

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139743

LPG TANKI ET KALINLIĞI HESABI VE MALİYET
ANALİZİ

-139743-

Mak. Müh. Hakan ÇOBANOĞLU

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ



Tez Danışmanı : Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK



Prof. Ertuğrul Küçükkaramehmet



Doç. Dr. Ahmet Dursun ALKAN

İSTANBUL, 2003

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 LPG ve LPG’NİN DÜNYA ve TÜRKİYE’DEKİ YERİ.....	2
2.1. LPG'nin Teknik Özellikleri.....	2
2.2. Dünyadaki LPG Tüketimi.....	4
2.3. Türkiyedeki LPG Tüketimi.....	4
2.4. Türkiyedeki LPG ve Diğer Alternatif Enerji Kaynaklarının Fiyat Karşılaştırmaları	5
3 BASINÇLI KAP	8
3.1. Basınçlı Kap İmal Yöntemleri.....	8
3.2. Yapım Malzemeleri.....	8
4 KARBON ÇELİKLERİ VE DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER.....	10
4.1 Kullanılabilecek Malzemeler	10
4.1.1. Test Koşulları.....	10
4.1.2. Malzeme Dayanım Karakteristikleri.....	11
5 BASINÇ TESTLERİ	13
5.1 Genel Kurallar	13
6 AD-MERKBLATTER STANDARDINA GÖRE DİZAYN.....	16
6.1 Operasyon Basıncı ve Sıcaklığı.....	16
6.2 Dizayn Basıncı.....	16
6.3 Dizayn Sıcaklığı.....	16
6.4. Test Basıncı ve Sıcaklığı.....	17
7 ET KALINLIĞI HESABI.....	18
7.1 Malzeme Dayanımı.....	18
7.2 Emniyet Faktörü	19
7.3 Kaynak dikişinin niteliği ve zayıflama katsayısı.....	21
7.4 İlaveler	21

7.4.1	Ezilme İlavesi	21
7.4.2.	Korozyon İlavesi.....	21
7.5	Kalınlık Toleransı	21
7.6	Silindirik Kısımın Et kalınlığı Hesabı	22
7.7	Başlıca Bombe Tipleri	23
7.7.1	Emniyet Faktörü	26
7.7.2	Bağlantı Zayıflama Faktörü.....	27
7.7.3	İlaveler	27
7.7.4	Cidar Kalınlıklarının Belirlenmesi	27
7.7.4.1.	Crown Cidar kalınlığı.....	27
7.7.4.2.	Knuckle Cidar kalınlığı.....	28
7.7.4.3.	Yarı Küresel Bombelerde Cidar kalınlığı.....	29
7.7.4.4.	Knuckle'ın Elastik Burkulmaya Karşı Kontrolü.....	29
7.8	Bombe Et Kalınlığı Hesabı.....	33
8	1750 LT'LİK YATAY SİLİNDİRİK LPG TANKI ET KALINLIĞI HESABI..	34
8.1	1750 lt'lik Yatay Silindirik LPG Tankının Boyutları.....	34
8.2	Kullanılacak Sac Malzemesinin Yapısı	34
8.3	Silindirik Kısımın Et Kalınlığı.....	34
8.4	Bombe Et Kalınlığı.....	37
9.	LPG TANK BOYUTLARI VE ŞEKİLLERİ.....	39
9.1	Tank Boyutu Seçimindeki Kriterler.....	39
9.1.1	Dolum Sıklığı	39
9.1.2	Tüketim Miktarı.....	40
9.1.3	Emniyet Mesafeleri.....	42
9.2	Tank Şekillerinin Belirlenmesindeki Önemli Kriterler	43
9.2.1	Silindirik ve Küresel Tankların Et Kalınlığı Hesabı.....	43
10.	BÜYÜK HACİMLİ TANKLARIN ET KALINLIĞI VE MALİYET ANALİZİ.	45
10.1	Büyük Hacimli Silindirik Tankların Et Kalınlığı Hesabı.....	45
10.2	Büyük Hacimli Silindirik Tankların Sac Maliyetleri.....	47
10.3	Büyük Hacimli Silindirik Tankların Kaynak Maliyetleri.....	48
10.4	Büyük Hacimli Küresel Tankların Et Kalınlığı Hesabı.....	48
10.5	Büyük Hacimli Küresel Tankların Sac Maliyetleri	49
10.6	Büyük Hacimli Küresel Tankların Kaynak Maliyetleri.....	50
11.	SONUÇLAR.....	52
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGE LİSTESİ

A_o	LPG tanklarındaki sıvı yüzey alanı
c_1	Ezilme ilavesi
c_2	Korozyon ilavesi
d	Saatlik tüketim
D_a	Silindirik kısmın dış çapı
d_I	Tank çapı
d_i	Bombe üzerindeki nozul veya açıklık iç çapı
D_i	Silindirik kısmın iç çapı
F_o	Dış yüzey alanı
H	Tank yüksekliği
h_1	Bombenin silindirik kısmının uzunluğu
K_d	Dizayn sıcaklığındaki malzeme dayanımı
K_t	Test sıcaklığındaki malzeme dayanımı
L_1	Tank uzunluğu
L_2	Silindirik kısmın uzunluğu
L_3	Tank ayaklarının birbirine olan mesafesi
L_s	Silindirik kısmın uzunluğu
P_B	Kritik burkulma basıncı
p_d	Dizayn basıncı
P_i	İşletme basıncı
p_t	Test basıncı
r	Boğum yarıçapı
R	Tac yarıçapı
s_d	Dizayn şartlarındaki et kalınlığı
S_d	Emniyet faktörü (dizayn koşullarında)
S_t	Emniyet faktörü (test koşullarında)
s_t	Test şartlarındaki et kalınlığı
V	Tank genişliği
v	Kaynak dikişi zayıflama katsayısı
V_b	Bombe sac hacmi
V_k	Küresel tank sac hacmi
V_s	Silindirik kısmın sac hacmi
x	Kaynak dikişinin boğuma olan uzaklığı
β	Kesit zayıflamasını kompanse eden dizayn faktörü
γ	Özgül ağırlık

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa
Şekil 7.1	Yatay silindirik LPG tankı görünümü.....	18
Şekil 7.2	Yatay silindirik LPG tankının bombe kısmının görünümü.....	23
Şekil 7.3	Düz bombe.....	24
Şekil 7.4	Branşmanlı bombe.....	24
Şekil 7.5	Tac ve boğumun farklı kalınlıkta olması.....	26
Şekil 7.6	Bağlantı zayıflama faktörünün, kaynak dikişinin bulunduğu alana	27
Şekil 7.7	Klopper tipi bombeler için dizayn faktörü.....	30
Şekil 7.8	Korbbogen tipi bombeler için dizayn faktörü.....	31
Şekil 7.9	Elastik burkulma basıncı.....	32
Şekil 8.1	1750 lt'lik yatay silindirik LPG tankının görünümü.....	34
Şekil 9.1	Tankların gaz verme kapasiteleri (Propan; Doluluk %20).....	41
Şekil 9.2	Tankların gaz verme kapasiteleri (Propan; Doluluk %80).....	41
Şekil 10.1	Büyük hacimli silindirik tank görünüşü.....	45
Şekil 10.2	Büyük hacimli küresel tank görünüşü.....	51
Şekil 11.1	Silindirik ve küresel tankların et kalınlıklarına bağlı sac maliyeti	52
Şekil 11.2	Silindirik ve küresel tankların kaynak maliyetleri karşılaştırması.....	52
Şekil 11.3	Silindirik ve küresel tankların toplam maliyet karşılaştırması	53
Şekil 11.4	Büyük hacimli küresel tank görünüşü.....	54
Şekil 11.5	22 m ³ 'lük silindirik tankın kamyon üzerindeki uygulaması.....	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	LPG'nin teknik özellikleri.....	3
Çizelge 2.2	Dünya LPG satışları (Ton).....	4
Çizelge 2.3	Türkiye LPG satışları (Ton).....	4
Çizelge 2.4	Türkiyedeki dökme LPG satışlarının segmentler bazındaki yüzdesel dağılımı	5
Çizelge 2.5	Türkiyedeki büyük tanklı sistemler için yakıt fiyatlarının karşılaştırması.....	5
Çizelge 2.6	Türkiyedeki küçük tanklı sistemler için yakıt fiyatlarının karşılaştırması.....	6
Çizelge 2.7	Türkiyedeki konut sistemleri için yakıt fiyatlarının karşılaştırması.....	6
Çizelge 4.1	DIN 17100'e göre "K" malzeme dayanım değerleri.....	11
Çizelge 4.2	Kullanılabilecek malzemeler ve malzeme test sertifikaları.....	12
Çizelge 6.1	Dizayn sıcaklığı.....	17
Çizelge 7.1	Kazan çeliklerine ait mekanik özellikler	19
Çizelge 7.2	Akma ve sünme dayanımlarına göre emniyet faktörleri.....	20
Çizelge 7.3	Çekme dayanımlarına göre emniyet faktörleri.....	20
Çizelge 7.4	Kalınlık toleransı.....	22
Çizelge 7.5	Silindirik kısmın uzunluğu.....	25
Çizelge 8.1	Erdemir sac özellikleri.....	35
Çizelge 9.1	T.S. 1446 Emniyet mesafeleri.....	42
Çizelge 10.1	Büyük hacimli silindirik tank ölçüleri.....	45
Çizelge 10.2	Büyük hacimli silindirik tankların hesaplanan et kalınlıkları.....	46
Çizelge 10.3	Büyük hacimli silindirik tankların ağırlıkları ve sac maliyetleri.....	47
Çizelge 10.4	Büyük hacimli silindirik tankların kaynak uzunlukları ve maliyetleri.....	48
Çizelge 10.5	Büyük hacimli küresel tankların hesaplanan et kalınlıkları.....	49
Çizelge 10.6	Büyük hacimli küresel tankların ağırlıkları ve sac maliyetleri.....	50
Çizelge 10.7	Büyük hacimli küresel tankların kaynak uzunlukları ve maliyetleri.....	50

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlarken destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Recep Öztürk'e, araştırmalarımnda yardımcı olan Yük. Mak. Müh. Elif Doęa Kundakçioęlu'na, konuyla ilgili araştırma yapan ve bilgilerini benden esirgemeyen başta Mak. Müh. Recep İnan olmak üzere tüm AYGAZ A.Ő. çalışanlarına ve son olarak eşime teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



ÖZET

Dünyadaki LPG tüketim oranı her geçen yıl artmaktadır. Türkiye’de bu artış oranı 2000 yılına kadar dünyadaki artış oranının çok üzerinde seyretmiş ancak 2001 yılı itibariyle yaşanan ekonomik kriz neticesinde bu artış sadece küçük sanayi ve konut segmentlerinde yaşanmıştır. Buna neden olarak büyük sanayi kuruluşlarının, LPG fiyatlarına eklenen yüksek vergilerden ötürü, alternatif yakıtları tercih etmelerinden bahsedebiliriz.

Bu çalışmada ülkemizde giderek önem kazanan ve satışı artan konut, küçük ve büyük endüstri segmentlerinde LPG’nin depolanması amacıyla kullanılan basınçlı kapların üretimindeki et kalınlığı ve maliyet hesabı, Alman AD.Merkblaetter (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter) standardına göre incelenmiştir.

İlk olarak, silindirik kısmının dış çapı 1000 mm ve uzunluğu 1800 mm olan korbogen tipindeki 1750 lt’lik LPG tankının 17,2 bar dizayn basıncı ve 26 bar test basıncındaki et kalınlığı hesaplanmıştır.

Bu et kalınlığı hesabı baz alınarak 22, 35, 50, 70, 115 ve 180 m³’lük silindirik ve küresel LPG tanklarının et kalınlığı hesabı yapılmıştır. Tank hacmi ve şeklinin belirlenmesindeki kriterlerde göz önünde bulundurularak farklı hacim ve şekillerdeki tankların maliyet farklılıkları üzerinde durulmuştur.

Sonuç olarak, tüketim miktarı, saha şartları ve maliyet hesaplarındaki parametrelere bağlı olarak en uygun tank hacmi ve şeklinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: LPG, basınçlı kap, et kalınlığı, maliyet hesabı

ABSTRACT

Every passing year, the rate of world's LPG consumption increases. In Turkey, this rate of increase is much more than the world's consumption rate till 2000, but as a result of economic crisis, this increase is just seen at the small industry and domestic segments after 2000. The reason of this, is that the big industry firms prefer alternative fuel as a result of high tax in LPG prices.

In this study, the wall thickness and cost of the LPG storage tanks are calculated according to the German AD.Merkblaetter standart, which are used at domestic, small and big industrial segments for the purpose of LPG storage.

First of all, wall thickness of korbogen type 1750 lt. LPG tank, which is at 17,2 bar design and 26 bar test pressure is calculated. The cylindrical part's length of this LPG tank is 1800 mm and the outer diameter is 1000 mm.

Based on this wall thickness calculation, the wall thickness of 22, 35, 50, 70, 115 and 180 m³ cylindrical and spherical LPG tanks are calculated. By taking the criteria in to consideration that are used in determining the tank capacity and form of the LPG tanks, it is dwelled upon the differences of cost for LPG tanks which have different capacity and form.

Consequently, it is aimed to choose the most suitable tank capacity and form, with the constraint of the field condition and the consumption quantity, related with the parameters of cost.

Keywords: LPG, pressure vessel, wall thickness, cost calculation

1.GİRİŞ

Günümüzde basınçlı kap tasarımına, montajına, imaline ait birçok standart bulunmaktadır. Bu ise haliyle zorluklar çıkarmaktadır. Tabi ki en ideali dünyada tek bir standardın olmasıdır.

Yurdumuzda en yaygın kullanılan standartlar, Alman AD.Merkblätter (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter), Amerikan standartları (ASME Sec. VIII – D1v.1, ASME Sec.VIII – D1v.2), Türk standartları (TSE) ve Türk Loydu (T.L.) Standartlarıdır.

Bu çalışmada ülkemizde giderek önem kazanan ve satışı artan konut, küçük endüstri ve büyük endüstri segmentlerinde LPG' nin depolanması amacıyla kullanılan LPG tanklarının teknik ve ekonomik analizi incelenmiştir. Bu segmentlerde kullanılan değişik hacimlerdeki LPG tanklarının üretimindeki et kalınlığı hesabı ve maliyet düşürümü hesabı Alman AD.Merkblätter standardına göre incelenmiştir.



2. LPG ve LPG’NİN DÜNYA ve TÜRKİYE’DEKİ YERİ

Sıvılaştırılmış petrol gazı anlamına gelen LPG; petrol ve gaz kuyularından elde edilen ürünün gaz proses ünitelerinde işlenmesi veya rafinerilerde petrolün damıtılması sırasında elde edilen, basınç altında sıvılaştırılan, başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımıdır. Normal şartlar altında gaz halindedir. Basınç altında sıvılaştırılır ve basınç kalktığında derhal gaz haline geri döner. Bu esnada hacmi 25°C’ de yaklaşık 273 kat artar. LPG renksiz, kokusuz, zehirsiz ancak boğucu bir gazdır. Havadan ağırdır ve yere çöker.

L.P. Gazının tarihi ve gelişmesi petrol endüstrisi ile yakından ilgilidir. Benzinin ilk istişal edildiği günlerde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, bu yakıtın içindeki çabuk çözünen maddelerdir. Bu maddeler atmosferik basınçta buharlaşıyor ve sıvı halde tutulamıyordu. Bu gazlar çok çabuk ateş aldığı ve pratik faydası olmadığı için havaya savruluyor veya parlak alevler halinde yakılıyordu.

Yapılan denemeler ve araştırmalar neticesinde, bu gazlardan bazılarının uygun basınç altında sıvı haline geçebileceği ve basınç azaldıkça tekrar buharlaşacağı anlaşıldı. Bu suretle bir sıvı kadar az yer tutan ve kolaylıkla taşınabilen, fakat gaz kadar çabuk yanabilen bir yakıt ortaya çıktı.

L.P.Gazı ilk olarak Amerika’nın Baltimore şehrinde 1816’da kullanılmıştır. Aradan geçen yıllar içinde; Ev, okul, hastane, lokanta gibi yerlerde kullanıldığı gibi, endüstride, metallerin ısıl işlemleri, tavlama, kesme, kaynak ve sertleştirme işlerinde, cam ergitme fırınlarında kullanılmaktadır. Ayrıca taşıtlarda, propan ve bütan mükemmel bir yakıt olup, birçok bakımdan benzinden daha iyi sonuç vermektedir.

2.1. LPG’ nin Teknik Özellikleri

Türkiye’de kullanıma sunulan miks LPG, %70 bütan - %30 propan karışımından oluşmaktadır. Ticari propan, ticari bütan ve karışımlarından oluşan miks LPG’nin teknik özellikleri Çizelge 2.1.’de verilmiştir.

Çizelge 2.1.- LPG' nin teknik özellikleri (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

GENEL ÖZELLİKLER	BİRİM	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	TİCARİ BÜTAN-PROPAN KARIŞIMI
Bileşimi		Başlıca propan, propilen, etan, etilen ve bütandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır.	Başlıca bütan, bütilen ve propandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır	Ticari propan ve ticari bütandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır.
Buhar Basınçları				
20°C	bar	9.2	1.0	3.5
40°C	bar	15.3	2.8	6.6
45°C	bar	17.0	3.4	7.5
55°C	bar	20.4	4.6	9.3
İlk Kaynama noktası	°C	-42	-9	-18
1 m ³ Sıvının Ağırlığı	kg	509	582	547-573
Sıvı Halinde Suya Göre Nispi Yoğunluğu		0.509	0.582	0.560
Gaz Halinde havaya Göre Nispi yoğunluğu		1.5	2.01	1.84
Molekül ağırlığı	g/mol	44.1	58.1	53.5
Gaz Hacmi/Sıvı Hacmi		272	238	248
Alt Isıl Değer	kcal/kg	11,100	10,900	10,960
Tutuşma Sıcaklığı	°C	493-549	482-538	482-549
Üst Isıl Değer	kcal/kg	11,950	11,740	11,800
Maksimum Alev sıcaklığı	°C	1,980	2,008	2,000
%95'inin Buharlaşma Sıcaklığı	°C	-38.3	2.2	2.2
Yanma Ürünleri	%	11.6	12.0	11.9
CO ₂	%	72.9	73.1	73.0
N ₂	%	15.5	15.0	15.1
H ₂ O				
Maksimum Kükürt Miktarı	mg/kg	185	140	140

2.2. Dünyadaki LPG Tüketimi

Dünya LPG birincil enerji tüketimi 2000 yılında %2.1 oranında artmıştır. Aynı yıl içerisinde LPG üretimi %5 artarak 201.9 milyon tona ulaşırken; LPG tüketimi ise %3.8 artarak 198.7 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Dünyadaki LPG üretiminin artışı ABD, Cezayir, Çin ve Hindistandaki üretim artışlarından kaynaklanmaktadır. Cezayir ihracata yönelik olarak üretimini arttırırken, Çin ve Hindistan artan iç talebi karşılamak amacı ile hareket etmişlerdi. LPG tüketiminde ise Çin 1.1 milyon ton artış göstererek tüketimini hızla arttırmaya devam etmişlerdir. Diğer kayda değer tüketim artışları ise Türkiye, Hindistan, Meksika, Polonya, Rusya, Cezayir ve Güney Kore'de yaşanmıştır (AYGAZ A.Ş.).

Çizelge 2.2.- Dünya LPG tüketimi (ton) (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

1997	1998	1999	2000
178,641,000	183,112,000	191,363,000	198,666,000

2.3. Türkiyedeki LPG Tüketimi

2000 yılında LPG tüketiminde Avrupada %5.5 , Türkiye' de %33.3 artış yaşanmıştır. Ülkemizdeki bu artış oran olarak dünyadaki artışın oldukça üzerinde bir değerdir. Türkiye' de LPG sektörü, 2001 yılında ekonomik krizin ve eklenen vergilerle artan fiyatların etkisiyle bir önceki yıla göre %14.5 azalışla 3.8 milyon tonluk tüketim miktarına gerilemiştir.

Çizelge 2.3.- Türkiye LPG satışları (ton) (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

	1999	2000	2001
Tüplü	2,111,614	2,131,872	1,810,341
Dökme	892,954	1,069,139	794,051
Oto	355,166	1,281,663	1,230,030
Toplam	3,362,734	4,482,674	3,834,422

Türkiye' deki LPG satışlarının segmentler bazındaki oranlarına bakıldığında, konut ve küçük endüstri segmentindeki satışların toplam satışlara oranının her geçen yıl arttığına dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.4. -Türkiyeki dökme LPG satışlarının segmentler bazındaki yüzdesel dağılımı
(AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

	1999	2000	2001
Konut	1.9	2.5	4.3
Küçük Endüstri	12.3	15.2	16.8
Büyük Endüstri	85.8	82.3	78.9
Toplam	100	100	100

2.4. Türkiyedeki LPG ve diğer Alternatif Enerji Kaynaklarının Fiyat Karşılaştırmaları

Türkiyede kullanılan alternatif enerji kaynakları arasında, Aralık-2002 itibariyle oluşan KDV hariç fiyat mukayeseleri büyük tanklı sistemler için Çizelge 2.5.'te, küçük tanklı sistemler için Çizelge 2.6.'da ve konut sistemleri için Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. -Türkiyeki büyük tanklı sistemler için yakıt fiyatlarının karşılaştırması
(AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

Yakıt	Isıl Değeri	Verim (%)	Birim fiyatı	TL/1000 kcal	Ucuzluk Sırası
Doğalgaz/Botaş (0,3-50 milyon m ³ /yıl-Kesintili)	8,250 kcal/m ³	92	265,209 TL/m ³	34,942	1
Doğalgaz/Botaş (0,3-50 milyon m ³ /yıl-Kesintisiz)	8,250 kcal/m ³	92	274,030 TL/m ³	36,104	2
Nafta	10,500 kcal/kg	90	354,073 TL/kg	37,468	3
Fuel-Oil 6 (İst-Trakya)	9,200 kcal/kg	82	377,966 TL/kg	50,102	4
Fuel-Oil 6 (İst-Anadolu)	9,200 kcal/kg	82	382,203 TL/kg	50,663	5
%1 Kükürt Fuel-Oil 6 (İst-Trakya)	9,200 kcal/kg	82	420,339 TL/kg	55,718	6
%1 Kükürt Fuel-Oil 6 (İst-Anadolu)	9,200 kcal/kg	82	424,576 TL/kg	56,280	7
Kalorifer Yakıtı (İst-Trakya)	9,700 kcal/kg	84	618,644 TL/kg	75,926	8
Kalorifer Yakıtı (İst-Anadolu)	9,700 kcal/kg	84	622,881 TL/kg	76,446	9
Miks-LPG (Büyük Tank)	11,200 kcal/kg	92	1,083,000 TL/kg	105,105	10
LPG(45'lik Tüp-İst)	11,200 kcal/kg	92	1,444,444 TL/kg	140,183	11
Motorin (İst-Anadolu)	8,620 kcal/l	86	1,056,780 TL/l	142,554	12
Motorin (İst-Trakya)	8,620 kcal/l	86	1,058,475 TL/l	142,782	13
Elektrik (İstanbul)	860 kcal/kwh	99	126,250 TL/kwh	148,285	14

Çizelge 2.6. -Türkiyeki küçük tanklı sistemler için yakıt fiyatlarının karşılaştırması
(AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

Yakıt	Isıl Değeri	Verim (%)	Birim fiyatı	TL/1000 kcal	Ucuzluk Sırası
Doğalgaz/Ankara (İşyeri 2,500 - 5,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/m ³	41,821	1
Doğalgaz/Bursa (İşyeri 3,600 – 36,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/m ³	41,821	1
Doğalgaz/İstanbul (İşyeri 0-50,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/kg	41,821	1
%1 Kükürt Fuel-Oil 6 (İst-Trakya)	9,200 kcal/kg	82	420,339 TL/kg	55,718	2
%1 Kükürt Fuel-Oil 6 (İst-Anadolu)	9,200 kcal/kg	82	424,576 TL/kg	56,280	3
Kalorifer Yakıtı (İst-Trakya)	9,700 kcal/kg	84	618,644 TL/kg	75,926	4
Kalorifer Yakıtı (İst-Anadolu)	9,700 kcal/kg	84	622,881 TL/kg	76,446	5
LPG (Küçük Endüstri Miks)	11,200 kcal/kg	92	1,200,000 TL/kg	116,460	6
LPG (Küçük endüstri Propan)	11,200 kcal/kg	92	1,210,000 TL/kg	117,430	7
LPG (12'lik Tüp-İst)	11,200 kcal/kg	92	1,438,559 TL/kg	139,612	8
LPG (45'lik Tüp-İst)	11,200 kcal/kg	92	1,444,444 TL/kg	140,183	9
Motorin (İst-Anadolu)	8,620 kcal/l	86	1,056,780 TL/l	142,554	10
Motorin (İst-Trakya)	8,620 kcal/l	86	1,058,475 TL/l	142,782	11
Elektrik (İstanbul)	860 kcal/kwh	99	126,250 TL/kwh	148,285	12

Çizelge 2.7. -Türkiyeki konut sistemleri için yakıt fiyatlarının karşılaştırması
(AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları.).

Yakıt	Isıl Değeri	Verim (%)	Birim fiyatı	TL/1000 kcal	Ucuzluk Sırası
Doğalgaz/Ankara (Konut 2,500 - 5,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/m ³	41,821	1
Doğalgaz/Bursa (Konut 3,600 – 36,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/m ³	41,821	1
Doğalgaz/İstanbul (Konut 0-50,000 m ³ /yıl)	8,250 kcal/m ³	92	317,420 TL/kg	41,821	1
Kalorifer Yakıtı (İst-Trakya)	9,700 kcal/kg	84	618,644 TL/kg	75,926	2
Kalorifer Yakıtı (İst-Anadolu)	9,700 kcal/kg	84	622,881 TL/kg	76,446	3

LPG (Konut Propan)	11,200 kcal/kg	92	1,240,000 TL/kg	120,342	4
LPG(12'lik Tüp-İst)	11,200 kcal/kg	92	1,438,559 TL/kg	139,612	5
Motorin (İst-Anadolu)	8,620 kcal/l	86	1,056,780 TL/l	142,554	6
Motorin (İst-Trakya)	8,620 kcal/l	86	1,058,475 TL/l	142,782	7
Elektrik (Konut-İstanbul)	860 kcal/kwh	99	133,035 TL/kwh	156,254	8
Elektrik (Konut-150 kwh Üstü - İstanbul)	860 kcal/kwh	99	199,553 TL/kwh	234,382	9



3. BASINÇLI KAPLAR

Yaklaşık 0.5 atü ve daha yüksek üst basınçlı sıvı ve/veya gazların taşınmasında ya da depolanmasında kullanılan küre, silindir veya koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden oluşan atmosfere kapalı kaplara verilen addır. Bir başka tanım yapacak olursak, basınçlı kap için içten ve dıştan basınca zorlanan kap diyebiliriz. Dış basınç içeride oluşturulan vakumdan veya dış ceketle kap cidarı arasındaki akışkan basıncından kaynaklanabilir. Ancak şunuda belirtmeliyiz ki, basınçlı kaplar için geçerli olan tasarım kuralları nükleer reaktörler, döner veya pistonlu makine silindirleri, pompalar, kompresörler, türbinler v.s.' ye uygulanamaz. Bunlar için özel tasarım kuralları vardır.

Basınçlı kaplar ısıl ve katalitik reaktörler, gazların ve kimyasal maddelerin üründen ayrıldığı separatörler, dramlar, kimyasal maddeye orijinal özelliklerinin tekrar geri kazandırıldığı jeneratörler, eşanjörler, yoğuşturucular v.b. amaçlarla kullanılmaktadır.

3.1. Basınçlı Kap İmal Yöntemleri

Basınçlı kap günümüzde yaygın olarak kaynaklarla üretilmektedir. Eski bir üretim yöntemi olarak ise perçinlemeyi gösterebiliriz. Bu yöntemde levhaların perçinle bağlanacak uçları üst üste bindirilip üzerine bir ek parça konup böylece perçinlenirdi. Ekin sızdırmazlığını sağlamak için gerek perçin kafalarına, gerekse levha uçlarına özel dolgu malzemeleri sürülürdü. Yüksek sıcaklıkta bu malzemeler sızdırmazlığı sağlamada yetersiz kaldıklarından ayrıca ince bir sıra kaynak da çekilirdi. Diğer bir yapım yöntemi ise , nispeten ince cidarlı silindirlerin iç içe geçirilmesidir.

3.2. Yapım Malzemeleri

Basınçlı kap yapımında en yaygın olarak kullanılan malzeme karbonlu çeliklerdir. Bunun yanında bazı özel hallerde demir dışı malzemeler (Ni, Al, v.b.), östenitik çelikler ve ferritik çelikler de kullanılmaktadır.

Korozyonun veya erozyonun karbon çeliğinin direncini aşacağı tahmin ediliyorsa veya karbon çeliğinin ürünü kirletme olasılığı varsa bu taktirde bir çözüm, kabın bu koşullara dayanıklı metal ve metal dışı malzemelerle kaplanmasıdır. Ancak sıcaklığın ve basıncın

yüksek olması halinde kabın tümünü, dayanımı yüksek olan alaşımlı çeliklerden yapmak hem zorunlu hem de ucuz olabilir. Başlıca metalsel kaplama malzemeleri ferritik alaşımlar, nikel, kurşun, metal dışı kaplama malzemeleri donatılı beton, ısı yalıtım malzemeleri, sıcağa dayanıklı malzemeler, kauçuk, cam ve plastiklerdir (Anık,1990).



4. KARBON ÇELİKLERİ VE DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER

Bu bölümde anlatılacak çelikler -10°C 'den Çizelge 7.1. ve 7.2.'de belirtilen değerlere kadar kullanılabilen, sıcak haddelenmiş sade karbonlu ve alaşımli çelik plakaları içerecektir.

4.1. Kullanılabilecek Malzemeler

Aşağıdaki malzemeler kullanılabilir.

DIN 171552 e uygun olarak HIV hariç kazan saçları.

Stahl-Eisen-Werkstoffblatt "Iron and steel materials spesification" 089 ve VdTUV normlarına uygun olan kaynak yapılabilir, düzgün iç yapıdaki çelikler.

Aşağıdaki limitler içinde olmak koşuluyla DIN 17100'a uygun olan genel mühendislik çelikleri (Çizelge 4.1.). U St 37-2 çelikleri (et kalınlığı $s=12$ mm için.)

R St37-2, R St37-2 Cu 3, St37-3, St44-2, St44-3 ve St52-3 çelikleri (kab iç çapı ve servis basıncı (bar) çarpımı $D_i.p=20000$ ve dizayn sıcaklığı $t_d=300$ °C için.

Uzman raporuyla belirlenen 1. sınıf çelikler (Anık,1990).

4.1.1. Test Koşulları

Testler yürürlükteki standartlara uygun olmalıdır. Kazan saçları DIN 17155'de belirtilen şekilde test edilmelidirler. Çentik darbe deneyi mutlaka yapılmalıdır.

Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 089 ve VdTUV normlarıyla verilen malzemeler, aynı normlarda belirtildiği şekilde test edilmelidirler.

Genel yapı çelikleri, çalışma sıcaklığında DIN 17100' da verildiği gibi test edilmelidirler.

Uzman raporuyla belirlenen 1. sınıf çelikler, bilir kişi raporlarında verildiği şekilde test edilmelidirler.

5 mm'den ince parçalarda çentik darbe deneyi gerekli değildir.

4.1.2. Malzeme Dayanım Karakteristikleri

Kazan saçları için DIN 17155' te belirtilen değerler kullanılır.

Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 089 ve VdTUV normlarında belirtilen çeliklerin değerleri Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 089'dan alınabilir.

Genel mühendislik çelikleri için aşağıdaki çizelge uygulanır. (DIN 17100)

Çizelge 4.1.- DIN 17100'e göre "K" malzeme dayanım değerleri (AD.Merkblätter,1997).

Çelik Cinsi	K Değerinin Sıcaklıkla Değişimi K [N / mm ²]				
	20 °C	100 °C	200 °C	250 °C	300 °C
USt 37 - 2	205	187	161	143	122
RSt 37 - 2					
RSt 37 - 2Cu 3					
St 37 - 3					
St 44 - 2	235	216	187	177	147
St 44 - 3					
St 52 - 3	315	254	226	206	186

Standartlarda ve yukarıdaki çizelgede verilen K değerleri için, 50°C kadar 20°C deki, 120°C kadar 100°C deki değerler alınabilir, ara değerler ise en yakın iki değer arasında lineer interpolasyonla bulunabilir.

S=1,5 emniyet faktörü, yukarıdaki K değerlerinden dizayn hesaplarına geçilirken kullanılır.

Çizelge 4.2.- Kullanılabilecek malzemeler ve malzeme test sertifikaları
(AD.Merkblätter,1997).

ÇELİK CİNSİ	MALZEME KULLANIM LİMİTLERİ		DIN 50049'a GÖRE MALZEME TEST SERTİFİKASI CİNSİ
	D.P≤20000	D.P>20000	
DIN 17155 normlular	Evet	Evet	HI, HII, 3 . 1 B , 3 . 1 C
STAHL – EISSEN WERKSTOFFBLATT 089'a göre	Evet	Evet	SIE 26, SIE 29, 3 . 1 B , 3 . 1 C
USt 37 - 2	Evet s ≤ 12 mm	Hayır	2 . 2
RSt 37 – 2 RSt 37 – 2 Cu 3 St 44 – 3	Evet		
St 37 – 3 St 44 – 2 St 52 - 3	Evet	Hayır	3 . 1 B
Diğer Çelikler	Uzman Raporlarına Göre		

5. BASINÇ TESTLERİ

5.1. Genel Kurallar

Basınç testleri genellikle sıcaklığı 40°C'ye kadar olan su ya da diğer, herhangi bir tehlike oluşturmayan sıvılarla yapılır. 25°C sıcaklığa kadar kerosin'e de izin verilebilir. Pnomatik testler UVV (Pressure vessels VBG17)' e göre yapılır.

Basınçlı kap birkaç ayrı bölmeden oluşuyorsa, basınç testi her bir bölmeye ayrı ayrı uygulanmalıdır. İki bölme arasındaki duvar, bölmelerdeki basınçların farkına göre imal edilmişse ve işletme sırasında bu duvarın hiçbir zaman tek bir taraftan basınca maruz kalmayacağı garanti ediliyorsa bu uygulamadan vazgeçilebilir.

Test hazırlama ve uygulamada kalifiye elemanlar kullanılmalıdır.

Deney sırasında kap, tamamen su ile doldurulmalı ve çevresine zarar vermeyecek şekilde saportlanmalıdır.

Deney sırasında kabın dış cidarları kuru olmalıdır. 0°C'den düşük çevre sıcaklıklarında deney ancak sıvının, sıvı doldurma hortumlarının ve basınç ölçüm cihazlarının donmasına karşı yeterli tedbir alınması şartıyla yapılabilir.

Test basıncı önce işletme basıncına çıkartılır, durumu tetkik ettikten sonra yavaşça test basıncına kadar test prosedürüne uygun şekilde yükseltilir. Deneysel gerilme analizi yapılması gereken durumlarda , gerilme analizinden önce kap sıvı ile doldurulmamalı ve basınca maruz bırakılmamalıdır.

Basınçlı kabın testi, kabın uygulamada yerleştirileceği pozisyonda yapılamıyorsa bu durum hesaplarda göz önüne alınmalıdır.

Flanş, kapak, cıvata, conta gibi yardımcı elemanların basınç testine dayanıp dayanamayacakları incelenmelidir.

100 bar'ın üzerinde hidrolik testlerde, pnomatik testlerde ve sıvı sıcaklığının 50°C'nin üzerine çıktığı durumlarda emniyet açısından aşağıdakilere uyulmalıdır.

Test bir odada, yalnız test personeliyle yapılmalıdır. Uygun oda yoksa belli bir emniyet mesafesi içine kimse girmemelidir. Gözlemler bu mesafenin dışından yapılmalıdır. Tankın gözle direkt kontrolü, maksimum basınçta yeterli bir süre bekledikten sonra ve basınç kabaca işletme basıncına düşürüldükten sonra yapılmalıdır. Test sırasında çekiçle hiçbir müdahalede bulunulmamalıdır. Sızdıran ya da çatlamış bölgelere yaklaşılmamalıdır.

Test çizimlerde gösterilen test basıncında yapılmalıdır.

En yüksek test basınçları aşağıda verilmiştir.

Çelik, alüminyum ve diğer nonferrous dövülebilir metallerde;

$$p_t = 1,3 \cdot p_i$$

Dökme çelik basınçlı kaplarda;

$$p_t = 2,0 \cdot p_i$$

Lamel grafitli dökme demirden imal edilen basınçlı kaplarda;

$$p_t = 2,0 \cdot p_i$$

Küresel grafitli dökme demir, dövülebilir dökme demir için;

$$p_t = 2,0 \cdot p_i$$

Tüm testlerin yapılması sırasında dikkat edilmesi gereken çok önemli diğer bir konu da şöyle özetlenebilir.

İşletme basıncından daha yüksek olan test basıncının, basınçlı kap cidarlarında oluşturacağı gerilme, malzemenin test sıcaklığındaki malzeme dayanımının her malzeme için verilen; "test sırasındaki emniyet faktörüne" bölünmesiyle elde edilen değeri aşmamalıdır. Yani genel

formülde p_d dizayn basıncı yerine p_t test basıncı, dizayn sıcaklığındaki K_d malzeme dayanımı yerine test sıcaklığındaki malzeme dayanımı K_t , dizayn emniyet faktörü S_d yerine test emniyet faktörü S_t konularak bulunan “ s_t ” test şartlarındaki minimum et kalınlığı, dizayn şartlarında hesaplanan “ s_d ” gerçek et kalınlığını geçmemelidir. $s_t > s_d$ çıkıyorsa, malzemenin test koşullarına dayanamayacağı anlaşıldığından s_d test şartlarına göre arttırılmalıdır. Bu dizayn sırasında gözönünde tutulması gereken önemli bir kriterdir (AD.Merkblatter,1997).



6. AD-MERKBLATTER STANDARDINA GÖRE DİZAYN

6.1. Operasyon Basıncı ve Sıcaklığı

Basıncılı kabın işletme esnasında maruz kaldığı basınç ve sıcaklıklardır.

6.2. Dizayn Basıncı

Genelde bu basıncın saptanmasında, izin verilen en yüksek işletme basıncı baz alınır. Kap içindeki akışkanın neden olduğu ilave statik basınç toplam basıncı %25' ten fazla arttırmıyorsa ihmal edilebilir. Bunun üzerindeki arttırmalarda akışkan statik basıncının %5' lik kısmı düşürülerek, işletme basıncına eklenir.

Cidar aynı anda iki yüzünden birden basınca maruz kalıyorsa, dizayn basıncı olarak basınç farkları alınmamalı, her iki basıncın etkileri ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır.

Cidarın her iki yüzünden basınç ve vakuma maruz kaldığı durumlarda ise, dizayn basıncı, basınç farkı olarak saptanır. Bu kural aynı zamanda test basıncının belirlenmesinde de uygulanır. Eğer vakumun güvenilir bir limiti yoksa, dizayn basıncı , asıl basıncın 1 bar arttırılmasıyla bulunur.

Cidarlardaki gerilmeleri %5' ten fazla arttıran ek statik yükler (Rüzgar, kar yükleri, sapotlardan gelen yükler v.s.) tüm çizimlerde belirtilmelidir.

Ek statik yüklerin, basınçlı kapları hayati olarak etkilediği yerlerde, gerilme analizleri yapılmalıdır.

6.3. Dizayn Sıcaklığı

Malzeme seçimi ve dizayn gerilmesinin saptanması, işletme sırasında servis basıncının etkisinde beklenebilecek en yüksek cidar sıcaklığına bağlıdır. Isıtılmalı kaplarda dizayn sıcaklığı izin verilen en yüksek işletme sıcaklığına bir ısıtma payı eklenerek bulunur. Ateş ile direkt temas etmeyen cidarlarda, dizayn sıcaklığı kap içindeki akışkanın en yüksek

sıcaklığına eşit alınabilir. Isıtılmalı cidarlar için dizayn sıcaklıkları aşağıda belirtilmiştir. Diğer durumlar da hesap ya da ölçüm ile saptanmalıdır.

Eğer işletme sırasında en yüksek cidar sıcaklığı +20 °C' nin altında ise dizayn sıcaklığı +20°C'ye eşit alınır. – 20°C' nin altındaki akışkan sıcaklıklarında AD-Merkblatt W10 uygulanır.

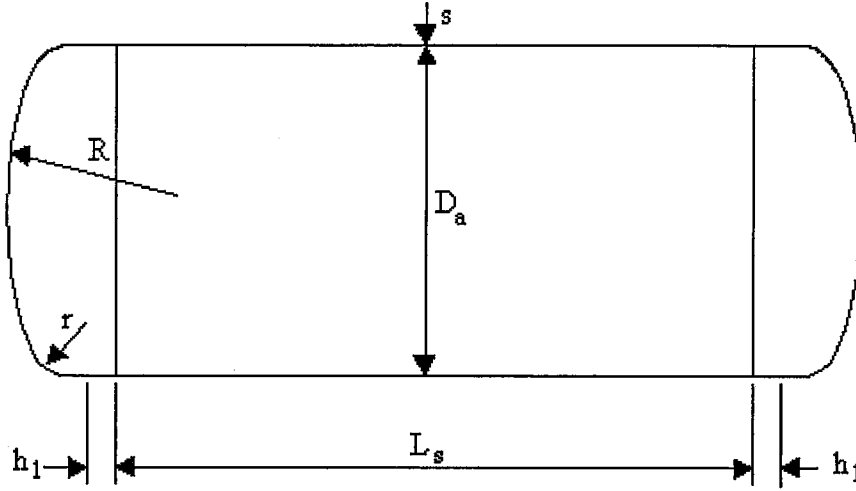
Çizelge 6.1.- Dizayn sıcaklığı (AD.Merkblatter,1997).

ISITMA CİNSİ	DİZAYN SICAKLIĞI
Gaz, buhar veya sıvı ile	Isıtılan ortamın en yüksek sıcaklığı
Ateş, eksoz gazları ya da elektrikli ekipmanlar ile	Cidarlar korunmalı ise; kap içindeki akışkanın en yüksek sıcaklığı + 20°C
	Cidarlar korunmalı değil ise; kap içindeki akışkanın en yüksek sıcaklığı + 50°C

6.4. Test Basıncı ve Sıcaklığı

Basıncılı kabın, basıncılı hava veya herhangi bir akışkan ile test edilmesi sırasındaki basınç ve sıcaklık değerleridir. Her malzeme türü için farklı değerler spesifikasyon edilmiştir (AD.Merkblatter,1997).

7. ET KALINLIĞI HESABI



Şekil 7.1.- Yatay silindirik LPG tankı görünümü (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

Hesaplarda kullanılan başlıca büyüklükler aşağıda belirtilmiştir.

7.1. Malzeme Dayanımı

Sade karbonlu ve düşük alaşımlı saclar için, malzeme dayanımları (K); malzemenin kullanılacağı sıcaklıklar için Çizelge 7.1.'de verilmiştir.

Belirli malzeme dayanımı veya elastiklik limiti olmayan malzemeler için, dizayn sıcaklığındaki minimum malzeme dayanımı, Çizelge 7.2.'de öngörülen emniyet faktörleri ile birlikte uygulanır.

Kaynak dolgu malzemesi kap malzemesinden farklı ve düşük mekanik özelliklere sahip ise dizaynda bu durum göz önüne alınmalıdır.

Basıncılı kapta tam gerilme altındaki birleştirme yerlerinde hesaplar, kaynak dolgu malzemesi için güvenilir sünme dayanımı verileri sağlanamamış ise, ana malzeme değerleri %20 azaltılarak yapılır.

Çizelge 7.1.- Kazan çeliklerine ait mekanik özellikler (normalize edilmiş ve haddeleme yönüne dik alınmış numune) (Türk Standartları,1982).

MALZEME	ÇEKME DAY. [N/mm ²]	AKMA DAYANIMI [N / mm ²]								
		20 °C			200 C	250 °C	300 °C	350 C	400 °C	450 °C
		s≤16	s≤40	s>40						
Sade Karbonlu Çelikler										
II	350-450	230	220	210	180	170	140	120	100	80
III	410-500	260	250	240	210	190	160	140	120	100
IIII	440-530	280	270	260	230	210	180	160	140	120
HIV	470-560	290	280	270	240	220	190	170	150	130
Düşük Alaşımli Çelikler										
17 Mn 4	470 - 560	290	280	280	250	230	210	180	160	140
19 Mn 5	520 - 620	330	320	320	270	250	230	210	180	160
15 Mo 3	440 - 530	280	270	270	250	230	200	180	170	160
13CrMo44	440 - 560	310	300	300	280	260	240	220	210	200

7.2. Emniyet Faktörü

Çizelge 7.1. ve 7.2.'de verilen emniyet faktörleri, AD Merkblatter'in başka değerler spesifiye etmediği durumlarda kullanılır. Çizelgelerde bulunmayan malzemeler için, emniyet faktörleri şartnamelerde belirtilmiş olabilir

Çizelge 7.2.- Akma ve sünme dayanımlarına göre emniyet faktörleri(Türk Standartları,1982).

MALZEME	DİZAYN SICAKLIĞINDA MALZEME İÇİN EMNİYET FAKTÖRÜ (S _d)	TEST SICAKLIĞINDA MALZEME İÇİN EMNİYET FAKTÖRÜ (S _t)
1) Haddelenmiş ve Dövme Çelikler	1.5	1.1
2) Dökme Çelikler	2	1.5
3) DIN 1693'e göre küresel grafit dökme demirler		
GGG . 70	5 **.....6 *	2.5
GGG . 60	5.....6	2.5
GGG . 50	4.....5	2
GGG . 40	3.5.....4.5	1.7
GGG . 40 . 3	3.....4	1.5
GGG . 35 . 3	3.....4	1.5
4) Alüminyum ve Alaşımları	1.5	1.1

(*) Tavlansız Çelikler

(**) Tavlansız Çelikler

Çizelge 7.3.- Çekme dayanımlarına göre emniyet faktörleri (Türk Standartları,1982).

MALZEME	DİZAYN SICAKLIĞINDA MALZEME İÇİN EMNİYET FAKTÖRÜ (S _d)	TEST SICAKLIĞINDA MALZEME İÇİN EMNİYET FAKTÖRÜ (S _t)
1) DIN 1691'e göre gri dökme demir		
1.1) Tavlansız	9	3.5
1.2) Tavlansız	7	3.5
2) Cu ve alaşımları haddelenmiş ve dökülmüş bronz		
2.1) Dikişsiz veya dikişli kaplar	3.5	2.5
2.2) Lehimli kaplar	4	2.5

7.3. Kaynak dikişinin niteliği ve zayıflama katsayısı

Kaynak dikişi zayıflama katsayısı, dikişsiz elemanlarda $v=1$, normal durumlarda kaynaklı dikişlerde $v=0.85$ ve özel örnek üzerinde önceden yapılan deneyler olumlu sonuçlar verdiğiinde $v=1$ alınır.

7.4. İlaveler

7.4.1. Ezilme İlavesi

Basınçlı kabın imalatı sırasında (pres, bükme v.s.), et kalınlığı uygulanan imalat yöntemine göre ezilme nedeniyle azalabilir. Bu azalmayı dengelemek için bir c_1 ilavesi konulmuştur. c_1 ilavesi ferritik çelikler için güvenilir standartlarda belirtilmiştir. Östanitik çeliklerde ve demir olmayan malzemelerde ise c_1 'i hesaplarda göz önüne almaya gerek yoktur.

7.4.2. Korozyon İlavesi

Basınçlı kaptaki servis süresince korozyon nedeniyle oluşabilecek kalınlık azalmalarını dengelemek için konulan bir ilavedir.

Ferritik çeliklerde $c_2=1$ mm alınır.

Et kalınlığının 30 mm'den büyük olması halinde veya cidarlar korozyona karşı her iki taraftan yeterince korunmuş ise (kurşun kaplama, kauçuk kaplama v.s.) c_2 ihmal edilebilir. (Galvanizleme hariç)

7.5. Kalınlık Toleransı

Yüksek sıcaklıklarda normal deformasyon direnci olan çelik kalitelerine uygulanan tolerans değerleri aşağıda verilmiştir. (Tolerans standardı DIN EN 10 021 – 1992)

Çizelge 7.4.- Kalınlık toleransı (Tolerans Standardı,1992).

KALINLIK (mm)	TOLERANS (mm)		
	GENİŞLİK (mm)		
	≤ 1200	>1200 ≤ 1500	>1500 ≤ 1525
≥ 1.50 ≤ 2.00	± 0.17	± 0.19	± 0.21
> 2.00 ≤ 2.50	± 0.18	± 0.21	± 0.23
> 2.50 ≤ 3.00	± 0.20	± 0.22	± 0.24
> 3.00 ≤ 4.00	± 0.22	± 0.24	± 0.26
> 4.00 ≤ 5.00	± 0.24	± 0.26	± 0.28
> 5.00 ≤ 6.00	± 0.26	± 0.28	± 0.29
> 6.00 ≤ 8.00	± 0.29	± 0.30	± 0.31
> 8.00 ≤ 10.00	± 0.32	± 0.33	± 0.34
> 10.00 ≤ 12.50	± 0.35	± 0.36	± 0.37
> 12.50 ≤ 15.00	± 0.37	± 0.38	± 0.40
> 15.00 ≤ 20.00	± 0.40	± 0.42	± 0.45

7.6. Silindirik Kısımın Et kalınlığı Hesabı

p_d : dizayn basıncı (bar)

p_t : test basıncı (bar)

s_d : dizayn şartlarındaki et kalınlığı (mm)

s_t : test şartlarındaki et kalınlığı (mm)

S_d : emniyet faktörü (dizayn koşullarında)

S_t : emniyet faktörü (test koşullarında)

K_d : dizayn sıcaklığındaki malzeme dayanımı (N/mm^2)

K_t : test sıcaklığındaki malzeme dayanımı (N/mm^2)

c_1 : ezilme ilavesi (mm)

c_2 : korozyon ilavesi (mm)

v : kaynak dikişi zayıflama katsayısı

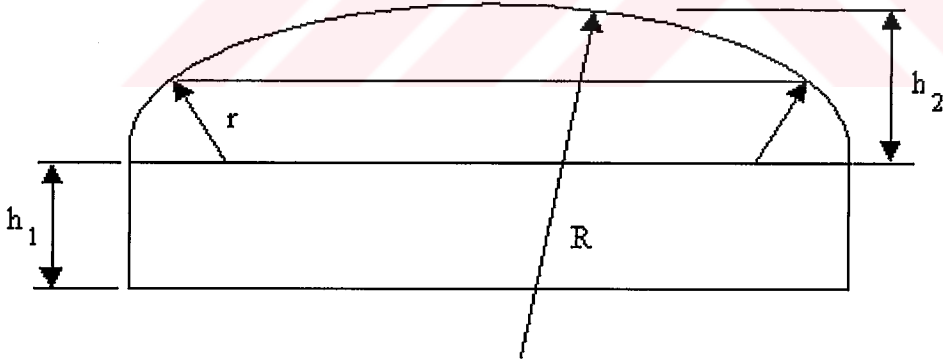
D_a : silindirik kısmın dış çapı (mm)

Genel Formül :

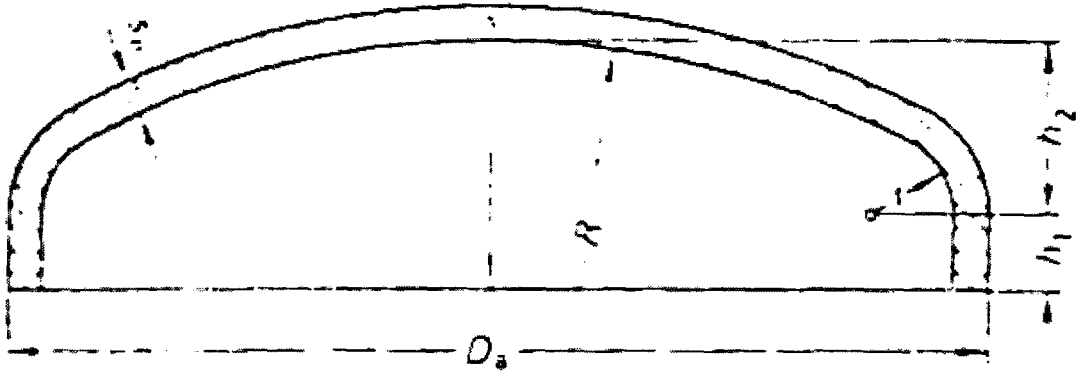
Dizayn şartlarındaki et kalınlığı (mm)
$$s_d = \frac{D_a \cdot p_d}{20 \cdot \frac{K}{S_d} \cdot v + p_d} + c_1 + c_2$$

Test şartlarındaki et kalınlığı (mm)
$$s_t = \frac{D_i \cdot p_t}{20 \cdot \frac{K}{S_t} \cdot v + p_t} + c_1 + c_2$$

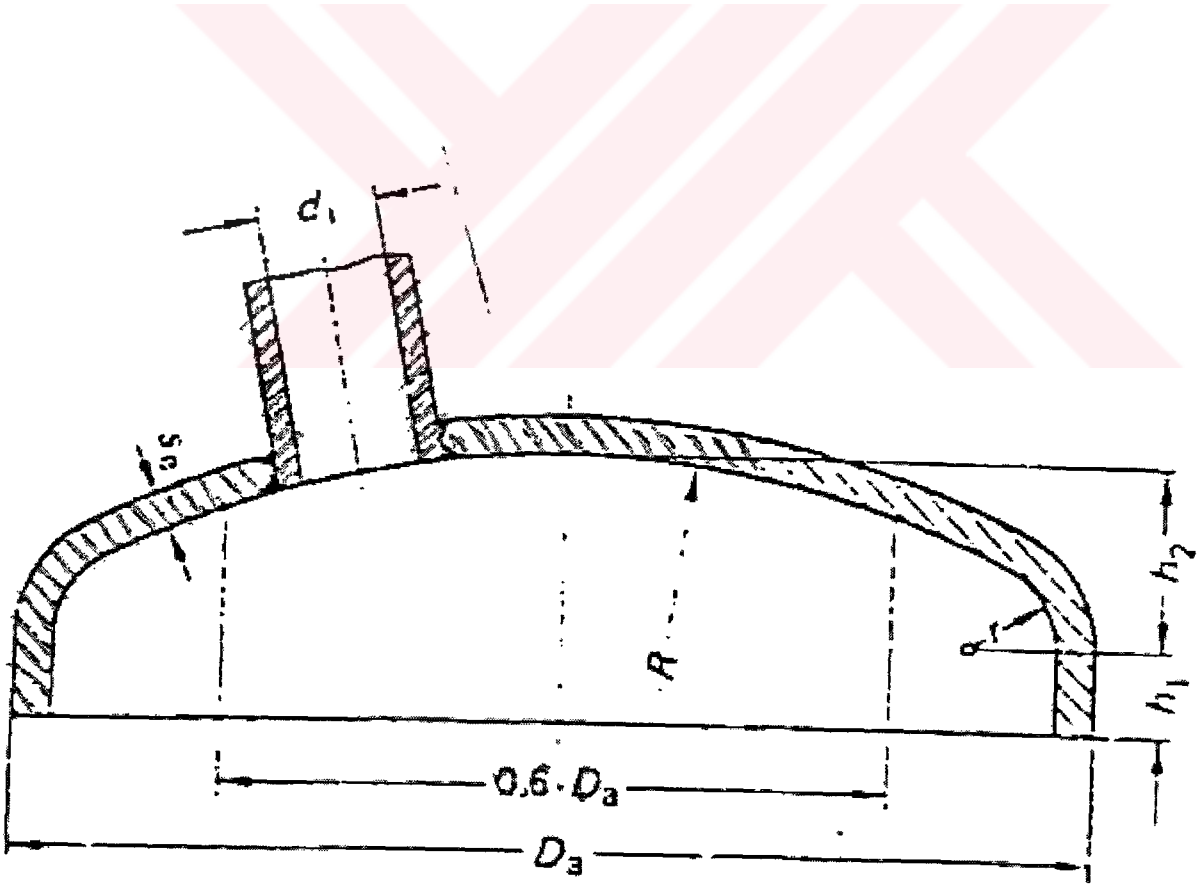
7.7. Başlıca Bombe Tipleri



Şekil 7.2.- Yatay silindirik LPG tankının bombe kısmının görünümü (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).



Şekil 7.3.- Düz bombe (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).



Şekil 7.4.- Branşmanlı bombe (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

- Klopper tipi bombe (derin bombe)

$$R = D_a \quad r = 0,1 \cdot D_a \quad h_2 = 0,1935 \cdot D_a - 0,455 \cdot s$$

$$\text{Geçerlilik aralığı} \quad 0,001 < (s - c_1 - c_2) / D_a \leq 0,1$$

$$h_1 = 3,5 \cdot s \text{ olmalıdır.}$$

- Korbbogen tipi bombe (sığ bombe)

$$R = 0,8 \cdot D_a \quad r = 0,154 \cdot D_a \quad h_2 = 0,255 \cdot D_a - 0,635 \cdot s$$

Geçerlilik aralığı yukarıdakinin aynısıdır.

$$h_1 = 3 \cdot s \text{ olmalıdır.}$$

- Yarı küresel bombeler

Tam bir yarım küre şeklinde olup, $D_a / D_i \leq 1,2$ olmalıdır.

Yarı küresel bombe formunda silindirik kısım gerekli değildir. Bununla birlikte Çizelge 7.5.'te verilen değerlerin aşılması zorunlu değildir.

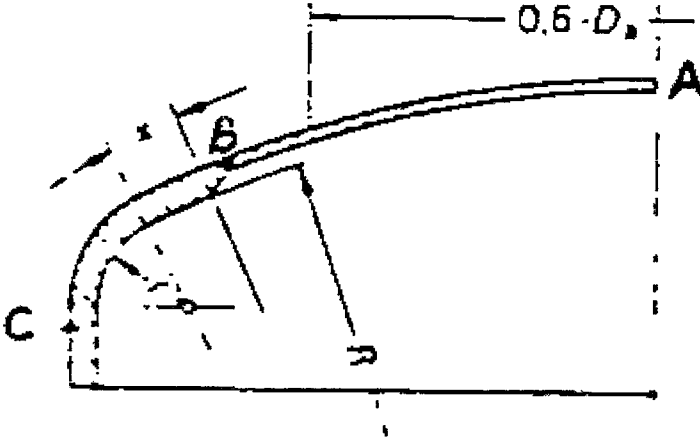
Çizelge 7.5.- Silindirik Kısımın Uzunluğu (Türk Standartları,1982).

Cidar Kalınlığı	Silindirik Kısımın Uzunluğu (h_1)
50 mm'ye kadar	150 mm
50 mm- 80 mm	120 mm
80 mm- 100 mm	100 mm
100 mm- 120 mm	75 mm
120 mm'nin üstü	50 mm

Bombe ile silindirik kısım arasındaki kaynak bağlantısının, dizayn basıncıyla yüklü halde tahribatsız kontrolünün yapılması halinde h_1 için Çizelge 7.5.'teki değerlerin altına inilebilir.

Bazı özel hallerde ve genellikle büyük çaplarda bombe; monoblok olarak değil, aşağıda gösterildiği gibi crown (tac) ve knuckle (boğum)' ın kaynak edilmesiyle imal edilebilir. Bu durumda kaynak dikişleri knuckle'dan yeterli bir uzaklıkta çekilmelidir.

A-B Tac
B-C Boğum



Şekil 7.5.- Tac ve boğumun farklı kalınlıkta olması (AD. Merkblätter,1977)

Şekilde (x) ile tanımlanan bu uzaklığın değeri ;

Crown ve knuckle farklı kalınlıkta ise;

$$x = 0,5 \sqrt{(R (s-c_1-c_2))}$$

Aynı kalınlıkta iseler;

Klopper Tipi Bombe

$$x = 3,5 \cdot s$$

$$\text{Hacim (v)} = 0,1 \cdot (D_a - 2 \cdot s)$$

$$\text{Dış yüzey alanı (F}_o\text{)} = 1,08 \cdot D_a$$

Korbbogen Tipi Bombe

$$x = 3 \cdot s \text{ (korbbogen tipi)}$$

$$\text{Hacim (v)} = 0,1298 \cdot (D_a - 2 \cdot s)$$

$$\text{Dış yüzey alanı (F}_o\text{)} = 1,99 \cdot D_a$$

7.7.1. Emniyet Faktörü

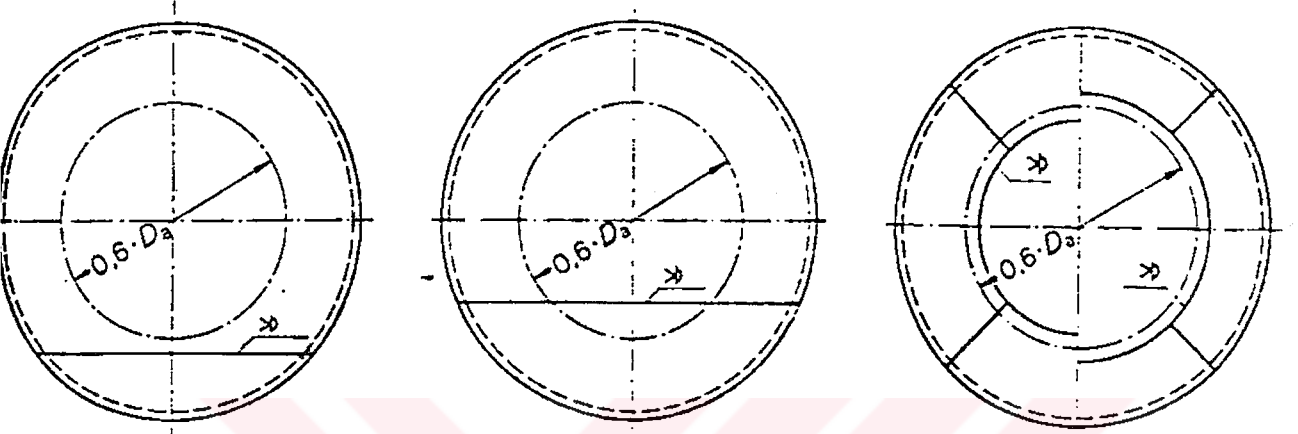
Emniyet faktörleri önceki bölümde verilen tablodan alınabilir. Yalnız bu tablodan farklı olarak gri dökme demir için aşağıdaki değerler uygulanır.

Tavlanmamış S = 7

Tavlanmış S = 6

7.7.2. Bağlantı Zayıflama Faktörü

Dikişsiz tek parça bombelerde $v=1$ alınır. Aşağıdaki şekillerde görülebileceği gibi kaynak dikişinin $0,6 D_a$ lık bölgenin içinde olması halinde $v=1$, daha kritik olan $0,6 D_a$ bölgesi dışında olması halinde $v= 0,85$ alınır. (Yarı küre formlu bombeler hariç)



Şekil 7.6.- Bağlantı zayıflama faktörünün, kaynak dikişinin bulunduğu alana göre değişimi
(AD. Merkblätter,1977)

7.7.3. İlaveler

c_1 ve c_2 ilaveleri için önceki bölümlerde verilen değerler kullanılır.

7.7.4.- Cidar Kalınlıklarının Belirlenmesi

7.7.4.1.- Crown Cidar kalınlığı

Takviyesiz hal:

Crown üzerinde hiçbir nozul veya açıklık yoksa, et kalınlığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$s = \frac{D_a \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Crown üzerindeki nozul ya da açıklıklar nedeniyle kesit zayıflıyorsa, formül:

$$s = \frac{D_a \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v} + c_1 + c_2 \quad \text{halini alır.}$$

β Kesit zayıflamasını kompanse eden dizayn faktörü olarak Şekil 7.7.' de klopper tipi için, Şekil 7.8.'de korbbogen tipi için $(se-c_1-c_2) / D_a$ ve d_i / D_a (d_i nozul çapı)'nın fonksiyonu olarak verilmiştir. Burada crown üzerinde nozul bulunduğundan her koşulda $d_i / D_a = 0$ dır. $d_i / D_a = 0$ koşulu, $d_i = 0$, yani ilk formülde verilen nozulsuz, zayıflamasız crown yüzeyi için olup, formülde görüldüğü gibi β faktörü hesaba katılmaz (AD. Merkblätter,1977)

Plaka takviyesinde, takviyeler klopper tipi bombelerde 0.8 D_a korbbogen tipi bombelerde 0.7 D_a ' lik bölgeyi aşmamalıdır.

0.6 D_a ' lik bölgenin dışında nozul ya da açıklıklarla kesitin zayıflatılması istenmeyen bir durum olup, bu durumda β dizayn faktörü formüllerde uygulanır. Bu bölgede yapılacak komşu nozullar arası mesafe, en az nozul yarı çapları toplamına eşit olmalıdır.

7.7.4.2.- Knuckle Cidar Kalınlığı

Knuckle için her durumda aşağıdaki formül geçerlidir:

$$s = \frac{D_a \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v} + c_1 + c_2$$

Knuckle üzerinde hiçbir nozul yok ise, yani $d_i / D_a = 0$ ise, $(se-c_1-c_2) / D_a$ değerine göre $d_i / D_a = 0$ eğrisi üzerinden β bulunur.

NOT: Bombe tek parçadan oluştuğunda crown ve knuckle için farklı et kalınlığında saç kullanmak mümkün değildir. Dolayısıyla hesaplar daha zor durumdaki knuckle için yapılır.

7.7.4.3.- Yarı Küresel Bombelerde Cidar Kalınlığı

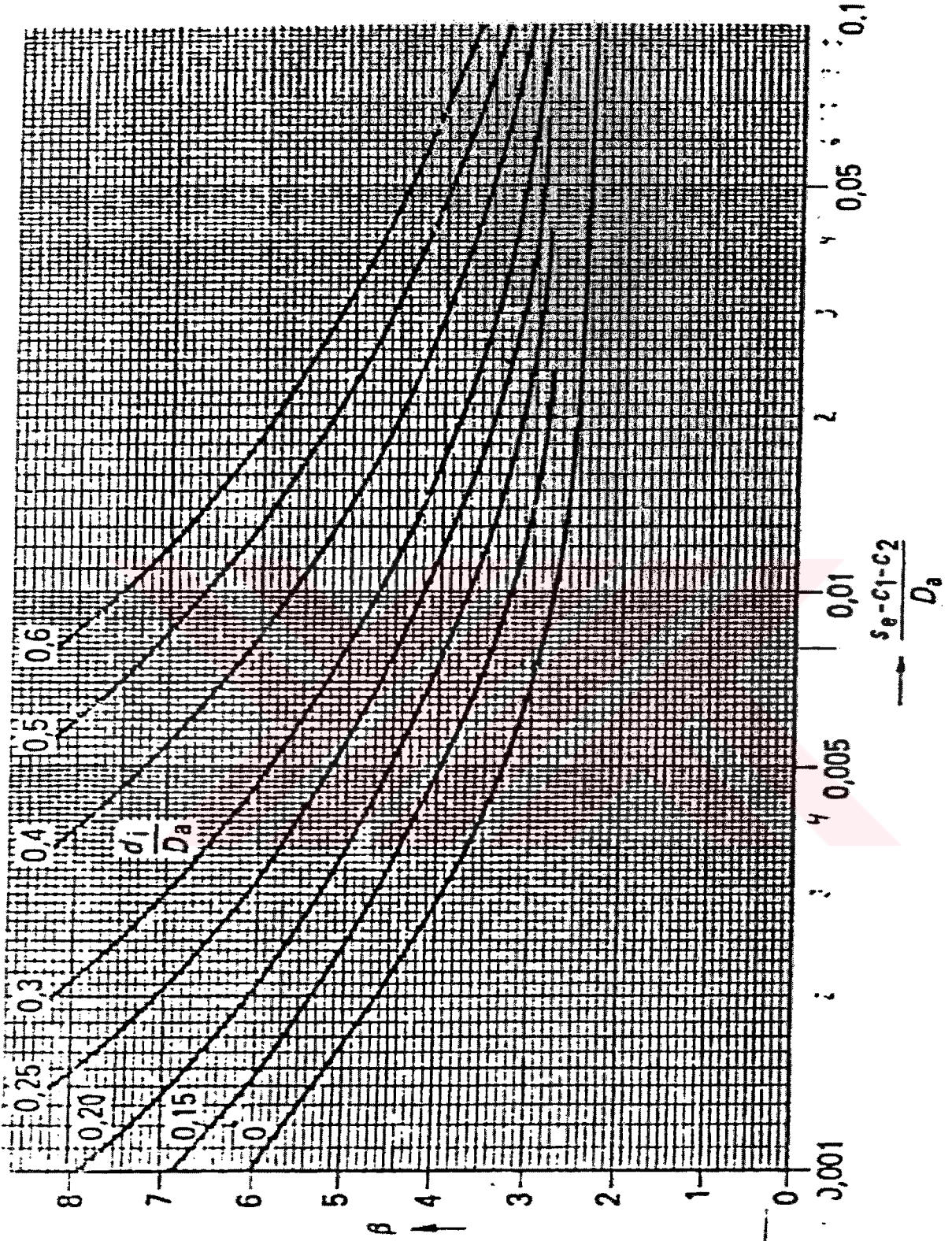
$$s = \frac{D_a \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v} + c_1 + c_2$$

Bu formül, kaynak dikişine komşu $x = 0,5 \sqrt{(R (s-c_1-c_2))}$ bölgesi içinde kabaca $\beta = 1.1$ alınarak uygulanır.

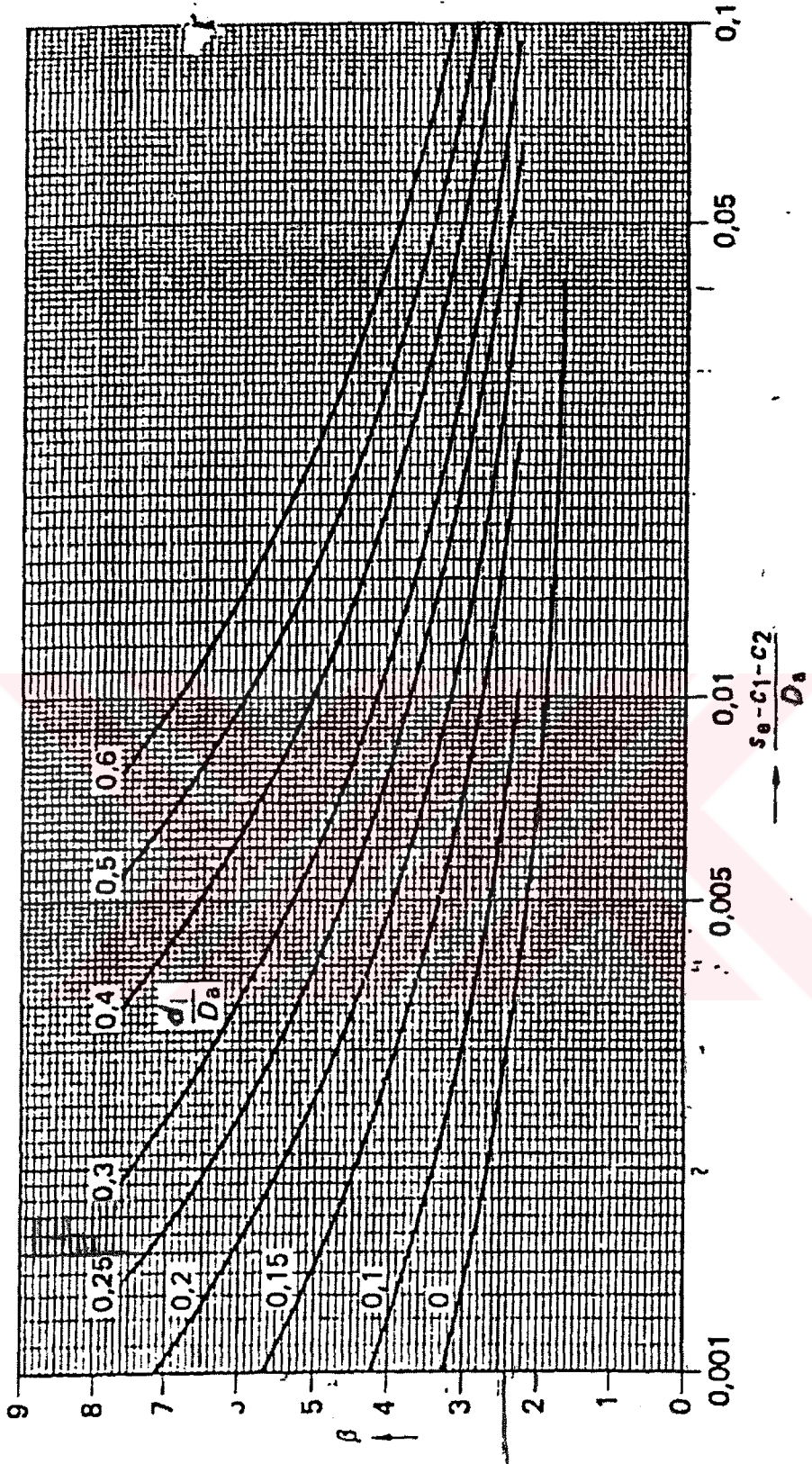
7.7.4.4.- Knuckle' nin Elastik Burkulmaya Karşı Kontrolü

Şekil 7.9.'dan $(s-c_1-c_2) / D_a$ değişimine göre bulunan PB (kritik burkulma basıncı); en az $PB = 1.5 p$ olmalıdır.

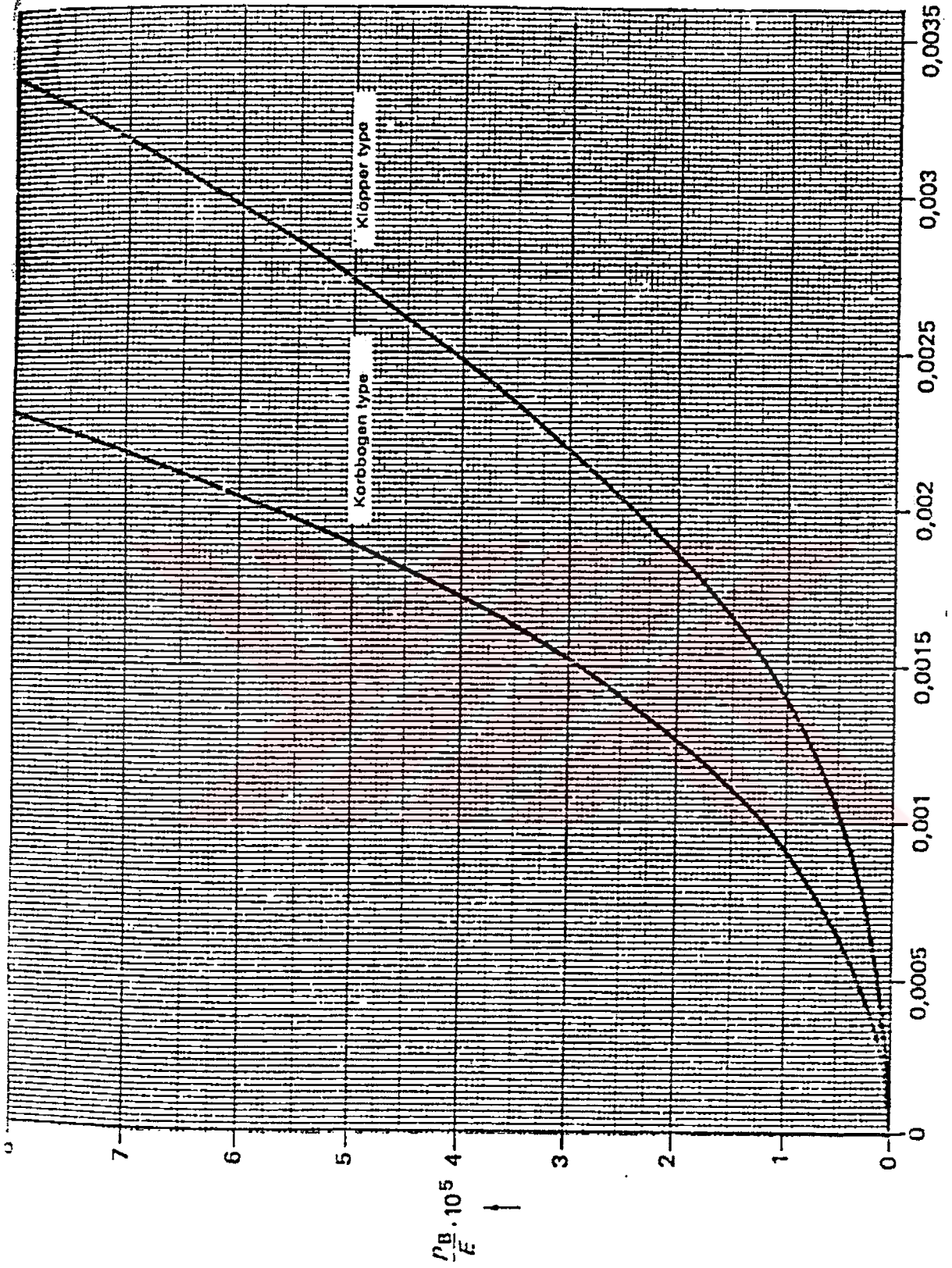




Şekil 7.7.- Klopper tipi bombeler için dizayn faktörü (AD. Merkblätter,1977)



Şekil 7.8.- Korbogen tipi bombeler için dizayn faktörü (AD. Merkblätter,1977)



Şekil 7.9.- Elastik burkulma basıncı (AD. Merkblätter,1977)

7.8. Bombe Et Kalınlığı Hesabı

p_d : dizayn basıncı (bar)

p_t : test basıncı (bar)

s_d : dizayn şartlarındaki et kalınlığı (mm)

s_t : test şartlarındaki et kalınlığı (mm)

S_d : emniyet faktörü (dizayn koşullarında)

S_t : emniyet faktörü (test koşullarında)

K_d : dizayn sıcaklığındaki malzeme dayanımı (N/mm^2)

K_t : test sıcaklığındaki malzeme dayanımı (N/mm^2)

c_1 : ezilme ilavesi (mm)

c_2 : korozyon ilavesi (mm)

v : kaynak dikişi zayıflama katsayısı

D_a : silindirik kısmın dış çapı (mm)

β : kesit zayıflamasını kompanse eden dizayn faktörü

d_i : bombe üzerindeki nozul veya açıklık iç çapı (mm)

Genel Formüller :

Dizayn şartlarındaki bombe et kalınlığı (mm)

$$s_d = \frac{D_a \cdot p_d \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S_d} \cdot v} + c_1 + c_2$$

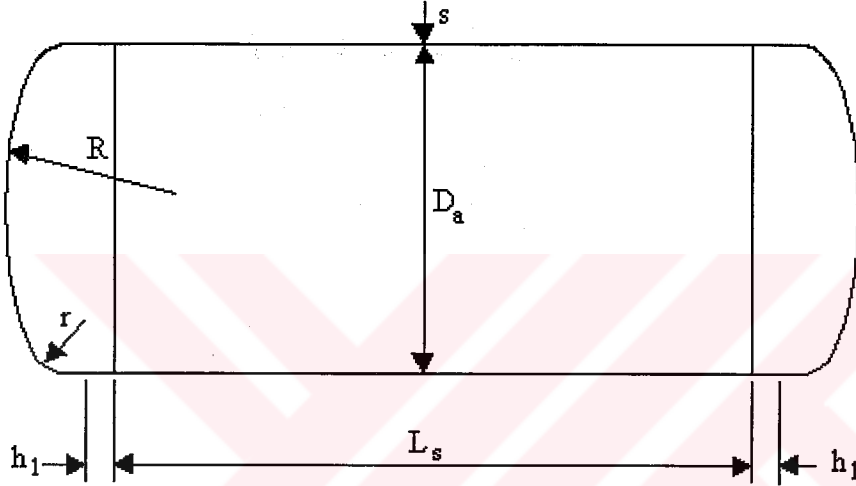
Test şartlarındaki bombe et kalınlığı (mm)

$$s_t = \frac{D_t \cdot p_t \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S_t} \cdot v} + c_1 + c_2$$

8. 1750 LT'LİK YATAY SİLİNDİRİK LPG TANKININ ET KALINLIĞI HESABI

Bu bölümde, 17,2 bar dizayn ve 26 bar test basıncındaki korbobogen tipi, aşağıda ölçüleri ve malzeme özellikleri belirtilen, konut segmentinde sıklıkla kullanılan 1750 lt'lik yatay silindirik LPG tankının et kalınlığı hesaplanacaktır.

8.1. 1750 lt'lik Yatay Silindirik LPG Tankının Boyutları



Şekil 8.1.- 1750 lt'lik yatay silindirik LPG tankının görünümü (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

$$D_a = 1000 \text{ mm}$$

$$L_s = 1800 \text{ mm}$$

$$h_1 = 70 \text{ mm}$$

$$r = 155 \text{ mm}$$

$$R = 800 \text{ mm}$$

8.2. Kullanılacak Sac Malzemesinin Yapısı

Yukarıda boyut ölçüleri verilen 1750 lt'lik LPG tankının imalatında max. 1500 mm'lik sac uzunluğu limiti olan Ereğli Demir Çelik fabrikalarında üretilen, Çizelge 8.1.'de belirtilen özelliklere sahip sac kullanılacaktır.

Çizelge 8.1.- Erdemir sac özellikleri (ERDEMİR Teknik Katalogları)

	Erdemir kalite no.	Standart karşılığı	Akma mukavemeti (N/mm ²)
Bombe	9355	BS 4360 - 79	355
Silindirlik kısım	6352	P355GH	355

8.3. Silindirlik Kısımın Et Kalınlığı

p_d = dizayn basıncı	=17,2 bar
p_t = test basıncı	= 26 bar
D_a =silindirlik kısmın dış çapı	= 1000 mm
S_d = dizayn koşullarındaki emniyet katsayısı	= 1,5
S_t = test koşullarındaki emniyet katsayısı	= 1,1
K = malzeme gerilim değeri	= 355 (P 355 seri malzeme için)
v = kaynak dikiş faktörü	= 0,85 (Dikişli olduğu için)
c_1 = incelme payı	= 0.58 mm
c_2 = korozyon aşınma payı	= 0 mm (LPG'nin korozif etkisi olmadığından)

Genel Formül:

Dizayn şartlarındaki silindirlik kısmın et kalınlığı:

$$s_d = \frac{D_a \cdot p_d}{20 \cdot \frac{K}{S_d} \cdot v + p_d} + c_1 + c_2$$

$$s_d = \frac{1000 \cdot 17.2}{20 \cdot \frac{355}{1.5} \cdot 0.85 + 17.2} + 0.58 + 0$$

$$s_d = 4.8368 = \sim 4.84 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Test şartlarındaki silindirik kısmın et kalınlığı:

$$s_t = \frac{D_t \cdot p_t}{20 \cdot \frac{K}{S_t} \cdot v + p_t} + c_1 + c_2$$

$$s_t = \frac{1000 \cdot 26}{20 \cdot \frac{355}{1.1} \cdot 0.85 + 26} + 0.58 + 0$$

$$s_t = 5.2966 = \sim 5.30 \text{ mm}$$

Daha öncede belirtildiği gibi “ s_t ” test şartlarındaki minimum et kalınlığı, dizayn şartlarında hesaplanan “ s_d ” gerçek et kalınlığını geçmemelidir. $s_t > s_d$ çıktığı için, malzemenin test koşullarına dayanamayacağı anlaşıldığından s_d test şartlarına göre arttırılacaktır

Et kalınlığını hesapladığımız LPG tankının silindirik kısmının uzunluğu 1800 mm olduğu ve Ereğli Demir Çelik fabrikalarında üretilen sacın uzunluğunun maksimum 1500 mm olduğu göz önüne alındığında, bahsi geçen LPG tankının üretiminde 2 adet 900 mm’lik sac kullanılacaktır.

Bu durumda tolerans tablosuna bakılarak kalınlığı $6.00 \geq s > 5.00$ mm, genişliği ise ≤ 1200 mm olan sac için tolerans değeri ± 0.26 mm olduğu görülür.

Buna göre gerçek et kalınlığı

$s_d = 5.30 + 0.26 = 5.56$ mm olarak bulunur ve nominal bir değer olarak

$s_d = 5.60$ mm seçilir.

8.4. Bombe Et Kalınlığı

p_d = dizayn basıncı	=17,2 bar
p_t = test basıncı	= 26 bar
D_a =silindirik kısmın dış çapı	= 1000 mm
S_d = dizayn koşullarındaki emniyet katsayısı	= 1,5
S_t = test koşullarındaki emniyet katsayısı	= 1,1
K = malzeme gerilim değeri	= 355 (P 355 seri malzeme için)
v = kaynak dikiş faktörü	= 0,85 (Dikişli olduğu için)
c_1 = incelme payı	= 0.58 mm
c_2 = korozyon aşınma payı	= 0 mm (LPG'nin korozif etkisi olmadığından)
β = dizayn faktörü	= 2.20

Genel Formül:

Dizayn şartlarındaki bombe et kalınlığı:

$$s_d = \frac{D_a \cdot p_d \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S_d} \cdot v} + c_1 + c_2$$

$$s_d = \frac{1000 \cdot 17,2 \cdot 2,2}{40 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 1} + 0,87 + 0$$

$s_d = 4,8671 \text{ mm} = \sim 4,87 \text{ mm}$ olarak bulunur.

Test şartlarındaki bombe et kalınlığı:

$$s_t = \frac{D_t \cdot p_t \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S_t} \cdot v} + c_1 + c_2$$

$$s_t = \frac{1000 \cdot 26 \cdot 2,2}{40 \cdot \frac{355}{1,1} \cdot 1} + 0,87 + 0$$

$s_t = 5,3$ mm olarak bulunur.

$s_t > s_d$ çıktığı için, malzemenin test koşullarına dayanamayacağı anlaşıldığından s_d test şartlarına göre arttırılacaktır.

Bu durumda tolerans tablosuna bakılarak kalınlığı $6.00 \geq s > 5.00$ mm, genişliği ise ≤ 1200 mm olan sac için tolerans değeri ± 0.26 mm olduğu görülür.

Buna göre gerçek bombe et kalınlığı

$s_d = 5.30 + 0.26 = 5.56$ mm olarak bulunur ve nominal bir değer olarak

$s_d = 5.60$ mm seçilir.

9. LPG TANK BOYUTLARI VE ŞEKİLLERİ

Her şeyden önce Türkiye Pazarında kullanılan LPG Tankları hacimlerine göre 2 ana grupta toplanmaktadırlar. 0.5 m³ ' ten başlayıp 10 m³ 'e kadar (10 m³ dahil) olan tüm tankların bulunduğu sistemlere “ Küçük Dökme Sistemleri “, 10 m³ ' ün üzerindeki tankların bulunduğu sistemlere ise “ Büyük Dökme Sistemleri “ adı verilmektedir.

9.1. Tank Boyutu Seçimindeki Kriterler

- Dolum Sıklığı
- Tüketim Miktarı
- Emniyet Mesafesi (T.S. 1446)

9.1.1. Dolum Sıklığı

Küçük dökme sistemlerinde , özellikle konut sistemlerinde yıllık LPG ihtiyacının en fazla 5-6 dolum ile karşılanabilecek tank kapasitesi belirlenir. Bu kapasiteyi belirlerken LPG dolum tesisi ile konut arasındaki mesafe de göz önünde bulundurulur, nakliye masraflarının minimuma indirgenmesi yönünden öngörülen hacmin bir üst hacmi seçilmektedir

Örnek olarak 37.000 kcal/h kapasiteli bir kazan kullanımında olan bir villa ele alındığında , bu konutun yıllık LPG ihtiyacı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$d = \text{saatlik tüketim} = \frac{37,000}{11,100 \cdot 0,92} = 3,623 \text{ kg/h}$$

Kazanın günde 8 saat ve yılda toplam 5 ay çalıştırıldığını varsayarak

$$\text{Yıllık tüketim} = 8 \cdot 30 \cdot 5 \cdot 3,623 = 4,348 \text{ kg/yıl LPG}$$

Bir yıllık optimum dolum sayısının 6 olduğu düşünüldüğünde tek dolum için;
4348 / 6 = 725 kg LPG nominal bir değerdir.

Tank kapasitesini belirlerken, normal şartlarda maksimum % 85 seviyesine kadar tankın doldurulması gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle 1750 lt 'lik bir tank kullanıldığında;

$$1750 \cdot 0,509 \cdot 0,85 = 756 \text{ kg LPG}$$

Belirlenen tankın dolumu tek seferde yapılabildiğinden, seçilen hacim ve tank kapasitesi doğru olmaktadır.

9.1.2. Tüketim Miktarı

Tüm bu hesaplamaların yanı sıra, tüketim noktasındaki cihazın kapasitesi, yani kalorifik değerini de göz önünde bulundurarak, önemli bir kriter olarak hesaplamalarımıza eklemeliyiz.

Tüketim noktasındaki cihazın kalorifik değerine bağlı olarak saatlik LPG debisi hesaplanır.

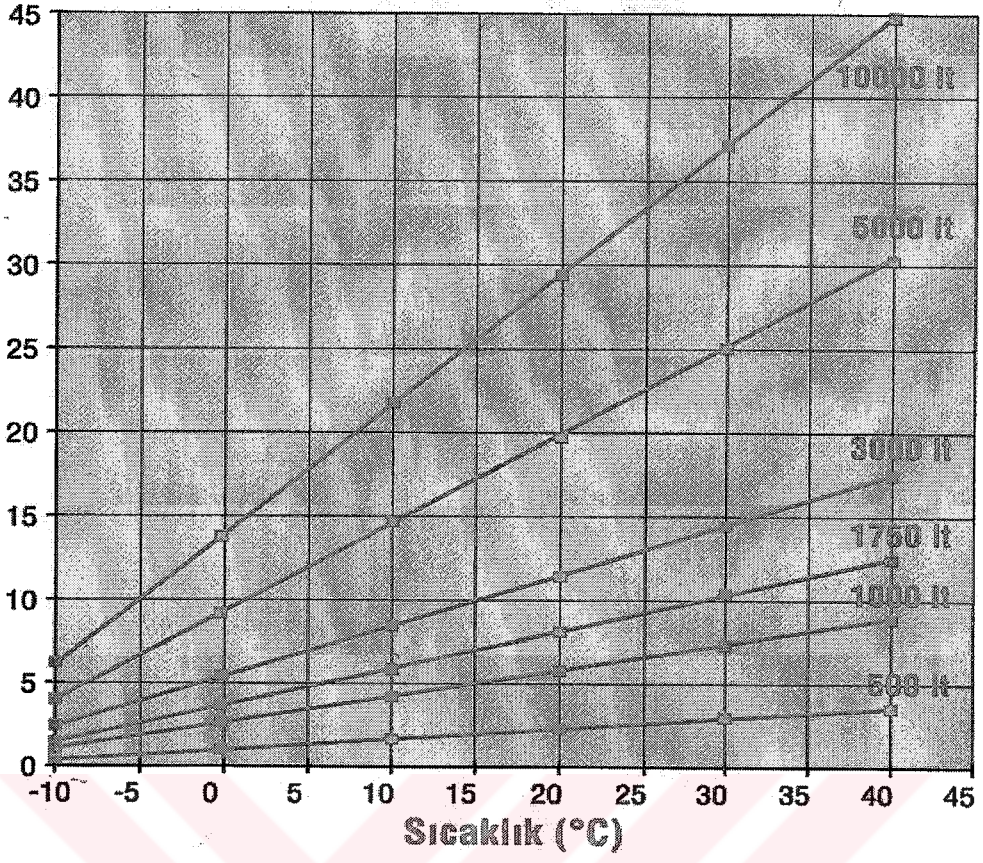
Elde edilen debi değerine göre yeterli olacak büyüklükte tankın seçilmesi çok önemlidir.

Çünkü her tankın hacmine ve sıvı yüzey alanına bağlı olarak belli miktarlarda gaz verme kapasiteleri vardır.

Gazın stoklandığı hacimde sıvı LPG miktarı azaldıkça, saatte alınan gaz miktarı da doğru orantılı olarak azalmaktadır. Tank kapasite seçimi, gaz çeşidi, ortam sıcaklığı, ihtiyaç duyulan debi (kg/h) ve kabın % 20'lik doluluk oranına göre yapılır.

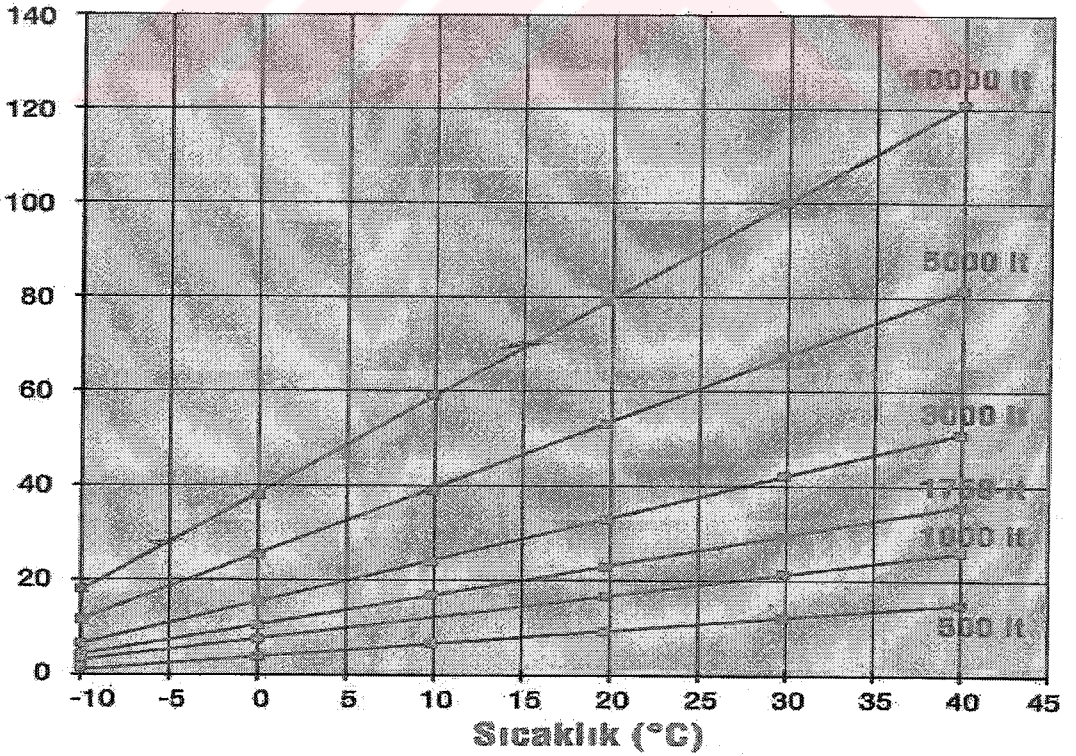
Şekil 9.1. ve Şekil 9.2.'de küçük dökme sistemlerinde kullanılan silindirik LPG tanklarının gaz verme kapasiteleri ile ilgili grafikler, % 20 ve % 80 doluluk oranlarına göre ayrı ayrı verilmiştir.

Gaz Debisi (kg/h)



Şekil 9.1.- Tankların gaz verme kapasiteleri (Propan; Min.Sıcaklık -18° C, Doluluk % 20)

Gaz Debisi (kg/h)



Şekil 9.2.- Tankların gaz verme kapasiteleri (Propan; Min.Sıcaklık -18° C, Doluluk % 80)

9.1.3. Emniyet Mesafeleri

LPG tankları en yakın tanka, binalara veya bina gruplarına, komşu arsa sınırına, ana trafik yollarına veya demir yollarına, tankların birbirine olan uzaklıklarına göre ve aşağıdaki çizelgede belirtilen emniyet mesafelerine uygun olarak yerleştirilmelidir.

Depolama tankları hiçbir suretle üst üste konularak tesis edilmemelidir.

Çizelge 9.1.- T.S. 1446 Emniyet mesafeleri

Tank Su Kapasitesi (m ³)	Belirtilen yerlere minimum mesafe (m)		Tanklar arasındaki minimum mesafe (m)
	Yeraltı Tankları	Yerüstü Tankları	
0.5' den küçük	3	3	0
0.5-3	3	3	1
3.1-10	5	7.5	1
10.1-50	7.5	10	1
50.1-120	10	15	1.5
120.1-250	15	25	Birbirine komşu tankların çapları toplamının ¼ 'ü kadar.
250.1-600	15	35	
600.1-1200	15	40	
1200.1-5000	15	50	
5000 ' den büyük	15	80	

Yeraltı tankları ile ilgili emniyet mesafeleri, emniyet valfi, doldurma ağız veya sıvı seviye göstergesi blöfünden ölçülmelidir. Bu durumda yeraltı tankının herhangi bir kısmının, binaya veya üzerine bina yapılabilecek arsa sınırına uzaklığı 3 m'den az olmamalıdır.

Su kapasitesi 0.5 m³ veya daha büyük olan tankların binalara olan mesafesi dikkate alınırken, binadan 1.5 m'den fazla çıkıntı yapan ve emniyet valfi çıkış ağzından yüksek bina kısımları mevcut ise, emniyet mesafesi çıkıntı mesafesinin en az % 50'si kadar daha az olmalıdır. Bu mesafe çıkma dış yüzey ile, tankın yerleştirildiği noktanın dikeyine yatay olarak ölçülmelidir. Hiçbir halde bina duvarına olan mesafe çizelgede verilen değerden küçük olmamalıdır. Bu husus emniyet valfi çıkış ağzından 15 m veya daha yüksek olan çıkmalı binalara uygulanmamalıdır.

Su kapasiteleri 0.5 m³ veya daha büyük tanklardan meydana gelen çoklu yeraltı tanklarının uçları ve kenarları, vinç ve benzeri makinalarla kolaylıkla ulaşılabilecek şekilde yerleştirilmelidir.

Su kapasiteleri 0.5 m³'den küçük tanklardan meydana gelen ve toplam su kapasitesi 2 m³'den fazla olan tank gruplarına, her bir tankın su kapasitesi yerine toplam su kapasitesi dikkate alınarak Çizelge 9.1.'de verilen emniyet mesafesi uygulanmalıdır. Depolama alanında birden fazla tank grubu bulunduğu durumlarda, tank grupları arasındaki mesafe en az 7.5 m olmalıdır. Tankların bu şekilde yerleştirilmesi durumunda, gruptaki tanklara, tanklar arası emniyet mesafesi uygulanmamalıdır.

9.2. Tank Şekillerinin Belirlenmesindeki Önemli Kriterler

LPG tanklarının üretildiği 2 ana şekil vardır. Bunlardan biri silindirik, diğeri ise küresel tanklardır.

Her ikisinin de üretim ve maliyet hesapları birbirinden farklılıklar gösterir.

Bu farklılıkları hem Büyük Dökme Sistemleri, hem de Küçük Dökme Sistemleri açısından incelemek gerekmektedir.

9.2.1. Silindirik ve Küresel Tankların Et Kalınlığı Hesabı

Silindirik Tank Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Küresel Tank Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Formüllerde de görüldüğü gibi, küresel tankın et kalınlığı hesabına göre silindirik tanka oranla daha ince sac kullanabilmek mümkün olmaktadır.

Ancak maliyetlerden önce tankın gaz verebilme kapasitelerinin gerekli olan debi için yeterli olması gerekmektedir.

Bir tankın gaz verme kapasitesi, tankın içindeki LPG çeşidinin buharlaşma sıcaklığına ve buharlaşma olabilmesi için gereken (A_o) sıvı yüzey alanına bağlıdır.

Örnek olarak 1750 litre hacmindeki silindirik ve küresel farklı iki LPG tankı ele alınacaktır.

Küresel tank için ölçüler:

$$d_i = \text{tank çapı} = 1.495 \text{ m}$$

Silindirik tank için ölçüler:

$$d_i = \text{silindirik kısmın çapı} = 1 \text{ m}$$

$$h = \text{silindirik kısmın uzunluğu} = 1.5615 \text{ m}$$

Bu iki farklı şekillerdeki, aynı hacimlerdeki tankların içerisinde % 50 hacimde LPG olduğunu düşündüğümüzde her iki tanktaki sıvı yüzey alanı (A_o) ;

Küresel tank için

$$A_o = (\pi \cdot d^2) / 4 = 1,7553 \text{ m}^2$$

Silindirik tank için

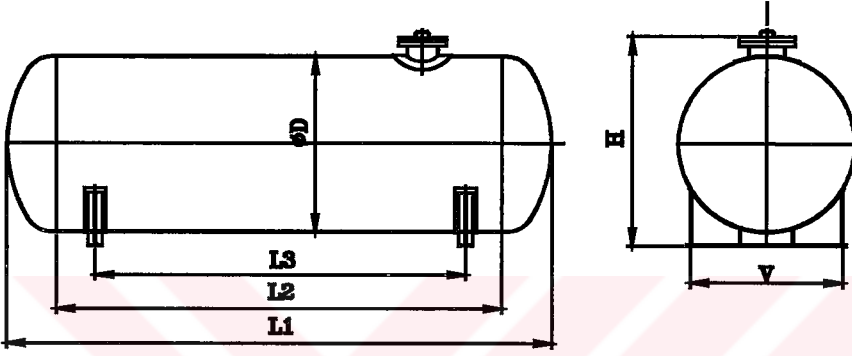
$$A_o = (h \cdot d_i) + ((\pi \cdot d^2) / 4) = 2,3468 \text{ m}^2$$

Yukarıdaki hesaplamalarda da görüleceği üzere, silindirik tanklarda sıvı yüzey alanı ve bununla doğru orantılı olarak da gaz verme kapasitesi daha fazladır.

10. BÜYÜK HACİMLİ TANKLARIN ET KALINLIĞI VE MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde 22, 35, 50, 70, 115 ve 180 m³ hacimlerindeki LPG tanklarının silindirik ve küresel formlarının ayrı ayrı et kalınlığı hesabı yapıp maliyet analizleri bu doğrultuda incelenecektir.

10.1. Büyük Hacimli Silindirik Tankların Et Kalınlığı Hesabı



Şekil 10.1.- Büyük hacimli silindirik tank görünüşü (ÇİMTAŞ Teknik Katalogları).

Silindirik Tank Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Çizelge 10.1.- Büyük hacimli silindirik tank ölçüleri (ÇİMTAŞ Teknik Katalogları).

Hacim (m ³)	Ø D (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	V (mm)	H (mm)
22	2,440	5,410	4,040	2,300	2,200	2,900
35	2,440	8,210	6,860	4,000	2,200	2,900
50	3,150	7,340	5,600	3,400	2,900	3,670
70	3,150	10,150	8,400	5,600	2,900	3,670
115	3,150	15,750	14,000	7,800	2,900	3,670
180	3,500	20,000	16,500	11,500	3,000	4,020

Şekil 10.1.'de görünen ve Çizelge 10.1.'de boyutları verilen LPG tanklarının, AD-Merkblätter normuna göre 17,16 bar dizayn basıncı ve 25,74 bar test basıncı (hidrostatik) uygulanarak Çizelge 10.2.'de verilen et kalınlığı değerleri hesaplanmıştır.

Yapılacak bu hesaplamalarda kabul edilecek bazı değerler aşağıdaki gibidir:

$$P_d \text{ (dizayn basıncı)} = 17.16 \text{ bar}$$

$$P_t \text{ (test basıncı)} = 25.74 \text{ bar}$$

$$S_d \text{ (dizayn koşullarındaki emniyet katsayısı)} = 1.5$$

$$S_t \text{ (test koşullarındaki emniyet katsayısı)} = 1.1$$

$$c_2 \text{ (korozyon aşınma payı)} = 1$$

$$K \text{ (malzeme gerilim değeri)} = 355 \text{ (P 355 seri malzeme için)}$$

$$V \text{ (kaynak dikiş faktörü)} = 1$$

$$\beta \text{ (dizayn faktörü)} = \text{Bombe üzerinde hiçbir nozul olmadığından dolayı } d_i/D_a=0 \text{ olmaktadır.}$$

Buna göre Şekil 7.8.'den $(s-c_1-c_2)/D_a$ değerine göre β değeri bulunur.

Silindirik Kısım Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Bombe Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v} + c_1 + c_2$$

Çizelge 10.2.- Büyük hacimli silindirik tankların hesaplanan et kalınlıkları

Hacim (m ³)	Silindirik kısım et kalınlığı (mm)		Bombe et kalınlığı (mm)	
	Dizayn	Test	Dizayn	Test
22	9.81	9.69	11.17	10.94
35	9.81	9.69	11.17	10.94
50	12.38	12.51	13.85	13.88
70	12.38	12.51	13.85	13.88
115	12.38	12.51	13.85	13.88
180	13.64	13.90	15.59	15.70

10.2. Büyük Hacimli Silindirik Tankların Sac Maliyetleri

Kullanılan sac malzemesi yoğunluğu = $7,850 \text{ kg/m}^3 = 0.00785 \text{ kg/cm}^3$

Kullanılan sac malzemesi fiyatı = 480 USD/ton

Silindirik kısmın sac hacmi : $V_s = (\pi \cdot L / 4) \cdot (Da^2 - Di^2)$

Bombe sac hacmi : $V_b = 2 \cdot 0.13 \cdot (Da^3 - Di^3)$

22 m³'lük silindirik tank için sac maliyeti hesabı ;

Toplam sac hacmi = silindirik kısmın sac hacmi + bombe sac hacmi

Silindirik kısmın sac hacmi :

$$V_s = (\pi \cdot L_2 / 4) \cdot (Da^2 - Di^2) = (\pi \cdot 4,040 / 4) \cdot (2459.62^2 - 2,440^2) \\ = 305,023,041 \text{ mm}^3 = 305,023 \text{ cm}^3$$

$$\text{Bombe sac hacmi : } V_b = 2 \cdot 0.13 \cdot (Da^3 - Di^3) = 2 \cdot 0.13 \cdot (2462.34^3 - 2,440^3) \\ = 104,695,409 \text{ mm}^3 = 104,695 \text{ cm}^3$$

Toplam sac hacmi = $409,718 \text{ cm}^3$

Kullanılan sac ağırlığı = $409,718 \cdot 0.00785 = 3,216 \text{ kg} = 3.216 \text{ ton}$

Kullanılan sac maliyeti = $3.216 \cdot 480 = 1,544 \text{ USD}$

Çizelge 10.3.-'te aynı hesap yöntemiyle 22, 35, 50, 70, 115 ve 180 m³'lük silindirik LPG tanklarının sac ağırlıkları ve maliyetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 10.3.- Büyük hacimli silindirik tankların ağırlıkları ve sac maliyetleri

Tank hacmi (m ³)	Tank ağırlığı (kg)	Sac maliyeti (USD)
22	3,216	1,544
35	4,888	2,346
50	7,165	3,439
70	9,897	4,751
115	15,361	7,373
180	22,251	10,681

10.3. Büyük Hacimli Silindirik Tankların Kaynak Maliyetleri

Kaynak maliyeti (herşey dahil) = 10.76 USD/m

İmalat yöntemi : Silindirik tankın imalatı esnasında 3 m'lik sac levhalar kullanıldığı ve bombe kısımlarının tek parçadan imal edildiği kabul edilmiştir.

Toplam kaynak uzunluğu, silindirik gövde çevresinin, gövde parça adediyle çarpımına, silindirik gövde uzunluğunun eklenmesiyle bulunmuştur.

Çizelge 10.4.- Büyük hacimli silindirik tankların kaynak uzunlukları ve maliyetleri

Tank hacmi (m ³)	Gövde parça adedi (adet)	Toplam kaynak uzunluğu (mm)	Kaynak maliyeti (USD)
22	3	27,036	291
35	4	37,522	404
50	3	35,288	380
70	4	47,984	516
115	6	73,376	790
180	7	93,469	1,006

10.4. Büyük Hacimli Küresel Tankların Et Kalınlığı Hesabı

Şekil 10.2.'de görünüşü verilen küresel tankların aşağıdaki kabuller doğrultusunda hesaplanan et kalınlıkları Çizelge 10.5.'te verilmiştir.

$$P_d \text{ (dizayn basıncı)} = 17.16 \text{ bar}$$

$$P_t \text{ (test basıncı)} = 25.74 \text{ bar}$$

$$S_d \text{ (dizayn koşullarındaki emniyet katsayısı)} = 1.5$$

$$S_t \text{ (test koşullarındaki emniyet katsayısı)} = 1.1$$

$$c_2 \text{ (korozyon aşınma payı)} = 1$$

$$K \text{ (malzeme gerilim değeri)} = 355 \text{ N/mm}^2 = 3618,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$V \text{ (kaynak dikiş faktörü)} = 1$$

$$\gamma \text{ (propanın özgül ağırlığı)} = 509 \text{ kg/m}^3$$

Gerçek et kalınlığına ulaşabilmek için basınçtan gelen et kalınlığı ve tank içerisindeki akışkanın ağırlığından gelen et kalınlığı toplanır.

Basınçtan Gelen Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{D_a \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

Akışkan Ağırlığından Gelen Et Kalınlığı Formülü

$$s = \frac{\gamma_{propan} \cdot D_a^2}{4 \cdot \frac{K}{S} \cdot v \cdot 10^4}$$

Çizelge 10.5.- Büyük hacimli küresel tankların hesaplanan et kalınlıkları

Hacim (m ³)	Ø D (mm)	Et kalınlığı (mm)	
		Dizayn	Test
22	3,497	7.39	7.05
35	4,078	8.47	8.24
50	4,592	9.42	9.30
70	5,133	12.83	13.06
115	6,054	10.48	10.49
180	7,025	13.97	14.35

10.5. Büyük Hacimli Küresel Tankların Sac Maliyetleri

Kullanılan sac malzemesi yoğunluğu = 7,850 kg/m³ = 0.00785 kg/cm³

Kullanılan sac malzemesi fiyatı = 480 USD/ton

Küresel tankın sac hacmi : $V_k = (\pi / 6) \cdot (D_a^3 - D_i^3)$

22 m³'lük küresel tank için sac maliyeti hesabı ;

$$\begin{aligned} \text{Toplam sac hacmi} &= (\pi / 6) \cdot (D_a^3 - D_i^3) = (\pi / 6) \cdot (3511.78^3 - 3,497^3) \\ &= 285,114,838 \text{ mm}^3 = 285,115 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Kullanılan sac ağırlığı = 285,115 . 0.00785 = 2,238 kg = 2.238 ton

Kullanılan sac maliyeti = 2.238 . 480 = 1,074 USD

Çizelge 10.6.-'te aynı hesap yöntemiyle 22, 35, 50, 70, 115 ve 180 m³'lük küresel LPG tanklarının sac ağırlıkları ve maliyetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 10.6.- Büyük hacimli küresel tankların ağırlıkları ve sac maliyetleri

Tank hacmi (m ³)	Tank ağırlığı (kg)	Sac maliyeti (USD)
22	2,238	1,074
35	3,488	1,674
50	4,919	2,361
70	8,529	4,094
115	9,514	4,567
180	17,536	8,417

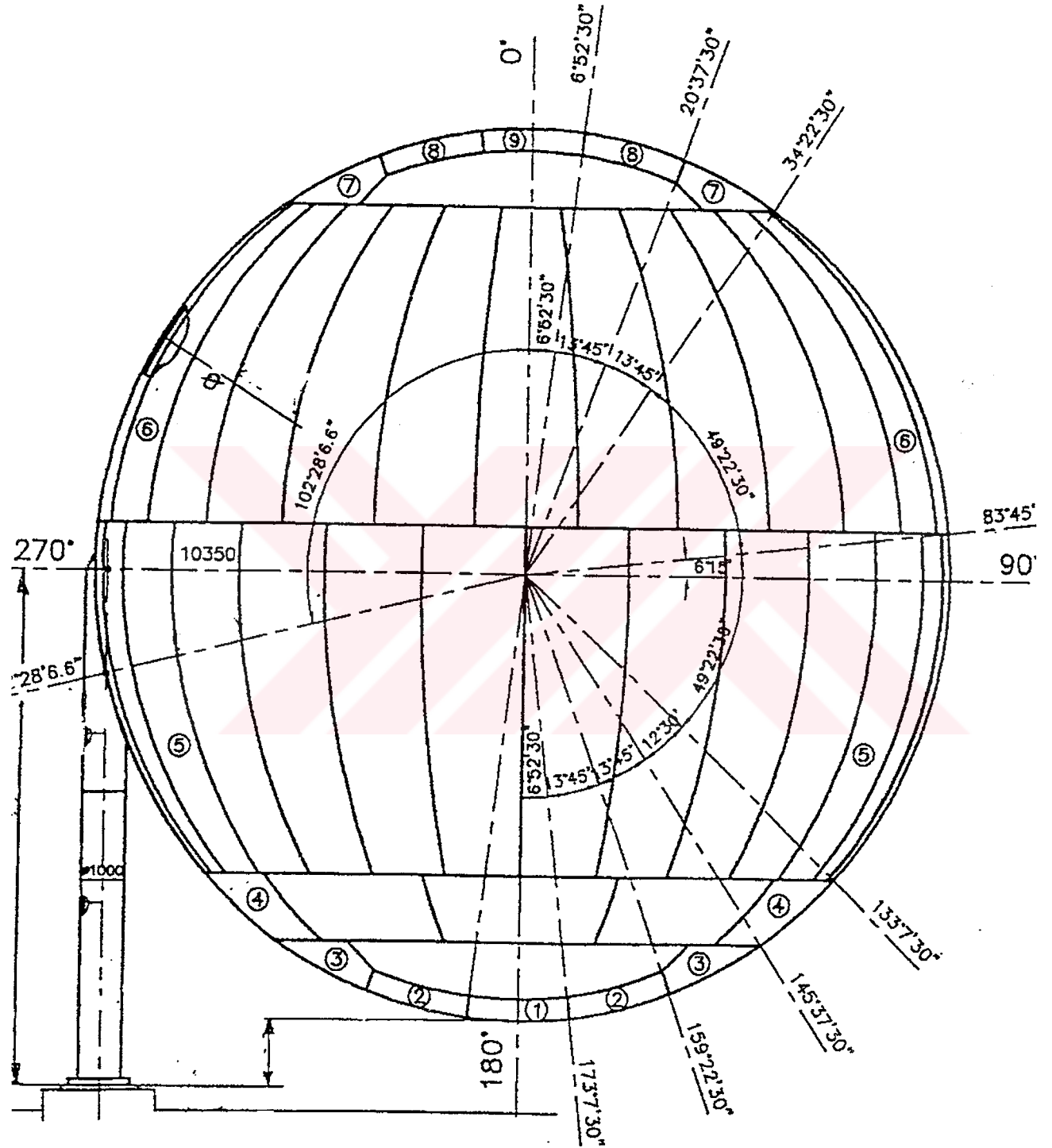
10.6. Büyük Hacimli Küresel Tankların Kaynak Maliyetleri

Kaynak maliyeti (herşey dahil) = 10.76 USD/m

İmalat yöntemi : Küresel tankın imalatı esnasında gövde yatay şekilde alt ve üst kep olmak üzere ayrı ayrı parçalardan imal edilir. Alt ve üst kep ise tankın hacmine bağlı olarak birbirine eşit büyüklükteki parçalardan imal edilmiştir.

Çizelge 10.7.- Büyük hacimli küresel tankların kaynak uzunlukları ve maliyetleri

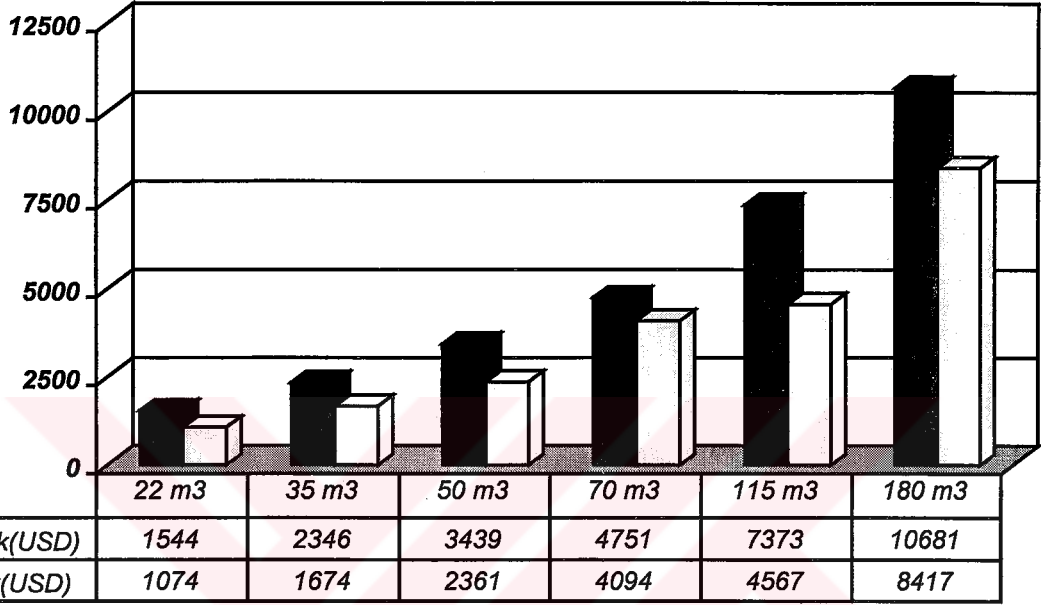
Tank hacmi (m ³)	Gövde parça adedi (adet)	Toplam kaynak uzunluğu (mm)	Kaynak maliyeti (USD)
22	8	32,958	355
35	10	44,840	482
50	12	57,705	621
70	14	72,566	781
115	16	95,096	1,023
180	18	121,383	1,306



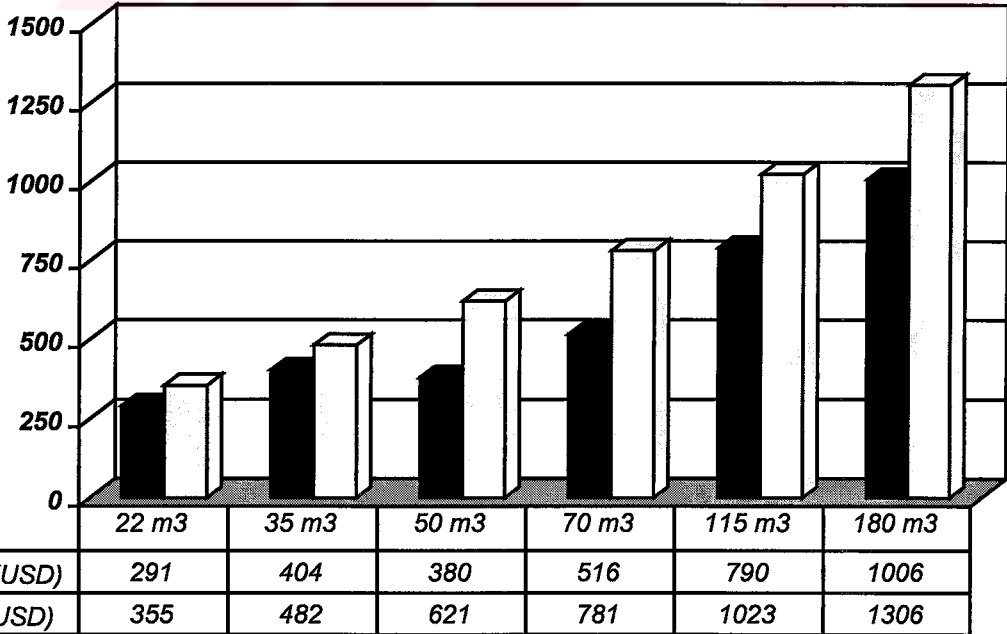
Şekil 10.2.- Büyük hacimli küresel tank görünüşü (ÇİMTAŞ Teknik Katalogları)

11. SONUÇLAR

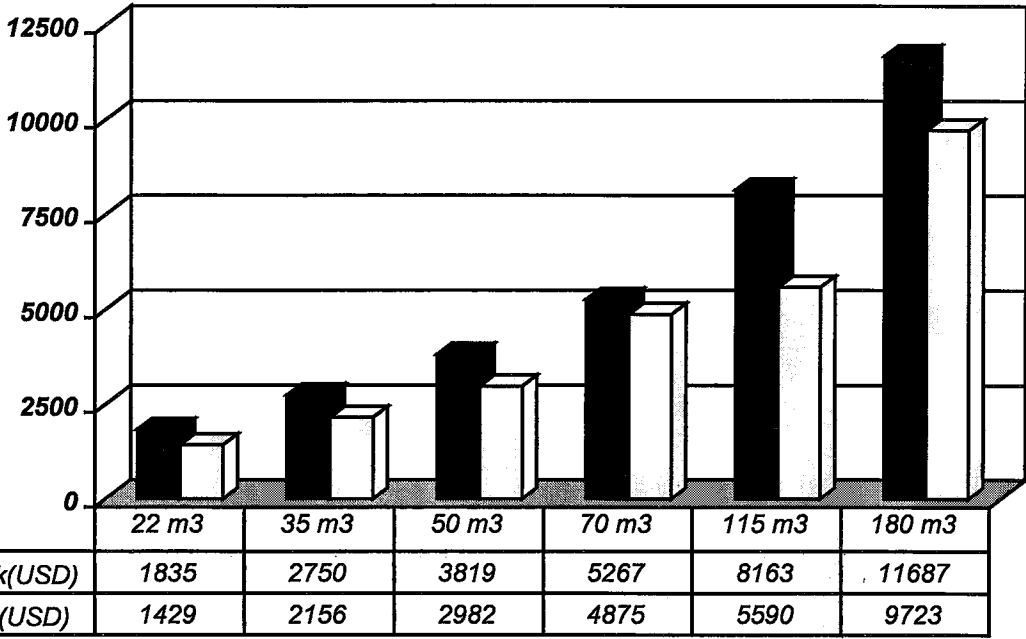
Tüm tanklar (küresel veya silindirik, yeraltında veya yerüstünde olsun) AB Merkblaetter (Alman Normu) veya diğer normlara uygun olarak dizayn edilir ve EN standartlarına uygun malzemeler kullanarak imal edilir.



Şekil 11.1.- Silindirik ve küresel tankların et kalınlıklarına bağlı sac maliyeti karşılaştırması



Şekil 11.2.- Silindirik ve küresel tankların kaynak maliyetleri karşılaştırması

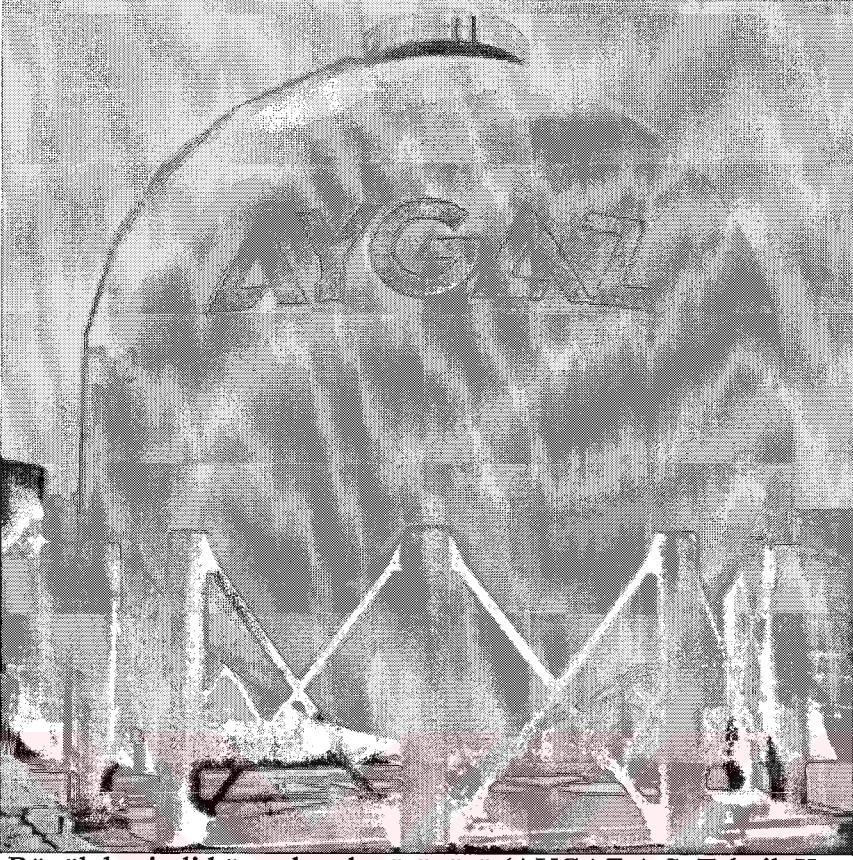


Şekil 11.3.- Silindirik ve küresel tankların toplam maliyet karşılaştırması

İhtiyaca göre çaplar, içerisinde konacak gaz v.b. gibi faktörlere dayanarak, gerekli emniyet katsayıları da dikkate alınarak tankların et kalınlıkları belirlenir. Şekil 11,3,'deki toplam maliyet karşılaştırmaları incelendiğinde, küresel tanklarda maliyetlerin silindirik tanklara oranla daha düşük olduğu göze çarpmaktadır. Oysa daha önce de değinildiği gibi LPG sistemlerinin kurulmasında tank boyutu ve seçimi, sadece maliyetlere endeksli değildir.

Küresel ve silindirik olarak tankların ele alınması tamamen fizibilite çalışmalarına dayanmaktadır.

- Küresel tanklarda gövde ve bombe parçalı imal edildiği için kaynak işçiliği ve kaynak sarf malzemeleri maliyeti arttırmaktadır.
- Küresel tankların tek parça halinde nakledilmeyeceği için, sahada montajının yapılması gerekmektedir. Bu nedenle saçların defalarca sahaya taşınması ek nakliye ve montaj maliyetlerine neden olmaktadır.
- Küresel tankların imalat süresi silindirik tanklardan oranla daha uzun sürer.
- Küresel tanklarda, tank emniyet mesafeleri silindirik tanklara oranla daha fazla olduğundan mevcut kullanım alanı daralmaktadır.



Şekil 11.4.- Büyük hacimli küresel tank görünüşü (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).



Şekil 11.5.- 22 m³'lük silindirik tankın kamyon üzerindeki uygulaması (AYGAZ A.Ş. Teknik Katalogları).

KAYNAKLAR

AD Merkblätter, (1977), "Design of Pressure Vessels", Carl Heymans Verlag KG Gereonstrasse 18/32 D-5000 Köln 1.

Anık, S., (1983), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul.

Anık, S., (1990), Silindirik LPG Tanklarının Bilgisayar Yardımıyla Tasarımı, 4. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Yalova.

AYGAZ A.Ş., Teknik Katalogları.

AYGAZ A.Ş., Stratejik Planlama Katalogları..

C Hoare, M., (1996), "LPG-Supply, Economics, Markets and International Trading", 2-6 Eylül 1996, Oriel College, Oxford.

Çimtaş Teknik Katalogları.

Erdemir Çelik, Teknik Katalogları.

M.E.B., (2000), Metal Mesleğinde Tablolar, İstanbul.

Sollac, Teknik Katalogları.

TMMOB, (1999), "LPG ve Uygulamaları Konferansı Bildiriler Kitabı", 24 Eylül 1999, İstanbul.

Türk Standartları, (1979), Basınçlı Kap Tasarım Kuralları.

Türk Standartları, (1446), Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) – Depolama Kuralları.

Türk Standartları, (1982), Çelik Sac ve Levhalar.

Uztuğ, H.Emin., (1992), Basınçlı Kaplar El Kitabı, Maya Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	16.06.1974	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Özel Dost Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurumlar

1998-1999 Mani Mühendislik San. ve tic. Ltd. Şti.

2000-Devam ediyor Aygaz A.Ş.

