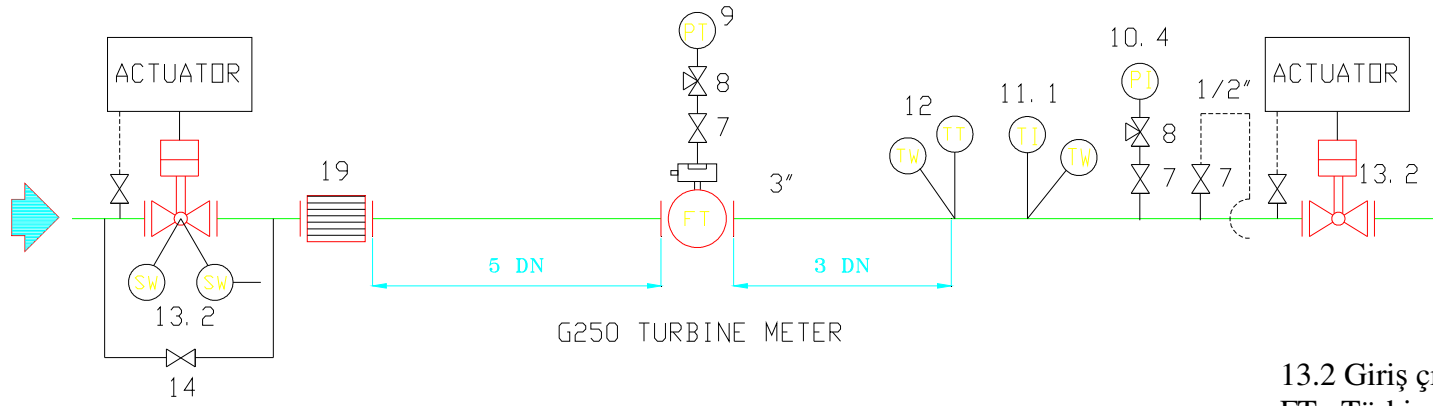
H_u = Gazın alt ısı değeri, kcal/m³

p_{mut} = Mutlak gaz basıncı

η = Yakıcı cihaz verimi



Şekil 6.3: Çoklu ölçüm hatlı bir şehir giriş istasyonunun ölçüm kısmı [23]



- 13.2 Giriş çıkış vanaları
- FT Türbinmetre
- 19 Akış doğrultucu
- PT Basınç duyargası
- TT Sıcaklık duyargası
- PI Basınç göstergesi
- TI Sıcaklık göstergesi
- TW Termowell
- 14, 7, 8 1/2" vanalar

Şekil 6.4 Türbinmetrenin EN standardına göre ölçüm hattı [23]

7. ÖLÇÜM HATLARINDA SAYACIN KONUMUNUN ÖLÇÜME ETKİSİNİN DENEYSEL YOLLA BULUNMASI

7.1 Testin Amacı

Bu testlerde ölçüm istasyonlarındaki ölçüm hatlarının tasarımı esnasında sayaç ile bağlantı elemanları (fittingler) aralarındaki uzaklığın ölçüm hassasiyetine ve sayaç performansına etkisinin araştırılması ve sayaç hata grafiklerindeki farklılıklardan, sayaç öncesi olması gereken düz boru uzunluklarının ve şeklinin ilgili TS ve EN standartlarındaki uzunluklarıyla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Körüklü ve rotari tip hacimsel ölçüm yapan sayaçların hassasiyeti, belirli-sabit bir hacmin yer değiştirmesiyle çalıştıklarından, sayaç öncesi borulamaya ve akış koşullandırmaya bağlı değişimlerdir. Akış hızına göre ölçüm yapan türbinmetre, ultrasonikmetre ve orifismetrelerin hassasiyetleri, akış içindeki düzensizliklere duyarlı olduklarından sayaç öncesi borulamaya bağlıdır. Dolayısıyla en yaygın kullanımı ve test edilmesi kolay olduğundan testlerde türbinmetre kullanılmıştır.

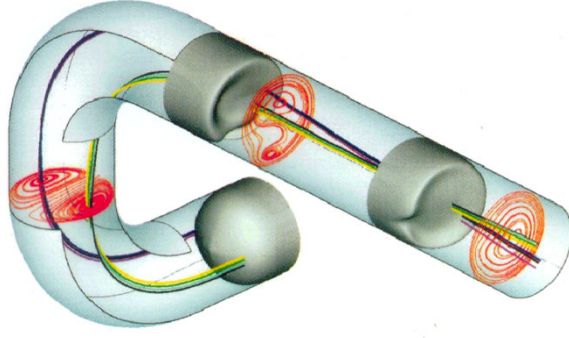
Sayaç sonrası boru tasarımının ölçüm hassasiyetine etkisi olmakla beraber sayaç öncesine göre ihmal edilebilir olduğundan, test yapılma gereği duyulmamıştır.

7.2 Test Hazırlığı

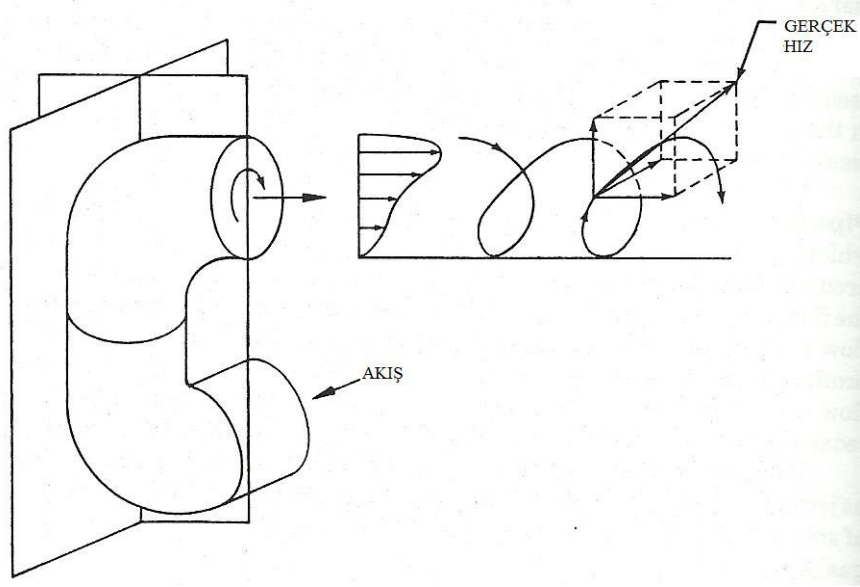
Testler UGETAM'ın Sayaç Test ve Kalibrasyon Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Test Cihazı olarak, I METER Marka Referans kalibrasyon cihazı, % 0.5 hassasiyetle ölçüm yapabilen gelişmiş tipte birbirine paralel 3 adet Rotary sayaç (2 adet G650 ve bir adet G16) ve ilgili donanımlardan oluşan bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 7.1). İlgili Uluslar arası standartlara göre (OIML R31-32 ve PTB 29) atmosferik testlerde ve kalibrasyonlarda akışkan olarak hava kullanıldığından yapılan bu testlerde de akışkan olarak atmosferik koşullarda hava kullanılmıştır.

Üfleyici (blower) sayesinde oluşturulan vakumla hava akışı oluşturulur, bu hava akışı önce test edilecek cihazdan, sonra ise kalibrasyonu yapılmış, hassasiyeti ve doğruluğu kesin olan bu referans düzeneden geçirilir. Hem sayacın hem de düzeneğin ölçüm değerleri, düzeneği kontrol eden bir bilgisayara aktarılır. Bu



Şekil 7.2 : Dirseklerin oluşturduğu akıştaki distorsiyonlar

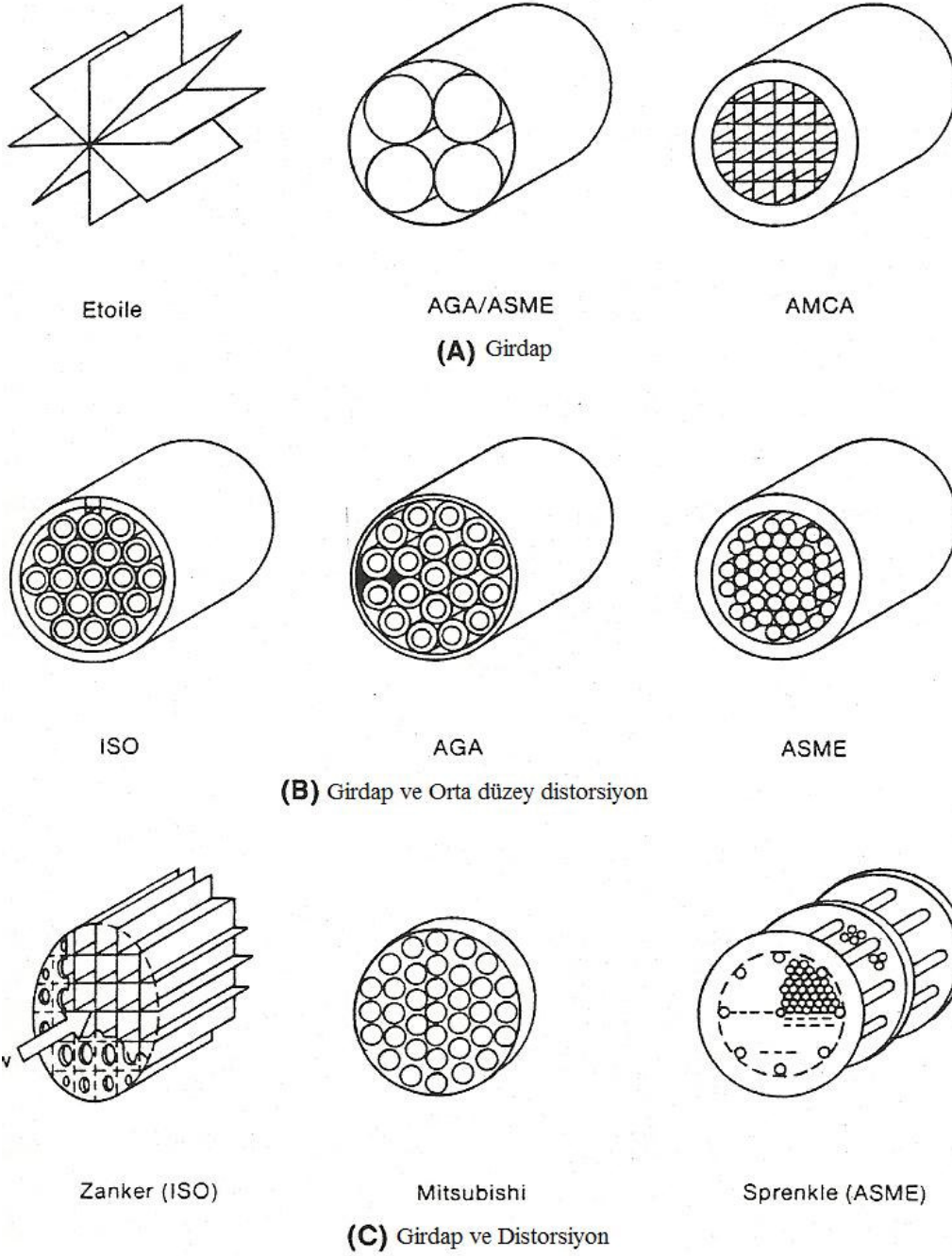


Şekil 7.3 : Dirsekler sonrası akış içindeki hız profili [1]

7.4 Akış Doğrultucular

Boru içindeki akışın hız profilinde oluşan girdap ve distorsiyonlar/düzensizlikler sayaç ölçümünü etkilediklerinden, hız profilini düzeltmek için sayaç öncesine Şekil 7.4'de gösterilen akış doğrultucuları/düzelticileri konulmalıdır.

İmalatçısına göre ve standartlarına göre farklılık gösterirler. Bunların seçimi, akışkanının ortalama tasarım hızına, akışkanın türüne, sayaç ile olan uzaklığına ve sistemin el verdiği basınç kaybına göre yapılır.



Şekil 7.4 : Akış doğrultucuları [1]

7.5 Testin Yapılışı

Pürüzsüz $\Phi 90$ mm çapında U-PVC boru ve fitting kullanılarak, HF çıkışlı G250, 3" çapında, "I Meter" marka, 100 bar çalışma basınçlı, 2008 yılı yapımı, 1080565 nolu Türbinmetre kullanılarak düzenek oluşturuldu. Sayaç çıkışındaki boru uzaklığı (1 mt)

sabit bırakılarak, sayaç öncesi borulama aşağıdaki şekillerde oluşturularak her bir deneyin sayaç performans grafikleri elde edildi.

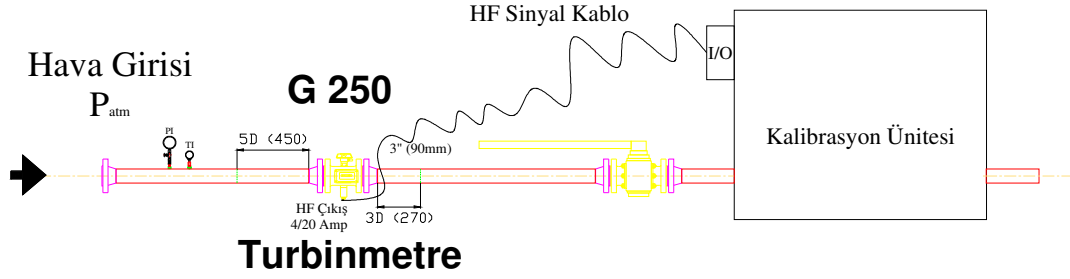
Test sırasında atmosferik koşullardaki hava kullanılmıştır, kalibrasyon test düzeneği üzerinde hava debisi Q_{max} ın %10, %25, %40, %70 ve %100 değerlerinde, 3 er dakikalık sürelerde, toplamda bir test 15 dakikada yapılmıştır. Hızlı sonuç almak için sayaç okumaları HF (yüksek frekans) çıkışından yapılmıştır.

7.5.1 Test -1 : Sayaç öncesi ve sonrası bir metre düz boru kullanılması

TS 5477 EN 12261 Standardına göre olması gereken ölçüm düzeneği Bölüm 6'daki Şekil 6.4'de gösterildiği gibi sayaç öncesi ve sonrası en yakın elemana olan uzaklık minimum boru çapının 5 katı uzunlukta, sonrasında ise boru çapının 3 katı uzunlukta istenmektedir.

Test -1 düzeneğinde (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6), ölçümde hata oluşmaması ve de diğer sonuçlar için referans olması için, sayaç öncesine ve arkasına standardın istediği uzunluklardan (5 x 90 mm = 450 mm) daha fazla olarak 1 m lik düz borunun kullanıldığı iş başlangıcında tasarlanan yerleşimdir. Şekil 7.5'de sayaç öncesinde görülen manometre ve termometreye, atmosfer koşullarını gösterdikleri için ve test ünitesinin kendisinde olduğu için gerek görülmemiştir. Sayaçta oluşan ölçüm değerleri, 4-20 mA akım ile HF(high frequency) sinyalleri olarak kalibrasyon ünitesinin I/O (giriş/çıkış) ünitesine iletildi. Test cihazının kullandığı bir yazılım ile test edilecek sayacın ölçüm değerleriyle, referans sayaçların ölçüm değerlerinin karşılaştırması aşağıdaki test sonuç tablolarıyla yapılmıştır.

Test sonucunda türbinmetrenin hata grafiğinin Bölüm 5'de Şekil 5.1'deki grafik gibi çıkması beklenmektedir. Burada debinin, maksimum debinin %20 si olması durumunda hatanın %2 nin altında kalması, Maksimum debinin %20 - %100 ü arasında olduğu durumda ise olası hatanın %1 altında kalması gerekir. Bu toleranslar dışındaki değerlerle karşılaşırsa, sayacın kalibrasyonunun olmadığı ya da ölçüm sistemlerinin hatalı tasarlandığı söylenebilir. Bu test kapsamında hiç kullanılmamış ve kalibrasyon belgeleri olan türbinmetre kullanıldığı için, çıkacak sonuçlar sayaçla ilgili değil, ölçüm düzeneğiyle ilgili olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 7.5 : Test 1 düzeneği, sayaç öncesine ve sonrasına 1 m lik boru kullanıldı



Şekil 7.6 : Test 1'in düzeneğinin hazırlanışı

Test 1 Sonucu : Kalibrasyon ünitesinin rapor menüsünden alınan, sayacın kimliğini, ölçüm koşullarını ve ölçüm sonuçlarını gösterir test sonuç belgesi Şekil 7.7'deki gibidir. Bu tabloda her bir ölçümde çıkan hata sonuçları liste ve grafik olarak görülmektedir. Ayrıca sayacın kimlik kartı, test standartları ve koşulları verilmiştir. Türbinmetreyle ilgili standardın istediği bağıl hata sınırları ise grafikteki kırmızı çizgiyle gösterilmiştir.

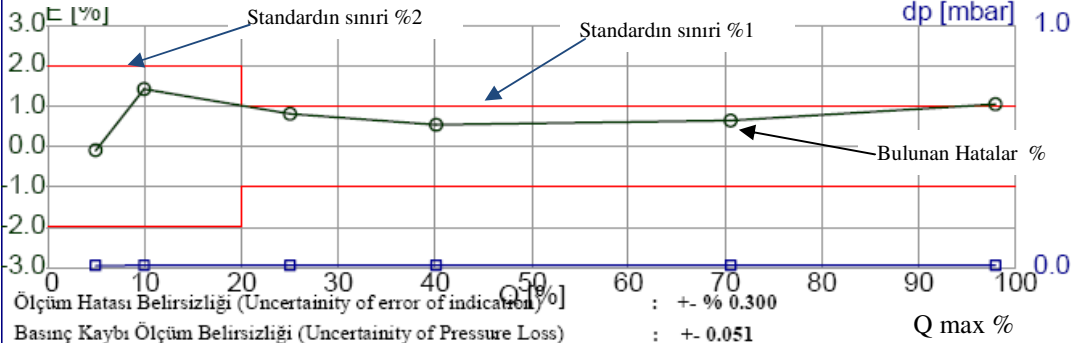
Test Rapor No : TR - 2.539
Test referansı : AT-71/318
Test Ünitesi : UKL-04 G40-1600
Şartlandırma : 20 +/-2 oC, 5 saat

Sayaç tanımı

Ölçüm hatası ve basınç kaybı test sonuçları

Test noktası	Qs [m ³ /h]	Qref. [m ³ /h]	Ölçüm hatası [%]	Basınç kaybı [mbar]	Atm. Basıncı [mbar]	Sıcaklık [oC]
1,00 * Qmax	400,00	395,80	1,04	0,01	1000,00	21,07
0,70 * Qmax	280,00	284,09	0,63	0,01	1000,00	21,13
0,40 * Qmax	160,00	161,44	0,53	0,01	1000,00	21,10
0,25 * Qmax	100,00	101,00	0,80	0,01	1000,00	21,08
0,10 * Qmax	40,00	40,16	1,42	0,01	1000,00	21,06
Qmin	20,00	19,77	-0,10	0,01	1000,00	21,02

Hata %



Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standart uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Testle ilgili açıklama :

Şekil 7.7 : Test 1 Sonuç sayfası, girilen değerler, çıkan sonuçlar liste ve grafik olarak gösterilmiştir.

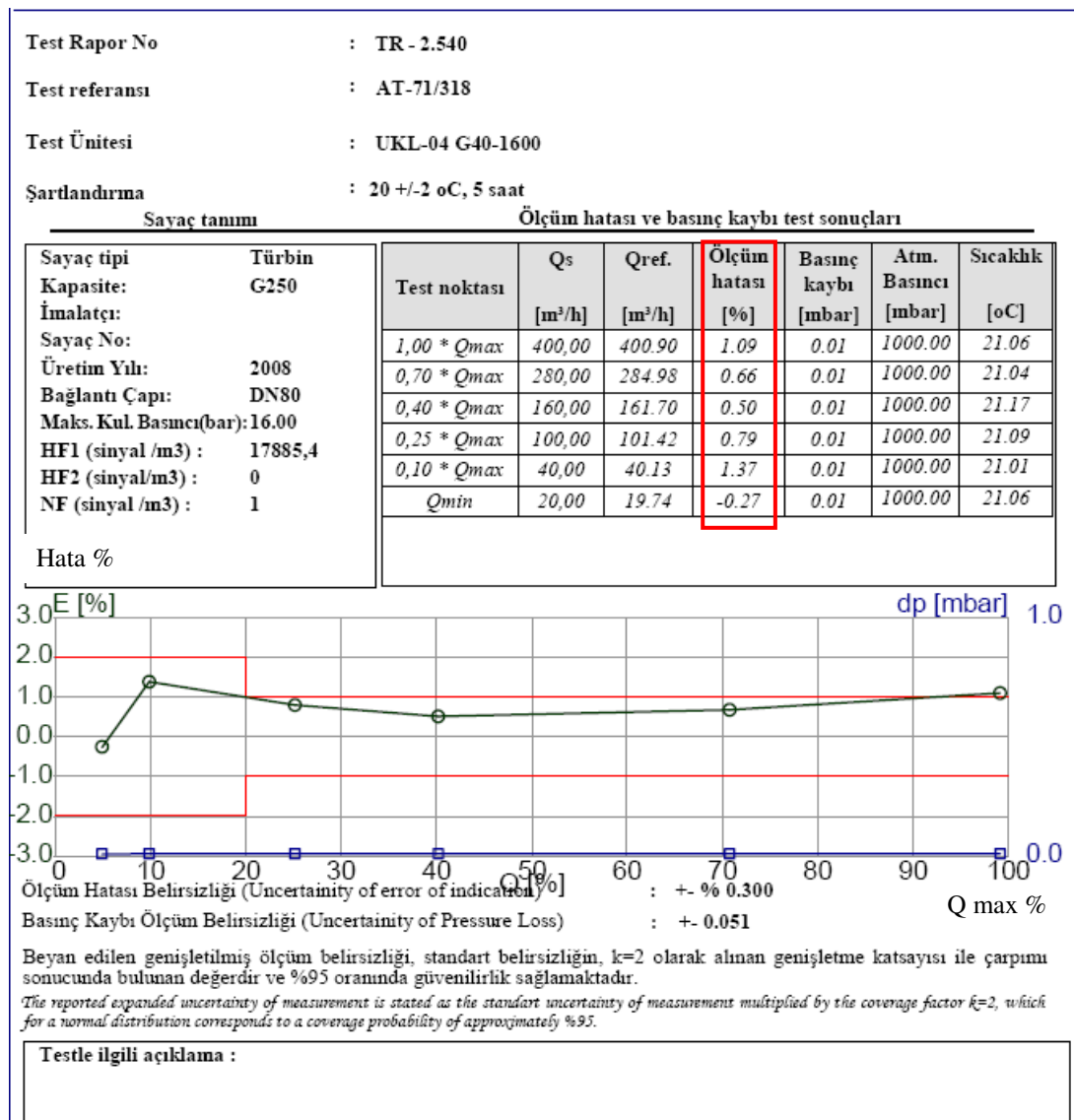
Test-1'in Yorumu: Sayaç öncesi herhangi bir düzensizlik kaynağı olmadığı için, ölçüm sonuçları, kırmızı çizgilerle gösterilen bağıl hata sınırlarının içinde kaldı. Bu da kurulan test düzeneğinin sonraki aşamalar için güvenilir olduğunu

göstermektedir. Grafiğin sağ kısmında görülen sayaç üzerindeki basınç düşümü bu testlerde ihmal edildi.

7.5.2 Test – 2 Bir önceki düzenek kullanıldı

Test 1 deki düzenek, sistemin tekrarlanabilirliğini kontrol için yeniden test edildi.

Test 2 Sonucu: Bir önceki test düzeneği kullanıldığı için çıkan bağıl hata sonuçları birbirine çok yakındır. Grafiğin yatay ekseninde oransal olarak akış debileri, dikey ekseninde ise sayacın referans sayaca göre bağıl hata (%) değerleri görülebilir. Bu hata değerlerinin kırmızı ile işaretlenen sınırlarının altında kalması gerekmektedir.



Şekil 7.8 : Test 2 sonuç tablosu

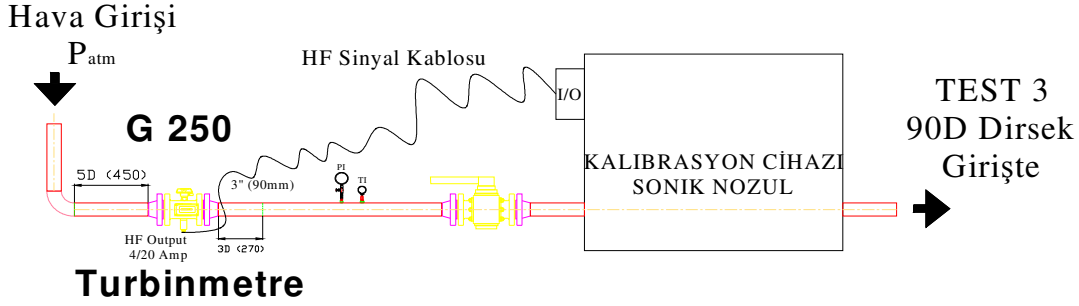
Test 2'in Yorumu: Ölçüm sistemlerinin hepsinde kendi içinden kaynaklanan belirsizlikler vardır, aynı düzende ve aynı koşullarda yapılan her test standart sapma dahilinde farklılık gösterebilir. Bu deneyden de görüleceği gibi bir önceki testle tamamıyla aynı koşullara sahip olmalarına rağmen ortalama %0.3 sapma gözlenmiştir. Bu değer test yapılan cihazın aynı zamanda belirsizlik oranıdır.

7.5.3 Test - 3 : Sayaç girişine çapın 5 misli uzaklığa (45 cm) 90° açılı dirsek konuldu

Sayaç girişindeki süreklilik bozularak sayaçtan 45 cm uzağa 1 adet 90° lik aynı çapta dirsek konuldu ve öncesine de 50 cm lik boru konuldu (Şekil 7.9, Şekil 7.10). Böylece sayaça giren havanın yön değiştirerek ve karışması sağlandı. Ölçüm hattı uygulamalarında çok karşılaşılan bir durumu ifade edecek olan bu test için akış debisi 400 m³/st'den (%100) kademeli olarak 280 m³/st, 160 m³/st, 100 m³/st, 40 m³/st, 20 m³/st'e indirilerek, her noktada bağıl hata ölçümü yapıldı ve bu değerler program tarafından debi-hata grafiğine işlendi. Grafikte işaretlenmiş olan EN ve Türk Standartlarında olması gereken hata sınırı kırmızı çizgi gösterilmiştir.

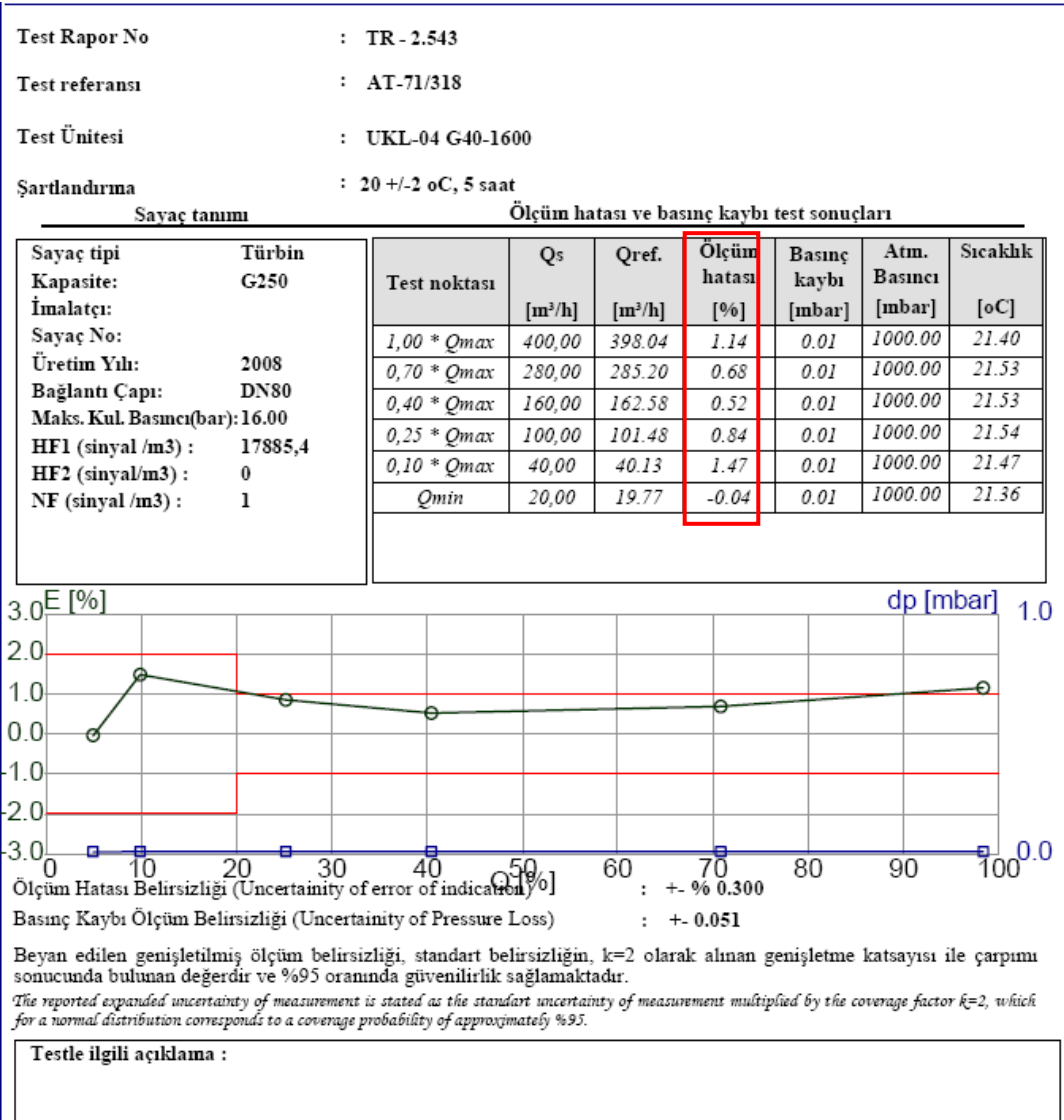


Şekil 7.9 : Test 3 Düzenegi, sayaç girişinde 5D uzaklıkta 90° açılı dirseklili uygulama



Şekil 7.10 : Test 3 düzeneği

Test 3 Sonucu:



Şekil 7.11 : Test 3 Sonucu, %100 debi haricinde diğer bağlı hatalar sınırlar içindedir

Test 3'ün Yorumu: Sayaç girişinde yeteri kadar boru uzunluğu olduğu için, dirsek sonrası oluşmuş olan akıştaki herhangi bir düzensizliğin sayaç öncesi giderilmiş olduğu gözlemlendi. Standardın belirlediği boru uzunluğunun doğruluğu görülmüş oldu. %100 debide ($400 \text{ m}^3/\text{st}$) sayacın bağıl hata grafiğinin öngörülen tolerans olan %1 i aşmasının nedeni, yüksek hızlarda akışın türbülanslı hale gelmesi ve düzensizliğe sayacın olumsuz tepki vermesidir.

7.5.4 Test 4 Sayaç öncesine 5D uzaklığa 1 tane, 10D uzaklığa 1 tane 90° lik dirsek konuldu

Sayaç öncesine 5D uzaklıkta 1 adet 90° lik dirsek, 10D uzaklıkta 1 adet 90° lik dirsek ile beraber denendi. Bu teste ölçüm uygulamalarında çokça kullanılan üç boyutlu akışının sayaç üzerinde oluşturduğu ölçüm hataları görüldü.

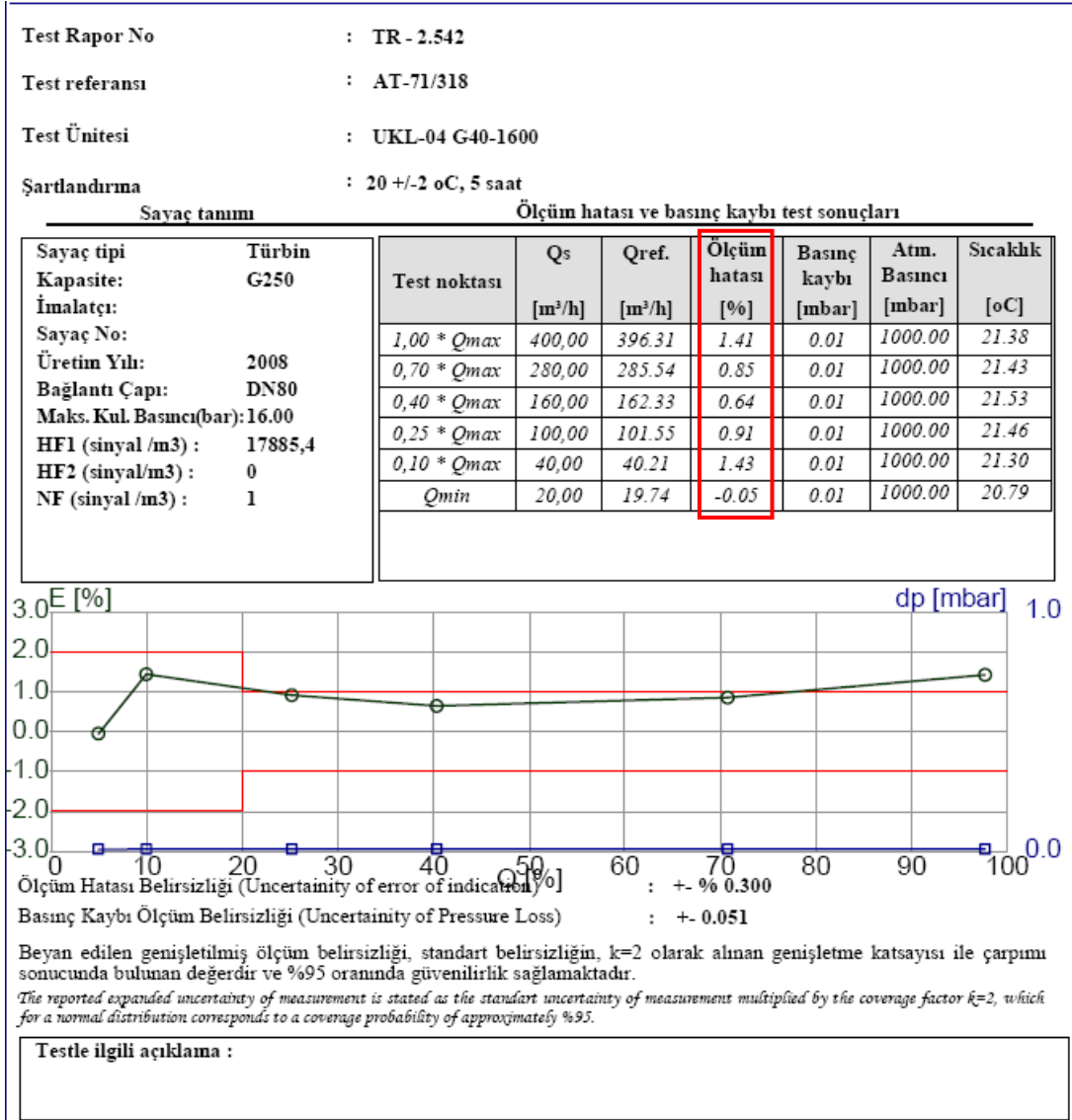
Sayaç öncesi borulamada herhangi bir kayıp-kaçak olmaması için boru ek yerleri bantla sızdırmaz hale getirildi (Şekil 7.12).

Akış debisi diğer testlerde olduğu gibi $400 \text{ m}^3/\text{st}$ 'den başlayarak $20 \text{ m}^3/\text{st}$ 'e kademeli olarak indirildi ve her kademede 3 er dakikalık bağıl hata ölçümü yapılarak, sonuç sayfasındaki tablo ve grafiklere program tarafından işlendi.



Şekil 7.12 : Test 4 Düzenegi

Test 4 Sonucu: Şekil 7.13 de görüleceği gibi, farklı debi değerlerinde oluşan bağıl hata oranları bu düzenekte, akış düzensizliklerinin artması sonucu daha önce yapılan testlere göre artış göstererek sınır değerlere yaklaştı.



Şekil 7.13 : Test 4 Sonucu, yüksek debilerde bağıl hata oranı artmaktadır

Test 4'ün Yorumu: Bir önceki test düzeneğine ek olarak bir dirsek daha gelince, akıştaki düzensizlik arttı ve sayaç hata oranları yükseldi. Ölçüm istasyonlarında sık rastlanan modellerden olduğu için alınacak sonuç önemlidir. Ölçüm hassasiyeti, sayaç öncesi eğer yeterli uzunlukta düz boru konulmuşsa, tasarımdan fazla etkilenmemektedir, ancak yüksek hızlarda(debilerde) bağıl hata oranı sınır değerlerin üzerine çıkmaktadır.

7.5.5 Test 5 Sayaç girişinde 3D uzaklığa 90° açılı dirsek konuldu

Bu testte, sayaç girişindeki düz boru uzunluğu standardın istediği 45 cm in altına düşürülerek 30 cm olarak belirlendi ve sonrasına 50 cm düz boru düşey konumda yerleştirildi. Akış esnasında dirsek sonrası oluşacak akış düzensizliklerinin tekrar düzelme uzunluğu olmadığı için sayaçta oluşacak bağıl hata oranlarının artması beklenmektedir.

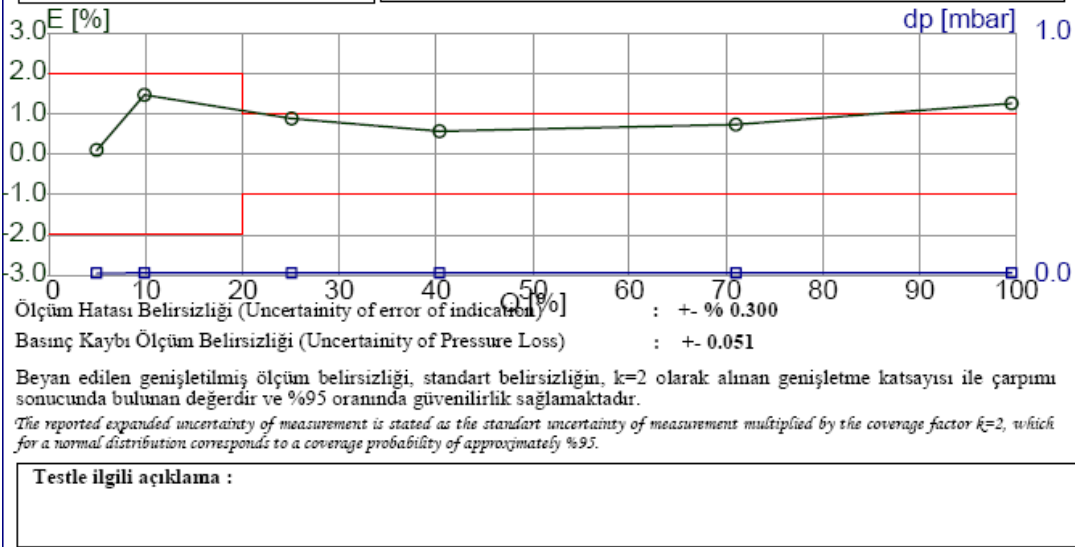


Şekil 7.14 : Sayaç girişe 3D uzaklıkta 90° açılı dirsek testi

Test 5 Sonucu: Diğer testlerde olduğu gibi akış debisi 3 dakikalık zamanlarda yüksekten düşüğe doğru 6 kademedeki, 400 m³/st ile 20 m³/st arasında testler yapılmıştır. Farklı debilerde oluşan bağıl hata oranları bulunarak, gerek tablo gerekse grafiğe kalibrasyon ünitesinin yazılımı tarafından işlendi.

Test Rapor No : TR - 2.544
 Test referansı : AT-71/318
 Test Ünitesi : UKL-04 G40-1600
 Şartlandırma : 20 +/-2 oC, 5 saat

Sayaç tanımı		Ölçüm hatası ve basınç kaybı test sonuçları						
Sayaç tipi	Türbin	Test noktası	Q _s	Q _{ref.}	Ölçüm hatası	Basınç kaybı	Atm. Basıncı	Sıcaklık
Kapasite:	G250		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[%]	[mbar]	[mbar]	[oC]
İmalatçı:		1,00 * Q _{max}	400,00	403.24	1.26	0.01	1000.00	21.63
Sayaç No:		0,70 * Q _{max}	280,00	286.14	0.73	0.01	1000.00	21.66
Üretim Yılı:	2008	0,40 * Q _{max}	160,00	162.45	0.56	0.01	1000.00	21.70
Bağlantı Çapı:	DN80	0,25 * Q _{max}	100,00	101.31	0.88	0.01	1000.00	21.69
Maks. Kul. Basıncı(bar):	16.00	0,10 * Q _{max}	40,00	40.05	1.46	0.01	1000.00	21.21
HF1 (sinyal /m3) :	17885,4	Q _{min}	20,00	19.79	0.10	0.01	1000.00	20.74
HF2 (sinyal/m3) :	0							
NF (sinyal /m3) :	1							



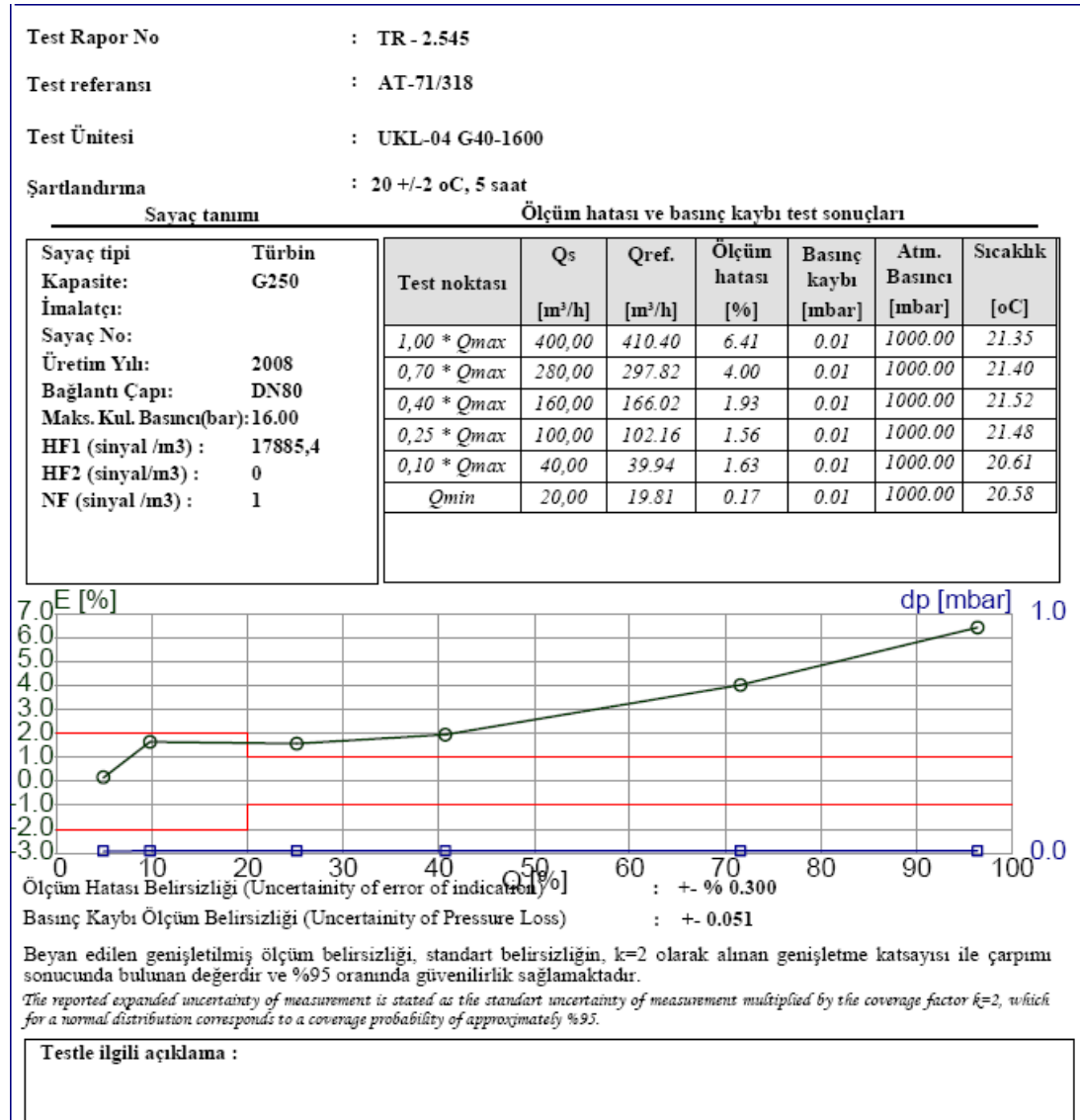
Şekil 7.15 : Test 5 sonucu, yüksek debilerde bağlı hata oranlarında sapma gözleniyor

Test 5 Yorumu: Sayaç girişinde 3xD (24 cm) uzaklığa 90⁰lik bir dirsek konulmasına rağmen, türbinmetre içerisinde bulunan akış doğrultucu sayesinde ve belirgin bir sapma gözlenmedi. Bu da demek oluyor ki, standartta belirlenen uzunluklar, tüm elemanlar için olduğundan, dirsek etkisi açısından 3xD gibi bir uzunluk tasarımlarda kullanılabilir (yüksek hızlar hariç).

7.5.6 Test 6: Sayaç girişine 3D uzaklıkta 5 cm lik eksantrik orifis (kısıtlayıcı) konuldu

Ölçme uygulamalarında çok sık karşılaşılan basınç düşürücü regülatör sonrası yerleştirilen sayaçların performanslarını görmek için bu teste gerek görüldü. Bu test regülatörleri en iyi temsil eden kartondan yapılan 5 cm delik çapına sahip orifis

bir orifisin olumsuz etkisi çok belirgin bir şekilde (düşük debiler hariç) standardın öngördüğü bağlı hata oranlarından çok yüksek olduğu gözlemlendi.



Şekil 7.18 : Test 6 sonucunda, bariz bir şekilde toleranslardan sapma gözlemlendi

Test 6'nın Yorumu: Bu düzenek, çalışma ilkeleri benzediğinden, akışı kısacak regülatörler (veya kontrol vanalarını) temsilen hazırlandı. Sayaç öncesi en fazla saptırıcı etki regülatör ve vanalarda olmaktadır. Böyle bir tasarım uygulamada hiç şekilde kullanılmamalıdır.

7.5.7 Test 7 - Sayaç girişine 5D uzaklıkta 5 cm lik eksantrik orifis (kısıtlayıcı) konuldu

Sayaç öncesi regülatör ve vanaların ölçümü etkilemeyecek mesafe olarak öngörülen 5D lik mesafenin kontrol edilebilmesi için, yine 5 cm'lik kartondan yapılmış orifis plakası sayaç öncesine düz boru sonrası aşağıdaki Şekil 7.19'de görüleceği gibi konuldu.

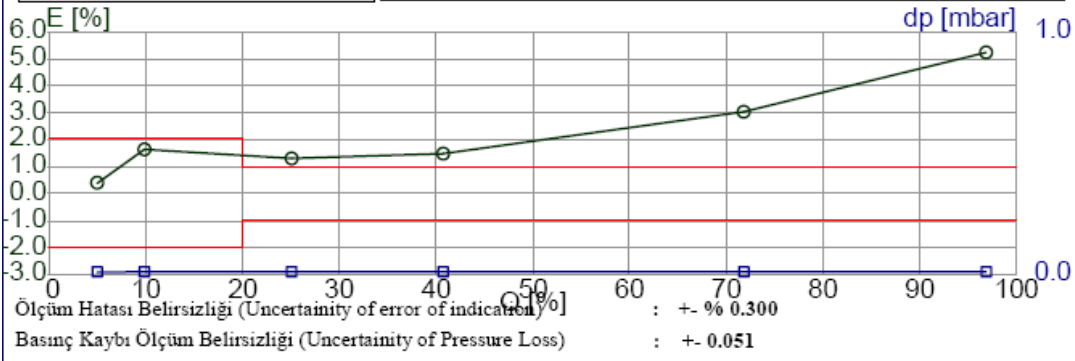


Şekil 7.19 : Sayaç girişinde 5D (45 mm) uzaklıkta orifis uygulaması

Test 7 Sonucu: Yine testler 6 kademe, 400 m³/st ile 20 m³/st arasında 3 dakikalık sürelerde yapılarak, her bir debide oluşan bağıl hata oranları tabloya ve grafiğe yazılım tarafından işlendi (Şekil 7.20).

Test Rapor No : TR - 2.546
 Test referansı : AT-71/318
 Test Ünitesi : UKL-04 G40-1600
 Şartlandırma : 20 +/-2 oC, 5 saat

Sayaç tanımı		Ölçüm hatası ve basınç kaybı test sonuçları						
Sayaç tipi	Türbin	Test noktası	Qs	Qref.	Ölçüm hatası	Basınç kaybı	Atm. Basıncı	Sıcaklık
Kapasite:	G250		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[%]	[mbar]	[mbar]	[oC]
İmalatçı:		1,00 * Qmax	400,00	407.79	5.22	0.01	1000.00	21.44
Sayaç No:		0,70 * Qmax	280,00	296.00	3.01	0.01	1000.00	21.40
Üretim Yılı:	2008	0,40 * Qmax	160,00	165.37	1.47	0.01	1000.00	21.10
Bağlantı Çapı:	DN80	0,25 * Qmax	100,00	101.74	1.28	0.01	1000.00	20.48
Maks. Kul. Basıncı(bar):	16.00	0,10 * Qmax	40,00	40.16	1.63	0.01	1000.00	20.28
HF1 (sinyal /m3) :	17885,4	Qmin	20,00	19.93	0.38	0.01	1000.00	20.67
HF2 (sinyal/m3) :	0							
NF (sinyal /m3) :	1							



Ölçüm Hatası Belirsizliği (Uncertainty of error of indicator) : +/- % 0.300
 Basınç Kaybı Ölçüm Belirsizliği (Uncertainty of Pressure Loss) : +/- 0.051
 Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.
 The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Testle ilgili açıklama :

Şekil 7.20 : Test 7 sonucu, bir önceki test kadar olmasa da toleranslardan sapma gözlemlendi

Test 7'nin Yorumu: Bir önceki düzenekten farkı, orifisin 5D uzaklığında olmasıdır. Bu durumda da sayaç ilk debilerden itibaren hatalı ölçmeye başlıyor. Standardın belirlediği boru uzunluğu sayaç öncesinde olmuş olsa da regülatörler ve vanalar için bu uzunluk (5D) yetmemektedir. Bu uzunluk bu testen de anlaşılacağı üzere en az 10D olmalıdır.

7.5.8 Test 8: Sayaç girişine 1D uzaklıkta 90° açılı dirsek konuldu

Yapılan testlerin sınırlarını görmek ve oluşacak hataların maksimumlarını diğer testlerle beraber yorumlayabilmek için, uygulamada sakıncası herkes tarafından bilinen sayaç öncesinde 1D yani 9 cm uzaklıkta bir 90° lik dirseğin konulduğu test gerçekleştirilmiştir.



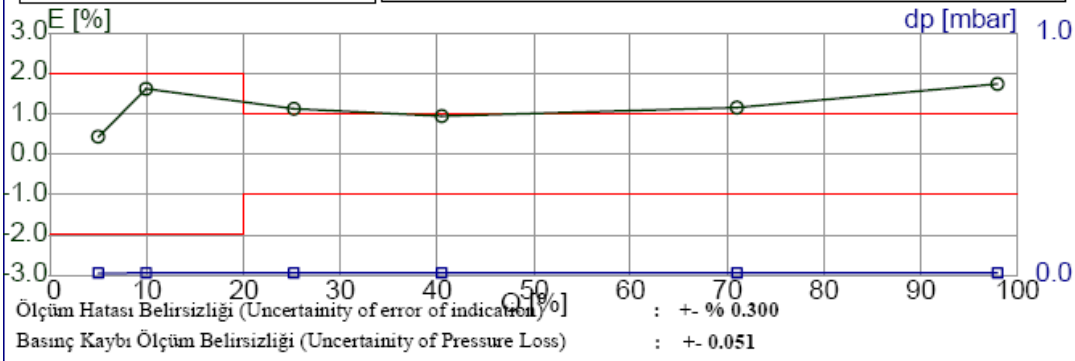
Şekil 7.21 : Test 8 düzeneği, sayaç girişine 1xD uzaklıkta 90° açılı dirsek testi

Test 8 Sonucu:

Yine testler 6 kademede, 400 m³/st ile 20 m³/st arasında 3'er dakikalık sürelerde yapılarak, her bir debide oluşan bağıl hata oranları bulunarak tabloya ve grafiğe yazılım tarafından işlendi ve aşağıdaki Şekil 7.22 oluşturuldu. Maksimum debinin %20 sinin altındaki bağıl hatalar hariç, diğer debilerde oluşan bağıl hatalar standardın öngördüğü sınırın üzerinde olduğu görüldü.

Test Rapor No : TR - 2.547
 Test referansı : AT-71/318
 Test Ünitesi : UKL-04 G40-1600
 Şartlandırma : 20 +/-2 oC, 5 saat

Sayaç tanımı		Ölçüm hatası ve basınç kaybı test sonuçları						
Sayaç tipi	Türbin	Test noktası	Qs	Qref.	Ölçüm hatası	Basınç kaybı	Atm. Basıncı	Sıcaklık
Kapasite:	G250		[m³/h]	[m³/h]	[%]	[mbar]	[mbar]	[oC]
İmalatçı:		1,00 * Qmax	400,00	398.54	1.73	0.01	1000.00	21.42
Sayaç No:		0,70 * Qmax	280,00	287.26	1.15	0.01	1000.00	21.54
Üretim Yılı:	2008	0,40 * Qmax	160,00	163.47	0.94	0.01	1000.00	21.65
Bağlantı Çapı:	DN80	0,25 * Qmax	100,00	102.07	1.11	0.01	1000.00	21.27
Maks. Kul. Basıncı(bar):	16.00	0,10 * Qmax	40,00	40.30	1.61	0.01	1000.00	20.52
HF1 (sinyal /m3) :	17885,4	Qmin	20,00	19.93	0.42	0.01	1000.00	20.79
HF2 (sinyal/m3) :	0							
NF (sinyal /m3) :	1							



Ölçüm Hatası Belirsizliği (Uncertainty of error of indication) : +/- % 0.300
 Basınç Kaybı Ölçüm Belirsizliği (Uncertainty of Pressure Loss) : +/- 0.051
 Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.
 The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately %95.

Testle ilgili açıklama :

Şekil 7.22 : Test 8 sonucu, bütün kademedeki debilerde bağıl hata oranlarında sapma gözlemlendi

Test 8 Yorumu: Sayaç öncesi, standardın belirlediği mesafenin altında olan bir uzunluk olan 1D yeterli gelmediği gözlemlenmiştir. Bu durumda her kademedeki debide standardın sınırının üzerinde bir hatayla karşılaşmıştır. Bu durumda bu sayacın çalışma aralığının büyük bir kısmında hata, toleransın dışında olduğunda böyle bir tasarım uygulamada kullanılmamalıdır.

7.5.9 Test 9: Sayaç girişine 1xD uzaklıkta 90° lik 1 dirsek ve ikinci bir dirsek konuldu

Uygulamada bazen dar alanlardaki tasarımlarda karşılaşılan bu durumu test etmek için, iki tane 90° lik dirsek seri fakat diğer bir boyut dahil edilerek gerçekleştirildi. Bunun için sayaç öncesi 1D mesafeye bir tane, 4D mesafeye de 1 tane 90° lik iki dirsek bağlandı.



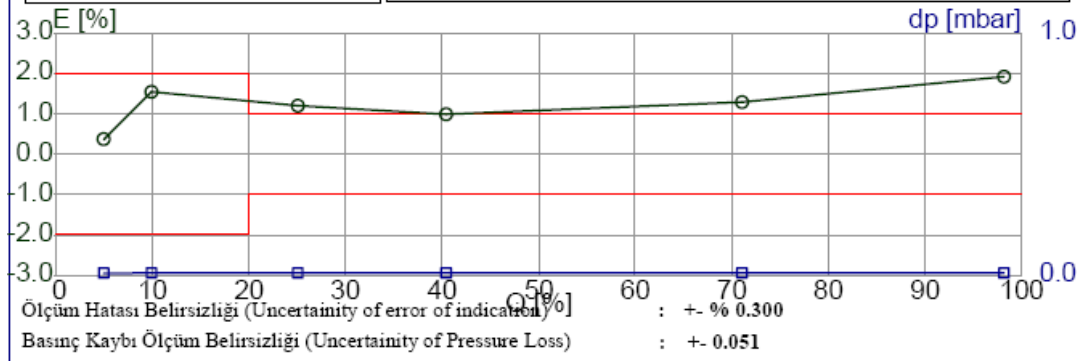
Şekil 7.23 : Sayaç girişine 1xD uzaklıkta 1 adet, sonrasında 24 cm uzaklıkta 1 adet 90° açılı dirsekli uygulaması

Test 9 Sonucu: Testler 6 kademede, 400 m³/st ile 20 m³/st arasında 3 er dakikalık sürelerde yapılarak, her bir debide oluşan bağıl hata oranları bulunup tabloya ve grafiğe yazılım tarafından işlendi ve aşağıdaki Şekil 7.24 oluşturuldu.

Maksimum debinin %20 sinin altındaki bağıl hatalar hariç, diğer debilerde oluşan bağıl hatalar standardın öngördüğü sınırın üzerinde olduğu görüldü.

Test Rapor No : TR - 2.548
 Test referansı : AT-71/318
 Test Ünitesi : UKL-04 G40-1600
 Şartlandırma : 20 +/-2 oC, 5 saat

Savaş tanımı		Ölçüm hatası ve basınç kaybı test sonuçları						
Savaş tipi	Türbin	Test noktası	Qs	Qref.	Ölçüm hatası	Basınç kaybı	Atm. Basıncı	Sıcaklık
Kapasite:	G250		[m³/h]	[m³/h]	[%]	[mbar]	[mbar]	[oC]
İmalatçı:		1,00 * Qmax	400,00	400,43	1,91	0,01	1000,00	21,38
Savaş No:		0,70 * Qmax	280,00	288,03	1,28	0,01	1000,00	21,51
Üretim Yılı:	2008	0,40 * Qmax	160,00	163,35	0,99	0,01	1000,00	21,60
Bağlantı Çapı:	DN80	0,25 * Qmax	100,00	101,49	1,19	0,01	1000,00	21,50
Maks. Kul. Basıncı(bar):	16,00	0,10 * Qmax	40,00	40,27	1,54	0,01	1000,00	20,67
HF1 (sinyal /m3) :	17885,4	Qmin	20,00	19,90	0,36	0,01	1000,00	20,68
HF2 (sinyal/m3) :	0							
NF (sinyal /m3) :	1							



Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.
 The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Testle ilgili açıklama :

Şekil 7.24 Test 9 sonucu, ilk dirsek sonuna ikinci bir dirsek gelirse sapma artıyor

Test 9 Yorumu: Böyle bir tasarım, grafiğin tamamı hatalı bölgede olduğu için uygulamada kullanılmamalıdır.

7.6 Tartışma

Ölçüm sistemleri için her bir sayacın montaj uzaklıkları ayrı ayrı standartlarda belirtilmiştir. Test yapılan türbinmetreler için Türkiye de geçerli olan TS 5477 EN 12261 nolu standarda göre türbinmetrenin öncesi ve sonrasında olması gereken boru uzunlukları Şekil 7.5 ve 6.4'de gösterilmiştir.

Sayaç sonrası yapılacak tasarım değişiklikleri de sayaç üzerinde etkili olduğu bilinmektedir, fakat etkisi girişe göre az olduğundan bu tez kapsamında değerlendirilmemiştir.

Yine bu tez kapsamında ele alınmamış bir diğer uygulama da sayaç öncesine konulacak akış doğrultucularıdır. Bunlar ölçüm hassasiyetine olumlu etki yapmaktadır.

Çıkan sonuçlar:

Yapılan 9 adet deneyin sonucunda:

- Test 3'ün sonucundan da (Şekil 7.11) anlaşıldığı üzere, akışkan hızına bağlı çalışan türbinmetre gibi sayaçlar tam kapasitelerinde kullanılmamalıdır.
- Ne kadar giriş hattı tasarımı kötü olsa da, %40-70 çalışma aralıklarında %1 hatanın altına düşmektedir (Şekil 7.15).
- Düşük hızlarda (düşük debilerde) sayacın yapısından kaynaklanan nedenlerle tasarıma bakılmaksızın hata oranı yüksektir (Şekil 7.7).
- Aynı tasarımda hızlar(debi) yükselince ölçümde sapmalar artmaktadır (Şekil 7.7).
- Standartların belirlediği bu %1 lik hata oranları günümüz koşullarında çok yüksek bir toleranstır. Bu değerin düşürülmesi gerekmektedir.
- 3 boyutlu akışlarda akışkanın karışması sonucu türbülans ve hız profilinde kaymalar oluşmakta bu da hata oranını artırmaktadır. (Şekil 7.3 ve 7.2)
- Standardın verdiği uzaklıklar sadece dirsekler içindir, kesiti daraltan orifis, redüksiyon ve sıcaklık thermowellleri gibi engellerde 5xD uzaklığı yetmemektedir (Şekil 7.19)
- Redüksiyon ve regülatör gibi elemanlarla sayaç arasında en az 10 D uzunluk bırakılmalıdır Şekil (7.20).
- Sayaçların ideal olarak tasarlanma aralığı %30-%80 arası yüklere göre olmalıdır; sayaçlar çok düşük ve çok yüksek debilerde kullanılmamalıdır.
- Türbinmetre standart hataları, belli bir debiden itibaren hep (+) bölgededir, bu da gaz satan tarafa küçük mertebeler de olsa avantaj sağlamaktadır (Şekil 7.7).
- Türbinmetrelerin öncesine eğer ölçüm sistemi elveriyorsa akış doğrultucu muhakkak kullanılmalıdır.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Enerjinin maliyeti gittikçe arttığından, enerjinin satış noktalarındaki ölçüm hatalarının maliyetleri/bedeli de gittikçe artmaktadır. Buna paralel olarak liberalleşen doğal gaz piyasasında, rekabetin kızıştığı, yüksek kârların olmadığı ve tarafların bilinçlendiği bu durumda ölçüm sistemlerinin önemi artmaktadır.

Tez kapsamında yapılan testlerin sonuçlarında da görüleceği üzere büyük tüketimli istasyonlarda kullanılan türbinmetrelerin standart kabul edilebilir hataları %1 dir. Kar marjlarının gittikçe düştüğü ve enerji maliyetlerinin arttığı bir dönemde bu hata oranının düşürülme yöntemleri araştırılmaktadır. Bazı markaların yeni yeni piyasaya sundukları “optimize” türbinmetreler geliştikçe kullanım alanları artacaktır.

Bu noktada hareketle **ölçüm sistemleri:**

- Ölçüm sistemleri iyi tasarlanmış olmalı, sistemden sayaca bir hata iletilmemelidir.
- Büyük ölçekli tüketimlerde, farklı ilkeyle çalışan doğrulayıcı sayaç kullanılmalıdır.
- “Al ya da Öde” anlaşmaları dolayısıyla aylık toplam tüketimler değil, günlük bazda, hatta saatlik bazda tüketimler önemli hale gelebilir, onun için gerçek zamanlı ölçüm yapan sistemler tercih edilmelidir.
- Sayaçların ölçüm hassasiyetlerinin yanında, basınç ve sıcaklığı algılayan cihazlar, kalorifik değeri ve kompozisyonu belirleyen kromatograf gibi diğer faktörlerin de hassasiyetleri vardır, bunların da ölçüm üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir.

Ölçüm sistemlerinin kalbi niteliğindeki **Sayaçlar:**

- Maksimum ve minimum tüketim, işletme basıncı ve koşulları vb. kriterlere göre uygun sayaç seçilmelidir.
- İmalatçı ve ilgili standarda göre montajları yapılmalıdır.
- Sayaçların kalibrasyonlarına dikkat edilmeli, gaz ile kullanım basıncında kalibre edilmiş olmalıdır.
- Sadece sayacın değil, aynı zamanda basınç ve sıcaklık algılayıcıları ve hacim düzelticilerin de kalibre edilmeleri önemlidir.

- Bakım sürelerine dikkat edilmeli, uygunsuz ortamlardan gelebilecek etkilere engel olunmalıdır.

Bu tez kapsamında ele alınan konu veya benzeri konuda deneysel bir araştırma yapılmak istenirse; akış doğrultucuların ölçüme etkisi ve standartların yine üzerinde durduğu, sayaç sonrası borulamanın/tasarımın ölçüm hassasiyetine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Spitzer, David W.**, Flow Measurement, Instrument Society of America, 1996 USA.
- [2] **Datta-Barua**, Natural Gas Measurement&Control, Lohit Datta-Barua, Ph.D., McGraw-Hill, Inc. 1992, New York, USA.
- [3] Nasıl Çalışır - Bilim, Teknoloji ve İcatlar Ansiklopedisi, 1996, Gelişim Yayınları, İstanbul.
- [4] **Satman, A.**, 1985, Doğal Gaz Mühendisliği, Ders Notları, İTÜ.
- [5] **Standing., M.B., Katz, D.L.**, 1942 “Density of Natural Gas”, Trans. AIME.
- [6] **American Gas Association.**, AGA Report No. 8, 1994, Compressibility Factor of Natural Gas and Related Hydrocarbon Gases, USA.
- [7] **GERG**, Avrupa Gaz Araştırma Grubu, “Komple GERG Z Metodu”, 1998, Brüksel, Belçika.
- [8] **TS 10877**, Elektronik Hacim Düzelticileri, 1993, Ankara.
- [9] **UGETAM**, Doğal gazda Ölçüm Esasları, 2009, İstanbul.
- [10] **DVGW- German Technical and Scientific Ass. for Gas and Water**, Gas Billing, 1996, Bonn, Germany.
- [11] **Gaz de France Eğitim Notları**, 1998, Gaz Ölçümü ve Sayaçlar, Paris, Fransa.
- [12] **TS 5910 EN 1359**, Gaz Sayaçları – Diyaframlı, Nisan 1999, Ankara.
- [13] **UGETAM Eğitim Notu**, Doğal gaz Sayaçları ve Çalışma Prensipleri, 2009, İstanbul.
- [14] **EN 12480**. Gas Meters - Rotary Displacement Gas Meters, February 2002, Brussels, Belgium.
- [15] **İGDAŞ İç Tesisat Şartnamesi**, 2006, İstanbul.
- [16] **TS 5477 EN 12261**, Gaz Sayaçları -Türbin Tipi Sayaçlar, Mart 2003.
- [17] **Url-1** <http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/images/08_Fig_10_1.GIF>, 20.12.2009
- [18] **American Gas Association**, Report No:7 Turbine Meters, 1985, Washington, USA.
- [19] **American Gas Association**, Report No:9 Ultrasonic Meters, 1998, Washington, USA.
- [20] **UME Eğitim Notları**, Gaz Akış Ölçümlerinde Temel Prensipler, 2002, Gebze.
- [21] **Karabay, H.**, Sayaç Kalibrasyonunun Önemi INGAS 2007 Sunum, 2007, İstanbul.

- [22] **EN 12186** Gas Supply Systems Gas pressure regulating stations, 2000, Brussels, Belgium.
- [23] **İGDAŞ Tepeören RMS-A Projesi**, PID şeması, 2009, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ



- Ad Soyad:** M. Şükrü ÖZDEN
- Doğum Yeri ve Tarihi:** İzmit, 1972
- Adres:** Natoyolu Cd. Gökhan Sk. Çamlıca Ekşioğlu sitesi F Blok D:22 Çamlıca-Üsküdar-İST.
- Lisans Üniversitesi:** İTÜ Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği
- İş Tecrübesi:**
- 1997-2002 İGDAŞ Etüt Proje Müdürlüğü, Proje Mühendisi
 - 2002-2004 İGDAŞ Ar-Ge Müdürlüğü, Araştırma Mühendisi
 - 2004-2006 PALGAZ-PALEN, Mühendislik Müdürü
 - 2006-2008 Avrasya Teknoloji Mühendislik AŞ, İş Geliştirme-Teklif Hazırlama Müdürü
 - 2008-Devam Ural Teknoloji Mühendislik Ltd.Şti., Şirket Kurucu Ortağı
- Tecrübeleri:**
- Doğal gaz şehir dağıtım uygulamaları, dağıtım/iletim hatları tasarım, uygulama ve fizibilite
 - Gaz ölçümü, faturalandırma, sayaçlar ve uygulamaları
 - Petrol sahası geliştirme EPC projeleri, depolama tankları, yangın ve emniyet uygulamaları, pompalar, kompresörler ve borulama/mekanik montaj