

**TEKNİK BİLGİLER**

*TECHNICAL INFORMATION*



## 1.0. SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI MALZEMELERİ

### 1.1. Plastomerler (Termoplastikler)

Makro moleküler yapıya sahip olan bu malzemeler termoplastikler ya da mühendislik plastikleri olarak da isimlendirilirler.

Molekül yapıları incelendiğinde, elastomerlerde olduğu gibi çapraz bağların bulunmadığı görülür. Yük altında formunu değiştirerek tekrar eski haline dönebilme özelliği olmasına rağmen elastomerlerle kıyaslandığında bu özelliği daha düşük performans gösterir.

Sızdırmazlık elemanlarında genellikle kullanılan plastomerler poliasetal, polyamid ve PTFE (Teflon) malzemeleridir.

#### 1.1.1. Poliasetal (POM) (Polyoxymethylene)

Hidrolik-Pnömatik sistemlerde yataklama elemanı malzemesi olarak ya da destek ringi malzemesi olarak kullanılırlar.

Kullanım yerine göre katkısız ya da cam elyaf katkılı tipleri vardır. -40°C ile +140°C arasında çalışma sıcaklığı olmasına rağmen +100°C üzerinde ölçü stabilitesini sağlayamaz.

Mineral yağlarda ve HFA, HFB tipi yağlarda emniyetle kullanılırlar. Cam elyaf katkılı tiplerinde daha yüksek kontak basıncı dayanımı elde edilir.

#### 1.1.2. Polyamid (PA6, PA6, 6)

-40°C ile +100°C arasında yüksek ölçü stabilitesi sağlayan aralıklı olarak +140°C çalışabilen bir malzemedir.

Poliasetaller gibi Hidrolik-Pnömatik silindirlerde yataklama elemanı ve destek ringi olarak kullanılırlar. Katkısız ve cam elyaf katkılı tipleri bulunmaktadır.

#### 1.1.3. PTFE (Teflon)

1938 yılında, DUPONT Laboratuvarlarında Dr. Roy J. Plunket Freon ile test yaparken tedadüf eseri beyaz renkte vaks tipi bir malzeme keşfetti. Daha sonra yapılan araştırmalar neticesinde çok önemli özelliklere sahip olduğu araştırılarak endüstrinin kullanımına kazandırıldı.

Üretim teknolojisi olarak, toz metalürjisi üretim tekniğine benzer. PTFE toz halinde iken mil ya da boru olarak kalıplanır. Sinterleme sonrasında mekanik olarak talaş kaldırma yöntemi ile ihtiyaç duyulan form verilir. Ancak; özellikle son 15-20 yılda sağlanan gelişmeler neticesinde, termoplastikler gibi enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri de yaygın olmamakla birlikte kullanılmaktadır.

Saf olarak kullanıldığı gibi, içine katılan bazı dolgu maddeleri ile mekanik özellikleri artırılabilir. Kullanılan dolgu maddelerinin PTFE üzerindeki başlıca etkileri akma kuvvetini arttırmak, sürtünme kuvvetini azaltmak, aşınma mukavemetini arttırmak, kopma kuvvetini arttırmak, sertliğini arttırmak, ısı karşısında şekil değiştirme özelliğini azaltmak olarak sayılabilir.

En önemli kullanılan dolgu maddeleri;

- Cam elyaf
- Karbon-grafit
- Boya pigmentleri
- Bronz Molibden disülfid

##### 1.1.3.1. Cam Elyaf

Cam elyaf katkısı çok geniş bir sıcaklık aralığında kimyasallara olan direncini artırır. Özellikle güçlü alkalin solüsyonları ve hidroflorik asitlere dayanımı çok iyidir.

## 1.0. SEALING ELEMENT MATERIALS

### 1.1. Plastomers (Thermoplastics)

*These materials with macro molecular structure are called thermoplastics or engineering plastics.*

*On examination of the molecular architecture, it can be seen that, unlike elastomers, there are no cross links present. Although this product is resilient under system pressure, that is to say it is able to return to its original form, its performance is lower compared to elastomers.*

*Polyacetal, polyamide and PTFE (Teflon) materials are generally used plastomers in sealing elements.*

#### 1.1.1. Polyacetal (POM) (Polyoxymethylene)

*These are used as back-up rings or guiding element materials in hydraulic and pneumatic systems.*

*There are two types of POM, filled with or without fibreglass, depending on their use. Despite working temperatures ranging from -40°C to +140°C, realistically dimensions can not remain stable in excess of 100°C.*

*It can be used safely with mineral oils and HFA, HFB type oils. Types with added fibreglass provide longer lasting contact pressure resistance.*

#### 1.1.2. Polyamide (PA6, PA6, 6)

*This material can be used at peak temperature of 140°C and can retain its dimensions between -40°C and 100°C.*

*Like Polyacetals, Polyamids can be used as back-up rings and guiding elements in Hydraulic-Pneumatic cylinders. They are available with or without fibreglass.*

#### 1.1.3. PTFE (Teflon)

*In 1938, in the DUPONT Laboratories, Dr. Roy J. Plunket Freon happened upon a white waxy substance whilst carrying out some tests. On further analysis, the culmination of the research revealed that the substance contained important qualities for use in industry.*

*In production technology, PTFE, whose production technique resembles that of powder metallurgy, in its powdered form is moulded as rods or tube and sintered in oven. However, as a result of technological progress over the last 15-20 years, injection and extrusion methods are used on materials such as thermoplastics, which have become less popular, and therefore less widely used.*

*Teflon can be used as virgin, or used within fillers in order to improve mechanical performance. The fillers' effects on PTFE are to improve extrusion resistance, reduce friction and form changes under extreme heat conditions. In addition, it increases resilience to attrition and hardening.*

*The most important fillers are;*

- Fibreglass,
- Carbon-graphite,
- Colouring pigments,
- Bronze and molybdenum disulfide.

##### 1.1.3.1. Fibreglass

*Fibreglass filler provides chemical resistance in a wide range of working temperatures. It is especially resistant to powerful alkaline solutions and hydrofluoric acids.*



### 1.1.3.2. Karbon-Grafit

Aşınma dayanımı ve sertliğini artırır. Karbon grafit katkılı teflon, talaşlı imalat sırasında takım uçlarının çabuk aşınmasını önler. Yüksek basınç dayanımını sağlar.

### 1.1.3.3. Molibden di Sülfür

Sertliği arttırdığı gibi, sürtünme kuvvetini düşürür. Diğer katkı maddeleri ile birlikte kullanılır.

### 1.1.3.4. Bronz Katkısı

Termal dayanımı ve akma mukavemeti ile yüksek basınç dayanımını artırır. Hidrolik uygulamalarda en çok tercih edilen dolgu tipidir.

## 1.2. ELASTOMERLER

Plastomerlerden farklı olarak makro moleküler yapılarında çapraz bağlar yaptıkları görülür. Bu özellikleri nedeni ile çok üstün viskoelastik malzemelerdir. Viskoelastik malzemeler yapıları gereği hem akıcı hem de elastik (yay) özelliği gösterirler. Dünyada ilk olarak kauçuk ağacının kabuğuna kanal açılarak toplanan sıvının (latex) kükürt ile modifiye edilmesi ile kullanılmıştır.

Oda sıcaklığında orijinal boyunun en az iki misline kadar uzatılabilen ve tatbik edilen kuvvet ortadan kaldırıldığına orijinal haline dönebilen polimerik malzemeler elastomer olarak adlandırılır.

Makro moleküler yapıdaki çapraz bağlanma ısı ve basınç etkisi ile sağlanır. Bu işlem vulkanizasyon olarak adlandırılır. Vulkanizasyon sonrasında (çapraz bağlanma reaksiyonu) üstün elastik özellikleri kazandırır.

Yaygın kullanılan elastomerler aşağıda açıklanmaktadır;

### 1.2.1. Nitril (NBR)

Çok yaygın kullanımı olan nitril bir bütadien ve Acrylo nitrile polimeridir.

ALP NBR karışımları %30 ile %50 arasında değişen Acrylo nitrile (ACN) içermektedir. -30°C ile +105°C (kısa aralıklı olarak +130°C'de) çalışma sıcaklığı olan NBR karışımlarımız mineral yağlar (yağlama yağları, grup H, H-L ve H-LP) ve gresler ile mineral yağ bazlı yanmaz yağlarda (grup HFB ve HFC) bitkisel ve hayvansal yağlarda, alifatik hidrokarbonlarda (propan, bütan, petrol) oldukça iyi direnç gösterir.

Aromatik hidrokarbonlar (benzen, trichloroethylene, HFD tip yanmaz yağlarda), glolik ether bazlı fren hidroliklerinde kullanılması önerilmemektedir.

### 1.2.2. Hidrojene Nitril Bütadien Kauçuk (HNBR)

Normal NBR polimerinin çift bağlanmış bütadien ile tamamının ya da bir kısmının hidrojene edilmesi ile elde edilen bir polimer türüdür. Kimyasallara dayanımı NBR'a benzer. Peroksitlerle kürlenildiğinde yüksek çalışma sıcaklıklarına ulaşır. Çalışma sıcaklığı -30°C ile +130°C arasındadır.

### 1.2.3. Viton (FKM) (FLUORO ELASTOMER)

-30°C ile +225°C arasında her tip gres yağ ve solvante dayanıklıdır. Düşük gaz geçirgenliği olan sistemlerde iyi sonuç verir. Birçok kimyasala karşı direnci çok iyidir. Mineral yağlar ve gresler, yakıtlar, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar ve bazı yanmaz yağlara karşı direnci çok iyidir.

### 1.2.4. Silikon (MVQ)

Ozon, hava ve yağa karşı çok dirençli olan silikon -60°C ile +200°C arasında özelliğini korur. Ancak oksitlenmiş yağlar ile bazı hipoit ve E.P tipi yağlara dayanıklılığı azdır.

### 1.1.3.2. Carbon-Graphite

*It improves resistance to wear and hardness. Teflon filled with Carbon-Graphite prevents quick wear on tool inserts during machining and provides high pressure resistance.*

### 1.1.3.3. Molybdenum di Sulphite

*Improves hardness and reduces friction force. It is used with the other fillers.*

### 1.1.3.4. Bronze

*Improves thermal resistance, high pressure stability and extrusion resistance. It is the most preferred filler for hydraulic applications.*

## 1.2. ELASTOMERS

*These differ from plastomers in the respect that the macro molecular structure comprises of cross links. Due to this characteristic, these are highly superior visco-elastic products. These products need to contain the properties of both liquidity and elasticity. Elastomers are derived from the sap of the rubber tree, which is extracted by penetrating the bark, and is collected and modified with sulphur.*

*Materials which can be stretched to twice their original size before returning to their original dimensions at room temperature are called polymeric elastomer products.*

*Macro molecular cross links can be produced with the effect of heat and pressure. This process is called vulcanization (cross link reaction) and gives the material its perfect elastic properties.*

*The most commonly used elastomers are explained below;*

### 1.2.1. Nitrile (NBR)

*It is a widely used nitrile butadiene and acrylo nitrile polymer.*

*Alp Seals NBR formulas contain between 30% and 50% acrylo nitrile (ACN). Our NBR which has a working temperature between -30°C and +105°C (peak temp. at +130°C) show extremely high resistance under different working conditions such as mineral oils (H, H-L and H-LP type lubricating oils) and grease and mineral based fire resistance oils (HFB and HFC group oils), vegetable and organic oils, and aliphatic hydrocarbons (propane, butane, petrol)*

*Strongly not recommended for aromatic hydrocarbons (benzene, trichloroethylene, HFD type fire resistance oils), glycol and ether contained break hydraulics.*

### 1.2.2. Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber (HNBR)

*HNBR rubber, is a fully or partial hydrogenated standard NBR polymer with double linked butadiene. Its chemical resistance is similar to NBR. If it is vulcanized with peroxides, working temperature and mechanical durability can be extended. Working Temperature Range is between -30°C to +130°C.*

### 1.2.3. Viton (FKM) (FLUOREL ELASTOMER)

*It is resistant to any type of grease oil and solvent between -30°C and +225°C. Better results can be obtained in low gas transfer systems. It has a good resistance to a range of different chemicals (especially greases, fuels, aliphatic and aromatic hydrocarbons, some fire resistant oils).*

### 1.2.4. Silicone (MVQ)

*Silicone which is highly resistant to ozone, air and oil, protects its characteristics between -60°C and +200°C. Yet, it has poor resistance to oxidised oils, some of hypoid and E.P type oils).*



### 1.2.5. Neopren (CR)

Bir chlorobutadiene polimeridir. Hava, ozon ve yanmaya karşı dirençlidir. Yüksek anilin noktalı mineral yağlara ve greslere karşı direnci iyidir. Bu nedenle aynı anda hem yağlara karşı hem de hava ve ozona karşı dirençli olması gereken uygulamalarda kullanılır.

Örneğin; otomotiv sanayinde rot-rotül körükleri neopren malzemeden üretilirler. -45°C ile +105°C arasında çalışma sıcaklığı vardır.

### 1.2.6. Etilen Propilen Kauçuk (EPDM)

Çalışma sıcaklığı -40°C ile +145°C arasındadır. Fosfat, ester akışkanlarına, otomotiv fren yağlarına, su ve buhara karşı direnci oldukça iyidir.

### 1.2.7. Sitren Bütadien Kauçuk (SBR)

-50°C ile +100°C arasında çalışma sıcaklığı olan SBR glikol esaslı fren yağlarına inorganik asitlere, bazlara ve alkole karşı dirençlidir. Diğer elastomerlerle örneğin; tabii kauçuk ile sıkça karışım yapılarak da kullanılır.

### 1.2.8. Poliüretan (PU)

Enjeksiyon tekniği ile kalıplanan poliüretan -30°C ile +100°C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. Kopma, yırtılma ve aşınma dayanımı son derece iyi olan poliüretan aynı zamanda hava ve ozona, mineral yağlar, gres ve alifatik hidro karbonlara karşı çok dirençlidir.

### 1.2.9. Tabii Kauçuk (NR)

Kauçuk ağacından elde edilen tabii kauçuk -60°C ile +100°C arasında kullanılır. Yüksek mekanik özellikleri sayesinde esneklik gerektiren (vibrasyon takozları vb.) yerlerde kullanılır.

## 1.3. TERMOPLASTİK ELASTOMERLER (TPE)

Çalışma sıcaklığı -40°C ile +120°C arasındadır. Enjeksiyon tekniği ile kalıplanabilen TPE malzemesi sahip olduğu yüksek kopma kuvveti ve mineral yağlara olan dayanımı nedeni ile hidrolik-pnömatik uygulamalarda değişik kombinasyonlarla kullanılmaktadır.

### 1.2.5. Neoprene (CR)

CR is a chlorobutadiene polymer. It is resistant to air, ozone and flame. It has good resistance to mineral oils with high aniline points and greases. Thus, it is used in applications which need to be resistant both to oils and air and ozone at the same time.

For example; rod and rod end bellows in automotive sector are produced from neoprene materials. Working Temperature Range: -45°C to +105°C.

### 1.2.6. Ethylene Propylene Rubber (EPDM)

It has excellent resistance to phosphate, ester fluids, automotive break fluids, water and steam. Working Temperature Range: -40°C to +145°C

### 1.2.7. Styrene Butadiene Rubber (SBR)

It has good resistance to glycol based automotive break oils, inorganic acids, base chemicals and alcohol. Often used with other elastomers e.g. natural rubber. Working Temperature Range: -50°C to +100°C

### 1.2.8. Polyurethane (PU)

PU is moulded with injection techniques. It has excellent mechanical properties such as high tensile strength, wear resistance, tear strength, and extrusion resistance. It offers a good resistance to air, ozone, mineral oils, grease and aliphatic hydro carbons. Working Temperature Range: -30°C to 100°C.

### 1.2.9. Natural Rubber (NR)

NR is produced from rubber tree. It can be used when high mechanical resistance and elasticity is necessary (for example, vibration absorber blocks etc.). Working Temperature Range: -60°C to 100°C.

## 1.3. THERMOPLASTIC ELASTOMERS (TPE)

TPE materials are widely used in different hydraulic-pneumatic applications with a variety of combinations due to their high resistance to mineral oils and high tensile strength. Working temperature is between -40°C and +120°C



## 2.0. HİDROLİK SİSTEMLERDE KULLANILAN AKIŞKANLAR

## 2.0. COMMONLY USED MEDIAS FOR HYDRAULIC SYSTEMS

Hidrolik sistemlerde en yoğun kullanılan akışkan tipi DIN 51524'e uygun mineral yağlardır. Bu yağlar 5 gruba ayrılmaktadır.

These oils, which comply with the DIN 51524 standards, are commonly used in hydraulic systems. There are 5 different categories.

DIN 51524 MİNERAL YAĞLAR / DIN 51524 MİNERAL OILS				
HİDROLİK AKIŞKAN TİPİ MEDIA	STANDART STANDARD	ÖZELLİKLER SPECIFICATIONS	UYGULAMA ALANLARI APPLICATION AREA	ULUSLAR ARASI TERMİNOLOJİ INTERNATIONAL TERMINOLOGY
H-L Tip Yağlar H-L Type Oils	DIN-E 51524 part 1	Oksidasyon engelleyiciler ve paslanma önleyiciler içerir. Contains oxidation retardant and rustproofing agent.	Genel Kullanım General Usage	HL
H-LP Tip Yağlar H-L Type Oils	DIN-E 51524 part 2	H-L Tip yağlara ilave olarak aşınma önleyici katıklar içerir. H-L Type oils are added to prevent erosion.	Yüksek basınç gerektiren uygulamalarda High pressure systems	HM
H-V Tip Yağlar H-V Type Oils	DIN-E 51524 part 3	H-LP Tip yağlara ilave olarak ısı dengeleyici katık içerir. H-LP Type oils are added as a heat regulating agent	Değişen sıcaklıkta çalışan sistemler Various Temperature Systems	HV
H-LPD Tip Yağlar H-LPD Type Oils	—	H-LP Tip ancak sınırlı olarak deterjan ve su içerir H-LP Type oils contain only a limited amount of detergent and water.	Suya izin verilen uygulamalarda -Tortu oluşmasının istenmediği Processes in which water is used -Prevents the build up of deposits	—
H-D Motor Yağlar H-D Motor Oils	API-CC API-CD API-SE	Oksidasyon ve paslanma önleyici aşınma azaltıcı atıklar içerir. Oxidisation and rustproofing agent which reduces erosion.	Mobil Hidrolik Sistemler Mobile Hydraulic systems	—

Tablo - 1 / Table - 1

Ancak, hidrolik sistemlerde her zaman mineral yağlar kullanmak mümkün olmayabilir. Kullanılan akışkan tipi sızdırmazlık elemanları malzemesinin tespiti açısından çok önemlidir. Aşağıdaki tabloda, yaygın olarak kullanılan akışkan tipleri ve kullanım alanları görülebilir.

However, it may not always be possible to use mineral oils in hydraulic systems. It is important to consider the type of media being used when choosing the appropriate seals. The table below shows commonly used media types and the areas in which they are used.

MALZEME MATERIAL	VDMA 24317 veya DIN 24320 'ye göre yanmaz Hidrolik yağlar Inflammable Hydraulic oils - VDMA 24317 or DIN 24320 standards			
	HFA	HFB	HFC	HFD
70 NBR	55	60	60	—
80 NBR	55	60	60	—
90 NBR	55	60	60	—
70 FKM	55	60	60	150
80 FKM	55	60	60	150
90 FKM	55	60	60	150
80 PU	40	40	40	—
90 PU	40	40	40	—
PTFE	—	—	—	—
TPE	40	40	40	—
POM	55	60	60	80

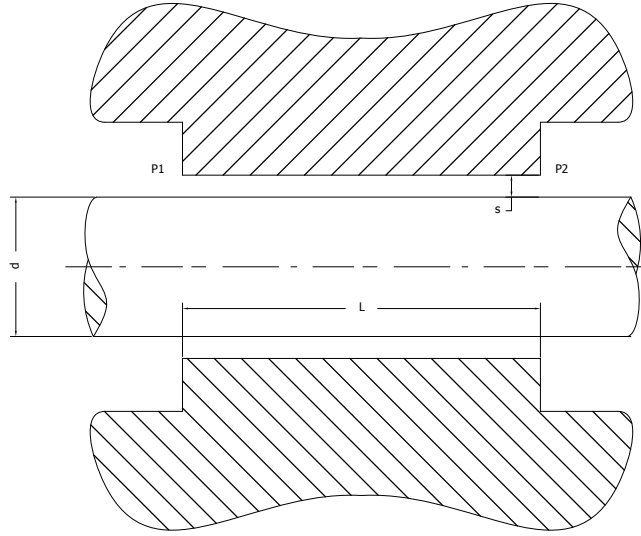
Tablo - 2 / Table - 2

### 3.0. SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ ÇALIŞMA MANTIĞI

Hidrolik sistemlerde iki bölge arasında basınç farkı yaratmak istersek sızdırmazlık sağlama gerekliliği ortaya çıkar.

### 3.0. SEALING MECHANISM

If we want to create a pressure difference between two different areas in hydraulic systems, the necessity of sealing arises.



Şekil - 1 / Figure - 1

Sağlanmak istenen basınç farkına göre Şekil -1'deki örnekte görüldüğü gibi Rod ile silindir arasında kalan boşluktan bir akış (sızdırma-kaçak) meydana gelir.

Burada basınç farkına,

$\Delta P = P1 - P2$  dersek 'S' boşluğundan geçecek yağ akış miktarı;  
 $Q = \pi \cdot d \cdot \Delta P \cdot S^3 / 12 \cdot \mu \cdot L$

Burada, Q=Akış miktarı  $\mu$ =Vizkozitedir.

Gerçek uygulamalarda tek taraflı "S" boşluğu piston kolunun her iki yönünde her zaman eşit olmaz. Radial kuvvetler nedeni ile çoğunlukla bir yöne doğru temas edebilirler. Bunun anlamı tek taraflı S boşluğunun artmasıdır.

Yukarıda verilen formüle bakacak olursak, "S" boşluğunun iki kat artması kübü ile orantılı olduğu için geçen yağ miktarının sekiz kat artmasına neden olacaktır.

Pratik olarak, işleme toleranslarını "S" boşluğu sıfır olacak şekilde ayarlamak mümkün değildir.

Bu tip uygulamalarda genel olarak elastomer malzemelerden yapılmış sızdırmazlık elemanları kullanılır. Sızdırmazlık elemanlarının çalışma mantıklarını incelerken aşağıdaki şekil-2 de gösterilen o-ringlerin çalışma mantığına bakabiliriz.

Şekilde görülen o-ring dinamik olarak ve boğaz sızdırmazlık elemanı gibi görev yapmaktadır. Genel prensibe göre, yuvaya montaj yapıldıktan sonra, mutlaka uygun miktarda yuvada boş alan kalmalıdır.

Montaj yapılan o-ring sistem basınçsız durumda iken dizaynı gereği Rod üzerine bir baskı uygular. Buna ön yükleme ya da sıkma kuvveti olarak isim verilir. Ön yükleme, basınçsız durumdaki sızdırmazlığı sağlamak açısından çok önemlidir.

Sistem basınçlandığı zaman, basınçlı akışkanın sızdırmazlık elemanı kanalına kadar, rahatça gelmesine izin veren bir konstrüksiyon olmalıdır.

Sızdırmazlık elemanı yuvasına dolan basınçlı akışkan, keçe malzemesini şişirerek statik ve dinamik yüzeylere uyguladığı baskı kuvvetini arttırmasına neden olur. Bu şekilde sızdırmazlık sağlanmış olur.

As seen in diagram-1, depending on the required pressure difference, a leakage occurs within the gap between rod and cylinder.

Where, pressure difference =  $\Delta P$

If  $\Delta P = P1 - P2$

Q, the oil flow rate from 'S' gap, will be  
 $Q = \pi \cdot d \cdot \Delta P \cdot S^3 / 12 \cdot \mu \cdot L$

Where, Q= Flow rate  $\mu$ =Viscosity

In real applications, the "S" gap between both sides of the piston rod is not always equal. Due to radial forces there may be excessive contact on one side.

This means that the the "S" gap will increase on one side.

If we look at the formula above, the "S" gap shows a twofold increase which is proportional to the cubed volume therefore resulting in an eightfold increase in passing oil rate.

In practice, it is not possible to set the production tolerances of the "S" gap at zero.

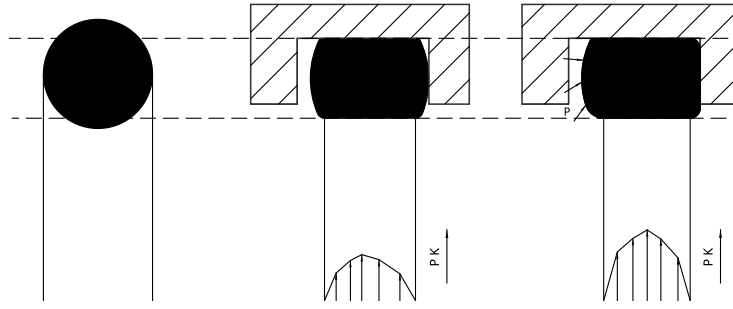
Therefore, if a leakage is not desired, we are obligated to use a sealing element in this section.

Seals made of elastomer materials are generally used in this kind of applications. When analysing the way in which seals work, we can see in figure-2 the logic behind the role of the O-ring. The O-ring illustrated in the diagram is depicted as being dynamic and functions as a rod sealing element. According to the general principle, after being fitted into the groove, a sufficient amount of space must remain in the groove.

When the system is in unpressurised condition, assembled O-ring, because of its design, applies a pressure on the Rod. We call this a pre-load. Pre-load is essential to provide sealing in unpressurised conditions.

When the system is pressurised, there must be a construction which allows the pressured media through as far as the sealing element housing.

This pressured media which starts to fill the sealing element groove, leads to an increase in pressure force applied on static and dynamic surfaces by expanding the seal material. In this way, sealing is obtained.



Şekil - 2 / Figure - 2

Aşağıdaki Şekil-3'de fea (finite element analysis) sonucu görülmektedir. Burada dijital ortamda bir o-ring'in çalışması simüle edilmiştir. O-ring malzemesinde meydana gelen kritik yükler nedeni ile deformasyonlar farklı renk tonları ile görülmektedir.

Sistemin basınçsız bölümünde kalan tek taraflı boşluk nedeni ile bu kritik yüklerin artabileceği ve o-ring malzemesinin viskos (su) özelliğine geçebileceği yani akma problemi meydana gelebileceği unutulmamalıdır. Sızdırmazlık elemanı üreticileri bu durumu dikkate alarak tasarım yaparlarken, Hidrolik silindir üreticilerinin de bu önemli konuyu dikkate almaları gerekmektedir.

Sızdırmazlık elemanı kanalında boşluk olmaması durumunda basınçlı akışkan sızdırmazlık elemanı malzemesini şişiremeyeceği için, yüksek sürtünme kuvvetleri nedeni ile kısa sürede sızdırmazlık elemanı bozulur ve kaçak problemi başlar.

Below in figure-3 the result of fea (finite element analysis) can be seen. In this analysis, the working of an O-ring has been simulated digitally. The different colours used enable us to see clearly material deformation under critical loads.

We should not ignore the fact that this critical loads can increase and sealing materials can be viscosed i.e. there can be a leakage problem because of the space on one side in the unpressurised part of the system. Therefore, seal manufacturers should show particular care when designing seals and hydraulic piston manufacturers should pay more attention in choosing the right seal product to improve the quality of their end product.

If there is not enough space between seal and groove, pressured media can't expand the sealing element material which will cause excess friction forces and the seal will temporarily be deformed thus creating a leak.



Şekil - 3 / Figure - 3

### 3.1. STATİK SIZDIRMAZLIK

Sızdırmazlık elemanının uyguladığı kontak basıncının atması, statik sızdırmazlıkta yağ kaçağının azalmasına neden olur. Optimum noktaya gelen kontak basıncı, yağ kaçağının tamamen durmasını sağlar. Tabii bu arada, unutulmaması gereken önemli bir faktörde, uygulama yapılan yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerleridir. Doğal olarak, yüksek yüzey pürüzlülük değerleri daha büyük kontak basıncı gerektirir.

Sızdırmazlık elemanı malzemeleri değişik sıcaklıklarda farklı elastiklik ve compression set değerleri oluşturur. Bu neden ile ısı değişimleri sızdırmazlık elemanı üzerinde önemli fonksiyon değişikliği yaratabilir. Özellikle çok düşük sıcaklıklarda sızdırmazlık elemanı malzemesinin sertliğinde meydana gelen değişim nedeni ile görevini yapamayacağı unutulmamalıdır.

### 3.1. STATIC SEALING

The increase in the contact pressure by the sealing element will reduce oil leaks in static sealing. Contact pressure in its optimum level will stop oil leaks completely. Of course in the meantime, an important factor which must not be ignored is the roughness of the application surfaces. Naturally, high roughness values require higher contact pressure.

Sealing materials will give different elastic and compression set results under different working temperatures. Therefore, Temperature differences may create really important functional differences. Low temperatures, in particular, may cause sealing materials to lose elasticity and become hard, resulting in the seal failing to work.

### 3.2. DİNAMİK SIZDIRMAZLIK

Dinamik sızdırmazlığı incelerken tekrar sızdırmazlık işleminin çalışma mantığının anlatıldığı akış formülüne dönecek olursak;

$$Q = \pi.d. \Delta P.S^3 / 12.\mu.L$$

Bu formüle göre, rodta hareket yok ve basınç düşmektedir. Eğer Rod hareketli olmasına rağmen basınç düşmüyorsa,

$$Q1 = \pi.d.S.V/2$$

V= hız formülü ile akış miktarı hesaplanabilir.

Eğer piston kolu uygulanan basınca karşı hareket ediyorsa,

Q dinamik = Q+Q1 olur.

Yani başka bir deyiş ile,

Q dinamik =  $\pi.d. (\Delta P.S^3/12. \mu.L \pm V.S/2)$  olarak hesaplanabilir

### 3.2. DYNAMIC SEALING

While we inspect dynamic sealing, we should look at the working principle which is explained by the flow formula;

$$Q = \pi.d. \Delta P.S^3 / 12.\mu.L$$

In this formula, the rod is static and pressure is decreasing. If the rod is dynamic and pressure is not decreasing.

$$Q1 = \pi.d.S.V/2$$

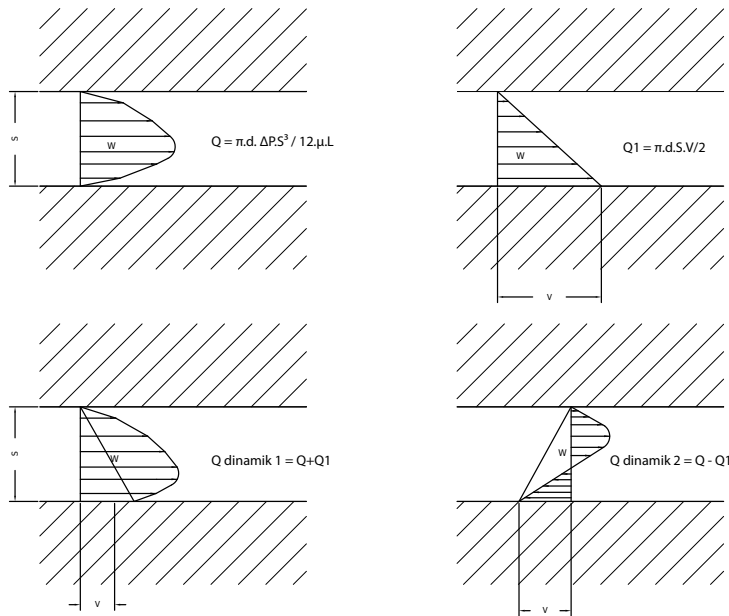
Flow rate can be calculated with V= speed formula.

If the piston is moving with the pressure direction,

Q dynamic = Q+Q1

That is to say,

Q dynamic =  $\pi.d. (\Delta P.S^3/12. \mu.L \pm V.S/2)$



Şekil - 4 / Figure - 4

Bu formül incelendiğinde, dinamik sızdırmazlıkta hız ve hızın yönü önem kazanmaktadır. Ayrıca dinamik uygulamalarda radyal kuvvetler nedeni ile S boşluğu paralel değil ise bölgesel olarak ilave basınç (hidrodinamik basınç) meydana gelir.

Aslında mikroskobik boyutlardaki meydana gelen bu etki nedeni ile sızdırmazlık elemanı ile dinamik yüzey arasında elastik hidrodinamik yağ filmi meydana gelir. Bu yağ filmi ancak birkaç mikron kalınlığındadır.

Oluşan bu yağ filmi kalınlığı hareketin yönü ile orantılıdır. Dinamik uygulamalarda, bu nedenle sıfır sızdırmazlık sağlamak mümkün değildir. Ancak oluşan yağ filmi kalınlığı, uygulamanın şekline göre ve sızdırmazlık elemanı geometrisi ile artırılıp azaltılabilir.

In this formulation speed and direction of the speed will be of great importance. On the other hand, if S gap is not parallel because of radial forces, extra pressure will be created locally (hydrodynamic pressure).

Because of this effect in microscopic size, force will be created in the hydrodynamic oil film between seal and dynamic surface. This oil film is only a few micron thick.

This oil film thickness is proportional to direction of the movement. Consequently, it is not possible to have leak free systems on dynamic applications. Nevertheless, oil film thickness can be decreased or increased depending on application type and seal geometry.

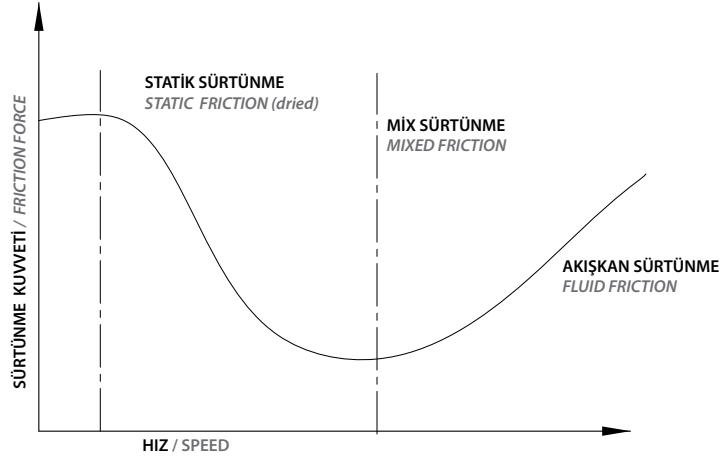


### 3.3. SÜRTÜNME KUVVETİ

Yukarıda anlatılanlar nedeni ile bir yağ filmi üzerinde kayma söz konusu olduğu için, klasik sürtünme kuvveti kanunlarıyla açıklanamaz. Yağ filmi nedeni ile 3 tipte sürtünme meydana gelir:

1. Statik (kuru sürtünme)
2. Karışık sürtünme (kuru ve akışkan sürtünmesi)
3. Akışkan sürtünme (kuru kontak yok)

Hareket başladığında, yüksek sürtünme kuvveti meydana gelerek, hemen karışık sürtünmesi oluşur. Bu neden ile sürtünme kuvvetinde çok ani düşme meydana gelir. Daha sonra akışkan sürtünmesi, yani yağ filmi üzerinde kayma başlar. Hız arttıkça, sürtünme kuvveti doğrusal olarak artmaya başlar.



Şekil - 5 / Figure - 5

Burada oluşan yağ filmi, sistem hızı ile ilgili olduğu gibi akışkan viskozite ile de direkt ilişkilidir. Sürtünme kuvvetine etkileyen en önemli iki faktör; sistem basıncı ve sıcaklığıdır. Sızdırmazlık elemanlarında uygun olmayan sürtünme kuvvetleri, bölgesel olarak yüksek ısı meydana getirir ve sızdırmazlık elemanı malzemesinin bozularak fonksiyonelliğini yitirmesine neden olur.

Aynı zamanda, oluşan yağ filminde yırtılmalar nedeni ile ve uygun olmayan yüzey pürüzlülük değerlerinin de etkisi ile aşınma meydana gelir. Sürtünme kuvvetinin yaratacağı aşınma problemi kaçak meydana getirir.

### 3.3. FRICTION FORCE

Friction force is not possible to be explained with classic friction force laws because of a slide on oil film thickness as explained above. 3 different friction forces occur because of the oil film:

1. Static (dry friction)
2. Mixed friction (dry and media friction)
3. Media friction (there is not any dry contact)

When the dynamic movement starts, a high friction force arises which leads to a mixed friction, resulting in the immediate decrease in friction force. After this, media friction i.e. a slide on oil film thickness begins. As the speed increases, so the friction force increases linearly.

The oil film thickness is related to the system speed and directly to media viscosity. Two most important factors that affect the friction force are system pressure and temperature. Unsuitable friction forces create local high temperature and will result in seal failure and breakdown.

At the same time wear arises because of the tears in oil film thickness and with the effect of unsuitable surface roughness values, which results in leakage.

#### 4.0. SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI RESİMLENDİRME VE ÖLÇÜMLENDİRME TEKNİĞİ

Sızdırmazlık elemanları genel olarak elastomerlerden kalıplama tekniği ile üretildikleri için, makinacılıkta kullanılan ölçümlendirme tekniği kullanılmaz. Makinacılık teknik resimlerinde, örneğin; dairesel kesitli bir parçadan söz edersek ölçümlendirme iç çap, dış çap ölçümlendirmesi gibi yapılır.

Bu tarz ölçümlendirme tekniği talaşlı imalat için uygundur. Ancak sızdırmazlık elemanlarının elastometrik malzemelerden yapıldığı, yani elastik oldukları düşünülürse, yukarıda anlatılan gibi yapılan bir ölçümlendirme ile bazı durumlarda ölçme yapmak imkansızlaşır. Bu neden ile kumpas, mikrometre gibi klasik ölçü aletleri ile ölçüm yapabilmek son derece zordur.

Aşağıda örneği verilen teknik resimdeki gibi yapılan bir ölçümlendirme, daha sonra ürün üzerinde yapılacak ölçümlerin kolaylaşmasını sağlayacaktır. Bu teknik resimde, bir adet çap ölçüsünün verildiğini görürüz. Çapsal tolerans çelik malzemeler ile kıyaslandığında oldukça büyüktür.

Bu neden ile ölçüm sırasında yapılabilecek ölçüm hatalarının toleranslar dahilinde kalacağını düşünmemiz yanlış olmaz. Sızdırmazlık elemanının, diğer boyutsal ölçülerinin tamamının hep kesit üzerinde verildiğini görüyoruz.

Sızdırmazlık elemanından alınacak bir kesit örneği ile profil projeksiyon yada profil mikroskobu gibi bir ölçüm aleti ile çok kolay ölçme yapılacaktır.

#### 4.0. SEALING ELEMENT DRAWING AND MEASUREMENT TECHNIQUES

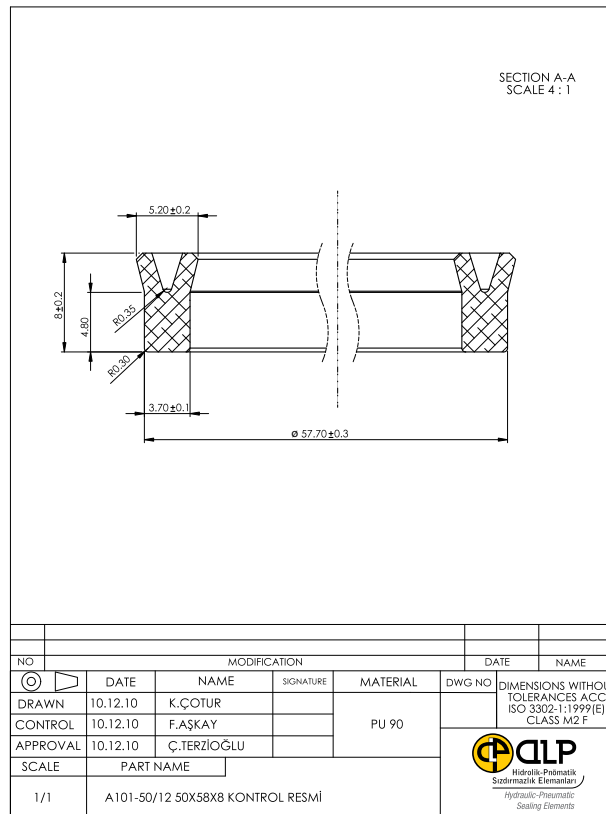
Because the sealing elements are produced generally from elastomer with a moulding technique, measurement technique is different from that of mechanical engineering. For example, only the inner and outer diameters of a circular product are commonly measured in mechanical engineering.

This type of measurement is suitable for machining technology. However, it is not possible to take measurements with ordinary measurement tools (like callipers, micrometers) on seal products because of their elastic form.

Measurements which are illustrated in technical drawings below will afterwards enable easier product measurement. In this technical drawing, a diameter length has been provided. The dimensional tolerance is bigger compared to steel products.

Because of this reason, it would not be wrong to think that measurement mistakes will stay within tolerance. We can see that the all other dimensional measures of the sealing element are on the cross section.

Measurement would be made easily with a sample cross section from the sealing element and with the help of a measurement device like a profile projektor or microscope.



Şekil - 6 / Figure - 6

Aşağıdaki tabloda ISO 3302-1 1999 Edition'dan alınan ve konu ile ilgili olan toleranslar görülmektedir.

Burada, dünyada iyi bilinen sızdırmazlık elemanları üreticilerinin kullanmış olduğu, Class M2-F sütunu kullanılmaktadır. Bu toleransların, maksimum değerleri ifade ettiği unutulmamalıdır. Diğer önemli bir husus ise her zaman tabloda ifade edildiği gibi  $\pm$  sapma değerinin kullanıma zorunluluğunun olmadığıdır. Bu şekilde bir ürün için toleranslandırma yaparken, çalışma koşulları dikkate alınarak, bazen + yada - yönde diğerine nazaran toplam sapma sınırları içinde kalınarak tolerans verilebilir.

In the table below, permissible tolerances for elastomer products (ISO 3302-1 1999 edition) can be seen.

Here in this table, Class M2-F column is used which is used by world class sealing element manufacturers. It should be kept in mind that these tolerances demonstrate the maximum figures. Another important point is that and it is not always necessary to use  $\pm$  deviation values as stated in that table. Seal designers always take into account working conditions of the seal and then decide on + or - tolerance staying within the permissible dimensions.

TABLO 3-ELASTOMERLERDE İZİN VERİLEN TOLERANSLAR				TABLE-3-TOLERANCES FOR ELASTOMER					
NOMİNAL ÖLÇÜ		CLASS M1		CLASS M2		CLASS M3		CLASS M4	
NOMINAL DIMENSION		F	C	F	C	F	C	F	C
İzin verilen ölçü toleransları (mm) / Permissible deviations of dimensions in mm									
≤ 6,3		± 0,10	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,25	± 0,40	± 0,50	± 0,50
6,3<	≤ 10	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,20	± 0,30	± 0,50	± 0,70	± 0,70
10 <	≤ 16	± 0,15	± 0,20	± 0,20	± 0,25	± 0,40	± 0,60	± 0,80	± 0,80
16 <	≤ 25	± 0,20	± 0,20	± 0,25	± 0,35	± 0,50	± 0,80	± 1,00	± 1,00
25 <	≤ 40	± 0,20	± 0,25	± 0,35	± 0,40	± 0,60	± 1,00	± 1,30	± 1,30
40 <	≤ 63	± 0,25	± 0,35	± 0,40	± 0,50	± 0,80	± 1,30	± 1,60	± 1,60
63 <	≤ 100	± 0,35	± 0,40	± 0,50	± 0,70	± 1,00	± 1,60	± 2,00	± 2,00
100 <	≤ 160	± 0,40	± 0,50	± 0,70	± 0,80	± 1,30	± 2,00	± 2,50	± 2,50
İzin verilen ölçü toleransları (%) / Permissible deviations in (%)									
160 <		0,30		0,50		0,80		1,50	1,50
ISO 3302-1 (1999 EDITION)den alınmıştır. / Extract from ISO 3302-1 (1999 EDITION)									

Tablo - 3 / Table - 3

TABLO 4-TALAŞLI ÜRETİMİLE ELDE EDİLEN PTFE VEYA TERMOPLASTİK ÜRÜNLERDE KULLANILACAK TOLERANSLAR			TABLE 4-TOLERANCES FOR MACHINED PARTS IN PTFE OR OTHER THERMOPLASTICS	
NOMİNAL ÖLÇÜSÜ NOMINAL DIMENSION		DIN 7168'E GÖRE TOLERANSLAR "MEDIUM" TOLERANCE ACCORDING TO DIN 7168 "MEDIUM"		SINIRLI ÇALIŞMA TOLERANSLARI RESTRICTED WORKS TOLERANCES
	≤ 6	± 0,1		0,10
6 <	≤ 30	± 0,2		0,15
30 <	≤ 65	± 0,3		0,20
65 <	≤ 120	± 0,3		0,30
120 <	≤ 200	± 0,5		0,40

DIN 7168'den alınmıştır. / Extract from DIN 7168

Tablo - 4 / Table - 4



### 5.0. HİDROLİK SİLİNDİRLERDE DİZAYN KRİTERLERİ

Sızdırmazlık elemanlarının çalışmasını etkileyen çok sayıda faktör vardır. Bu faktörler dikkate alınmaz ise dizayn hatası yapmak olasılığı artar. Hidrolik silindirlerin çalışma koşulları farklılıklar gösterir. Örneğin; enjeksiyon tezgahında çalışacak bir hidrolik silindir ile iş makinasında çalışacak hidrolik silindirin malzeme ve sızdırmazlık elemanları açısından farklı tasarlanması gerekir.

Sızdırmazlık elemanı seçimi yapılırken dört temel değişken dikkate alınmalıdır.

#### 1. Sıcaklık:

Akışkan ve ortam sıcaklığı dikkate alınarak uygun malzeme seçimi yapmak gerekir.

#### 2. Basınç:

Sistem basıncı ve basıncın uygulama şekline uygun sızdırmazlık elemanı ve malzemesi seçmek gereklidir.

#### 3. Kayma Hızı:

Sistem kayma hızına uygun sızdırmazlık elemanı malzemesi seçilmelidir.

#### 4. Akışkan Tipi:

Akışkan tipine uygun sızdırmazlık elemanı malzemesi seçilmelidir.

Yukarıda anlatılan 4 temel değişken ile ilgili teknik değerler katoloğumuzun her sızdırmazlık elemanı tipi için ilgili bölümlerinde verilmektedir. Burada bahsedilen 4 temel değişken haricinde hidrolik silindirlerin çalışmasını etkileyen başka faktörlerde vardır. Bunların firmamıza göre en önemli olanları;

#### 5. Çalışma ortamı

Hidrolik silindirlerin tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli değişkenlerdendir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken çok sayıda faktör vardır.

Bunlardan başlıcaları;

**5.1. Kapalı ya da açık mekanda çalışma durumu ve silindirin çalışması sırasında etkiyecek kirlilik durumu toz keçesi seçimi için en önemli kriterlerdendir. Dış ortamda çalışan silindirler için kış aylarında buz kazıyıcı kullanmak gerekli olabilir.**

**5.2. Hidrolik silindire çalışması sırasında etkiyen yan yükler ve çalışma pozisyonları hidrolik silindir dizaynı yapılırken dikkate alınmalıdır. Örneğin; dış ortamda dik çalışan Hidrolik silindirlere yağmur suyunun silindir içine girmesi engellenmelidir.**

### 5.0. DESIGN CRITERIA IN HYDRAULIC CYLINDERS

*There are so many factors involved in sealing elements working principle. Ignoring any of these factors could increase the possibility of a design mistake. Hydraulic cylinders have different working conditions. For example, the cylinder used for injection machine and loader both have different seal design criteria in terms of material and sealing elements.*

*Four main variables should be taken into account while choosing a sealing element.*

#### **1. Temperature:**

*Media and working condition temperature should be considered when choosing suitable sealing element.*

#### **2. Pressure:**

*System pressure and pressure type should be considered when choosing suitable sealing element.*

#### **3. Sliding Speed:**

*System sliding speed should be considered when choosing suitable sealing element.*

#### **4. Media:**

*Media type should be considered when choosing suitable sealing element.*

*The technical values related to these 4 main variables can be found in our technical catalogue for each sealing element. Apart from these 4 main criteria, there are other variables which also affect the working of hydraulic cylinders. Alp Seals consider these following conditions to be the most important ones.*

#### **5. Working Conditions**

*This is one of the most important variables for hydraulic cylinder design. There are so many factors on this stage which deserve attention.*

*Main factors are as follows;*

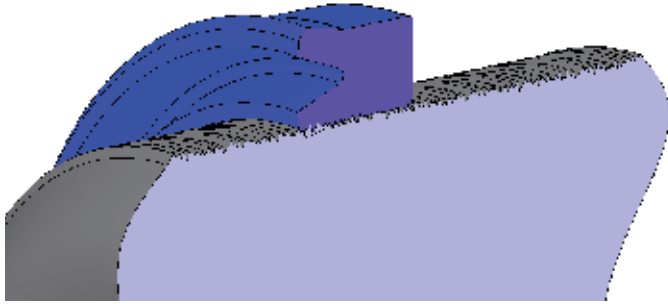
**5.1. Working in an open or closed area and dirty working conditions are most important criteria for choosing a wiper. It may be necessary to use an ice scraper in winter for cylinders in outside working conditions.**

**5.2. Radial loads and working positions that affect hydraulic cylinders should be taken into consideration when deciding on the hydraulic cylinder design. For example; rain drops should be prevented from entering into the vertical functioning hydraulic cylinders that are in outside working conditions.**

## 6.0. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğü, sızdırmazlık elemanlarının istenilen verimde çalışabilmesi için önemli bir parametredir. Özellikle dinamik sızdırmazlık elemanlarının, dudak kısımları, bir yağ filmi üzerinde kayarak sızdırmazlığı sağlayacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Bu yağ filmi, sızdırmazlık elemanının kayma hızı ve ömrünü olumlu yönde etkilemektedir. Kayma yüzeyinin pürüzlülüğünün fazla olması, yağ filminin yırtılarak, sızdırmazlık elemanının kuru sürtünmeye maruz kalmasını sağlar. Bu istenmeyen bir durumdur. Özellikle sızdırmazlık elemanlarına temas eden dinamik yüzeyler, honlama veya taşlama işlemine tabi tutularak istenilen yüzey pürüzlülük değerine getirilmelidir.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, profilmetre adı verilen cihazlarla yapılmakta olup, ( $\mu\text{m}$ ) olarak ifade edilir. Aşağıda, yüzey pürüzlülüğünün ölçülerek hesaplanması gösterilmektedir.



Şekil - 7 / Figure - 7

### Ra=Ortalama pürüzlülük değeri

Merkez çizgisindeki profil mesafelerinin aritmetik ortalama değeridir.

### Rmax=Maksimum pürüzlülük değeri

Ölçme çizgisi üzerinde meydana çıkan en büyük yüzey pürüzlülük değeridir.

### Rz=Ortalama alınan pürüzlülük değeri

Birbirini takip eden beş ayrı grubun, ayrı ayrı yüzey pürüzlülük derinliğinin (Z1 den Z5'e kadar) Aritmetik ortalamasını göstermektedir.

$$Rz = 1/5 \times (Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5)$$

İmalat yöntemlerine göre yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki tabloda verilen değerler arasında olmalıdır.

DIN 4766 T1 (3.81)

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ Rz ( $\mu\text{m}$ ) / SURFACE ROUGHNESS VALUE													
İMALAT YÖNTEMİ METHOD OF PRODUCTION	0,04	0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3	10
TAŞLAMA GRINDING													
HONLAMA HONNING													

TOLERANS / TOLERANCES

Tablo - 5 / Table - 5

Tolerans: Müsaade edilebilir en yüksek ölçü ile en düşük ölçü arasındaki farktır. Sızdırmazlık elemanlarının istenilen verimde çalışmasını etkileyen önemli faktörlerden biri de çalışacağı yerin toleranslarıdır.

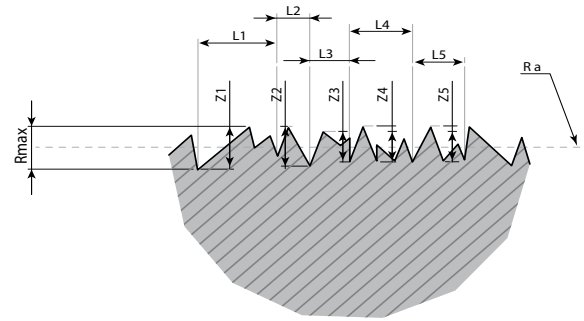
Uygun olmayan toleranslar, sızdırmazlık elemanın ömrünü etkilediği gibi, sistemde ciddi sorunlara da yol açabilir.

Hidrolik ve pnömatik silindirlere ISO tolerans sistemi kullanılır.

## 6.0. SURFACE ROUGHNESS

Surface roughness is an important parameter for sealing elements to work at desired effectiveness. Especially the lip part of the dynamic sealing elements are designed to provide sealing by sliding on an oil film thickness. This oil film thickness affects the sliding speed and life of the sealing element in a positive way. A high roughness of the sliding surface causes the exposure of the sealing element to dry friction by tearing the oil film thickness. This is an undesirable situation. Particularly the dynamic surfaces that touch the sealing element should be honned and grinded in order to obtain desired roughness value.

Surface roughness is measured by a device called profilometer in terms of ( $\mu\text{m}$ ). The measurement and calculation of the surface roughness is shown below.



Şekil - 8 / Figure - 8

### Ra=Average Roughness Value

Arithmetic average of absolute values.

### Rmax=Maximum Roughness Value

It is the highest surface roughness value on the measuring line

### Rz=Roughness Value of which average is taken

It shows the arithmetic mean of surface roughness depth separately (from Z1 to Z5) of five consecutive and different groups.

$$Rz = 1/5 \times (Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5)$$

Depending on their production method, surface roughness should be between the values indicated in the table below.

Tolerance: It is the difference between the highest and the lowest measures that can be allowed. One of the important factors that affect the working of the sealing element at desired effectiveness is the tolerances of the seal housing, rod and tube. Unsuitable tolerances may cause serious problems in the system as well as affect the life cycle of the sealing element.

ISO tolerance system is used in hydraulic and pneumatic cylinders.



## 7.0. HİDROLİK SİLİNDİRLERDE YAŞANAN PROBLEMLER

### 7.1. YAĞ İÇİNDE HAVA PROBLEMİ

Yağ içerisinde hava problemi özellikle mobil hidrolikte çok sık karşılaşılr. Yağ içerisinde hava bulunmasının 3 önemli etkisi olur. Bunlar; Jet kesme etkisi, Dizel etkisi ve Kavitasyon'dur.

#### 7.1.1. JET KESME ETKİSİ

Yağın içerisinde hava çözülmüş ya da çözülmemiş şekilde bulunur. Moleküler olarak çözülmüş hava tüm hidrolik yağlarda bulunur. Gaz molekülleri yağ moleküllerine ya karışmıştır ya da tutunmuşlardır. Akışkanın türüne göre içinde çözebileceği hava miktarı değişkendir. Bu tür çözülmüş havanın yağın sıkıştırılabilirliğine, viskozitesine veya sızdırmazlık elemanının etkinliğine olumsuz etkisi yoktur.

Yağın içerisindeki çözülmemiş hava ,özellikle düşük basınçlarda (yaklaşık 60 BAR) akışkanın çok değişik davranış göstermesine neden olur. Örneğin akışkanın hızı artar ise içindeki hava kabarcıklar şeklinde uzaklara taşınırlar.

Basınçlandırılan akışkan çözülmemiş hava içerirse, bu hava sıkışır ve sızdırmazlık elemanı yuvasına kadar kendisine yol bulur. Daha sonra burada basınç düştüğünde sıkıştırılmış durumda bulunan kabarcıklar serbest kalırlar ve çok büyük bir enerji ile genleşirler. Bundan sadece sızdırmazlık elemanı değil, pistonun metal yüzeyleri de olumsuz etkilenir, yüzey pürüzlülüğü artar.

Eğer bu patlamalar sonucu sızdırmazlık elemanında oluşan çizikler boyuna ise bu kılcal kanallar bir nozul etkisi yapar. Akışkan ivmelenirken bu nozularda jet etkisi yaparak bu bölgelerde kesikler açar. Bu sırada akışkan parçacıkları boşluktan süratle geçerek sızdırmazlık elemanının arka kısmına ulaşırlar ve sızdırmazlık elemanının sırt yüzeyini aşındırırlar. Eğer akışkan içerisinde fazla miktarda çözülmemiş hava varsa bu genleşme sızdırmazlık elemanını iki parçaya ayırabilir. Bu tip zararlar daha çok kauçuk emdirilmiş bezden mamul sızdırmazlık elemanlarında meydana gelir. Bunun sebebi ise yapısının homojen bir kauçuk sızdırmazlık elemanına göre daha fazla gözenekli olması ve hava geçirgenliğinin fazla olmasıdır.

Bu zarar tasarımı aşamasında akma boşluğunu arttırarak önlenir. Zira burada sızdırmazlık elemanını yıpratana kadar değil, sızdırmazlık elemanının arkasına kaçan basınçlı havadır. Basınçlı hava kabarcıkları homojen elastomer sızdırmazlık elemanlarına da nüfuz ederek, genleştiğinde sızdırmazlık elemanını yıpratırlar. Bu sızdırmazlık söküldüğü zaman genelde yıpranmanın sızdırmazlık elemanının dinamik sızdırmazlık dudağı yüzeyinde olduğu görülmektedir. Sızdırmazlık elemanının hacmi genişlemiş ve malzemesi yumuşamıştır.

Hidrolik sistemlerde kısa stroklarda da basınç şokları meydana gelebilir ve sistemde bulunan hava kabarcıkları çok yüksek ısı enerjisi ile yüklenirler. İdeal gaz denkleminde basınç ile sıcaklık doğru orantılıdır ve basınç artınca sıcaklıkta artar ısı yüklü hava parçacıkları genleştiği zaman yüksek sıcaklık ve gerilim kuvveti ile sızdırmazlık elemanı yüzeyini eriterek buradan parçalar kopartırlar.

Araştırmalar bu hava kabarcıklarının sıcaklığının 200°C'den çok fazla olduğunu, hatta 1000°C'ye ulaşabildiğini göstermiştir. Bu sıcaklık hava kabarcığının sıkışmadan önceki büyüklüğüne, basınca, hıza ve yüke bağlı olarak değişir.

#### 7.1.2. DİZEL ETKİSİ

Hidrolik silindirlerde en ciddi hasarlar yağın içindeki havanın dizel etkisi patlamasından olur. Süratle sıkıştırılan hava aniden o kadar yüksek bir sıcaklığa erişir ki, ortamdaki hava-yağ karışımının yanarak patlamasına neden olur. Değişken yüklerle karşı çalışan silindirlerde bu durum daha fazla görülür. Bu patlama sırasında patlamanın olduğu bölgede basınç nominal çalışma basıncının 5 ile 6 misli artmasına sebep olur. Bu da başta sızdırmazlık elemanı olmak üzere yataklama malzemeleri ve metal yüzeylerde hasara yol açar. Sızdırmazlık elemanı ve termoplastik parçalarda hasar, bölgesel yanma ve erime şeklinde görülür.

## 7.0. COMMON PROBLEMS FOR HYDRAULIC CYLINDERS

### 7.1. AIR IN OIL

*Air in oil problem is found mostly in mobile hydraulics. These include three important effects such as jet cut effect, diesel effect and cavitation.*

#### 7.1.1. JET CUT EFFECT

*Air can be soluble or insoluble in the media. There is molecular soluble air in all the hydraulic oils. Gas molecules are possibly mixed or bond to oil molecules. Depending on type of media, the rate of soluble air will vary. Oil pressure capability, viscosity and workability characteristics will not to be affected by soluble air.*

*Insoluble air will cause the oil to behave erratically especially at low pressures (approx 60 BAR). For example, as media speed increases, air bubbles will be dispersed over varying distances.*

*If the pressurised media contains insoluble air, this air is pressurised and will find its way to the seal groove. Subsequently, these air bubbles will be freed when the pressure decreases which lead to the emission of tremendous energy brought about through air expansion. As a result, metal surfaces are affected and surface roughness is increased.*

*As a result of these explosions if the cracks on the sealing element are on the direction of the cylinder, these small channels cause a nozzle effect. As the speed of oil increases, it makes a jet effect on these nozzles and causes cuts on these parts. Meanwhile, oil molecules pass the seal at a high speed, penetrating behind and wearing the back of it. If there is too much insoluble air in the oil, this expansion might tear the seal out half. This type of damage will commonly occur with rubber fabric products which have been immersed in rubber solution. The reason being, these products contain too much porosity and air transferability other than homogenised rubber seals.*

*This type of damage can be stopped with increasing the dimensions of the groove at the design stage. The real reason for this damage is escaped pressurised air penetrating behind the seal rather than extrusion. Pressured air bubbles damage the sealing element when they expand by being absorbed also by homogenised elastomer sealing elements. If these seals are removed for inspection, damage can be found on seals hydraulic sealing lips. The seal volume is expanded and material becomes softer.*

*Pressure shocks can happen with short strokes in the hydraulic systems. Air bubbles in the system are loaded with high temperature energy. At the ideal gas formulation, pressure is to be a positive function of temperature and temperature will increase with pressure increase at the same time. If heated air bubbles are expanded, they start to wear the sealing element and tear pieces from it with high temperature and force. In this area, researches show that the temperature of these air bubbles could be far more than 200°C, even reach to 1000°C. This temperature changes depending on the size of the air bubbles before pressure, pressure, speed and load.*

#### 7.1.2. DIESEL EFFECT

*Most serious damages in hydraulic cylinders originate from diesel effect explosions of the air in the oil. Speedily pressurised air quickly reaches so high temperatures that it causes air and oil mixture to explode with fire. This situation is seen more often in cylinders that work against unsteady loads. While this explosion, pressure will cause an increase 5-6 times more than nominal working pressure. Consequently sealing, guiding elements and metal surfaces are damaged. This damage is observed as local burn and melting on sealing elements and thermoplastic parts.*



Sonuç olarak, dizel etkisinin yol açtığı hasarlar göz önüne alınırsa, yağ içindeki hava miktarının kontrolünün çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle yağ tankı içerisine, pompaya, valflere ve silindirlere havanın girmemesi için önlemler alınmalıdır. Bir silindir değiştirilirken veya yeni devreye alınırken içerisinde hava olmadığından emin olunmalıdır. Aksi takdirde jet etkisi ve dizel etkisi sızdırmazlık elemanını bozacaktır.

Normal basınçta yağın hava doygunluk noktası aşıldığı anda sistem tehlikededir. Hatta doygunluk noktasının altında bile sistemde oluşacak vakum havayı yağdan yoğunlaştırarak ayırabilir ve sızdırmazlık elemanına hasar verebilir (bkz. Kativasyon). Sorunlu bir silindirde hasarlı bir sızdırmazlık elemanı sökülürken mutlaka bu pistonun tasarımcısı ve sızdırmazlık elemanı üreticisi ile birlikte incelenmelidir. Zira sızdırmazlık elemanının yenisi ile değiştirilmesi sorunu çözmezdir.

### 7.1.3. KAVİTASYON

Basıncı bir akışkan bir boğazdan geçerken, örneğin bir valften, akışkanın hızı artar. Bernoulli denklemine göre,  $(P_{st} + P_{dyn} = \text{sabit})$  hızdan dolayı dinamik basınç artınca statik basınçta meydana gelen azalma bir vakum oluşuncaya kadar sürebilir. Sonuç yağdaki doymuş havayı buhar damlacıkları halinde açığa çıkartmaktadır. Bu olay kativasyon olarak adlandırılır.

Bu buhar damlacıkları boğazdan geçerken basınç alanına girdiğinde patlarlar. Eğer bu patlama sızdırmazlık elemanı veya metal bir yüzey üzerinde olursa, patlamada oluşan büyük kuvvetler yüzeylerini bozacaktır. Bu durum jet erezyonu olarak adlandırılır.

Hidrolik yağı ile çalışan sistemlerde kativasyon oluşma ihtimali çok azdır, çünkü yağın buhar basıncı çok düşüktür (1,5-2,5 torr) Ancak su ile çalışan sistemlerde kativasyon oluşabilir, çünkü suyun buhar basıncı 0,3 bar'dır ve açığa çıkan enerji metal yüzeyleri bile aşındırmaya yetebilir.

*As a result controlling the air rate in the oil is really important. Because of this reason some extra applications are needed to prevent air in oil in oil tanks, pumps valves and cylinders. Maintenance engineers should be sure about there is not any air left in the system on replacing the cylinder. Otherwise jet and diesel effects would damage the sealing element.*

*Hydraulic system is on danger when soluble air limit is exceeded on normal pressure. Even sometimes under limit saturation related vacuum might create air from system oil with evaporation and seal can be damaged (pls. see on Cavitation). If any problematic cylinder seals inspection is needed, inspection should be carried out with the seal designer and manufacturer at the same time while removing the seal from cylinder. Because replacing the sealing element would not solve the problem.*

### 7.1.3. CAVITATION

*Pressured hydraulic media speed increases while transferring through a rod (for example valve). On Bernoulli Formula  $(P_{st} + P_{dyn} = \text{constant})$ , when speed related dynamic pressure increases static pressure drops and it can be continued to create vacuum. After that as a result, soluble air in the oil is evaporated like steam drops. This is called as Cavitation.*

*These steam drops explode while transferring to pressure point. If this explosion occurs on a sealing element or a metal surface, the force created by the explosion damages the surfaces. This is called jet erosion.*

*There is small possibility of cavitation in systems working with hydraulic oil, because steam pressure of oil is too low (1.5 - 2.5 Torr.) However, there is a possibility of cavitation with water processed systems, because water steam pressure is 0.3 BAR and the created force is enough to damage even metal surfaces.*



## SONUÇ

Yağ içerisinde çözülmemiş hava bulunması hidrolik sistemler için çok büyük bir tehlikedir. Yağ içinde hava niçin olur? Nasıl engelleyebiliriz?

1. Devreye alma, sökme takma sırasında sistemde hava oluşur. Bir pompa, valf veya piston sisteme yeni bağlandığında veya arıza veya bakım için sökülüp takılırken içindeki hava alınmalıdır. Örneğin; pompalar, motor mili veya kasnakten el ile döndürülerek hava alma tapalarından havası alındıktan sonra çalıştırılmalı, zira pistonlarda ise havanın atılması sağlanmalı ve boru veya hortum bağlantıları sağlıklı yapılmalıdır.

2. Bağlantı elemanlarının gevşek olması sisteme hava girişine sebep olur. Kalitesiz bağlantı elemanları kullanımı önemli bir etkidir. Ayrıca çok yükler ve vibrasyon olan sistemlerde (örneğin iş makineleri) bağlantı elemanları sıkça gevşerler. Bu nedenle sık sık kontrolleri yapılmalı, mümkünse bu gibi makinelerin bağlantılarında sızdırmazlığı arttırıcı kimyasal birleştiriciler kullanılmalıdır.

3. Tasarımdan gelen faktörlerde yağ içine hava girmesine sebep olabilir. Birçok makine tasarımcısı yer problemi nedeni ile hidrolik tankı hacimlerinde ve pompa yerleşiminde minimum ölçülerde çalışırlar. Yağ tankının hacmi, tüm kullanıcılar max. yağı kullandığında pompanın emişi için gerekli emniyetli yağ seviyesini sağlamalıdır. Ayrıca tanka yağ dönüşü yüksekten, hızlı ve yağı çalkandıracak şekilde olmamalı, pompa emişine yakın yere yapılmamalıdır. Özellikle iş makineleri gibi şok darbelere ve titreşime maruz kalacağı belli piston imalatında ağır hizmet tipi sızdırmazlık elemanları kullanılmalı ve bununla birlikte sızdırmazlık elemanı akma boşluğu fazla bırakılmamalı, sızdırmazlık elemanı yataklama ringi ile desteklenmelidir.

### 7.2. HİDRODİNAMİK BASINÇ PROBLEMİ

Hidrolik silindirlere sık sık karşımıza gelen problemlerden biri hidrodinamik basınçtır. Hidrodinamik basıncın en kısa tanımı; hidrolik silindirlereki sızdırmazlık elemanları ile yataklama elemanı arasında kalan boşluktaki basıncın, sistem basıncının çok üzerinde bir değere ulaşarak sızdırmazlık elemanını kalıcı deformasyona uğratmasıdır.

Hidrodinamik basıncın oluşumunu anlatmadan önce kullanacağımız bazı terimleri tanımlamak istiyoruz.

## RESULT

*Insoluble air in oil is very dangerous for hydraulic systems. How does the air come into being and how can we prevent it?*

*1. System start-up, assembly or de-assembly can create air. Air has to be removed during a new pump, valve or piston assembly or when repair work is carried out for maintenance. For example, prior to the pumps starting a competent person should take the air out from air valves by turning the rod mil or cam by hand. In the same way, air should be taken out of pistons and hose and hose fittings have to be properly connected.*

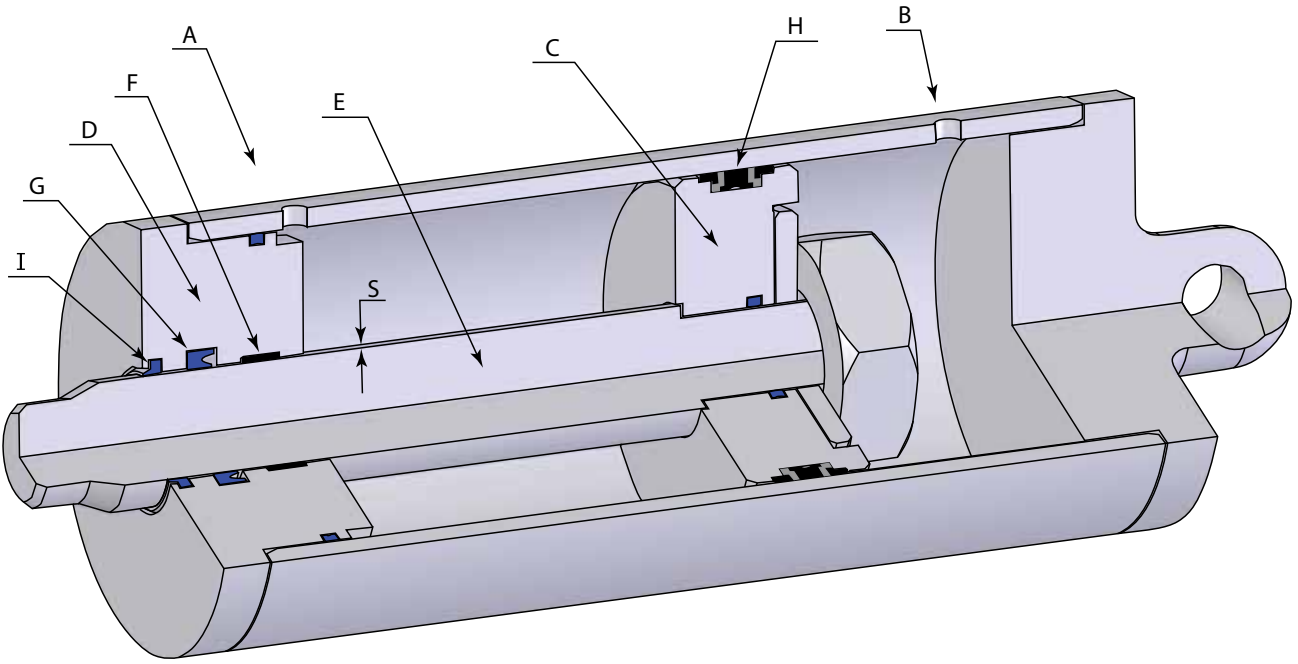
*2. Loose fitting elements can cause air transfer to system. Using poor quality fitting materials is very a common cause. And on the other hand, fitting elements frequently become loosened while they are working under shock and vibrations (like heavy duty machines). Because of this reason they should be subject to periodic checking and if possible, chemical compounds that increase the sealing should be used.*

*3. Sometimes machine design factors cause air transfer to systems. The majority of machine designers work on minimal tank volume and pump positioning because of space limitations. Oil tank volume should be within the safety limit when oil is used by all the system and whilst the pump is operational. Moreover, the oil return outlet should not be positioned too close to the oil pump inlet or too high and create oil tribulation. Heavy duty seals should be used especially in the manufacturing of heavy machine pistons which work under shock and vibrations. Sealing element extrusion gap (groove) should be bigger and seal supported with guiding rings.*

### 7.2. HYDRODYNAMIC PRESSURE PROBLEM

*Hydrodynamic pressure is a common problem of hydraulic cylinders. The shortest definition of Hydrodynamic pressure is that the pressure in the space between the sealing element in hydraulic cylinders and the guiding element causes a type of permanent seal deformation by reaching a value far beyond the system pressure.*

*Prior to the explanation, there is a list of key terminology provided for your convenience.*



Şekil - 9 / Figure - 9

AB: Silindire hidrolik akışkan giriş-çıkış portları  
 C: Piston başı  
 D: Boğaz takozu  
 E: Rod  
 F: Yataklama Elemanı  
 G: Boğaz sızdırmazlık elemanı  
 H: Piston sızdırmazlık elemanı  
 I: Toz keçesi  
 S: Rod ile yataklama elemanı arasındaki boşluk

AB: inlet-outlet ports for hydraulic cylinder  
 C: Piston head  
 D: Cylinder cap  
 E: Rod  
 F: Guiding element  
 G: Rod seal  
 H: Piston Seal  
 I: Wiper  
 S: Gap between rod and guiding element

Şekil 9 'da gördüğümüz çift etkili hidrolik silindir resminde A bağlantısından giren basınçlı akışkan roda sağa doğru hareket verir.

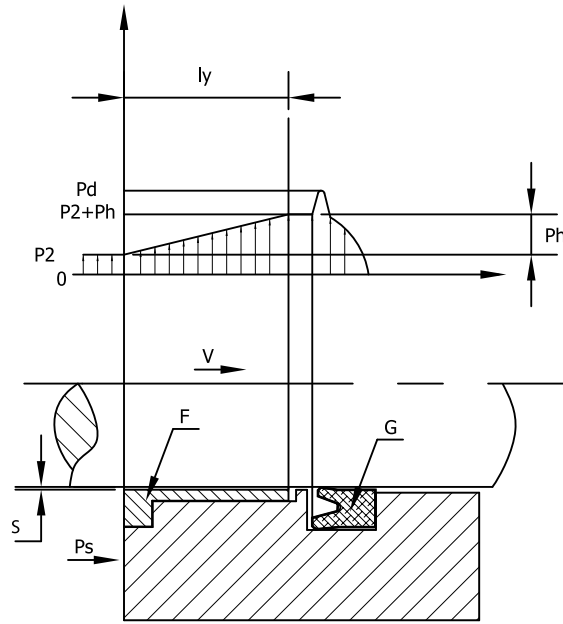
Bu sırada basınçlı akışkan yataklama elemanı ile rod arasındaki "S" boşluğunu ve boğaz sızdırmazlık elemanının ön kısmındaki boşluğu doldurur. Hidrolik silindirin B hattına basınçlı akışkan verilip A hattı tank yapıldığında rod sola doğru harekete başlayarak silindir stroğu boyunca basıncın etkisi ile hareket eder.

Bu esnada "S" boşluğunda sıkı toleranslar uygulanmışsa burada ve keçenin ön yüzünde kalan hidrolik akışkanın büyük bölümünün A hattından tank yapamayacağı aşikardır. Bu işlemin her aşamasına burada biriken hidrolik akışkanın miktarının fazlaşarak tıpkı bir pompa gibi çalışıp sistem basıncının katlarca üzerinde bir basınç oluşturup boğaz sızdırmazlık elemanında ve hatta silindirde deformasyon oluşumuna neden olacaktır.

In double acting hydraulic cylinder drawing as seen in figure 9, pressured media enters from A port and leads the movement of the rod to the right.

At the same time pressured media fills the gap between rod and guiding element "S" and the gap in front of the rod seal. If pressured media is sent to B side and A side is made tank, rod starts to move left along the cylinder stroke length with pressure effect.

Meanwhile if tight tolerances have been applied in "S" gap, it is evident that much of the hydraulic media which remains on the front surface of the seal can not make a tank from the A line. In this application, at every stage the rate of media oil increases and the system starts to work like a pump and creates more pressure than normal. Consequently, the seal and possibly cylinder are damaged.



Şekil - 10 / Figure - 10

Şekil 10'da hidrolik silindir tasarımının boğaz bölümü alınmış ve içindeki tabloda hidrodinamik basıncın (ph) yükselişini göstermektedir. Hareket tekrarı ile gittikçe artan değer aşağıda verilmiş olan ampirik ifade ile hesaplanabilir.

$$Ph = 6V.LY.1/S^2$$

Yukarıda eşitlikten de görüldüğü gibi, hidrodinamik basınç kayma hızı, yataklama boyu, akışkanın dinamik viskozitesi ve rod ile yataklama arasındaki boşluk miktarı ile doğrudan etkilenmektedir.

V=Kayma hızı (m/sn)

ly=Yataklama boyu (m)

l=Dinamik viskozite (Pa.sn)

S=Yataklama ile rod arasındaki boşluk (mm)

Hidrodinamik basınç önerileri ile ilgili çözüm önerilerinden bazıları aşağıda verilmektedir. Hidrodinamik basınç formülünde verilen pay değerlerinin (kayma hızı, yataklama boyu, dinamik viskozite) küçültülmesi bir çözüm gibi görünse de çoğu zaman hidrolik sistem tasarımından kaynaklanan nedenlerle bu değerlerle oynanmaması gerekmektedir. Paydada bulunan yataklama elemanı ile rod arasındaki boşluğun miktarı büyütülürse bunun karesi ile doğru orantılı olarak hidrodinamik basınç değerinde düşüş olacağı görülmektedir. "S" boşluğunun büyütülmesi sonucunda hidrolik silindirde yataklama elemanı görevini yapamayacak ve hidrolik silindirde eksene gelen dik kuvvetler etkisi ile çok daha ciddi problemler oluşabilecektir.

Hidrolik silindirlerde yataklama elemanı olarak kullanılan parçalar aşağıda verilmiştir;

1. Fenol reçine (Fiber) yataklamalar
2. Pik yataklamalar
3. Bronz yataklamalar
4. Polyacetal (pom) veya Polyamid (PA) yataklamalar
5. Teflon katkılı yataklamalar (Bronz, karbon vb)
6. Özel teflon katkılı metalik ringler

In figure 10 the rod section in the hydraulic cylinder design has been removed and the chart shows the increase of hydrodynamic pressure (ph). The result of this increase with repeated movement can be calculated with the empirical formula below.

$$Ph = 6V.LY.1/S^2$$

As can be seen in the equation above, hydrodynamic pressure sliding speed is directly related to guiding length, dynamic viscosity of the media and gap between rod and guiding element.

V= Sliding speed (m/sn)

ly= Guiding length (m)

l= Dynamic viscosity (Pa.sn)

S= Gap between rod and guiding (mm)

Some hydrodynamic pressure advice and solutions are given in the paragraphs below. Reducing the three figures which are given in the numerator of the hydrodynamic formula (sliding speed, guiding length and dynamic viscosity) may seem like the solution but generally speaking, due to possible hydraulic design problems, we should not touch these figures. If the rate of the gap between the guiding element and the rod is increased, it can be seen that there will be a decrease in hydrodynamic pressure value proportional to the square root of that increase. As a result of "S" gap being widened, guiding element in the hydraulic cylinder will not function properly and there will be more serious problems with the effect of perpendicular forces in the hydraulic cylinder.

Some of the parts that are used as guiding elements in hydraulic cylinders are as follows;

1. Phenolic resin (fibres) guides
2. Castled guides
3. Bronze guides
4. Polyacetal (POM) or polyamide (PA) guides
5. PTFE Guides
6. Special Teflon coated metallic rings.

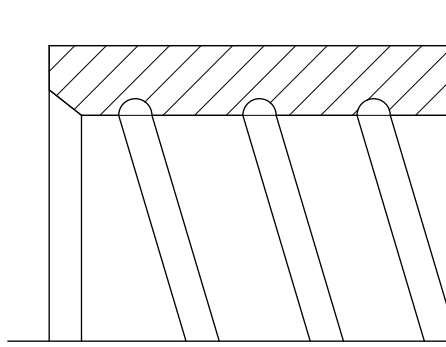


Yataklama elemanının tipine bağlı olarak çözümlerin farklılıklar göstermesi aşikardır.

Şekil 11 de kullanılan pik veya bronz yataklama elemanı üzerine helisel kanallar açılması sureti ile sızdırmazlık elemanının ön yüzünde meydana gelebilecek akışkan birikiminin önüne geçilebilmektedir.

Depending on the type of guiding element, it is evident that the solutions may vary.

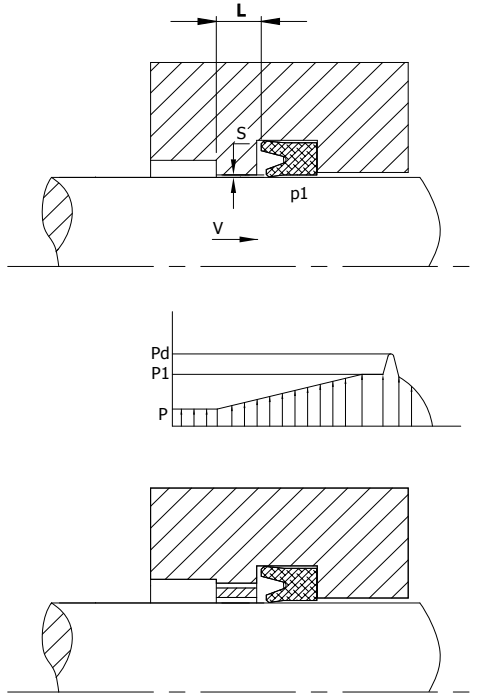
By opening helical grooves on cast iron or bronze guiding elements that are used in figure 11, media accumulation that may occur on the front of sealing element can be foiled.



Şekil - 11 / Figure - 11

Bu helisel kanalları açma imkanının olmadığı durumlarda Şekil 12 'de görülen şekilde boğaz sızdırmazlık elemanının kanalına bir drenaj deliği açılarak hidrodinamik basınç giderilebilir.

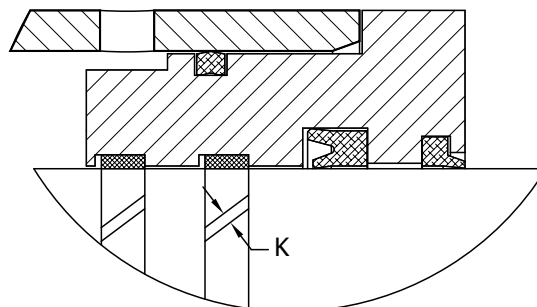
If it is not possible to create helical grooves, as seen in Figure 12, hydrodynamic pressure can be prevented by making a drain hole in rod seal housing.



Şekil - 12 / Figure - 12

Eğer yataklama elemanı olarak Şekil 13 'de görüldüğü gibi bant yataklamalar kullanılıyorsa dikkat edilmesi gerekli en önemli husus yataklama bandının çevresel olarak kesinlikle ucuca birleştirilmesidir. Şekil-13 'de gösterildiği üzere aralar "k" aralığı kadar çevresel bir boşluk bırakılmalıdır. Çalışma sırasında keçe ön yüzünde kalan hidrolik akışkan bu aralıktan sisteme geri dönmelidir.

If tape guides are used, as seen in Figure 13, the most important factor is that there must be a 'k' gap on the guiding elements. A gap should be left as shown in figure represented as 'k'. Hydraulic media which remains on the front of the seal during the process should be returned to the system from this gap.



Şekil - 13 / Figure - 13



Bant yataklama elemanı kullanımında verilmesi gereken çevresel boşluk (k) değeri ile ilgili tavsiye edilen boşluk miktarları aşağıda verilmiştir;

*The minimum recommended 'k' gap values are as follows;*

Ø	k
20-40	1
40-70	1.5-2
70-100	2-2.5
100-200	2.5-3.5
200-250	3.5-4

#### SONUÇ

Hidrodinamik basınç hidrolik sızdırmazlık elemanı ile beraber hidrolik silindir parçalarının kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Bu yüzden hidrolik silindirlerin dizayn ve uygulamasında hidrodinamik basınç oluşumuna izin verilmemesi gerekmektedir.

#### CONCLUSION

*Hydrodynamic pressure can cause damage to hydraulic sealing elements and the hydraulic cylinder parts. Therefore, the build up of hydrodynamic pressure should not be permitted in hydraulic cylinder design and applications.*

**HİDROLİK VE PNÖMATİK SİLİNDİRLERDE TOLERANSLAR**  
**TOLERANCES IN HYDRAULIC AND PNEUMATIC CYLINDERS**

ANMA ÖLÇÜSÜ NOMINAL DIMENSION mm	ISO İÇ ÇAP (DELİK) TOLERANSLARI INNER DIAMETER TOLERANCES ( $\mu\text{m}$ )												ISO DIŞ ÇAP (MİL) TOLERANSLARI OUTER DIAMETER TOLERANCES ( $\mu\text{m}$ )											
	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	e9	f7	f8	f9	f10	f11	f12	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12			
0<D≤3	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	-14 -39	-6 -16	-6 -20	-6 -31	0 -40	0 -48	0 -60	0 -14	0 -25	0 -36	0 -48	0 -60	0 -75	0 -90			
3<D≤6	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	-20 -50	-10 -22	-10 -28	-10 -40	0 -48	0 -58	0 -75	0 -20	0 -36	0 -48	0 -60	0 -75	0 -90	0 -110			
6<D≤10	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	-25 -61	-13 -28	-13 -35	-13 -49	0 -58	0 -70	0 -90	0 -25	0 -41	0 -53	0 -66	0 -84	0 -105	0 -130			
10<D≤18	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	-32 -75	-16 -34	-16 -43	-16 -59	0 -70	0 -84	0 -110	0 -32	0 -49	0 -62	0 -78	0 -100	0 -125	0 -160			
18<D≤30	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	210 0	-40 -92	-20 -41	-20 -53	-20 -72	0 -84	0 -100	0 -130	0 -40	0 -56	0 -70	0 -88	0 -110	0 -140	0 -180			
30<D≤50	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	-50 -112	-25 -50	-25 -64	-25 -87	0 -100	0 -120	0 -160	0 -50	0 -66	0 -82	0 -100	0 -125	0 -160	0 -200			
50<D≤80	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	-60 -134	-30 -60	-30 -76	-30 -104	0 -120	0 -150	0 -190	0 -60	0 -76	0 -94	0 -115	0 -145	0 -185	0 -230			
80<D≤120	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	-72 -159	-36 -71	-36 -90	-36 -123	0 -140	0 -170	0 -220	0 -72	0 -88	0 -108	0 -130	0 -160	0 -200	0 -250			
120<D≤180	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+400 0	-85 -185	-43 -83	-43 -106	-43 -143	0 -160	0 -200	0 -260	0 -85	0 -101	0 -122	0 -148	0 -180	0 -220	0 -270			
180<D≤250	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+460 0	-100 -215	-50 -96	-50 -122	-50 -165	0 -180	0 -220	0 -280	0 -100	0 -116	0 -138	0 -165	0 -200	0 -240	0 -290			
250<D≤315	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+520 0	-110 -240	-56 -108	-56 -137	-56 -185	0 -200	0 -240	0 -300	0 -110	0 -126	0 -149	0 -180	0 -215	0 -255	0 -305			
315<D≤400	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+570 0	-125 -265	-62 -119	-62 -151	-62 -202	0 -220	0 -260	0 -320	0 -125	0 -141	0 -164	0 -195	0 -230	0 -270	0 -320			
400<D≤500	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+630 0	-135 -290	-68 -131	-68 -165	-68 -223	0 -240	0 -280	0 -340	0 -135	0 -151	0 -174	0 -205	0 -240	0 -280	0 -330			

