

ME444 ENGINEERING PIPING SYSTEM DESIGN

CHAPTER 6 : PUMPS

LAST SESSION

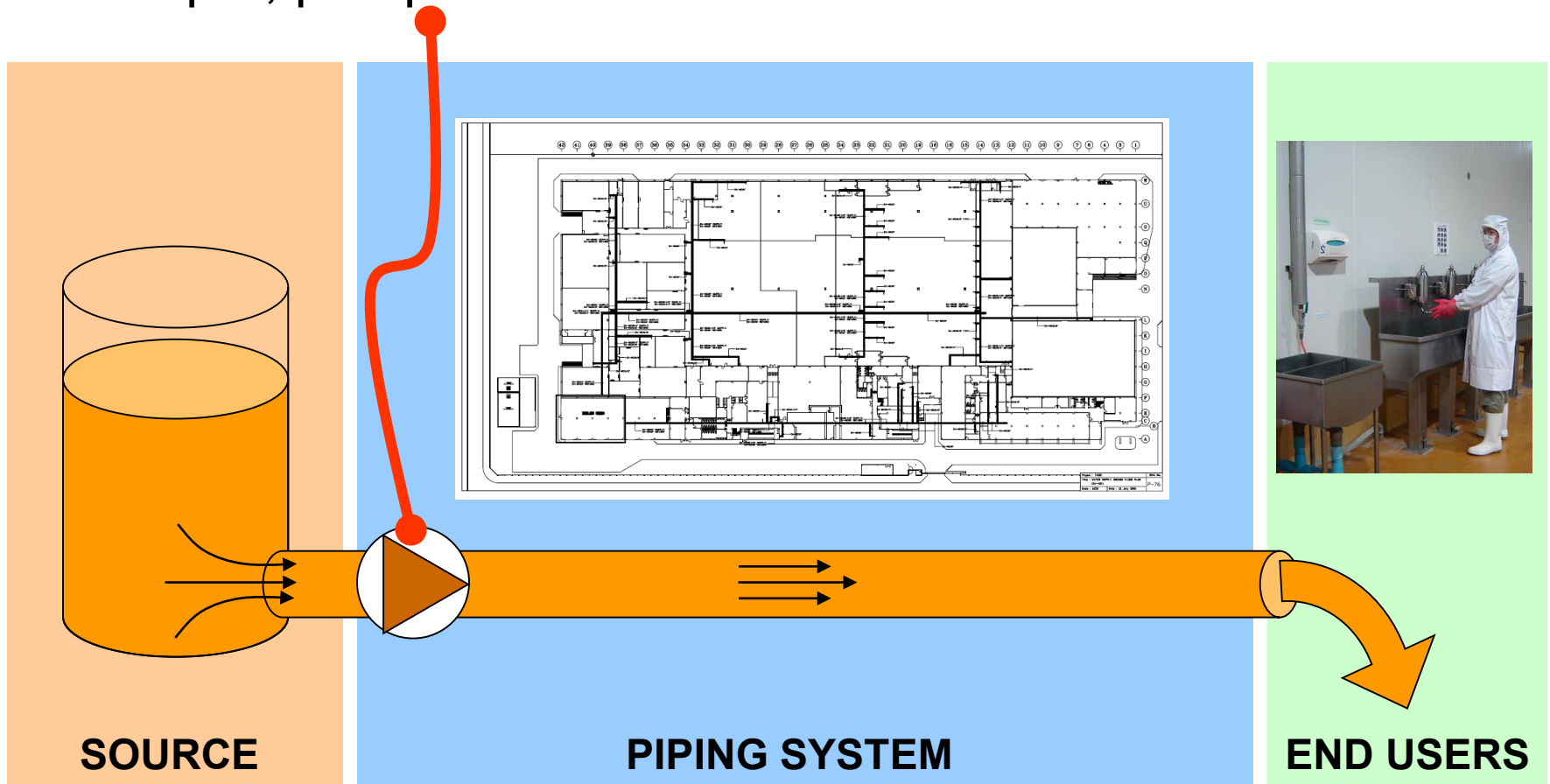
1. PIPING SYSTEM DESIGN PROCEDURE
2. PIPE THICKNESS
3. PIPE SIZING AND SYSTEM PRESSURE DROP

CONTENTS

1. Fundamental of Pumps
2. Operating Point
3. Pump Selection
4. Pump Installation

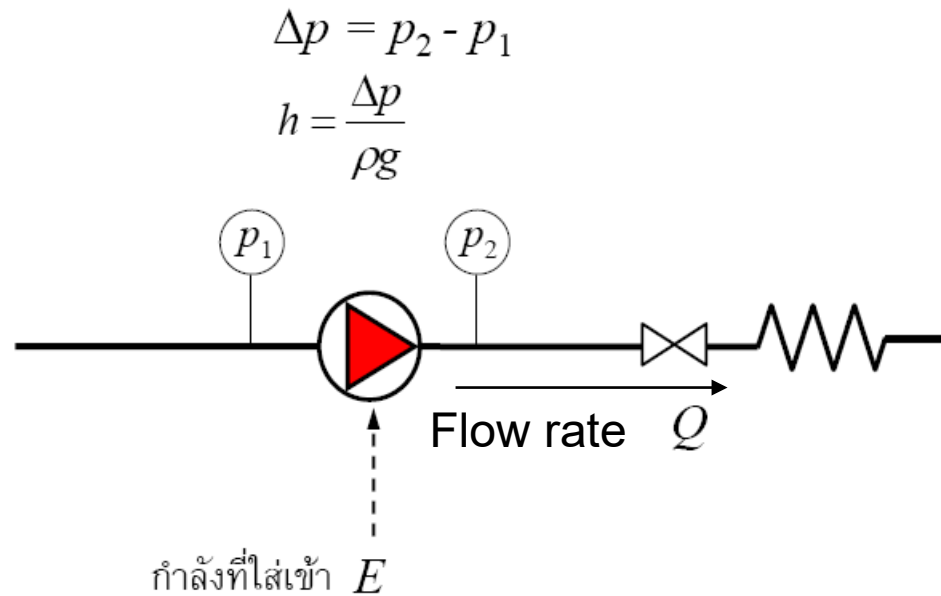
1. Fundamental of Pumps

When source pressure is not enough to provide desired output, pump is utilized.



Pump output

Flow rate and Pressure rise.

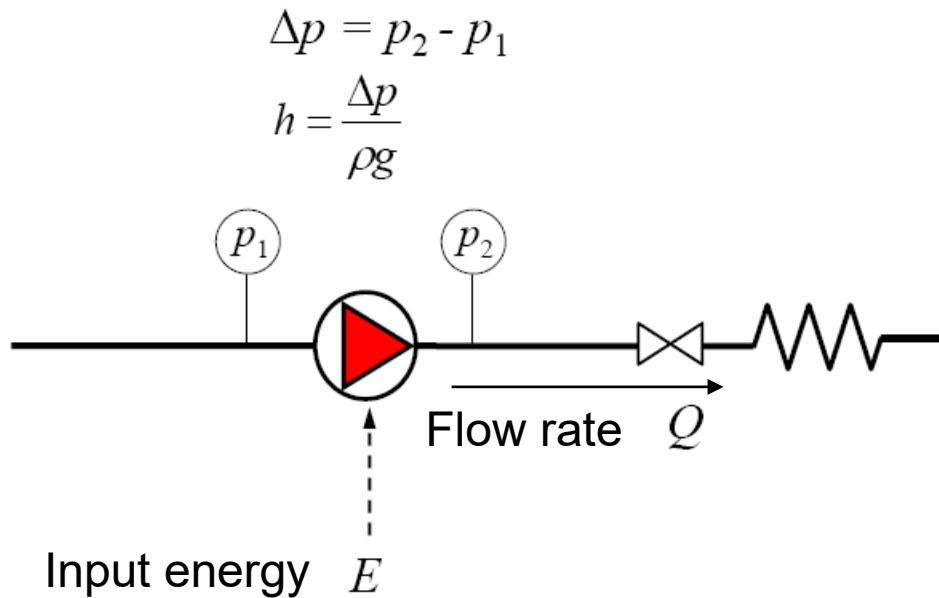


$$E_{fluid} = Q \cdot \Delta p$$

Pump

Pump input and output

Output = Flow rate and Pressure rise.

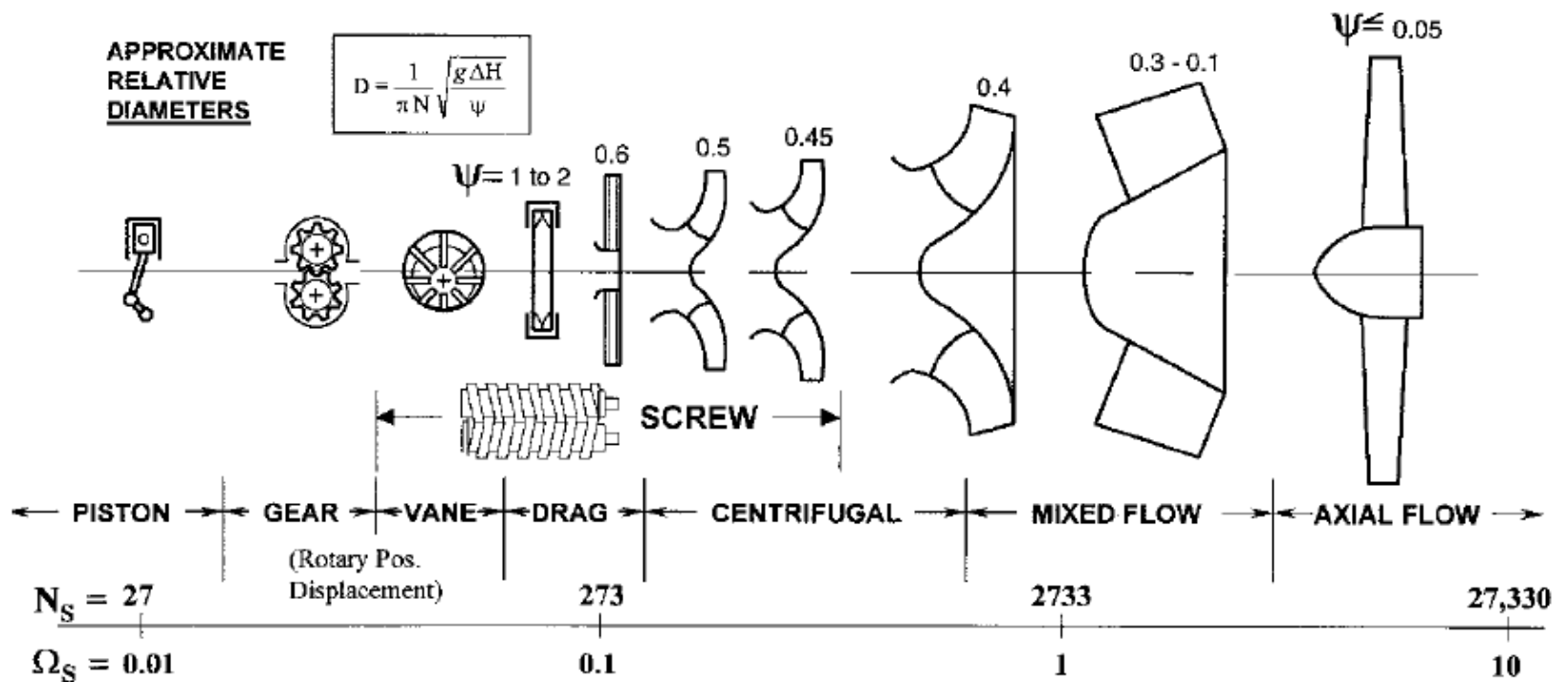


$$E_{fluid} = Q \cdot \Delta p$$

$$E_{shaft} = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta_{pump}}$$

Specific Speed

$$\Omega_s = \frac{\Omega \sqrt{Q}}{(\Delta p / \rho)^{3/4}}$$



Pump performance

DISPLACEMENT PUMPS



RECIPROCATING



ROTARY

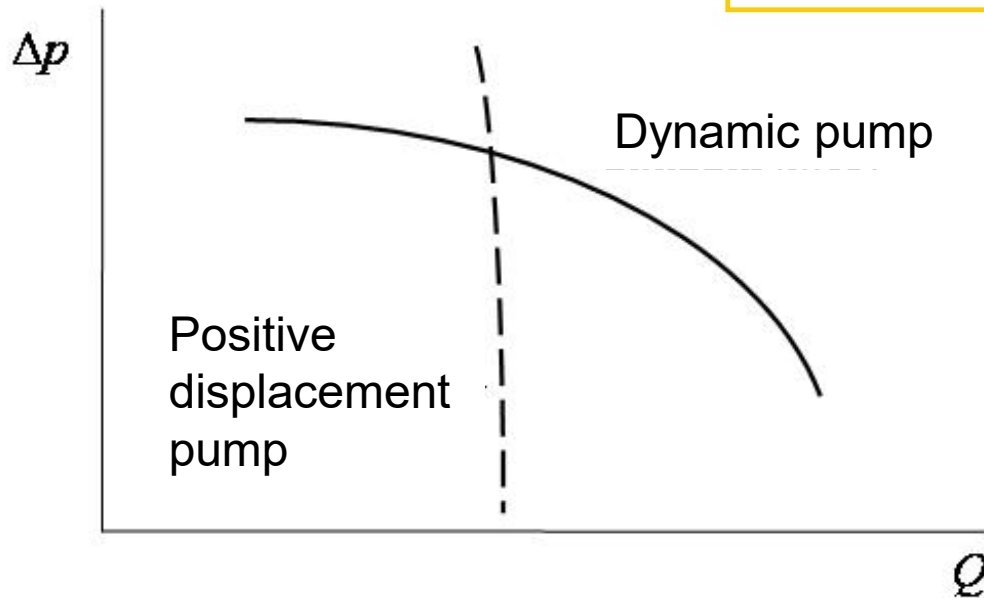
DYNAMICS PUMPS



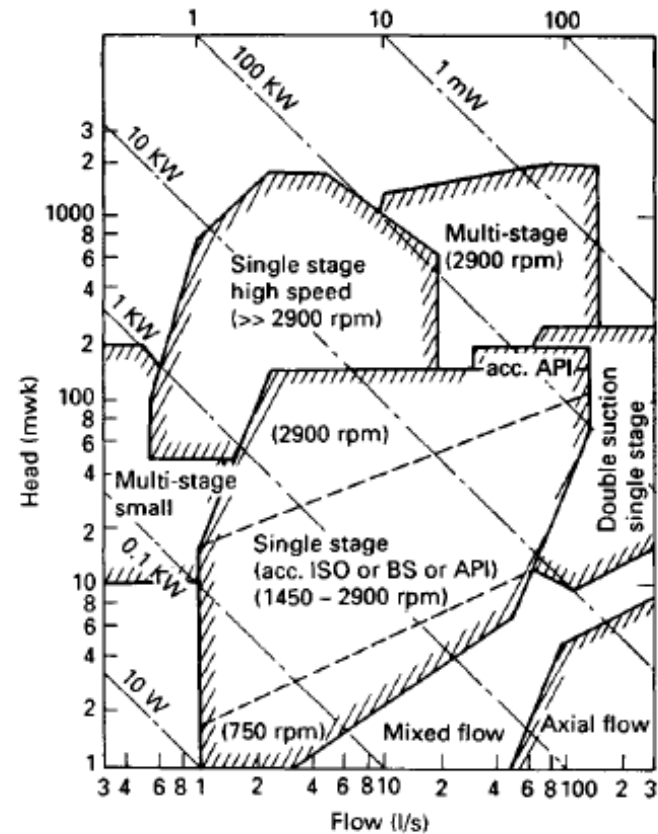
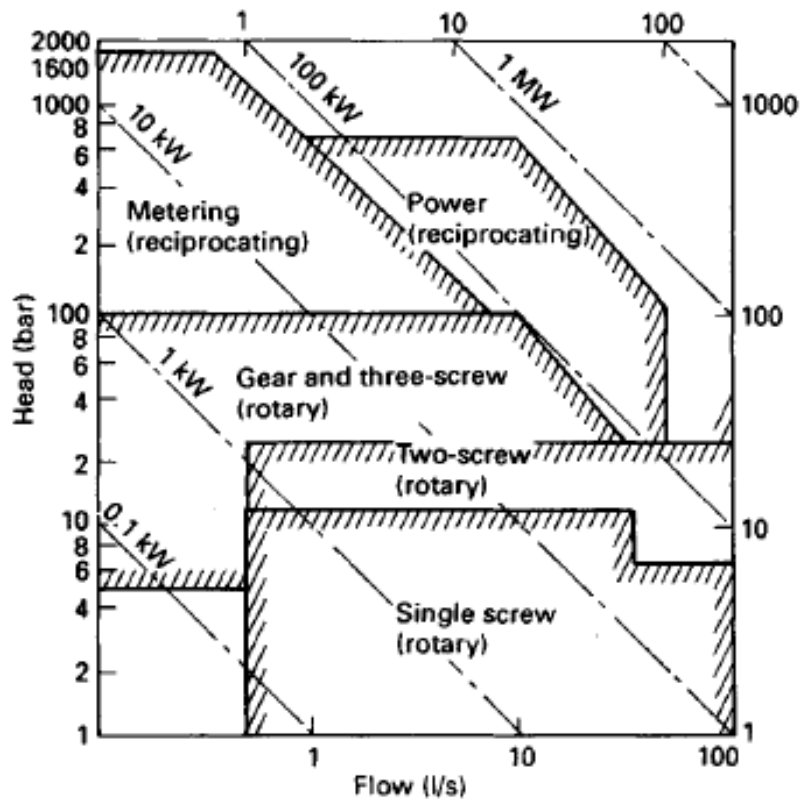
TURBINE



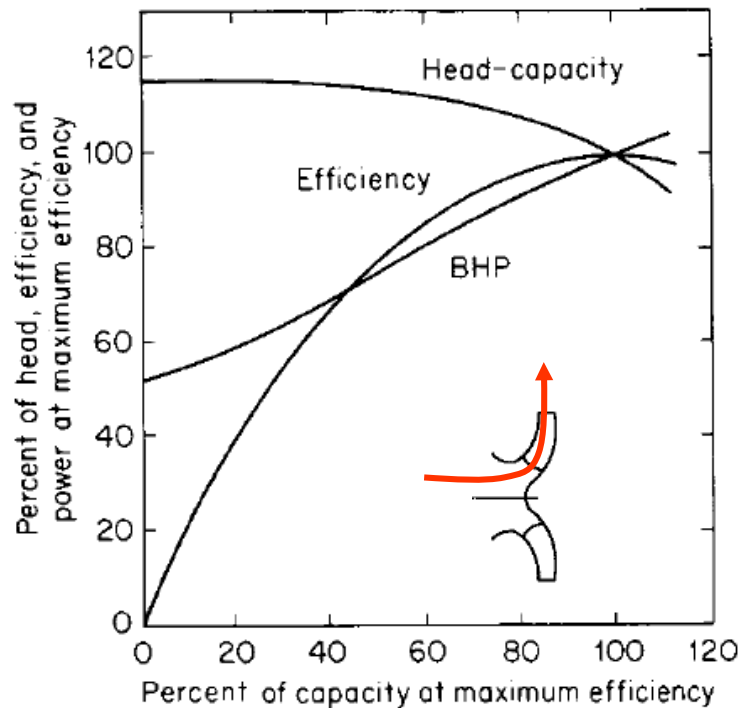
CENTIFUGRAL



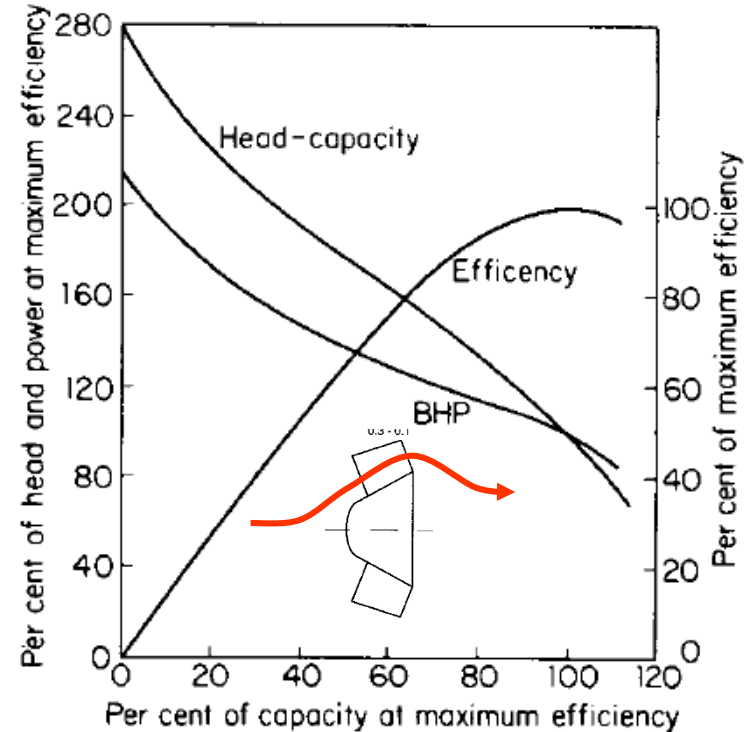
Pump performance range



Performance curves

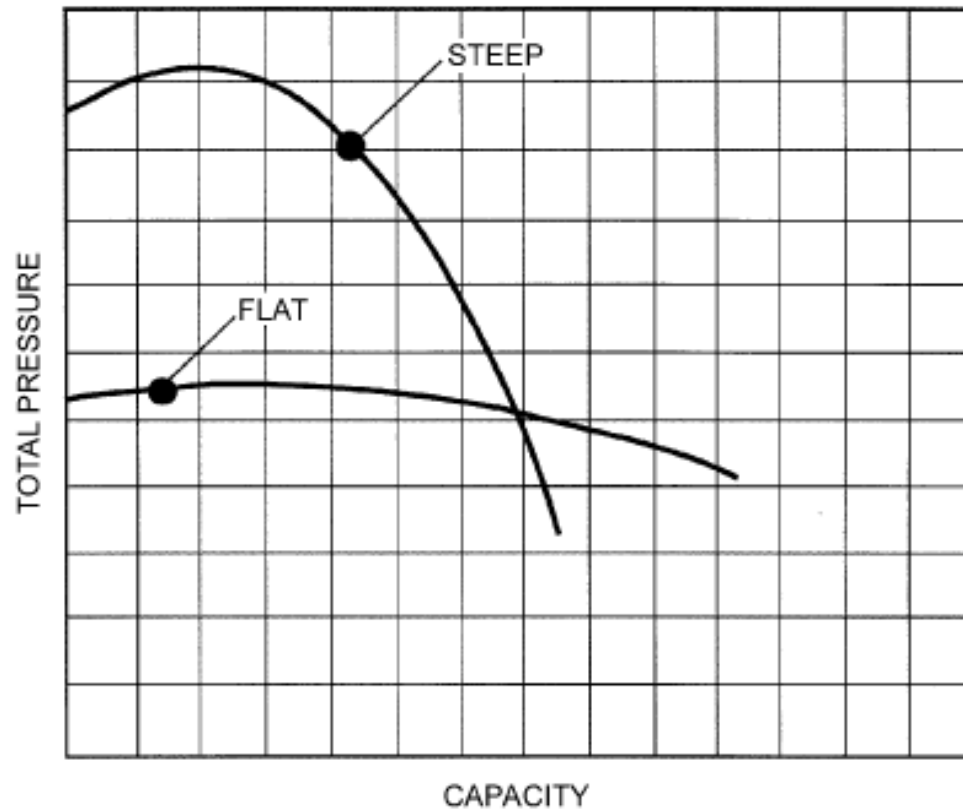


$$\Omega_S = 0.57 \quad (N_s = 1,550)$$



$$\Omega_S = 3.66 \quad (N_s = 10,000)$$

Steep vs. flat curves



- Flat curve for closed loop system with variable flow rate
- Steep curve for high head and constant flow rate

Affinity law

Impeller Diameter

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^5$$

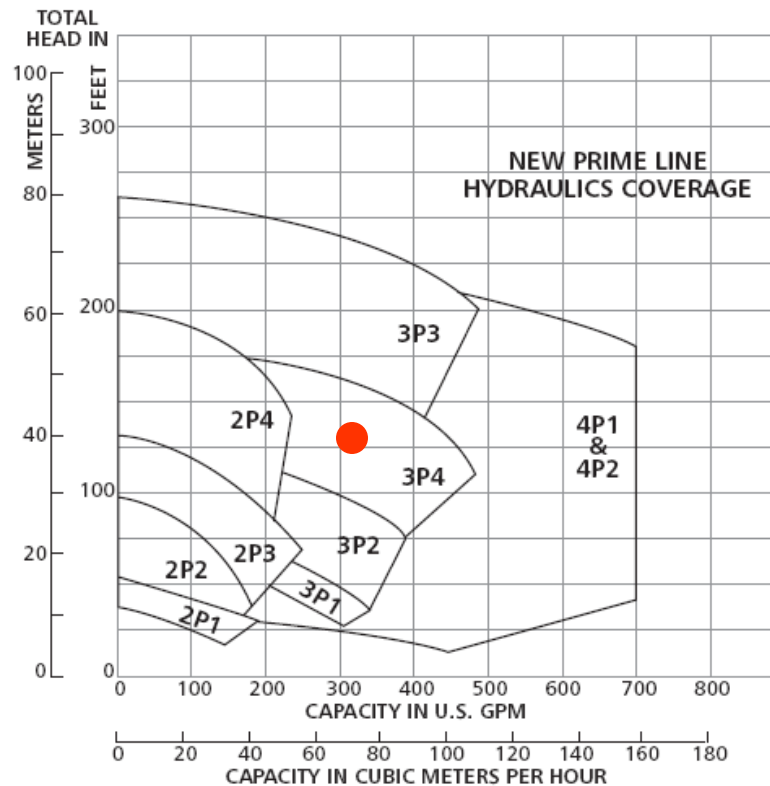
Impeller Speed

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

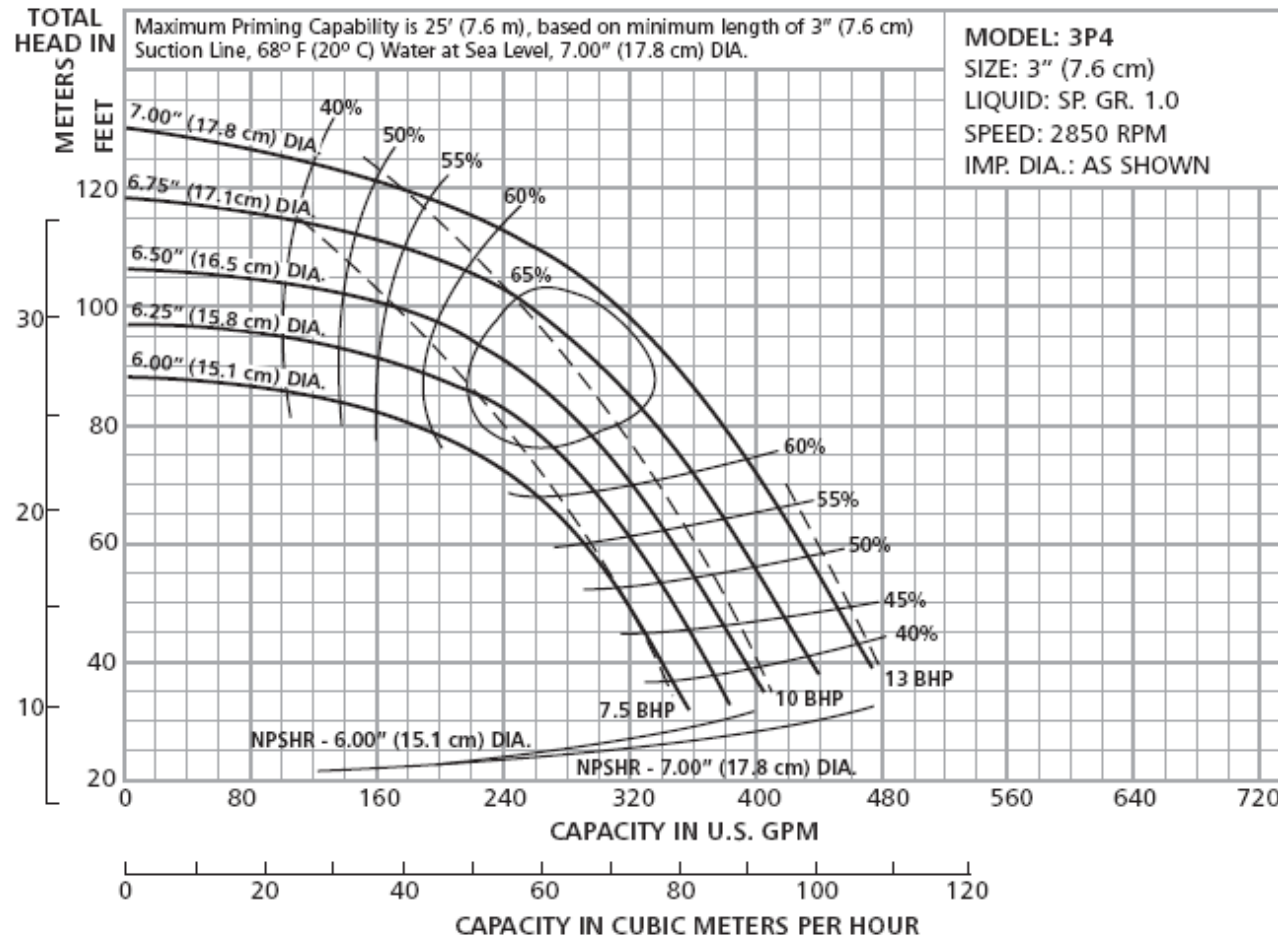
$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

Example of performance curves



Example of performance curves



Ordering Code	Standard HP Rating	Imp. Dia.①
A	15	7.00 (178)
B	15	6.75 (171)
C	10	6.50 (165)
D	10	6.25 (158)
E	7½	6.00 (151)

① Impeller diameter in inches and millimeters (mm).

NPSHR
IN METERS
10 30
5 20
0 10
0 0
IN FEET

Speed of induction motor

$$rpm = \frac{120f}{p} - slip$$

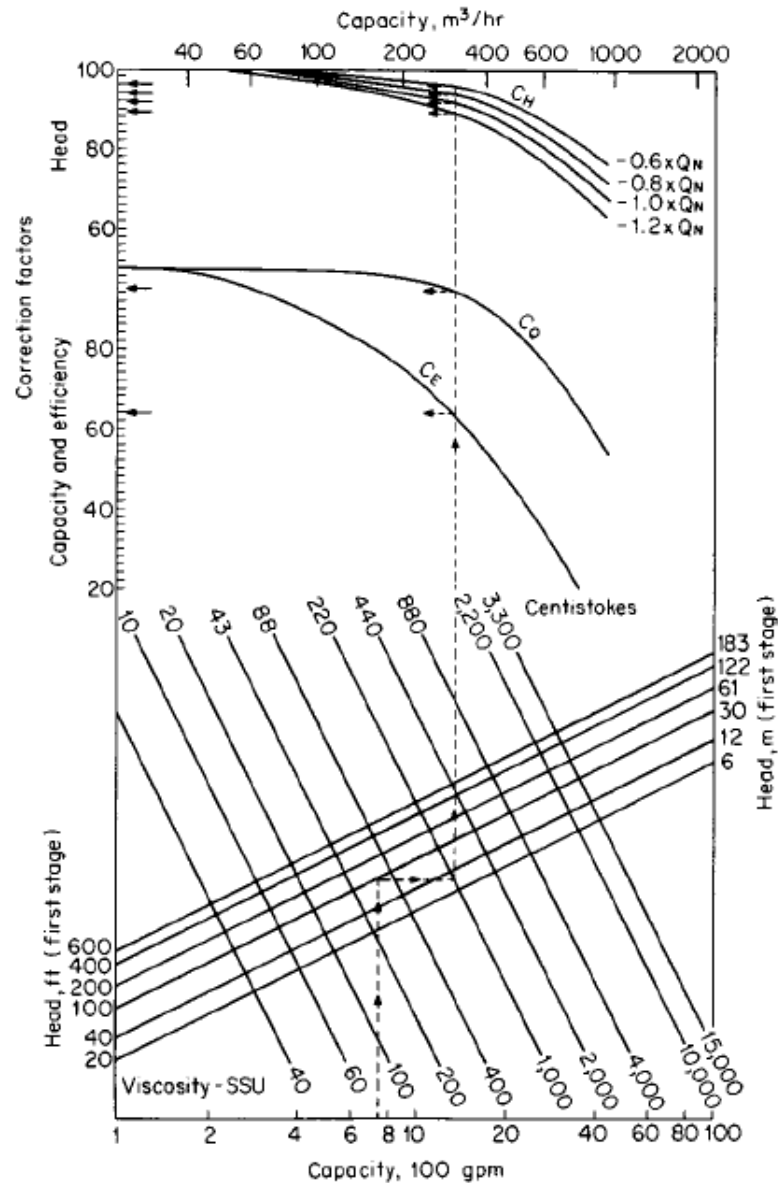
poles	Synchronous speed (rpm)	Possible Operating Speed (rpm)
2	3000	2850
4	1500	1425
6	1000	950
8	750	712
10	600	570

Standard motor size

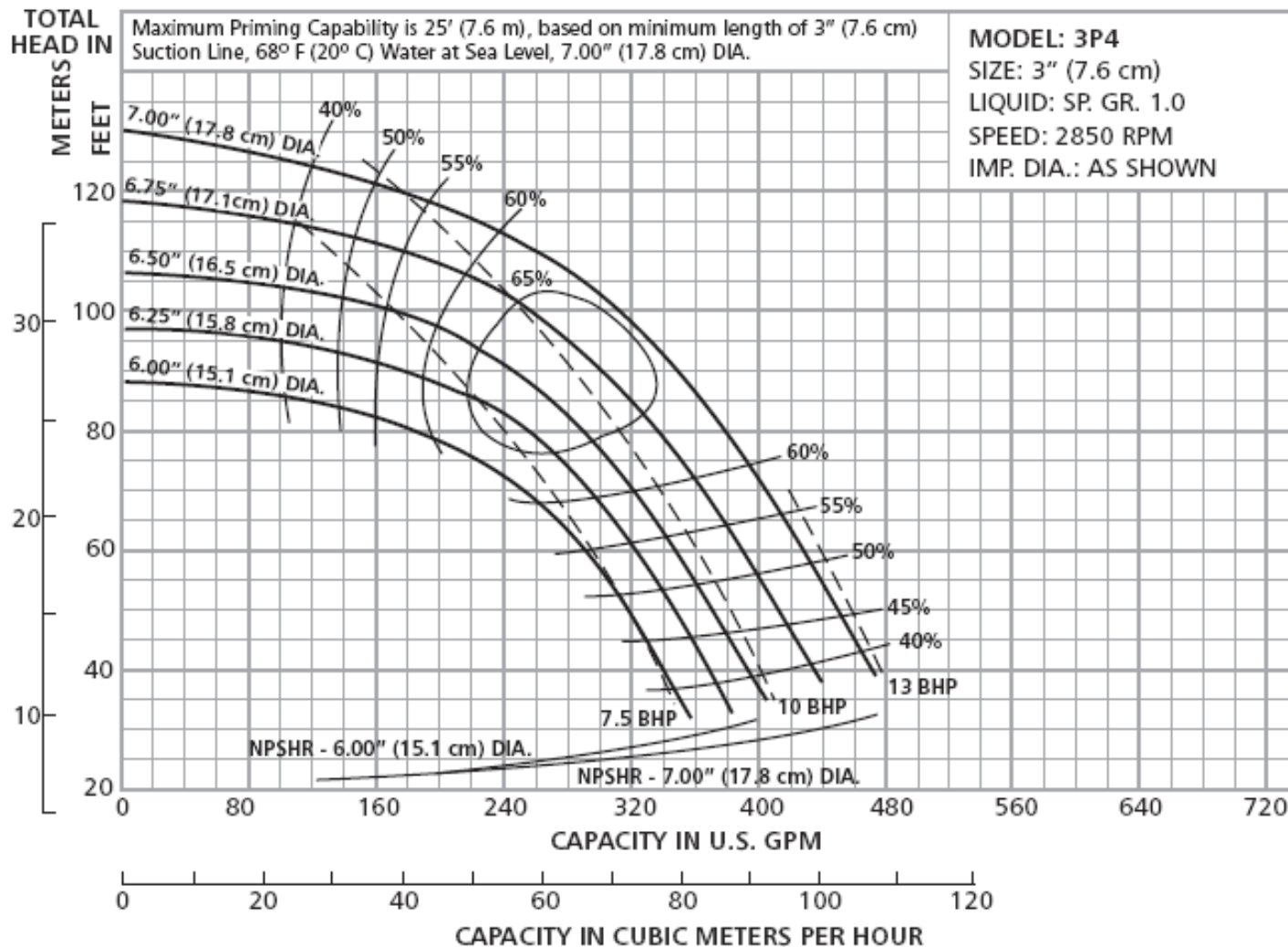
hp	kW
1/8	0.09
1/6	0.12
1/4	0.18
1/3	0.25
1/2	0.37
3/4	0.55
1	0.75
1.5	1.1
2	1.5
2.5	1.85
3	2.2

hp	kW
4	3
5.5	4
7.5	5.5
10	7.5
15	11
20	15
25	18.5
30	22
40	30
50	37
60	45

Effect of Fluid Viscosity



Net Positive Suction Head



Ordering Code	Standard HP Rating	Imp. Dia.①
A	15	7.00 (178)
B	15	6.75 (171)
C	10	6.50 (165)
D	10	6.25 (158)
E	7½	6.00 (151)

① Impeller diameter in inches and millimeters (mm).

NPSHR
IN METERS
IN FEET

Net Positive Suction Head Required

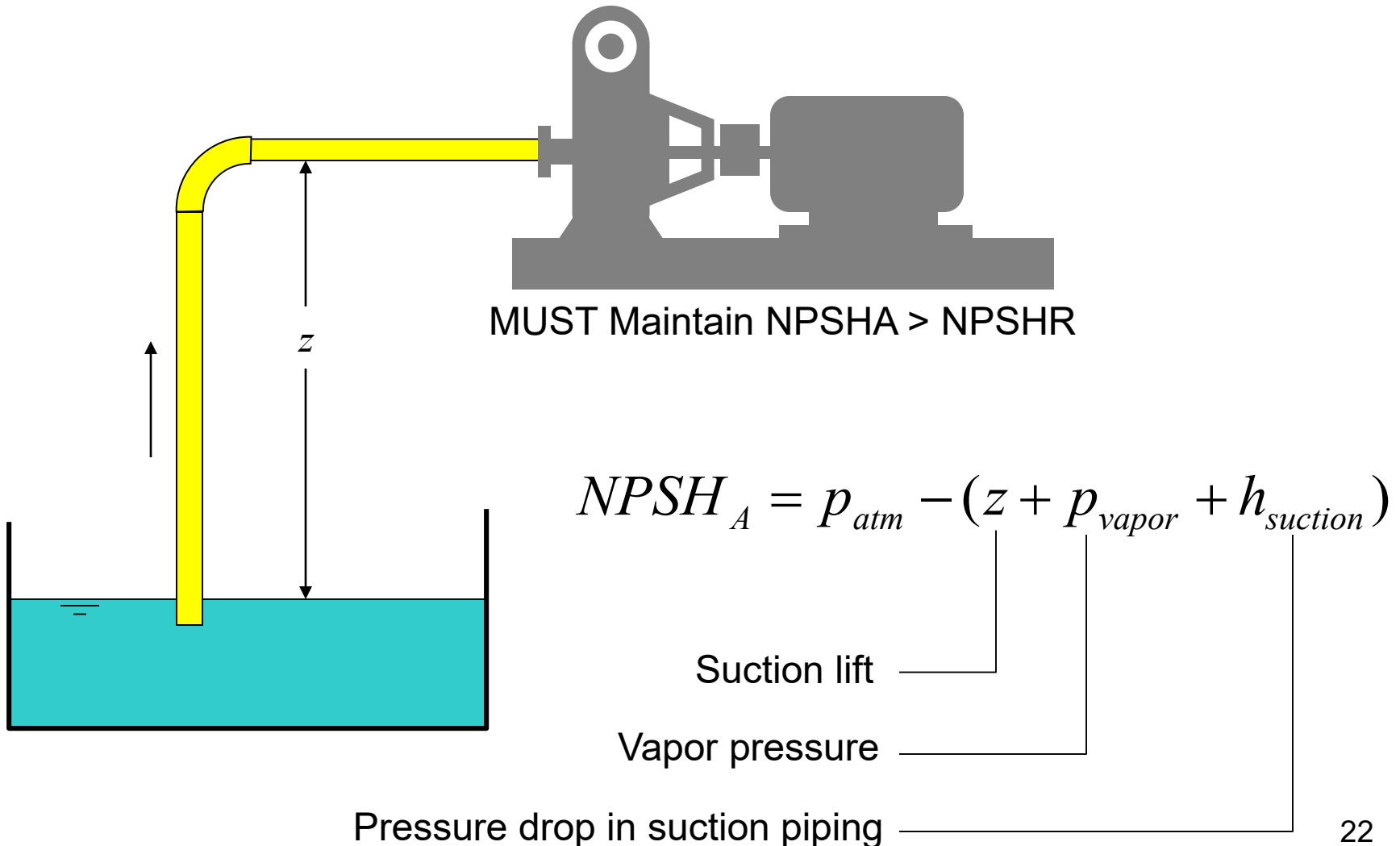
อุณหภูมิ (°C)	ความดันไอของน้ำ (m.WA.)
0	0.089
5	0.094
10	0.120
20	0.233
30	0.435
40	0.757
50	1.26
60	2.03
70	3.17
80	4.82
90	7.15
100	10.33

At low pressure, water can become vapor, causing cavitations.



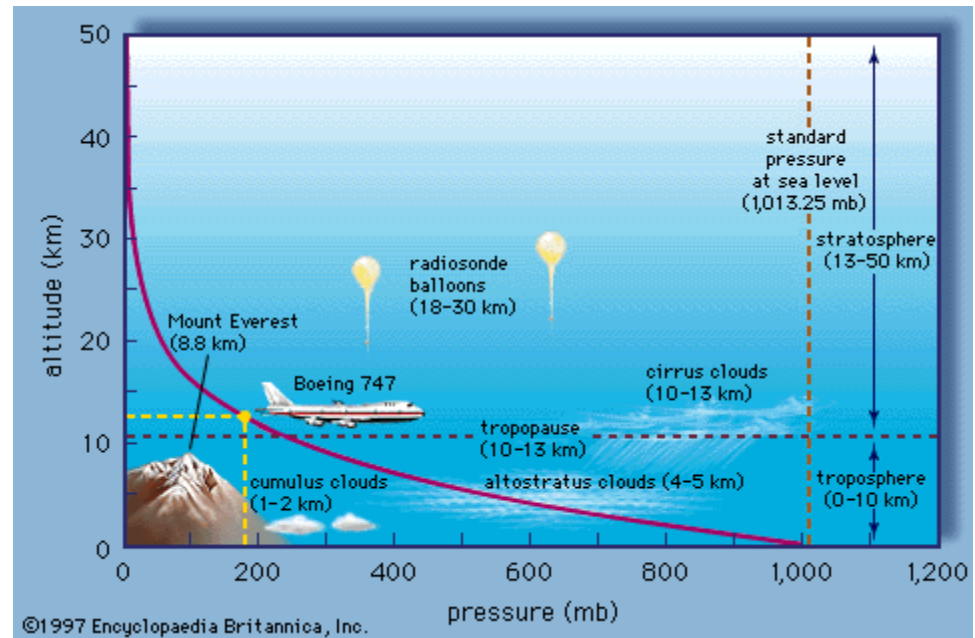
Suction pressure must be maintained above NPSHR to avoid cavitation

Net Positive Suction Head Available



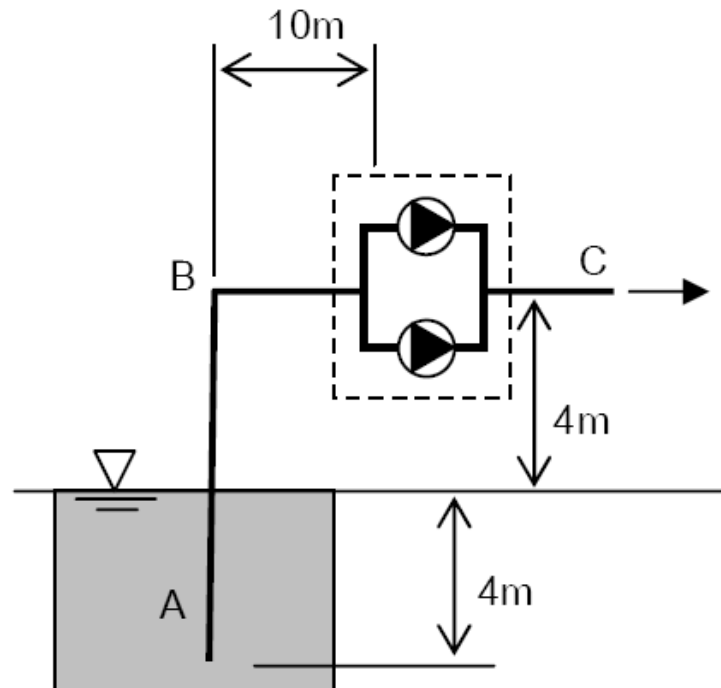
P_{atm} vs Elevation

ระดับความสูง (m.)	ความดันบรรยากาศ (m.WA.)
-1000	11.61
-800	11.34
-600	11.08
-400	10.83
-200	10.57
0 (ระดับน้ำทะเล)	10.33
200	10.08
400	9.85
600	9.61
800	9.38
1,000	9.16
1,200	8.94
1,400	8.72
1,600	8.51
1,800	8.30
2,000	8.09



Example 6.1

หากท่อทางดูดของปั้มน้ำในรูปด้านล่าง มีขนาด DN80 และปั้มต้องการ $NPSH_R = 5 \text{ m.WA}$.
เมื่อทำงานที่อัตราการไหล 600 lpm อุณหภูมิน้ำ 30°C และปั้มตั้งอยู่ที่ความสูง 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล จงตรวจสอบว่าจะมีปัญหาจากแควิเทชันหรือไม่ (ให้คิดความดันลดในวาล์วและข้อต่อด้านดูดเป็น 50% ของความยาวท่อ)



จากตาราง 6.1 ความดันบรรยากาศที่ความสูง 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล

$$p_{atm} = 9.16 \text{ m.WA.}$$

ระดับน้ำทางดูดต่ำกว่าปั๊ม

$$z = 4 \text{ m.WA.}$$

จากตาราง 6.2 ความดันไอของน้ำที่ 30°C $p_{vapor} = 0.435 \text{ m.WA.}$

ท่อทางดูดขนาด DN80 ที่อัตราการไหล 600 lpm มีความดันลด 5.67 m/100m ที่ความยาวท่อทางดูด 18 m คิดเป็นความดันลดในท่อทางดูด

$$h_{L-suction} = (5.67 \times 18) / 100 + 50\% = 1.53 \text{ m.WA.}$$

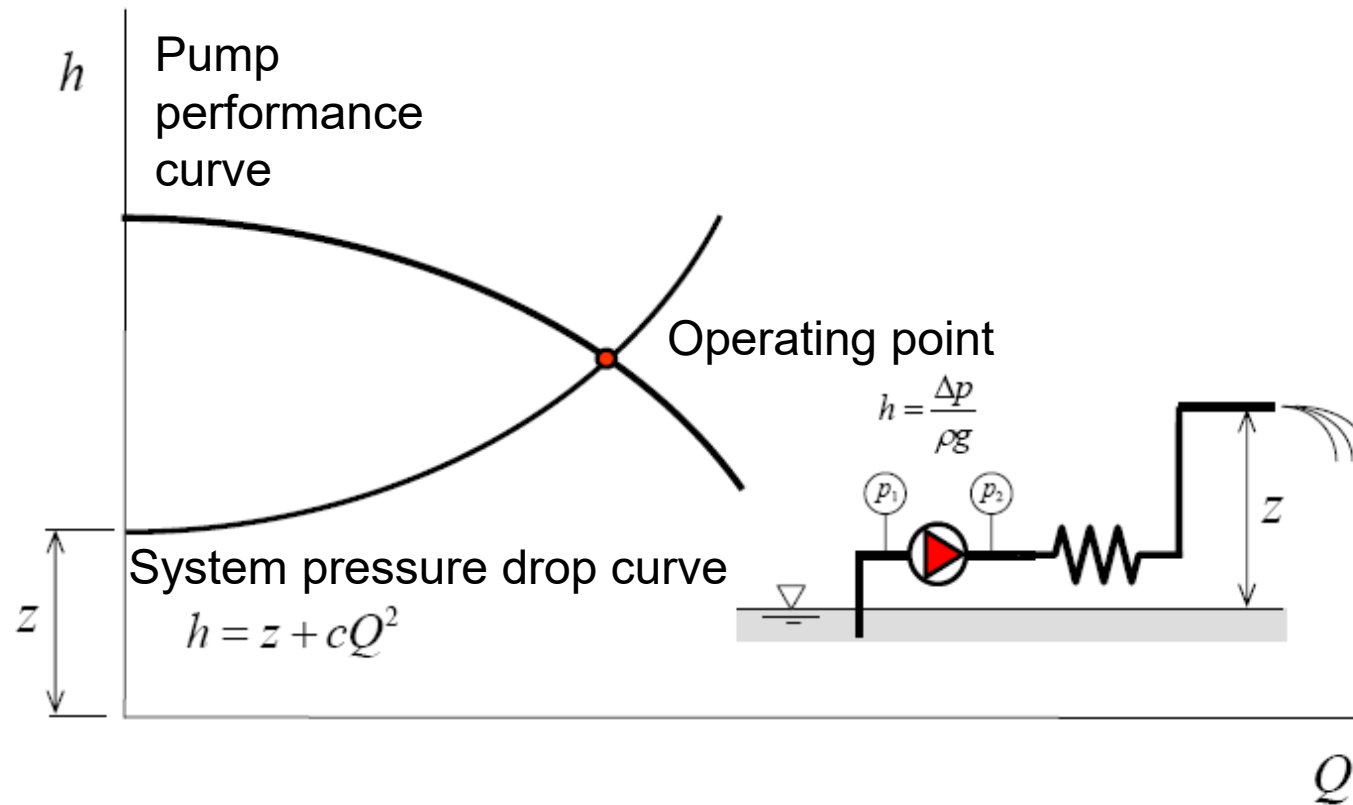
แทนค่าทั้งหมดลงในสมการ (6.8) จะได้

$$NPSH_A = p_{atm} - (z + p_{vapor} + h_{L-suction}) = 9.16 - (4 + 0.435 + 1.53) = 3.195 \text{ m.WA.}$$

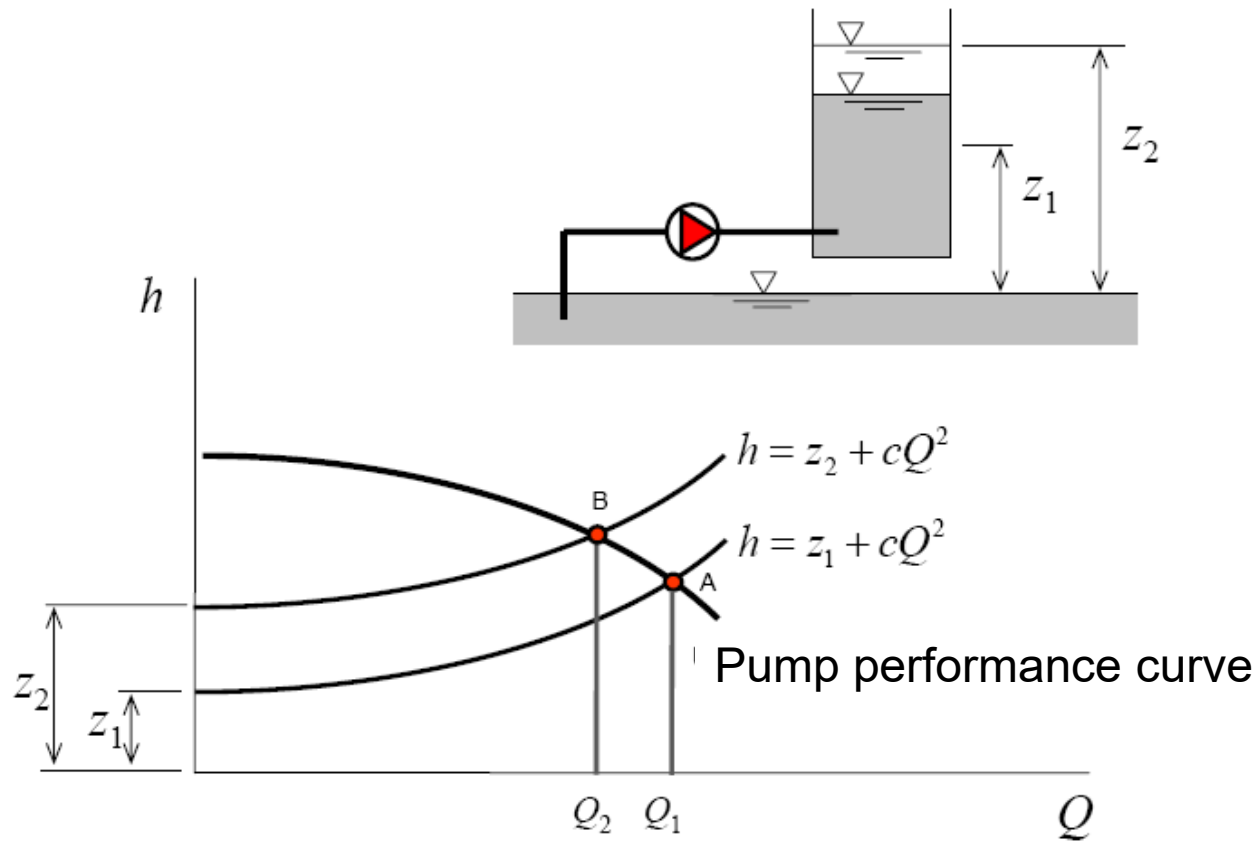
มีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้น เนื่องจาก $NPSH_A < NPSH_R$

ตอบ

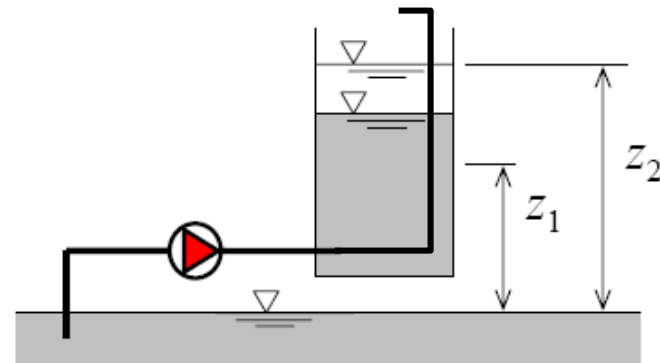
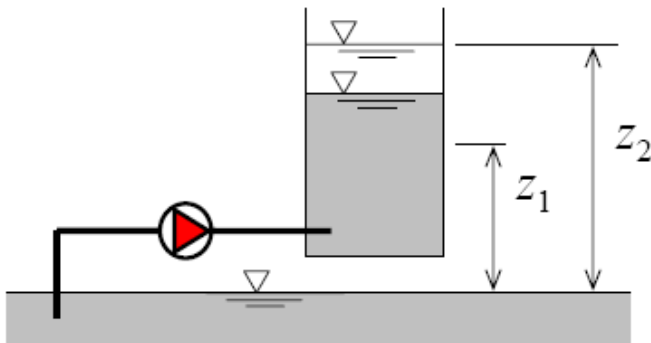
2. Operating Point



Filling a tank from bottom

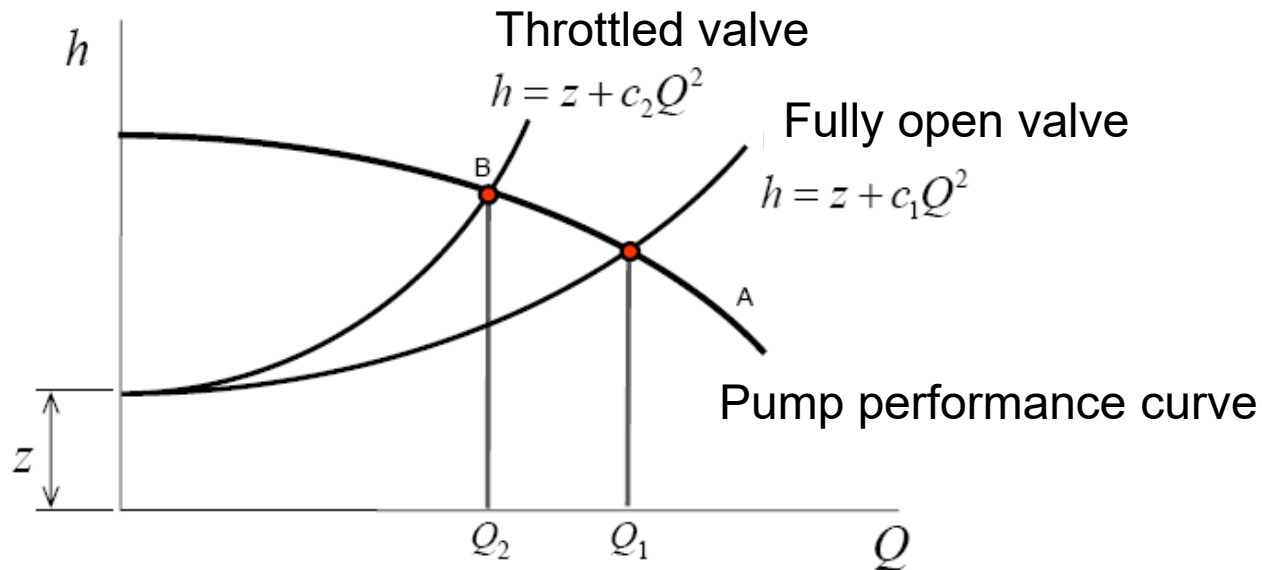
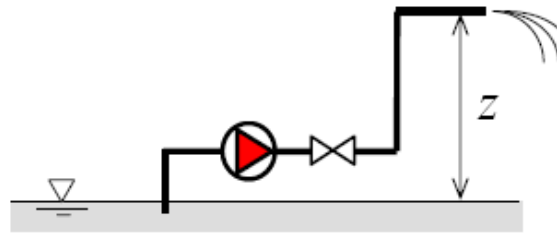


Filling a tank from bottom vs. from top

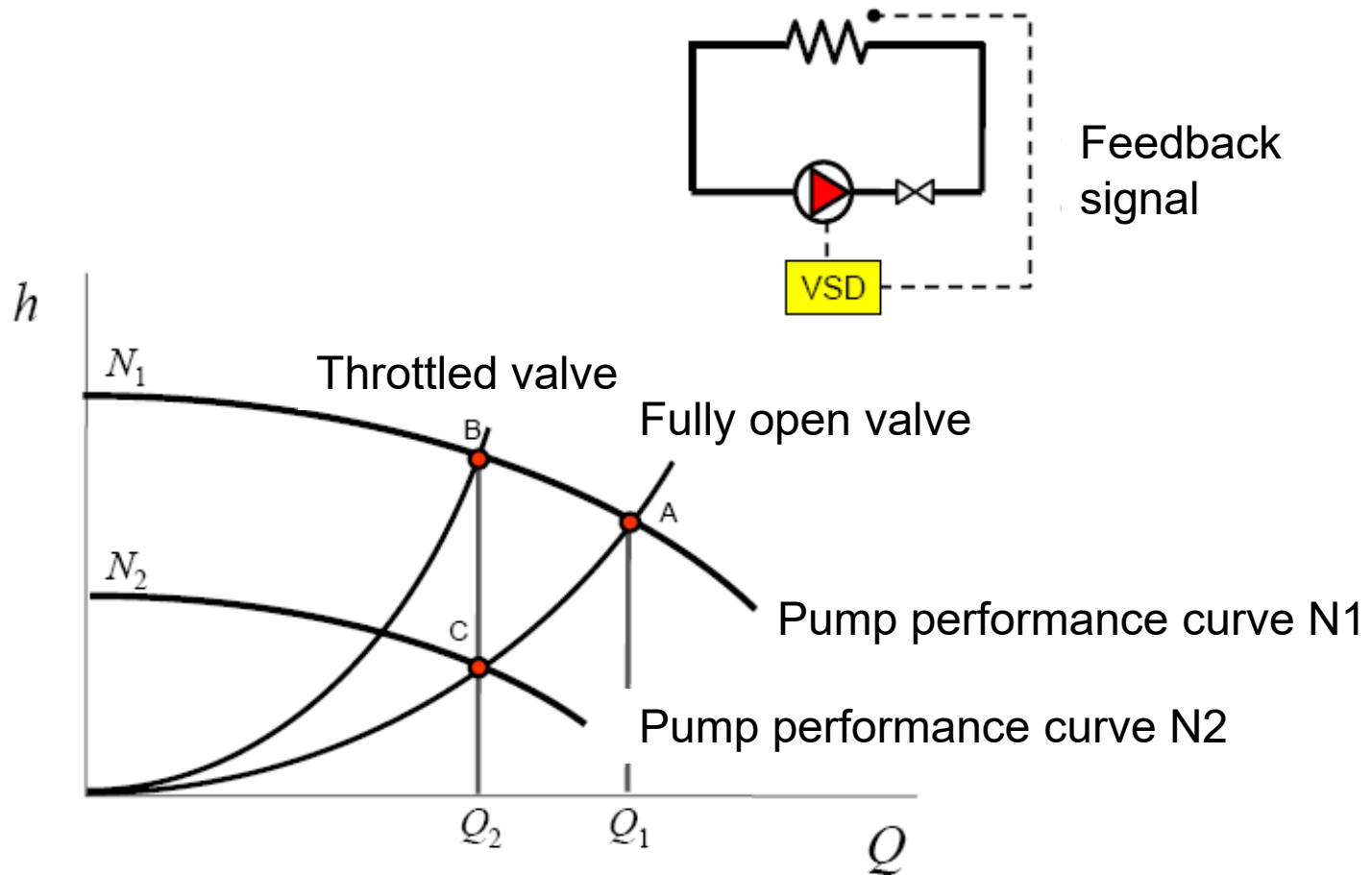


Which way fill faster?

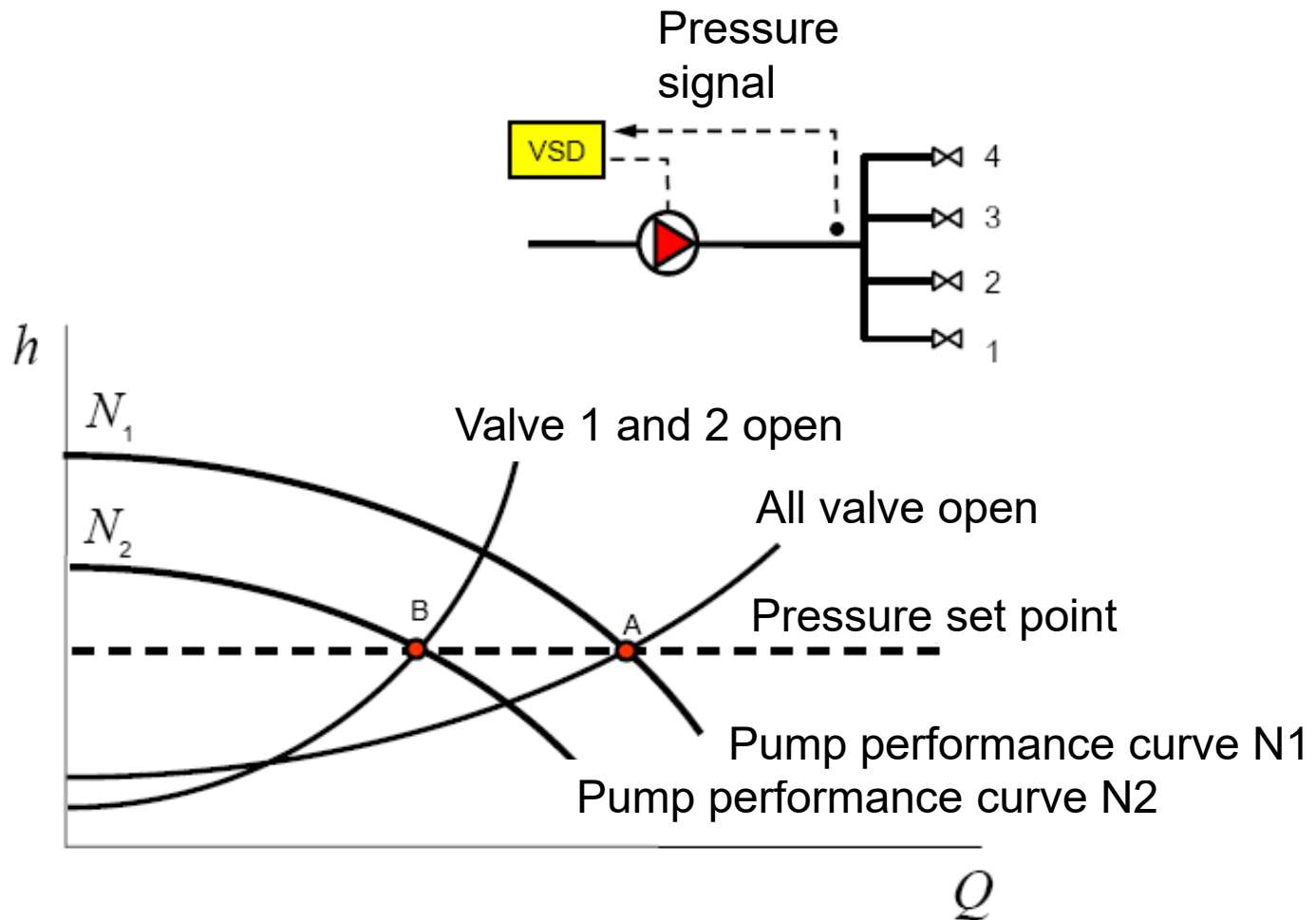
Throttling the discharge valve



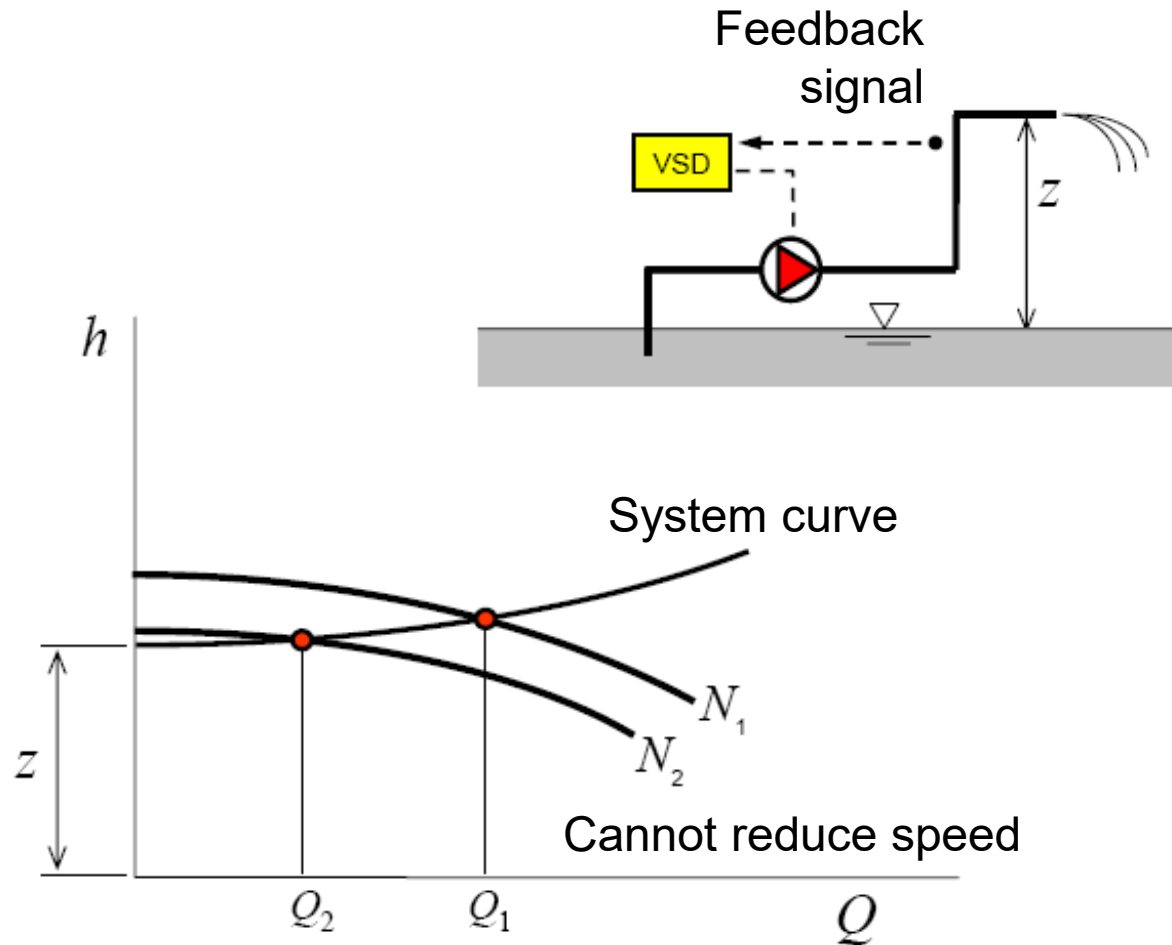
Variable speed drive vs. valve throttling



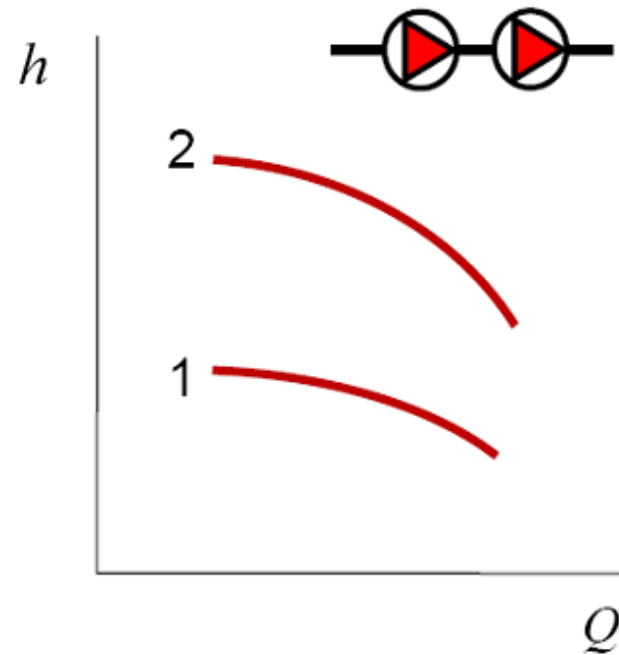
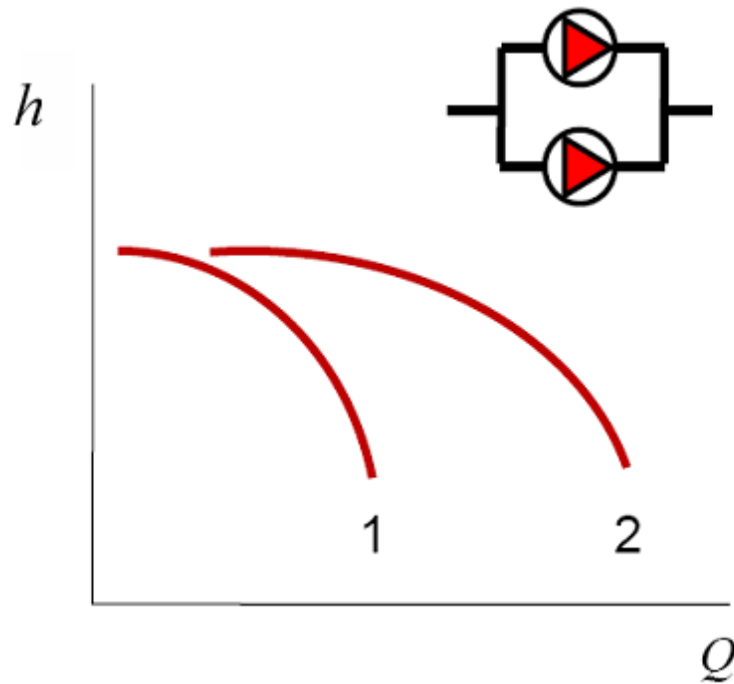
VSD for pressure control



Limitation of VSD



Parallel and Serial Connection



Do not exceed Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)

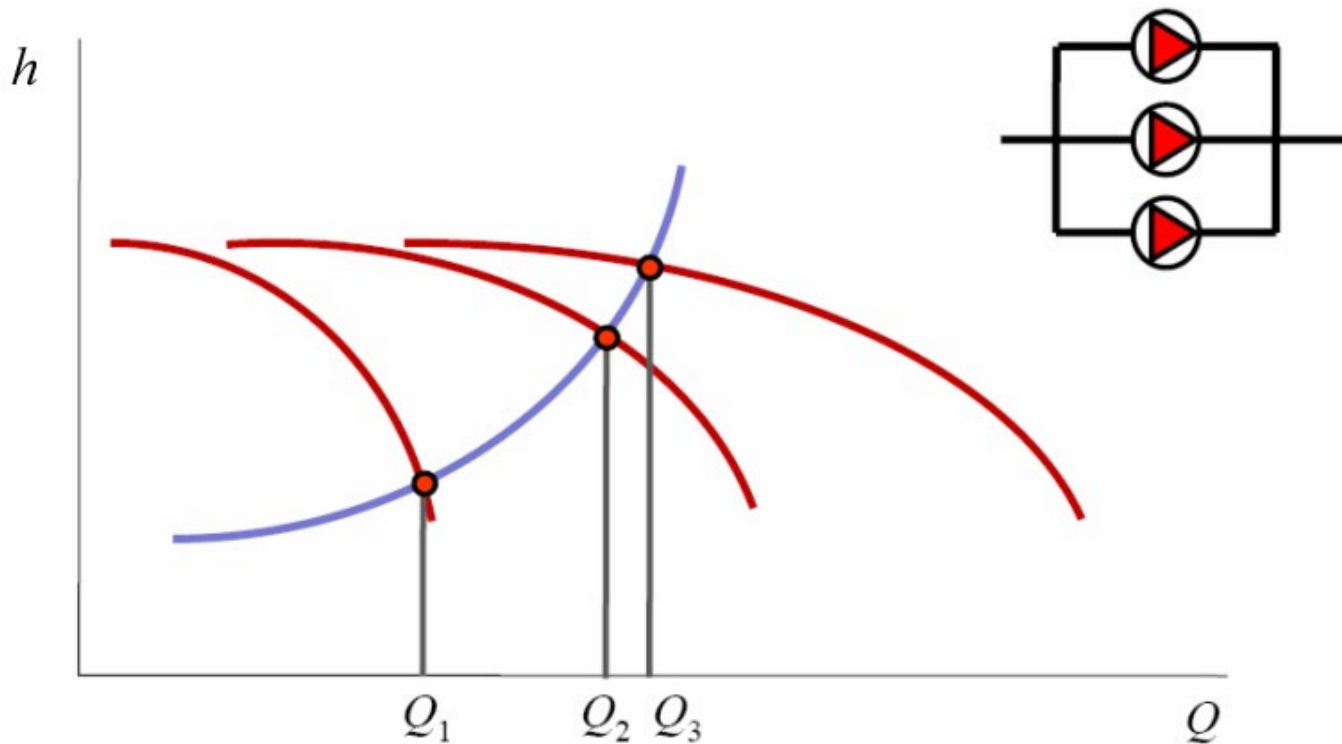
Parallel Connection



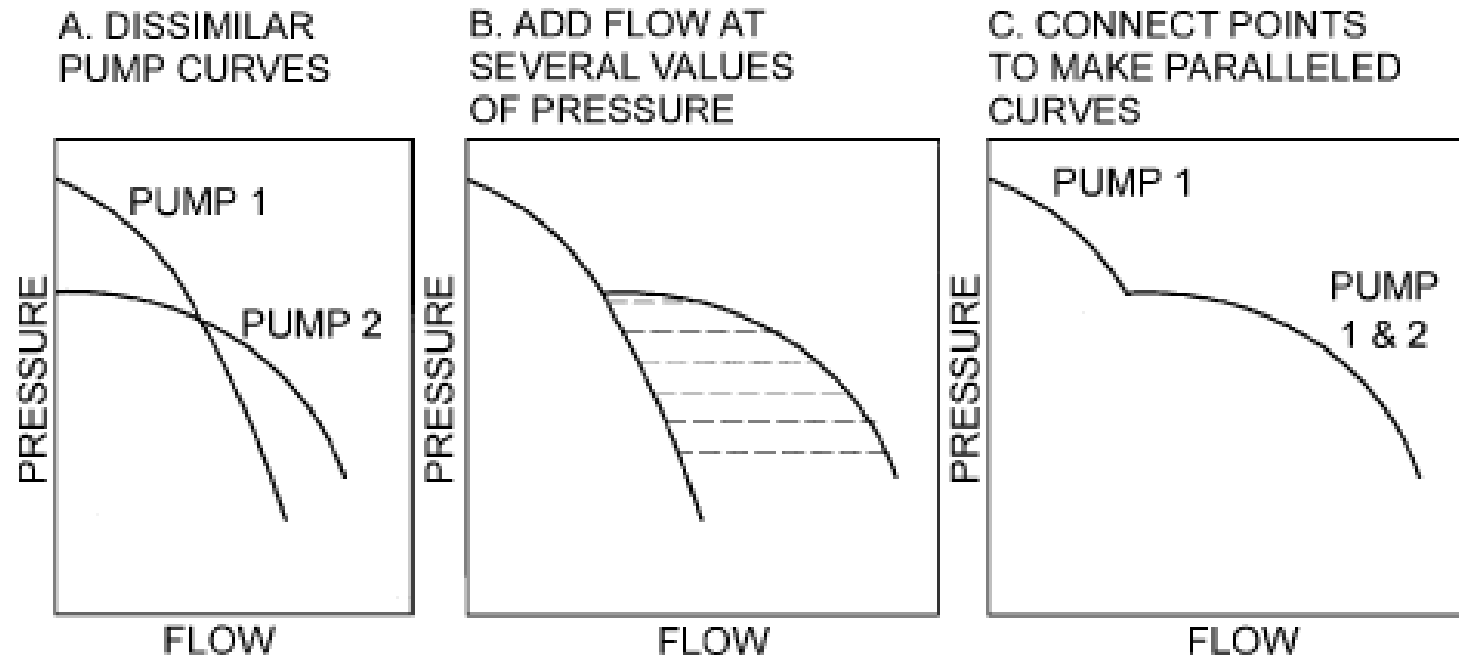
Parallel Connection



Response to Parallel Connection



Parallel Connection of Pumps with Different Size



Multi-Stage Pump → Series

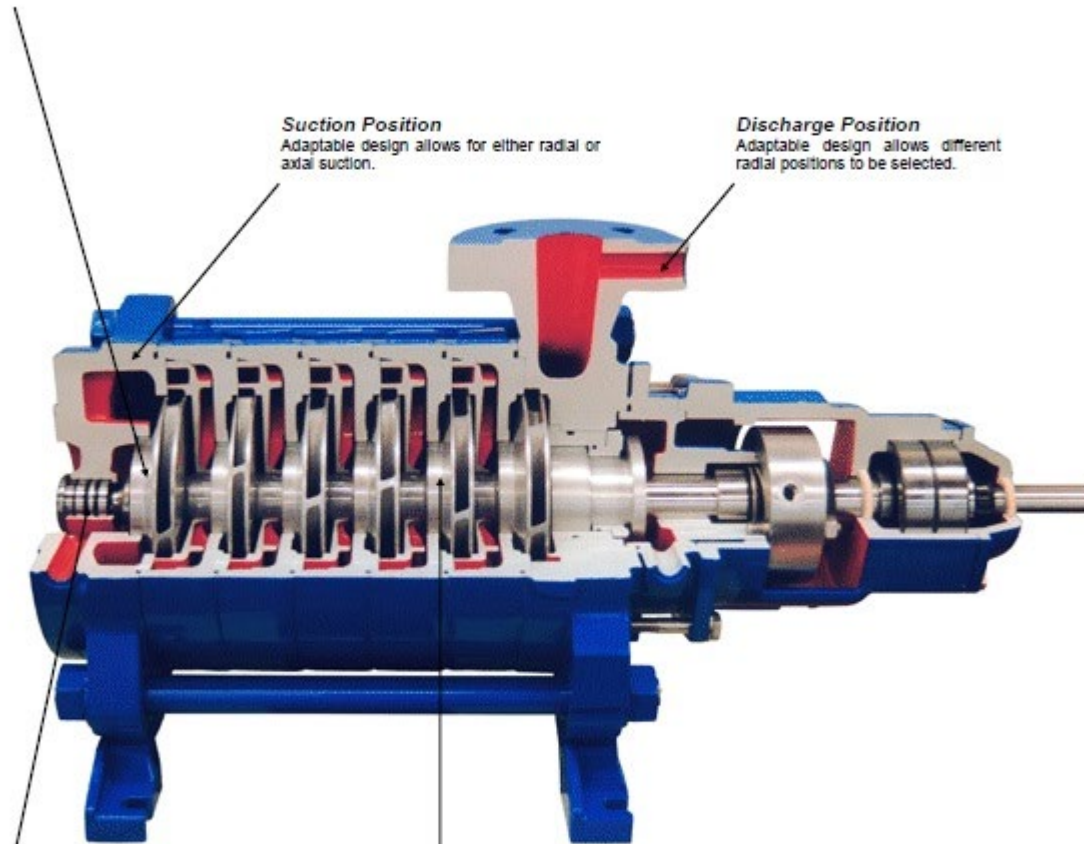
Suction Impeller
First stage impeller ensures reliable operation with low NPSH conditions.

Suction Position
Adaptable design allows for either radial or axial suction.

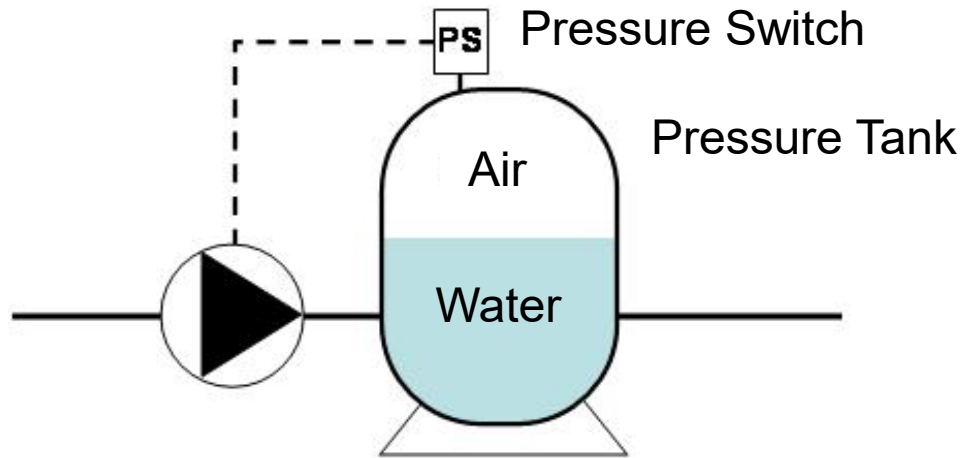
Discharge Position
Adaptable design allows different radial positions to be selected.

Product Lubricated Sleeve Bearing
Self-aligning bearing for higher reliability

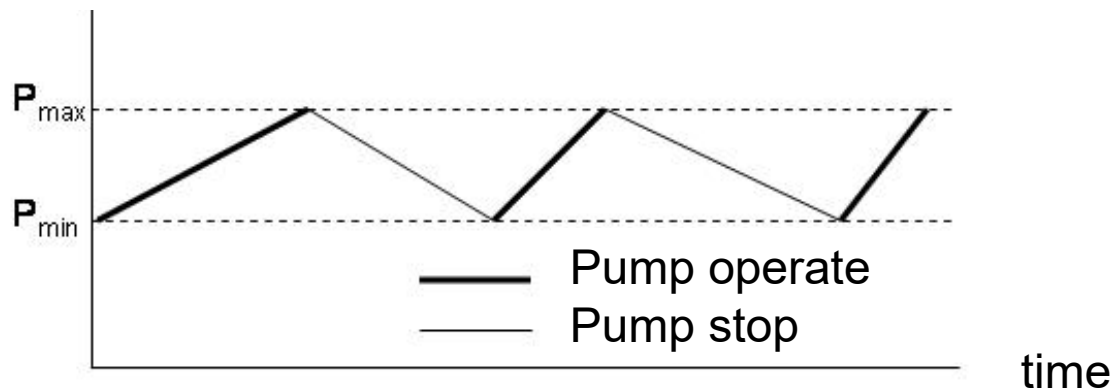
Modular Design
Modular geometry of impellers/diffusers permits optimal hydraulic design matching all duty conditions.



Utilization of Pressure Tank



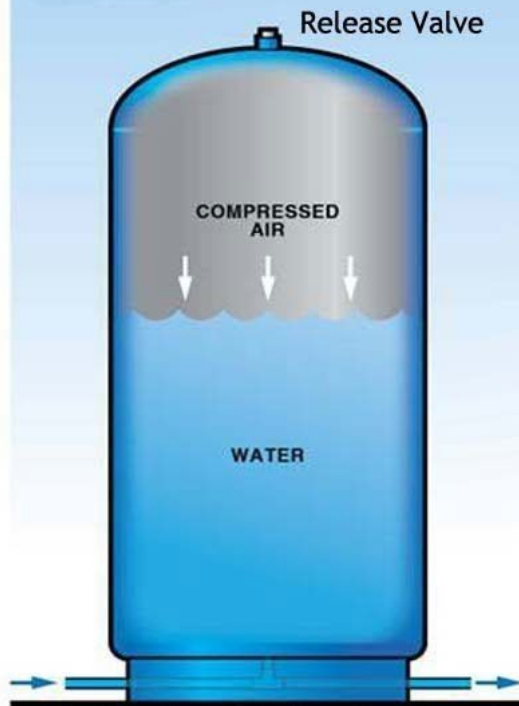
Pressure in tank



Utilization of Pressure Tank

Different Types of Pressure Tanks

One Compartment Stainless Steel (old style) pressure tank

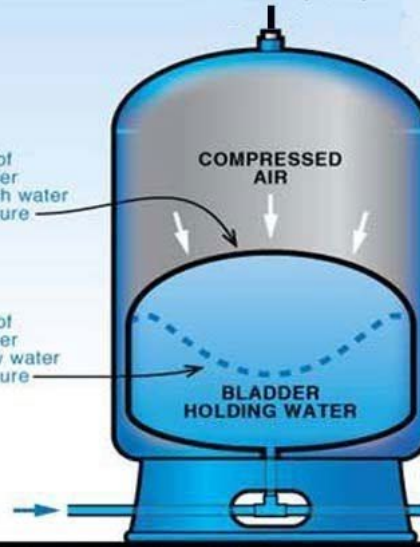


Bladder Pressure Tank

Tire type valve for adding air with tire pump

Size of bladder at high water pressure

Size of bladder at low water pressure

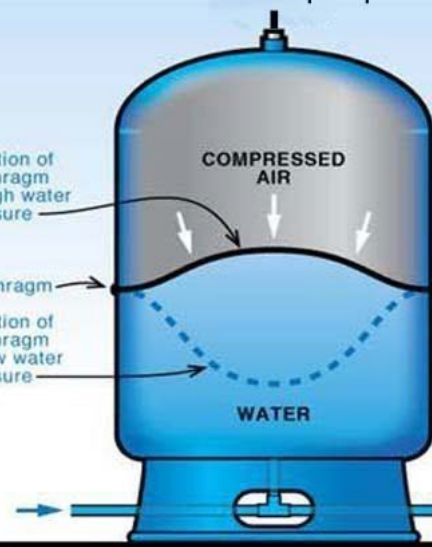


Diaphragm Pressure Tank

Tire type valve for adding air with tire pump

Location of diaphragm at high water pressure

Diaphragm
Location of diaphragm at low water pressure



Utilization of Pressure Tank

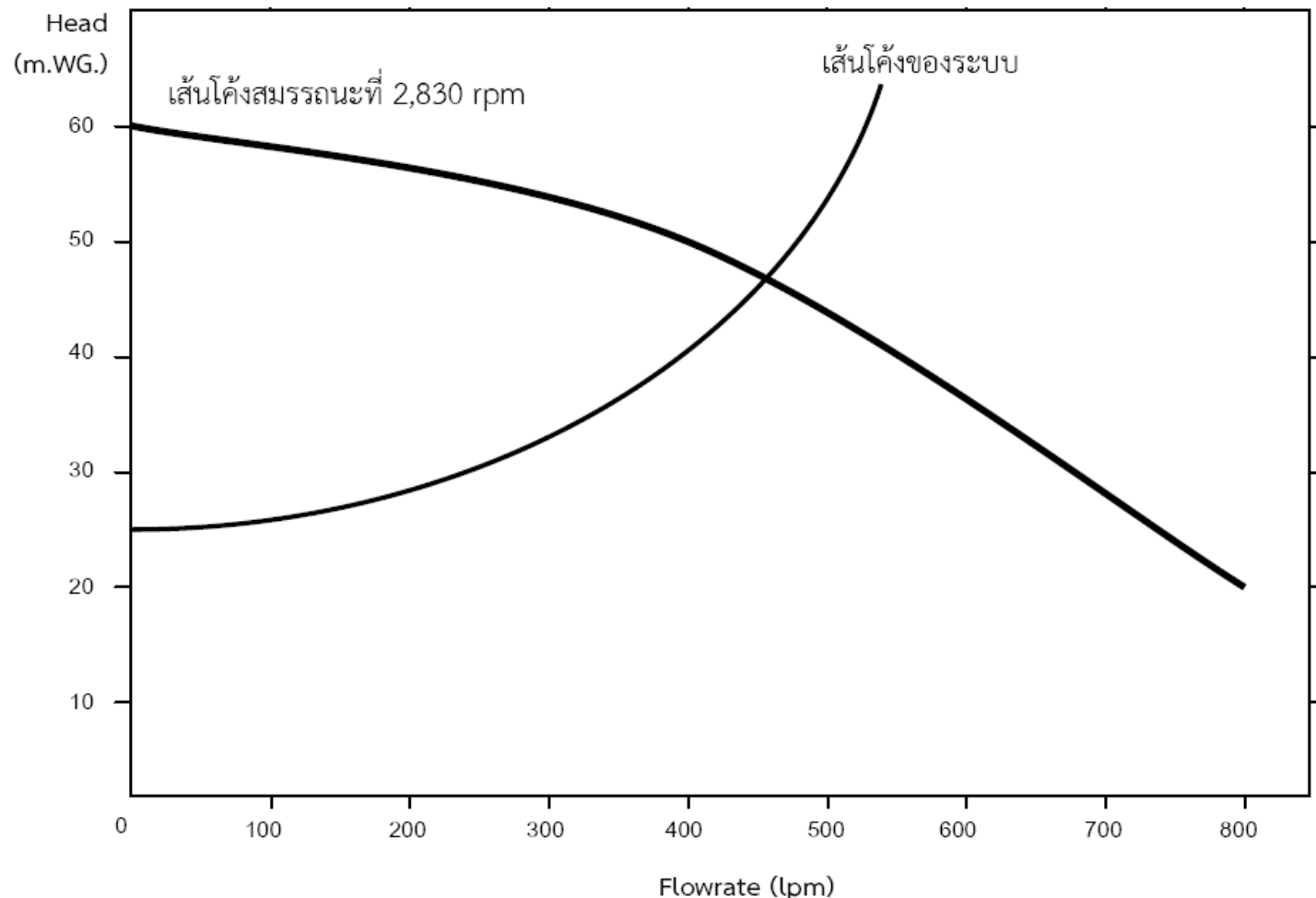


Pressure Tank
(with diaphragm)

Pressure Tank
(w/o diaphragm)

Example 6.2

จากเส้นโค้งของระบบ และเส้นโค้งสมรรถนะของปั๊มซึ่งหมุนที่ความเร็วรอบปกติ 2,830 rpm ตามรูปด้านล่าง หากทำการลดความเร็วรอบของปั๊มลงเหลือ 2,000 rpm อัตราการไหลในระบบจะลดลงเหลือเท่าใด? จะลดความเร็วรอบของปั๊มได้ต่ำที่สุดเท่าไร?



Example 6.2

ใช้กฎของความเสมือนจากสมการ (6.7) เพื่อสร้างเส้นโค้งสมรรถนะของปั๊มขั้นใหม่ จากการลดความเร็วรอบ $N_1 = 2,830 \text{ rpm}$ ลงเหลือ $N_2 = 2,000 \text{ rpm}$ ได้ความสัมพันธ์คือ

อัตราการไหล

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \Rightarrow Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = Q_1 \left(\frac{2,000}{2,830} \right) \Rightarrow \boxed{Q_2 = 0.7Q_1}$$

เฮด

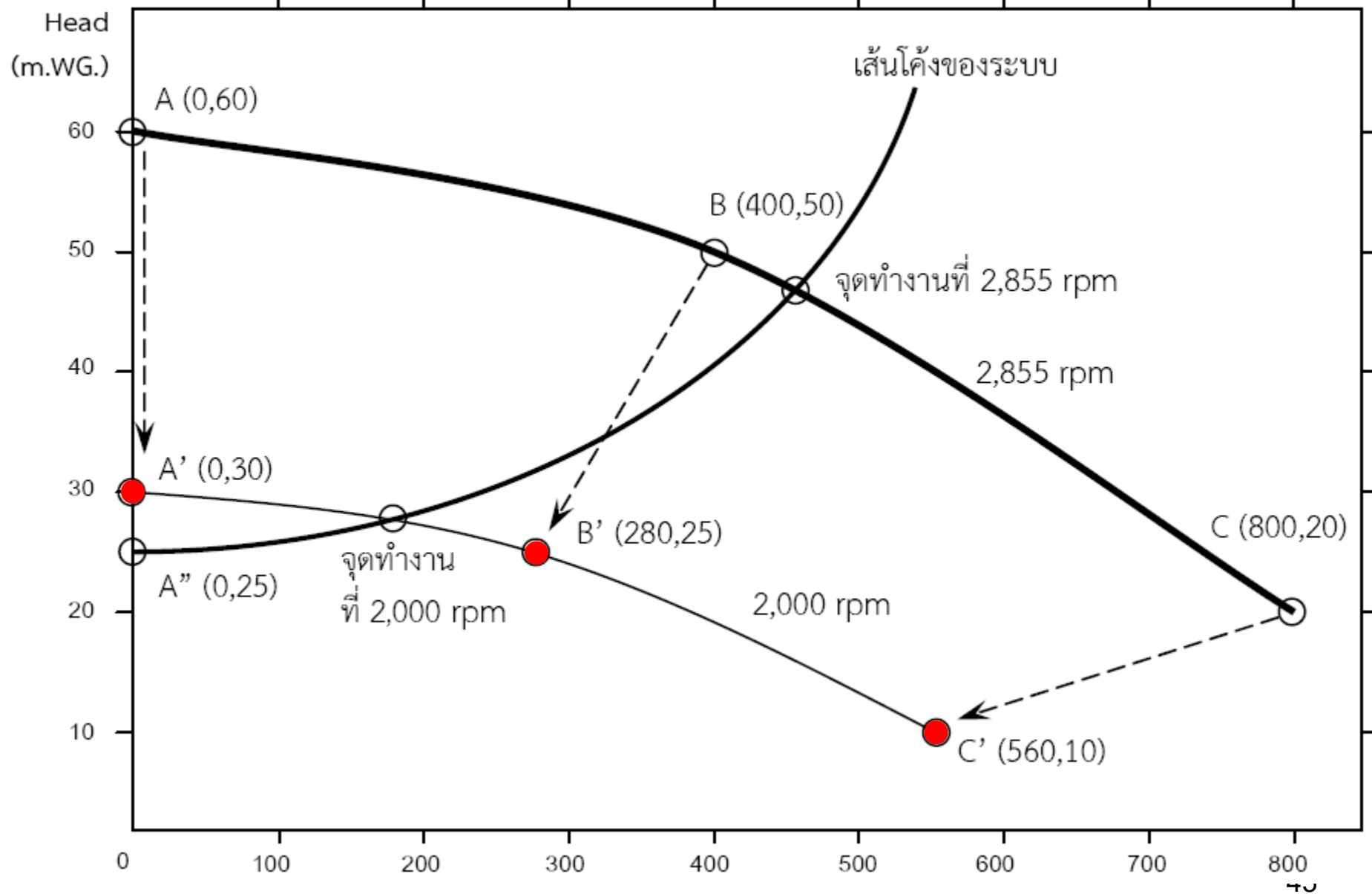
$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \Rightarrow h_2 = h_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = h_1 \left(\frac{2,000}{2,830} \right)^2 \Rightarrow \boxed{h_2 = 0.5h_1}$$

Example 6.2

จากนั้นเลือกจุด 3 จุดบนเส้นโค้งสมรรถนะที่ความเร็วรอบ 2,830 rpm ได้แก่จุด A B และ C เพื่อนำมาเซด และอัตราการไหลใหม่คือ

จุด\ สมรรถนะ	2,830 rpm	
	Q_1	h_1
A	0 lpm	60 m.
B	400 lpm	50 m.
C	800 lpm	20 m.

จุด\สมรรถนะ	2,000 rpm	
	$Q_2 = 0.7Q_1$	$h_1 = 0.5h_1$
A'	0 lpm	30 m.
B'	280 lpm	25 m.
C'	560 lpm	10 m.



Example 6.2

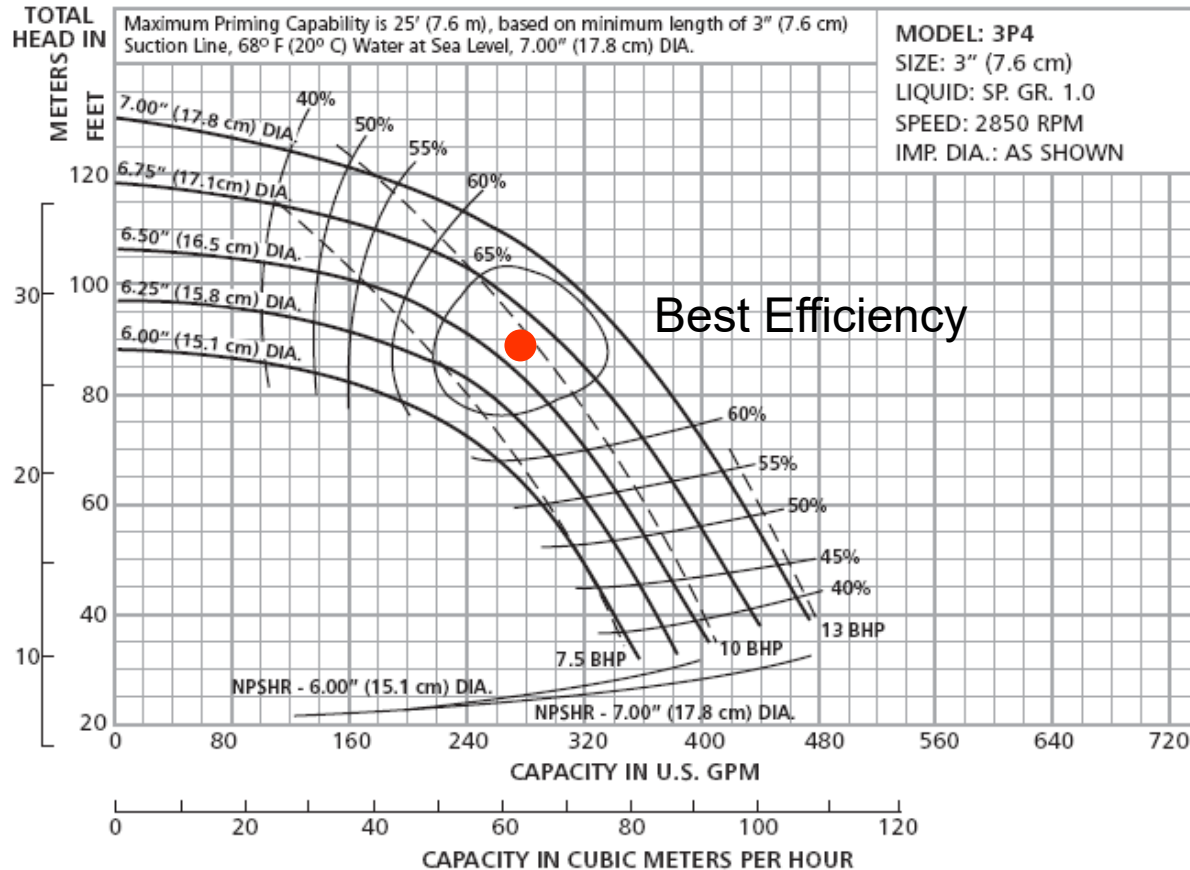
ความเร็วรอบต่ำที่สุดของปั๊มที่ยังสามารถทำงานได้คำนวณได้จากเฮดความสูงของระบบ คือที่จุด A” ในรูปด้านบน ดังนั้นจะลดความเร็วรอบลงได้จนเฮดสูงสุดของปั๊มมีค่าไม่ต่ำกว่า 25 m.WG. ซึ่งคิดความเร็วรอบตามกฎหมายของความเสมือนได้ดังนี้

$$\frac{h_1}{h_3} = \left(\frac{N_1}{N_3} \right)^2 \Rightarrow N_3 = N_1 \sqrt{\frac{h_3}{h_1}} = 2,830 \sqrt{\frac{25}{60}} \Rightarrow N_3 = 1,827 \text{ rpm} \quad \text{ตอบ}$$

ข้อสังเกต

หากนำกฎของความเสมือนมาคำนวณใช้กับจุดทำงานที่ 2,830 rpm โดยตรงโดยไม่ทำการหาเส้นโค้งสมรรถนะใหม่ จะได้คำตอบที่ผิดพลาดไปมาก เนื่องจากระบบมีเฮดความสูงค่อนข้างมาก

3. Pump Selection



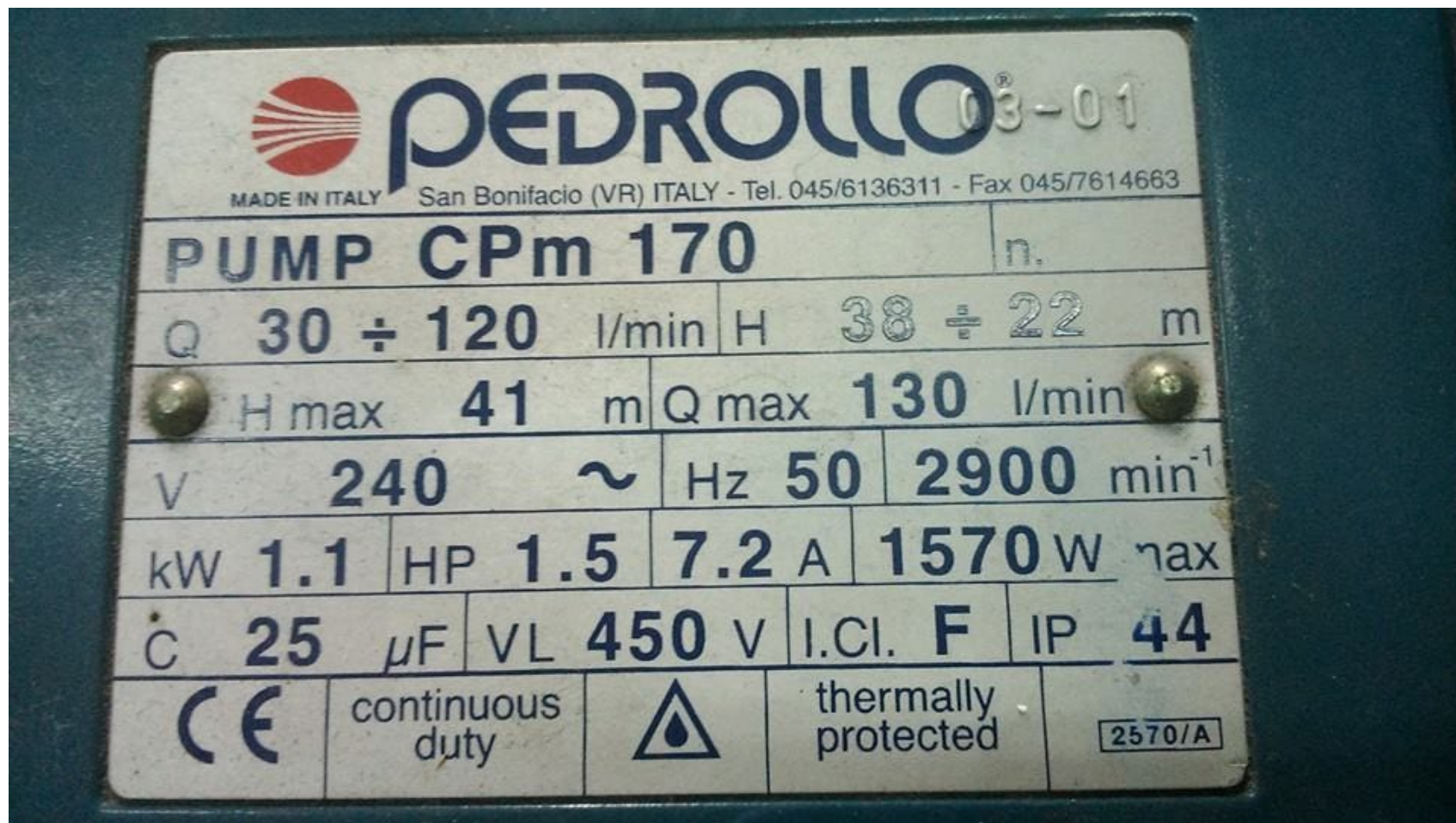
Pump Specification

ผู้ผลิตมักระบุขนาดของปั๊มนิยระบุเป็น อัตราการไหล และความดันหรือเฮด ณ จุดทำงานที่เหมาะสมของปั๊มนั้นๆ และระบุความเร็วรอบ โดยบางครั้งอาจบอกเป็นช่วงการทำงานด้วยการระบุจุดสองจุดบนเส้นโค้งสมรรถนะ เช่น

Q max/min	25/54 m ³ /h
H max/min	86/75 m WG
speed	2,890 rpm

โดยในส่วนของเฮด บางครั้งจะเขียนลงท้ายด้วย WG ดังตัวอย่างข้างต้น ซึ่งย่อมาจาก Water Gauge หรือลงท้ายด้วย TDH ซึ่งย่อมาจาก Total Dynamic Head

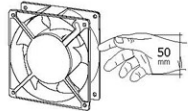

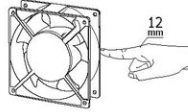

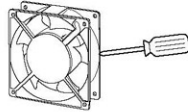
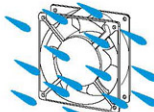
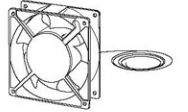
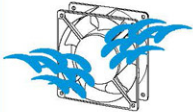
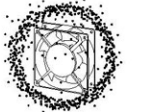

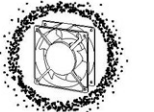

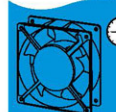

Pump Nameplate



IP RATING

The IP Code, **International Protection Marking**, IEC standard 60529, sometimes interpreted as **Ingress Protection**

IP (Ingress Protection) Ratings Guide

SOLIDS		WATER	
1	 <p>Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand.</p>	1	 <p>Protected against vertically falling drop of water. Limited ingress permitted. Duration 10 minutes.</p>
2	 <p>Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger.</p>	2	 <p>Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilter up to 15 degrees from the vertical. Duration 10 mins, shall have no harmful effect.</p>
3	 <p>Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver.</p>	3	 <p>Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Duration 5 minutes, shall have no harmful effect.</p>
4	 <p>Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire.</p>	4	 <p>Protected against water splashed from all directions. Duration 5 minutes, shall have no harmful effect.</p>
5	 <p>Dust protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.</p>	5	 <p>Protected against jets of water. Duration 3 minutes, shall have no harmful effect.</p>
6	 <p>Dust tight. No ingress of dust. Two to eight hours.</p>	6	 <p>Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.</p>
		7	 <p>Protection against the effects of immersion in water between 15cm and 1m for 30 minutes.</p>
		8	 <p>Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.</p>

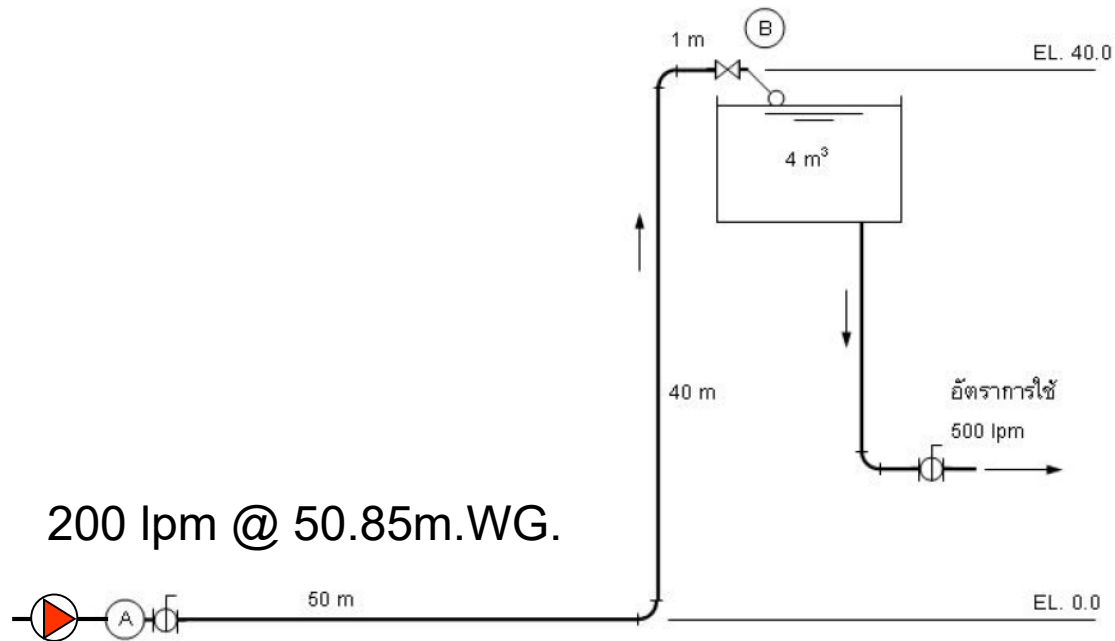
Rating Example:

IP65

INGRESS PROTECTION

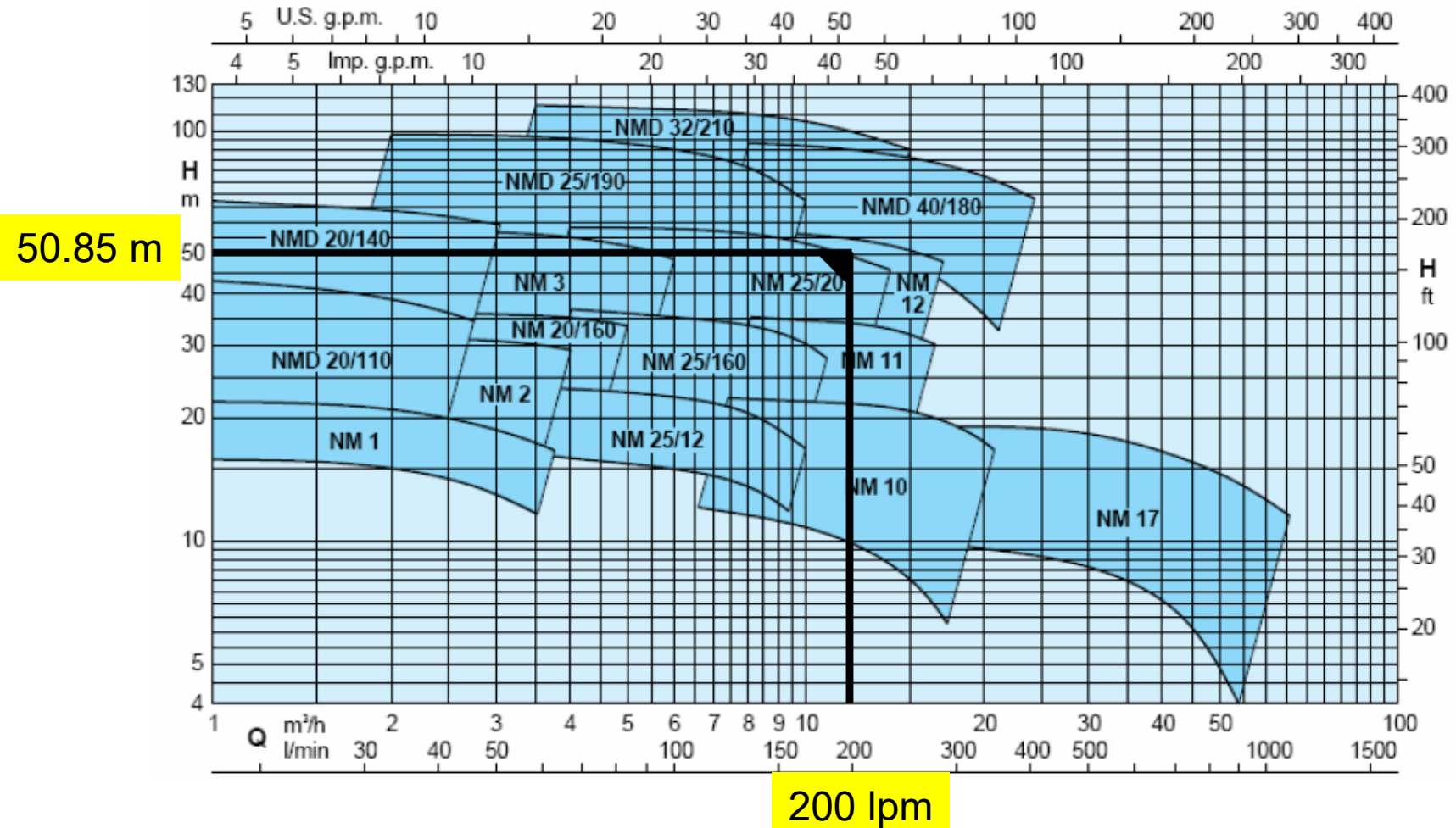
Example 6.3

Select the suitable pump for Example 5.1



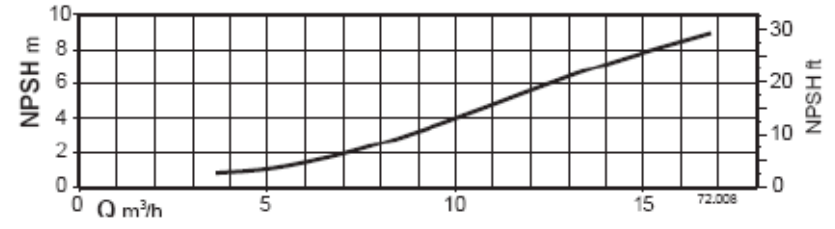
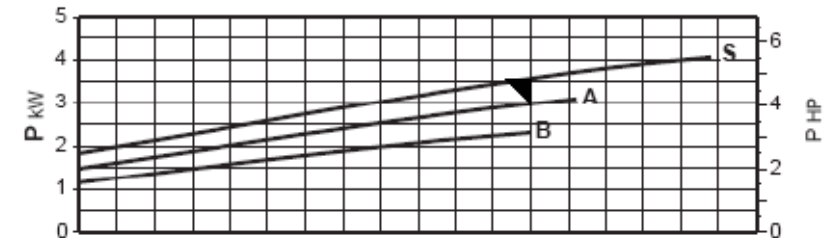
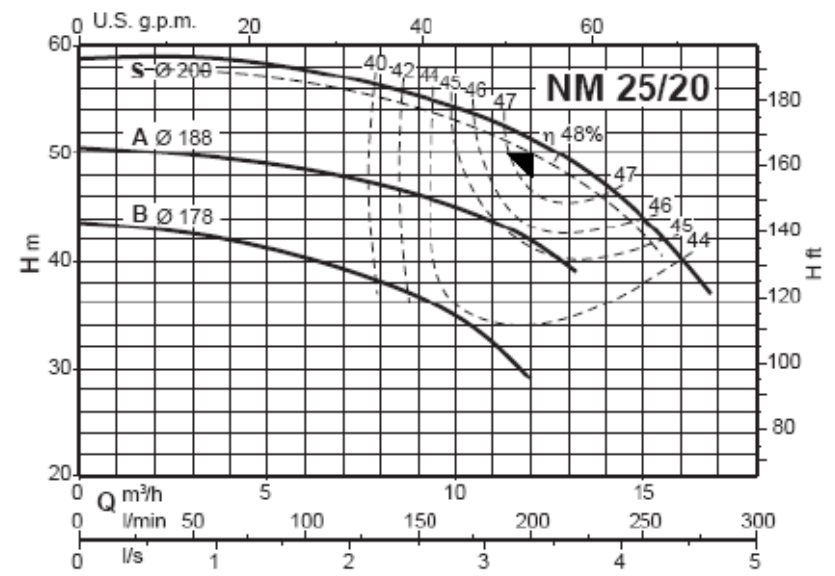
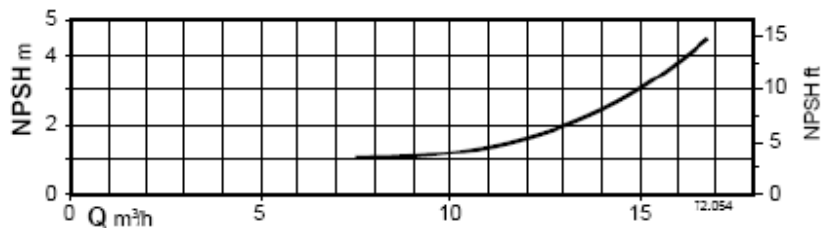
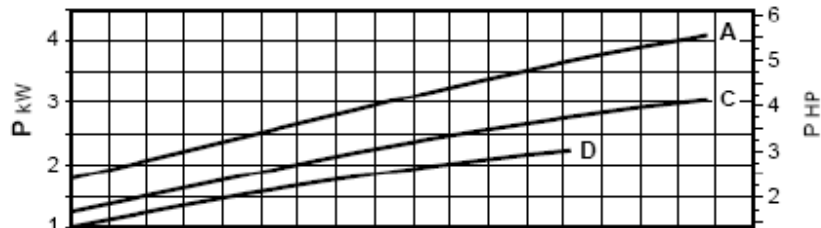
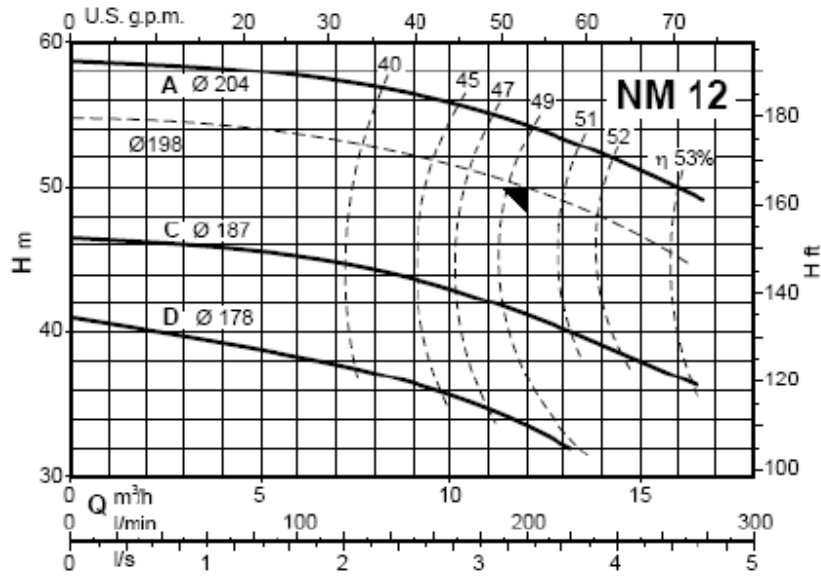
Example 6.3 (2)

Possible selections: NM12 and NM25/20



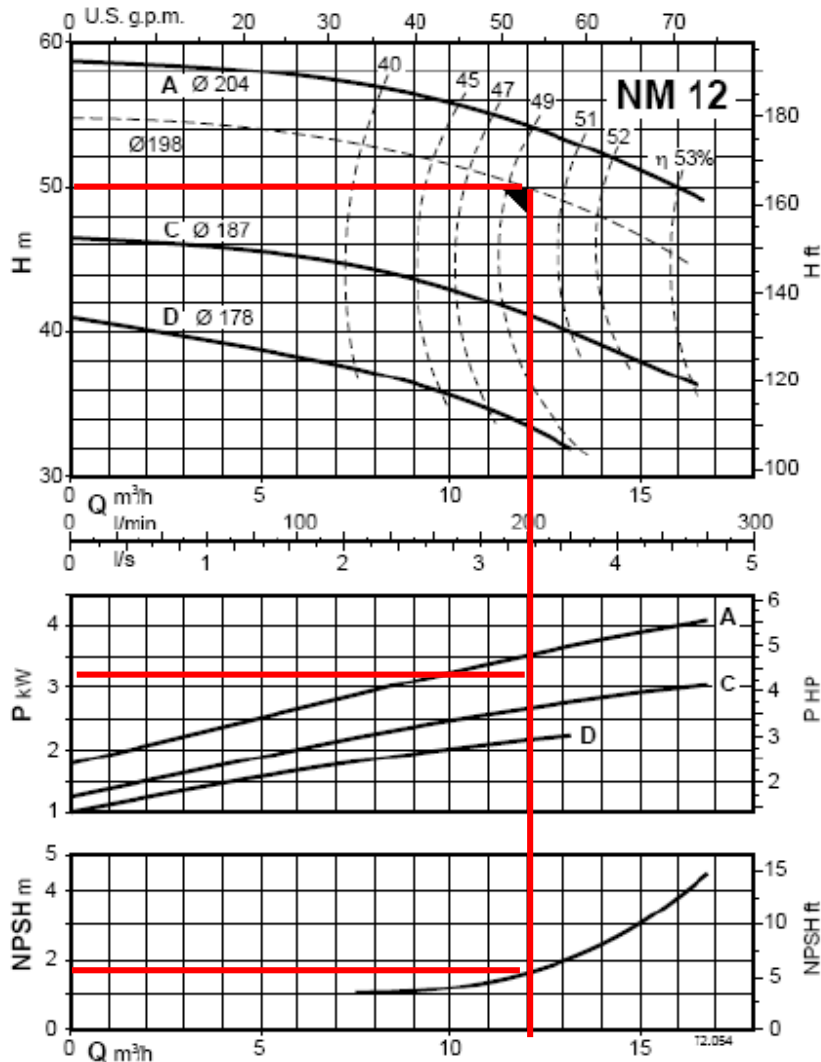
Example 6.3 (2)

Select NM12: Trim Diameter to 198 mm



Example 6.3 (3)

Select NM12: Trim Diameter to 198 mm



Pump has efficiency of 49.5%

Power consumption 3.2 kW

Max power consumption 4kW

Select Motor size: 5.5kW

Note: follow standard motor size

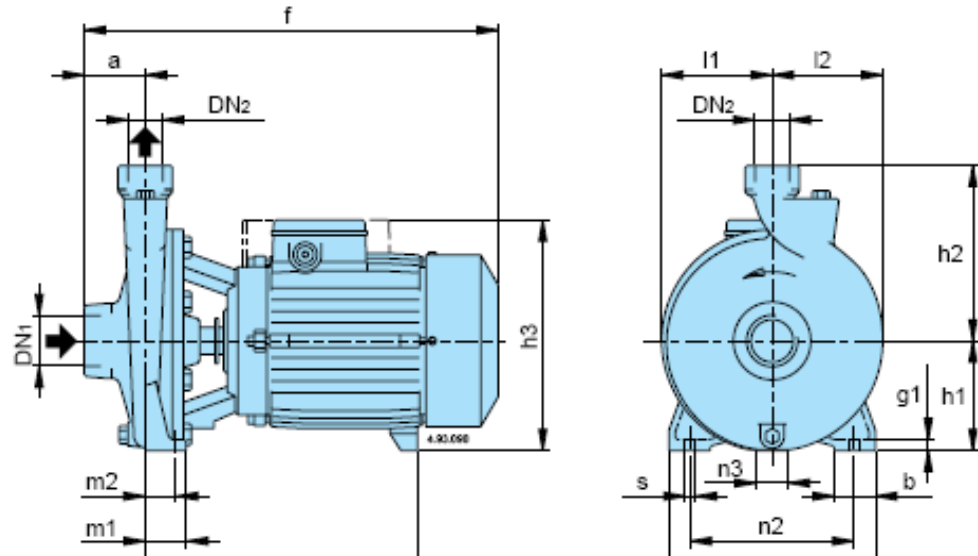
Example 6.3 (4)

hp	kW
1/8	0.09
1/6	0.12
1/4	0.18
1/3	0.25
1/2	0.37
3/4	0.55
1	0.75
1.5	1.1
2	1.5
2.5	1.85
3	2.2

hp	kW
4	3
5.5	4
7.5	5.5
10	7.5
15	11
20	15
25	18.5
30	22
40	30
50	37
60	45

Example 6.3 (5)

Dimension of NM12

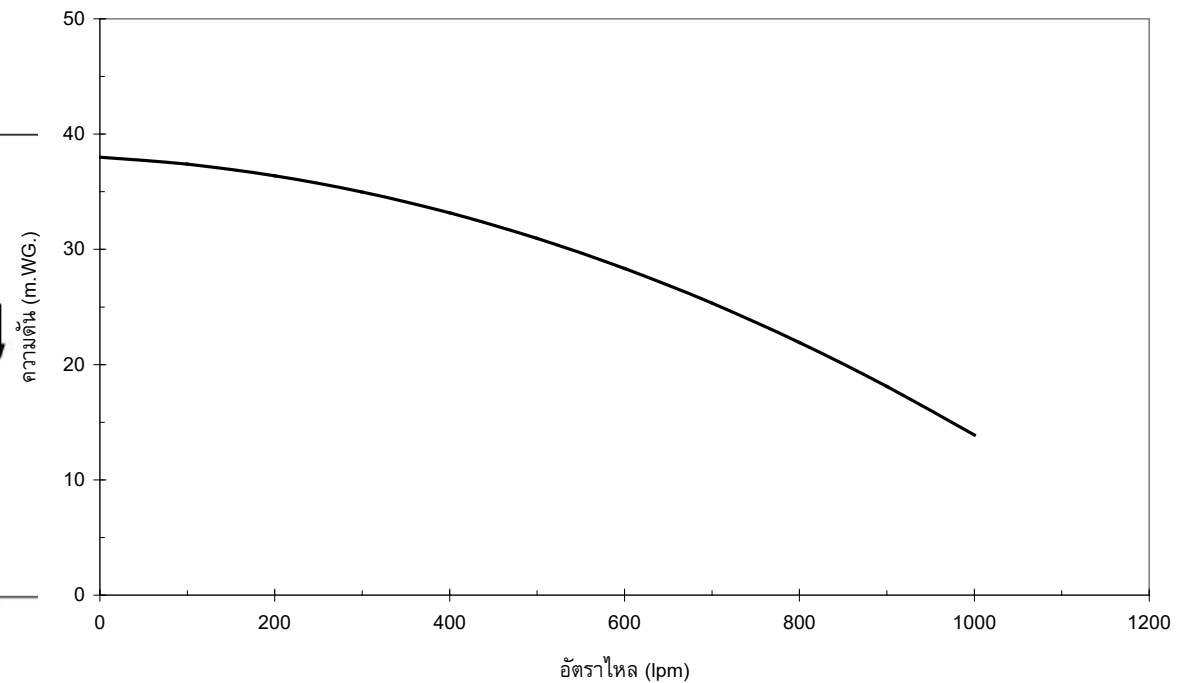
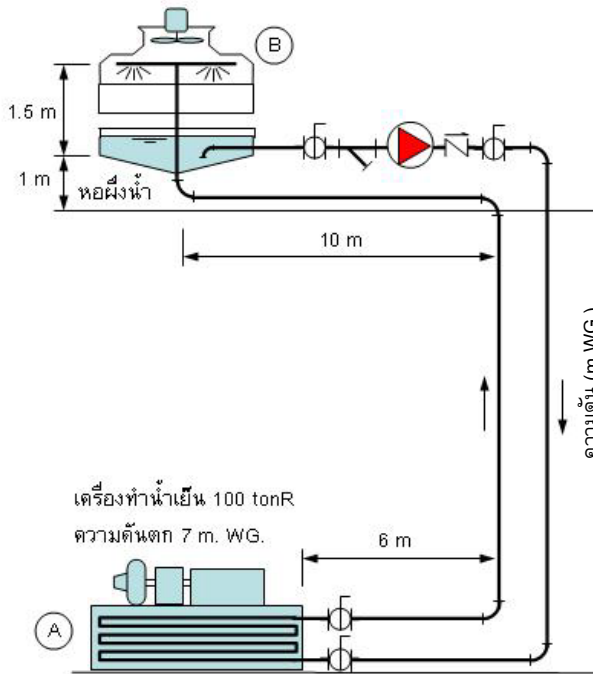


B-NM I-NM	NM	DN ₁ ISO 228	DN ₂ ISO 228	mm															
				a	f	h ₁	h ₂	h ₃	m ₁	m ₂	n ₁	n ₂	n ₃	b	s	l ₁	l ₂	w	g ₁
	NM 1/AE	G 1	G 1	40	261	80	132	176	40	32	170	140	17	35	9,5	77	81	171	10
	NM 2/AE-SE-BE	G 1	G 1	45	305	95	150	203	40	32	190	160	17	35	9,5	87	90	218	10
	NM 3/AE-BE-CE	G 1	G 1	50	375	112	180	222	55	43	245	205	37	45	11,5	110	113	244	12
B-NM 20/160AE-BE	NM 20/160AE-BE	G 1 1/4	G 3/4	53	375	100	150	210	37,5	27,5	190	150	30	38	9,5	102	102	246	10
	NM 25/12AE-BE	G 1 1/2	G 1	56	313	90	140	195	37,5	27,5	170	130	9	38	9,5	85	88	250	10
B-NM 25/125AE-BE		G 1 1/2	G 1	56	380	90	140	200	37,5	27,5	170	130	9	38	9,5	85	88	250	10
B-NM 25/160AE-BE	NM 25/160AE-BE	G 1 1/2	G 1	56	380	100	160	210	37,5	27,5	190	150	30	38	9,5	102	102	246	10
	NM 25/20BE	G 1 1/2	G 1	63	393	125	180	235	45	32,5	245	200	49	45	11,5	125	125	251	11
	NM 25/20AE-SE	G 1 1/2	G 1	63	455	125	180	253	45	32,5	245	200	42	45	11,5	125	125	295	11
I-B-NM 25/200BE		G 1 1/2	G 1	63	405	125	180	235	45	32,5	245	200	49	45	11,5	125	125	263	11
I-B-NM 25/200AE-SE		G 1 1/2	G 1	63	455	125	180	253	45	32,5	245	200	42	45	11,5	125	125	295	11
	NM 10/SE-AE-DE-FE	G 2	G 1 1/4	63	382	100	150	210	50	35	190	140	30	50	13	90	97	239	14
	NM 11/AE-BE	G 2	G 1 1/4	70	400	112	170	222	50	35	210	160	37	50	15	103	110	247	14
	NM 12/DE	G 2	G 1 1/4	70	400	132	190	242	50	35	240	190	47	50	15	125	127	247	14
	NM 12/AE-CE	G 2	G 1 1/4	70	465	132	190	260	50	35	240	190	45	50	15	125	127	300	14
B-NM 17/FE- GE-HE	NM 17/FE- GE-HE	G 2 1/2	G 2 1/2	80	417	112	160	222	50	35	210	160	37	50	14	96	113	257	14
B-NM 17/DE	NM 17/DE	G 2 1/2	G 2 1/2	80	475	112	160	240	50	35	210	160	20	50	14	96	113	295	14

Example 6.4

Back to example 5.3, if two identical pump of the following curve is installed, predict the operating point.

900lpm@23.1m.WG.



Example 6.4 (2)

23.1m.WG.

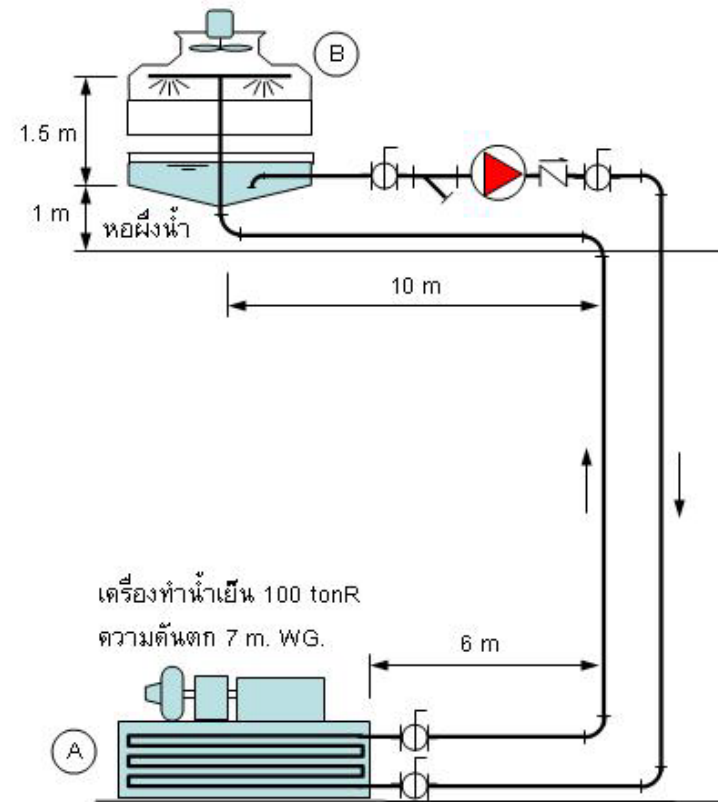
= 21.6m.WG → Variable with flow rate
+ 1.5 m. WG. Elevation → Constant

$$\Delta p = h + cQ^2$$

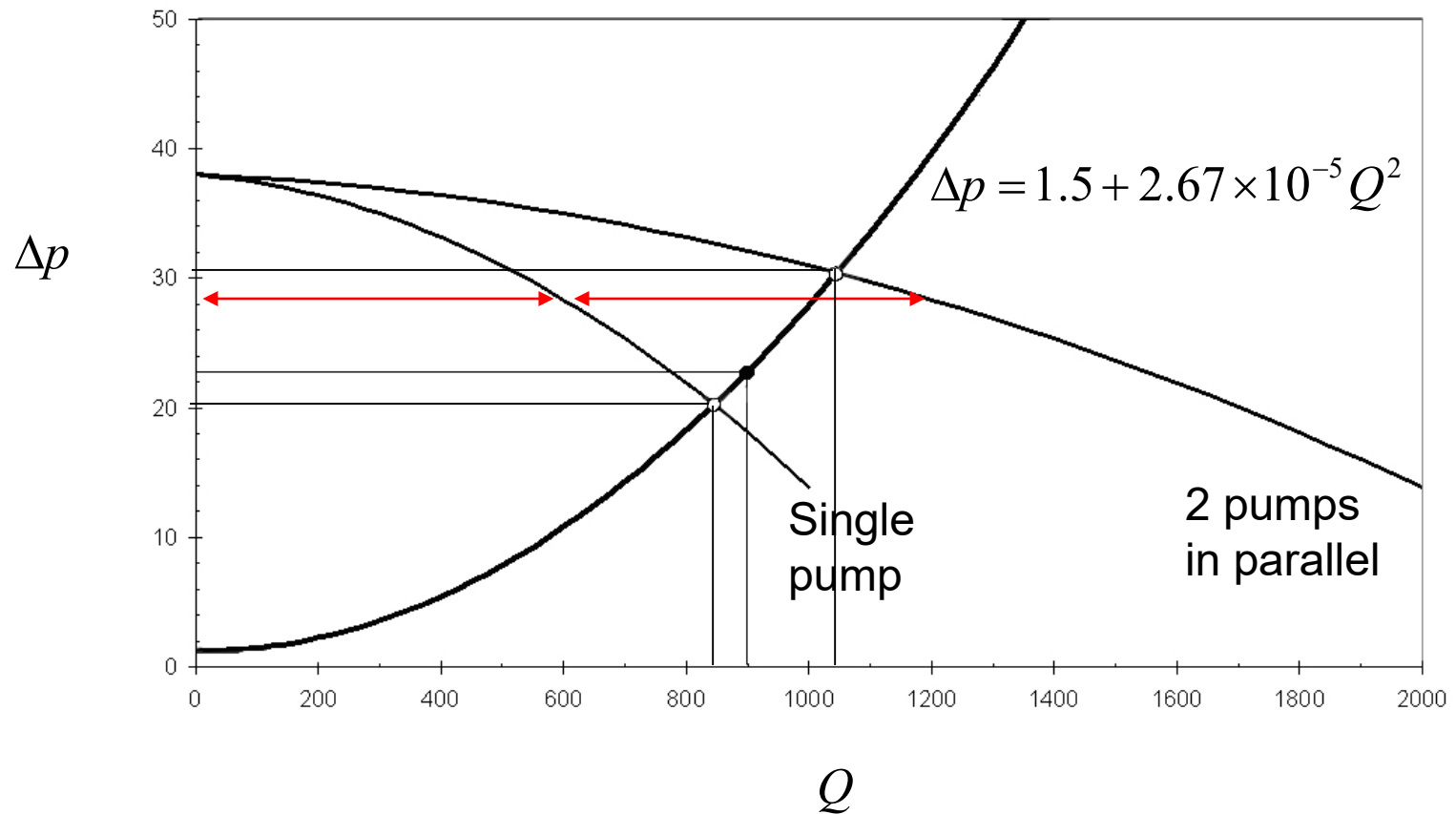
$$23.1 = 1.5 + c(900^2)$$

$$c = 2.67 \times 10^{-5}$$

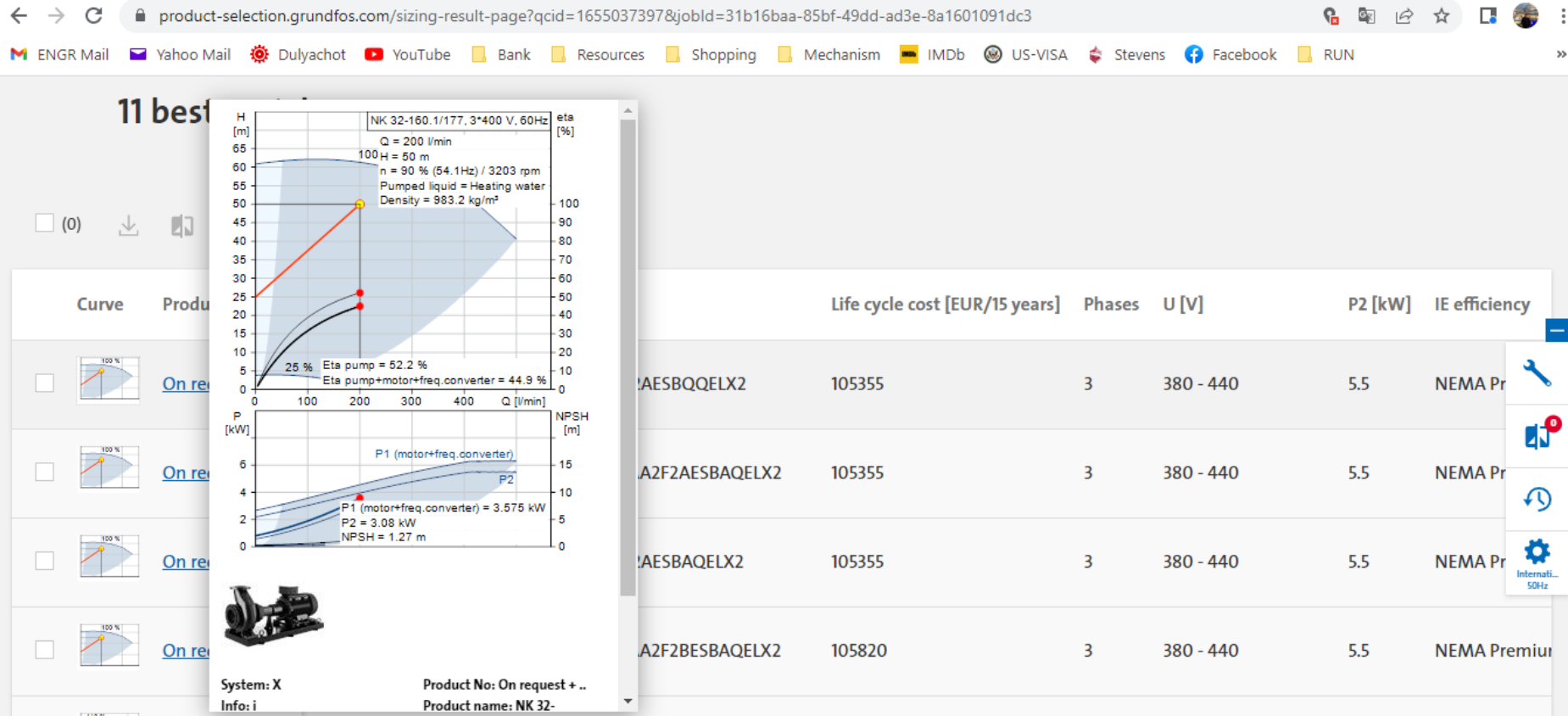
$$\Delta p = 1.5 + 2.67 \times 10^{-5} Q^2$$



Example 6.4 (3)

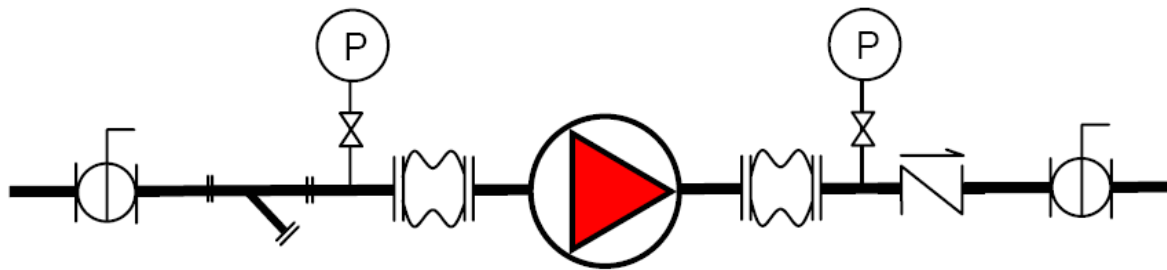


Example of On-line Pump Selection

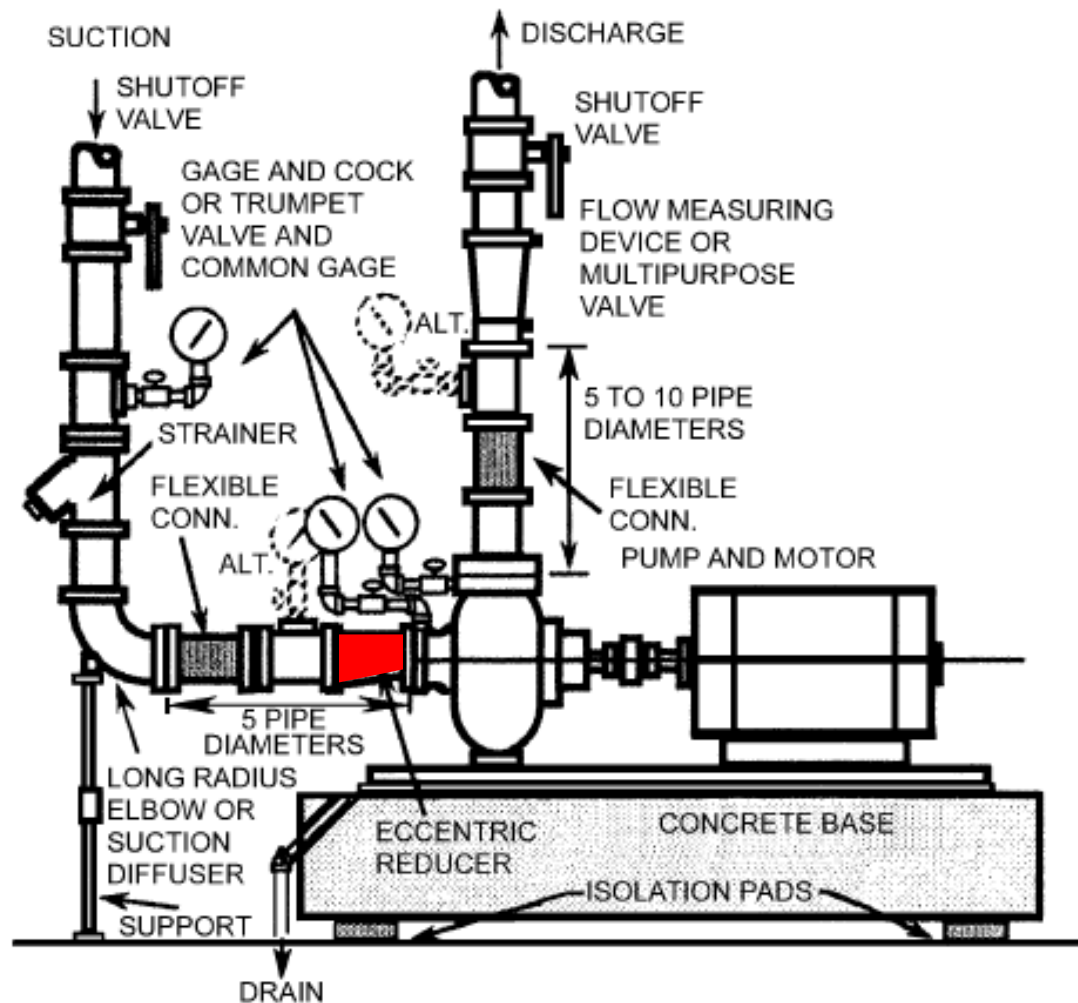


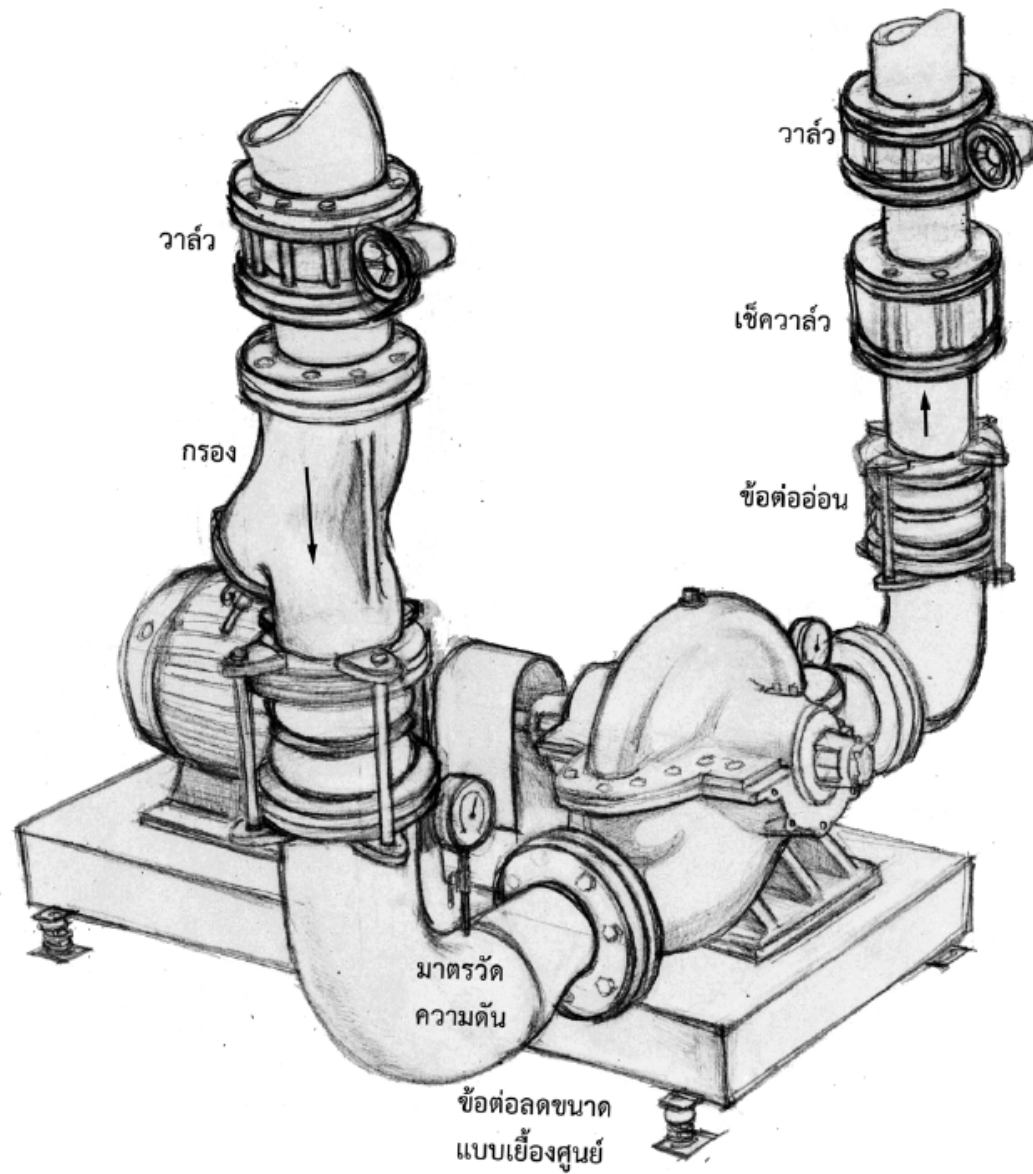
<https://product-selection.grundfos.com/>

3. Pump Installation



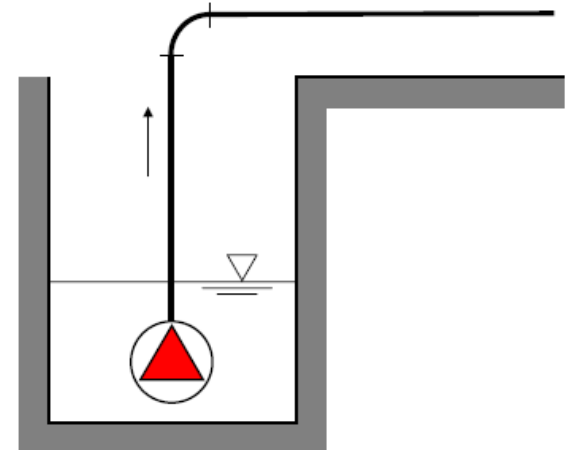
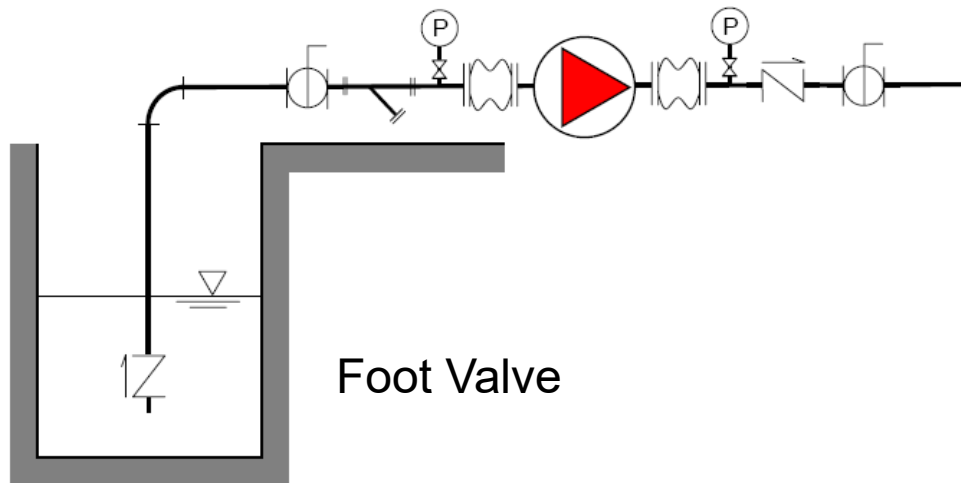
Typical Installation





Suction Lift

More suction lift = Less NPSHA \rightarrow Cavitation
5 Meter lift is the maximum possible value

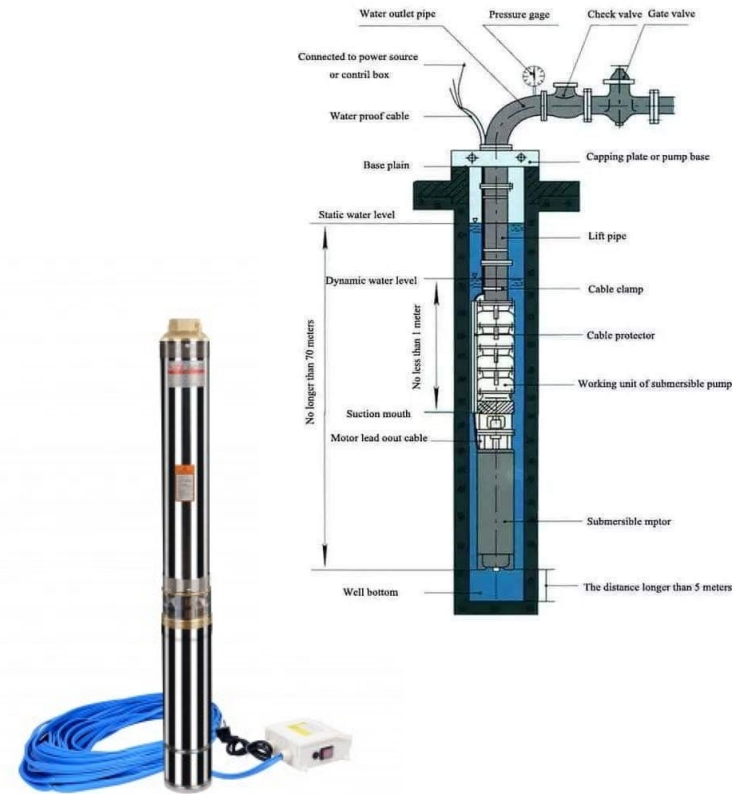


Submersible pump

DEEP WELL PUMPING

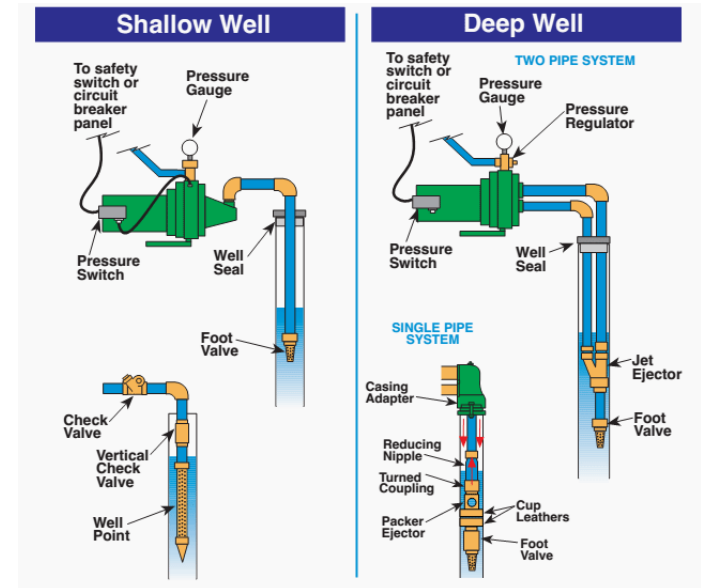
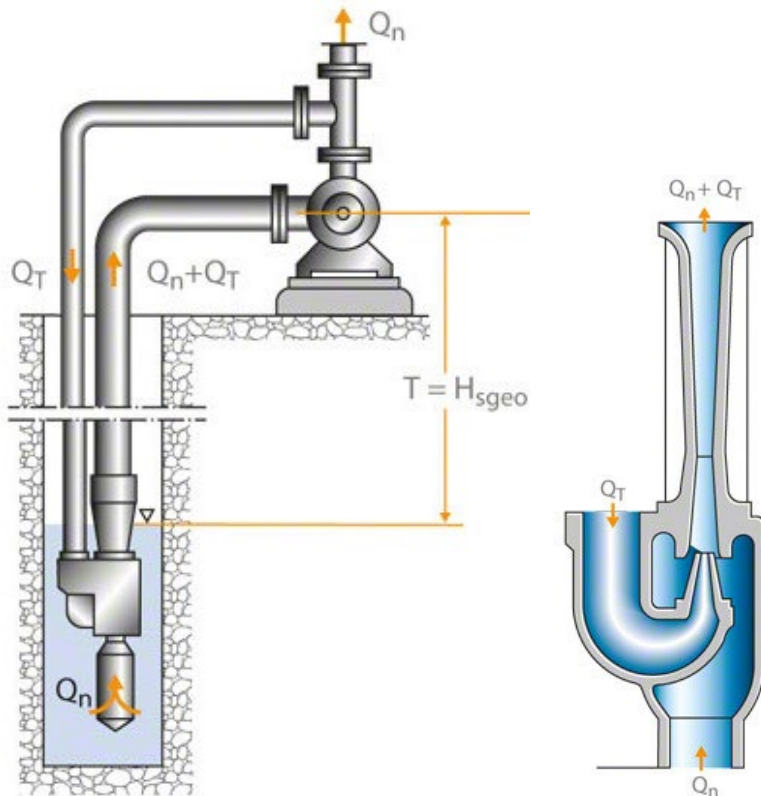


Eductor jet pump



Submersible pump

DEEP WELL PUMPING



https://acszigalen.cloudimg.io/v7/https%3A%2F%2Flive-resources-e2e-sales.ksb.com%2Fresource%2Fblob%2F1117346%2Fb0abe40aed1fde5aa1429c505bc6dc19%2Fpic-eductor-jet-pump-1--data.jpg?ci_url_encoded=1&optipress=3

DEEP WELL PUMPING

ชุดยอดพลังแรง
สำหรับดูดน้ำลึกทุกพื้นที่



DT-P300GX

มั่นใจ เลือกใช้งานได้ตามความเหมาะสมกับระดับความลึก

DT-P300GX (SJ) 300 วัตต์

DT-P300GX (PJ) 300 วัตต์

- สวิตช์อัตโนมัติ ทำงานตามจังหวะเปิด-ปิดของก๊อกน้ำ
- พร้อม Thermal Relay ในตัวมอเตอร์ ป้องกันมอเตอร์ไหม้
- ชุดใบพัด วาล์ว ทำจากเรซินคุณภาพสูง แข็งแรง ทนทาน
- ตัวถังทำจากเหล็กกล้า หนาพิเศษ พร้อมเคลือบสารกันสนิมหนาถึง 3 ชั้น
- คังคายน์จากสแตนเลสกันสนิม สวยงาม ทนทาน ป้องกันเสียงรบกวนจากแสงแดด
- สามารถเลือกใช้กับท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และ 4 นิ้ว
- ชุดท่อดูดของระบบเจ็ทเดี่ยว ทำจากท่อเหล็กหล่อพิเศษ แข็งแรงทนทาน

ระบบเจ็ทเดี่ยว - Single Jet (SJ)

เหมาะกับระดับน้ำลึกระหว่าง 12-18 เมตร



DT-P300GX (SJ)

*ท่อดูดทำจากท่อเหล็กหล่อ
ชนิดพิเศษ แข็งแรงและ
ทนทาน สำหรับพองบ่อ 2 นิ้ว

ระบบเจ็ทคู่ - Parallel Jet (PJ)

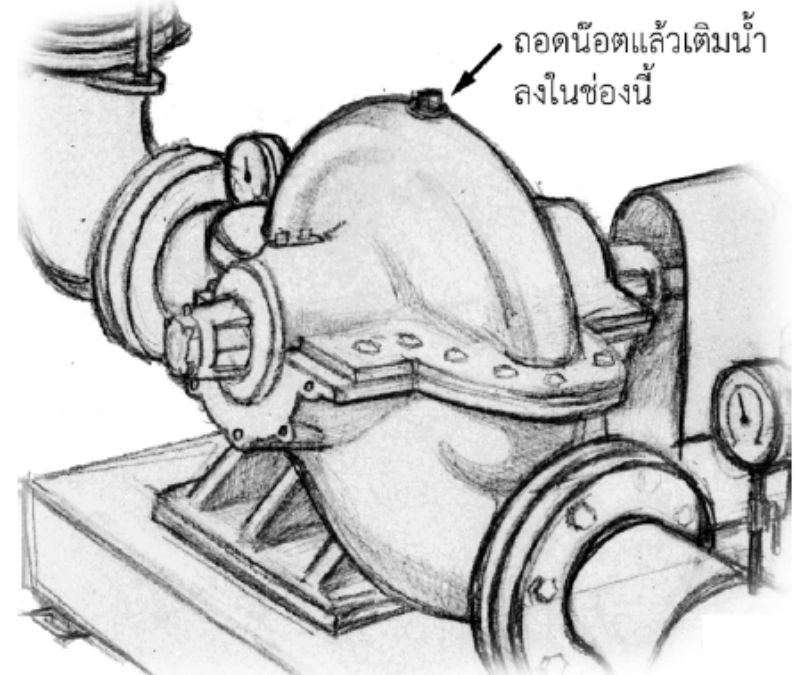
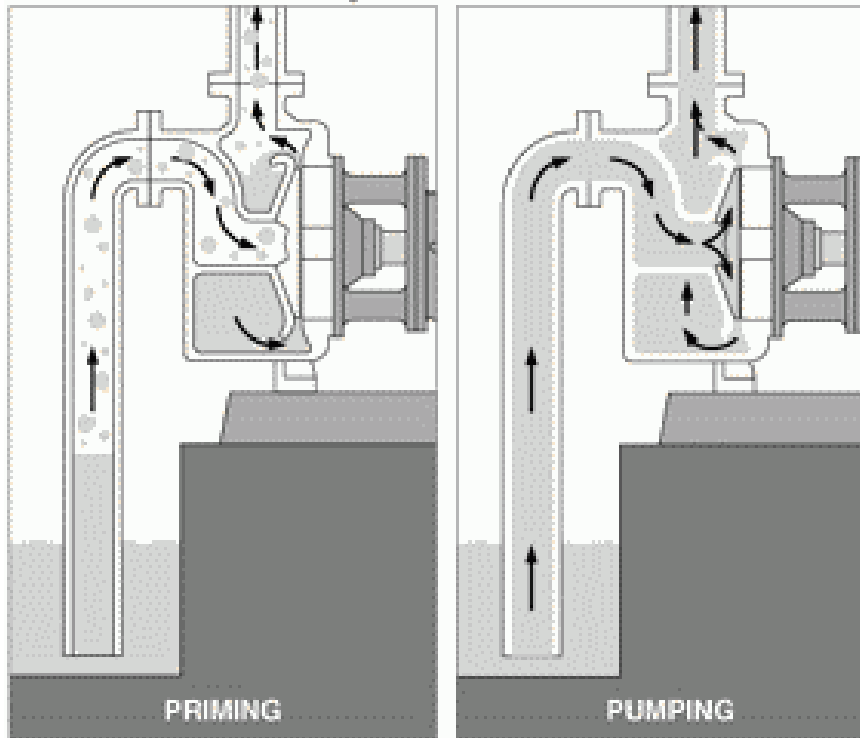
เหมาะกับระดับน้ำลึกระหว่าง 18-30 เมตร



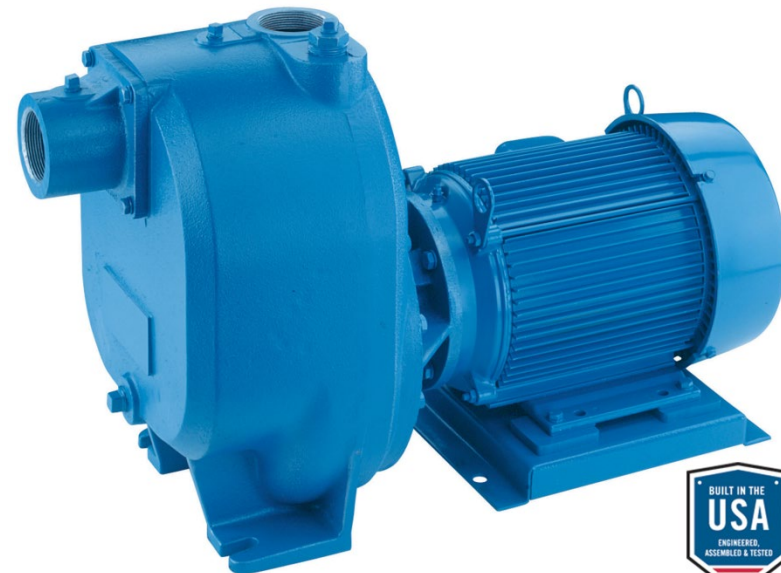
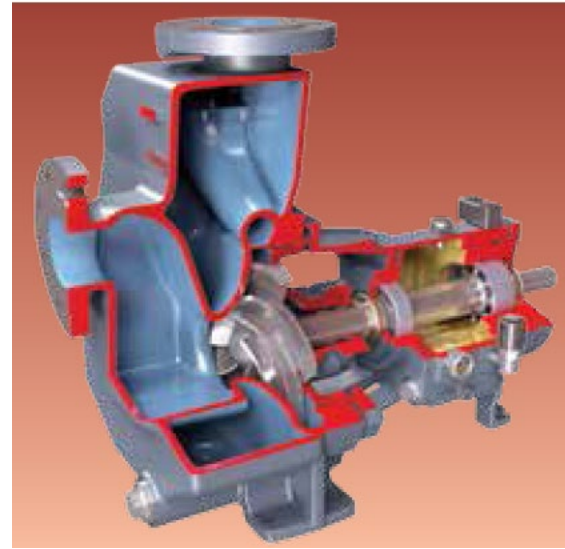
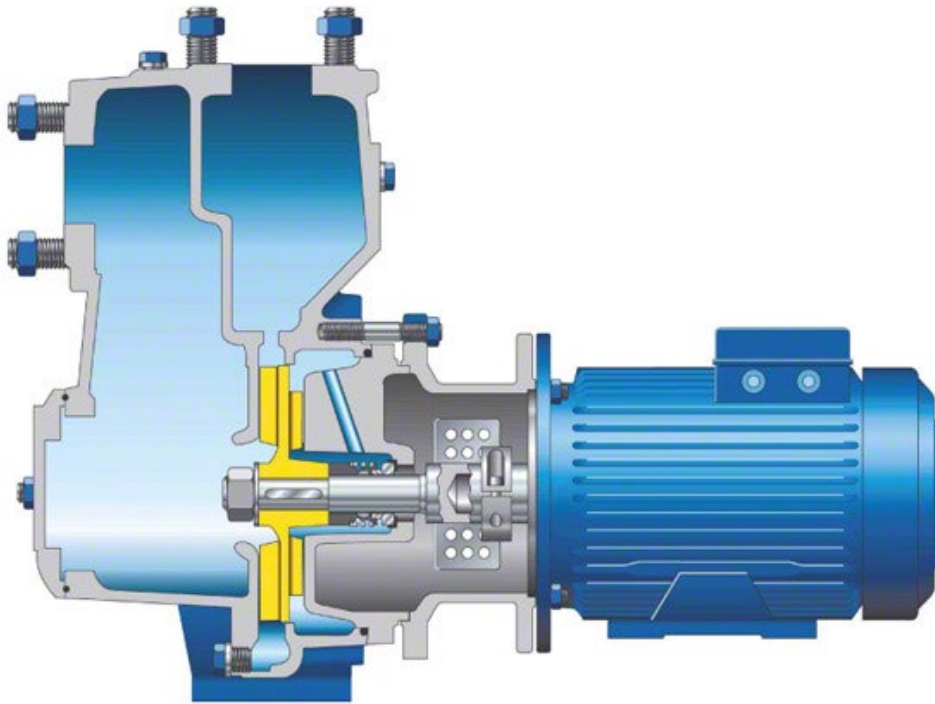
DT-P300GX (PJ)

*สำหรับพองบ่อขนาด
4 นิ้วขึ้นไป

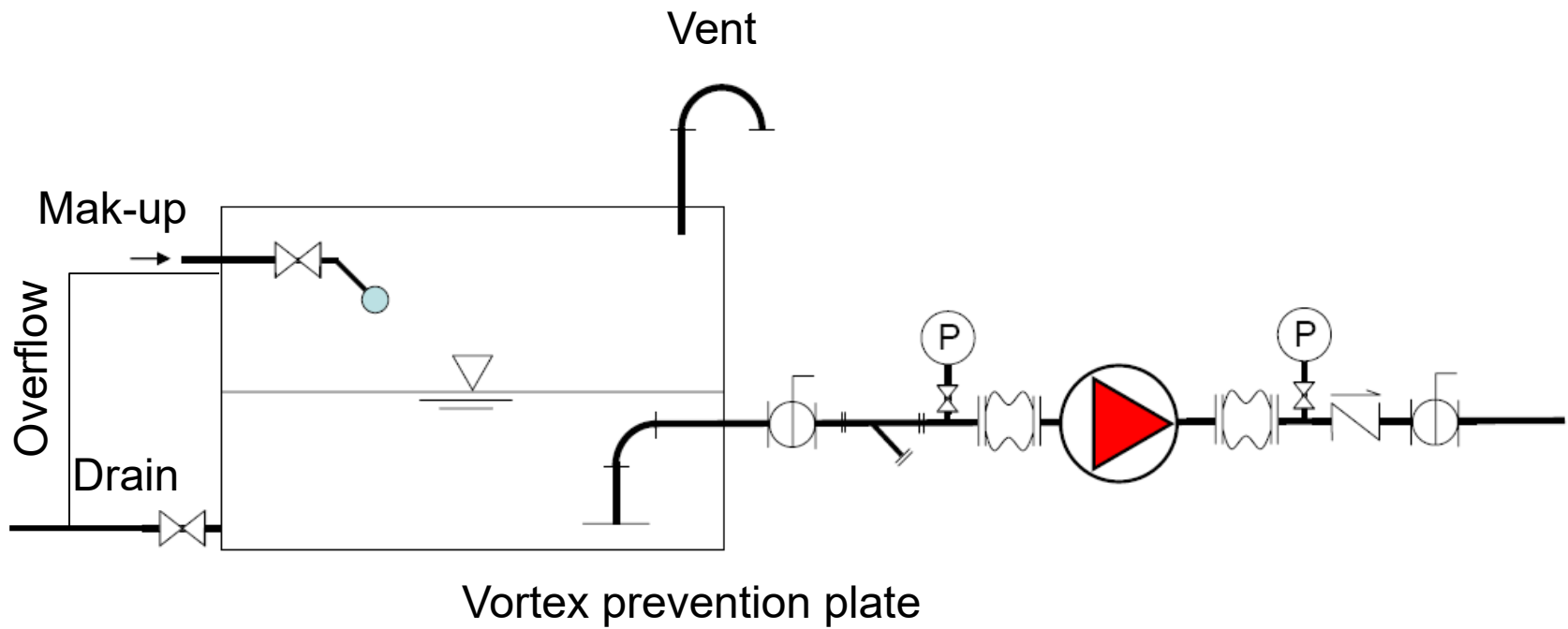
Priming



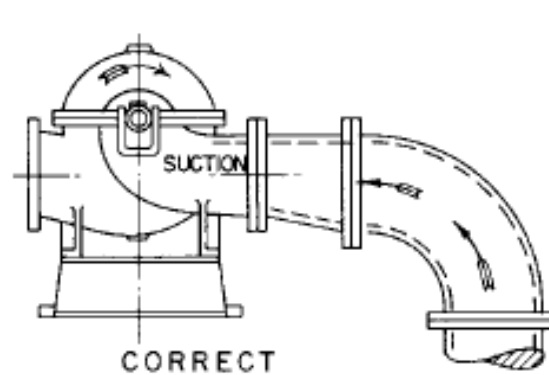
Self Priming Pump



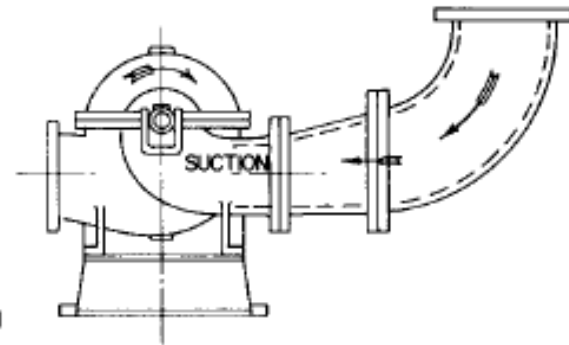
Pumping from Tank



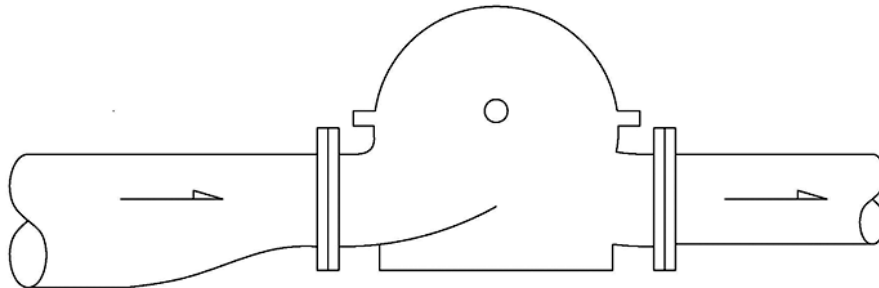
Eccentric Reducer



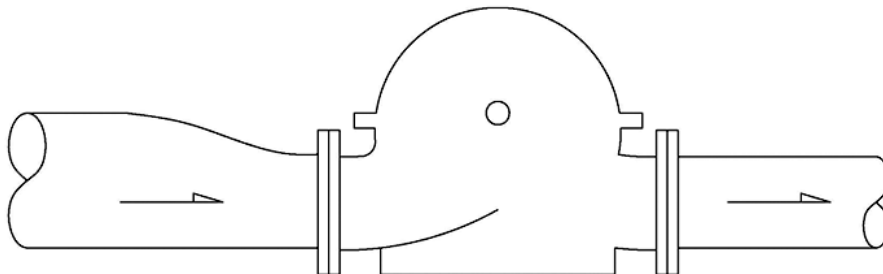
CORRECT
SOURCE OF SUPPLY
BELOW PUMP



ECCENTRIC REDUCERS SHOULD BE
ARRANGED WITH THE BOTTOMS
FLAT WHEN SOURCE OF SUPPLY
IS ABOVE THE PUMP



CORRECT



INCORRECT

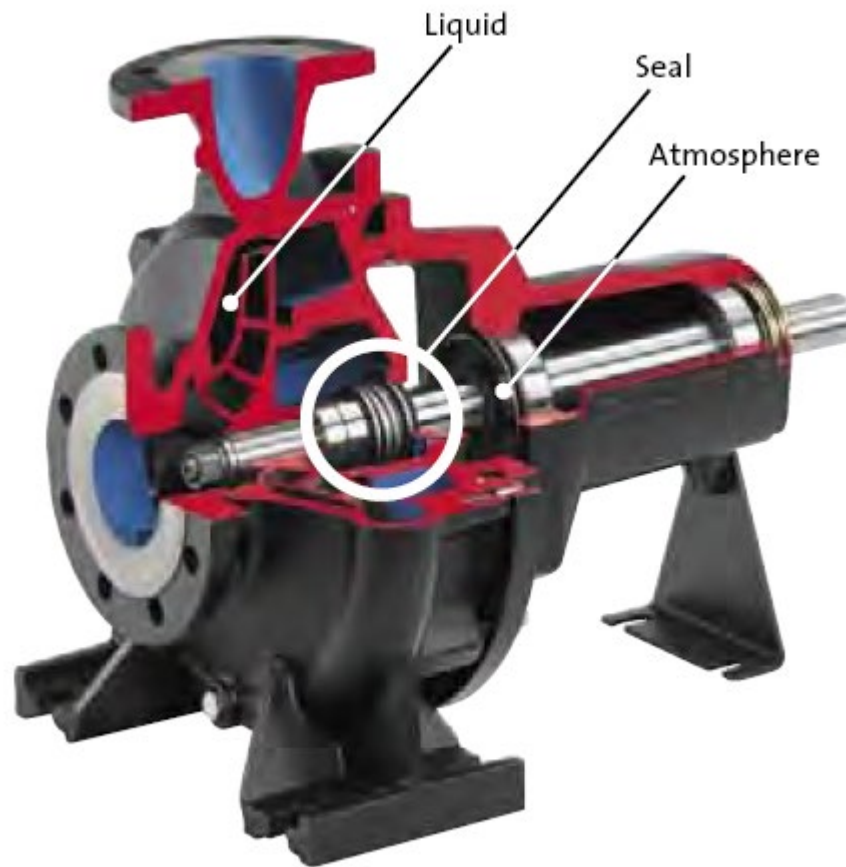
Installation photos



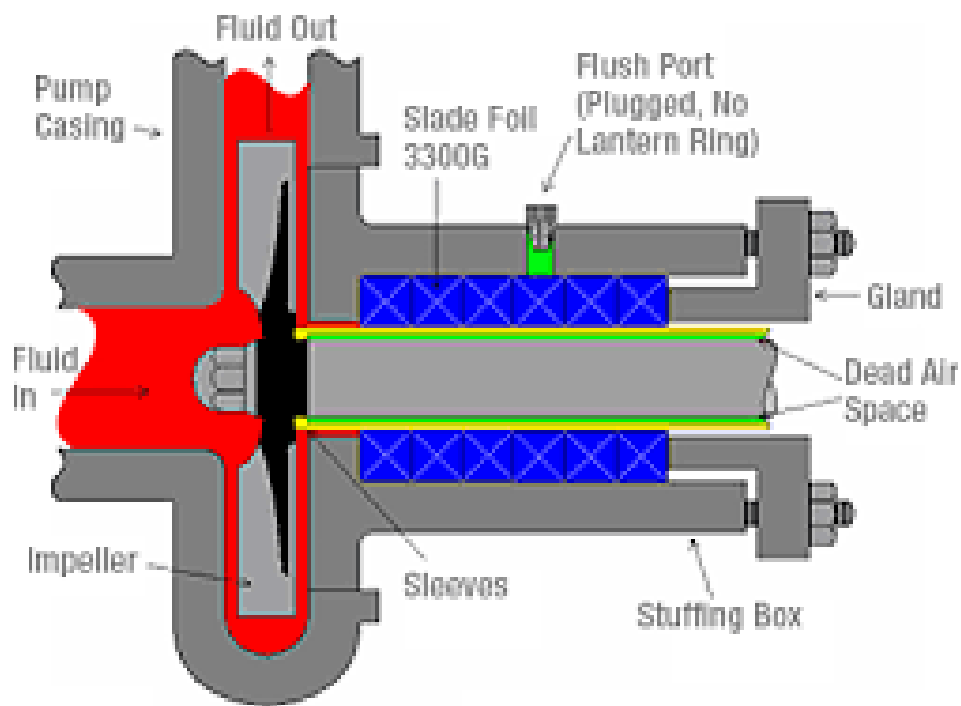
Installation photos



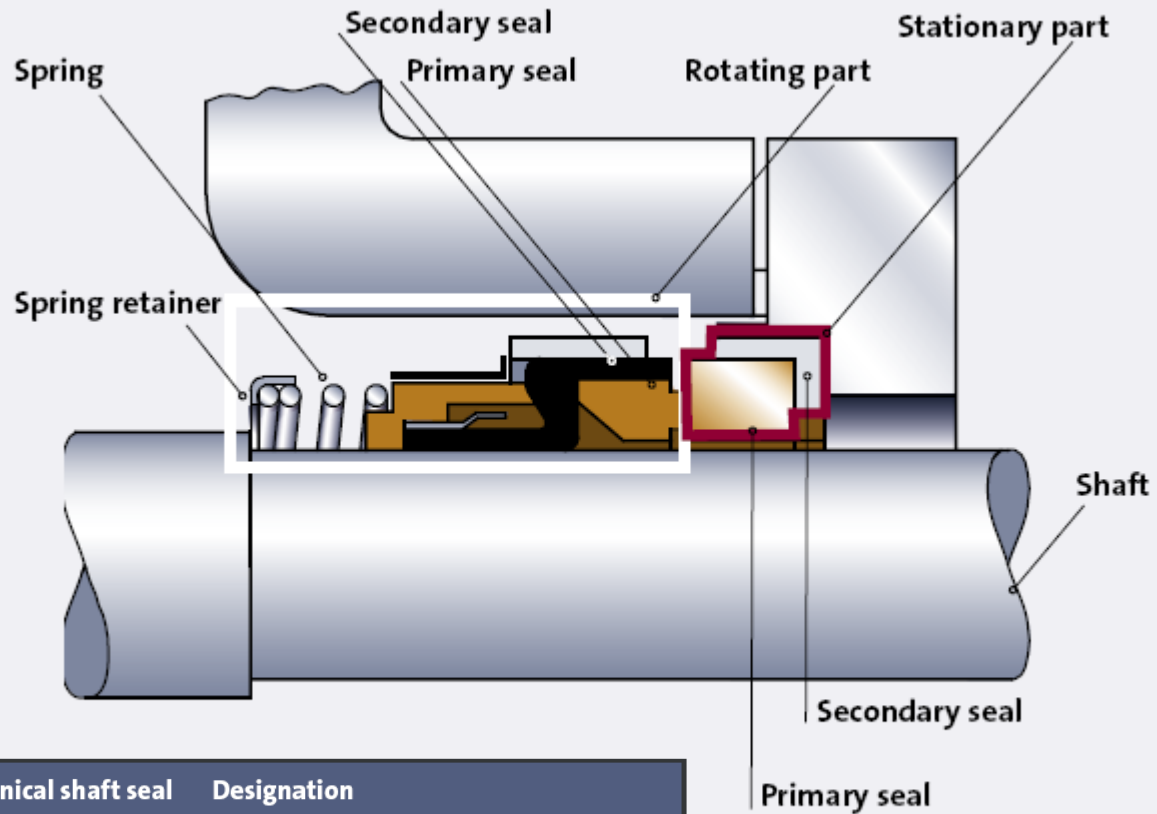
Pump Seal



Packing Seal



Mechanical Seal



Mechanical shaft seal	Designation
Rotating part	Seal face (primary seal)
	Secondary seal
	Spring
	Spring retainer (torque transmission)
Stationary part	Seat (seal faces, primary seal)
	Static seal (secondary seal)