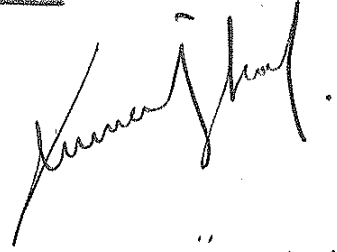


Karışım (Çamur veya Pülpa)

Pompası ile ilgili

bir inceleme

-I-



Tuncer ÖZKAN
Mak. Y. Müh.

Karışımın (Çamur veya pülp) Pompalanması

Karışım olarak, belirli bir boyuttaki malzemenin su ile karışımı (çamur veya pülp tanımında yapılabilir) olarak tarif edelim ve önce, gerekli olan bazı büyüklükleri verelim:

$Q [m^3/h]$ - Borudaki karışım debisi

$S [Boyutsuz]$ - Katının (kuru) özgül yoğunluğu

$$S = \rho / \rho_w$$

ρ - Katının yoğunluğu $[kg/m^3, t/m^3]$

ρ_w - Taşıyıcı sıvının yoğunluğu, yoğunlukla suyun $[kg/m^3, t/m^3]$

$S_w [Boyutsuz]$ - Taşıyıcı sıvının özgül yoğunluğu, yoğunlukla suyun ($20^\circ C$ de $= 1$ dir)

$S_m [Boyutsuz]$ - Karışımın (Çamur veya pülp) özgül yoğunluğu

$$S_m = \rho_m / \rho_w$$

ρ_m - (Kati-sıvı) karışımının veya eşdeğer akışkanın yoğunluğu $(kg/m^3, t/m^3)$

$C_w [\%]$ - Karışımındaki katının ağırlıklı konsantrasyon veya karışımındaki ağırlıklı kati oranı

C_v [%] - Karışımdeki katının hacimce konsantrasyonu veya karışımdeki hacimce katı oranı

Tarif edilen bu büyüklükler arasındaki bağıntıları aşağıdaki tablolarda toplu olarak gösterelim (Tablo 1, 2)

S_w	$= S(S_m C_w - S_m) / (S_m C_w - S)$	$= (S C_v - S_m) / (C_v - 1)$	$= S[C_v(C_w - 1)] / [C_w(C_v - 1)]$
S	$= S_w C_w (C_v - 1) / [C_v(C_w - 1)]$	$= S_w + (S_m - S_w) / C_v$	$= S_w C_w / (C_w - 1 + S_w / S_m)$
S_m	$= S_w / [1 - C_w(1 - S_w / S)]$	$= S_w + C_v(S - S_w)$	$= S_w(C_v - 1) / (C_w - 1)$
C_w	$= S(S_m - S_w) / [S_m(S - S_w)]$	$= S C_v / [S_w + C_v(S - S_w)]$	$= 1 + S_w(C_v - 1) / S_m$
C_v	$= (S_m - S_w) / (S - S_w)$	$= S_w / (S_w - S + S / C_w)$	$= 1 + S_m(C_w - 1) / S_w$

Tablo 1 - Özpül yoğunluk ve karışım konsantrasyonu arasındaki denklemler [L23]
(C_w ve C_v değerleri % alınacaktır)

$S_m = \frac{100 - C_v}{100 - C_w}$	$S_m = \frac{C_v(S - 1)}{100} + 1$
$C_v = 100 - [(100 - C_w) \times S_m]$	$C_v = \frac{(S_m - 1) \times 100}{(S - 1)}$
$C_v = \frac{100 \times C_w}{[S(100 - C_w) + C_w]}$	
$C_w = \frac{100 \times S}{\frac{100}{C_v} + (S - 1)}$	$C_w = 100 - \left[\frac{100 - C_v}{S_m} \right]$
$Q = tph \left[\frac{1}{S} + \frac{100}{C_w} - 1 \right] m^3/h$	

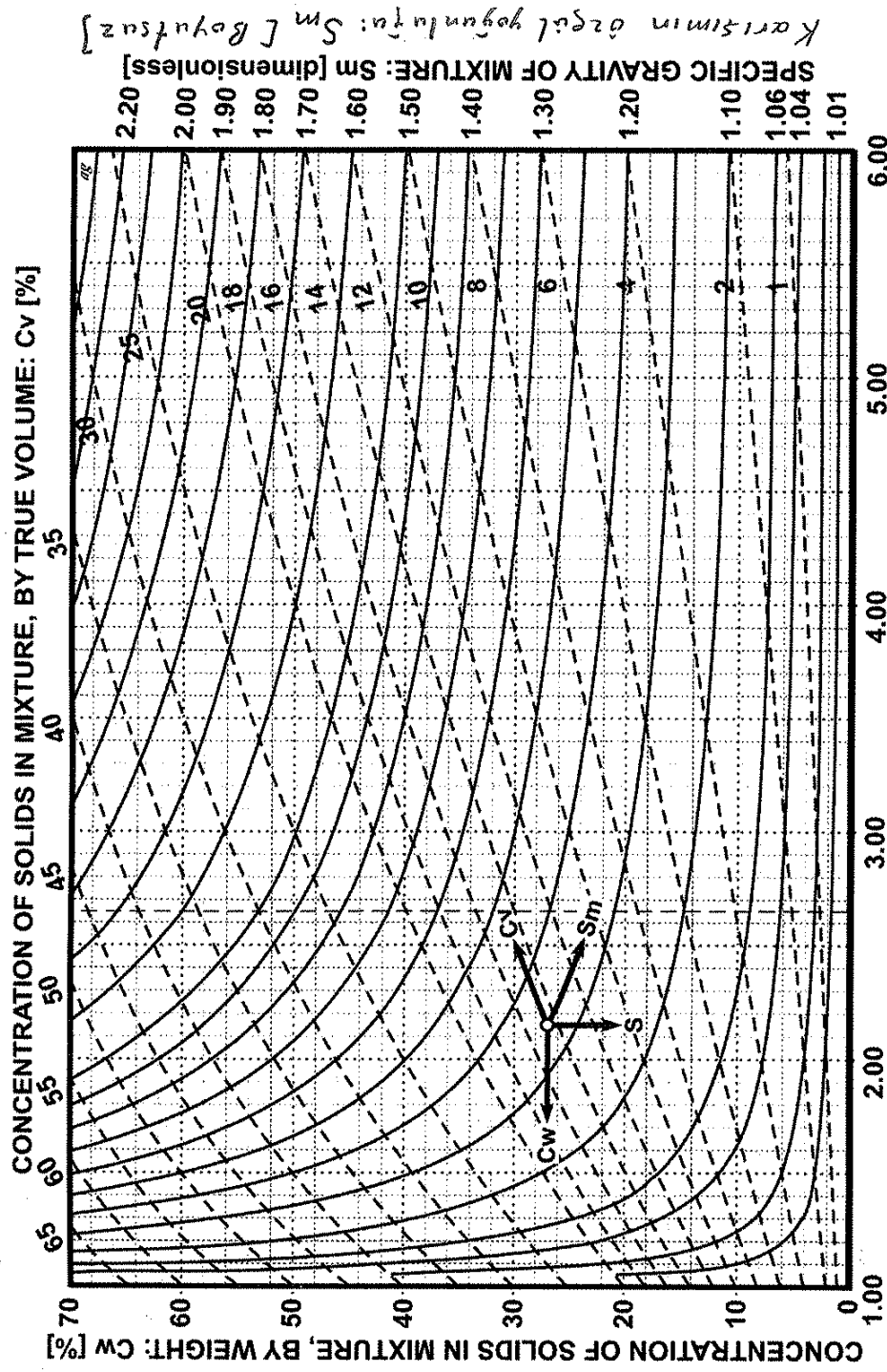
Tablo 2 - Karışım formülleri [L22]
 tph - Katının ton/saat olarak debisi
(C_w ve C_v değerleri yüzdesizdir)

Ayrıca, Şekil 1'deki diyagramdan ve

$$C_w / C_v = S / S_m \quad (1)$$

esitliğinden faydalanabilir.

Karışımda hacimce katı oranı: C_v [%]



Karışımın özgül yoğunluğu: S_m [Boyutsuz]

SPECIFIC GRAVITY OF SOLIDS: S [dimensionless]
Katının özgül yoğunluğu: S [Boyutsuz]

Şekil 1 - Karışım, katı ve herhanfi sıvı için özellikler [L 23]

Karışımda ağırlıkça katı oranı: C_w [%]

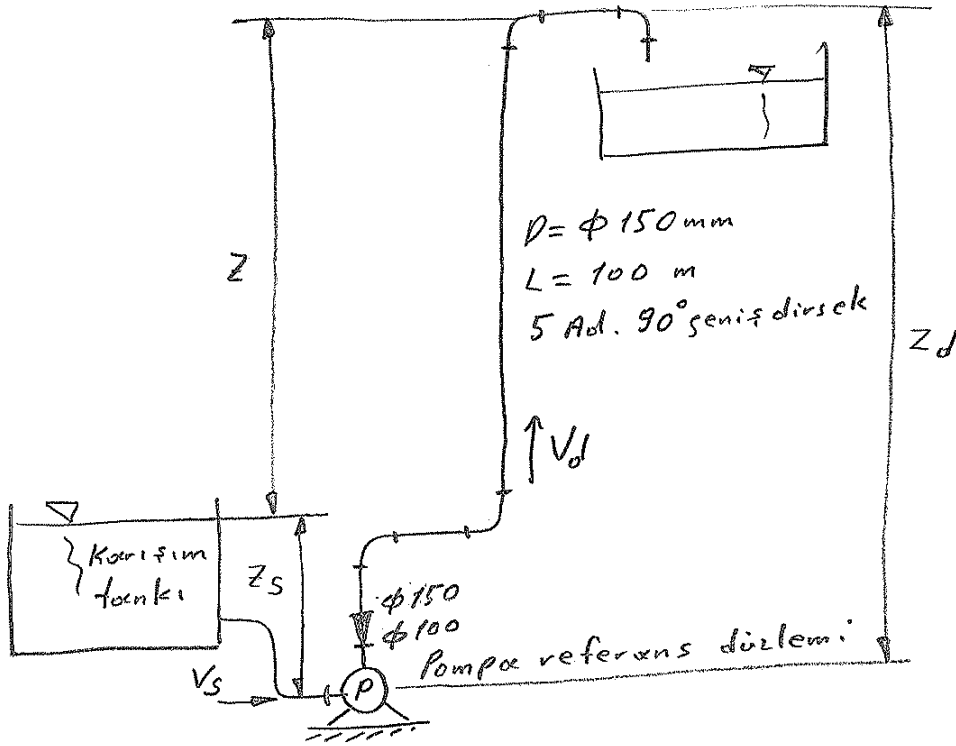
Şimdi, karışımın pompalanmasına sayısal bir örnek verelim [L20, L30].

Verilenler :

- 65 t/h olarak kum,
 $Q_{\text{kum}} = 65 \text{ t/h}$
- Katının (Kuru kum) özgül yoğunluğu,
 $S = 2,65$
- Malzemenin (Kati olarak kuru kum) ortalama tane (partikül) büyüklüğü,
 $d_{50} = 211 \mu\text{m} (= 0,211 \text{ mm})$
- Karışımındaki ağırlıkça kati oranı,
 $C_w = \% 30$
- Statik basma yüksekliği,
 $Z_d = 20 \text{ m}$
- Emme yüksekliği,
 $Z_s = 1 \text{ m (Pozitif)}$
- Boru uzunluğu,
 $L = 100 \text{ m}$
- Vana ve boru bağlantı elemanları,
5 adet 90° lik geniş dirsek

Pompa tesisi, Şekil 2 de gösterilmiştir.

Pompalanacak (basılacak) malzeme miktarının belirlenmesi :



Şekil 2 - Tipik pompa tesisi

- z - Statik yükseklik
- z_s - Statik emme yüksekliği
- z_d - Statik basma yüksekliği
- v_d - Basma borusundaki hız
- v_s - Emme borusundaki hız

a) Karışım (kum + su) içindeki kumun (kumun) ağırlıkça debisi,

$$Q_{kum, ağı} = 65 \text{ t/h}$$

b) Karışım (kum + su) içindeki kumun (kum) hacmine karşılık gelen (eşdeğer) suyun ağırlığı, kısaca, kum hacmine karşılık gelen suyun ağırlığı,

$$Q_{kum, hacim} = \frac{Q_{kum, ağı}}{S}$$

$$Q_{kum, hacim} = Q_{eşdeğer su, hacim} = Q_{eşdeğer su, ağı}$$

$$\frac{65 \text{ t/h}}{2,65} = Q_{eş. su. hac.} = Q_{eş. su. ağı}$$

$$\| \underline{Q_{eş.su.hac.} = Q_{eş.su.ağ.} = 24,5 \text{ t/h} = 24,5 \text{ m}^3/\text{h}}$$

c) %30 katı (kum) içeren karışım içindeki suyun ağırlık debisi,

$$Q_{\text{karışım, ağ.}} \cdot C_w = Q_{\text{kum}}$$

$$Q_{\text{karışım, ağ.}} \cdot \%30 = 65 \text{ t/h}$$

$$Q_{\text{karışım, ağ.}} = \frac{65}{0,30}$$

$$\| \underline{Q_{\text{karışım, ağ.}} = 216,7 \text{ t/h}}$$

$$Q_{\text{su, ağ.}} = \%70 \cdot Q_{\text{karışım, ağ.}}$$

$$Q_{\text{su, ağ.}} = 0,70 \cdot 216,7$$

$$\| \underline{Q_{\text{su, ağ.}} = 151,7 \text{ t/h}}$$

veya,

$$Q_{\text{su, ağ.}} = Q_{\text{karışım, ağ.}} - Q_{\text{kum, ağ.}} = (216,7 - 65) \text{ t/h}$$

$$\| \underline{Q_{\text{su, ağ.}} = 151,7 \text{ t/h}}$$

bulunur.

d) $\sqrt{\text{Karışımın su hacminin toplam ağırlığı}}$ eşdeğer

$$Q_{es.su.hac.top.aj} = Q_{es.su.hac} + Q_{su,aj}$$

$$Q_{es.su.hac.top.aj} = (24,5 + 151,7) t/h$$

$$\parallel Q_{es.su.hac.top.aj} = 176,2 t/h$$

e) Karışımın (kum + su) özgül yoğunluğu,

$$S_m = \frac{Q_{karisim,aj}}{Q_{es.su.hac.top.aj}}$$

$$S_m = \frac{216,7 t/h}{176,2 t/h}$$

$$\parallel S_m = 1,23$$

f) Karışımdeki hacimce kaktı oranı,

$$Q_{es.su.hac.top.aj} \cdot C_v = Q_{es.su.aj}$$

$$176,2 t/h \cdot C_v = 24,5 t/h$$

$$\parallel C_v = \% 13,9$$

veya ;

$$\frac{C_w}{C_v} = \frac{S}{S_m} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$\frac{30}{C_v} = \frac{2,65}{1,23}$$

$C_V = \% 13,9$

• $C_V = 100 - [(100 - C_W) \cdot S_m]$ (Tablo 2)

$C_V = 100 - (100 - 30) \cdot 1,23$

$C_V = \% 13,9$

• $C_V = (S_m - S_w) / (S - S_w)$ (Tablo 1)

$C_V = (1,23 - 1) / (2,65 - 1)$

$C_V = \% 13,9$

• $S = 2,65$ } $S_m = 1,23$ } (Şekil 1)
 $C_W = \% 30$ } $C_V \approx \% 14$ }

aynı sonuçlar bulunur.

Özetle; 216,7 t/h olan karışımı, 65 t/h kum ile 151,7 t/h su oluşturmaktadır.

Basıncı borusu seçiminin belirlenmesi:

ilk yaklaşımla boru iç çapını,

$D = \varnothing 150 \text{ mm}$

olarak seçelim.

Klasik olarak;

Q - Basılacak akışkanın debisi

V - Borudaki akışkan hızı

olmak üzere

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot V$$

Q	D	V
m^3/s	m	m/s

(2)

yanılabilir. Burada,

$$Q = Q_{es.su.hac.top.aj} = 176,2 \text{ t/h} \quad (= 176,2 \text{ m}^3/\text{h})$$

V_{ker} - Basma borusundaki karışım (su+kum) hızı

$$\frac{176,2}{3600} \frac{m^3}{s} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,150)^2 \cdot V_{ker}$$

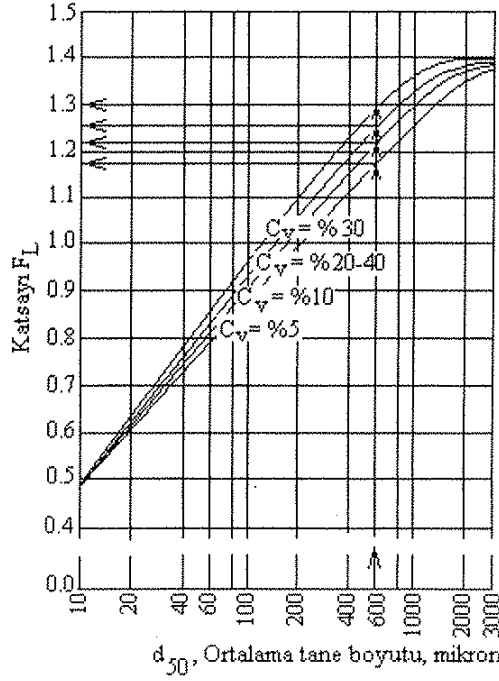
$$\| V_{ker} \approx 2,8 \text{ m/s}$$

Bu akış hızının, pompalanacak malzeme miktarına ve malzeme boyutuna göre boru içinde malzemenin çöküşünü engelleyecek büyüklükte olması gerekir. Yoksa boru içinde çökelmeler olacaktır. Öyle ise, V_L olarak tanımlanan Minimum çökme (çökme) hızını,

$$V_L = F_L \sqrt{2 \cdot \rho \cdot D (S - S_w) / S_w} \quad (3)$$

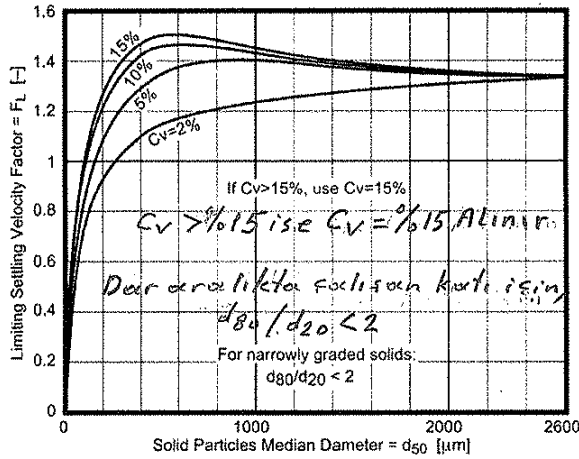
" Durand's formülünden hesaplayabiliriz

F_L - Min. çökme hızı katsayısı (Şekil 3 ve düzeltilmiş Şekil 5)



Şekil 3 - Minimum çökme hızı katsayısı [L30]

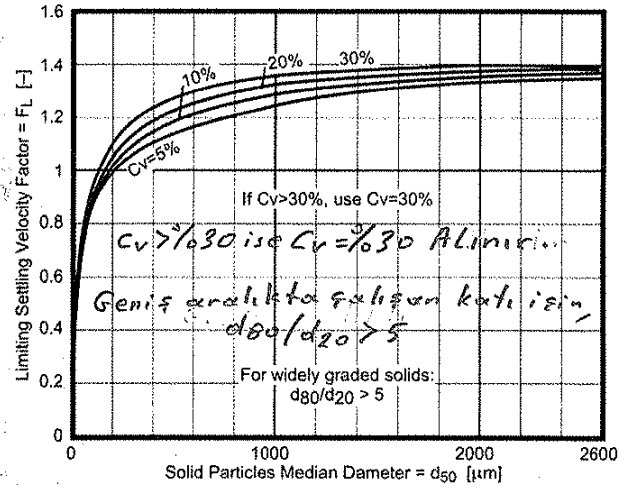
Minimum çökme hızı katsayısı = F_L [-]



Katının ortalaması ayırma tane büyüklüğü = d_{50} [μm]

Şekil 4 - Durand's min. çökme hızı faktörü [L23]

Minimum çökme hızı katsayısı = F_L [-]



Katının ortalaması ayırma tane büyüklüğü = d_{50} [μm]

Şekil 5 - Düzeltilmiş Durand's min. çökme hızı faktörü [L23]

$d_{50} = 211 \mu\text{m}$ ayırma boyutu (Malzemenin ortalaması tane büyüklüğü) olarak verilmiş

$$\left. \begin{array}{l} d_{50} = 211 \mu\text{m} \\ C_v = \%13,9 \end{array} \right\} \parallel F_L = 1,04 \text{ (Şekil 3 veya 5)}$$

$$V_L = 1,04 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150 (2,65 - 1) / 1}$$

$$\| \underline{V_L = 2,3 \text{ m/s}}$$

olarak bulunur.

$$\| \underline{V_{\text{karışım}} (= 2,8 \text{ m/s}) > V_L (= 2,3 \text{ m/s})}$$

olduğundan, seçilen $D = \phi 150 \text{ mm}$ lik boru eapı uygundur.

$$V_{\text{karışım}} < V_L$$

olsaydı, $V_{\text{karışım}}$ hızının artırılması için daha küçük eaplı bir borunun kullanılması gerekecekti.

$V_{\text{karışım}}$ hızının V_L hızından çok yüksek çıkması

halinde ise, $V_{\text{karışım}}$ hızının düşürülmesi için daha büyük eaplı bir boru kullanılacaktı.

En uygun karışım hızı, V_L değerinden biraz daha yüksek olan hızdır.

Şekil 4 ve Şekil 5 ile ilgili bazı bilgiler verelim [L 28]:

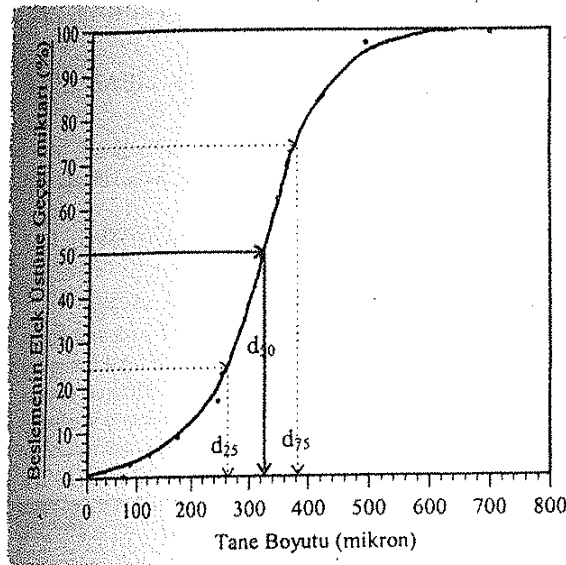
d_{50} - Ayırım tane büyüklüğü [μm]

Bu elek aralığında tane büyüklüğündeki malzemenin %50 si elek üstünde %50 si elek altında bulunur. Başka bir deyişle bu elek aralığındaki tanelerin elek altında geçme şansları %50 dir.

d_{80} - %80 elek üstü ayırmasına karşılık gelen tane büyüklüğü (μm)

d_{20} - %20 elek üstü ayırmasına karşılık gelen tane büyüklüğü (μm)

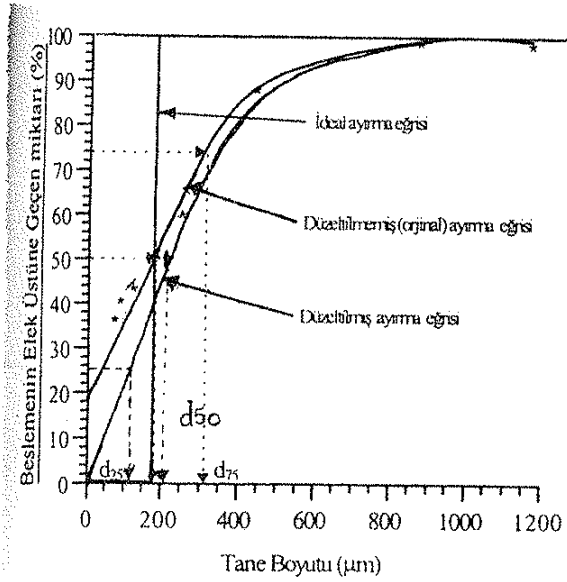
Elek verimini belirlemede kullanılan bir yöntem ayırma eğrisinin çizimidir. Ayırma eğrisi elek üstü malzemede her tane büyüklüğündeki besleme malı tanelerinin yüzdeleri bulunarak çizilir (Şekil 6)



Şekil 6 - Elek ayırma verimini gösteren "Tromp" eğrisi [128]

Ayırma eğrisinde %50 yi gösteren tane büyüklüğü burada okunak mümkündür.

Hidrosiklon içinde bir uygulama örneği, Şekil 7 de verilmiştir. Hidrosiklonlarda genellikle düzeltilmiş ayırma eğrisi kullanılır. Şe bu eğri, bir kısım ince malzemenin kısa devre yaparak alt akıntıya geçtiği kabul edilerek çizilir.



Şekil 7 - Hidrosiklon ayırma eğrisi
[L 28]

Bu ara bilgilerden sonra konumuzun dönersek, Şekil 8 ve Şekil 9'daki diyagramlardan faydalanarak hesap yapmadan, min. şokme hızı V_L yi belirlemek de mümkündür.

Borulardaki sürtünme kayıpları :

Borulardaki sürtünme veya yük kayıpları,

$$h_k = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{ort}^2}{2 \cdot f} \quad \frac{h_k}{m} \quad | \quad \frac{f}{-} \quad | \quad \frac{L, D}{m} \quad | \quad \frac{V_{ort}}{m/s} \quad \text{--- (4)}$$

denkleminde hesaplanabilir.

h_k - Yük veya sürtünme kaybı

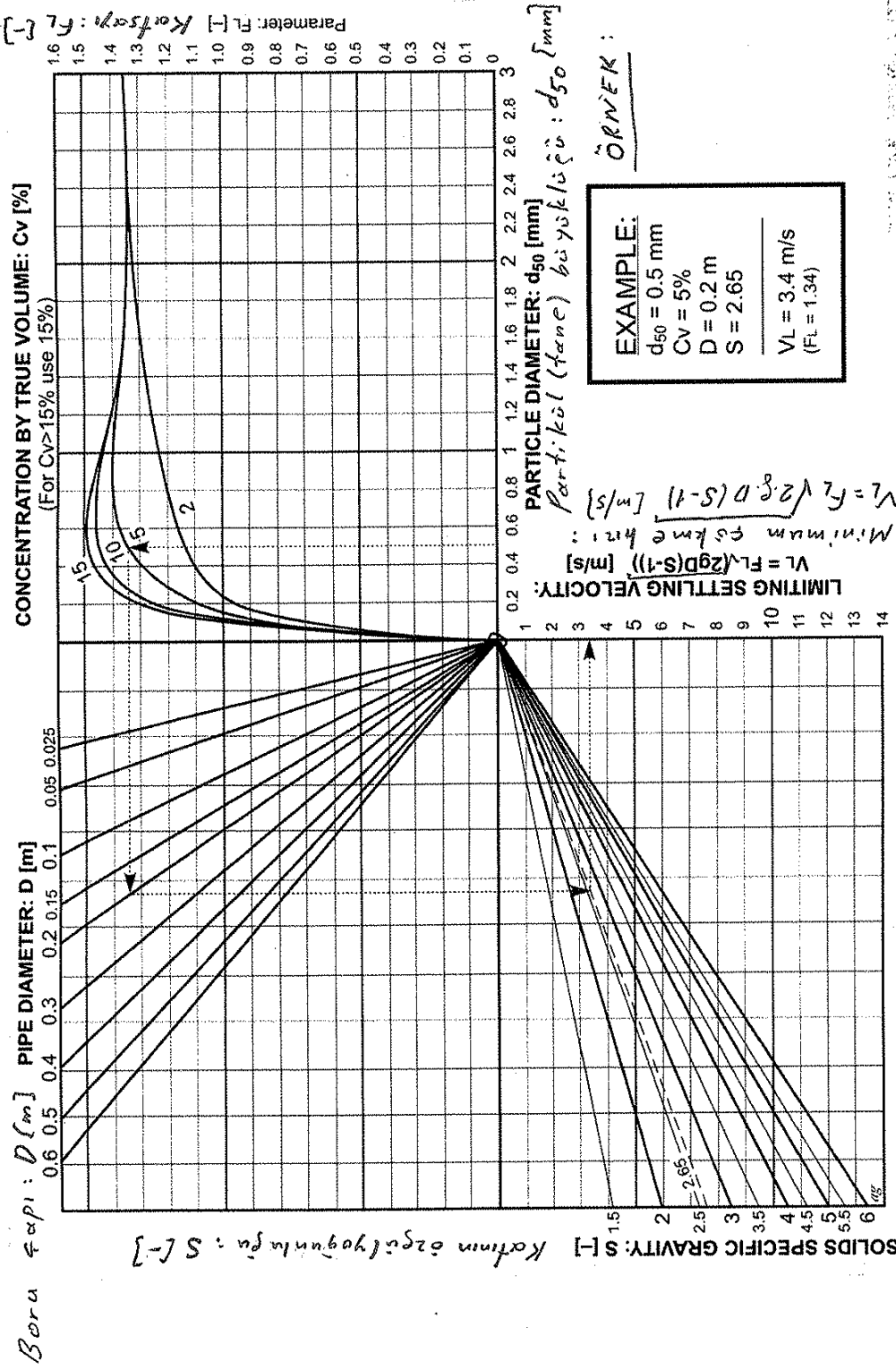
L - Boru boyu (veya borunun toplam eşdeğer uzunluğu)

D - Boru iç çapı

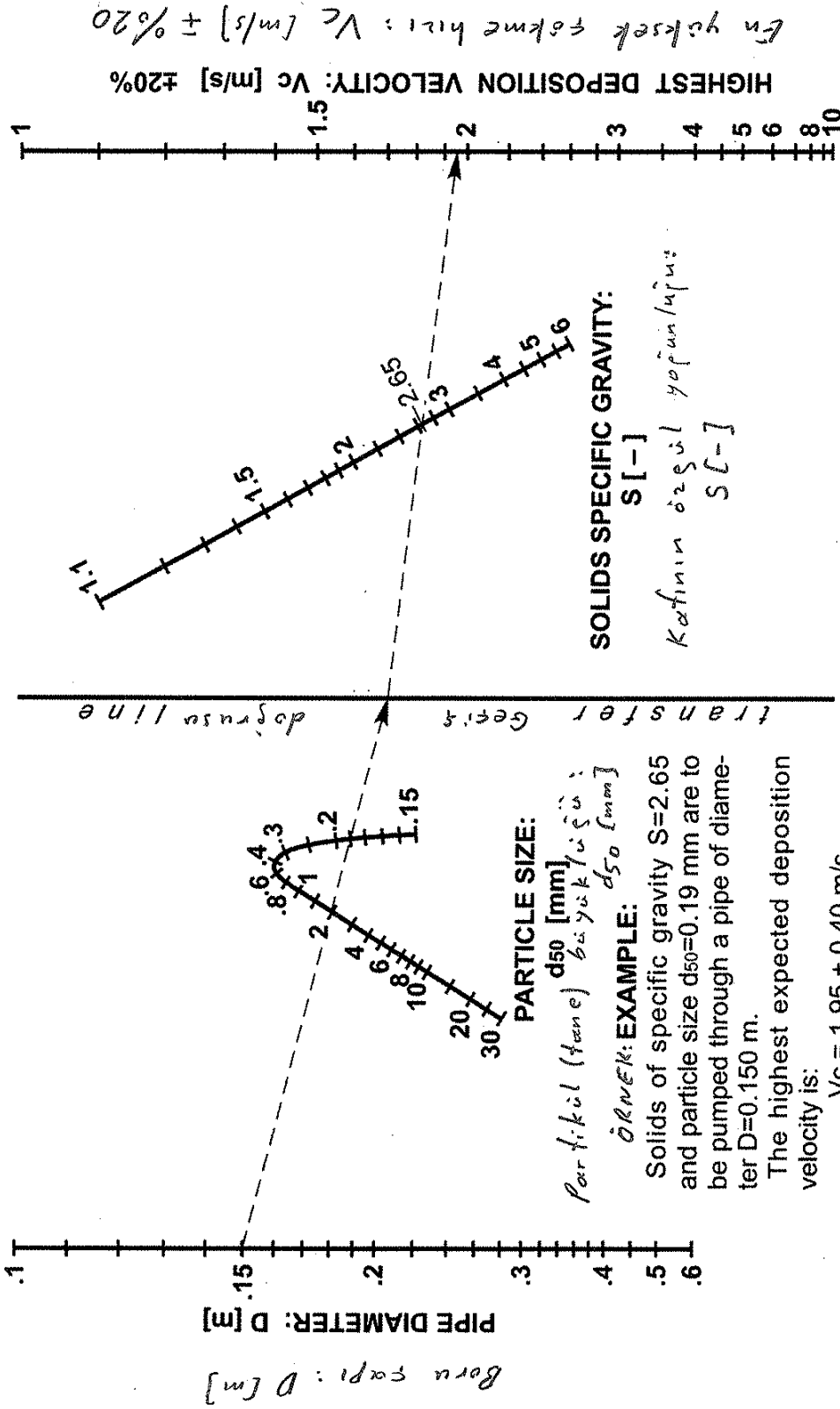
V - Borudaki akışkan hızı

f - Darcy sürtünme faktörü (Şekil 10, Şekil 11)

Hacimce katı konsantrasyonu: CV [%] (CV > %15 için %15 değerleri kullanılır)



Sekil 18 - DURAND'S minimum sökme hızı diyagramı [L23]



ÖRNEK: EXAMPLE:
Solids of specific gravity $S=2.65$ and particle size $d_{50}=0.19$ mm are to be pumped through a pipe of diameter $D=0.150$ m.
The highest expected deposition velocity is:
 $V_c = 1.95 \pm 0.40$ m/s.

Şekil 9 - WILSON'S minimum çökme hızı diyagramı [L29]

- ÖRNEK:**
- Katı, özgül yoğunluğu $S=2,65$
 - Partikül büyüklüğü $d_{50} = 0,19$ mm
 - Boru çapı $D = 0,150$ m (sabit)
 - En yüksek çökme (çökme) hızı:
 $V_c = 1,95 \pm 0,40$ m/s

Bu katsayıya Darcy - Weisbach sürtünme fak- -16-
törü de denir. (Fransız Henry Darcy - Alman Julius
Weisbach). Şekil 10 ve Şekil 11 deki Darcy boru
sürtünme diyagramları; "A" grubu karışım (çamur
veya pülp) ve temiz su için geçerlidir [630].

Malzeme tane büyüklüğü 50 - 300 mikron
ve C_w olarak ifade edilen karışım (çamur
veya pülp) içindeki aşırılıkta katı yüzdesi
%0 - 40 arasında olan karışımlar (çamur veya
pülpler) "A" grubu karışım olarak tanımlenir.

Şekil 10 veya Şekil 11 deki diyagramlardan,
boru iç çapı D ve akışkan hızı V değerleri ile
Reynolds sayısı Re okunabildiğine göre bu Re
sayısından faydalanarak Şekil 12 deki "Moody" diyag-
ramını inceleyelim.

Reynolds sayısı, dairesel borudaki iç akış
için aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} \quad \begin{array}{c|c|c|c} Re & V_{ort} & D & V \\ \hline & m/s & m & m^2/s \end{array} \quad (5)$$

Burada,

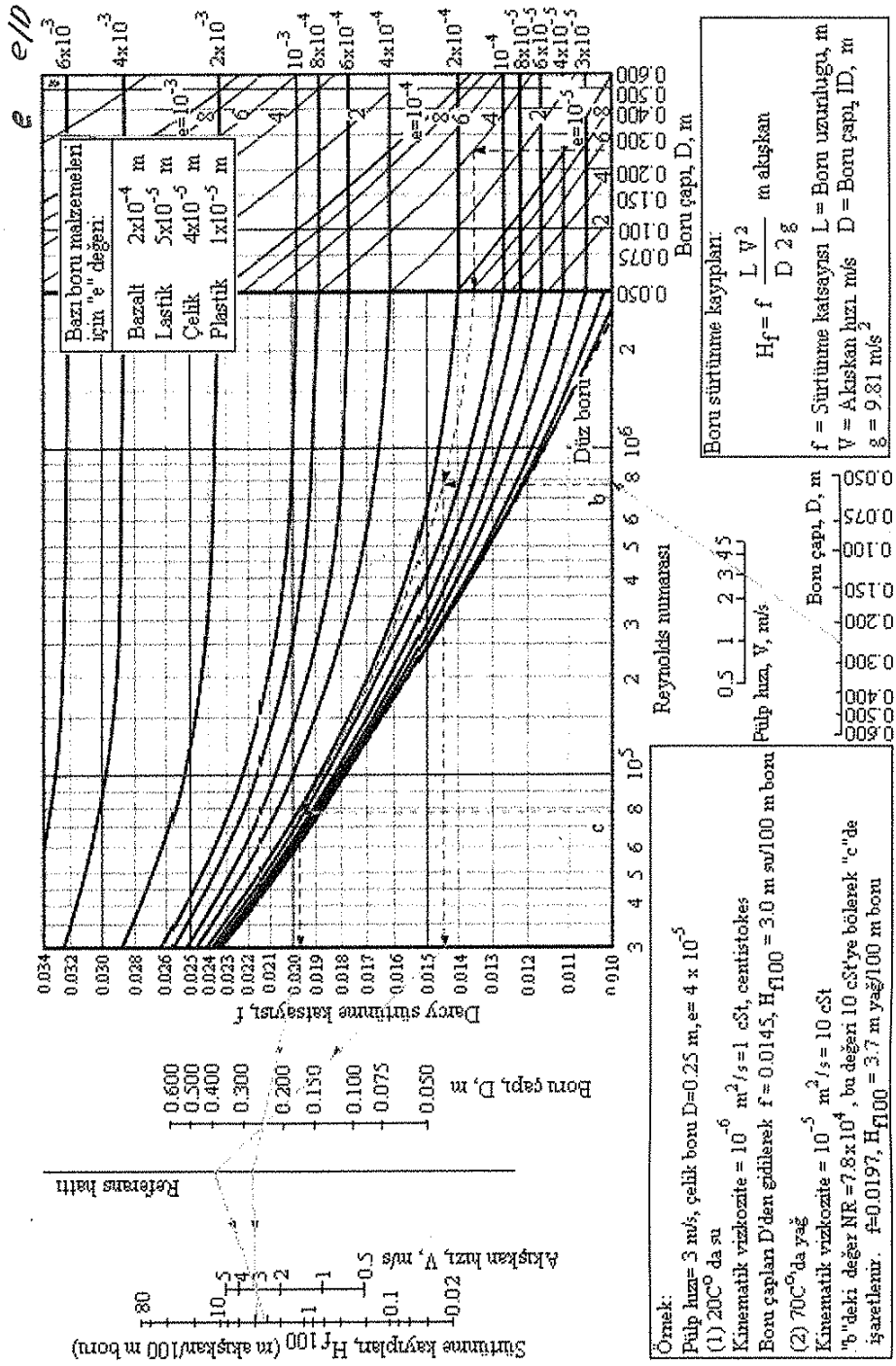
ν - Akışkanın kinematik viskozitesi
olup, 20°C ve 1atm 'de sıvı su için;

$$\nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

olup, yaklaşık olarak,

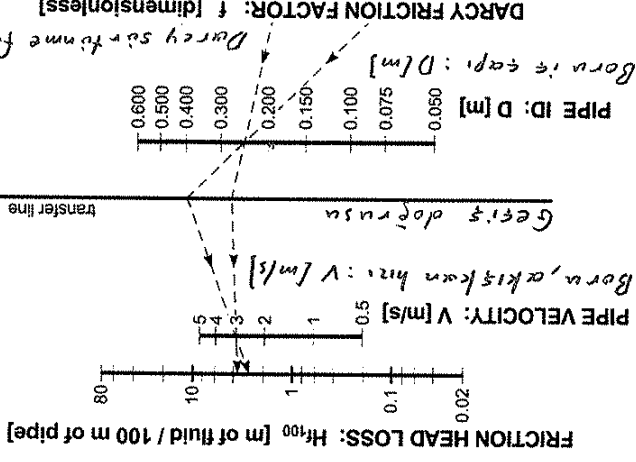
$$\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$$

alınabilir.



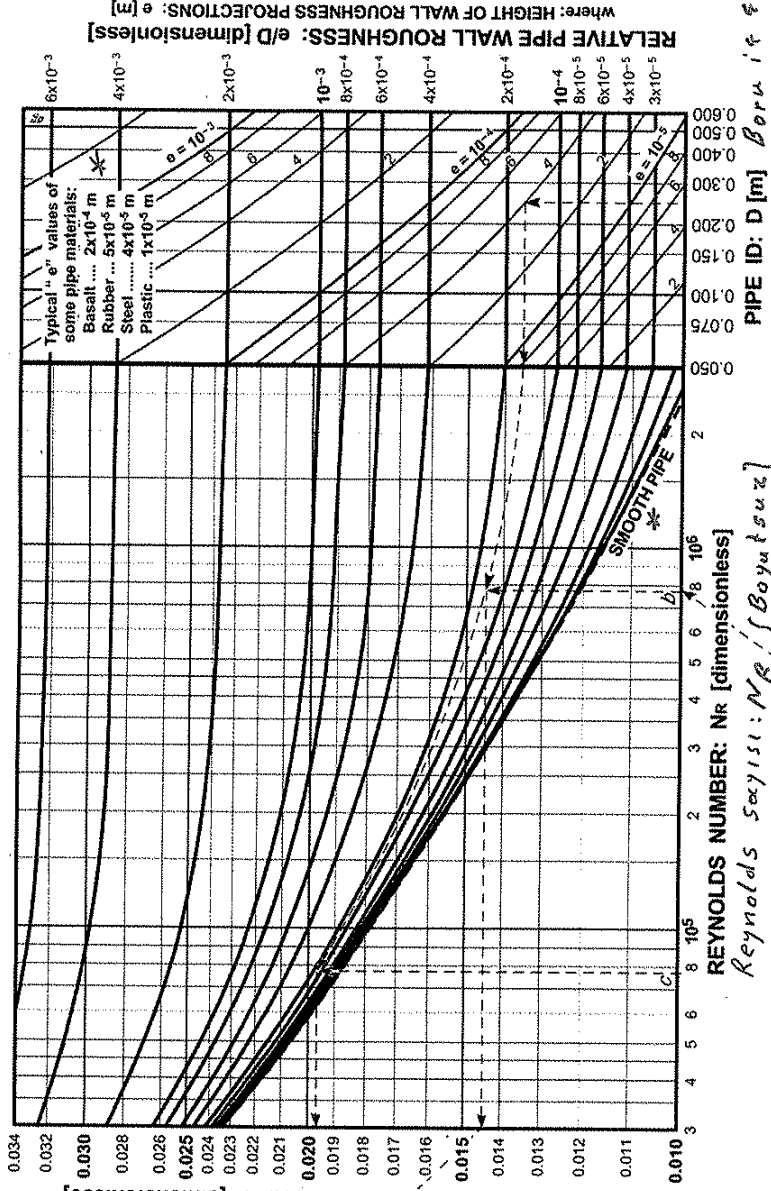
Şekil 10 - Darcy boru sürünme diyagramı [L30]

Sürtünme (yük) kaybı: H_{f100} [m akışkan/100 m boru]



EXAMPLES:
 Pumping at $V=3$ m/s through steel pipe $D=0.25$ m with wall roughness $e=4 \times 10^{-5}$ m.
 (1) Water at $T=20^\circ\text{C}$:
 Kinematic viscosity: $\nu=10^{-6}$ m²/s (=1 cSt).
 Start with D from bottom left and bottom right and follow the arrows to the end to get $f=0.0145$ and: $H_{f100}=3.0$ m water / 100 m pipe.
 (2) Linseed oil at $T=70^\circ\text{C}$:
 Kinematic viscosity: $\nu=10^{-5}$ m²/s (=10 cSt).
 Start as above but stop at b , read $Nr=7.8 \times 10^5$, divide it by 10 (cSt) to get new $Nr=7.8 \times 10^4$, enter it at c and continue to the end to get $f=0.0197$ and: $H_{f100}=3.7$ m linseed oil / 100 m pipe.
 - (Note: cSt=centistokes) -

Darcy sürtünme faktörü: f [dimensionless] [Boyutsuz]



Basit parabolik: e/D [Boyutsuz]
 Geril parabolik: e/D [Boyutsuz]

RELATIVE PIPE WALL ROUGHNESS: e/D [dimensionless] where: HEIGHT OF WALL ROUGHNESS PROJECTIONS: e [m]

Typical "e" values of some pipe materials:
 Basalt ... 2×10^{-4} m
 Rubber ... 5×10^{-5} m
 Steel ... 4×10^{-5} m
 Plastic ... 1×10^{-5} m

REYNOLDS NUMBER: Nr [dimensionless]
 Reynolds sayısı: Nr [Boyutsuz]

PIPE VELOCITY: V [m/s] 0.5 1 2 3/4 5
 Boru, akışkan hızı: V [m/s]

PIPE ID: D [m] 0.050 0.100 0.150 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600
 Boru iç çapı: D [m]

PIPE FRICTION HEAD LOSS is given by:
 $H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$ [m fluid]
 where:
 f = Friction factor [-]
 V = Pipe velocity [m/s]
 L = Pipe length [m]
 D = Pipe ID [m]
 $g = 9.81$ m/s²

Sekil 11. Darcy boru sürtünme diyagramı [L23]
 (*: Sekil 10 ve sayfa: 19'a bak)

Pürüzsüz boru

Bazı boru malzemeleri

işin "e" değerleri :

Bazalt ---- : $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Kauçuk (lastik) : $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Çelik - - - - : $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Plastik - - - : $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Boru sürtünme kaybı :

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \text{ [m akışkan]}$$

f - Sürtünme faktörü [-]

V - Boru akışkan hızı [m/s]

L - Boru uzunluğu [m]

D - Boru iç çapı [m]

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Örnek :

Akışkan hızı : $V = 3 \text{ m/s}$

Düz çelik boru çapı : $D = 0,25 \text{ m}$ (Çider pürüzlülüğü için, $e = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$)

(1) $T = 20^\circ \text{C}$ de su :

Kinematik viskozite, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($= 1 \text{ cSt}$)

$$\left. \begin{array}{l} D = \phi 0,25 \text{ m} \\ V = 3 \text{ m/s} \\ e = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{array} \right\} f = 0,0145 \left\{ \begin{array}{l} f = 0,0145 \\ D = \phi 0,25 \text{ m} \\ \text{Geçiş doğrusu} \\ V = 3 \text{ m/s} \end{array} \right\} H_{f100} = 3,0 \text{ m su} / 100 \text{ m boru}$$

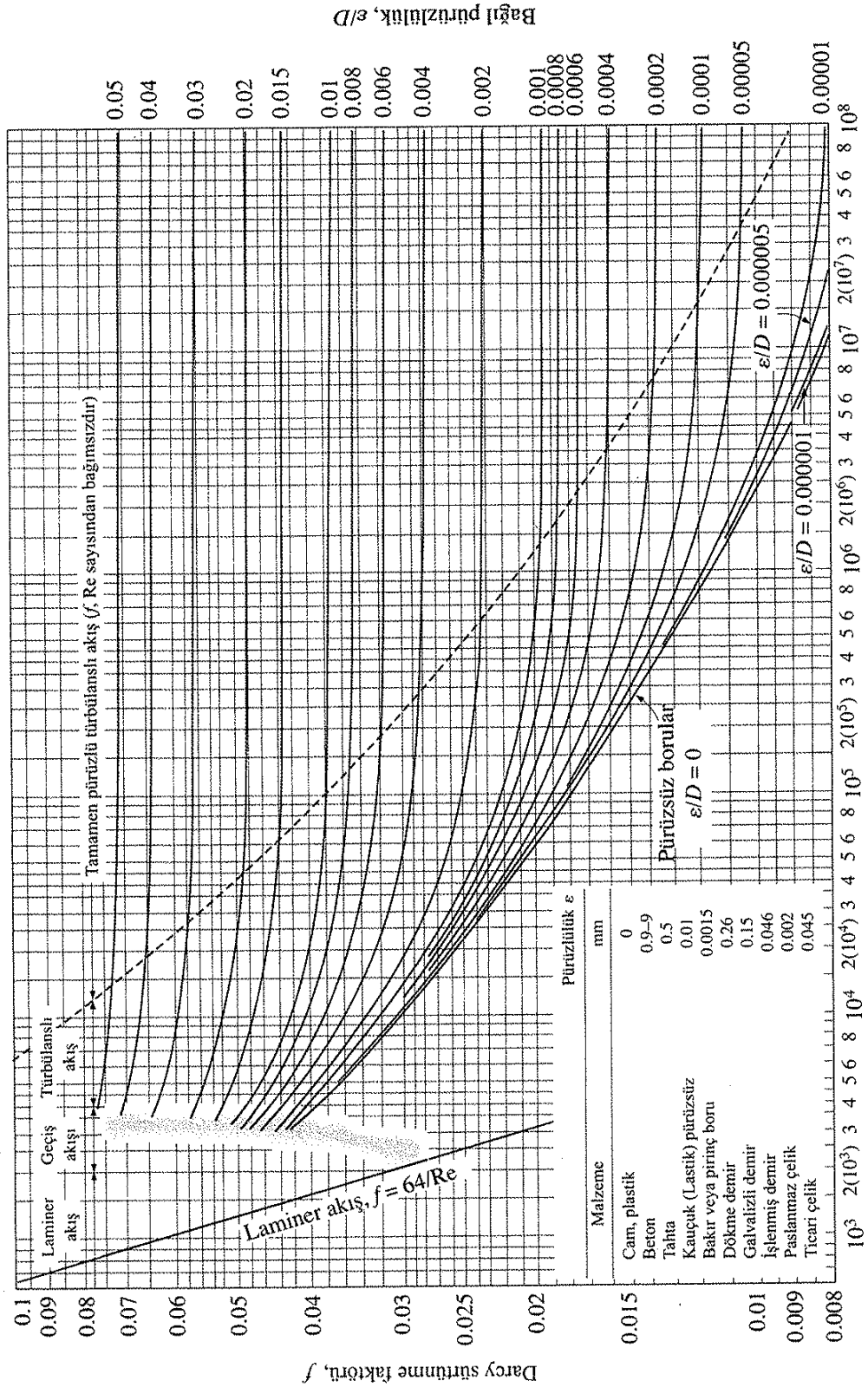
(2) $T = 70^\circ \text{C}$ de bezir yağı :

Kinematik viskozite, $\nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ($= 10 \text{ cSt}$)

$$\text{Reynolds sayısı : } Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$\left. \begin{array}{l} D = 0,25 \text{ m} \\ V = 3 \text{ m/s} \\ \nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{array} \right\} Re = 7,8 \cdot 10^5 \text{ (Diyagram)} \left. \begin{array}{l} D = 0,25 \text{ m} \\ V = 3 \text{ m/s} \\ \nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{array} \right\} Re = \frac{7,8 \cdot 10^5}{10} = 7,8 \cdot 10^4$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 7,8 \cdot 10^4 \\ D = 0,25 \text{ m} \\ e = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{array} \right\} f = 0,0197 \left\{ \begin{array}{l} f = 0,0197 \\ V = 3 \text{ m/s} \end{array} \right\} H_{f100} = 3,7 \text{ m bezir yağı} / 100 \text{ m boru}$$



Reynolds sayısı, Re

Yük kaybı bağıntısı $h_k = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ 'de kullanılmak üzere dairesel borulardaki tam gelişmiş akışa ait sürtünme faktörü için Moody diyagramı. Türbülanslı akıştaki sürtünme faktörleri, Colebrook denklemini $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ 'nden elde edilmiştir.

Sekil 12- 'Moody' Diyagramı [L27].

Su halde Re sayısı su için, D ve V değerleri ile belirlenebilir.

Şekil 10 veya Şekil 11 deki örneği ele alalım;

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (= 1 \text{ cSt})$$

$$D = \phi 250 \text{ mm}$$

$$V = 3 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{3 \text{ m/s} \cdot 0,250 \text{ m}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\| \underline{Re = 7,5 \cdot 10^5}$$

Ticari çelik için $\epsilon = 0,045 \text{ mm}$ alınırsa,

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,045 \text{ mm}}{250 \text{ mm}}$$

$$\| \underline{\frac{\epsilon}{D} = 0,00018}$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 7,5 \cdot 10^5 \\ \epsilon/D = 0,00018 \end{array} \right\} \underline{\| f \approx 0,0145} \quad (\text{Şekil 12})$$

bulunur.

Darcy sürtünme faktörü f ile ilgili

Colebrook denklemi olarak bilinen

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Şekil 12})$$

denklemi f ye göre kapalı bir fonksiyondur ve sürtünme faktörünün bulunması için birkaç

iterasyon yapmak gerekir. f nin yaklaşık

değer başıntısı S.E. Haaland tarafından aşağı-

daki gibi verilmiştir :

Karışım (Famur veya Pülp)

Pompa ile ilgili

bir inceleme

-II-

Kennet

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \quad (6)$$

Bu bağıntıdan elde edilen sonuçlar Colebrook denkleminde elde edilenlerden %2 kadar fazladır.

Örnek için f değerini hesaplayalım,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{7,5 \cdot 10^5} + \left(\frac{0,00018}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx 8,2627$$

$$\| f = 0,0146$$

Görüldüğü gibi çok yakın değer çıktı ($f = 0,0145$ e göre)

Problemimize devam edelim,

$$D = \phi 150 \text{ mm}$$

$$V = 2,8 \text{ m/s}$$

$$\text{Pürüzlülük: } \epsilon = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m (çelik için)}$$

$$\text{Bağıl pürüzlülük: } \epsilon/D = 4 \cdot 10^{-5} / 0,150 = 2,67 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Reynolds sayısı: } Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{2,8 \cdot 0,150}{1 \cdot 10^{-6}} = 4,2 \cdot 10^5$$

Değerleri ile, Darcy sürtünme faktörü,

$$\| f = 0,017 \quad (\text{Şekil 10 veya Şekil 11})$$

veya,

$$Re = 4,2 \cdot 10^5$$

$$\epsilon/D = 2,67 \cdot 10^{-4}$$

$$\| f = 0,017 \quad (\text{Şekil 12})$$

olarak okunabilir. f , hesapla da bulunabilir, -23-

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \quad (\text{Eşitlik 6)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{4,2 \cdot 10^5} + \left(\frac{2,67 \cdot 10^{-4}}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 7,8836$$

$$\| \underline{f = 0,016}$$

sonuç :

$$f_{\text{diyagram}} = 0,017$$

$$f_{\text{hesap}} = 0,016$$

$f = 0,017$ ile hesaba devam edelim.

Ayrıca, Şekil 13 te verilen ve çok sade bir görünüme sahip olan "Boru sürtünme diyagramı" nı, f değerinin belirlenmesi için kullanabiliriz.

• Basma borusundaki kayıplar;

Basma borusu uzunluğu : $L_b = 100 \text{ m}$

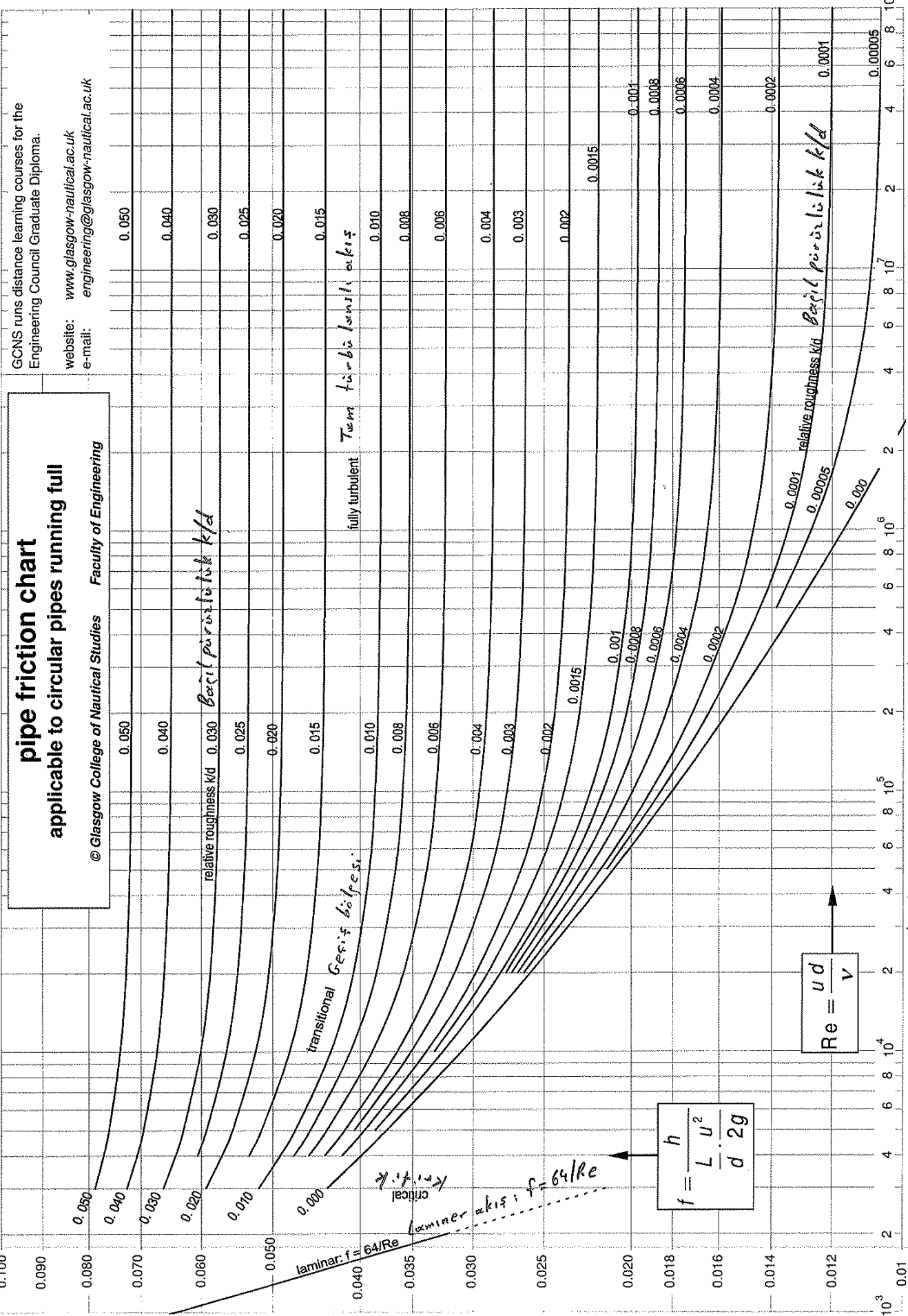
" " iç çapı : $D_b = \phi 150 \text{ mm}$

Basma borusunda, boru bağlantı elemanları olarak : 5 ad. 90° lik geniş dirsek bulunmaktadır.











Tablo 3 veya Tablo 4'e göre, her 90° lik

geniş dirsek $D_b = \phi 150 \text{ mm}$ lik boru için

3,35 m ye eşdeğer olup toplamı



Sekil 13 - Boru sürtünme diyagramı (Sürekli dolu çalışan dairesel borulara uygulanabilir)

	 Çap > 3NB	 Çap = 3NB			 Max çap 10NB				
İç çap mm	90° lik geniş dirsek	90° lik dar dirsek	Dirsek	T	Lastik boru	Diyaframlı valf tam açık	Yıvarlak diiz açık valf	Dikdörtgen valf	Taylor bihyalı valf
Yatay boru olarak akışa karşı metre olarak karşılığı									
25	0.52	0.70	0.82	1.77	0.30	2.56	-	0.37	-
32	0.73	0.91	1.13	2.38	0.40	3.29	-	0.49	-
40	0.85	1.10	1.31	2.74	0.49	3.44	1.19	0.58	-
50	1.07	1.40	1.58	3.35	0.55	3.66	1.43	0.73	-
65	1.28	1.65	1.98	4.27	0.70	4.60	1.52	0.85	-
80	1.55	2.07	2.47	5.18	0.85	4.88	1.92	1.04	0.20
90	1.83	2.44	2.90	5.79	1.01	-	-	1.22	-
100	2.13	2.77	3.35	6.71	1.16	7.62	2.19	1.40	0.23
115	2.41	3.05	3.66	7.32	1.28	-	-	1.58	-
125	2.71	3.55	4.27	8.23	1.43	13.11	3.05	1.77	0.30
150	3.35	4.27	4.88	10.06	1.55	18.29	3.11	2.13	0.37
200	4.27	5.49	6.40	13.11	2.41	19.81	7.92	2.74	0.51
250	5.18	6.71	7.92	17.07	2.99	21.34	10.67	3.47	0.61
300	6.10	7.92	9.75	21.12	3.35	28.96	15.85	4.08	0.76
350	7.01	9.45	10.97	23.16	4.27	28.96	-	4.88	0.91
400	8.23	10.67	12.80	26.52	4.88	-	-	5.49	1.04
450	9.14	12.19	14.02	30.48	5.49	-	-	6.22	1.16
500	10.36	13.11	15.85	33.53	6.10	-	-	7.32	1.25

Tablo 3 - Dirsek, vana gibi boru elemanlarının kayıp değerlerine karşılık gelen "m boru" olarak eşdeğerleri [L 30].

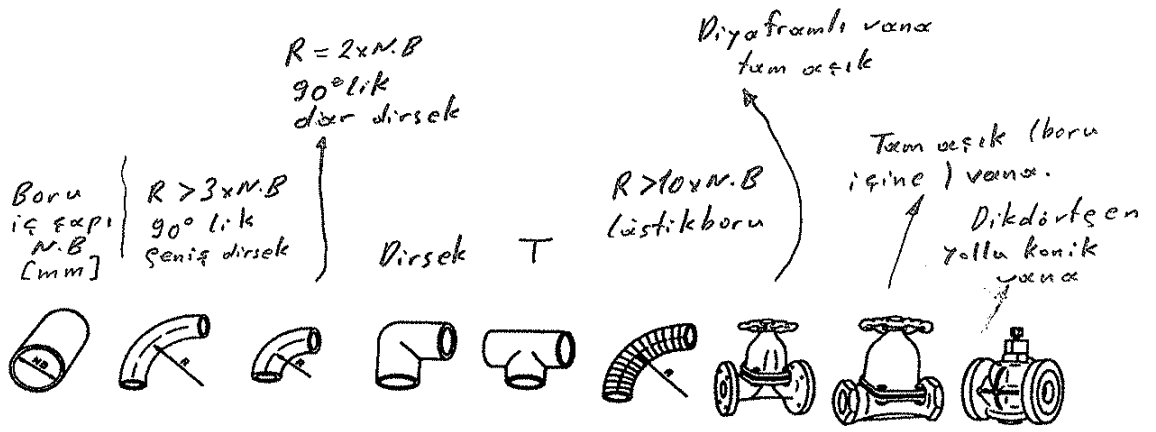
$$5 \cdot 3,35 \text{ m} = 16,75 \text{ m dir.}$$

Borunun toplam eşdeğer uzunluğu,

$$L_{es} = 100 \text{ m} + 16,75 \text{ m}$$

$$\parallel L_{es} = 116,75 \text{ m}$$

bulunur.



Pipe Size N.B	R>3xN.B. Long Radius Bend	R=2xN.B Short Radius Bend	Elbow	Tee	R>10xN.B. Rubber Hose	Dia-phr. Full Open	Full Bore Valve	Plug Lub Valve Rect. Way
25	0,52	0,70	0,82	1,77	0,30	2,60	-	0,37
32	0,73	0,91	1,13	2,40	0,40	3,30	-	0,49
38	0,85	1,09	1,31	2,70	0,49	3,50	1,19	0,58
50	1,07	1,40	1,67	3,40	0,55	3,70	1,43	0,73
63	1,28	1,65	1,98	4,30	0,70	4,60	1,52	0,85
75	1,55	2,10	2,50	5,20	0,85	4,90	1,92	1,03
88	1,83	2,40	2,90	5,80	1,01	-	-	1,22
100	2,10	2,80	3,40	6,70	1,16	7,60	2,20	1,40
113	2,40	3,10	3,70	7,30	1,28	-	-1,58	
125	2,70	3,70	4,30	8,20	1,43	13,10	3,00	1,77
150	3,40	4,30	4,90	10,10	1,55	18,30	3,10	2,10
200	4,30	5,50	6,40	13,10	2,40	19,80	7,90	2,70
250	5,20	6,70	7,90	17,10	3,00	21,00	10,70	3,50
300	6,10	7,90	9,80	20,00	3,40	29,00	15,80	4,10
350	7,00	9,50	11,00	23,00	4,30	29,00	-	4,90
400	8,20	10,70	13,00	27,00	4,90	-	-	5,50
450	9,10	12,00	14,00	30,00	5,50	-	-	6,20
500	10,30	13,00	16,00	33,00	6,10	-	-	7,30

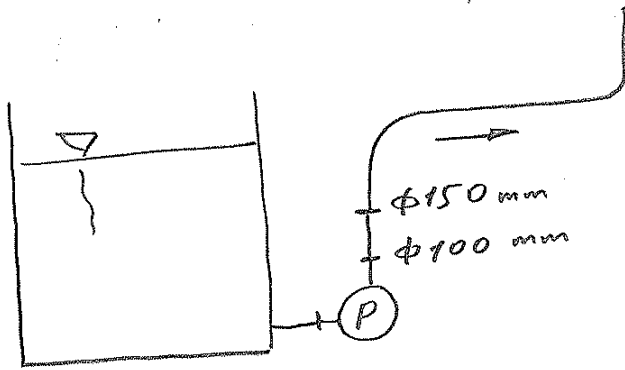
Tablo 4 - Çeşitli boru bağlantı elemanları ve vanalar için yük kayıp değerlerine karşılık gelen, eşdeğer "metre düz boru" uzunlukları [L 22].

Buzma borusundaki yük kaybı,

$$h_{kb} = f \cdot \frac{L_{es.}}{D} \cdot \frac{V_{ort.}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$h_{kb} = 0,017 \cdot \frac{116,75}{0,150} \cdot \frac{2,8^2}{2 \cdot 9,81}$$

$h_{kb} \approx 5,29 \text{ m}$



Şekil 2 veya yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi pompa çıkışında $\phi 100/\phi 150$ redüksiyonu var. Ani genişleme kaybını da hesaplamalıyız.

Ani genişleme kaybı,

$$h_{kbsen} = K_e \frac{(V - V_1)^2}{2 \cdot f} \quad (\text{Tablo 5 veya Tablo 6})$$

$\phi 100 \text{ mm}$ çaplı borudaki akışkan hızı,

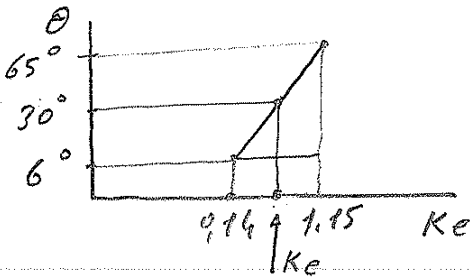
$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$\frac{176,2}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,100)^2 V$$






$h_{kb} \approx 5,29 \text{ m}$

K_e faktörü, $\theta = 30^\circ$ ve Lineer değişim varsay

yımiyla,



$$\frac{K_e - 0,14}{1,15 - 0,14} = \frac{30^\circ - 6^\circ}{65^\circ - 6^\circ}$$

Kayıp nederü	Yükseklik kaybı, m	Kayıp nederü	Yükseklik kaybı, m																				
	Pompa havuzu ya da pülptarık ile pompa arasındaki bağlantı kayıpları		Ani daralmadan kaynaklanan kayıp K_c değeri, çapların birbirine oranına bağlıdır. $K_c \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$																				
	(a) Düz bağlantı $0.5 \frac{V_1^2}{2g}$		<table border="1"> <tr> <td>d_1/d_2</td> <td>1,2</td> <td>1,4</td> <td>1,6</td> <td>1,8</td> <td>2,0</td> <td>2,5</td> <td>3,0</td> <td>4,0</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>K_c</td> <td>0,08</td> <td>0,17</td> <td>0,26</td> <td>0,34</td> <td>0,37</td> <td>0,41</td> <td>0,43</td> <td>0,45</td> <td>0,46</td> </tr> </table>	d_1/d_2	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	K_c	0,08	0,17	0,26	0,34	0,37	0,41	0,43	0,45	0,46
	d_1/d_2		1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0												
K_c	0,08	0,17	0,26	0,34	0,37	0,41	0,43	0,45	0,46														
(b) Emiş borulu bağlantı $1.0 \frac{V_1^2}{2g}$																							
(c) Yuvartatılmış bağlantı $0.05 \frac{V_1^2}{2g}$																							
	Pompanın çıkışı ile basma hattındaki konik bağlantı nederü ile kayıplar		Ani genişlemeden dolayı kayıp $\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$																				
	<table border="1"> <tr> <td>Açı</td> <td>6°</td> <td>65°</td> </tr> <tr> <td>K_e</td> <td>0.14</td> <td>1.15</td> </tr> </table> <p>Not: Açı 65° olduğunda maksimum, 6° olduğunda minimum kayıp meydana gelir.</p>		Açı	6°	65°	K_e	0.14	1.15	$K_e \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$														
Açı	6°	65°																					
K_e	0.14	1.15																					
			Konik bağlantı ya da nozul bağlantıdan dolayı kayıp $K_g \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$																				

Tablo 5 - Çeşitli boru elemanları için yerel kayıp katsayıları [L30].

$$\| K_e = 0,55$$

bulunur.

$$h_{kb\text{gen.}} = 0,55 \frac{(6,23 - 2,8)^2}{2 \cdot 9,81}$$

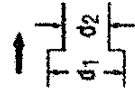


$$\| h_{kb\text{gen.}} = 0,33 \text{ m.}$$

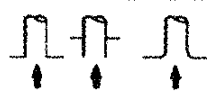

Küçük basma yüksekliklerinde depo (hazne) giriş kaybı da hesaba katılmalıdır [L29].

Şekil 2 incelendiğinde, siklon atmosfere asık dolayısıyla, pompa çıkış borusu veya siklonun (depoya) giriş borusu da atmosfere asık olup, depo (hazne) giriş kaybı

$$h_{kb\text{haz. gir.}} = \frac{(V - V_1)^2}{2g} \quad (\text{Tablo 6})$$

Yük kaybı
[m]

GROUP Grup	ITEM Açıklama	HEAD LOSS [m]																				
3.	 <p>Loss of head due to sudden contraction: Kc is a factor depending on ratio $\frac{d_1}{d_2}$ where d1 is the large diameter and d2 the small diameter as illustrated below.</p> <table border="1"> <tr> <td>Ratio $\frac{d_1}{d_2}$</td> <td>1.2</td> <td>1.4</td> <td>1.6</td> <td>1.8</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>Factor Kc</td> <td>0.08</td> <td>0.17</td> <td>0.26</td> <td>0.34</td> <td>0.37</td> <td>0.41</td> <td>0.43</td> <td>0.45</td> <td>0.46</td> </tr> </table>	Ratio $\frac{d_1}{d_2}$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	Factor Kc	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46	$K_c = \frac{V_1^2}{2g}$
Ratio $\frac{d_1}{d_2}$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0													
Factor Kc	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46													
4.	 <p>Loss of head due to sudden enlargement: Ani genişleme (hazne girişini) kaybı:</p>	$\frac{(V-V_1)^2}{2g}$																				
5.	 <p>Konik daralma yük kaybı: Loss of head due to conical contraction: e.g. Jet Nozzles (örneğin) Nozul memesi, sibi:</p>	$K_g \frac{(V-V_1)^2}{2g}$																				

GROUP	ITEM Açıklama	HEAD LOSS [m] Yük kaybı [m]						
1.	 <p>Loss of head at inlet H1 From pump hopper to pump or from storage tank to pump (a) Flush Connections. (b) Projecting connection and dredge suction pipes. (c) Rounded Connection.</p>	$0.5 \frac{V_1^2}{2g}$ $1.0 \frac{V_1^2}{2g}$ $0.05 \frac{V_1^2}{2g}$						
2.	 <p>Loss of head due to conical enlargement from pump discharge flange to discharge pipeline</p> <table border="1"> <tr> <td>θ açısı</td> <td>6°</td> <td>65°</td> </tr> <tr> <td>Kc faktörü</td> <td>0.14</td> <td>1.15</td> </tr> </table>	θ açısı	6°	65°	Kc faktörü	0.14	1.15	$K_e \frac{(V-V_1)^2}{2g}$
θ açısı	6°	65°						
Kc faktörü	0.14	1.15						

Grup

Tablo 6 - Geçitli boru elemanları için yerel kayıp katsayıları [L20]

1. Pompa tankından pompaya bağlantıda, piriş yük kaybı H₂:

(a) Düz bağlantı-

(b) Fikintli bağlantı-

(c) Yuvarlatılmış bağlantı.

2. Pompa çıkış flansından pompa çıkış borusuna konik genişlemeye (redük-

siyon) dolaylı yük kaybı:

Yük kaybı:

$\theta = 65^\circ$ için $K_{e\max} = 1.15$

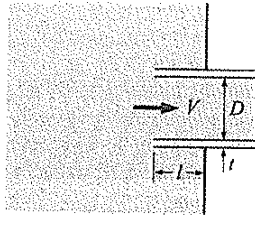
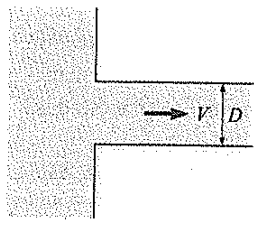
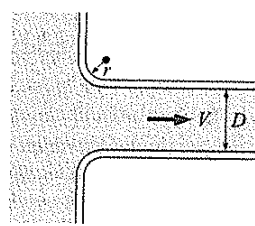
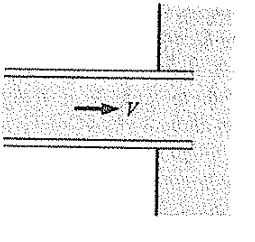
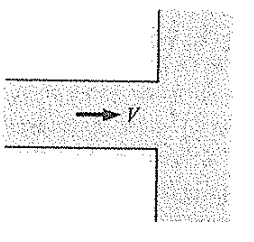
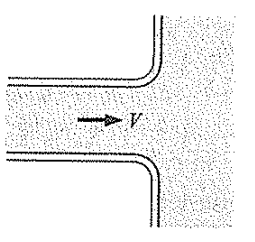
$\theta = 6^\circ$ " $K_{emin} = 0.14$

3. Ani daralma (hazne çıkışı) kaybı:

Kc faktörü d₁/d₂ oranına bağlı olup d₁ > d₂ için Kc değerleri tabloda

verilmiştir.

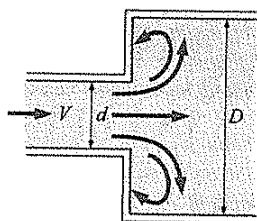
d ₁ /d ₂ oranı	-
Kc faktörü	-

<p>Boru girişi Çıkıntılı giriş: $K_K = 0.80$ ($l \ll D$ ve $l \approx 0.1D$)</p> 	<p>Keskin kenarlı: $K_K = 0.50$</p> 	<p>İyi yuvarlatılmış ($r/D > 0.2$); $K_K = 0.03$ Hafifçe yuvarlatılmış ($r/D = 0.1$); $K_K = 0.12$ (bkz. Şekil 8-36)</p> 
<p>Boru çıkışı Çıkıntılı çıkış: $K_K = \alpha$</p> 	<p>Keskin kenarlı: $K_K = \alpha$</p> 	<p>Yuvarlatılmış: $K_K = \alpha$</p> 

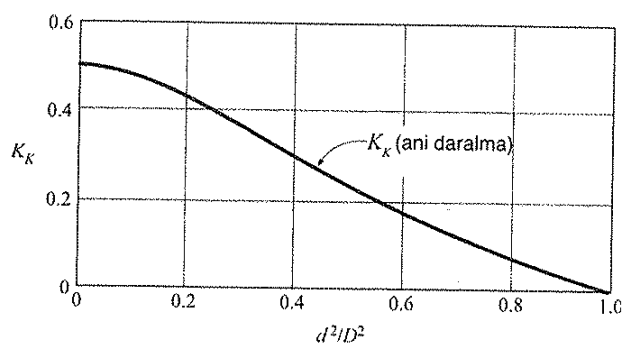
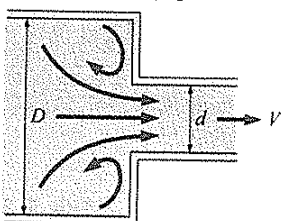
Not: Kinetik enerji düzeltme faktörü tam gelişmiş laminar akış için $\alpha = 2$ ve tam gelişmiş türbülanslı akış için $\alpha = 1.05$ ' dir.

Ani genişleme ve daralma (küçük çaplı borudaki hızla göre)

Ani genişleme:
$$K_K = \alpha \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

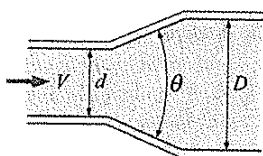


Ani daralma: Diyagrama bakınız.

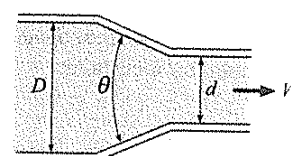


Yavaş genişleme ve daralma (küçük çaplı borudaki hızla göre)

Genişleme ($\theta = 20^\circ$ için):
 $d/D = 0.2$ için $K_K = 0.30$
 $d/D = 0.4$ için $K_K = 0.25$
 $d/D = 0.6$ için $K_K = 0.15$
 $d/D = 0.8$ için $K_K = 0.10$

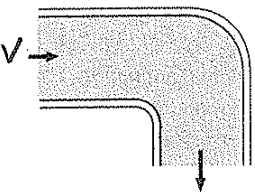
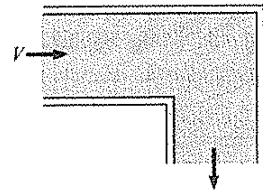
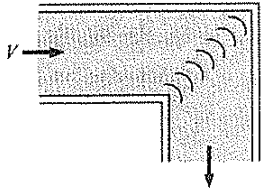
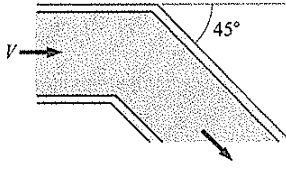
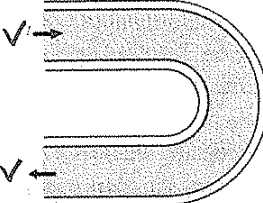
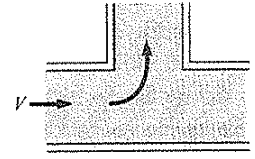
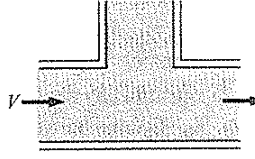
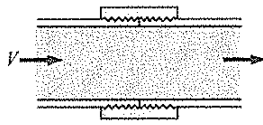


Daralma:
 $\theta = 30^\circ$ için $K_K = 0.02$
 $\theta = 45^\circ$ için $K_K = 0.04$
 $\theta = 60^\circ$ için $K_K = 0.07$



Tablo 7 - Türbülanslı akışta $h_K = K_K V^2 / (2g)$ bağıntısındaki K_K yerel kayıp katsayılarının eşitli boru elemanları için verilen değerleri [L 27].

(V , elemanın bulunduğu borudaki ortalama akış hızıdır) *

<p>Dönüşler ve Dallanmalar 90° düzgün dönüş Flanşlı: $K_K = 0.3$ Diş açılmış: $K_K = 0.9$</p> 	<p>90° köşe dönüş (kanatsız): $K_K = 1.1$</p> 	<p>90° köşe dönüş (kanatlı): $K_K = 0.2$</p> 	<p>45° dış açılmış dirsek $K_K = 0.4$</p> 
<p>180° tam dönüş Flanşlı: $K_K = 0.2$ Diş açılmış: $K_K = 1.5$</p> 	<p>T (dallanan akış): Flanşlı: $K_K = 1.0$ Diş açılmış: $K_K = 2.0$</p> 	<p>T (düz akışlı): Flanşlı: $K_K = 0.2$ Diş açılmış: $K_K = 0.9$</p> 	<p>Diş açılmış rakor $K_K = 0.08$</p> 

Vanalar

- Güresel vana, tam açık: $K_K = 10$
- Açılı vana, tam açık: $K_K = 5$
- Yıyeli vana, tam açık: $K_K = 0.05$
- Salıncak çek valf: $K_K = 2$

- Sürgülü vana, tam açık: $K_K = 0.2$
- ¼ kapalı: $K_K = 0.3$
- ½ kapalı: $K_K = 2.1$
- ¾ kapalı: $K_K = 17$

* Bu değerler kayıp katsayılarının temsili değerleridir. Gerçek değerler büyük ölçüde elemanların tasarım ve imalatına bağlıdır ve verilen değerlerden önemli ölçüde sapma gösterilebilir (özellikle vanalar için). Nihai tasarımda imalatçı tarafından sağlanan veriler kullanılmalıdır.

Tablo 7 - (Devamı)

Haznede ki hız, $V_1 = 0$ olduğundan

$$h_{kb \text{ haz. gir.}} = \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{2,8^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\parallel h_{kb \text{ haz. gir.}} = 0,4 \text{ m}$$

bulunur.

Borudaki toplam kayıp,

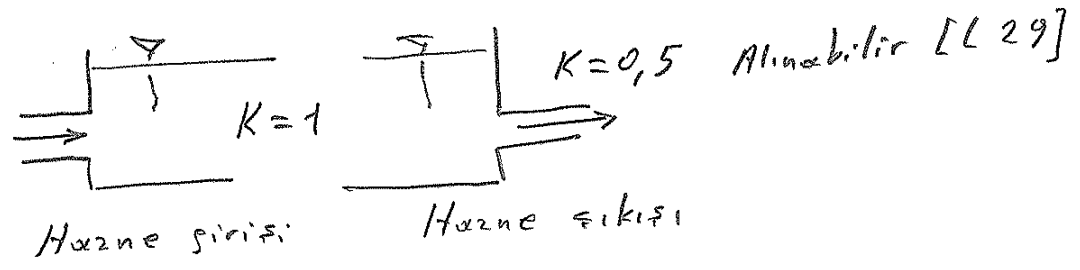
$$h_{kb \text{ top.}} = h_{kb} + h_{kb \text{ gen.}} + h_{kb \text{ haz. gir.}}$$

$$h_{kb \text{ top.}} = 5,29 + 0,33 + 0,4$$

$$\parallel h_{kb \text{ top.}} = 6,02 \text{ m}$$

Emme borusundaki kayıplar,
 Emme borusu pompaya ^{ve sok kısac} ~~dir~~ olarak bağlanmış
 olup kayıp olarak yalnız, karışım tankından sikiş
 kaybı vardır.

$$h_{ke} = K_c \frac{V^2}{2f} \quad (\text{Tablo 5 veya Tablo 6})$$



$$h_{k\text{etop}} = 0,5 \cdot \frac{2,8^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\| h_{k\text{etop}} \approx 0,20 \text{ m.}$$

Şekil 2 pör örne alınarak, pompanın manometrik basınç yüksekliği (pompanın toplam dinamik yüksekliği),

$$H_m = H_f + \sum (h_{kb} + h_{ke}) \quad (7)$$

H_f - Geometrik yükseklik veya statik yükseklik (=Z)

$$H_f = Z_d - Z_s = 20 - 1$$

$$H_f = 19 \text{ m.}$$

$$H_m = 19 + 6,02 + 0,2$$

$$\| H_m = 25,22 \text{ m}$$

Basılabacak eşdeğer su debisinin manometrik basma yüksekliği (toplam dinamik yüksekliği) :

$$Q_{eş.su.} = 176,2 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Sayfa : 7})$$

$$Q_{eş.su.} = \frac{176,2 \cdot 1000}{3600} \text{ L/s}$$

$$Q_{eş.su.} = 49 \text{ L/s}$$

Aynı güç ve devirdeki pompa ile,
Suyun manometrik basma yüksekliği H_{msu} ,
Karışımın " " " " $H_{mkar.}$
elde edildiğine göre,

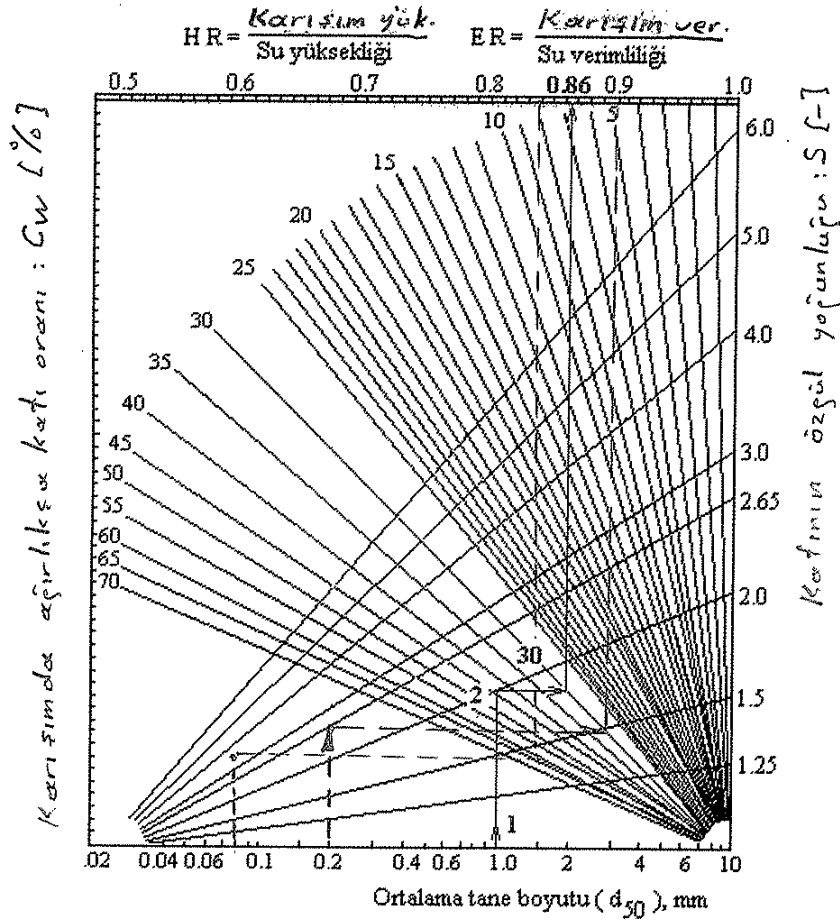
$$HR = \frac{H_{mkar.}}{H_{msu}} \frac{(\text{karışım yüksekliği})}{(\text{su yüksekliği})} \quad (8)$$

oranına "yükseklik oranı"

$$ER = \frac{\gamma_{karışım}}{\gamma_{su}} \frac{(\text{karışım verimliliği})}{(\text{su verimliliği})} \quad (9)$$

oranına da "verimlilik oranı" olarak tanımlenir.

Karışımın (sünger veya pülp) pompalanmasında kullanılacak olan ve HR ile ER değerlerini içeren diyagramlar, Şekil 14 ve Şekil 15 te verilmiştir. Şekil 15 te pompa çark çapının (D_ç) bilinmesi gerekir, bilinmiyorsa Şekil 14 ten $HR = ER$ varsayımıyla HR veya ER düzeltme faktörleri rahatlıkla okunabilir.



Şekil 14 - HR ve ER diyagramı
[L30]

$$\left. \begin{array}{l}
 d_{50} = 211 \mu\text{m} = 0,211 \text{ mm} \\
 C_w = \%30 \\
 S = 2,65
 \end{array} \right\} \parallel HR = ER = 0,90 \text{ (Şekil 14)}$$

Eş değer suyun manometrik basma yüksekliği (toplam dinamik yüksekliği); 0,90 düzeltme faktörüyle

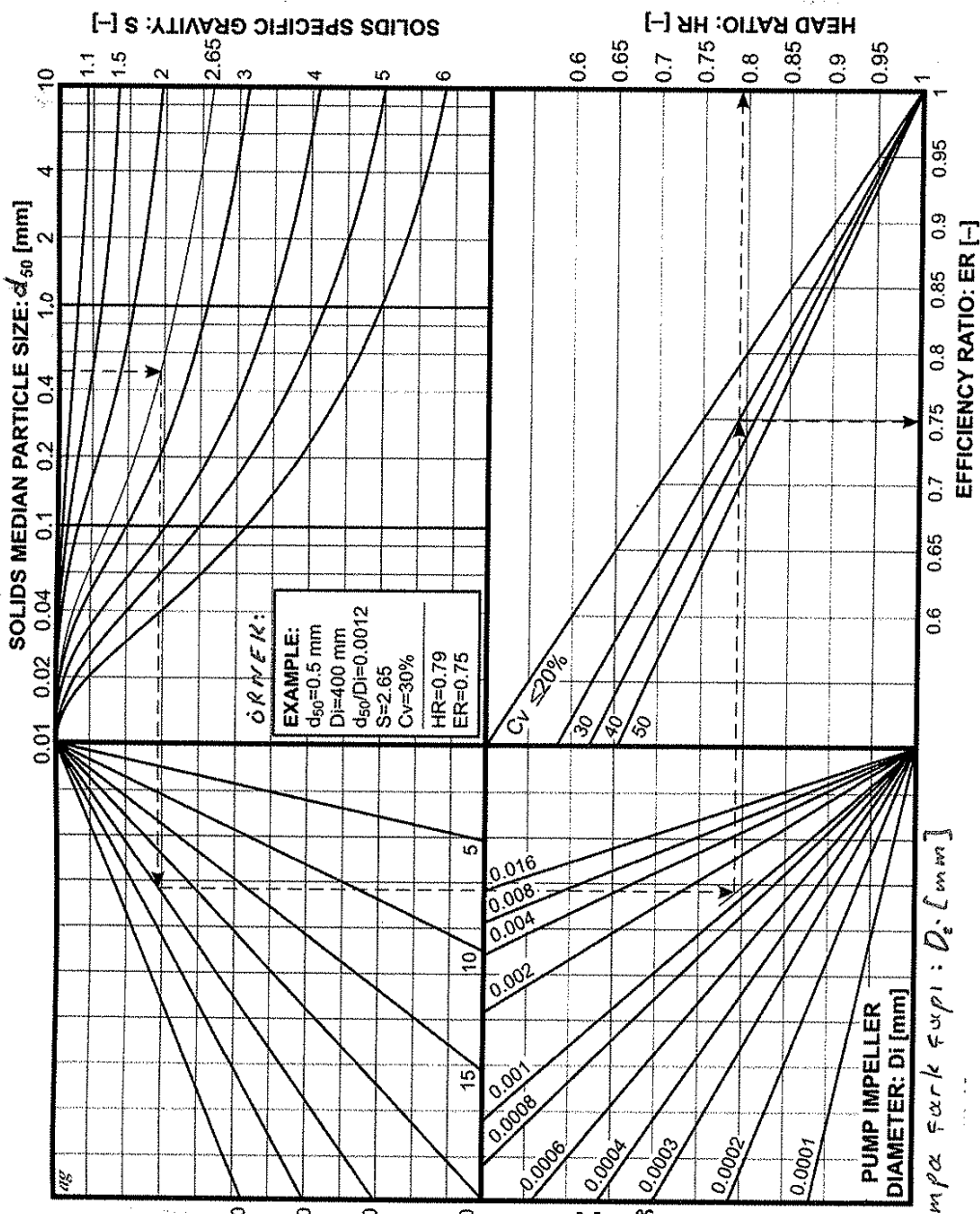
$$HR = \frac{H_{mkar.}}{H_{mes.su}} \text{ (Eşitlik 8)}$$

$$0,90 = \frac{25,22 \text{ m}}{H_{mes.su}}$$

$$\parallel H_{mes.su} = 28 \text{ m}$$

Kaçının ortalaması partikül (tane) büyüklüğü d_{50} [mm]

Yükseklik oranı: HR [-] Kaçının özgül yerçekim ağırlığı: S [-]



ÖRNEK:
 EXAMPLE:
 $d_{50}=0.5$ mm
 $D_i=400$ mm
 $d_{50}/D_i=0.0012$
 $S=2.65$
 $C_v=30\%$
 $HR=0.79$
 $ER=0.75$

SOLIDS CONCENTRATION IN SLURRY BY TRUE VOLUME: C_v [%]

PARTICLE / IMPELLER RATIO: d_{50}/D_i [-]

PUMP IMPELLER DIAMETER: D_i [mm]

Pompa fark F_{p1} : D_i [mm]

Karışım dos hacimce kati oranı: C_v [%]

Partikül (tane)/çark oranı: d_{50}/D_c [-]

Verimlilik oranı: ER [-]

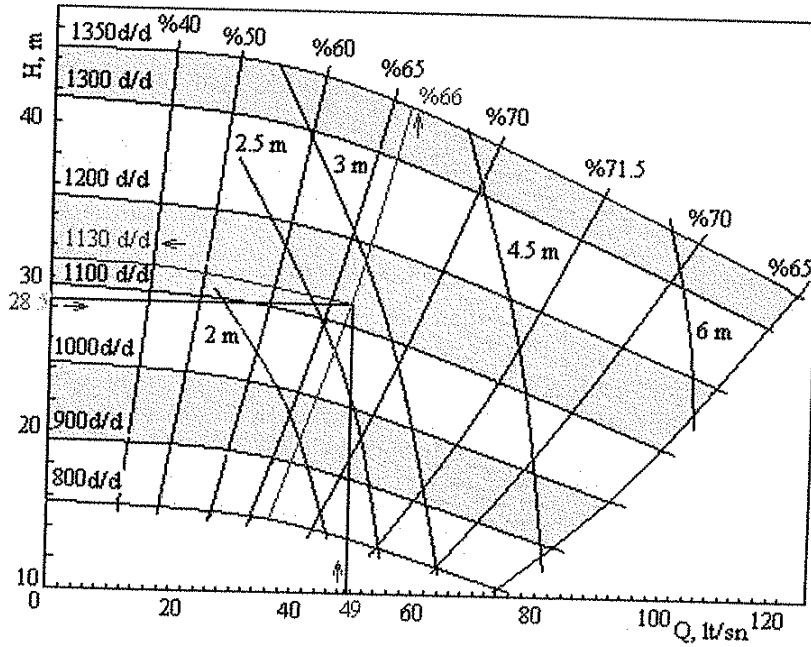
Şekil 15- Santrifüj pompa performansında karışımın (farklı veya pülp) etkisi. [L23, L20]

Şu halde, suyu 28 m ye basabilen üstteki bir pompa, $S_m = 1,23$ özgül yoğunluğundaki bir karışımda (çamur veya pülp) 25,22 m ye basabilecektir.

Pompa seçimi :

$$\left. \begin{aligned} Q_{es.su} &= 49 \text{ L/s} \quad (\text{Sayfa: 33}) \\ H_{mes.su} &= 28 \text{ m} \end{aligned} \right\}$$

değerleri ile Şekil 16 daki diyagramdan, devir sayısı 1130 d/d olan pompanın 1,23 özgül yoğunluğundaki karışımı (çamur veya pülp) %66 verimle basabileceği görülür. Pompa tipinin seçilmesinde ise, imalatçılardan pompa kataloglarından faydalanılır.



Şekil 16 - Santrifüj pompa işletme karakteristikleri [L30]

Pompa mil gücü hesabı :

Pompanın bastığı sıvının özgül ağırlığı, basılan debi, manometrik yükseklik ve genel verim değeri; pompanın miline verilmesi gereken gücü (efektif gücü) hesaplamak için yeterlidir.

$$\dot{W}_{mil} = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot H}{\eta_{pompa}} \cdot (10^{-3} \text{ kW/W}) \quad (10)$$

- ρ : Yoğunluk [kg/m^3]
 \dot{V} : Hacimsel debi [m^3/s]
 H : Pompa yükü [m]
 η_{pompa} : Pompa verimi

$$\dot{W}_{mil} = \frac{1230 \cdot 9,81 \cdot \frac{176,2}{3600} \cdot 28}{0,66} \cdot (10^{-3} \text{ kW/W})$$

$$\| \underline{\dot{W}_{mil}} \approx 25 \text{ kW} (= \dot{W}_{ef.})$$

Pompa motor gücü:

Pompayı çeviren motor gücü, pompanın hesaplanan mil gücü değeri bir α emniyet katsayısı ile çarpılarak bulunur. Emniyet katsayısı, mil gücü büyüklüğüne bağlı olarak aşağıdaki tablodan [L29] seçilebilir.

$$\dot{W}_{ef} < 5 \text{ hp için } \alpha = 1,2 \dots 1,3$$

$$5 < \dot{W}_{ef} < 25 \text{ hp için } \alpha = 1,1 \dots 1,2$$

$$\dot{W}_{ef} > 25 \text{ hp için } \alpha = 1,05 \dots 1,1$$

$$\left. \begin{aligned} (1 \text{ hp})_{\text{mekanik}} &= 745,7 \text{ W} \\ (1 \text{ hp})_{\text{elektriksel}} &= 746 \text{ W} \end{aligned} \right\} 1 \text{ kW} \approx 1,34 \text{ hp}$$

$$\dot{W}_{ef} = 25 \text{ kW} = 25 \cdot 1,34 \text{ hp}$$

$$\dot{W}_{ef} = 33,5 \text{ BG}$$

$$\dot{W}_{\text{motor}} = 33,5 \cdot 1,1$$

$$\| \dot{W}_{\text{motor}} = 36,85 \text{ hp} = 27,5 \text{ kW}$$

$$\| \dot{W}_{\text{motor}} = 30 \text{ kW} \text{ seçilebilir.}$$

Şimdi, bazı faydalı bilgiler verelim.

Karışımın (çamur veya pülp) özellikleri:

Karışım, belirli bir boyuttaki malzemenin su ile karışımı olarak tanımlanabilir ve içerdiği tane boyutu ve göre değişik gruplar altında toplanabilir.

• Homojen karışım:

içindeki malzemenin tane boyutu 50 μm den az ve katı konsantrasyonun düşük olan karışımlar homojen karışım olarak isimlendirilir. Bu karışımlar su gibi davranır, gösterdiklerinden hesaplamalarda konsantrasyonun düşük olması halinde katı miktarı göz ardı edilebilir. Konsantrasyon yüksek ise hesaplamalarda

karışım yoğunluğunun dikkate alınmalıdır.

- 39 -

• Heterojen karışım :

Malzeme tane büyüklüğü : 50...300 μm } olan
Karışım, ağırlıkça katı oranı C_w : % 0...40 }

karışımlar "A" grubu,

Malzeme tane büyüklüğü : 50...300 μm } olan
Karışım, ağırlıkça katı oranı C_w : > %40 }

karışımlar "B" grubu,

Malzeme tane büyüklüğü : > 300 μm } olan
Karışım, ağırlıkça katı oranı C_w : % 0...20 }

karışımlar "C" grubu,

Malzeme tane büyüklüğü : > 300 μm } olan
Karışım, ağırlıkça katı oranı C_w : > %20 }

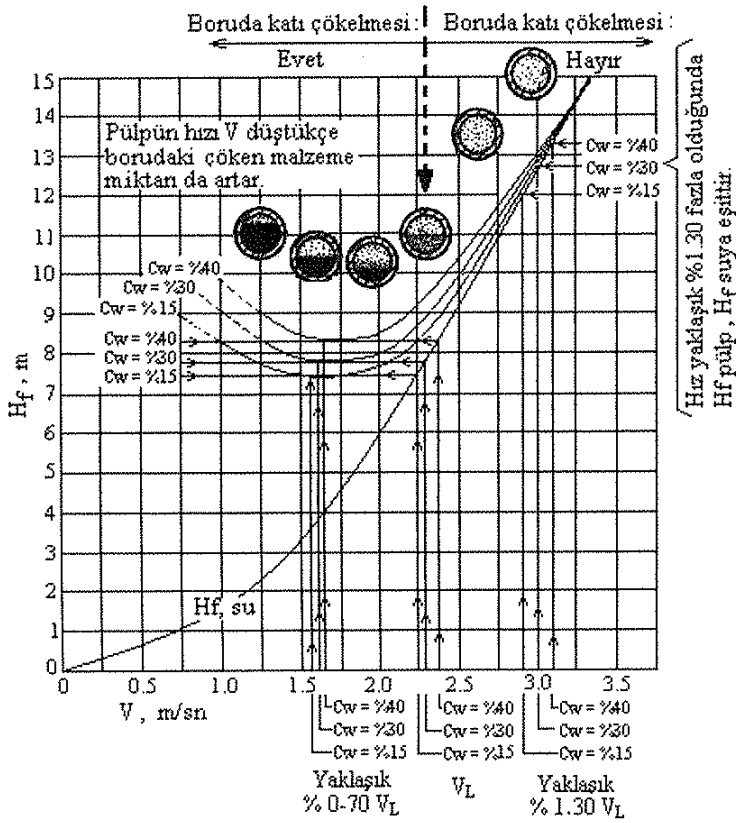
karışımlar, "D" grubu karışım olarak isimlendirilebilir [L30].

Karışımlarda yük kayıpları (veya sürtünme kayıpları) :

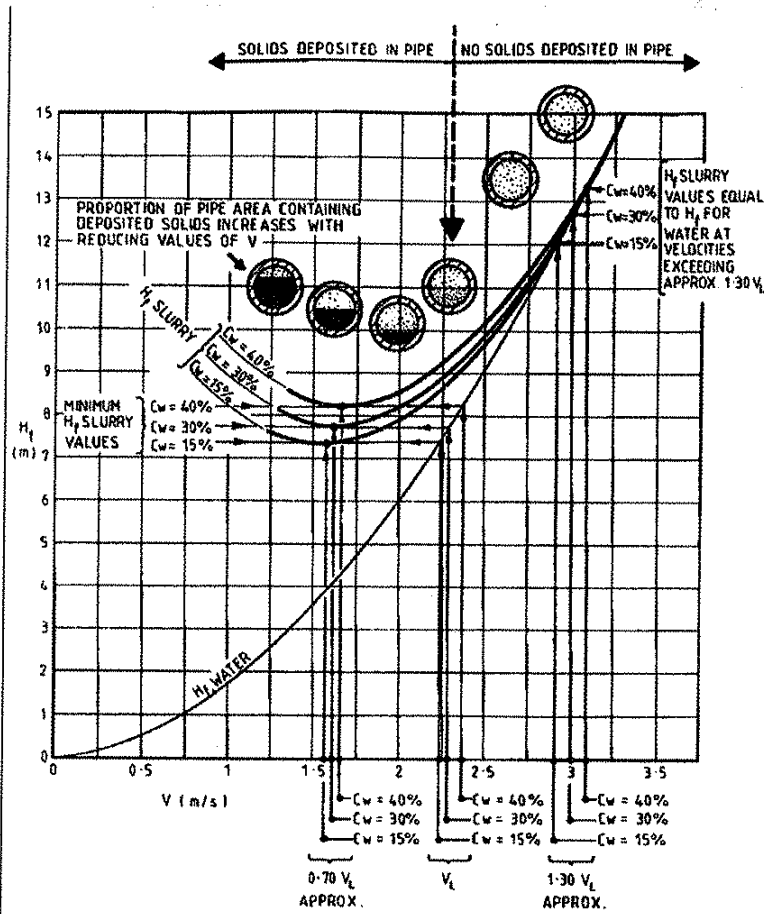
• "A" grubu karışımlarda;

Sekil 17 veya Sekil 18 deki diyagramdan $1,3 V_L$ 'nin altındaki hızlarda, her yoğunlukta ki karışımın basıldığı boru şebekesindeki H_f kayıplarının, değer olarak suyun basıldığı sında oluşan kayıplardan daha yüksek olduğu görülür. Ancak karışımın H_f değeri, boruda malzeme çökmesi olacaktır belirli bir değerden aşağı düşmemelidir.

Bu minimum değerde $0,70 V_L$ olup V_L hızında suyun basıldığı şebekedeki kaybın yaklaşık olarak karışım şebekesindeki kayba eşit olduğu değerdir. En uygun karışım hızı, V_L değerinden biraz daha yüksek değerdeki bir hızdır.



Sekil 17- "A" Grubu karışımlar için yük kayıpları [30]



Sekil 18- "A" Grubu karışımlar için sürtünme yük kaybı H_f eğrileri [L20]

Karışım (Famur veya Pülp)

Pompası ile ilgili

bir inceleme

- III -

James J. Hall

• "B" grubu karışımlarda ;

Sürtünme kayıpları "A" grubuna göre daha yüksektir. Bu gruptaki karışımların sürtünme kayıplarını belirlemek için basit bir eşitlik yoktur. Bu kayıplar için karışımın "A" grubu olduğu varsayılarak, F_L (sayfa:9) V_L değerlerinin düşüğü ve C_w değerinin %30 fazlası alınarak hesap yapılır. Bulunan H_f değeri genellikle iki kat olarak alınır. Böylece hesaplar da yapılabilecek yanlılık en alt seviyeye çekilmiş olacaktır. $S=4,67...5,3$ olan ve $150\mu m$ boyutunda toz içeren karışım ile yapılan testler; katı konsantrasyonunun C_v 'nin %10...25 arasında artması ile sürtünme kayıplarının azaldığını göstermiştir. Bu da katı konsantrasyonu olarak %40...%60 C_w değerlerine eşdeğerdir.

• "C" grubu karışımlarda ;

H_f değerinin ortalama proje hızına göre belirlenmesinde V_L ve F_L değerleri 1,4'den küçük alınmamalıdır.

• "D" grubu karışımlarda ;

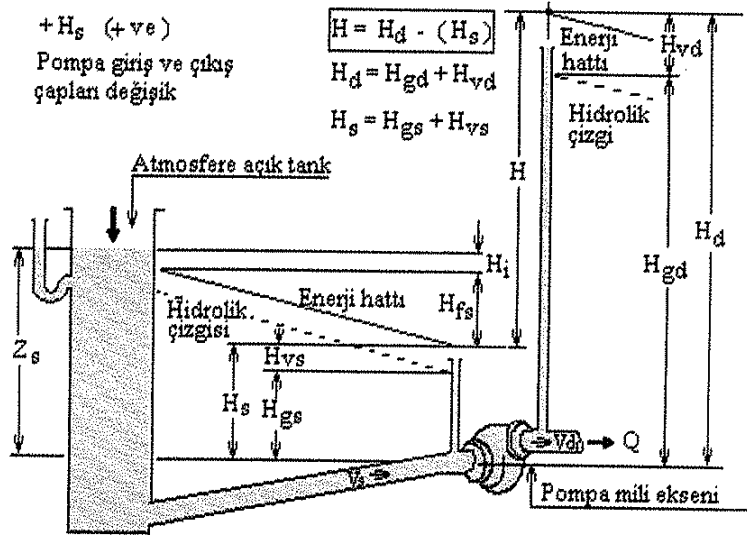
Bu karışımlarda kayıplar "A" grubu karışımlara göre yaklaşık 3 kat daha fazladır.

"A" grubu karışım ince öğütme

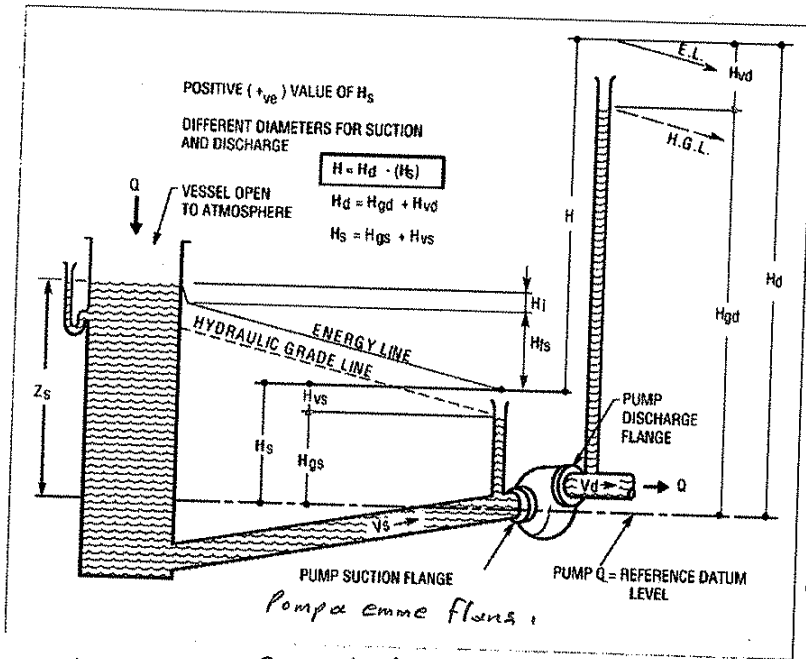
"B" ve "C" grubu karışımlar bilyalı,

"D" grubu akışkanlarda genellikle çubuklu değirmen çıkışına karşılık gelmektedir.

Tipik pompa tesisatları :

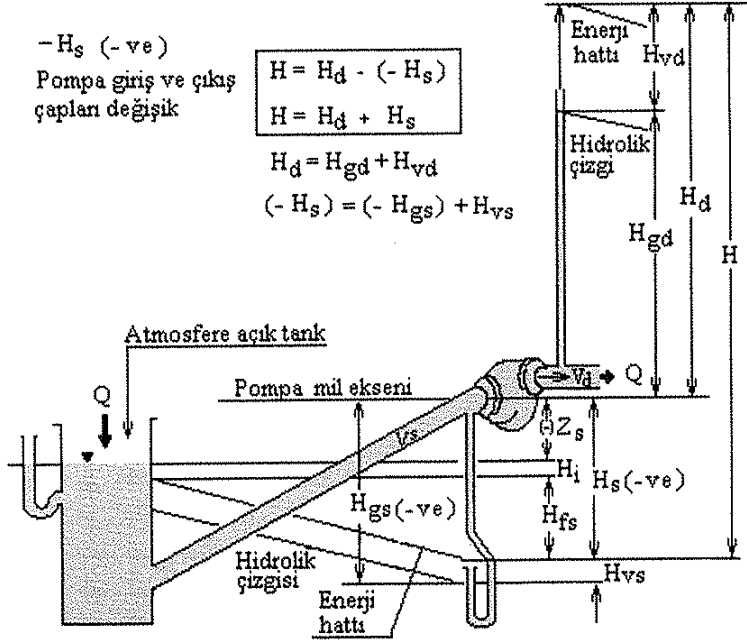


Sekil 19- Pozitif emişli sistem [L30]

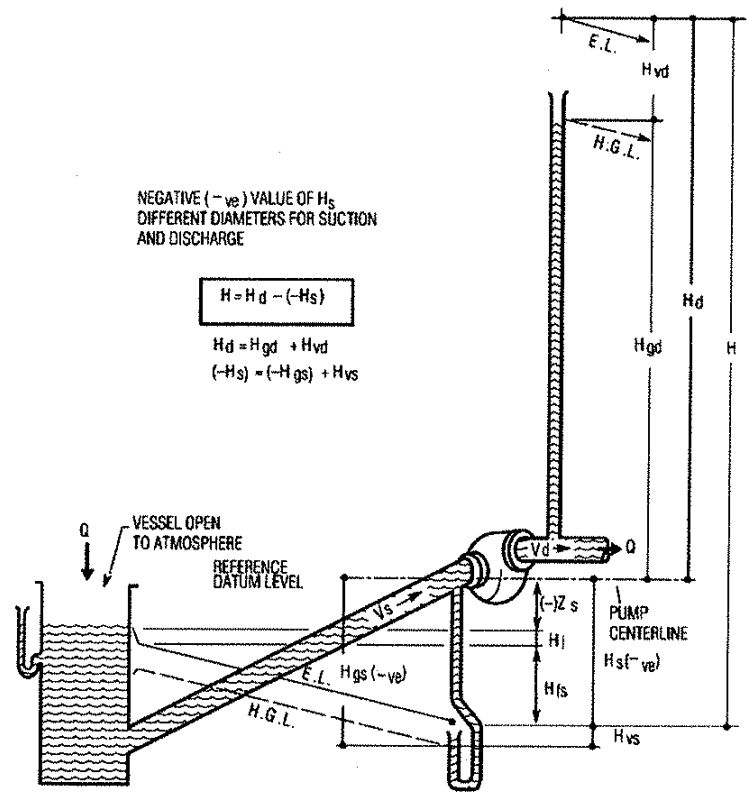


Sekil 20- Pozitif emişli sistemde toplam dinamik yükseklik [L20].

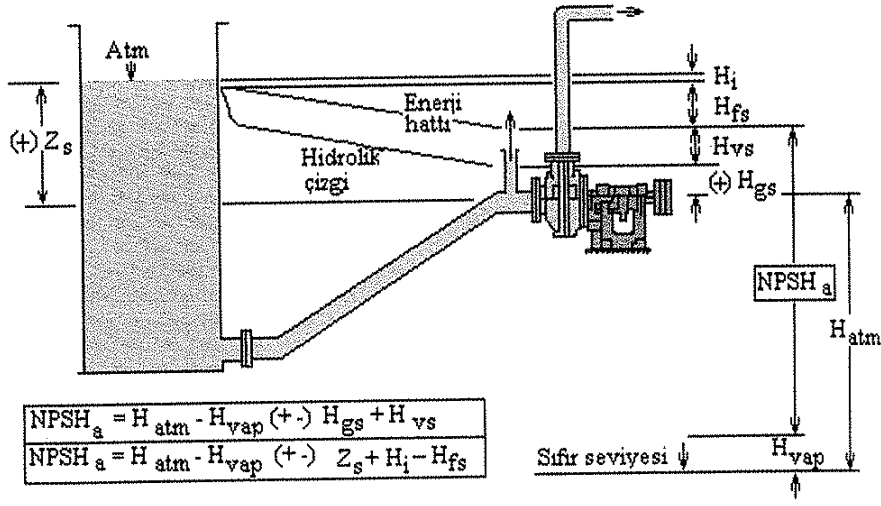
Not : Statik basınç ve yükseklik yüklerinin toplamını ifade eden eğriye $P/\rho g + Z$ hidrolik eğim eğrisi: HGL, Akışkanın toplam yükünü ifade eden eğriye, $P/\rho g + v^2/2g$ enerji eğim eğrisi: EL denir. [L27 sayfa: 193]



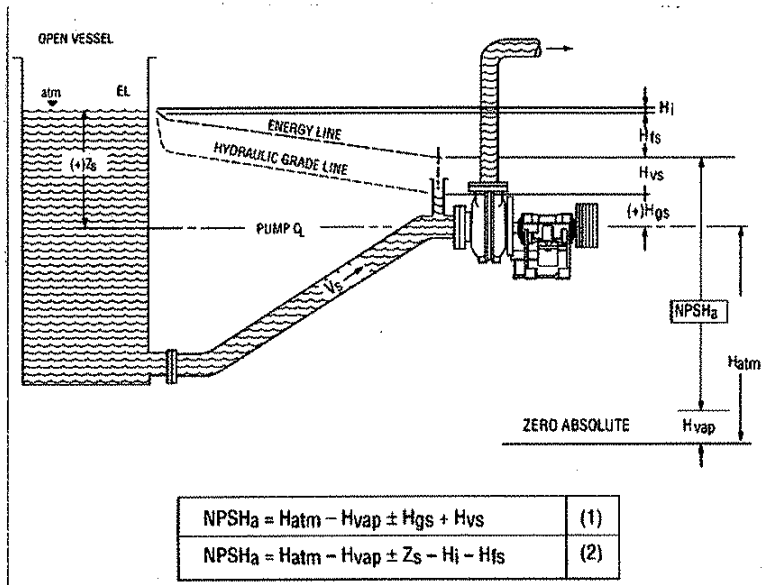
Şekil 21 - Negatif emişli sistem [L30]



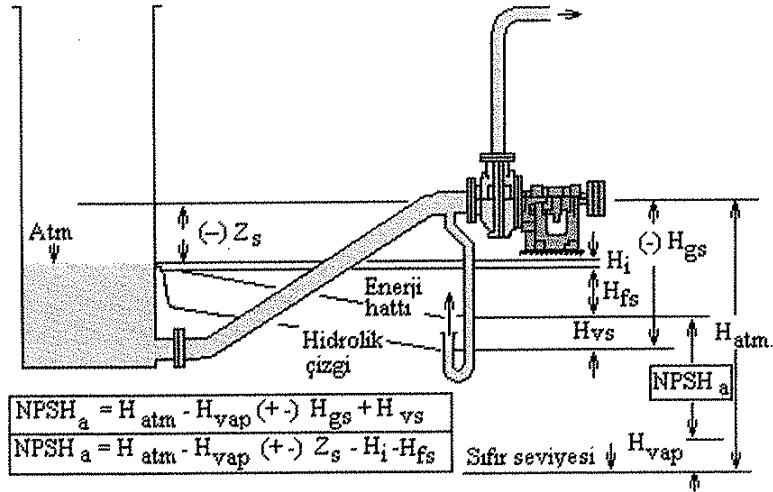
Şekil 22 - Negatif emişli sistemde
toplam dinamik yükseklik [L20]



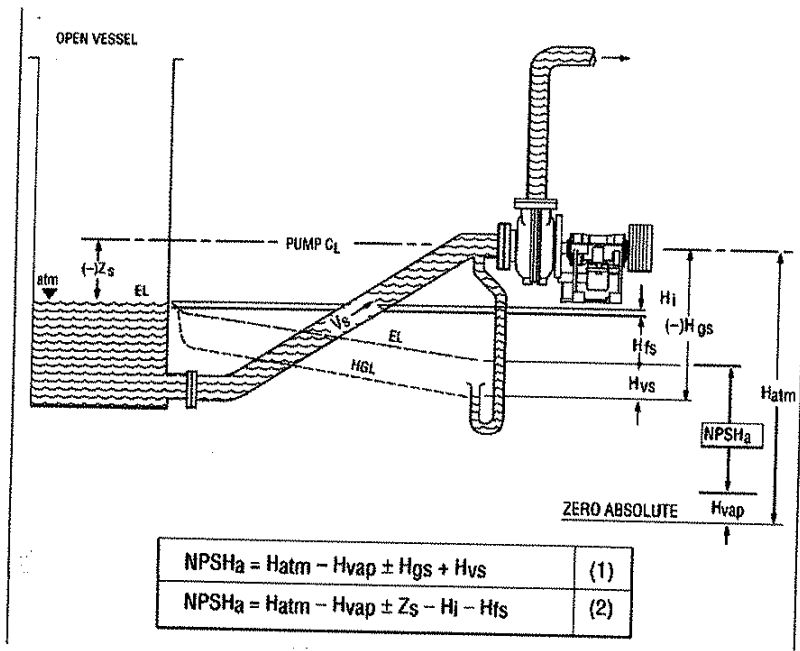
Sekil 23 - Pozitif emişli sistem için, emmedeki net pozitif yük (mevcut ve şekerli) $NPSH_a$ [L30]



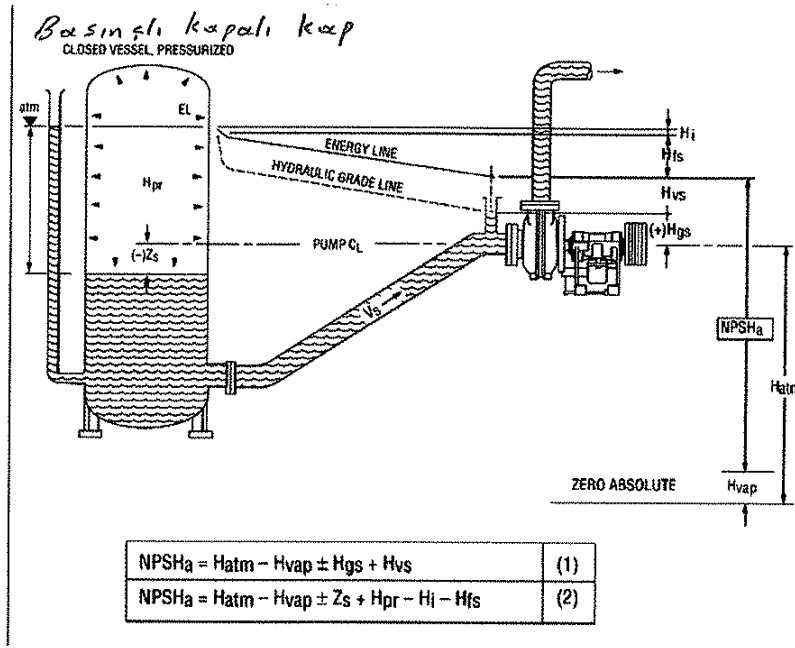
Sekil 24 - Pozitif emişli sistem için, emmedeki net pozitif yük (mevcut ve şekerli) $NPSH_a$ [L20]



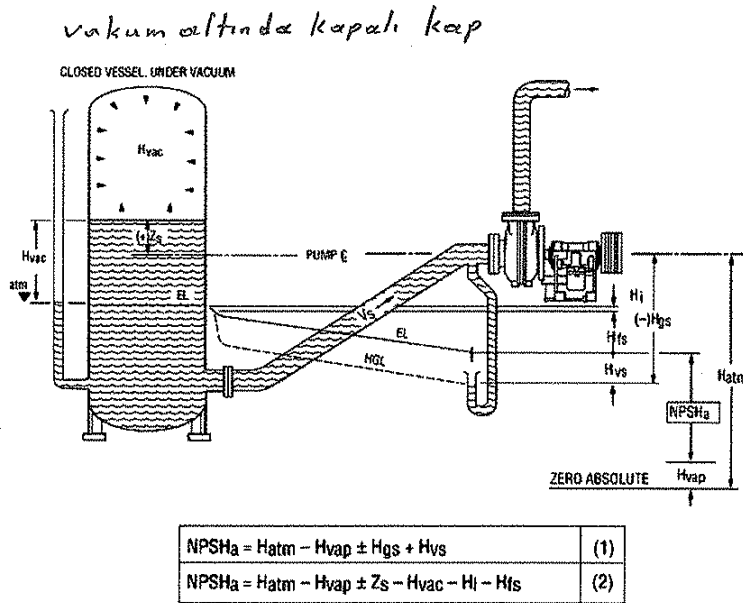
Şekil 25- Negatif emişli sistem için, emmedeki net pozitif yük (mercüt ve geçerli) $NPSH_a$ [L30]



Şekil 26- Negatif emişli sistem için, emmedeki net pozitif yük (mercüt ve geçerli) $NPSH_a$ [L20]



Sekil 27 - Basınçlı kapalı kap (kazan veya tank)'tan pompalamada $NPSH_a$ [L20].



Sekil 28 - Vakum altındaki kapalı kap'tan pompalamada $NPSH_a$ [L20]

Pompa tesisatlarında kullanılan semboller :

- H - Toplam dinamik yükseklik (Karışımın pompalama sisteminden istenen toplam dinamik yükseklik. [m karışım])
- H_d - Toplam, pompa basma yüksekliği (Pompa eksenine göre - genellikle pozitif) [m akışkan]
- H_s - Toplam, pompa emme yüksekliği (Pompa eksenine göre - pozitif veya negatif) [m akışkan]
- H_{pd} - Ölçülen, pompa basma yüksekliği (Pompa eksenine göre - atmosferik basıncın üstünde ise pozitif, altında ise negatif) [m akışkan]
- H_{vd} - Akışkanın pompa basma borusundaki hız yükü $(= V_d^2/2g)$ [m]
- H_{vs} - Akışkanın pompa emme borusundaki hız yükü $(= V_s^2/2g)$ [m]
- H_{ps} - Ölçülen, pompa emme yüksekliği (Pompa eksenine göre - atmosferik basıncın üstünde ise pozitif, altında ise negatif). [m akışkan]
- Z_s - Statik emme yüksekliği (Karışım besleme yüzeyi ile pompa eksenindeki düzey yüksekliği) [m]
- H_i - Giriş yük kaybı veya emme boru sistemine giriş yük kaybı [m akışkan]

H_{fs} - Emme borusunda sürtünme yük kaybı - 48.
[m akışkan]

H_{fd} - Basma borusunda sürtünme yük kaybı
[m akışkan]

E.L - Energy Line :: Enerji eğim çizgisi

H.G.L - Hydraulic Grade Line : Hidrolik eğim çizgisi

H_{atm} - Pompanın bulunduğu ortamdaki atmosferik basınç [m akışkan]

H_{vap} - Akışkanın pompalama sıcaklığındaki (Pompa ortam sıcaklığı) mutlak buharlaşma yükü (basıncı) [m akışkan]

H_{vac} - Gösterge vakum yükü (Kapalı pompa besleme kabı içinde, karışım yüzeyi üzerinde tutulmuş par veya buharın gösterge vakum yükü - atmosferik basıncın altında) [m akışkan]

H_{pr} - Gösterge basınç yükü (Kapalı pompa besleme kabı içinde, karışım yüzeyi üzerinde tutulmuş par veya buharın gösterge basınç yükü - atmosferik basıncın üstünde) [m akışkan]

$NPSH_a$ - Pompa girişindeki kullanılabilir (mevcut) net pozitif emme yükü (Emmedeki mevcut net pozitif yük) [m akışkan]

$NPSH_r$ - Pompa girişindeki gerekli net pozitif emme yükü (Emmedeki gerekli net pozitif yük) [m akışkan]

L - Toplam eşdeğer boru uzunluğu [m]

$$L = L_a + L_f$$

L_a - Toplam gerçek boru uzunluğu [m]

L_f - Vanalar, dirsekler ve boru bağlantı elemanlarına karşılık gelen toplam boru uzunluğu [m]

L_s - Emme borusu için L [m]

$$L_s = L_{as} + L_{fs}$$

L_{as} - Emme borusu için L_a [m]

L_{fs} - Emme borusu için L_f [m]

L_d - Basma borusu için L [m]

$$L_d = L_{ad} + L_{fd}$$

L_{ad} - Basma borusu için L_a [m]

L_{fd} - Basma borusu için L_f [m]

M - Karışımdaki (Pulp veya çamur) kuru katının kütle debisi [t/h]

M_m - Karışımın kütle debisi [t/h]

M_w - Karışımdaki sıvının kütle debisi [t/h]

n - Pompa devir sayısı [d/d]

N_R - Reynolds sayısı

P - Pompa mil gücü [kW]

P_r - Basınç, genel sembol [kPa, MPa]

Q - Borudaki karışım debisi [L/s veya m³/h]

S - Kuru katının özgül yoğunluğu = ρ/ρ_w

ρ - Katının yoğunluğu [kg/m³, t/m³]

ρ_w - Sıvının yoğunluğu, ekseriya suyun [kg/m³]

S_w - Sıvının özgül yoğunluğu, yoğunlukla $20^\circ C$ de su için $S_w = 1$ dir.

S_m - Karışımın özgül yoğunluğu = ρ_m / ρ_w

ρ_m - (Kati - sıvı) karışımının veya eşdeğer (karşılık gelen) akışkanın yoğunluğu [kg/m^3]

T - Su sıcaklığı [$^\circ C$]

V - Karışımın borudaki ortalama hızı [m/s]

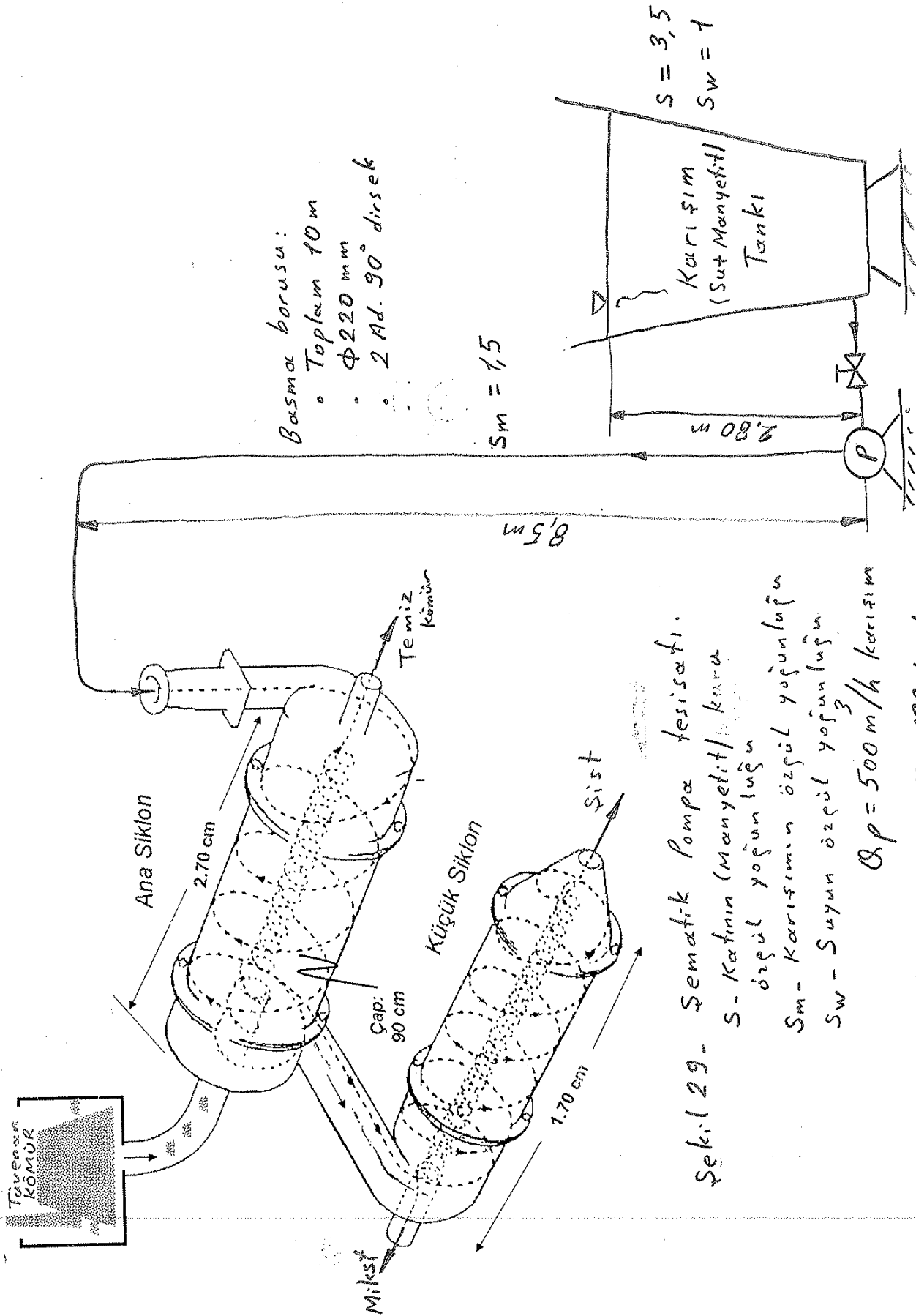
V_d - Pompa basma borusundaki V [m/s]

V_L - Boruda, katının min. sökme hızı (Duran'd's formülü) [m/s]

V_s - Pompa emme borusundaki V [m/s]

Bu bilgilerden sonra "Uygulamalı bir ÖRNEK" verelim:

Hacimsel debisi $Q = 500 m^3/h$ olan bir karışımın (su + manyetit) $8,5 m$ geometrik yükseklikteki siklonae basılabilmesi için, Şekil 29 da tesisat şeması verilen pompanın hesabı (ana karakteristik büyüklüklerin belirlenmesi) istenmektedir.



Basma borusu:
 • Toplam 10 m
 • $\Phi 220$ mm
 • 2 Ad. 90° dirsek

Sm = 15

S = 3,5
 Sw = 1

Emme borusu:
 • Toplam 1,20 m
 • $\Phi 260$ mm
 • 7 Ad. Kelebek vana

Şekil 29- Sematik Pompa tesisatı.

- S - Katının (Manyetif) kara özgül yoğunluğu
 - Sm - Karışımın özgül yoğunluğu
 - Sw - Suyun özgül yoğunluğu
- $Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ karışım

Not. Ayrıntılı bilgiler Sayfa 131..138 de dir.

a) Ağır mayi (= karışım = su + manyetit) içindeki manyetit ve suyun hacimsel ve kütle debileri;

Verilenler:

- Ağır mayi hacimsel debisi,
 $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ağır mayi özgül yoğunluğu (istenen),
 $S_m = 1,5$
- Manyetitin özgül yoğunluğu,
 $S = 3,5$
- Suyun özgül yoğunluğu,
 $S_w = 1$

olduğuna göre,

$$Q = Q_{su} + Q_{manyetit}$$

Q_{su} - Ağır mayi içindeki suyun hacimsel debisi

$Q_{manyetit}$ - Ağır mayi içindeki manyetitin hacimsel debisi.

Diğer taraftan, ağır mayi'nin kütle debisi:

$$M_m - M_m = M_w + M$$

şeklinde yazılabilir

M_w - Ağır mayi içindeki suyun kütle debisi

M - Ağır mayi içindeki manyetitin kütle debisi.

Ağır mayi'nin özgül yoğunluğu S_m ,

$$S_m = \frac{M_m}{Q}$$

olduğuna göre,

$$S_m = \frac{M_m}{Q} = \frac{M_w + M}{Q} = \frac{Q_{su} \cdot S_w + Q_{manjetit} \cdot S}{Q}$$

$$Q = Q_{su} + Q_{manjetit}$$

$$500 \text{ m}^3/\text{h} = Q_{su} + Q_{manjetit}$$

$$Q_{manjetit} = (500 - Q_{su}) \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1,5 = \frac{Q_{su} \cdot 1 + (500 - Q_{su}) \cdot 3,5}{500}$$

$$750 = Q_{su} + 1750 - 3,5 \cdot Q_{su}$$

$$\| \underline{Q_{su} = 400 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$Q_{manjetit} = 500 - 400$$

$$\| \underline{Q_{manjetit} = 100 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$M_w = 400 \cdot 1 \rightarrow \| \underline{M_w = 400 \text{ t/h}}$$

$$M = 100 \cdot 3,5 \rightarrow \| \underline{M = 350 \text{ t/h}}$$

$$M_m = M_w + M = 400 + 350$$

$$\| \underline{M_m = 750 \text{ t/h}}$$

Yeni pompa lansecek aqin maxii

$$Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$$

veya

$$M_m = 750 \text{ t/h}$$

dir.

b) Aşır mayi deki kati oranları,

• Aşır mayi deki aşırılık α kati oranı,

$$C_w = \frac{M}{M_m} = \frac{350}{750}$$

$$\| C_w \approx \% 47$$

• Aşır mayi deki hacimce kati oranı,

$$C_v = \frac{Q_{mantelit}}{Q} = \frac{100}{500}$$

$$\| C_v = \% 20$$

veya, Tablo 1 den faydalanarak,

$$C_w = s (S_m - S_w) / [S_m (s - S_w)]$$

$$C_w = \frac{3,5 (1,5 - 1)}{1,5 (3,5 - 1)}$$

$$\| C_w \approx \% 47$$

$$C_v = (S_m - S_w) / (s - S_w)$$

$$C_v = \frac{(1,5 - 1)}{(3,5 - 1)}$$

$$\| C_v = \% 20$$

Kontrol :

$$S_m = \frac{100 - C_v}{100 - C_w} \quad (\text{Tablo 2/})$$

$$S_m = \frac{100 - 20}{100 - 47}$$

$$\| \underline{S_m = 1,5} \quad (S_m = 1,5 \text{ aynı değer})$$

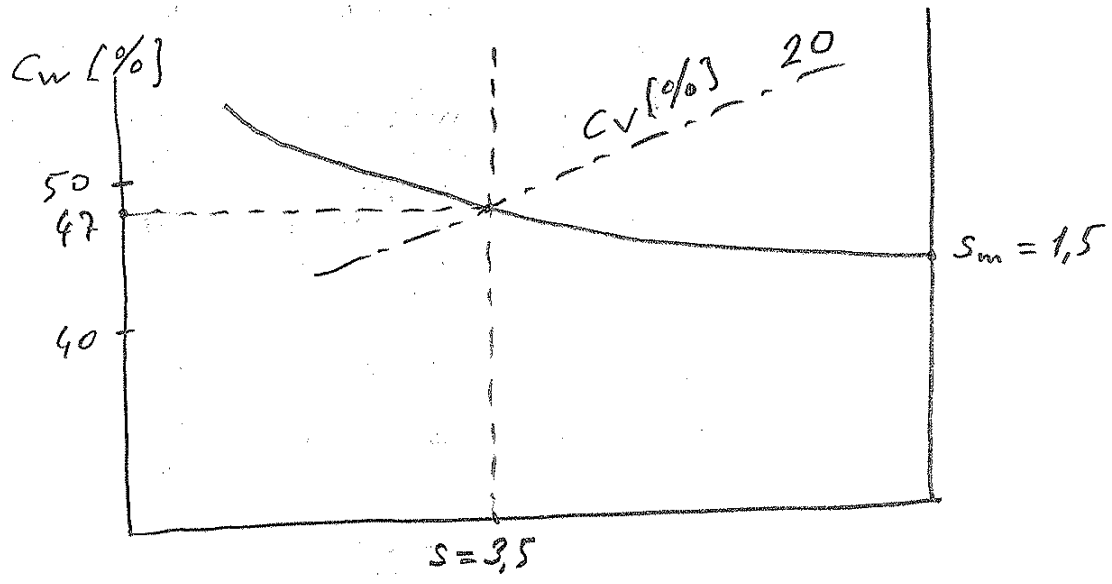
veya,

$$\frac{C_w}{C_v} = \frac{S}{S_m} \quad (\text{Eşitlik 1/})$$

$$\frac{C_w}{C_v} = \frac{47}{20} = 2,35 \quad \left. \vphantom{\frac{C_w}{C_v}} \right\} (\text{Aynı değer})$$

$$\frac{S}{S_m} = \frac{3,5}{1,5} = 2,34$$

Şekil 1 den de faydalanmak mümkündür,



$$\left. \begin{array}{l} S = 3,5 \\ S_m = 1,5 \end{array} \right\} \left\| \begin{array}{l} C_w = \%47 \\ C_v = \%20 \end{array} \right\} \text{ Aynı değerler okunur.}$$

$$Q = Q_{su} + Q_{m\ddot{a}nyet\ddot{ı}t}$$

- 56 -

$$Q = Q_{top. esde\ddot{g}er su} = Q_{su} + Q_{m\ddot{a}nyet\ddot{ı}t esde\ddot{g}er su}$$

$$Q = Q_{top. esde\ddot{g}er su} = 400 m^3/h + 100 m^3/h$$

$$\| Q = Q_{top. esde\ddot{g}er su} = 500 m^3/h$$

hacimsel olarak yazılabilir.

Basma borusu \ddot{c}apının belirlenmesi :

ilk yaklaşımda (başlangıç değeri olarak boru
i\ddot{c}apını,

$$D = \phi 220 \text{ mm}$$

olarak seçelim.

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$\frac{500}{3600} \frac{m^3}{s} = \frac{\pi}{4} (0,220 \text{ m})^2 \cdot V_{\ddot{a}p\ddot{ı}r \text{ h\ddot{a}zı}}$$

$$\| V_{\ddot{a}p\ddot{ı}r \text{ h\ddot{a}zı}} = 3,65 \text{ m/s}$$

Minimum \ddot{c}ökme hızı,

$$V_L = F_L \sqrt{2 \cdot f \cdot D (S - S_w) / S_w} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$d_{50} = 80 \mu\text{m}$ ayırma boyutu (m\ddot{a}nyet\ddot{ı}tin ortalama
tane büyüklüğü) olarak verilmiş

Minimum \ddot{c}ökme hızı katsayısı F_L ;

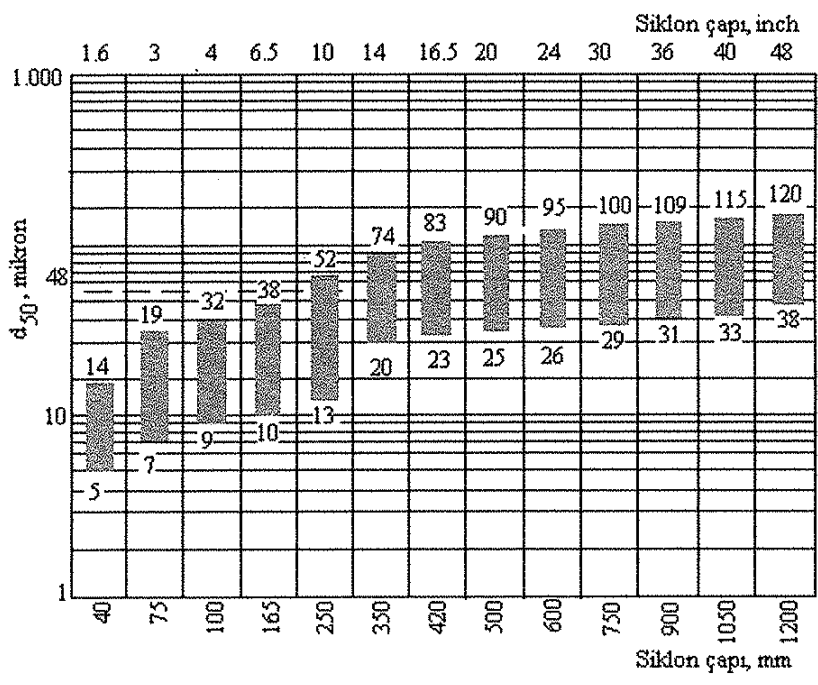
$$\left. \begin{array}{l} d_{50} = 80 \mu\text{m} \\ C_v = \%20 \end{array} \right\} \| F_L = 0,9 \quad (\text{\ddot{c}ekil 3 veya 5})$$

$$V_L = 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,220 (3,5-1) / 1}$$

$$\| \underline{V_L = 2,95 \text{ m/s}}$$

$\| \underline{V_{\text{ajir max}} (= 3,65 \text{ m/s}) > V_L (= 2,95 \text{ m/s})}$ uygundur.

Bir bilgi verelim, üretici firmaların kullanılması gereken siklon çapı ve d50 için profiller hazırlanmıştır. "Metso Minerals" 'a ait siklon çapının belirlenmesi Şekil 30 da gösterilmiştir.



Şekil 30 - Siklon çapının belirlenmesi [L30]
 Örnek: $d_{50} = 48 \mu\text{m}$ olması durumunda,
 $48 \mu\text{m}$ den fazla olan yataç dozunun kestiği sesilmesi gerekli siklon çapı 10 inç yada 250mm olarak belirlenir.

Borulardaki sürtünme kayıpları :

$$h_k = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{ort.}^2}{2 \cdot f} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

denklemini kullanabiliriz.

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{Vort. \cdot D}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$Re = \frac{3,65 \text{ m/s} \cdot 0,220 \text{ m}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\| Re \approx 8 \cdot 10^5$$

Ticari çelik boru malzemesi için pürüzlülük

$$\epsilon = 0,045 \text{ mm} \quad (\text{Şekil 12})$$

alınırsa Darcy sürtünme faktörü,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \quad (\text{Eşitlik 6})$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1,8 \log \left[\frac{6,9}{8 \cdot 10^5} + \left(\frac{0,045/220}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx 8,2112$$

$$\| f = 0,0148$$

veya fak basit olarak,

$$\left. \begin{aligned} Re &= 8 \cdot 10^5 \\ \epsilon/D &= 0,045/220 = 0,0002 \end{aligned} \right\} \| f = 0,0148 \quad (\text{Şekil 13})$$

okunabilir.

Şekil 10, 11, 12 ve 13 deki deney örnekleri, "A" prubu karışım ve temiz su için geçerlidir yani;

"A" prubu karışımları;

Malzeme tane büyüklüğü : 50... 300 µm

Karışımındaki, ağırlıkça katı oranı C_w : % 0... 40

"B" prubu karışımları;

Malzeme tane büyüklüğü : 50...300 μ m -59-

Karışımındaki ağırlıklı katı oranı C_w : $> \%40$
olduğuna göre kullandığımız ağır mayi (karışım
veya Pulp) "B" grubuna sirmektedir çünkü,

$$d_{50} = 80 \mu\text{m} \quad (50 \dots 300 \mu\text{m})$$

$$C_w = \%47 \quad (> \%40)$$

tar. Hesaplarımızı "A" grubuna göre yapıp, h_k
değerinin iki katını ve C_w değerinin $\%30$ fazlasını
alırsak, hesaplardaki yanlışlık en alt seviyeye
çekilmiş olur (Sayfa: 41)

• Basma borusundaki kayıplar;

Toplam gerçek basma borusu uzunluğu : $L_{od} = 10 \text{ m}$

Basma borusu iç çapı : $D_d = \phi 220 \text{ mm}$.

Basma borusunda 2 adet 90° lik geniş dirsek
bulunmaktadır. 90° lik geniş dirsek için eşdeğer
boru uzunluğu,

$$\begin{array}{l} \phi 200 \text{ mm} \rightarrow 4,30 \text{ m} \\ \phi 250 \text{ mm} \rightarrow 5,20 \text{ m} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \phi 200 \text{ mm} \\ \phi 250 \text{ mm} \end{array}} \right\} \text{ (Tablo 4)}$$

$\phi 220 \text{ mm}$ için $\sim 4,75 \text{ m}$ alınırsa,

Boru bağlantı elemanlarına karşılık gelen toplam
boru uzunluğu,

$$L_{fd} = 2 \cdot 4,75 \text{ m}$$

$$\| \underline{L_{fd} = 9,5 \text{ m}}$$

Toplam eşdeğer boru uzunluğu (basma borusu için),

$$L_d = L_{od} + L_{fd} = (10 + 9,5) \text{ m}$$

$$\| \underline{L_d = 19,5 \text{ m}}$$

$$h_{kb} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{ort}^2}{2 \cdot f} = 0,0148 \cdot \frac{19,5}{0,220} \cdot \frac{(3,65)^2}{2 \cdot 9,81}$$

- 60 -

$$\| \underline{h_{kb} \approx 0,9 \text{ m}}$$

Küçük basınç yüksekliklerinde depoya giriş kaybında hesaba katılmalıdır.

$$h_{kbsiklon \text{ giriş}} = \frac{V^2}{2 \cdot f} \quad (\text{Tablo 61})$$

$$h_{kbsiklon \text{ giriş}} = \frac{(3,65)^2}{2 \cdot f}$$

$$\| \underline{h_{kbs.f.} \approx 0,68 \text{ m.}}$$

Basınç borusundaki toplam kayıp,

$$h_{kb \text{ top.}} = h_{kb} + h_{kbs.f.} = 0,9 + 0,68$$

$$\| \underline{h_{kb \text{ top.}} = 1,58 \text{ m.}}$$

• Emme borusundaki kayıplar,

Toplam gerçek emme borusu uzunluğu : $L_{as} = 1,20 \text{ m.}$

Emme borusu iç çapı : $D_s = \phi 260 \text{ mm}$

Emme borusunda 1 Ad. kelebek vanası bulunmakta-
dır.

Emme borusundaki akışkan hızı,

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot V \rightarrow \frac{500}{3600} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,260)^2 \cdot V_{emme}$$

$$\| \underline{V_{emme} = 2,616 \text{ m/s}}$$

Kelebek vanaya karşılık gelen boru uzunluğu, - 61-

$\phi 250 \text{ mm} \rightarrow 21 \text{ m}$ (Diyaframlı vanas) } (Tablo 4)
 $\phi 250 \text{ mm} \rightarrow 10,70 \text{ m}$ (Tam ağık vana)

Ortalama değer olarak,

$$\| \underline{L_{fs} = 15 \text{ m}}$$

alınırsa,

Toplam eşdeğer boru uzunluğu (Emme borusu için),

$$L_s = L_{as} + L_{fs} = (1,20 + 15) \text{ m}$$

$$\| \underline{L_s = 16,2 \text{ m}}$$

$$h_{ke} = f \cdot \frac{L}{D} \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0148 \cdot \frac{16,2}{0,260} \cdot \frac{(2,616)^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\| \underline{h_{ke} = 0,32 \text{ m}}$$

Sürtünme faktörü f , emme ve basma borularında aynı alınmıştır.

Karışım tankından sıkiş kaybı,

$$h_{ke \text{ karışım tankı sıkiş}} = 0,5 \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Sayfa: 32})$$

$$h_{ke \text{ kar. tan. sık.}} = 0,5 \frac{(2,616)^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\| \underline{h_{ke \text{ kar. t. sık.}} = 0,174 \text{ m}}$$

Emme borusundaki toplam kayıp

$$h_{ke \text{ top.}} = 0,32 + 0,174$$

$$\| \underline{h_{ke \text{ top.}} = 0,494 \text{ m}}$$

Karışım (Famur veya Pülp)

Pompa ile ilgili

bir inceleme

-IV-

Karim Khan

Borulardaki toplam sürtünme kayıpları, - 62-

$$h_{k\text{top.}} = h_{kb\text{top.}} + h_{ke\text{top.}} = (1,58 + 0,494) \text{ m}$$

$$\| \underline{h_{k\text{top.}} \approx 2,1 \text{ m}}$$

Şekil 29 gör önüne alınarak, pompanın manometrik basma yüksekliği,

$$H_m = H_g + \sum (h_{kb} + h_{ke}) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

H_g - Geometrik yükseklik

$$H_g = (8,5 - 2,80) \text{ m}$$

$$\| \underline{H_g = 5,7 \text{ m}}$$

$$(h_{k\text{top.}})_{A\text{prubu}} = 2,1 \text{ m}$$

$$(h_{k\text{top.}})_{B\text{prubu}} = 2 \cdot 2,1 \quad (\text{Sayfa: 53})$$

$$\| \underline{(h_{k\text{top.}})_{B\text{prubu}} = 4,2 \text{ m}}$$

$$(H_m)_{B\text{prubu}} = 5,7 + 4,2$$

$$\| \underline{(H_m)_{B\text{prubu}} \approx 10 \text{ m}}$$

Ağır mayi deki: ağırlık α katı oranı,

$$C_w = \%47 \quad (\text{Sayfa: 59})$$

olarak hesaplamıştık

"B" grubu karışım için C_w değerinin $\%30$ farkasını almamız (Sayfa: 59)

$$(C_w)_{\text{"B" grubu}} = \% (1,3 \cdot 47)$$

$$\parallel (C_w)_{\text{"B" grubu}} = \% 61$$

$$Q = Q_{\text{top. eşdeğer su}} = 500 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Sayfa: 56})$$

Yükseklik oranı,

$$HR = \frac{H_{m \text{ karışım}}}{H_{m \text{ su}}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Verimlilik oranı,

$$ER = \frac{\eta_{\text{karışım}}}{\eta_{\text{su}}} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$\left. \begin{array}{l} d_{50} = 80 \mu\text{m} = 0,080 \text{ mm} \\ C_w = \%61 \\ s = 3,5 \end{array} \right\} \parallel \underline{HR = ER = 0,84} \quad (\text{Şekil 14})$$

$$0,84 = \frac{10 \text{ m}}{H_{m \text{ eş. su}}}$$

$$\| \underline{H_{m\text{eş.su}} = 12 \text{ m}}$$

Su halinde, suyu 12 m ye basabilen püsteki bir pompa, $s_m = 1,5$ özgül yoğunluğundaki ağır maci yide 10 m ye ($= H_{m\text{ağır maci}}$) basabilecektir.

Pompa seçimi :

$$Q_{eş.su} = 500 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{500 \cdot 1000}{3600}$$

$$Q_{eş.su} \approx 139 \text{ L/s}$$

$$H_{m\text{eş.su}} = 12 \text{ m}$$

WARMAN POMPA (Şekil 31)
Tip: 8/6 E-AH

Seçilen pompa da ;

8" : Pompa, emiş ağız çapı veya emme (piriç) borusu iç çapı

6" : Pompa, çıkış ağız çapı veya basma (çıkış) borusu iç çapı

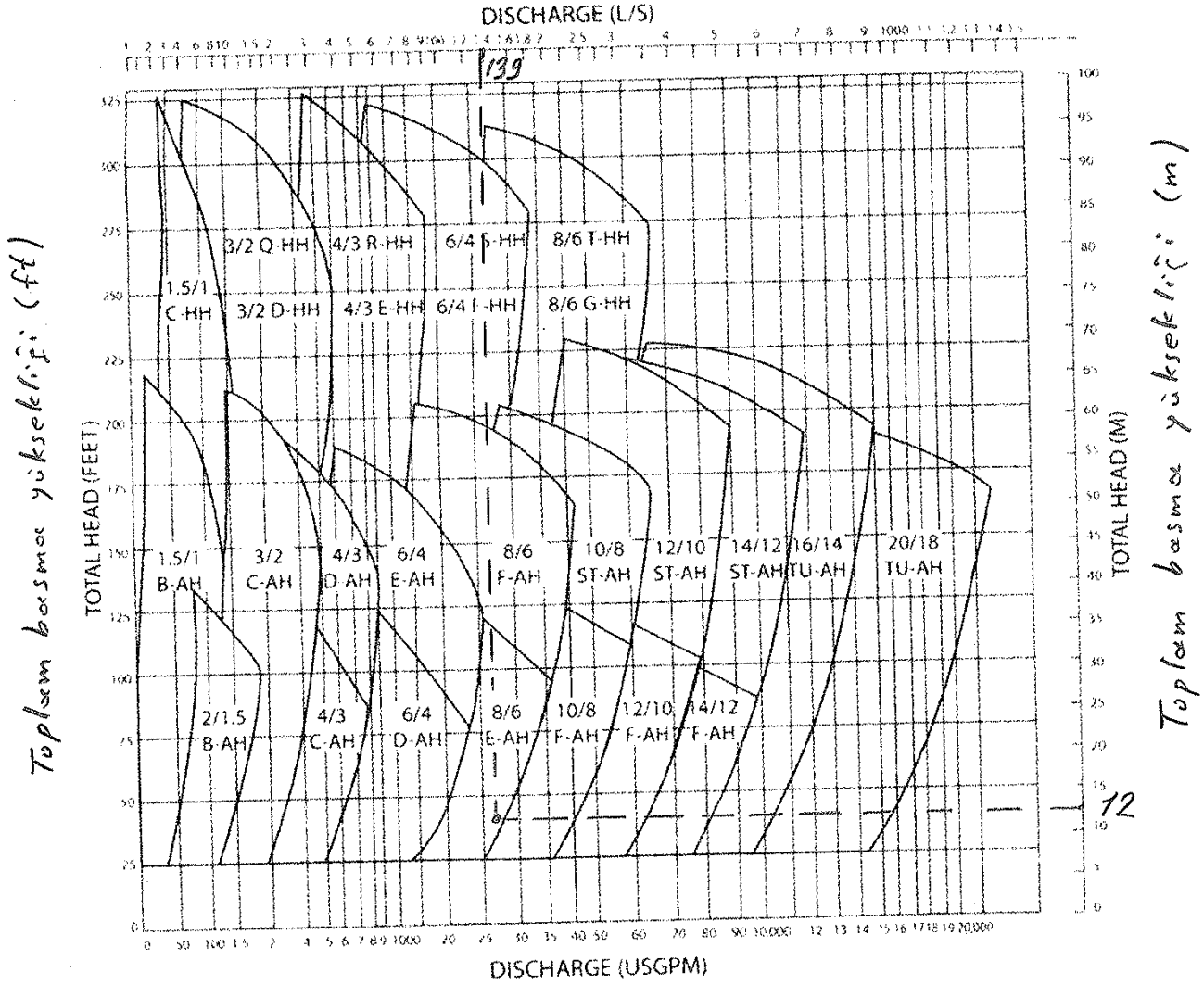
E : Konstrüksiyon özelliği

AH : Çok yüksek performanslı (ağır hizmet tipi) çamur pompası

Pompa mil gücü hesabı :

$$W_{\text{mil}} = \frac{\rho \cdot f \cdot \dot{V} \cdot H}{\eta_{\text{pompa}}} \cdot (10^{-3} \text{ kW/W}) \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Debi (L/s)



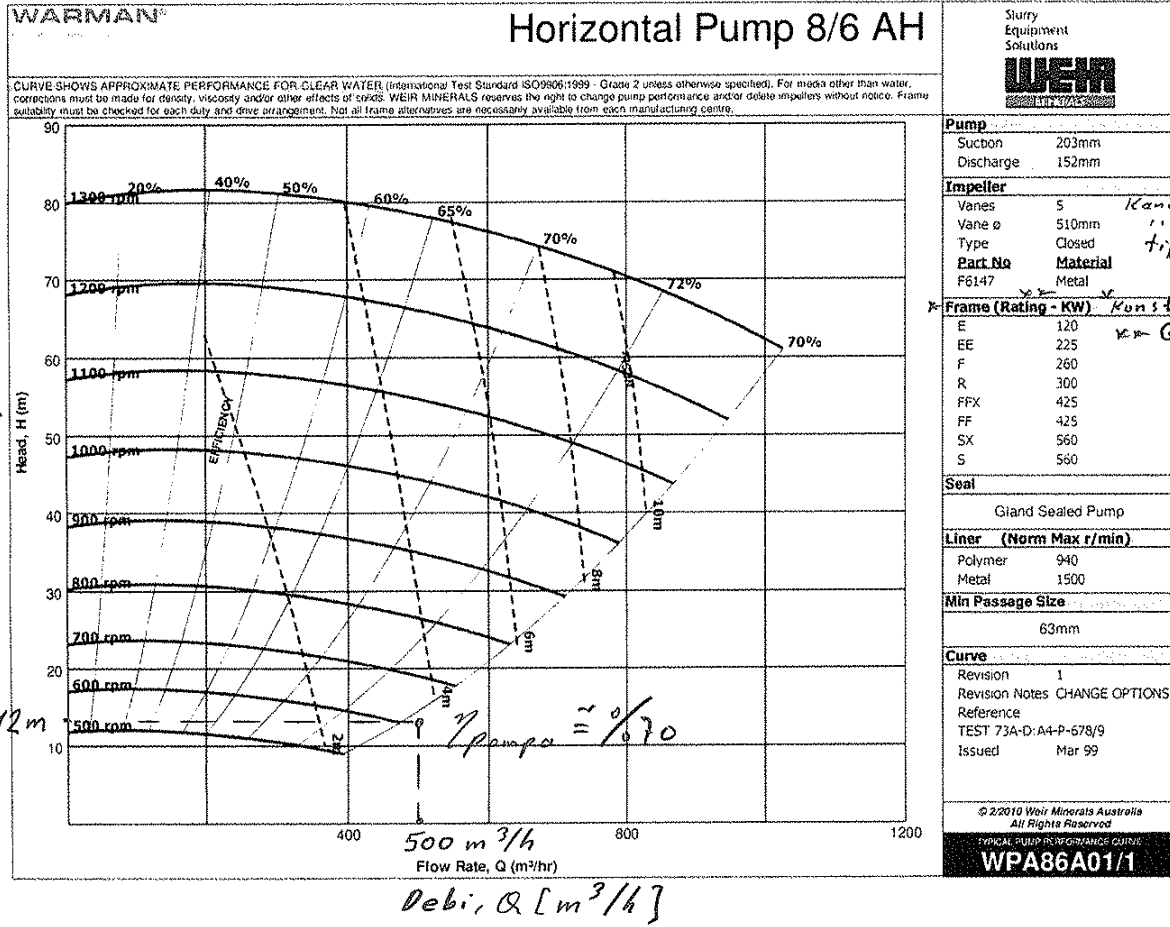
Debi (U.S. Galon/dakika)

Şekil 31 - Tipik WARMAN fanur pompaları için ön seçim tablosu [L20].

η_{pompa} - Pompa verimi:

$$\left. \begin{aligned} Q_{eş.su} &= 500 \text{ m}^3/\text{h} \approx 139 \text{ L/s} \\ H_{mes.su} &= 12 \text{ m} \end{aligned} \right\} \eta_{pompa} \approx 0,70 \text{ (Şekil 32, 33)}$$

$$W_{mil} = \frac{(1500 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot \left(\frac{500}{3600} \text{ m}^3/\text{s}\right) \cdot (12 \text{ m})}{0,70} \cdot 10^{-3}$$



Şekil 32- WARMAN, Yatay pompa 8/6 AH tipi için karakteristik eğriler [L26].
(Temiz su için geçerlidir)

$\dot{W}_{mil} = 35 \text{ kW}$

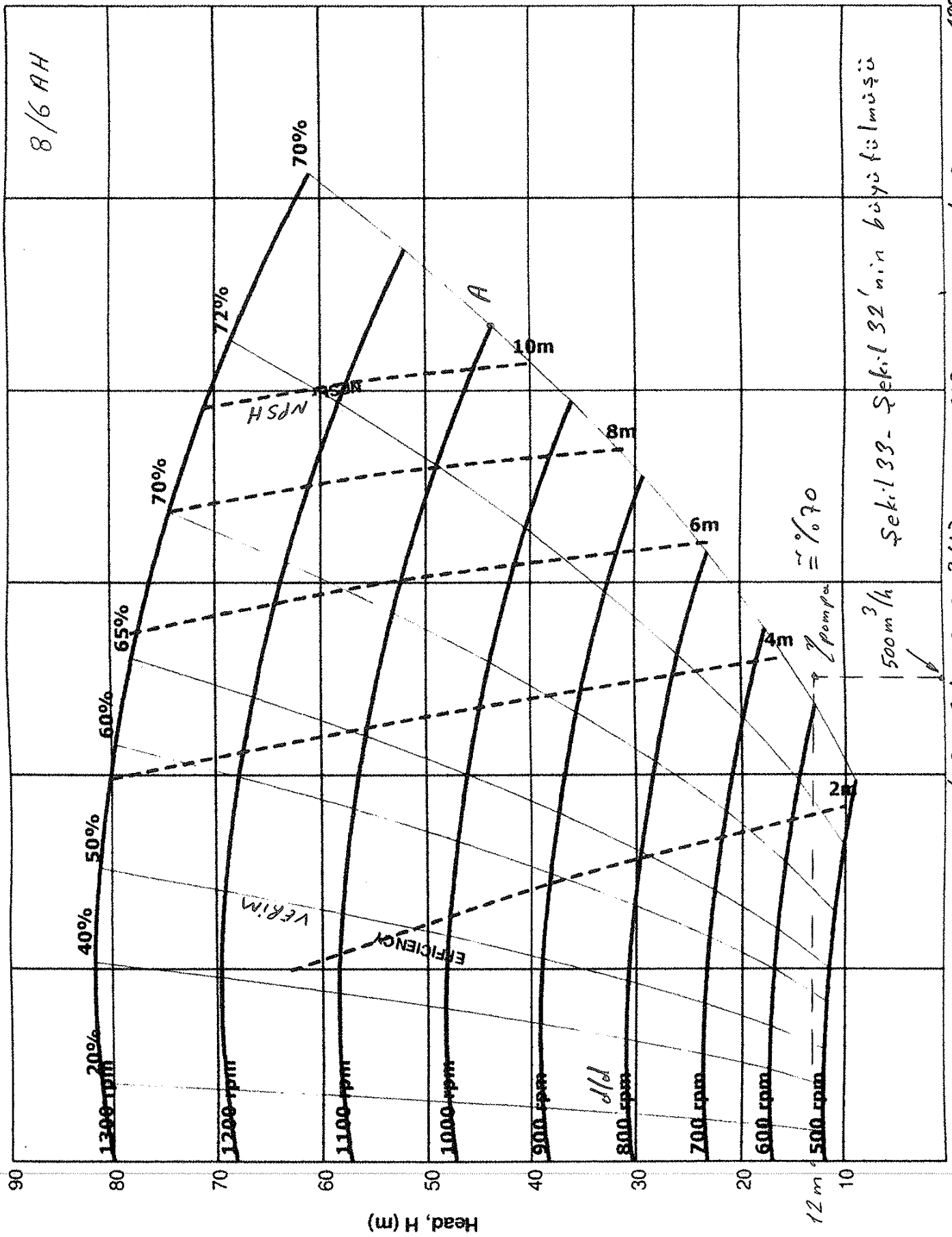
Pompa motor gücü :

$\dot{W}_{mil} = \frac{10 \text{ m}}{0,70 \cdot 0,84}$ veya $\dot{W}_{mil} = \frac{12 \text{ m}}{0,70}$

$\dot{W}_{motor} \approx 1,1 \cdot \dot{W}_{ef}$ (Sayfa 38)

$\dot{W}_{motor} = 1,1 \cdot 35 = 38,5 \text{ kW}$

$\dot{W}_{motor} = 45 \text{ kW}$ standart motor seçilebilir
(Standart motor güçleri : --- 18,5 - 22 - 30 - 37 - 45 - 55 ... kW)



8/6 AH

VERİM

NPSH

A

10m

8m

6m

4m

2m

12m

10

500 rpm

600 rpm

700 rpm

800 rpm

900 rpm

1000 rpm

1100 rpm

1200 rpm

1300 rpm

20%

40%

50%

60%

65%

70%

72%

70%

500 m³/h

400 Debi, Q [m³/h]

η_{pompa} ≈ 70%

Şekil 33- Şekil 32'nin büyülmüşü

Basmae yüksekligi, H (cm)

1200

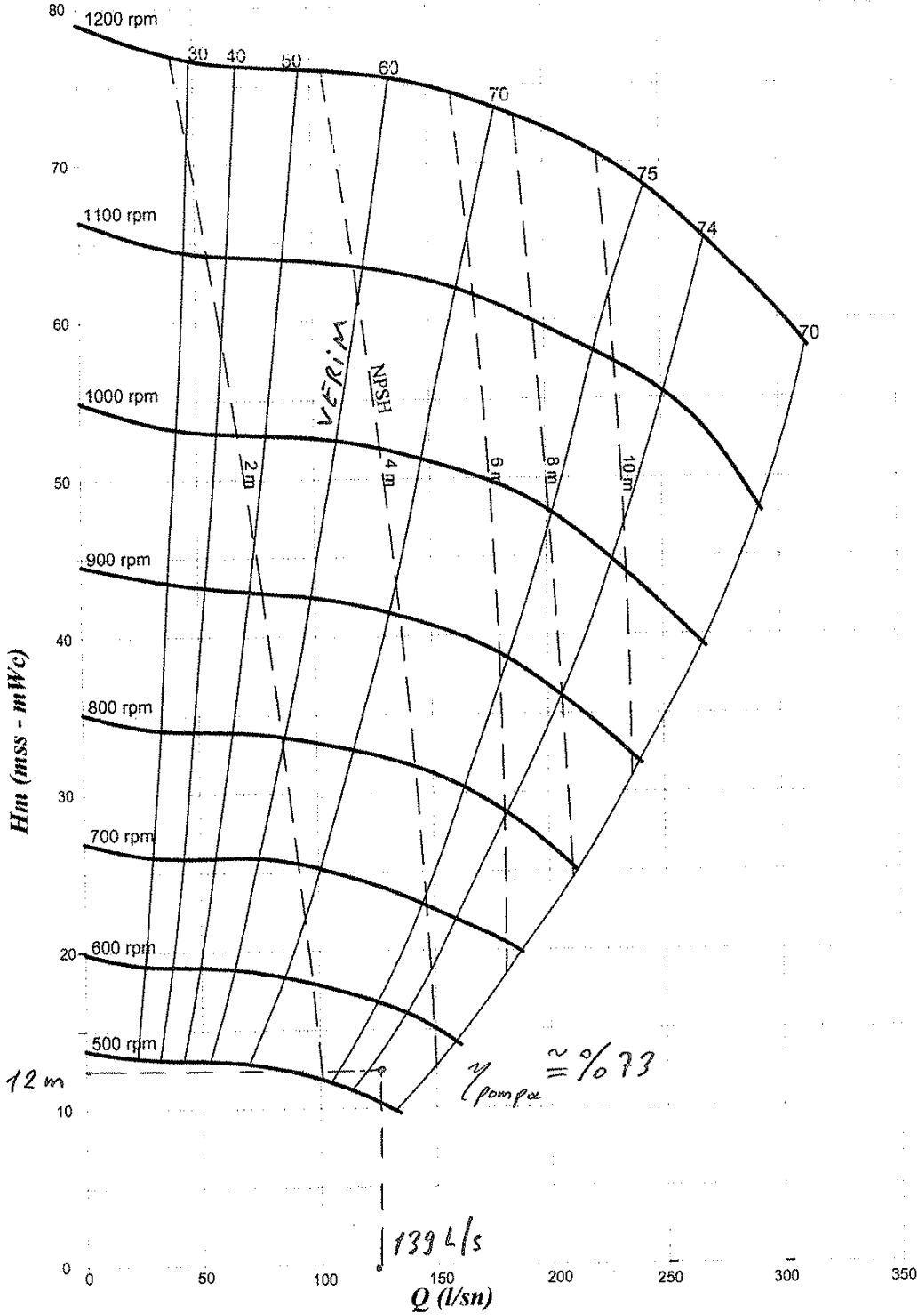
1000

900

800

400

Endüstriyel Pompalar - Industrial Pumps



GSP-MK 8/ 6E HDS
GSP-MK 150/500 E

SEP Mineral Ağır Hizmet Pompası

Seçilen motor gücü bizim şartlarımız
içindedir. Şekil 32 veya Şekil 33'e göre devir
sayısı

$$\| \underline{n_{motor} \approx 600 \text{ d/d}}$$

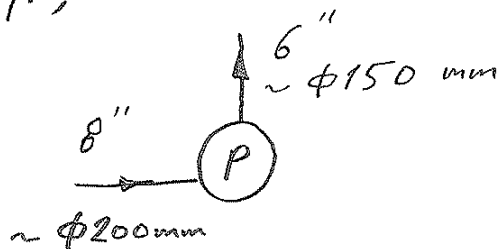
dir. Şekil 32 incelendiğinde,

$$\text{Konstrüksiyon : } E \rightarrow \text{Güç} = 120 \text{ kW}$$

olarak, diğer seçenekler göz önüne alınarak
verilmiştir.

Seçilen pompa; 8/6 E-AH

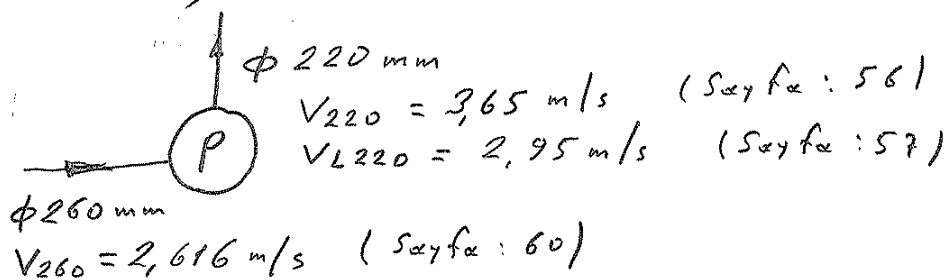
dolayısıyla, emme ve basma boruları pompa da;



şeklinde olmalıdır.

İrdeleme :

• Emme borusu,



$\phi 260 \text{ mm}$ borudaki çıkma hızı,

$$V_{L260} = 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,260 \cdot (3,5 - 1)} \quad (\text{Sayfa : 57})$$

$$\| \underline{V_{L260} = 3,21 \text{ m/s}}$$

$$V_{260} (= 2,616 \text{ m/s}) < V_{L260} (= 3,21 \text{ m/s})$$

$V_{260} > V_{L260}$ olması dolayısıyla, $\phi 260$ mm ξ apindeki emme borusu uygun değildir. Daha küçük ξ apli boru kullanılmalıdır.

$$V_{L200} = 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,200 \cdot (3,5-1)}$$

$$\| \underline{V_{L200} = 2,82 \text{ m/s}}$$

$$\frac{500}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\pi}{4} (0,200)^2 \cdot V_{200}$$

$$\| \underline{V_{200} = 4,42 \text{ m/s}}$$

$V_{200} (= 4,42 \text{ m/s}) > V_{L200} (= 2,82 \text{ m/s})$ olduğundan

$\phi 250$ mm ξ apindeki boruda,

$$V_{L250} = 0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,250 \cdot (3,5-1)}$$

$$\| \underline{V_{L250} = 3,15 \text{ m/s}}$$

$$\frac{500}{3600} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,250)^2 \cdot V_{250}$$

$$\| \underline{V_{250} = 2,83 \text{ m/s}}$$

$\phi 240$ mm ξ apindeki boruda da hesap yaparak sonuçları toplu olarak verelim.

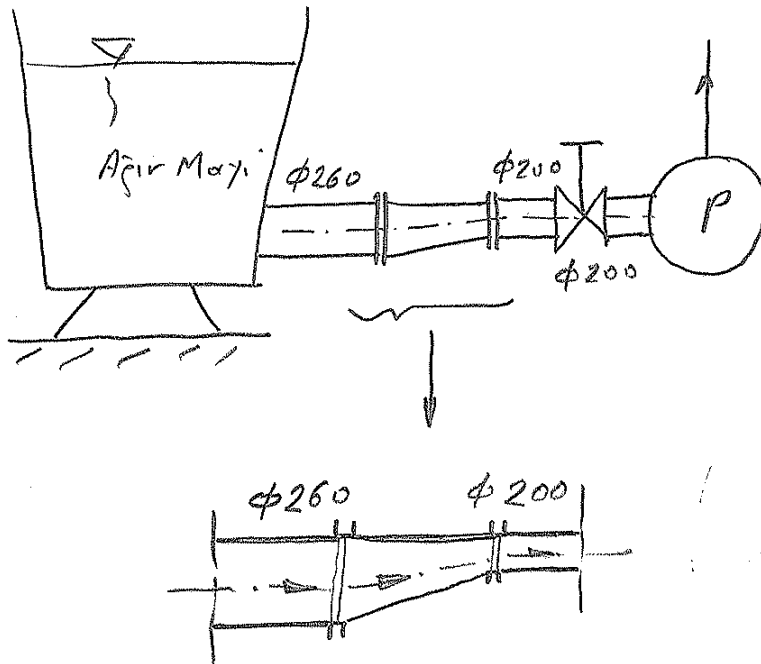
$$V_{260} = 2,616 \text{ m/s} < V_{L260} = 3,21 \text{ m/s}$$

$$V_{200} = 4,42 \text{ m/s} > V_{L200} = 2,82 \text{ m/s}$$

$$V_{250} = 2,83 \text{ m/s} < V_{L250} = 3,15 \text{ m/s}$$

$$V_{240} = 3,07 \text{ m/s} < V_{L240} = 3,088 \text{ m/s}$$

$\phi 200$ mm \leq a ϕ l ϕ boru uygun olmasına rağmen $V_{200} = 4,42$ m/s hız \leq ok yüksek. Boru boyunda kısaca (1,20 m), $\phi 240$, $\phi 250$ ve $\phi 260$ mm lik borulardan biri Şekil 35 teki konstrüksiyona göre kullanılabilir.



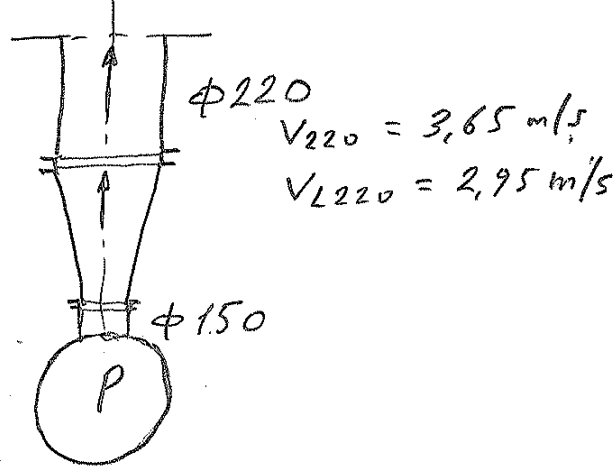
Şekil 35 - Pompa emme a ϕ zunda redüksiyon düzeni [429]

• Basma borusu ;

$$\frac{500}{3600} = \frac{\pi}{4} (0,150)^2 \cdot V_{150}$$

$$\| \underline{V_{150} = 7,85 \text{ m/s}}$$

çok yüksek. Pompa çıkış ağzında konik redüksiyon kullanılır. (Şekil 36)



Şekil 36 - Pompa basma ağzında redüksiyon düzeni.

- Şekil 32 veya 33 teki pompa işletme karakterisitikleri;

$$Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_m = 12 \text{ m}$$

$$n_{pompa} \approx 600 \text{ d/d}$$

$$W_{misl} = 35 \text{ kW}$$

$$\eta_{pompa} = \%70$$

değerlerindeki pompayı, $n'_{pompa} = 1100 \text{ d/d}$ da çalıştırsak yeni karakteristik değerler ne olur (Verimler aynı değerde kalmak üzere),

Ratexa teoremini (veya benzerim yasalarını) kullanalım;

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Debi} \text{ ---} \\
 \text{Manometrik yükseklik,} \\
 \text{Mil gücü} \text{ ---}
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n} \\
 \frac{H_m'}{H_m} = \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \\
 \frac{\dot{W}_{mil}'}{\dot{W}_{mil}} = \left(\frac{n'}{n} \right)^3
 \end{array} \quad \text{--- (11)} \quad -73-$$

Buna göre,

$$Q'_{1100} = Q_{600} \cdot \frac{n'_{1100}}{n_{600}} = 500 \cdot \frac{1100}{600}$$

$$\| Q'_{1100} \approx 916 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_m'_{1100} = H_m_{600} \cdot \left(\frac{n'_{1100}}{n_{600}} \right)^2 = 12 \cdot \left(\frac{1100}{600} \right)^2$$

$$\| H_m'_{1100} = 40,4 \text{ m}$$

$$\dot{W}_{mil}'_{1100} = \dot{W}_{mil}_{600} \cdot \left(\frac{n'_{1100}}{n_{600}} \right)^3 = 35 \cdot \left(\frac{1100}{600} \right)^3$$

$$\| \dot{W}_{mil}'_{1100} = 215,7 \text{ kW}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 n_{pompa} = 1100 \text{ d/d} \\
 \eta_{pompa} = \%70
 \end{array} \right\} \text{Karşılık gelen nokta A dir (Şekil 33)}$$

Görüldüğü gibi A noktasındaki değerler hesaplanan değerlere çok yakındır.

• Pompanın (816 E-AH) azami manometrik basınç yüksekliği, -74.

Pompanın azami çalışma basıncı 5,7 bar olduğuna göre,

$$H_{m_{max}} \cdot \rho_{\text{su}} g = 5,7 \text{ bar} = 5,7 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$H_{m_{max}} \cdot (1500 \text{ kg/m}^3) = 5,7 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$H_{m_{max}} = \frac{5,7 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2}{1500 \text{ kg/m}^3}$$

$$\| (H_{m_{max}})_{\rho=1500 \text{ kg/m}^3} = 38 \text{ m}$$

bulunur.

EK 1 - Literatürlerden faydalı

bilgiler :

1. Temiz suyun pompalanmasında, borulardaki sürtünme kayıpları [L23];

Boru yük kaybı,

$$H_f = h_K = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{ort}^2}{2 \cdot f} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

f - Darcy sürtünme faktörü (Ekl. 10, 11)

Bu katsayıya, "Darcy - Weisbach" sürtünme faktörü de denir. Katsayıya, adını Fransız Henry Darcy ve Alman Julius Weisbach'ten almıştır.

Yük kaybı h_K , borudaki sürtünmeden kaynaklanırsa

Kayıpları yenmek için akışkanın pompa tarafından - 75- çıkarılması gereken ilâve yüksekliği temsil eder.

H_{f100} ; boru relatif sürtünme (yük) kaybı olmak üzere, belirlenmesinde, Şekil 35 te verilen HAZEN-WILLIAMS diyagramı kullanılabilir.

Ayrıca, Hazen-Williams bağıntısı SI birim sisteminde,

$$V = 0,35422 \cdot D^{0,63} \cdot C (H_f/L)^{0,54} \quad \text{--- (12)}$$

biçiminde ifade edilmiştir.

C - Boru pürüzlülük faktörü veya Hazen-Williams faktörü

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

denklemini de kullanarak C faktörünü, Re ve f parametrelerine bağlı olarak bulalım.

$$\frac{H_f}{L} = \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{19,62}$$

$$V = 0,35422 \cdot D^{0,63} \cdot C \left(\frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{19,62} \right)^{0,54}$$

$$V = 0,35422 \cdot D^{0,63} \cdot C \cdot \frac{f^{0,54}}{D^{0,54}} \cdot \frac{V^{1,08}}{4,99}$$

$$V = 7,099 \cdot 10^{-2} \cdot D^{0,09} \cdot C \cdot f^{0,54} \cdot V^{1,08}$$

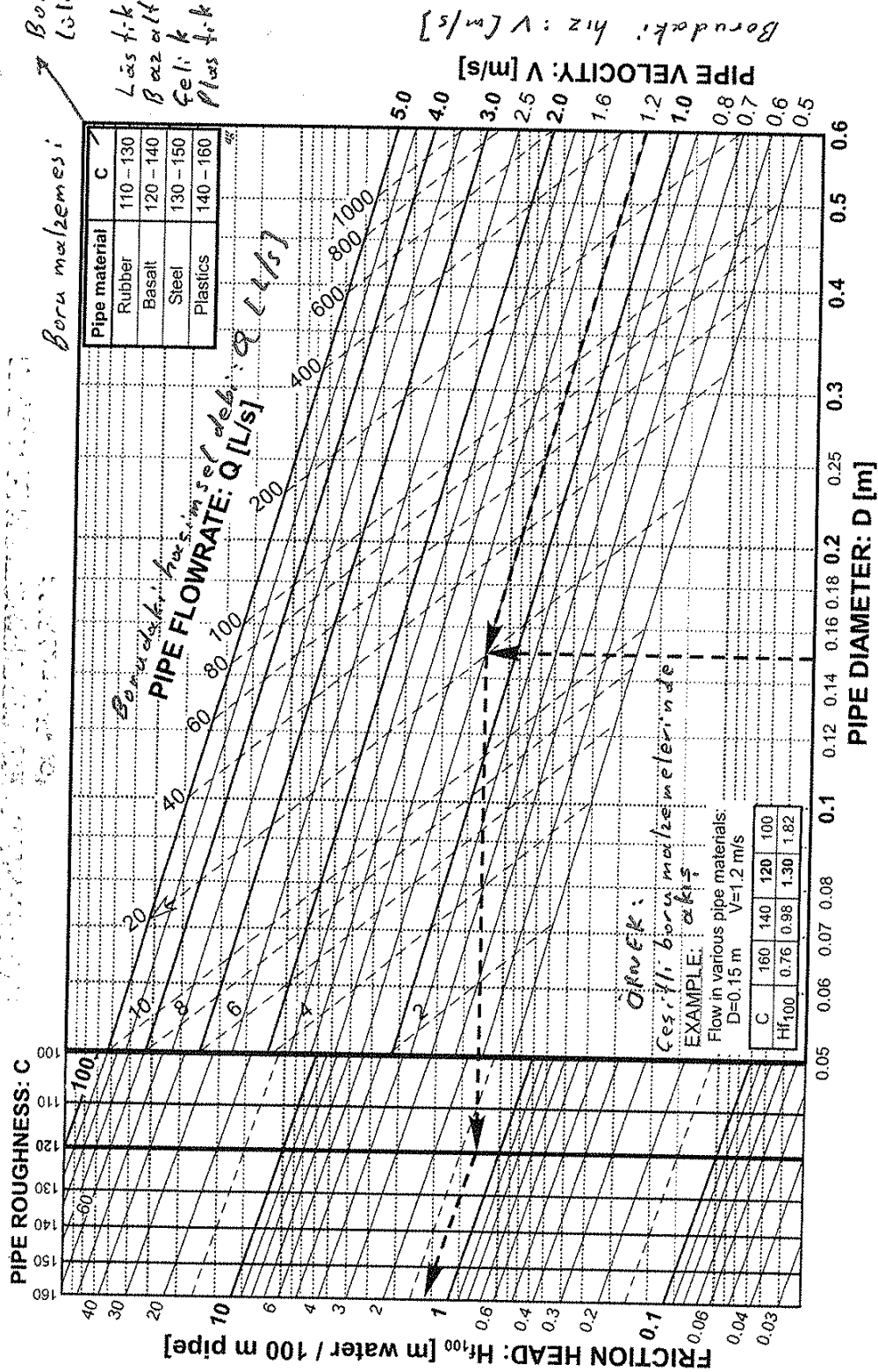
$$C = \frac{14,0859 \cdot V}{D^{0,09} \cdot f^{0,54} \cdot V^{1,08}} = \frac{14,0859}{f^{0,54} \cdot D^{0,09} \cdot V^{0,08}}$$

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

ν - Akışkanın kinematik viskozitesi.

Boru pürüzlülük faktörü: C



Boru pürüzlülük faktörü

Loz f-k
Basalt
Feli k
Plas f-k

Borudaki hiz : V [m/s]

Sürtünme (yük) kaybı : H_{f100} [m su / 100m Boru]

Sekil 35 - HAZEN-WILLIAMS Boru sürtünme diyagramı [L23]
Boru Eşp : D[m]
(20°C de su için)

20°C ve 1 atm 'de sıvı su için

-77-

$$\nu \approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

alınabilir.

$$\left. \begin{aligned} D^{0,009} &= D^{0,081} \cdot D^{0,009} \\ V^{0,081} &= V^{0,08} \cdot V^{0,001} \end{aligned} \right\} \text{ Yazılırsa}$$

$$D^{0,009} \cdot V^{0,08} = D^{0,081} \cdot V^{0,081} \cdot D^{0,009} / V^{0,001}$$

$$Re^{0,081} = \left(\frac{D \cdot V}{1 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,081}$$

$$D^{0,081} \cdot V^{0,081} = Re^{0,081} \cdot 0,3266$$

$$C = \frac{14,0859}{f^{0,54} \cdot Re^{0,081} \cdot 0,3266 \cdot \underbrace{D^{0,009} / V^{0,001}}_{\text{ihmal edilirse}}}$$

$$C = \frac{43,129}{f^{0,54} \cdot Re^{0,081}}$$

elde edilir. [L23] bu eşitliği,

$$\| C = 43,67 / (f^{0,54} \cdot Re^{0,081}) \quad (13)$$

olarak önermiştir.

Sayısal bir örnek verelim;

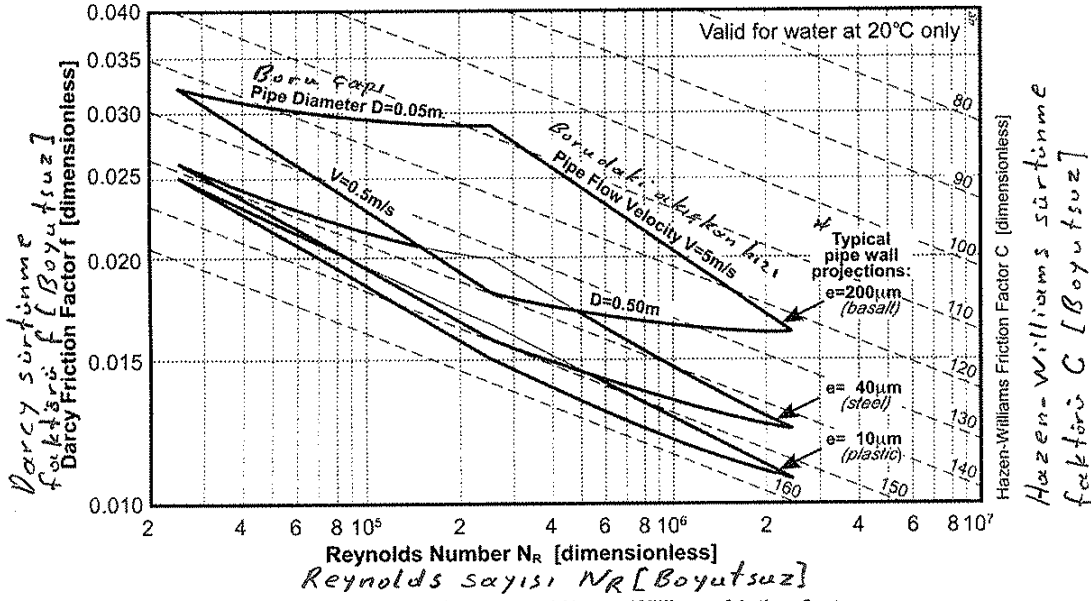
$$\left. \begin{aligned} D &= 0,050 \text{ m} \\ V &= 0,5 \text{ m/s} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} D^{0,009} / V^{0,001} &= 0,97 \\ D^{0,009} / V^{0,001} &= 0,99 \end{aligned} \right\} \text{ ihmal edilebilir.}$$

Darcy Şekil 36'de, sınırları;

Boru çapları: $D = 0,050 \text{ m}$ ve $0,500 \text{ m}$ ve

Borudaki hızlar: $V = 0,5 \text{ m/s}$ ve 5 m/s

Yalnız 20°C deki su için GEERLİDİR



Şekil 36- Darcy ve Hazen-Williams sürtünme faktörlerinin karşılaştırılması [L23]

* : Bazı boru malzemeleri için "e" değerleri:

- $e = 200\mu m$ (Bazalt)
- $e = 40\mu m$ (Çelik)
- $e = 10\mu m$ (Plastik)
- e - Pürüzlülük

ile tanımlanan üç romboidal (barklava şeklinde) alanı, yaygın olarak kullanılan boru malzemeleri (bazalt, çelik ve plastik) için e pürüzlülük değerlerine şere vermiştir. Alan içinde uygulamalar yapılabilir. Yine Şekil 36 da, Hazen-Williams sürtünme faktörlerinin $C=80$ den (pürüzlü, paslanmış borular) $C=160$ 'a kadar (pürüzsüz, düz borular) olan değerleri ile Darcy sürtünme faktörleri f değerlerinin karşılaştırılması da yapılabilir.

Sürtünme kayıpları, temel olarak üç tip pompa-

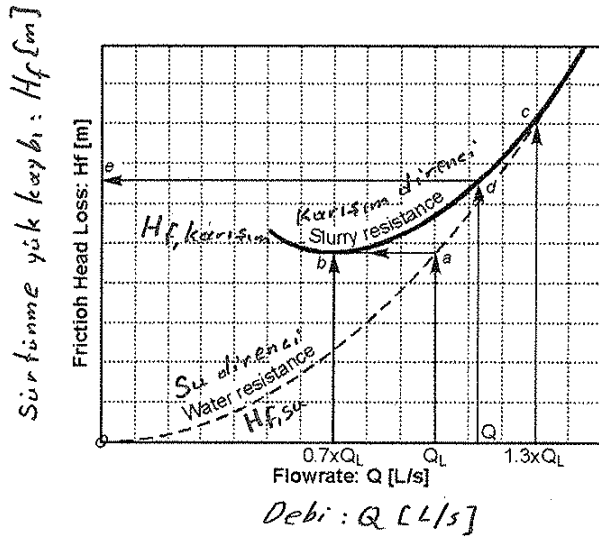
lamada oluşur :

a) Sıvılar

b) Homojen karışımlar veya pülpler (ince taneli sökmeven katı konsantrasyonlu karışımlar)

2.) Heterojen karışımlar veya pülpler (irili tanesi -79-
 çıkan katı konsantrasyonlu karışımlar)
 (Sayfa: 38...41'e bakınız.)

Aynı debi de, karışımın (pulp) sürtünme yükü ($m_{karışım}$)
 sayısal olarak su sürtünme yükünden (m_{su}) daha
 büyüktür. Şekil 37 incelenirse, $1,3 \cdot Q_L$ nin altındaki
 debilerde, (c noktası) her yoğunluktaaki karışımın
 basıldığı boru şebekesindeki H_f kayıplarının değer
 olarak suyun basılmasında oluşan kayıplardan daha
 yüksek olduğu görülür. Ancak karışımın H_f değeri,
 boruda malzeme çökmesi olacağından belirli bir
 değerden aşağı düşmemelidir. Bu minimum değerde
 $0,7 \cdot Q_L$ olup (b noktası) Q_L debisinde suyun basıldığı
 şebekedeki kaybın (a noktası) yaklaşık olarak karışım
 şebekesindeki kayba eşit olduğu (b noktası) değeridir.



Şekil 37- Su ve heterojen karışım için
 sürtünme yük kaybı eğrilerinin
 ($H_{f,su}$ ve $H_{f,karışım}$) karşılaştırılması [L23].

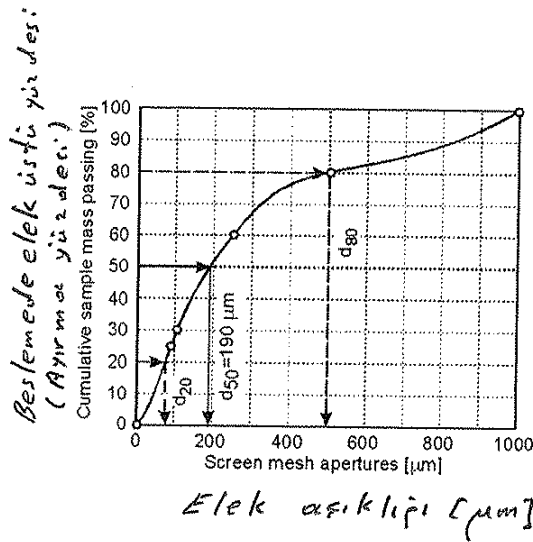
Konu ile ilgili, V_L hızına göre yapılmış olan daha
 geniş inceleme için Sayfa: 39,40'ye bakabilirsiniz.

2. Örnek; ince taneli parçacıkların (partikül - 80-lerin) su ile karıştırılmasıyla oluşturulan "Açır macı" karışımını göz önüne alalım. Çok ince katı parçacıkları (partikülleri) içeren (genellikle $100\mu\text{m}$ sapında) karışımlarda malzeme sıkması olmadığında pöre, pompalanacak karışımda olması gereken değerler;

- Karışımın özgül yoğunluğu $\dots \dots \dots : S = 3,1$
- Karışımdaki, ağırlıkça katı oranı $\dots \dots : C_w = \%46$
- Boru çapı $\dots \dots \dots : D = \phi 0,150\text{m}$
- Taşıyıcı sıvı $\dots \dots \dots : S_u$

olarak verilmiştir [L23];

Ayrıca örnek için; tane büyüklüklerinin dağılımına (elek analizi) pöre ayırma eğrisinde çizilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38 - Karışımdaki katının ayırma eğrisi: [L23]

Not. Elek verimini belirlemede kullanılan yöntemlerden biri de ayırma eğrisinin çizimidir. Ayırma eğrisi elek üstü malzemede her tane büyüklüğünde ki besleme malı tanelerinin yüzdesi bulunacak çizilir.

Karışım (Çamur veya Pülp)

Pompası ile ilgili

bir inceleme

-V-

Karim Kemal

(7 Ad.)

Ayırma eğerisinde %50 yi gösteren tane boyutu ki buradaki $70 \mu\text{m}$ dir. ayırım tane boyutu olarak tanımlanır. Bu elek aralığında tane büyüklüğündeki malzemenin %50'si elek üstünde %50'si elek altında bulunur. Başka bir deyişle bu elek aralığındaki tanelerin elek altına geçme sayısı %50'dir.

d_{20} - %20 elek üstü ayırmasına karşılık gelen tane büyüklüğü ($= 70 \mu\text{m}$)

d_{80} - %80 elek üstü ayırmasına karşılık gelen tane büyüklüğü ($= 500 \mu\text{m}$)

Bu kısa bilgilerden sonra hesaplara geçebiliriz.

• Ağırlık mayi deki hacimce katı oranı;

$$C_v = S_w / (S_w - S + S/C_w) \quad (\text{Tablo 1})$$

S_w - Suyun özgül yoğunluğu
 $S_w = 1$

$$C_v = 1 / (1 - 3,1 + 3,1/0,46)$$

$$\| \underline{C_v = \% 21,5}$$

• Ağırlık mayi özgül yoğunluğu ;

$$S_m = S_w / [1 - C_w (1 - S_w/S)] \quad (\text{Tablo 1})$$

$$S_m = 1 / [1 - 0,46 (1 - 1/3,1)]$$

$$\| \underline{S_m = 1,45}$$

- Ağız mayinin kütle debisi,

$$\| \underline{M_m = 1 \text{ kg/h}}$$

- Ağız mayide katı kütlesi (veya kütle debisi),

$$M_s = M_m \cdot C_w$$

$$M_s = 1 \cdot 0,46$$

$$\| \underline{M_s = 0,46 \text{ kg}}$$

- Ağız mayide su kütlesi (veya kütle debisi),

$$M_m = M_w + M_s$$

$$M_w = 1 - 0,46$$

$$\| \underline{M_w = 0,540 \text{ kg}}$$

- Ağız mayide katı hacmi,

$$S = M_s / \rho_s$$

$$\rho_s = \frac{0,46}{3,1}$$

$$\| \underline{\rho_s = 0,148 \text{ L}}$$

- Ağız mayide su hacmi,

$$S_w = M_w / \rho_w$$

$$\rho_w = \frac{0,540}{1}$$

$$\| \underline{\rho_w = 0,540 \text{ L}}$$

- Ağız mayide, katı ve su hacmi toplamı,

$$\rho_m = \rho_s + \rho_w$$

$$\rho_m = 0,148 + 0,540$$

$$\| \underline{\rho_m = 0,688 \text{ L}}$$

• Minimum çekme hızı faktörü,

$$\left. \begin{array}{l} d_{20} = 70 \mu\text{m} \\ d_{50} = 190 \mu\text{m} \\ d_{80} = 500 \mu\text{m} \end{array} \right\} \text{Katının ortalama ayırım} \\ \text{tane büyüklükleri (Şekil 38)}$$

$$\frac{d_{80}}{d_{20}} = \frac{500}{70} \rightarrow d_{80}/d_{20} = 7,1$$

$$\left. \begin{array}{l} d_{80}/d_{20} (= 7,1) > 5 \\ d_{50} = 190 \mu\text{m} \\ C_v = \%21,5 \end{array} \right\} \parallel F_L = 1,05 \text{ (Şekil 5)}$$

• Minimum çekme hızı,

$$V_L = F_L \sqrt{2 \cdot f \cdot D (S - S_w) / S_w} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$V_L = 1,05 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150 (3,1 - 1) / 1}$$

$$\parallel \underline{V_L = 2,64 \text{ m/s}}$$

Şimdi, ağır mayi içindeki toplam katı içinde ince taneli katı parçacıkları ($100 \mu\text{m}$ den küçük) bulunsun.

$$C_f = \%29$$

C_f - Karışımda, toplam katı içindeki ince taneli katı parçacıklarının (partiküllerinin) ağırlık oranı (Ağır mayi de, ağırlık oranı ince taneli katı oranı)

M_f - Afir mayi de, toplam katı içindeki ince taneli katı parçacıklarının kütlesi, olmak üzere;

$$M_f = C_w \cdot C_f$$

$$M_f = 0,46 \cdot 0,29$$

$$\parallel \underline{M_f = 0,133 \text{ kg}}$$

Q_f - Afir mayi de, toplam katı içindeki ince taneli katı parçacıklarının hacmi,

$$Q_f = M_f / S$$

$$Q_f = 0,133 \cdot 10^{-3} \text{ ton} / 3,1 \text{ ton/m}^3 = 0,133 / 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$Q_f = 0,133 / 3,1$$

$$\parallel \underline{Q_f = 0,043 \text{ L}}$$

Afir mayi de katı kütlesi,

$$M_s = M_f + M_c$$

M_c - Afir mayi de, toplam katı içindeki ince taneli olmayan katı parçacıklarının kütlesi

$$0,46 = 0,133 + M_c$$

$$\parallel \underline{M_c = 0,327 \text{ kg}}$$

Q_c - Aşır mayide, toplam katı içindeki
ince taneli olmayan katı parçacıklarının hacmi

$$Q_c = M_c / S$$

$$Q_c = 0,327 / 3,1$$

$$\parallel \underline{Q_c = 0,105 L}$$

M_w' - Aşır mayide, su ve ince taneli katı parçacıklarının toplam kütlesi

$$M_w' = M_w + M_f$$

$$M_w' = 0,540 + 0,133$$

$$\parallel \underline{M_w' = 0,673 \text{ kp.}}$$

Q_w' - Aşır mayide, su ve ince taneli katı parçacıklarının toplam hacmi,

$$Q_w' = Q_w + Q_f$$

$$Q_w' = 0,540 + 0,043$$

$$\parallel \underline{Q_w' = 0,583 L}$$

S_w' - Aşır mayide, su ve ince taneli katı parçacıkları karışımının özgül yoğunluğu

$$S_w' = M_w' / Q_w'$$

$$S_w' = 0,673 / 0,583$$

$$\parallel \underline{S_w' = 1,154}$$

C_w' - Ağırlıkta, ince taneli olmayan parçacıkların ağırlıkça katı oranı,

$$C_w' = M_c / M_m$$

$$C_w' = 0,327 / 1$$

$$\parallel \underline{C_w' = \% 32,7}$$

C_v' - Hacimde, ince taneli olmayan parçacıkların hacimce katı oranı,

$$C_v' = Q_c / Q_m$$

$$C_v' = 0,105 / 0,688$$

$$\parallel \underline{C_v' = \% 15,3}$$

Görüldüğü gibi yaptığımız hesaplar (tasarımı sıvı olarak, su ve ince taneli katı parçacıklarının karışımı alınmıştır); S , S_m , M_m ve Q_m

büyüklikleri değişmemiştir.

• Min. sökme hızı faktörü,

Ayırma eğrisine göre,

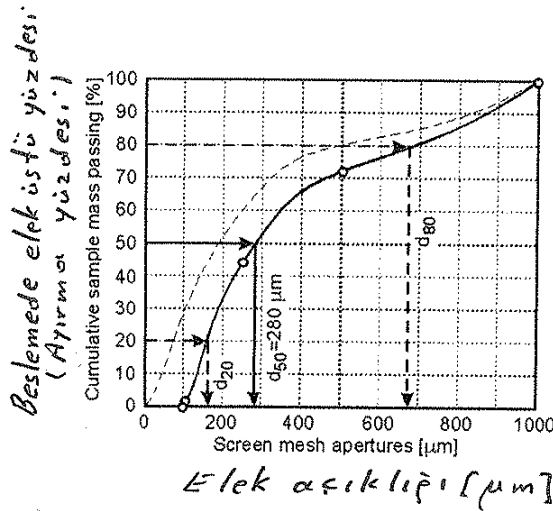
$$d_{20} = 160 \mu\text{m}$$

$$d_{50} = 280 \mu\text{m}$$

$$d_{80} = 670 \mu\text{m}$$

(Şekil 39)

ortalama ayırım tane büyüklükleri okunabilir.



Şekil 39- Katının (ince taneli katı parçacıkları hariç) ayırma eğrisi [L 23]

$$\frac{d_{80}}{d_{20}} = \frac{670}{160} = 4,2$$

d_{80}/d_{20} (=4,2) değeri 2 den 5'e daha yakın

dolarıyla Şekil 5 kullanılarak

$$\left. \begin{array}{l} d_{50} = 280 \mu\text{m} \\ C_v' = \%15,3 \end{array} \right\} \parallel F_L' = 1,1$$

elde edilir.

• Minimum çekme hızı,

- 88-

$$V_{L'} = F_{L'} \sqrt{2 \cdot \rho \cdot D (S - S_w') / S_w'} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$V_{L'} = 1,1 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150 (3,1 - 1,154) / 1,154}$$

$$\| \underline{V_{L'} = 2,45 \text{ m/s}}$$

Gerçek boru hattındaki önerilen pompalama hızı, minimum çekme hızından en az %10 daha fazla olmalıdır. Buna göre,

$$V_{\text{pompalama}} \approx 1,1 \cdot V_{L'}$$

$$V_{\text{pomp.}} = 1,1 \cdot 2,45$$

$$\| \underline{V_{\text{pomp.}} = 2,7 \text{ m/s}}$$

olarak bulunur. (Sayfa: 11, 39 ve 40'a bakınız)

3 - Pompa kavitasyonu ve net pozitif emme yükü [L23-27-29-39];

Sıvılar pompalanırken, pompa içerisindeki yerel basıncın sıvıya ait buhar basıncının P_v altına düşerse (P_v , doyma basıncı P_{doyma} olarakta isimlendirilir ve doyma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak termodinamik tablolarında verilir) yani

$P < P_v$ olursa, sıvı içinde kavitasyon kabarcıkları

denen içi buhar ile dolu kabarcıklar oluşur. Başka bir deyişle sıvı yerel olarak kaynar ve bu durum tipik olarak basıncın en düşük olduğu döner fark kanatlarının emme tarafında perçikleşir. Kavitasyon kabarcıkları oluştuktan sonra pompa içerisinde basıncın daha yüksek olduğu bölgelere taşınarak, yaklaşık 0,003 saniyeden kısa bir süre içinde patlayarak yok olurlar. Bu kabarcıkların hemen hemen anı olarak birbirlerinin ardından patlamaları ve bunlardan boşalan hacimlerin aynı hızla sıvı tarafından doldurulması, pürültüye, titreşime, düşük verimli çalışmaya neden olduğundan (Kavitasyon olayı) ve her şeyden önemlisi fark kanatlarına hasar verdiğinden bu kabarcık patlaması istenen bir durum değildir.

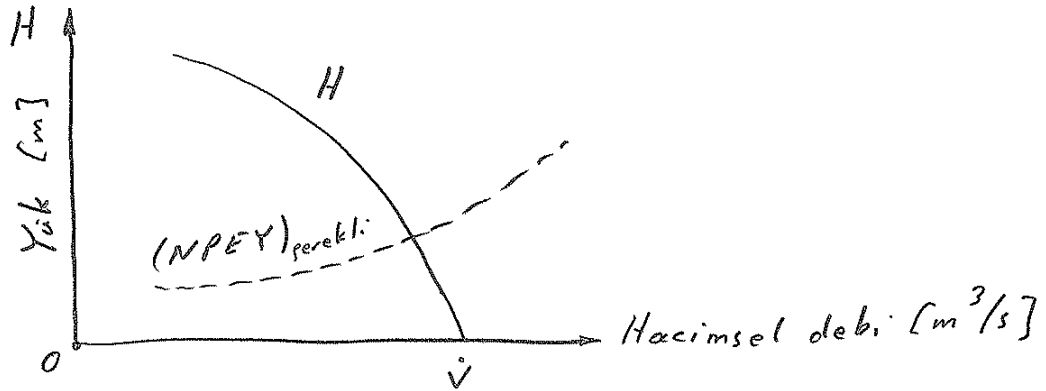
Kavitasyondan kaçınmak için, pompa içerisinde her yerdeki yerel basıncın buhar basıncının üzerinde kaldığından emin olmamız gerekir. Basınç en kolay pompa girişinde ölçüldüğünden (veya tahmin edildiğinden), kavitasyon ölçütü genellikle pompa girişinde belirtilir. Bu amaçla net pozitif emme yükü (NPEY) veya emmedeki net pozitif yük (ENPY) veya yabancı literatürde, özellikle İngilizce yazılı eserlerde NPSH (net positive suction Head) olarak tanımlanan ve pompa girişindeki durma

basınç yükü ile buhar basınç yükü arasında -90-
daki fark olarak tanımlanan bir akış para-
metresinin kullanılması faydalıdır.

Net pozitif emme yükü ;

$$NPEY = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{pompa girişi}} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \quad (14)$$

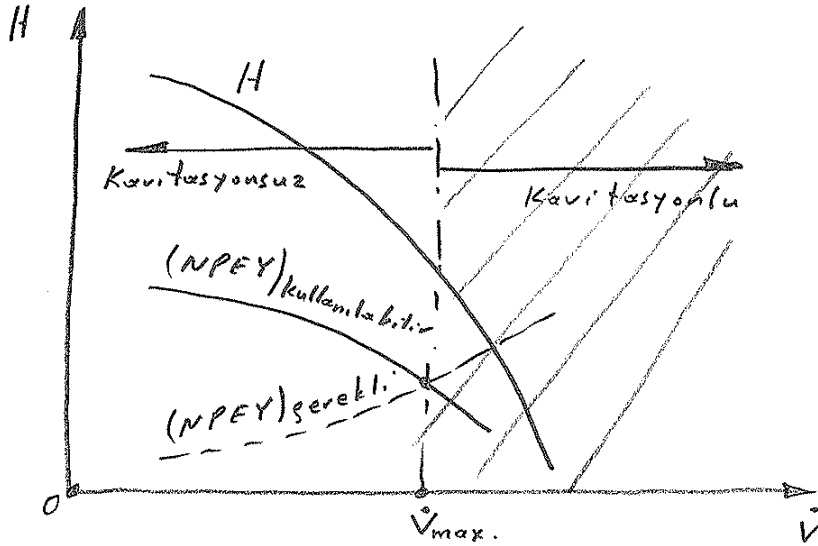
dir. Bunun ardından pompa üreticisi, gerekli
net pozitif emme yükü $(NPEY)_{\text{gerekli}}$ veya
emmedeki gerekli net pozitif yük $(ENPY)_{\text{pompa}}$
değerlerini pompa da kavitezyon oluşmaması için
yayımlar (Şekil 40).



Şekil 40 - Net yükün ve gerekli net pozitif
emme yükünün hacimsel debisi ile
değişimlerinin çizildiği tipik pompa
performans eğrisi [L27].

Bir pompa da kavitezyon olayının zararlı etkilerin-
den kaçınmak için, gereksek veya kullanılabilir
veya mevcut $NPEY$, $(NPEY)_{\text{gerekli}}$ 'den büyük

$$\left. \begin{aligned} (NPEY)_{\text{kullanılabilir}} &> (NPEY)_{\text{gerekli}} \\ (ENPY)_{\text{mevcut}} &> (ENPY)_{\text{pompa}} \end{aligned} \right\} \text{--- (15)}$$



Şekil 41 - Gereek (kullanılabilir veya mevcut) $NPEY$ ile gerekli (pompa) $NPEY$ 'nin kesiştiği hacimsel debi, kavitasyon oluşmaksızın pompa tarafından basılabilecek maksimum debiyi temsil eder [L27].

Su halde verilmiş bir pompa tesisi için;

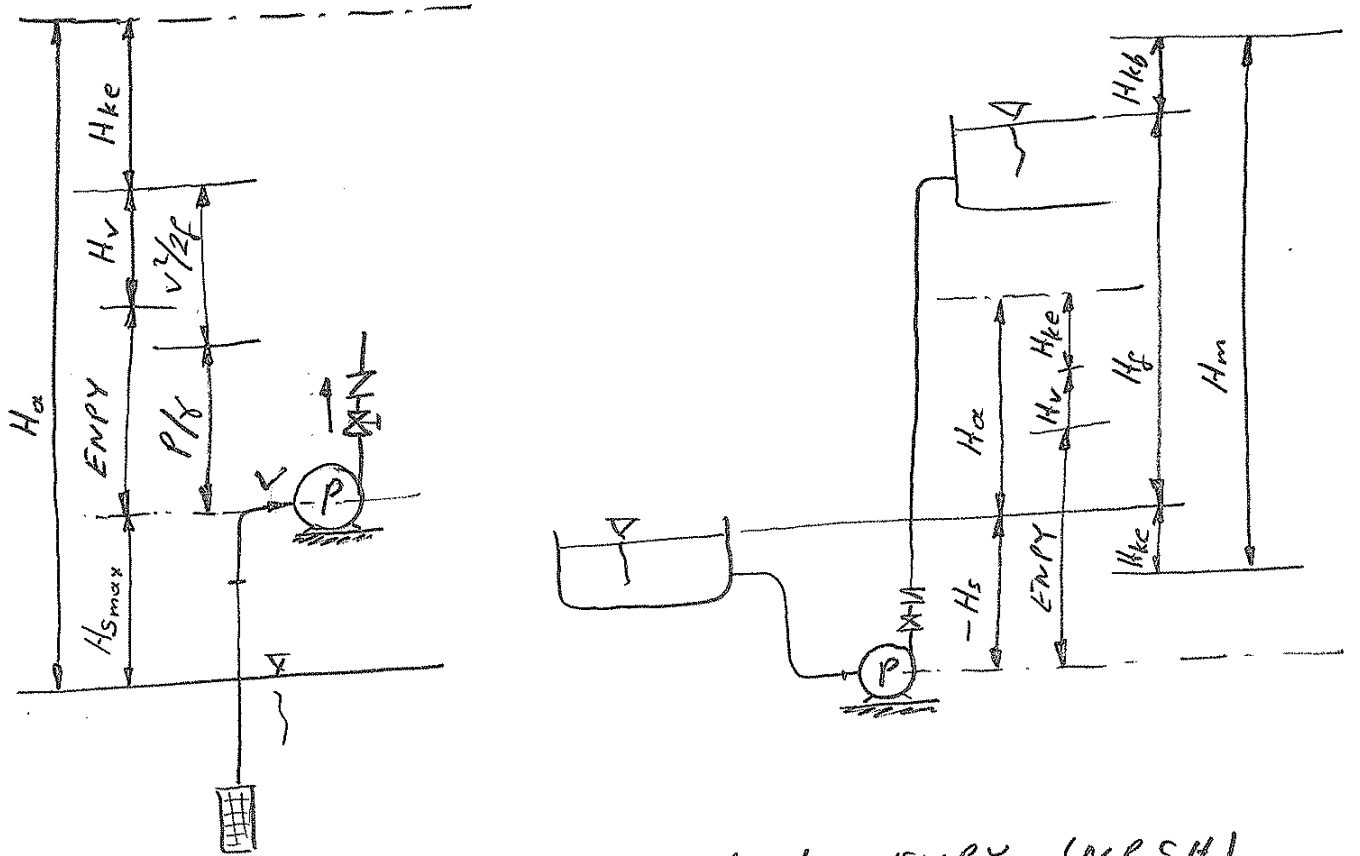
$(ENPY)_{\text{mevcut}}$ değeri (Şekil 42) ;

$NPSH_a$ değeri (Şekil 43) de verilmiştir.

$$NPSH_a = (NPSH_a)_{\text{kullanılabilir}} = (NPSH_a)_{\text{gerek}} = (ENPY)_{\text{mevcut}}$$

tanımları aynıdır.

Ayrıca $NPSH_a$, Şekil 23---28 de gösterilmiştir.



Şekil 42- Pompa tesisatında ENPY (NPSH) değerinin belirlenmesi: [L 29]

H_a - Mutlak atmosferik basınç [mSS]

$H_{s_{max}}$ - Maksimum emme derinliği [m]

H_{k_e} - Emme borusundaki toplam kayıplar [mSS]

H_{k_b} - Basma borusundaki toplam kayıplar [mSS]

H_v - Suyun, mevcut sıcaklığındaki buharlaşma mutlak basıncı [mSS]

H_m - Manometrik basma yüksekliği [m]

P - Fark pirisindeki mutlak basınç [N/m^2]

V - Fark pirisindeki mutlak hız [m/s]

$$ENPY = (ENPY)_{mevcut}$$

emme yüksekliği (Atmosferik basıncın üzerinde - 94-
ise pozitif, altında ise negatiftir) [m akışkan]

H_{vs} - Akışkanın pompa emme borusundaki hız
yükü ($= V_s^2/2g$) [m]

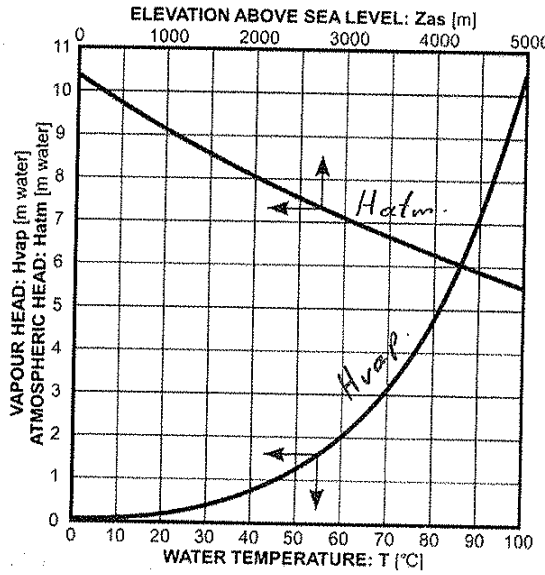
H_i - Emme boru sistemine giriş yük kaybı [m akışkan]

H_{vap} - Pompalama sıcaklığındaki akışkanın mutlak
buharlaşma basıncı (yükü) [m akışkan] (Şekil 44)

Z_s - Statik emme yüksekliği (Karışım besleme yüzeyi
ile pompa eksenini arasındaki yükselti) [m]

Buharlaşma basıncı: H_{vap} [m Su]
Atmosferik basıncı: H_{atm} [m Su]

Deniz seviyesinden itibaren yükselti: Z_s [m]



Su sıcaklığı: T [°C]

Şekil 44 - [m. Su. S] olarak;

- Suyun buharlaşma basıncının sıcaklık ile ve
- Atmosferik basıncın deniz seviyesinden itibaren yükselti ile değişimi: [L23].

Z_s - Pompanın deniz seviyesinden itibaren yükseltisi [m]

Ayrıca Şekil 43 ten faydalanarak,

$$NPS H_a = H_{atm} - H_{vap} + Z_s - H_i \quad (17)$$

denklemini yazmak da mümkündür.

4- Örnek ; Aşağıdaki verilere göre, mevcut -95-
NPSH değerinin kontrol edilmesi istenmektedir.

Verilenler :

A14/12 FF-AH lastik kaplamalı "Warmax" pompası
ile karışım pompalanacaktır, buna göre :

- Pompanın deniz seviyesinden itibaren yüksekliği,
 $Z_{as} = 2000 \text{ m}$.
- Çevre ortam sıcaklığı, $T = 18^\circ \text{C}$
- Debi, $Q = 500 \text{ L/s}$
- Toplam basma yüksekliği (Pompanın manometrik
basma yüksekliği), $H_m = 35 \text{ m}$ Karışım.
- Yükseklik oranı, $HR = 0,85$ (Genellikle)
- Katının ;
 - Maksimum partikül (tane) büyüklüğü, $d = 12 \text{ mm}$
 - Ortalama partikül (tane) büyüklüğü, $d_{50} = 0,5 \text{ mm}$
 - Özgül yoğunluğu, $S = 2,65$
- Karışımın ;
 - Özgül yoğunluğu, $S_m = 1,6$
 - Ağırlıkça katı oranı, $C_w = \%60$
- Karışım besleme yüzeyi ile pompa eksenini arasındaki
önerilen seviye ;
 - $Z_{smax.} = 3,5 \text{ m}$
 - $Z_{smin.} = 2,0 \text{ m}$
- Emme borusu ;
 - Çapı, $D_s = 0,4 \text{ m}$
 - Boru uzunluğu, $L_s = 2 \text{ m}$ olup üzerinde
 - 1 x 400 mm sürpülü vana (bıçaklı vana),
 - 1 x 400 x 350 mm redüksiyonbulunmaktadır.
- Atmosferik basınç ;
 $Z_{as} = 2000 \text{ m}$ için,
 $H_{atm} = 8 \text{ m Su}$ (Şekil 44)

veya,

- 96 -

$$H_{atm} = 8 / 5m = 8 / 1,6$$

$$\| H_{atm} = 8m Su = 5m Karisim$$

$$(P = \rho \cdot f \cdot h \rightarrow \rho_{su} \cdot h_{su} = \rho_{karisim} \cdot h_{karisim} \rightarrow h_{karisim} = 1 \cdot 8 / 1,6 = 5m \text{ Karisim})$$

• Buharlaşma basıncı ;

$$T = 18^\circ C \text{ için,}$$

$$H_{vap} = 0,2 m Su \text{ (Şekil 44)}$$

veya,

$$H_{vap} = 0,2 / 1,6$$

$$\| H_{vap} \approx 0,12 m \text{ Karisim}$$

• Toplam basma yüksekliği m Su olarak;

$$HR = \frac{H_m (m \text{ Karisim})}{H_w (m \text{ Su})} \text{ (Eşitlik 8)}$$

$$H_w = 35 / 0,85$$

$$H_w \approx 41,2 m \text{ Su}$$

• Pompa devir sayısı ;

$$N = 510 \text{ d/d}$$

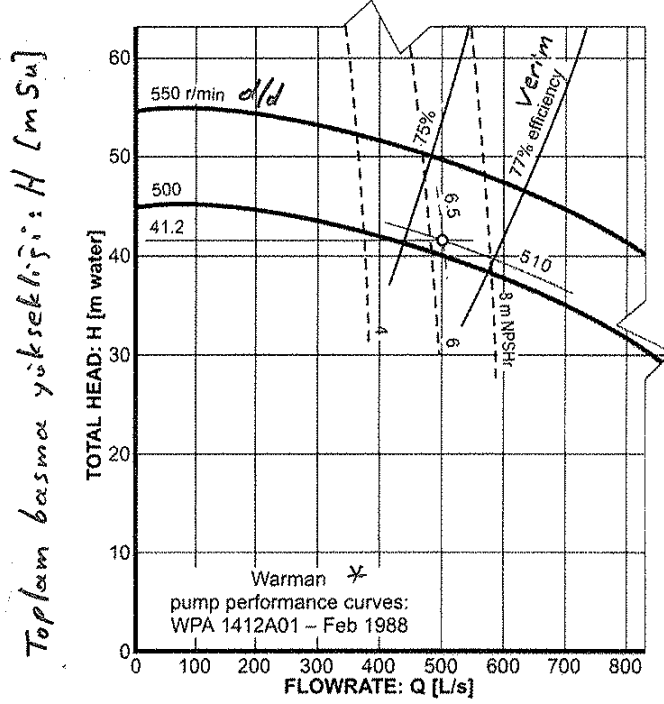
• Toplam basma yüksekliği,

$$\left. \begin{array}{l} N = 510 \text{ d/d} \\ Q = 500 \text{ L/s} \end{array} \right\} \| H_w = 41,2 m \text{ Su (Şekil 45)}$$

• Gerekli NPSH değeri

$$\left. \begin{array}{l} Q = 500 \text{ L/s} \\ N = 510 \text{ d/d} \end{array} \right\} \| \underline{NPSH_r = 6,5 m (Şekil 45)}$$

NPSH_r - Verilen, pompa devir sayısı, debi ve sıcaklıkta, kaviteasyonun oluşmaması için pompa girişindeki (pompa emme flanşındaki) gerekli



* Warman
Pompa performans eğrileri:
WPA 1412A01 - Şubat 1988

Debi: Q [L/s]

Şekil 45 - Warman 1.4/12 FF-AH pompasının
farklı performans eğrileri [L23]

net pozitif emme yükü veya kısaca, pompa -
ya da ait emmedeki net pozitif yük (ENPY) pompa
olarak tanımlanabilir.

Hesaplamalar

- Emme borusundaki karışım hızı;

$$Q = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot V_s \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$500 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi \cdot (0,4 \text{ m})^2}{4} \cdot V_s$$

$$\| V_s \approx 4 \text{ m/s}$$

- Karışımın pompa emme borusundaki hız yükü
(Kısaca hız yükü);

$V^2/2f$ hız yükü, akışkanın sürtünmesiz

-98-

serbest düşmesi sırasında V hızına ulaşması için gerekli olan yüksekliği temsil eder [L27].

$$H_{vs} = \frac{V_s^2}{2 \cdot f} \quad (\text{sayfa: 94})$$

$$H_{vs} = \frac{(4 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$\| \underline{H_{vs} \approx 0,8 \text{ m.}}$$

- Besleme tankından emme borusuna giriş yük kaybı (giriş yük kaybı veya hazne çıkışı yük kaybı) ;

$$H_{is} = K_k \frac{V_s^2}{2 \cdot f}$$

K_k - Yerel kayıp katsayısı

$$K_k = 0,5 \quad (\text{Verilmiş. Bilgi için Tablo 5,6 ve 7 ye bakınız})$$

$$H_{is} = 0,5 \cdot 0,8$$

$$\| \underline{H_{is} = 0,4 \text{ m}}$$

- Tam aşık sürgülü vananın eşdeğer boru uzunluğu ;

Sürgülü vana : $\phi 400 \text{ mm.}$

$$\| \underline{L_{vs} = 6 \text{ m}} \quad (\text{Verilmiş. Bilgi için, Tablo 3,4 ve 7 ye bakınız})$$

- Toplam eşdeğer boru uzunluğu ;

$$L = L_s + L_{vs}$$

$$L = 2 + 6$$

$$\| \underline{L = 8 \text{ m}}$$

• Darcy sürtünme faktörü ;

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$Re = \frac{4 \text{ m/s} \cdot 0,4 \text{ m}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\parallel Re = \underline{16 \cdot 10^5}$$

Çelik için, $\epsilon = 0,04 \text{ mm}$ alınırsa,

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,04 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} \rightarrow \parallel \frac{\epsilon}{D} = \underline{0,0001}$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 1,6 \cdot 10^6 \\ \frac{\epsilon}{D} = 0,0001 \end{array} \right\} \parallel f = \underline{0,013} \quad (\text{Şekil 10, 11, 12 ve 13})$$

$C_w = \%60 > \%40$ olduğundan, karışım "B" grubuna girer. Dolayısıyla H_f değeri genellikle iki kat olarak alınır (Sayfa 41, 59). $f_{karışım} = 2 \cdot 0,013 = 0,026$ elde edilir. $f = 0,02$ verildiğinden hesaplar $f = 0,020$ ile devam edelim.

• Boru sürtünme kaybı ;

$$H_{fs} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{ort}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

veya,

$$H_{fs} = f \cdot L \cdot H_{vs} / D_s$$

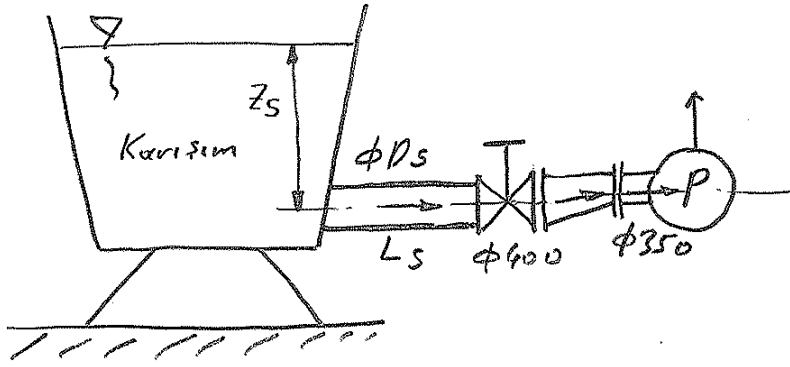
$$H_{fs} = 0,020 \cdot 8 \cdot 9,8 / 0,4$$

$$\parallel H_{fs} = \underline{0,32 \text{ m}}$$

• Redüksiyon yük kaybı ;

Redüksiyon yük kaybı katsayısı,

$$\parallel Kr = \underline{0,15} \quad (\text{Verilmiş Bilgi için, Tablo 5, 6 ve 7 ye bakınız})$$



Şekil 46 - Pompa emme ağızında redüksiyon düzeni [L29]

Emme ağızında hava cebinin oluşmaması için simetrik olmayan redüksiyon yapılması gerekir (Şekil 46)

Redüksiyon yük kaybı,

$$H_{rs} = K_r \cdot H_{vs}$$

$$H_{rs} = 0,015 \cdot 0,8$$

$$\| \underline{H_{rs} = 0,012 \text{ m}}$$

• Emme borusundaki toplam yük kaybı;

$$H_i = H_{is} + H_{fs} + H_{rs}$$

$$H_i = 0,4 + 0,32 + 0,012$$

$$\| \underline{H_i = 0,732 \text{ m}}$$

• Kaviteasyon kontrolü;

$$(NPSH_a)_{\min.} = H_{atm} - H_{vap} + z_{s\min} - H_i \quad (\text{Eşitlik 171})$$

$$(NPSH_a)_{\min.} = 5 - 0,12 + 2,0 - 0,732$$

$$\| \underline{(NPSH_a)_{\min.} \approx 6,15 \text{ m}}$$

Karışım (Çamur veya Pölp)

Pompası ile ilgili

bir inceleme

-VI-

[Handwritten signature]

$$(NPSH_a)_{\max.} = 5 - 0,12 + 3,5 - 0,732$$

$$\| (NPSH_a)_{\max.} \approx 7,65 \text{ m}$$

• Sonuçlar ;

$$(NPSH_a)_{\min.} (= 6,15 \text{ m}) < NPSH_r (= 6,5 \text{ m}) \text{ uygun DEĞİL}$$

$$\| (NPSH_a)_{\max.} (= 7,65 \text{ m}) > NPSH_r (= 6,5 \text{ m}) \text{ UYGUN}$$

Kavitasyon emniyeti bakımından

$$NPSH_a = 1,1 NPSH_r \text{ --- --- --- (18)}$$

alınırsa [L 29],

$$5 - 0,12 + Z_{s\min} - 0,732 = 1,1 \cdot 6,5$$

$$\| Z_{s\min} \approx 3 \text{ m}$$

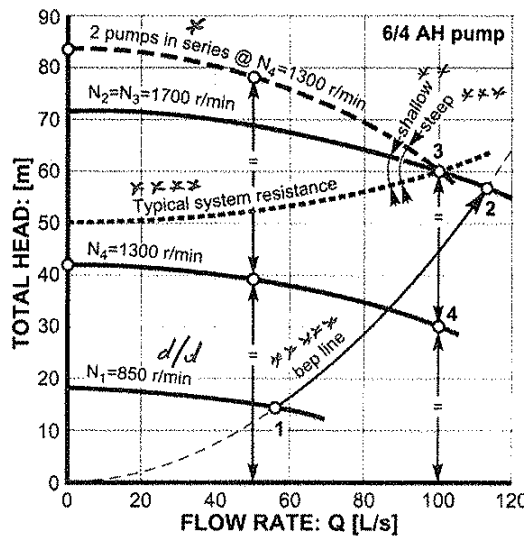
olmalıdır ki, kavitasyon oluşmasın.

5 - Pompa devri ve karakteristik eğriler [L 23-27-39];

6/4 AH Warman pompasını ele alalım (Şekil 47)

Proje için for öüne alınacak olan karakteristik büyüklükler, pompanın en iyi verimde çalışma koşullarına uymalı ve hesaplar bu önemli noktadan hareketle yürütülmelidir. Aynı pompanın değişik devir sayılarında karakteristik büyüklükleri, verimler aynı değerlerde ($\eta_1 = \eta_2$) kalmak üzere "Ratexu" teoreminden veya "Benzerlik Yasaları"ndan (Benzerlik kuralları)

Toplam borusuz yüksekliği: H [m]



6/4 AH tipi pompa

Debi: Q [L/s]

Sekil 47 - Seri bağlı iki pompanın, değişken devirlerde, işletme karakteristik eğrileri [L23]

- * : Seri bağlı 2 pompa
- ** : Yatık eğri veya yatık karakteristik
- *** : Dik eğri veya dik karakteristik
- **** : Boru karakteristiği, yük karakteristik eğrisi veya tipik sistem direnci (karakteristiği)
- ***** : En iyi verim noktası (BEP: Best efficiency point) veya optimum nokta eğrisi

bulunabilir. Örneğin, farklı devir sayılarındaki 1 ve 2 noktasında aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

- Debi,

$$Q_2 = Q_1 (N_2/N_1) \text{ veya } N_2 = N_1 (Q_2/Q_1) \quad (19)$$

- Manometrik yükseklik,

$$H_2 = H_1 (N_2/N_1)^2 \text{ veya } N_2 = N_1 \sqrt{H_2/H_1} \quad (20)$$

- Mrl gücü,

$$P_{i2} = P_{i1} (N_2/N_1)^3 \text{ veya } N_2 = N_1 \sqrt[3]{P_{i2}/P_{i1}} \quad (21)$$

1, 2 noktaları benzer çalışma noktaları olup - 103. başlangıç noktasından geçen $Y = KQ^2$ parabolü üzerinde bulunurlar. K ya değişik değerler verildiğinde değişik çalışma noktalarının benzerlerinin geometrik yerleri elde edilir. $H_m = f(Q)$ eğrisi ile $H_y = f(Q)$ eğrisinin kesim noktası "çalışma noktası" adını alır.

Seri bağlı durumda toplam net yük, basit olarak her bir pompanın (verilen bir hacimsel debideki) net yüklerinin toplamıdır. n adet seri bağlı pompa için toplam net yük;

$$H_{\text{toplam}} = \sum_{i=1}^n H_i \quad (22)$$

dir.

1 ve 2 noktalarındaki farklı devir sayılarına göre karakteristik büyüklükler, sayısal örnek olarak Tablo 8 de gösterilmiştir ($\eta_1 = \eta_2 = 0,70$).

Nokta	N [d/d]	Q [L/s]	H [m]	P _i [kW]
1	850	56	14,2	14,5
2	1700	112	56,8	116
Oran (2/1)	2	2	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$

Tablo 8 - Şekil 47 ye göre farklı iki devirde, pompa performans değerleri [L 23].

Not: Pompa mil gücü eşitlik 10'dan hesaplanabilir.

Şimdi, $N_4 = 1300$ d/d da çalışan ve aynı -104- özellikleri taşıyan iki pompayı seri olarak bağlıyalım (Şekil 47). İki pompa seri olarak bağlandığında birinden geçen debi diğerinden ve basma borusunda geçecektir. Fakat pompaların manometrik basma yükseklikleri toplanacaktır. O halde, pompaların ortak karakteristiklerini bulmak için sabit debi değerlerine ait H değerlerini toplamak yeterli olacaktır. Böylece elde edilen (kesik çizgili) $H=f(Q)$ eğrisi ile boru karakteristiğinin (noktalı eğri) kesim noktası (3), pompaların çalışma noktasıdır. (3) noktası aynı zamanda tek çalışan $N_2 = N_3 = 1700$ d/d da aynı debideki pompanın da çalışma noktasıdır. Sayısal büyüklükler, Tablo 9 dan indirilebilir.

Nokta	N [d/d]	Q [L/s]	H [m]	η [%]	P_i [kW]
3	1700	100	60	69	111
4	1300	100	30	69	47
Oran (4/3)	0,76	1	0,5	—	0,42

Tablo 9 - Bir pompa ile seri bağlı iki pompaya ait karakteristik büyüklüklerin karşılaştırılması [L23]

Su bilgiyi de verelim, eşdeğer pompaların seri çalışması (Bir pompanın tek basma basma yüksekliğini karşılayamadığı durumlarda seri bağlama sistemi

uygulanabilir) halinde, bir pompanın çıkış devresi diğer pompanın alıcı devresidir.

Tablo 9' u inceleyelim.

Seri bağlı iki pompanın devir sayısı, $N_4 = 1300 \text{ d/d}$

Tek başına çalışan pompanın devir sayısı, $N_2 = N_3 = 1700 \text{ d/d}$

$$N_4 \approx \%76 N_3$$

Seri bağlı iki pompanın toplam mil gücü, $P_{i4} = 2.47 = 94 \text{ kW}$

Tek başına çalışan pompanın mil gücü, $P_{i3} = 111 \text{ kW}$

$$P_{i4} \approx \%84 P_{i3}$$

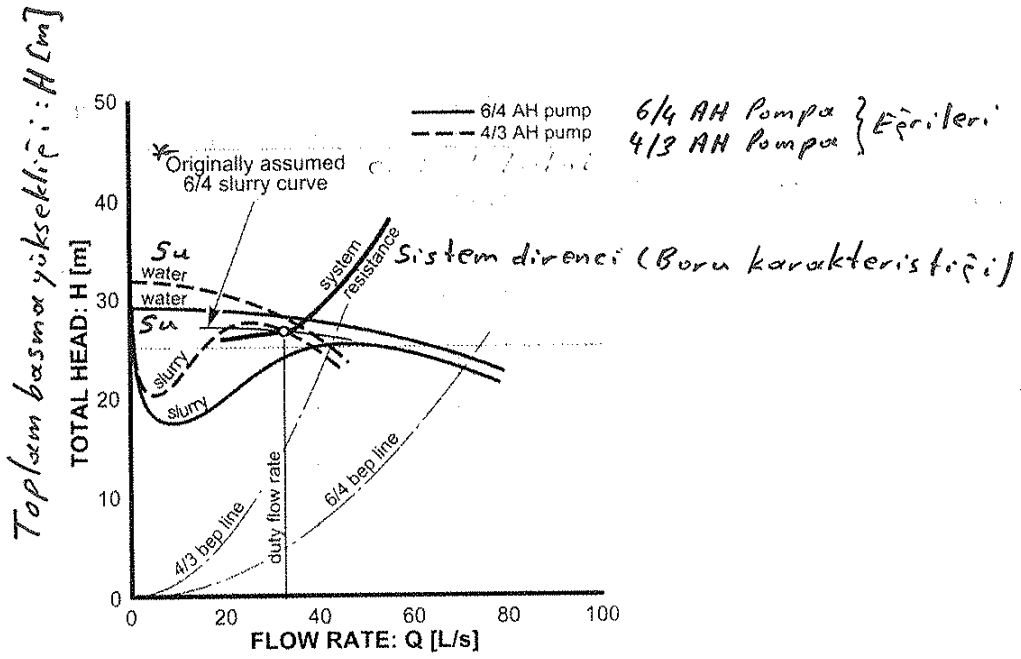
Seri bağlı iki pompa da, tek başına çalışan pompaya göre; devir sayısının daha küçük olması dolayısıyla aşınmanın azalacağı aynı zamanda güç tüketimindeki tasarruf nedeniyle de maliyet açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak, işletme zorlukları, yolvericiler, motorlar, borular ve boru bağlantı elemanları gibi faktörler göz önüne alınarak ekonomik bir maliyet analizi yapmak, planlamada karar vermemizi kolaylaştırır.

6- Yükseklik (HR) ve verimlilik (ER) oranları [L 23];

Önce "Bingham" akışkanlar ile ilgili:

Şekil 48' i inceleyelim.

Newton tipi olmayan akışkanlara "Bingham" akışkanları (Diş macunu, keşap, boyalar gibi) denir.



Debi: Q [L/s]

Şekil 48- "Binham" akışkanlarda beklenmedik sonuçlar [L23]
Slurry: Karışım (Akışkan)

4/3 bep line: 4/3 pompasının en iyi verim noktası eğrisi

6/4 bep line: 6/4 pompasının en iyi verim noktası eğrisi

duty flow rate: işletme (çalışma) debisi

*: Karışım veya akışkan için 6/4 pompasına ait varsayılan orjinal eğri

tanımlanmasından sonra 6/4 pompasını göz önüne alalım. işletme debisinde, sistem direnci (Boru karakteristiği) eğrisi ile karışımın gerçek H_m-Q eğrisi kesişmemiştir yani çalışma noktası oluşmamıştır yani, pompa sistem direncini yenemediği için karışımı basamamaktadır. Bu olay dikkat edilmesi gereken önemli bir sonuçtur. 6/4 pompasına ait varsayılan karakteristik eğrisine göre ise, çalışma noktası oluşmuş ve pompa akışkanı basabilir durumda gelmiştir.

Şimdi, test çalışması ile HR ve ER değerlerinin elde edilmesine bir örnek verelim.

Test edilen pompa tipi : Warman 14/12 FF-AH

Pompa devir sayısı : $N = 510 \text{ d/d}$

İşletme debisi : $Q = 500 \text{ L/s}$

Katının :

Özell yoğunluğu : $S = 2,65$

Ortalama partikül (tane) büyüklüğü : $d_{50} = 0,5 \text{ mm}$

Maksimum partikül (tane) büyüklüğü : $d_{max} = 12 \text{ mm}$

Karışımın :

Ağırlıkça katı oranı : $C_w = \%60$

Hacimce katı oranı : $C_v = \%36$

Çark çapı : $D_i = \phi 965 \text{ mm}$

d_{50}/D_i oranı : $d_{50}/D_i \approx 0,0005$

Pompa test sonuçları Şekil 49 da verilmiş olup bu şekli inceleyelim.

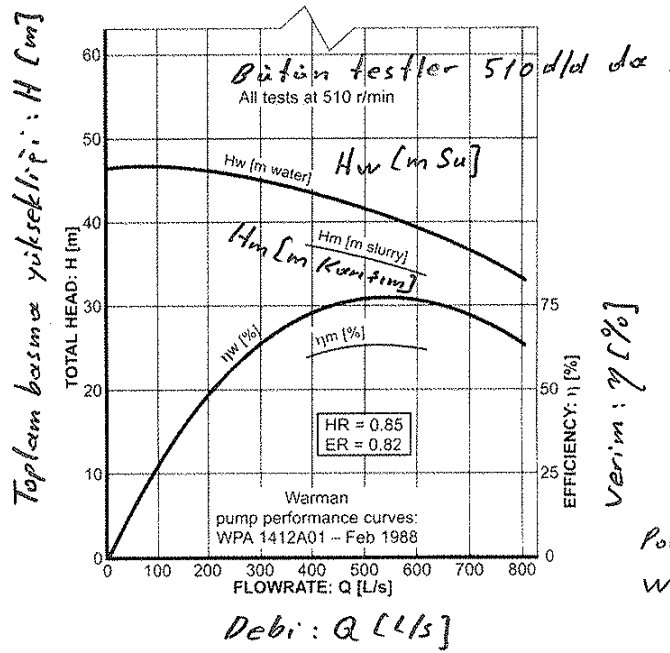
$$\left. \begin{array}{l}
 d_{50} = 0,5 \text{ mm} \\
 S = 2,65 \\
 C_v = \%36 \\
 d_{50}/D_i = 0,0005
 \end{array} \right\} \parallel \begin{array}{l}
 ER = 0,82 \\
 HR = 0,85
 \end{array} \quad (\text{Şekil 15})$$

Bulunan HR ve ER değerleri ile,

$$HR = \frac{H_{m \text{ karışım}}}{H_{m \text{ su}}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$ER = \frac{\gamma_{\text{karışım}}}{\gamma_{\text{su}}} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

olduğuna göre, $Q = 500 \text{ L/s}$ için,



Şekil 49- Yükseklik (HR) ve verimlilik (ER) oranları için pompa test sonuçları [L 23].

$$H_w \approx 41,3 \text{ m Su}$$

$$\eta_w \approx \%77$$

büyüklikleri okunur ise,

$$H_{m \text{ karışım}} = HR \cdot H_{m \text{ su}} = 0,85 \cdot 41,3$$

$$\| H_{m \text{ karışım}} \approx 35 \text{ m Karışım}$$

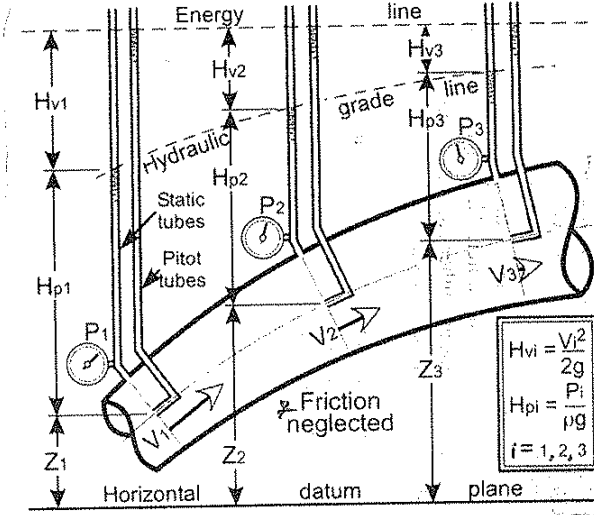
$$\eta_{m \text{ karışım}} = ER \cdot \eta_w = 0,82 \cdot 0,77$$

$$\| \eta_{m \text{ karışım}} \approx \%63$$

elde edilir.

7- Hidrolik eğim çizgisi (HGL veya HEE) ve
Enerji eğim çizgisi (EGL veya EEF)
[L 23, L 27];

Şekil 50 yi inceleyelim [L 27],



x: Sürtünme ihmal edilmiştir.

Yatay referans düzlemi:

Şekil 50 - Bir boruda akışkanın toplam yükü [L 23]

Energy line : Enerji eğrisi (EF)

Hydraulic grade line : Hidrolik eğim eğrisi (HEE)

static tubes : Statik tüp

Pitot tubes : Pitot tüpü

Bernoulli denklemindeki her bir terim ρ ile bölünürse, bir akım eğrisi boyunca,

$$\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z = H = \text{Sabit} \quad (23)$$

yazılır. Bu denklemden her bir terim uzunluk birimine dedir ve aşağıda açıkladığı gibi her biri akışkana ait bir eşit "yük"ü ifade eden.

• $P/\rho \cdot g$ basınç yükü. P statik basıncını meydana getiren akışkan sütunu yüksekliğini temsil eder (H_p)

- $V^2/2g$ hız yükü. Akışkanın sürtünmesiz serbest düşmesi sırasında V hızına ulaşması için gerekli olan yüksekliği temsil eder (H_v)
- Z yükseklik yükü. Akışkanın potansiyel enerjisini temsil eder.

Ayrıca H akışın toplam yüküdür. Böylece, Bernoulli denklemi yükler cinsinden; Sıkıştırılabilirlik ve sürtünme etkilerinin ihmal edilebilir olduğu daimi akış esnasında bir akım çizgisi boyunca basınç, hız ve yükseklik yüklerinin toplamı sabittir şeklinde açıklanabilir (Şekil 50).

Bir piyezometre (statik basıncı ölçer) bir boruya bağlandığında (Şekil 50) sıvı, boru merkezinden P/g yüksekliğine çıkar. Hidrolik eğim çizgisi (HEÇ) bu şekilde birkaç piyezometreyi boru boyunca farklı noktalardan boruya bağlanarak ve piyezometrelerdeki sıvı seviyeleri arasında çizgi çizilerek elde edilir. Boru merkezinden olan dikey mesafe boru içindeki basıncı verir. Benzer şekilde, eğer bir Pitot tüpü (statik + dinamik basıncı ölçer) boruya bağlanırsa, sıvı boru merkezinden $P/g + V^2/2g$ yüksekliğine ya da HEÇ den $V^2/2g$ mesafesi kadar yukarı çıkar. Enerji eğim çizgisi (EEÇ, yatay ise enerji çizgisi: EÇ) bu şekilde birkaç pitot tüpünü boru boyunca farklı noktalardan boruya bağlayarak ve Pitot tüplerindeki sıvı seviyeleri arasında çizgi çizilerek elde edilir.

Akışkanın kendisininde ayrıca z yükseklik yükü^{-III-}
nın (referans düzlemi borunun merkez eizgisi alın-
madığı sürece) olduğunu p_0 önünde bulundurarak
 $HEÇ$ ve $EEÇ$ şu şekilde tanımlanabilir :

- Statik basınç ve yükseklik yüklerinin toplamını
ifade eden eizgiye,

$$p/\rho_f + z$$

hidrolik eğim eizgisi denir.

- Akışkanın toplam yükünü ifade eden eizgiye,

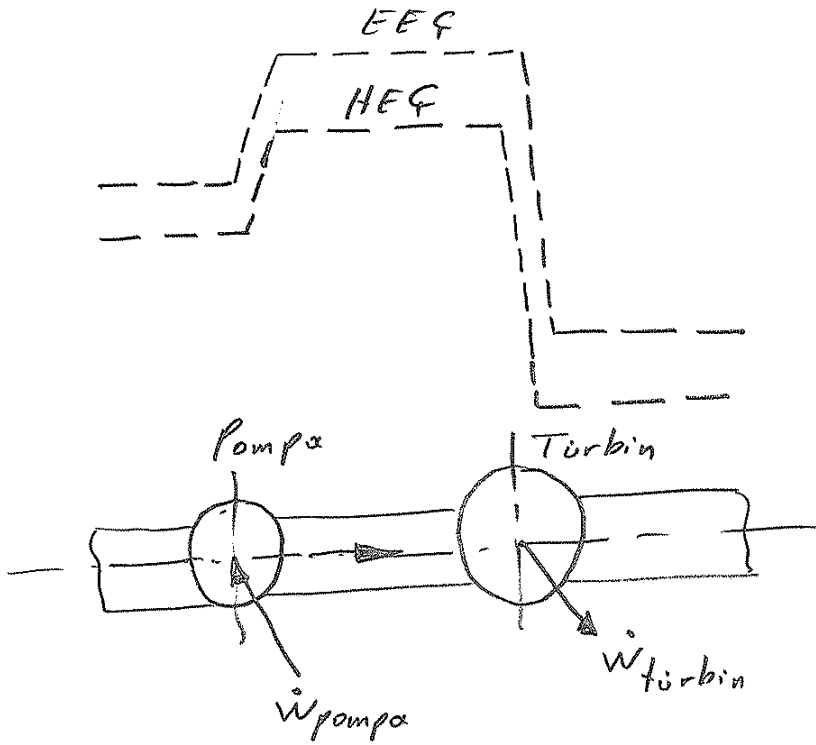
$$p/\rho_f + V^2/2g + z$$

enerji eğim eizgisi denir.

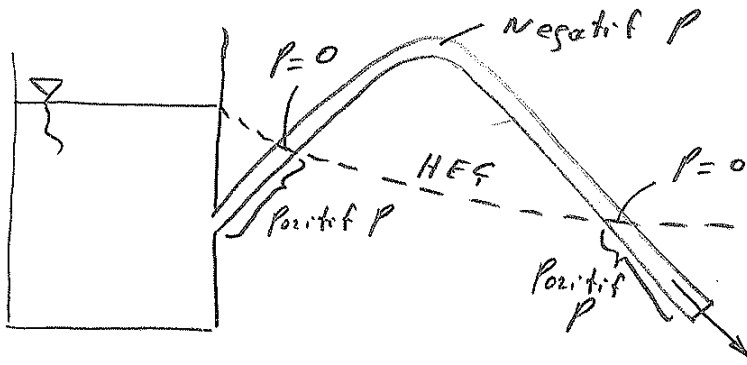
$EEÇ$ ile $HEÇ$ arasındaki fark $V^2/2g$ dinamik
yükü verir. $HEÇ$ ve $EEÇ$ ile ilgili olarak aşağı-
daki hususlara dikkat etmek gerekir :

- Su depoları ve göller gibi durgun haldeki kütlelerde
 $EEÇ$ ve $HEÇ$ sıvının serbest yüzeyi ile eşaktır.
Böyle durumlarda serbest yüzeyin yüksekliği z ,
hız ve statik basınç (etkin basınç) sıfır olduğundan,
hem $EEÇ$ hem de $HEÇ$ yi gösterir.
- $EEÇ$ her zaman $HEÇ$ nin $V^2/2g$ lik dikey mesafe
kadar üzerinde olur. Bu iki eizgi hız azaldıkça
birbirlerine yaklaşır ve hız arttıkça birbirlerinden
uzaklaşır. Hız arttıkça $HEÇ$ 'nin yüksekliği azalır
ve tam tersi şekilde hız azaldıkça $HEÇ$ 'nin yük-
sekliği artar. Böylece, borulama sisteminin ve

- 112-
- İdealleştirilmiş Bernoulli - tipi akışta, EEF yataydır ve yüksekliği değişmeden sabit kalır. Akış hızı sabit olduğunda HEF de yine aynı şekil de sabit kalır.
 - Açık-kanal akışında HEF sıvının serbest yüzeyi ile eşaktır ve EEF, $V^2/2g$ 'lik düzey mesafe kadar serbest yüzeyin üzerindedir.
 - Boru çıkışında basınç yükü sıfırdır (atmosferik basınç) ve bu nedenle HEF boru çıkışı ile eşaktır.
 - Sürtünme etkileri sonucunda (ısı enerjisiye dönüşüm ile) oluşan mekanik enerji kayıpları, EEF ve HEF 'nin akış yönünde aşağı doğru eğim kazanmasına neden olur. Eğim boru içerisindeki yük kaybını verir. Bir vana gibi önemli oranda sürtünme etkisi meydana getiren bir eleman, o noktada EEF ve HEF 'de ani düşüşe neden olur.
 - Ne zaman akışkana mekanik enerji verilse, EEF ve HEF 'de dik bir sırtama görülür. Yine aynı şekilde, ne zaman akışkandan mekanik enerji çekilse (örneğin bir türbin ile) EEF ve HEF 'de dik bir düşüş görülür (Şekil 51)
 - HEF 'nin akışkanla kesiştiği yerlerde akışkanın (etkin) basıncı sıfırdır. HEF 'nin üzerinde kalan akış kesimlerinde basınç negatif ve altında kalan akış kesimlerinde ise basınç pozitifdir (Şekil 52).



Şekil 51- Bir pompayla akışkana mekanik enerji verildiğinde EEF de ve HEF 'de dik bir sıçrama; bir türbin ile akışkandan mekanik enerji çekildiğinde ise EEF de ve HEF de dik bir düşüş meydana gelir [L 27].

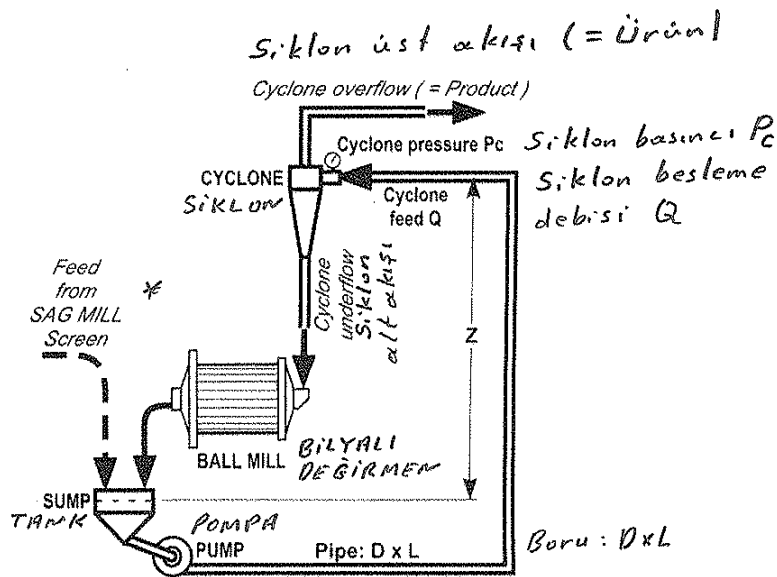


Şekil 52- HEF 'nin akışkanla kesiştiği yerlerde akışkanın (etkin) basıncı sıfırdır ve HEF 'nin üzerinde kalan akış kesimlerinde basınç negatifdir (vakum basıncı).

HEÇ'in hassas fizimi, boru içindeki basıncın negatif olduğu (atmosfer basıncının altında) bölgeleri belirlemede kullanılabilir. Yani; basıncın sıvının buhar basıncının altında düşmesini (ki bu durum kaviteasyon oluşumuna yol açar) engellememize olanak sağlar.

8- Bilyalı değirmen (öğütücü), deşarj (boşaltma) pompası ve siklon (ayırıcı) devresi [L23].

Akım şeması Şekil 53 te verilen ve bakır cerberi kullanılan örneği söz önüne alalım.



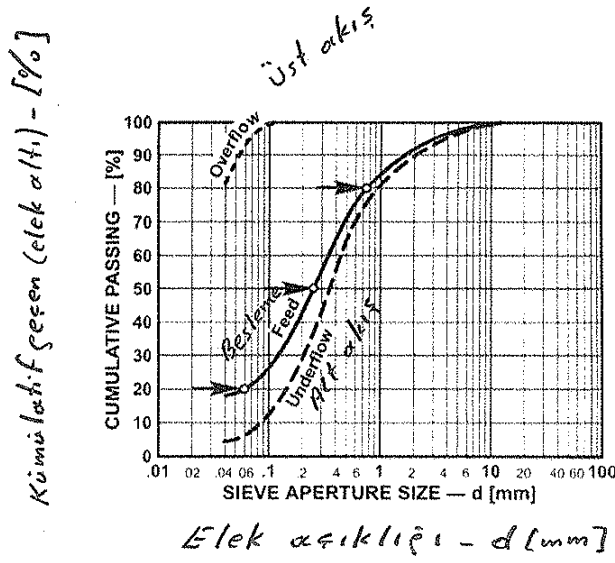
Şekil 53 - Bilyalı değirmen, pompa ve siklon akım şeması [L23]

* : SAG (Semi-Autogenous) öğütücü ve elek'ten besleme.

Katının özgül yoğunluğu : $S = 2,85$
 Siklon besleme (karışım) debisi : $Q = 61,7 \text{ L/s}$

Karışımın :
 Ağırlıkta katı oranı : $C_w = \%40$
 Hacimce katı oranı : $C_v = \%19$
 Özgül yoğunluğu : $S_m = 1,35$

verileri ile birlikte, tane büyüklüğü dağılımında Şekil 54 te gösterilmiştir. -115-



Şekil 54 - Siklonun besleme, alt akışı ve üst akışındaki tane büyüklüğü dağılımı [L23].

Bizi ilgilendiren siklon besleme akışındaki tane büyüklükleri olduğum için,

$$\left. \begin{aligned} d_{20} &= 0,06 \text{ mm} = 60 \mu\text{m} \\ d_{50} &= 0,25 \text{ mm} = 250 \mu\text{m} \\ d_{80} &= 0,75 \text{ mm} = 750 \mu\text{m} \end{aligned} \right\} \text{ (Şekil 54 Besleme eğrisi)}$$

değerleri okunur. Burada,

$$d_{80} / d_{20} = 750 / 60$$

$$\| d_{80} / d_{20} = 12,5 > 5$$

dir.

Önerilen siklon; Warman 500 CVX CAVEX olup geometrik parametreleri;

Gövde çapı - - - - - : 0,500 m

Giriş çapı - - - - - : 0,160 m

Vorteks (Girdap) kalavuz çapı - - : 0,185 m (Üst akış çapı)

Boşaltma borusu çapı - - - - - : 0,100 m

şeklinde dir. Ayrıca, siklon giriş basıncı,

- 116-

$$P_c = 65 \text{ kPa}$$

olarak tespit edilmiştir.

Şekil 53 te gösterilen pompa devresinde,

- Pompa tankının ortalamaya su seviyesi ile siklon giriş arasındaki mesafe,
 $Z = 16 \text{ m.}$

- Boru iç çapı,

$$D = 0,150 \text{ m}$$

- Eşdeğer boru uzunluğu,

$$L = 30 \text{ m}$$

ive seçilen pompa,

$$6/4 \text{ E-AH}$$

tipi Warman karışım (Pülp veya çamur) pompa-
sıdır. Sert-metal çarka sahip olan pompanın
çark dış çapı,

$$D_c = 0,365 \text{ m}$$

olup pompanın performans eğrileri de Şekil 55 te
verilmiştir.

$$Q = 61,7 \text{ L/s} = 61,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

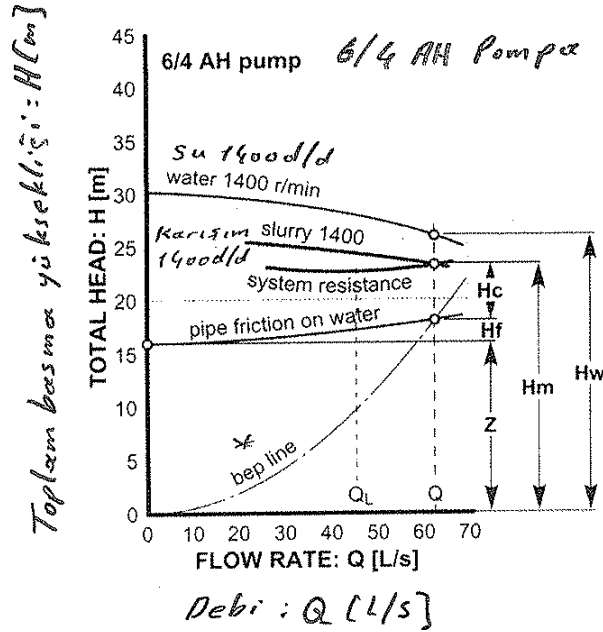
$$D = \phi 0,150 \text{ m.}$$

olduğuna göre, boru şebekesinde oluşan perçak
karışım hızı,

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$61,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} (0,150 \text{ m})^2 \cdot V$$

$$\| \underline{V = 3,5 \text{ m/s}}$$



Sistem direnci
Boru sürtünmesi (su da)

* :
En iyi verim noktası
eğrisi

Şekil 55 - Su ve karışım için
performans ve sistem
direnç eğrileri [L23].

$$d_{80}/d_{20} = 12,5 > 5$$

dolayısıyla, minimum şokme hızı faktörü,

$$\left. \begin{array}{l} d_{50} = 250 \mu\text{m} \\ C_V = \% 19 \end{array} \right\} \parallel F_L = 1,1 \quad (\text{Şekil 5})$$

okunur ve minimum şokme hızı,

$$V_L = F_L \sqrt{2 \cdot \rho \cdot D (S - S_w) / S_w} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$V_L = 1,1 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,150 (2,85 - 1) / 1}$$

$$\parallel \underline{V_L \approx 2,57 \text{ m/s}}$$

bulunur.

$$V (= 3,5 \text{ m/s}) > V_L (= 2,57 \text{ m/s})$$

olduğundan, seçilen boru çapı $D = \phi 150 \text{ mm}$ uygundur yani boruda bir sıkma meydana gelmez.
Darcy sürtünme faktörünü bulalım.

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$Re = \frac{3,5 \text{ m/s} \cdot 0,150 \text{ m}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\| \underline{Re = 5,25 \cdot 10^5}$$

Ticari çelik için, yüzey pürüzu (pürüzlülüğü)
 $e = 0,042 \text{ mm}$ (Şekil 10, 11 ve 12 ortalama değer)
alınırsa, Bağıl (izafi) pürüzlülük,

$$\frac{e}{D} = \frac{0,042}{150}$$

$$\| \underline{\frac{e}{D} = 2,8 \cdot 10^{-4} = 0,00028}$$

elde edilir. Darcy sürtünme faktörü de,

$$\left. \begin{array}{l} Re = 5,25 \cdot 10^5 \\ D = \phi 0,150 \text{ m} \\ e = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{array} \right\} \| \underline{f = 0,016} \quad (\text{Şekil 10, 11})$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{e}{D} = 0,00028 \\ Re = 5,25 \cdot 10^5 \end{array} \right\} \| \underline{f = 0,016} \quad (\text{Şekil 12, 13})$$

olarak okunur veya,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{e/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \quad (\text{Eşitlik 6})$$

kullanılarak,

- 119 -

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{5,25 \cdot 10^5} + \left(\frac{0,00028}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 7,92$$

$$\| f \approx 0,016$$

aynı değer hesapla bulunabilir

Borudaki sürtünme yük kaybı,

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$H_f = 0,016 \cdot \frac{30 \text{ m}}{0,150 \text{ m}} \frac{(3,5 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$\| H_f = 1,99 \text{ m karışım}$$

Siklon basıncı $P_c = 65 \text{ kPa}$ olduğuna göre siklon yükü,

$$H_c = P_c / \rho \cdot g \quad (\text{Eşitlik 23})$$

$$H_c = \frac{65000 \text{ Pa} (= 65000 \text{ N/m}^2)}{1350 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{65000 \text{ N/m}^2}{1350 \cdot 9,81 \text{ N/m}^3}$$

$$\| H_c = 4,91 \text{ m karışım}$$

ve statik yük (yükseklik yükü) $z = 16 \text{ m}$ olarak verildiğine göre pompanın sürekli olan toplam basma yüksekliği,

$$H_m = z + H_f + H_c$$

$$H_m = 16 + 1,99 + 4,91$$

$$\| \underline{H_m = 22,9 \text{ m karışım}}$$

bulunur. Şimdi yükseklik (HR) ve verimlilik (ER) oranlarını bulalım.

$$d_{50} = 0,25 \text{ mm}$$

$$S = 2,85$$

$$C_v = \%19$$

$$d_{50}/D_i = 0,25/365 = 0,0007$$

$$\left. \begin{array}{l} HR = 0,88 \\ ER = 0,88 \end{array} \right\} \underline{\hspace{2cm}} \text{ (Şekil 15)}$$

okunan bu değerler ile,

$$HR = \frac{H_m \text{ karışım}}{H_{msu}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$ER = \frac{\eta_{\text{karışım}}}{\eta_{su}} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$H_w = \frac{22,9}{0,88} \rightarrow \| \underline{H_w = 26 \text{ m su}}$$

olarak hesaplanır.

$$\left. \begin{array}{l} Q = 61,7 \text{ L/s} = 61,7 \cdot 3,6 = 222,12 \text{ m}^3/\text{h} \\ H_w = 26 \text{ m su} \end{array} \right\}$$

için, WARMAN 6/4 AH pompasında (Şekil 56)

$$\| \underline{\eta_{su} \approx \%69}$$

okunur. (Verilen pompa: 6/4 E-AH tipi olup, E-Konstrüksiyon özelliğindedir. S: 64)

Dolayısıyla, karışımındaki pompa verimi,

$$\eta_m = 0,88 \cdot \%69$$

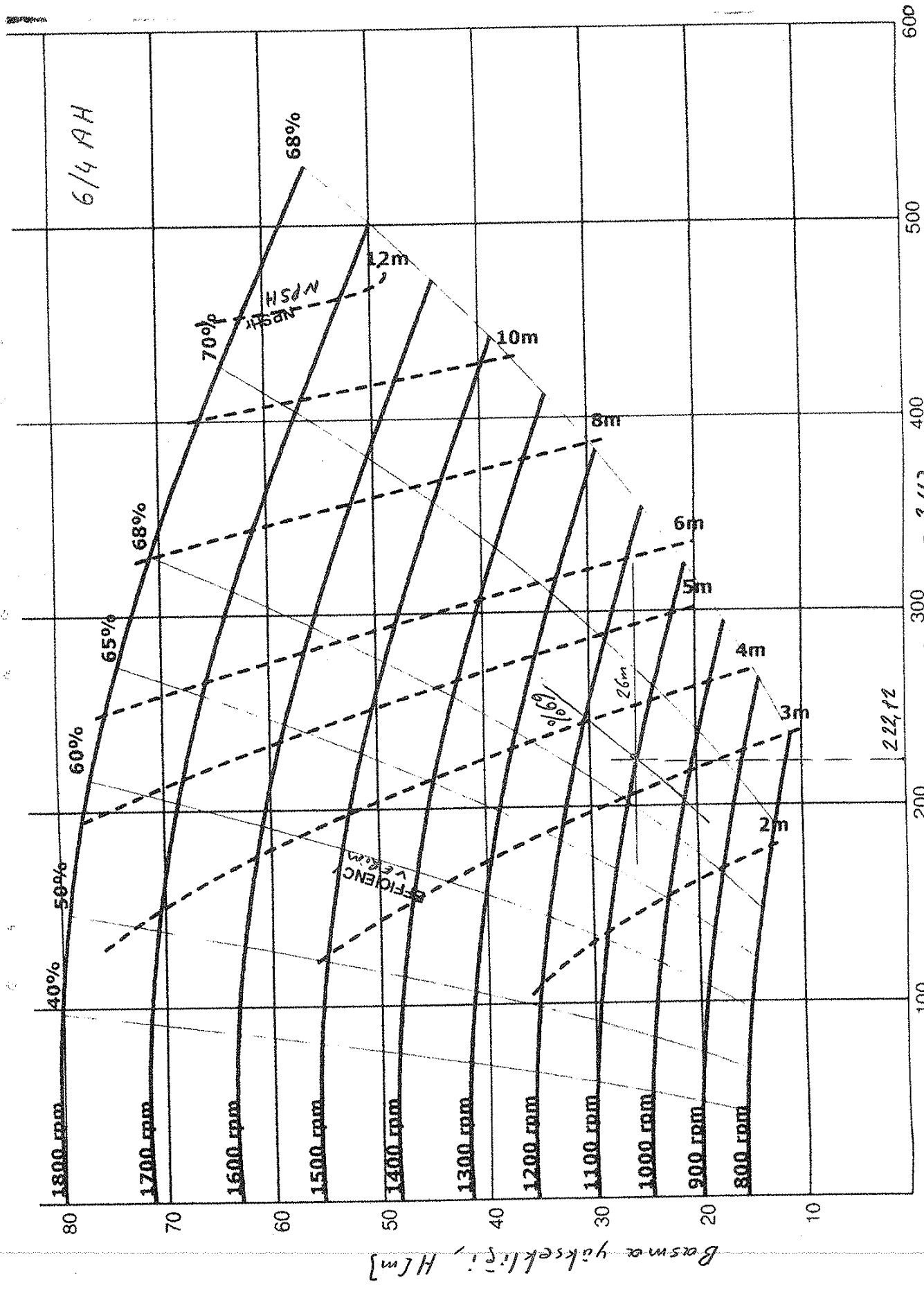
Karışım (Çamur veya Pülp)

Pompası ile ilgili

bir inceleme

- VII -

Kamerhan



Sek. 156 - WARMAN, yatay pompa 6/4AH tipi için karakteristik eğriler [L26]
 (Temiz su için referans)

$$\| \underline{\eta_m = \%60,7}$$

olur. Şekil 55 ile ilgili bir bilgi verelim;

- Bir pompalama sisteminin çalışma noktası, sistem eğrisi (direnci) ile pompa performans eğrisinin kesiştiği hacimsel debi de olur,
- Pompanın max. verimli çalışma noktasına, en iyi verim noktası denir.

Gerekli olan pompa mil gücü,

$$\dot{W}_{mil} = \frac{\rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H}{\eta_{pompa}} \cdot (10^{-3} \text{ kW/W}) \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$\dot{W}_{mil} = \frac{(1350 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/s}^2)(64,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})(22,9 \text{ m})}{0,607} \cdot 10^{-3}$$

$$\| \underline{\dot{W}_{mil} = 30,8 \text{ kW}}$$

Pompa motor gücü,

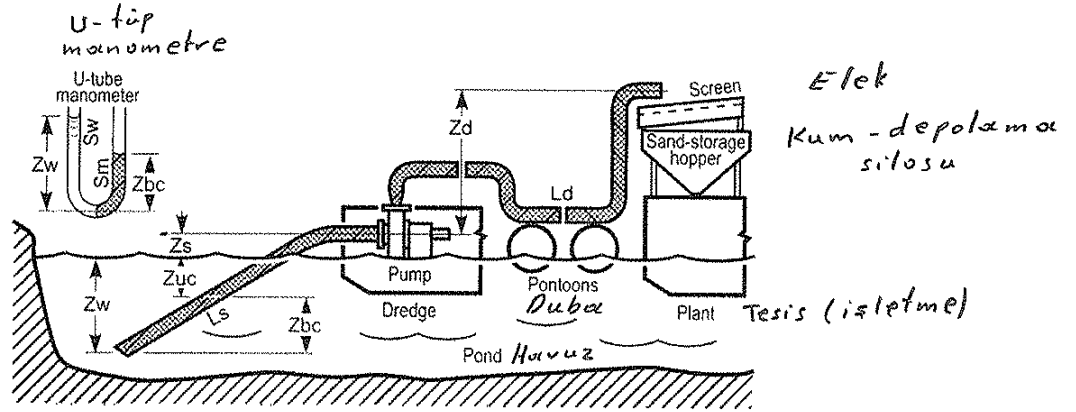
$$\| \underline{\dot{W}_{ef} = 37 \text{ kW}}$$

%20 emniyet payı ile seçilebilir.

9- Tarak pompaları [L 23].

Bu tip pompalar; kum, çakıl, kil v.s ve su karışımını basmaya yararlar. Bunlar tarama işlerinde veya buna benzer katı-sıvı karışımlarının iletilmesi işlerinde kullanılır.

Konu ile ilgili, Şekil 57 de verilen sisteme göre su-kum karışımının pompalanmasında ait sayısal bir örnek yapalım.



Şekil 57 - Pompa-Kum yüzer tesisi [L23] [L23].
 Pump: Pompa
 Dredge: Tarakma (Tarak makinesi)

Veriler :

- Çevre ortam : $H_{atm} = 10,3 \text{ m su}$
- Su : $S_w = 1, T_w = 25^\circ \text{C (Max.)}, H_{vap} = 0,3 \text{ m.}$
- Kum : $S = 2,65, d_{50} = 200 \mu\text{m}, C_w = \%30,$
 $C_v = \%14, S_m = 1,24$
- Emme borusu iç çapı : $D_s = 0,250 \text{ m}$
- Toplam eşdeğer boru (emme) uzunluğu : $L_s = 15 \text{ m.}$

Çeşitli Q debi değerlerine karşılık pelen, temiz suyun ve karışımın (su-kum) pompalanmasında elde edilen sonuçları Tablo 10 da göstereyim (Hesapları önceki örneklerde yaptığımız için, tekrarlamak istemedik)

a) Temiz suyun pompalanmasında, H_s' ve $NPSH_a$ değerleri:

Q [L/s]	100	150	200	250
V_s [m/s]	2,0	3,1	4,1	5,1
H_{vs} [m]	0,2	0,5	0,9	1,3
$H_i = H_{vs}$ [m]	0,2	0,5	0,9	1,3
H_{fs} [m]	0,2	0,4	0,7	1,1
Z_s [m]	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
$H_s' = Z_s - H_i - H_{fs}$ [m Su]	-0,9	-1,4	-2,1	-2,9
H_{atm} [m Su]	10,3	10,3	10,3	10,3
H_{vap} [m Su]	0,3	0,3	0,3	0,3
$NPSH_a = (H_{atm} - H_{vap}) - H_s'$ [m Su]	9,1	8,6	7,9	7,1

b) Karışımın pompalanmasında, H_s ve $NPSH_a$ değerleri:

Z_w [m]	3,0	3,0	3,0	3,0
$Z_{bc} = Z_w \cdot S_w / S_m$ [m Karışım]	2,4	2,4	2,4	2,4
$Z_{uc} = Z_w - Z_{bc}$ [m Karışım]	0,6	0,6	0,6	0,6
$H_s = H_s' - Z_{uc}$ [m Karışım]	-1,5	-2,0	-2,7	-3,5
* $NPSH_a = (H_{atm} - H_{vap}) / S_m - H_s$ [m Karışım]	6,56	6,06	5,36	4,56

Tablo 10 - Geçitli Q debilerine karşılık gelen, temiz

suyun ve karışımın (su - kum) pompalanmasında elde edilen H_s (pompa emme yüksekliği) ve $NPSH_a$ (mevcut veya kullanılabilir net pozitif emme yükü) değerleri [L23].

Z_s [m] - Statik emme yüksekliği

Z_w [m] - Su seviyesi ile emme borusu giriş arasındaki mesafe

Z_{bc} [m] - Dengelemiş karışım yüksekliği

Z_{uc} [m] - Dengelememiş karışım yüksekliği

* : Literatürdeki değerler : 6,8 ; 6,3 ; 5,6 ve 4,8 dir.

Şimdi, pompanın çıkış (basma) tarafını göz önüne alalım;

- Basma borusu iç çapı : $D_d = 0,250\text{ m}$
- Toplam eşdeğer boru (basma) uzunluğu : $L_d = 150\text{ m} / 400\text{ m} (= \text{min./max.})$

ve Tablo 11'i oluşturalım.

$Q [L/s]$	100	150	200	250
$V_d [m/s]$	2,0	3,1	4,1	5,1
$H_{vd} [m]$	0,2	0,5	0,9	1,3
$H_{fd} [m]$	2,6/8,7	5,9/19,7	10,5/35,0	16,3/54,5
$H_e = H_{vd} [m]$	0,2	0,5	0,9	1,3
$Z_d [m]$	5,0	5,0	5,0	5,0
$H_d = \pm Z_d + H_f + H_e [m Su]$	7,8/13,9	11,4/25,2	16,4/40,9	22,6/60,8

Tablo 11 - Geçitli Q debilerine karşılık gelen, temiz suyun pompalandığında elde edilen H_d (pompa basma yüksekliği) değerleri [L 23].

Ayrıca,

- Temiz su pompalandığında, toplam statik yükseklik Z' ;

$$Z' = Z_d - Z_s [m] \rightarrow 5,5 ; 5,5 ; 5,5 ; 5,5$$

- Karışım pompalandığında, toplam statik yükseklik Z ;

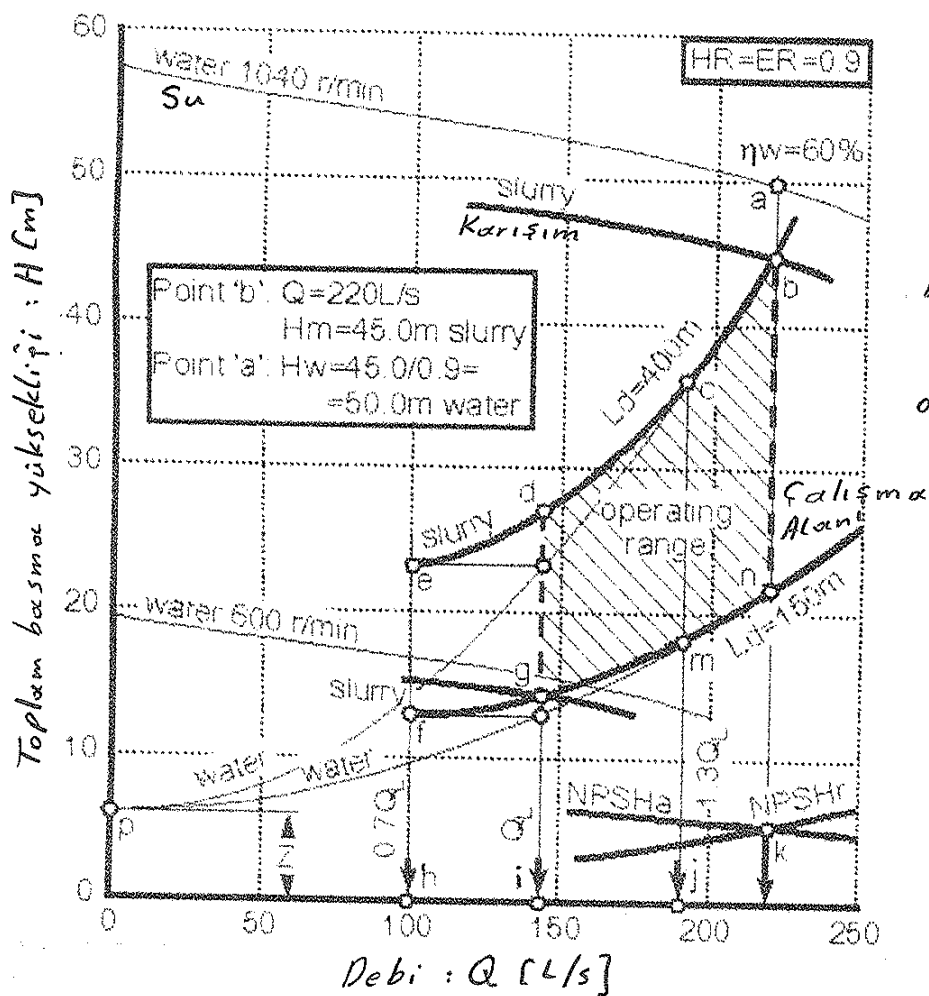
$$Z = Z' - Z_{uc} [m] \rightarrow 6,1 ; 6,1 ; 6,1 ; 6,1$$

- Temiz su pompalandığında toplam basma yüksekliği H ;

$$H = H_d - H_s [m Su] \rightarrow 9,3/15,4 ; 13,4/27,2 ; 19,1/43,6 ; 26,1/64,3$$

değerleri elde edilebilir.

Şekil 57'deki tesis için önerilen pompa Wörman 10/8 F-G olduğuna göre (Fark $\epsilon_{\text{F}} = D_i = 0,533 \text{ m}$ dir), bu pompanın performans eğrileri ile $L_d = 150 \text{ m} / 400 \text{ m}$ basma borusu uzunluğuna karşılık gelen su-sistem direnci eğrileri toplu olarak Şekil 58'de verilmiştir. Verilen ve hesaplanan değerlerden faydalanarak Şekil 58'a inceleyelim.



b noktası :
 $Q = 220 \text{ L/s}$
 $H_m = 45 \text{ m Karışım}$
a noktası :
 $H_w = 45 / 0,9$
 $= 50 \text{ m Su}$

Şekil 58- Pompa performans ve sistem direnci eğrileri [L 23]

(p-b) eğrisi : Su ve $L_d = 400$ m için sistem direnç eğrisi

(p-n) eğrisi : Su ve $L_d = 150$ m için sistem direnç eğrisi

p noktası : Toplam statik yükseklik Z [m] değeri: (Z' değil)

V_L : Durand's minimum çökme hızı (Eşitlik 3)

Q_L : V_L hızına karşılık gelen debi (Eşitlik 2)

i noktası : $Q_L = 144$ L/s

h noktası : $0,70 \cdot Q_L = 100,8$ L/s

j noktası : $1,3 \cdot Q_L = 187,2$ L/s

(e-d-c) eğrisi : Karışım ve $L_d = 400$ m için sistem direnç eğrisi

(f-f-m) eğrisi : Karışım ve $L_d = 150$ m için sistem direnç eğrisi

i, f ve d noktaları : Boru içindeki katı maddelerin çökmesini önlemek için, perekli olan minimum debiyi belirleyen noktalar

k noktası ($= 220$ L/s) : NPSH_a ve NPSH_r eğrilerinin kesişme noktası ki, bu noktaya karşılık gelen hacimsel debi, kavitasyon oluşmaksızın pompa tarafından basılabilecek maksimum debiyi temsil eder. (Dolayısıyla n ve b noktaları)

Su halinde sistemin çalışma (uygulama) alanı,

(b-d-f-n) alanı ile sınırlıdır.

Şekil 58'i incelemeye devam edelim.

$Q = 220$ L/s debide, toplam basma yüksekliği

$H_m = 45$ m Karışım.

$$\left. \begin{aligned} d_{50} &= 200 \mu\text{m} = 0,2 \text{ mm} \\ D_i &= 533 \text{ mm} \\ d_{50}/D_i &= 0,000375 \\ S &= 2,65 \\ C_v &= \% 14 \end{aligned} \right\} \parallel \text{HR} = \text{ER} = 0,9 \quad (\text{Şekil 15})$$

Su için toplam basma yüksekliği,

$$H_w = \frac{H_m}{\text{HR}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$H_w = \frac{45}{0,9}$$

$$\parallel \underline{H_w = 50 \text{ m Su}}$$

Pompa devri $N = 1040 \text{ d/d}$ ve su basılması halinde, pompa performans eğrisinden $Q = 220 \text{ L/s}$ debiye karşılık gelen pompa verimi $\eta_w = \% 60$ (a noktası) olarak okunursa, karışım basılması halinde bu verim,

$$\eta_m = \text{ER} \cdot \eta_w \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$\eta_m = 0,9 \cdot 0,60$$

$$\parallel \underline{\eta_m = \% 54}$$

olar (b noktasındaki verim).

Minimum pompa devri 600 d/d da ise karışım için pompa verimi η noktasındadır.

Gerekli olan max. pompa mil gücü,

$$\dot{W}_{\text{mil}} = \frac{S \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot H}{\eta_{\text{pompa}}} \quad (10^{-3} \text{ kW/W}) \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$\dot{W}_{mil} = \frac{(1240 \text{ kg/m}^3) (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (220 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) (45 \text{ m Kesim}) \cdot 10^{-3}}{0,54} \cdot 10^{-3}$$

$$\| \dot{W}_{mil} = 223 \text{ kW}$$

Pompa motor gücü,

$$\| \dot{W}_{ef} = 250 \text{ kW}$$

%12 emniyet payı ile seçilebilir.

Gerekli olan pompa mil gücünü [L23] teki gibi de

$$P_i = \frac{Q \cdot H_m \cdot S_m}{\eta \cdot \gamma_m}$$

P_i	Q	H_m	S_m
kw	L/s	m. Kesim	-

$$P_i = \frac{220 \cdot 45 \cdot 1,24}{1,02 \cdot 54}$$

$$\| P_i = 222 \text{ kW}$$

hesaplayabiliriz.

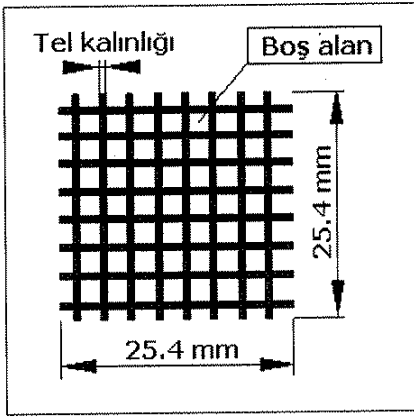
10 - "Mesh" nedir, nasıl hesaplanır.

Mesh, bir elekten geçebilen en büyük parçanın ölçüsü olup, hesaplanması Tablo 12 de verilmiştir.

11 - Şekil 29'a ait ayrıntılı bilgiler;

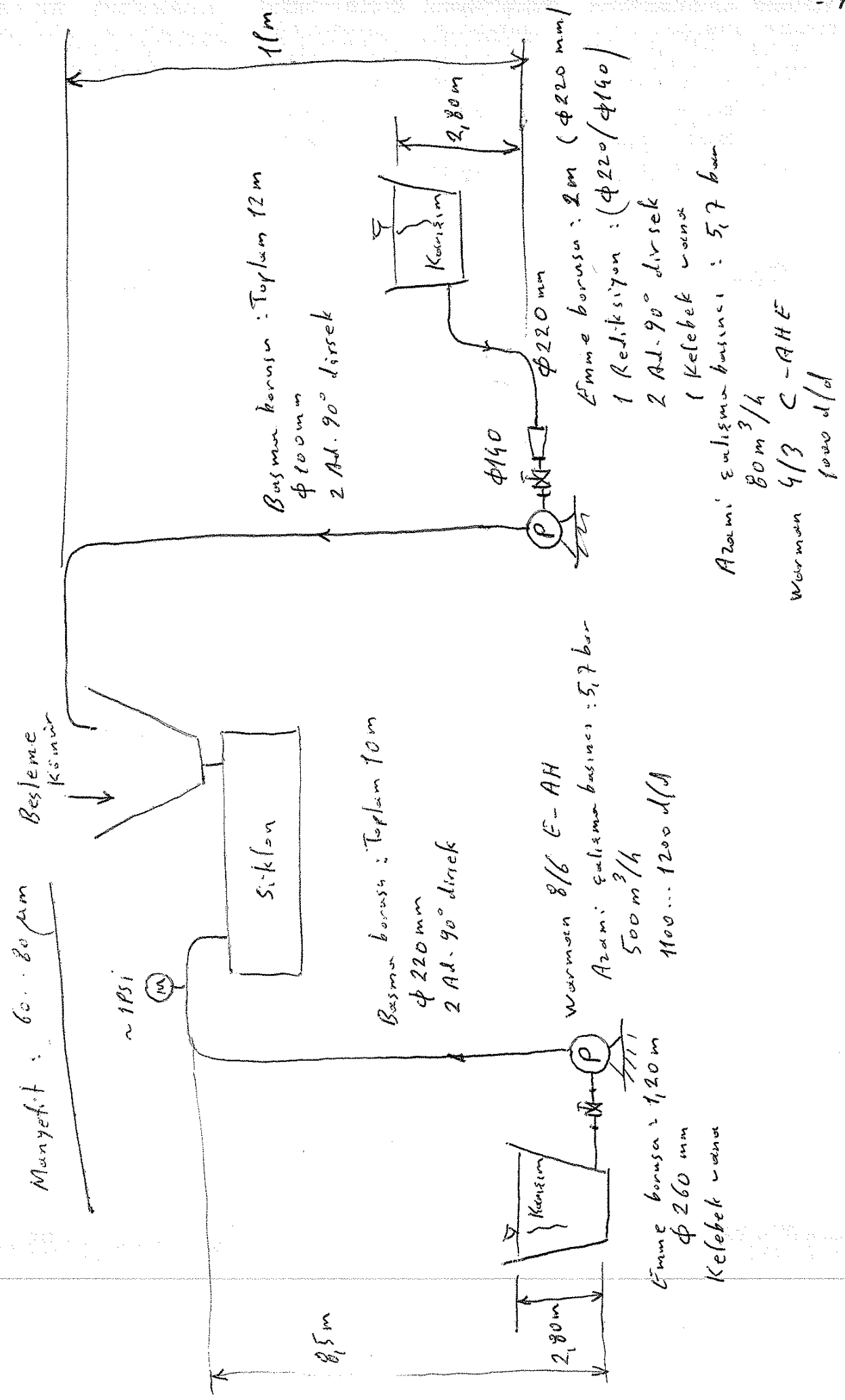
Sayfa: 131... 138 de verilmiştir.

Mesh ölçüsü 1 inch = 25.4 mm uzunluğunun eşit aralıklara bölünmesiyle elde edilmektedir. Resimdeki örnek 8 mesh = $25.4 / 8 = 3.175$ mm teller arası mesafe demektir. Mesh ölçüsü aynı zamanda belli bir tel kalınlığı ve dokuma sıklığıyla üretilmiş bir elekten geçebilen en büyük parçanın ölçüsü anlamına da gelmektedir. Örnek: 100 mesh inceliğinde öğütülmüş bir malzemede bulunan en büyük parçacığın ebadı 0.142 mm dir.



Parça Ebadı (mm)	Tel Çapı (mm)	Mesh
11.2	1.5	2
6.9	1.5	3
5.3	1.0	4
4.8	1.5	4
3.5	1.5	5
3.3	0.91	6
3.0	1.2	6
2.7	1.5	6
2.4	0.71	8
2.2	0.91	8
2.0	0.45	10
1.9	1.2	8
1.9	0.61	10
1.6	0.91	10
1.6	0.5	12
1.4	0.71	12
1.3	0.5	14
1.25	0.9	12
1.1	0.45	16
1.0	0.56	16
0.9	0.71	16
0.89	0.37	20
0.81	0.45	20
0.745	0.31	24
0.71	0.56	20
0.57	0.27	30
0.53	0.31	30
0.4	0.23	40
0.315	0.19	50
0.25	0.17	60
0.21	0.15	70
0.185	0.13	80
0.142	0.11	100
0.13	0.08	120
0.11	0.07	140
0.1	0.07	150
0.076	0.05	200
0.061	0.04	250
0.053	0.03	300
0.040	0.03	350
0.038	0.025	400

Tablo 12 - Mesh çerim tablosu



BESLEME

- Ağır maye (süt mayesi) t/h
- Ağır maye = $500 m^3/h$
- Manganat = $3,5 t/m^3$

SİLİNDİRİK SIKLON

- BESLEME**
- Tüvenen kömür (%40...%55) kütü t/h
 - $Q_{töv.köm.} = 1,3 t/m^3$
 - $Q_{töv.köm.} = 100 t/h$

TEMİZ KÖMÜK

- $Q_{temiz kömür} = (30...35) t/h$
- (%11...%15) kütü t/h
- $Q_{tem.köm.} = 1,5 t/m^3$
- Ağır maye = $250 m^3/h$

MİKST

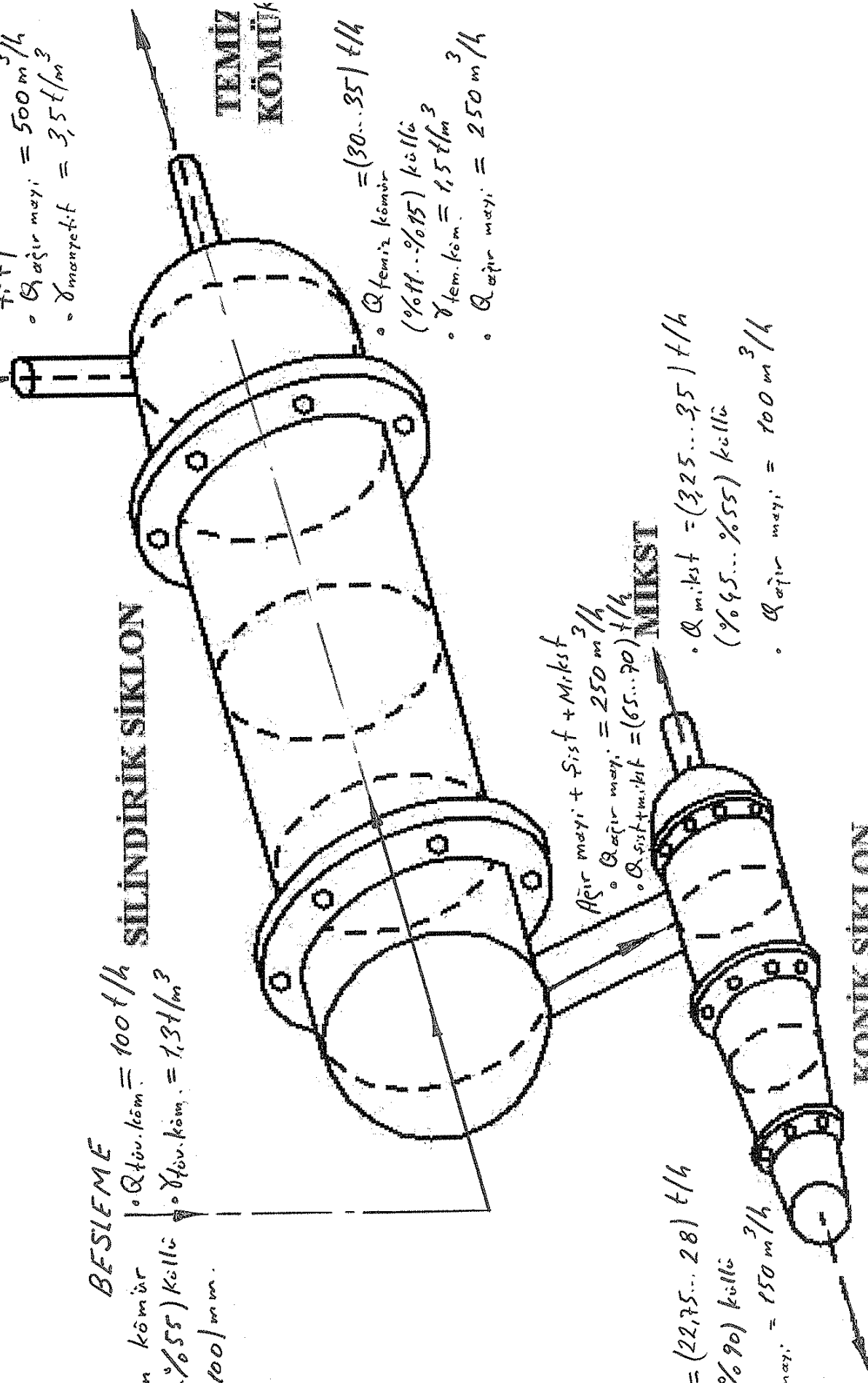
- Ağır maye + Sift + Mikst t/h
- Ağır maye = $250 m^3/h$
 - $Q_{sift+mikst} = (65...70) t/h$

- $Q_{mikst} = (325...35) t/h$
- (%45...%55) kütü t/h
- Ağır maye = $100 m^3/h$

KONİK SIKLON

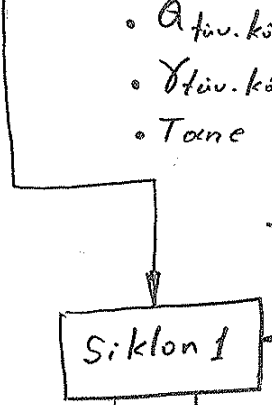
- $Q_{sift} = (22,75...28) t/h$
- (%85...%90) kütü t/h
- Ağır maye = $150 m^3/h$

ŞİST



Besleme : Tüvenan kömür (%40--%55 küllü)

- $Q_{töv.köm.} = 100 \text{ t/h}$
- $\gamma_{töv.köm.} = 1,3 \text{ t/m}^3$
- Tane büyüklüğü = (0,05... 100) mm



Besleme : Ağır mayi (su + manyetit)

- $Q_{ağır mayi} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
- $P_{ağır mayi} = 1,8 \text{ PSI} \approx 0,126 \text{ bar}$
- $\gamma_{su} = 1 \text{ t/m}^3$
- $\gamma_{manyetit} = 3,5 \text{ t/m}^3$

Çıkan : Temiz kömür

- $Q_{tem.köm.} = (\%30... \%35) \cdot Q_{töv.köm.}$
- $Q_{tem.köm.} = (\%30... \%35) \cdot 100 \text{ t/h}$
- $Q_{tem.köm.} = (30... 35) \text{ t/h}$
- $Q_{tem.köm.külü} = (\%11... \%15) \cdot Q_{tem.köm.}$
- $Q_{tem.köm.külü} = (\%11... \%15) (30... 35) \text{ t/h}$
- $Q_{tem.köm.külü} = (3,3... 5,25) \text{ t/h}$
- $Q_{ağır mayi} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\gamma_{tem.köm.} = 1,5 \text{ t/m}^3$

Çıkan : Ağır mayi + Sist + Mikst (Ara ürün)

- $Q_{ağır mayi} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Q_{sist+mikst} = Q_{töv.köm.} - Q_{tem.köm.}$
- $Q_{sist+mikst} = 100 \text{ t/h} - (30... 35) \text{ t/h}$
- $Q_{sist+mikst} = (65... 70) \text{ t/h}$
- $Q_{sist} = (\%35... \%40) \cdot Q_{sist+mikst}$
- $Q_{sist} = (\%35... \%40) (65... 70) \text{ t/h}$
- $Q_{sist} = (22,75... 28) \text{ t/h}$
- $Q_{mikst} = \%5 \cdot Q_{sist+mikst}$
- $Q_{mikst} = \%5 \cdot (65... 70) \text{ t/h}$
- $Q_{mikst} = (3,25... 3,5) \text{ t/h}$
- $Q_{sist.külü} = (\%85... \%90) \cdot Q_{sist}$

$$Q_{\text{şist külü}} = (\%85 \dots \%90) / (22,75 \dots 28) \text{ t/h} - 135-$$

$$\bullet Q_{\text{şist külü}} = (19,33 \dots 25,2) \text{ t/h}$$

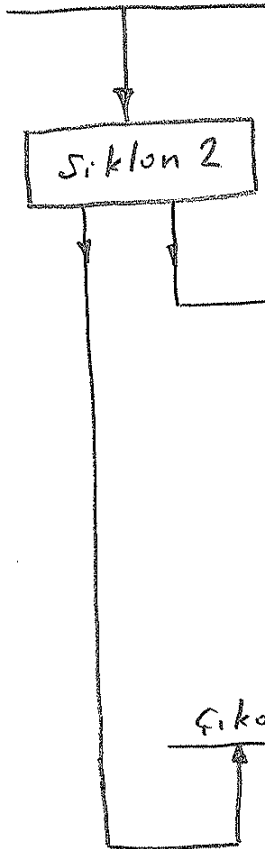
$$Q_{\text{mikst külü}} = (\%45 \dots \%55) Q_{\text{mikst}}$$

$$Q_{\text{mikst külü}} = (\%45 \dots \%55) (3,25 \dots 3,5) \text{ t/h}$$

$$\bullet Q_{\text{mikst külü}} = (1,46 \dots 1,92) \text{ t/h}$$

$$\bullet \gamma_{\text{ağır mayi + şist + mikst}} = 2 \text{ t/m}^3$$

Besleme : Ağır mayi + Şist + Mikst (Siklon 1 den çıkan)



Çıkan : Ağır mayi + şist

$$\bullet Q_{\text{ağır mayi}} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\bullet \gamma_{\text{ağır mayi + şist}} = 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$Q_{\text{şist}} = (\%35 \dots \%40) \cdot Q_{\text{şist + mikst}}$$

$$Q_{\text{şist}} = (\%35 \dots \%40) \cdot (65 \dots 70) \text{ t/h}$$

$$\bullet Q_{\text{şist}} = (22,75 \dots 28) \text{ t/h}$$

$$Q_{\text{şist külü}} = (\%85 \dots \%90) \cdot Q_{\text{şist}}$$

$$Q_{\text{şist külü}} = (\%85 \dots \%90) / (22,75 \dots 28) \text{ t/h}$$

$$\bullet Q_{\text{şist külü}} = (19,33 \dots 25,2) \text{ t/h}$$

Çıkan : Ağır mayi + mikst

$$\bullet Q_{\text{ağır mayi}} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\bullet \gamma_{\text{ağır mayi + mikst}} = (1,7 \dots 1,75) \text{ t/m}^3$$

$$Q_{\text{mikst}} = \%5 \cdot Q_{\text{şist + mikst}}$$

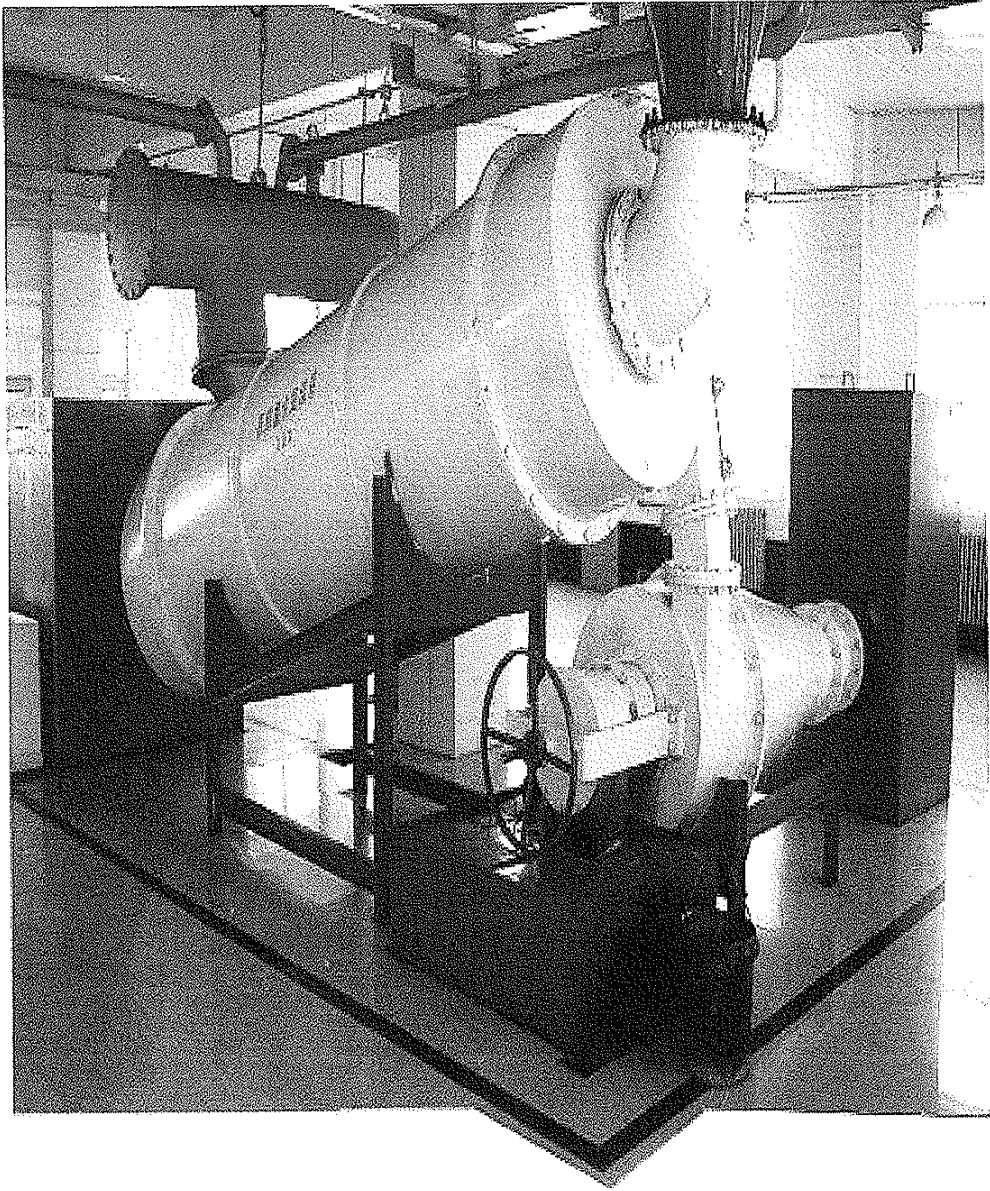
$$Q_{\text{mikst}} = \%5 \cdot (65 \dots 70) \text{ t/h}$$

$$\bullet Q_{\text{mikst}} = (3,25 \dots 3,5) \text{ t/h}$$

$$Q_{\text{mikst külü}} = (\%45 \dots \%55) \cdot Q_{\text{mikst}}$$

$$Q_{\text{mikst külü}} = (\%45 \dots \%55) / (3,25 \dots 3,5) \text{ t/h}$$

$$\bullet Q_{\text{mikst külü}} = (1,46 \dots 1,925) \text{ t/h}$$



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



