

Boru ve Tünellerin Yaklaşık Çapları (*)

Yazan :

Prof. Dr. Ing. Habli P-G FRANKE

○

Çeviren :

Yük. Müh. Cahir TANYAŞ

○

Hidro-elektrik tesislerin kifayetsizliğine yük kayıpları tesir edeceğinden, pompajla yapılacak hazne ve basınçlı uzun tünel projeleri için etüdlere ehemmiyet vermelidir. Akım hızı vasıtasıyla enerji çizgisi eğimi elde edilerek, enkesitin büyültülüp küçültülmesi neticesinde, bu makalede yük kayıpları ve çap arasındaki münasebet tetkik edilecektir.

Proje donelerine göre çap seçimi şöyle yapılacaktır :

Q = debi (m^3/sn)

L = uzunluk (m)

Verilen enkesit alanı

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 0.7854 D^2 \quad (1)$$

ve hızın değeri

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{4Q}{\pi D^2} = 1.2732 \frac{Q}{D^2} \text{ dir.} \quad (2)$$

Genel münasebetin birincisi

$$D = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{F} = 1.1284 \sqrt{F} = 1.284 \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (3)$$

olarak elde edilecektir.

Toplam yük kaybında önemli faktör, normal sürtünme kaybıdır. İlave edilecek veya enkesit değişmesinden vuku bulacak yersel kayıplar ihmal edilirse, λ sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi kabul edilebilir :

$$\Delta e = JL = \lambda \frac{Lv^2}{D^5} = \lambda \frac{LQ^2}{D^5} \quad (4)$$

yahut

$$J = \frac{\Delta e}{L} = \frac{\lambda}{2g} \frac{v^2}{D} = \lambda \frac{Q^2}{D^5} \quad (5)$$

olup, burada J enerji çizgisinin relatif eğimidir ve(**)

$$\lambda = \frac{16}{2g\pi^2} \lambda = \frac{\lambda}{12.0985} = 0.08265 \lambda \text{ dir.}$$

Tablo : 1 — λ ve λ nın değerleri

λ	λ	$5\sqrt{\lambda}$
0.012	0.00099	0.251
0.015	0.00124	0.262
1.018	0.00149	0.272
0.020	0.00165	0.278
0.025	0.00207	0.290
0.030	0.00248	0.301

Çap şu şekilde hesaplanır.

$$D = 5\sqrt{\lambda} \frac{LQ^2}{\Delta e} \quad (6)$$

veya

$$D = 5\sqrt{\lambda} \frac{5\sqrt{Q^2}}{J} \quad (7)$$

Tablo 1'de katsayıların bazı referans değerleri verilmiştir.

Aşağıdaki denklemler ifade edilebilir.

$$D = \frac{\lambda}{2g} \frac{v^2}{J}$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2g}{\lambda}} \sqrt{D J} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \left(\frac{2g}{\lambda} \right)^2 5\sqrt{Q J^2} \\ J &= \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\lambda}{2g} \frac{v^2}{\sqrt{F}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\lambda}{2g} \sqrt{\frac{v^2}{Q}} \\ Q &= \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{D^2 J} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{\lambda}{2g} \right)^2 \frac{v^3}{J^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(Darcy - Weisbach) ve C (Brahms - de Chézy) katsayıları arasındaki karşılıklı münasebet

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{C}{\sqrt{8g}}$$

verir ve buna göre formüller birbirine dönüştürülebilir.

Farklı çaplarda elde edilen neticelerin mukayesesinde, yalnız bir D_0 çapına göre hesaplanıp kullanılacak nisbi değerler daha pratik olacaktır. Kullanılan münasebet

$$\frac{D}{D_0} = m$$

(*) Yazar, karşılaştırılan uygun bir değer bölgesi ve verilen bir proje için bir tünel veya boru çapının birinci yaklaşımla hesaplanmasını mümkün kılan formülü vermektedir.

(**) λ faktörü boyutsuzdur, λ (karşılaştırmak için)

olursa, aşağıdaki ifadeler çıkarılabilir :

$$\frac{F}{F_0} = \frac{D^2}{D_0^2} = m^2$$

$$\frac{v}{v_0} = \frac{F}{F_0} = m^2$$

$$\frac{k}{k_0} = \frac{v^2}{v_0^2} = m^{-4}$$

$$\frac{\Delta e}{\Delta e_0} = \frac{k}{k_0} \cdot \frac{D_0}{D} = m^{-5}$$

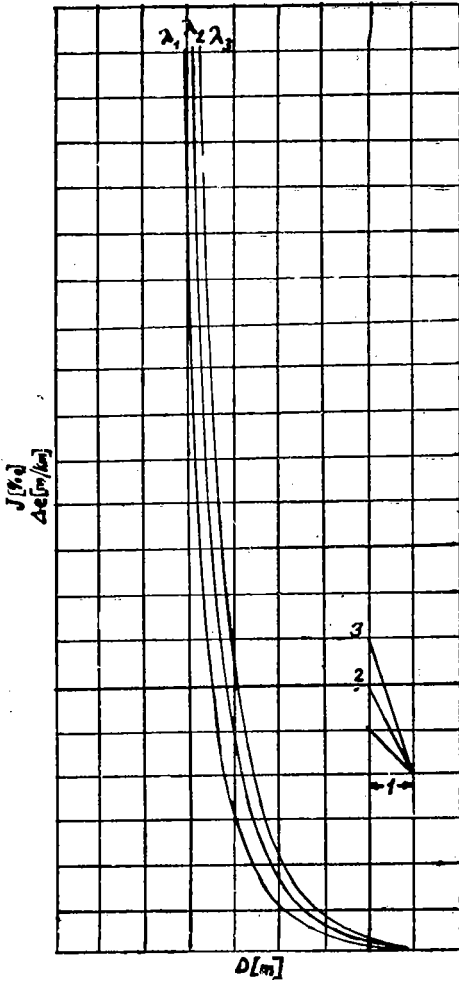
Burada k hız yüksekligidir.

Esas bir v ortalama hızı alınır, (3) denkleminde göre çap elde edilecektir.

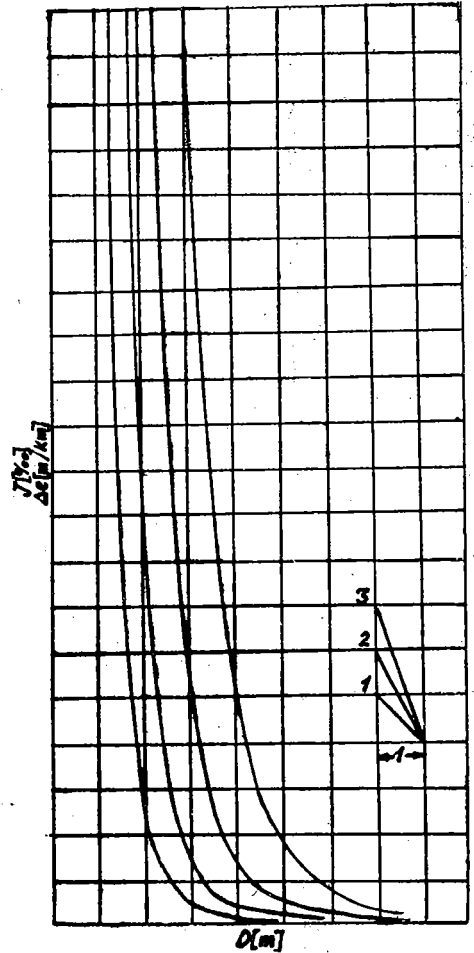
Tablo : 2 — Denklemler (8) için referans değerler

λ	$\frac{\lambda}{2g} = \frac{4}{C^2}$	$\sqrt{\frac{2g}{\lambda}} = \frac{C}{2}$	$\sqrt[5]{\frac{4}{\pi} \left(\frac{2g}{\lambda}\right)^2} = \sqrt[5]{\frac{C^2}{4\pi}}$	$\frac{\sqrt{\pi} \lambda}{2 \cdot 2g} = \frac{2\sqrt{\pi}}{C^2}$	$\frac{\pi}{4} \left(\frac{\lambda}{2g}\right)^2 = \frac{4\pi}{C^2}$	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$
0.012	0.00061	40.43	20.25	0.00054	0.29 10^{-6}	31.75
0.015	0.00076	36.16	18.52	0.00068	0.46 "	28.40
0.018	0.00092	33.01	17.21	0.00081	0.66 "	25.93
0.020	0.00102	31.32	16.50	0.00090	0.82 "	24.60
0.025	0.00127	27.73	15.09	0.00113	1.28 "	22.00
0.030	0.01529	25.57	14.02	0.00136	1.84 "	20.08

Yük kayıpları net H yükünün bir yüzdesi olarak alınır (6) denkleminde çap bulunur.



Şekil : 1



Şekil : 2

Relatif eğim (denk. 5) denklemi kullanılarak çap için genel münasebet

$$D = A Q^{2/5} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada

$$A = \sqrt[5]{\frac{\lambda}{J}} \quad \text{dır.} \quad (9a)$$

Ortalama hız (denk. 2)

$$v = \frac{1.273}{A^2} Q^{1/5} \quad (9b)$$

A = I Kabul edilerek takribi olarak

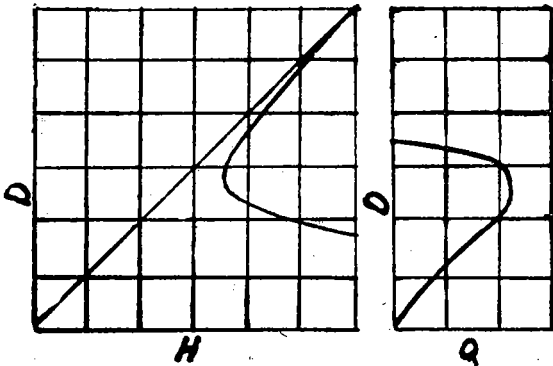
$$D = Q^{2/5} \quad \text{dır.}$$

$\frac{\lambda}{J} = 1$ halinde J ve λ arasındaki münasebet Tablo : 1'de verilmiştir.

Tablo : 3 — B değerleri

λ	B
0.015	1.41
0.020	1.48
0.025	1.53

Relatif eğim, değişken sürtünme katsayıları ve sabit bir debi için çapın bir fonksiyonu olarak gösterilebilir. Şek. : 1 çapların emniyetli bir bölge içinde λ değerine dayanmaksızın uygun bir sıradadır. Bu bölgenin dışında yük kayıplarının daha küçük çaplarda, art-



Şekil : 3

nası fazladır, halbuki daha büyük çaplarda yük kaybı azalmaları cüz'idir. Aynı şartlar $Q \neq st$ ve $\lambda = st$ halinde (Şek. : 2'de) görülmektedir. Tüneller için her kilometre için yük kaybını gözönüne alarak şu ifade yazılır.

$$\Delta e = 1000 J = 1000 \lambda \frac{Q^2}{D^5} = C D^{-5}$$

Tablo : 4 — Denklem (11'e) göre B nin değerleri

λ	B		
	— tan α		
	1	2	3
0.015	1.36	1.21	1.13
0.020	1.42	1.27	1.18
0.025	1.48	1.31	1.23

n = 1000 olmak üzere bir ölçek sayısı (Şekil : 1 ve 2) seçilirse eğim (%0)

$$\bar{J} = n \bar{\lambda} \frac{Q^2}{D^5} = C D^{-5} \quad \text{dır.}$$

Eğrilik yarıçapı

$$\rho = \frac{D^7}{30C} \left(1 + \frac{25C^2}{D^{12}} \right)^{3/2}$$

olarak verilmektedir.

$$\frac{d\rho}{dD} = 0 \text{ minimum şartından}$$

$$D = \sqrt[12]{\frac{275}{7}} \sqrt[6]{1000 \lambda} \sqrt[3]{Q}$$

münasebeti elde edilir ve çapın genel şekli

$$D = B Q^{1/3} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada

$$B = 4.294 \sqrt[6]{\lambda} = 2.834 \sqrt[6]{\lambda} \quad \text{dır.} \quad (10a)$$

Ortalama hız (denk. 2)

$$v = \frac{1.273}{B^2} Q^{1/3} \quad (10b)$$

ile verilmektedir.

Tablo : 3'de B faktörünün bazı değerleri verilmiştir.

B faktörünün sırası $1.0 < B < 1.5$ kabul edilmektedir.

Şimdi eğimi tetkik edelim; bu

$$\frac{d\bar{J}}{dD} = \tan \alpha = -5 n \bar{\lambda} \frac{Q^2}{D^6} = -0.4133 n \lambda \frac{Q^2}{D^6}$$

şeklinde verilmektedir.

Çap

$$D = B Q^{1/3} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada B faktörü n = 1000 kabul edildiğine göre

$$\sqrt{\frac{1000 \lambda}{(-\tan \alpha)}} = 2.729 \sqrt{\frac{\lambda}{(-\tan \alpha)}} \quad \text{dır.} \quad (11)$$

(Şekil : 1 ve 2'deki) uygun bölge kabul edilirse,

$$1 \leq (-\tan \alpha) \leq 3$$

B faktörü için değerleri Tablo : 3'de verilenlerden daha küçük olduğu aşikar olarak görülür.

Uygun referans değerleri Tablo : 4'de verilmiştir.

Tablo : 5 — Alplerde bazı tüneller için A ve B nin değerleri

Yer	Memleket	Q	L	D	A	B
		m ³ /S	km	m		
Teigitsch	Avusturya	16.0	5.36	2.60	0.86	1.03
Glorenza	İtalya	18.0	12.12	3.00	0.95	1.15
Göschenen	İsviçre	20.0	6.82	2.70	0.82	1.00
Riddes	İsviçre	28.7	14.62	3.25	0.85	1.06
S. Floriano	İtalya	30.0	9.70	3.60	0.92	1.16
Castelbello	İtalya	30.0	17.49	4.00	1.03	1.29
Kaprun	Avusturya	32.0	7.06	3.20	0.80	1.01
Malgovert	Fransa	48.0	14.70	4.55	0.97	1.25
Somplago	İtalya	66.0	8.43	5.15	0.96	1.27
S. Massenza	İtalya	70.0	5.23	5.00	0.92	1.21
Prutz - Imst	Avusturya	75.0	12.50	5.20	0.92	1.23
Randens	Fransa	100.0	13.70	6.40	1.01	1.38

Çap ve hız yükseklik toplamı ifade edilirse

$$H = D + \frac{v^2}{2g} = D + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{F^2}$$

$$= D + \frac{16}{2g \pi^2} \frac{Q^2}{D^5}$$

yazılır ve debi yüke göre

$$Q = F \cdot v = \frac{D^2 \pi}{4} \sqrt{2g(H-D)}$$

şeklinde verilir.

Bu denklemlerden iki eğri çizilebilir, $Q = st$ ve $H = H(D)$ için H - eğrisi ve $H = st$ ve $Q = Q(D)$ Q eğrisi (Şekil : 3). Bu iki eğrinin her biri maximum bir değere maliktir. Bunlar sırasıyla H_{min} ve Q_{max} dir. Açık kanallardaki şartlara benzer olarak, bu kabule uygun değerler c indeksi ile gösterilecektir. $\frac{dH}{dD} = 0$ eşitliğinden

$$D_c = 2 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{g \pi^2}} = 0.8014 \sqrt[5]{Q^2} \quad (12)$$

ifadesi ve $\frac{dQ}{dD} = 0$ dan

$$D_c = \frac{4}{5} H$$

formülü elde edilecektir. Burada hız

$$v_c = 2.215 \sqrt{D} = 1.982 \sqrt[5]{Q} \quad \text{dir.}$$

$D > D_c$ kabul edilirse,

$$D = A Q^{2/5} \quad (9)$$

formülünde faktör $A > 0.80$ olmalıdır. Pratik maksatlar için $0.9 < A < 1.0$ kabul edilmelidir.

Netice :

Bu makaledeki hesaplar yalnız hidrolik şartlara istinat ettirilmiştir; ayrıca formüller bir değerler bölgesi dışında işaretlenen çapın birinci yaklaşımla hesabına tatbik edilebilir. Nihayi çap tabiatıyla projedeki özel şartlara dayanır. Bununla beraber yük kayıplarının tesiri tünel uzunluğu ile artmaktadır. Tablo : 5'te debileri değişen ($16 \text{ m}^3/\text{sn} \leq Q \leq 100 \text{ m}^3/\text{sn}$) bazı uzun tünel ($L > 5 \text{ km}$) doneleri toplanmıştır.

Diğer hallerde bu faktörlerin büyüklüğü genel olarak

$$0.8 \leq A \leq 1.0 \quad \text{ve} \quad 1.0 \leq B \leq 1.5$$

limitleri arasındadır.

Takribi formüllere (9 ve 10 denklemler) göre aşağıdaki münasebet mevcuttur :

$$\frac{B}{A} = Q^{1/15}$$

$$10 \leq Q \leq 100 \text{ debileri için} \quad 1.17 \leq \frac{B}{A} \leq 1.36 \text{ değerleri elde edilir.}$$

(*) Bu yazı Water Power mecmuasının Haziran 1964 sayısında çıkmıştır.