

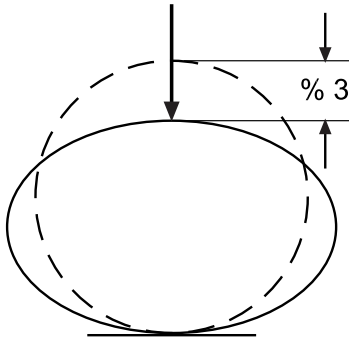
# FKS Boru Hesaplama Teknikleri

FKS boruların tüm hesaplamaları uygulanacak projelerdeki çalışma koşullarına göre ilgili DIN ve ATV normlarına göre yapılmaktadır.

## Halka Rijitliği Hesabı

Halka rijitliği hesabı, FKS boruların dış yüklerle karşı mukavemet hesapları, ATV 127 standardına göre, testler ise DIN 16961 standardına göre yapılmaktadır. Kural olarak dayanıklılık testi 2 kez hesaplanır. Kabul edilebilir deformasyon oranı % 6'dır. Bu hesaplama yöntemi ATV 127 standardına göre yapılmaktadır.

ATV 127'ye göre hesaplama yöntemi



$$S_{R24} = \frac{EC_{24} \cdot I}{r^3}$$

**EC** : Elastisite modülü

**I** : Atalet momenti

**r** : (DN/2) + e'deki nötr doğrusal yarı çap

(e: Boru profilinin atalet mesafesi)

## Asgari Elastisite Modülü Değerleri (kN/m<sup>2</sup>)

Test süresi	HD-PE	PPH Homopolimer	PPR Kopolimer
24 h Ec24	3.9 x 10 <sup>5</sup>	6.9 x 10 <sup>5</sup>	4.4 x 10 <sup>5</sup>

## Hidrolik Hesabı

FKS borularda iç yüzey pürüzünün çok az oluşu nedeniyle akışkanlık değerleri çok yüksektir. Bu nedenle FKS boru ile yapılan kanalizasyon hatlarında çok az eğim vermek (% 0.015) yeterlidir.

Bu özellik uygulamacılara uzun hatlarda kazıdan çok büyük avantaj sağlamaktadır.

FKS boruların hidrolik hesabı ATV-110 standardına göre yapılmaktadır. Yalnız hidrolik hesaplamalar borunun tam veya eksik doluluk oranları göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Hidrolik (çalışma pürüzsüzlüğü) hesabı; boru, menhol ve ek parça içerisinde oluşan akış kayıpları göz önünde tutularak ATV standardında belirtildiği gibi hesaplanmalıdır.

FKS boru, ek parça ve menholden oluşan sistemin akışkanlık kb değeri 0.1 mm. alınmalıdır.



### Çalışma Pürüzsüzlüğü Kb Hesabı

Çalışma pürüzsüzlüğü hesabı, maksimum akış hızı (v) PRANDTL ve COLEBROOK for-mülü ile hesap edilmektedir.

$$V = \left( -2. \log \left[ \frac{2.51.v}{d \sqrt{2 g.Je. d}} + \frac{kb}{3.71. d} \right] \right) \cdot \sqrt{2 g.Je.d}$$

<b>v</b> : Akış hızı	(m/s)
<b>Je</b> : Enerji hattı merkezleme eğilimi	(-)
<b>Kb</b> : Çalışma pürüzsüzlüğü	(mm.)
<b>g</b> : Yerçekimi ivmesi	(Nm/s <sup>2</sup> )
<b>V</b> : Kinematik sertlik (12°C de atksu için 1.31 x 10 <sup>-6</sup> )	(m <sup>2</sup> /s)
<b>d</b> : Boru iç çapı	(mm.)

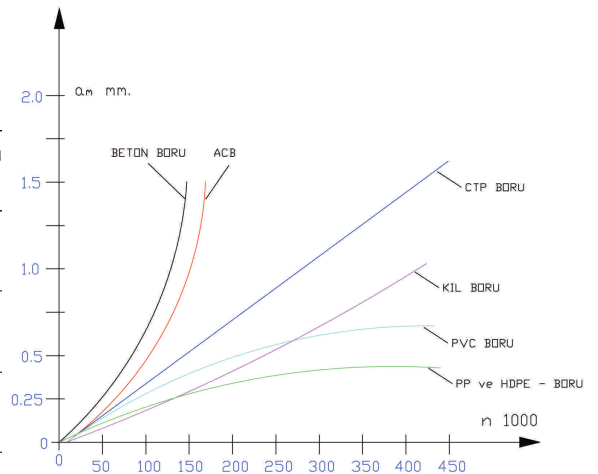
Maksimum, tam doluluk debi oranı (Q):

$$Q = v . A$$

Q : Debi (lt/s)
A : Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )

**Yük kayıpları göz önüne alınarak hesap edilmiş çalışma ortamlarının yüzey pürüzsüzlüğü (Kb) değerleri**

Çalışma Şekilleri	HDPE için tavsiye edilenler Kb	ATV-A-110 standardında belirtilmiş olan Kb
Redüksiyonel hatlar, basınçlı hatlar, menholsüz relining yenileme hatları	0.10 mm.	0.25 mm.
Menhol bağlantılı tali hatlar ATV A 241 1.1.5'e göre	0.25 mm	0.50 mm.
Menhol bağlantılı kolektör hatları, ATV-A 241.1.1.5'e göre	0.50 mm	0.75 mm.
Ek giriş hatları ile toplama kanalları, açılı eğimler ile özel menholler	0.75 mm.	1.5 mm.

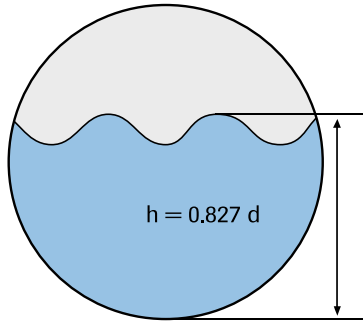


Alman Darmstad Enstitüsü Boruların Aşınma Eğrisi

# FKS Boru Hesaplama Teknikleri

## Kısmi Dolu Çalışan Borular İçin Hız Hesabı

Kısmi olarak dolu çalışan kanallarda akışkanlık hesabını yapmak zordur. Çünkü kısmen dolu kanallarda dolunun yüksekliği bilinemez. Fakat özellikle kanalizasyon hatlarında boru hattının çok az eğimle düz olduğu varsayılarak, boru içerisindeki su yüzeyinin boru tabanına paralel aktığı varsayımıyla kısmi dolunun değerinin tam dolu değerine olan oranları esas alınır.



Kanalizasyon hattında havalandırma veya giriş problemi yönünden kısmi dolunun durumu:  $hT/d = 0,827$ . Dolunun yüksekliği oranı  $hT/d$  hesaplanırken, dolunun yüksekliğinin  $hT$ 'nin normalde boru eksenine göre ölçüldüğüne dikkat etmek gerekir.

$$\frac{V_T}{V_V} = \left( \frac{R_{hy, T}}{R_{hy, V}} \right)^{0.625}$$

$V_V$  : Tam dolunda akış hızı  $V_T$  : Kısmi dolunda akış hızı

$$R_{hy, T} = \frac{A}{Lu}$$

$Lu$ : Kısmi çevre  $R_{hy, T}$ : Kısmi dolunda hidrolik yarı çapı  
 $A$ : Kısmi akış yüzeyi

$$R_{hy, V} = \frac{d}{4}$$

$d$ : İç çap  $R_{hy, V}$ : Tam dolunda hidrolik yarı çap

$$\frac{Q_T}{Q_V} = \frac{A_T}{A_V} \cdot \left( \frac{R_{hy, T}}{R_{hy, V}} \right)^{0.625}$$

$Q_T$ : Kısmi dolunda akış  $A_T$ : Kısmi akış yüzeyi

### Statik Hesabı

HDPE veya PP'den üretilen FKS borular genel olarak toprak altına döşendikleri için bir çok yüke maruz kalırlar. Sağlıklı bir boru tasarımında ATV A-127 normuna göre statik hesapların çok iyi yapılması gerekir.

Hesaplamaların doğru yapılabilmesi için boru uygulama alanının ve boru çalışma koşullarının tam olarak bilinmesine ihtiyaç vardır.

### ATV 127 Normuna Göre Araçların Ağırlık Ortalaması

Araçlar	Tüm Ağırlık KN	Tekerlek Yüğü KN	Tekerlek Üstü Yüğü		Boru üzerindeki yükler
			Genişlik (m.)	Uzunluk (m.)	
SLW 60	600	100	0.6	0.2	• Trafik yüğü (sokak).
SLW 30	300	50	0.4	0.2	• Trafik yüğü (tren).
SLW 12	120	ön 20 arka 40	0.2 0.3	0.2 0.2	• Üst dolgu toprak yüğü. • İnşaat saha yüğü. • Yeraltı su basıncı.

Kanalizasyon borularının maruz kaldığı yükler çoğunlukla üst dolgu, toprak yüğü yanında trafik yüküdür. Tüm kanalların trafik yüğü hesap edilirken ATV kullanım talimatı A 127 normunun yanısıra LKW 12 trafik yüğü de var kabul edilmelidir.

### Stabilite (Çökme) Hesabı

Toprak altına döşenen boruların, toprak yüğü dışında maruz kaldığı yükler vardır. Bunlar deniz deşarjı gibi doğrudan denize boru döşemesinde olduğu gibi, boru toprak altına döşenmesine rağmen, zemin suyunun oluşturacağı yükler gibi ek yüklerdir. Öte yandan gömlekleme yöntemi ile iç içe geçen borularda, borular arası boşluğu doldurmak için yapılan gömlekleme betonu veya emiş maksatlı vakumla çalışan borularda oluşan ek yükler gibi aşırı stresli projelerde stabilite (çökme) hesabı yapmak gerekecektir.

FKS borular için stabilite (çökme) hesabı:

$$P_k = \frac{10 \cdot E_c}{4 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left( \frac{s}{r_m} \right)^3$$

$P_k$  : Kritik çökme basıncı (bar)  
 $E_c$  : Elastisite modülü (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\mu$  : Enine termoplast sayısı (0,4)  
 $s$  : Et kalınlığı (mm.)  
 $r_m$  : Ortalama boru yarı çapı (mm.)

FKS borular için kabul edilebilir stabilite (çökme basıncı) hesabı:

$$P_{k, zul} = P_k \cdot \frac{f_r}{S}$$

$P_{k, zul}$  : Kabul edilebilir kritik çökme basıncı (bar)  
 $f_r$  : Azalma faktörü (0.9 ... 0.95) (-)  
 $S$  : Emniyet faktörü ( 2 ) (-)

FKS borular stabilite (Çökme) gerilmesi hesabı:

$$\sigma_k = P_k \cdot \frac{r_m}{S}$$

$\sigma_k$  : Stabilite (Çökme gerilmesi)(N/mm<sup>2</sup>)  
 $P_k$  : Kritik çökme basıncı (bar)  
 $S$  : Et kalınlığı (mm.)  
 $r_m$  : Ortalama boru yarı çapı (mm.)

# FKS Boru Hesaplama Teknikleri

## Kaldırma Kuvveti ve Beton Destek Hesabı

FKS borular deniz dışarısı gibi projelerde suyun altına döşeniyor veya toprak altına döşenmesine rağmen aşırı zemin suyu bulunuyor ise, boruların suyun kaldırma kuvvetinden etkilenmemesi için beton kelepçelerle tutturulması gerekir. Söz konusu beton kelepçelerin hangi aralıklarla monte edileceği hesaplanırken, suyun kaldırma kuvvetinin etkisi ile boruların eğilmemesi esas alınmalıdır.

FKS borular için stabilite (çökme) hesabı:

Dolu boru hesaplama formülü

$$F_v = \left( \frac{\pi \cdot d_a^2}{400} \right) \cdot \gamma_D - 1$$

Boş boru hesaplama formülü

$$F_v = \frac{DN^2 \pi}{400} \cdot L_R \cdot \gamma_D$$

F<sub>v</sub> : Kaldırma kuvveti (N)  
 d<sub>a</sub> : Boru dış çapı (mm.)  
 DN : Boru iç çapı (mm.)  
 γ<sub>D</sub> : Gömlekleme spesifik yoğunluğu (kg/dm<sup>3</sup>)  
 L<sub>R</sub> : Destek aralığı (m.)

Maksimum destek (beton kelepçe) mesafesi:

$$L_A = f_{LA} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_C \cdot J_R}{q}}$$

L<sub>A</sub> : Maksimum destek mes.(mm.)  
 f<sub>LA</sub> : Eğilme faktörü (0,80) (-)  
 E<sub>C</sub> : Elastite modülü (N/mm<sup>2</sup>)  
 J<sub>R</sub> : Boru atalet momenti (mm<sup>4</sup>)  
 q : Kaldırma yükü (N/mm.)

### Isı Değişkenliği ile Boyca Uzama Hesabı

HDPE ve PP hammaddelerinden üretilen FKS borular, endüstriyel amaçlı sıcak su nakillerinde kullanıldığında ısı genleşmeleri ve boyca uzamaları söz konusudur.

Bu tür projelerde taşınacak sıvının ısı değeri göz önüne alınarak genleşme hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmalıdır.

#### Bazı Plastik Hammaddelerin Genleşme Katsayıları

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

- $\Delta L$  : Isı değişiklikleri karşısında esneme oranları (mm.)  
 $\alpha$  : Lineer genleşme katsayısı (mm./m.K)  
 L : Boru uzunluğu (mm.)  
 $\Delta T$  : Isı diferansı (K)

$\Delta T$  değeri döşeme esnasındaki maksimum ortam ısısından çalışma sırasındaki öngörülen ısı değeri çıkartılarak bulunur.

#### Bazı Plastik Hammaddelerin Genleşme Katsayıları

Malzeme Cinsi	Lineer Genleşme Katsayısı $\alpha$
(HDPE) Yüksek yoğunluklu polietilen	0.18
(PP) Polipropilen	0.15
(PVDF) Polivinilidenchlorid	0.14
(PB) Polibutadien	0.12
(PVC) Polivinilchlorid	0.07
(CTP) Cam elyaf takviyeli plastik	0.02