

# Vattenresurser och hydraulik (BOM270)

Skriftlig tentamen den 4 juni 2019, börjar kl. 14.00 (4h)

Examinator: Mia Bondelind, ankn. 2151

Tentamen är på totalt 20 poäng.

Betyg 3: 10-13 p

Betyg 4: 14-17 p

Betyg 5: 18-20 p

Tillåtna hjälpmedel: Typgodkänd miniräknare, Häftet "Rationella metoden", Kursboken "Hydraulik för Samhällsbyggare", S. Häggström (2009), Kursboken "Hydraulik för V-teknologer", S. Häggström (2006), Kursboken "Hydraulik för Samhällsbyggare", M. Bondelind och S. Häggström (2018)

*Inga lösta exempel eller övningsexempel är tillåtna!*

---

Tentamen besöks:

Ca 15.00

Ca 16.00

Lösningar läggs upp på kurshemsidan senast dagen efter tentamen.

**Definiera använda beteckningar, sätt ut enheter, ange och motivera antaganden.**

**Lösningarna skall redovisas så strukturerat att en bedömning kan tillåtas.**

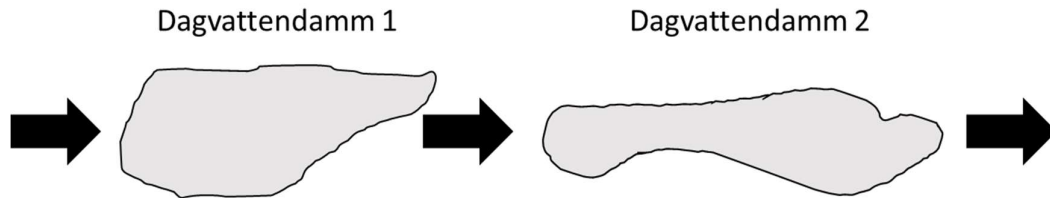
**Dåligt strukturerade lösningar medför poängavdrag.**

---

1. a. För att konsumenter skall få dricksvatten i sin tappkran alla tider på dygnet är det viktigt att distributionssystemet är korrekt utformat. Beskriv de viktigaste (vanligaste) komponenterna i systemet för att uppfylla detta villkor.

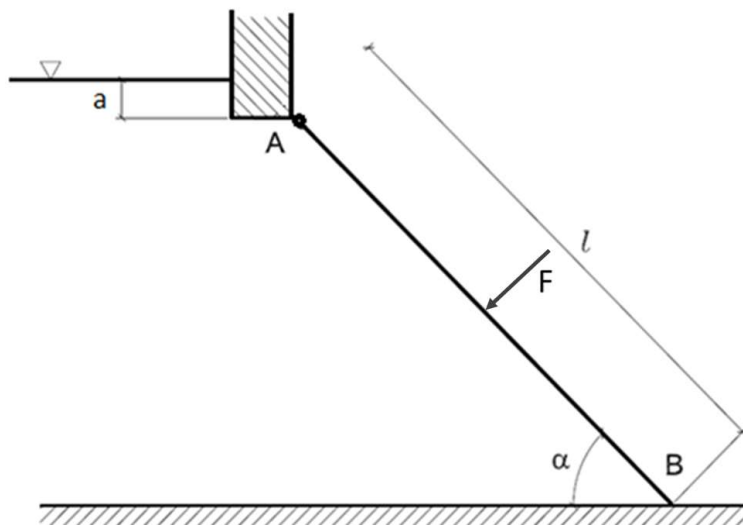
(2p)

b. Två dagvattendammar följer på varandra i serie. Inflödet till damm 1 är  $Q = 2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Med vattnet följer partiklar. Koncentrationen är  $c_{in} = 40 \text{ mg/l}$ . Dammarna har en konstant volym på  $V = 20 \text{ m}^3$  och deras respektive ytarea är  $10 \text{ m}^2$ . Antag att dammarna är totalt ombländade. Sedimenteringshastigheten för partiklarna i damm 1 är  $v_s = 0,09 \text{ m/s}$  och i damm 2 är hastigheten  $v_s = 0,004 \text{ m/s}$ . Beräkna koncentrationen i utflödet från damm 2?



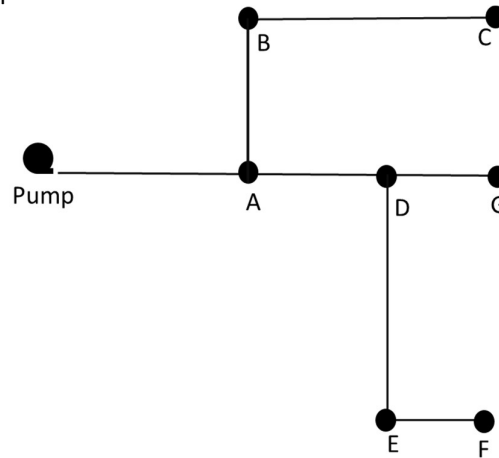
(2p)

2. En rektangulär lucka som reglerar vattenstånd och vattenförsörjning är placerad enligt figur nedan. Luckan är ledat infäst i sin övre del (A). Luckans höjd är 2 m och dess bredd är 1 m. Luckans vikt försummas. Givet är  $a = 0,1 \text{ m}$ ,  $\alpha = 45^\circ$  samt  $l = 2 \text{ m}$ . Bestäm kraften  $F$  för att hålla luckan stängd. Kraften  $F$  ligger i tyngdpunkten för luckan och den är vinkelrät mot luckan.



(3p)

3. Ett vattenledningsnät i Göteborg ska byggas enligt nedanstående figur. Området består av flerbostadshus. Ledningslängder, delbelastningar samt plushöjder vid högsta belägna tappställe framgår av tabellen. Ledningarna har  $k = 0,2 \text{ mm}$ . Övertryck i högsta tappställe ska vara minst 20 mvp och högst 70 mvp. Lägsta tillåtna hastighet i ledningarna är  $0,8 \text{ m/s}$ . Friktionsförluster kan beräknas med Colebrooks formel  $h_f = mLQ^2$ . Standarddimensioner som kan vara aktuella samt deras respektive m-värde framgår av tabellen. Diagram för att kunna lösa uppgiften finns längst bak i tentamenstesen. Din uppgift är att dimensionera ledningarna och pumpen.



Delsträcka	Längd (m)	Antal förbrukare
P-A	380	0
A-B	250	300
B-C	400	550
A-D	200	200
D-E	400	100
E-F	125	100
D-G	150	300

Punkt	Plushöjd (m)
P	10
A	20
B	25
C	15
D	40
E	45
F	15
G	25

d	m	m	m	m
mm	for k=1,0	for k=0,2	for k=0,05	for k=0,01
30	-	-	-	95000
40	-	-	-	22000
50	-	8500	-	6300
63 (60)	-	3000	-	2500
75 (80)	-	1000	-	570
100	330	230	-	170
150	38	27	-	22
200	8,1	5,9	-	4,8
250	2,5	1,8	1,5	-
300	0,95	0,70	0,61	-
400	0,21	0,16	0,13	-
500	0,064	0,049	0,040	-
600	0,025	0,019	0,016	-
800	0,0054	0,0042	0,0037	-
1000	0,0017	0,0013	0,0011	-
1200	0,00064	0,00051	-	-
1400	0,00030	0,00028	-	-

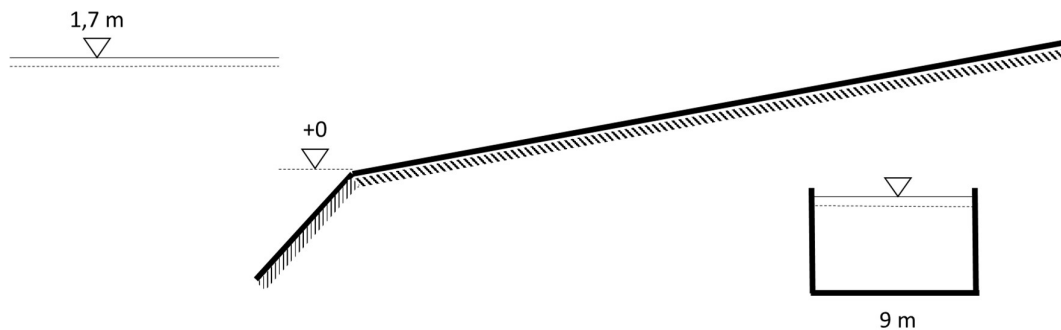
(3p)

4. a. En lång kanal leder vatten till en sjö. Flödet är  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $S_b = 0,0025$  och  $M = 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Ett vattensprång uppstår i kanalen. Hur långt från sjön uppstår vattensprånget? Bortse från vattensprångets längd. Ett steg räcker.

(4p)

- b. Hur mycket kan man sänkanivån i sjön så att vattensprånget fortfarande ligger kvar i kanalen? Motivera ditt svar.

(1p)



5. Strandstad har haft problem med torra under de senaste årtiondena. För att åtgärda problemet kommer man att bygga en avsaltninganläggning för att kunna tillhandahålla tillräckligt med vatten. Man har två alternativ för att leda vatten från havet till vattenverket:

- Att leda havsvattnet till en mellanreservoar och sedan pumpa vattnet från mellanreservoaren till vattenverket genom att använda pumpar av märket S1. Mellanreservoaren kan lagra en större volym vilket gör att pumparna kan ge olika flöden. Se figur 1.
- Att placera en pump av märket S2 nere vid havet och pumpa vatten direkt upp till vattenverket. Se figur 2.

Pumpkaraktistika S1					
Q (l/s)	0	5	15	20	25
H (m)	28	26	20	12	0
$\eta$ (%)	0	0.28	0.65	0.45	0

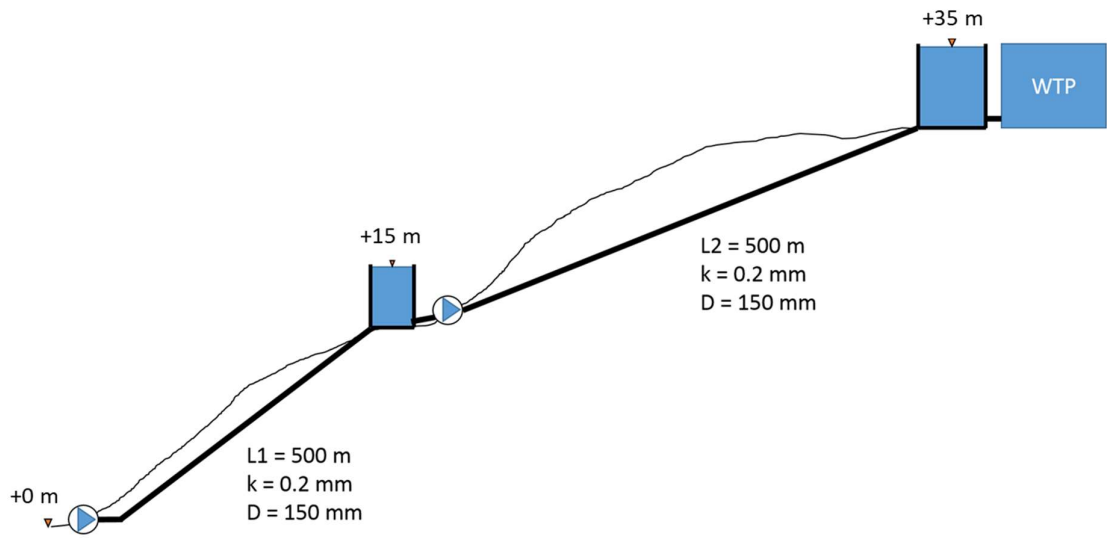
Pumpkaraktistika S2					
Q (l/s)	0	10	25	38	45
H (m)	60	55	40	22	0
$\eta$ (%)	0	0.35	0.68	0.28	0

- a. Beräkna flöde och uppfordringshöjd för de två alternativen. Vilken konstruktion ska man välja om man vill ha högst flöde? Motivera ditt svar.

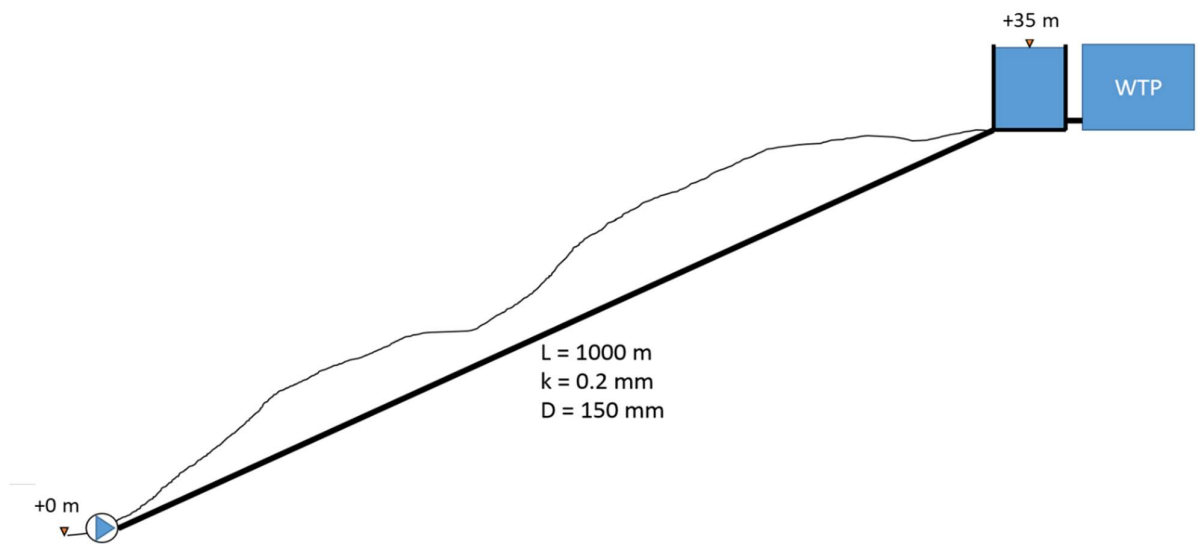
(3.5p)

- b. För att skydda ledningarna mot korrosion så bör saliniteten inte överstiga 25‰. Antag att vattentemperaturen är 13°C. Man har uppmätt effektbehovet för pump S2, vid driftspunkten i uppgift a, till ungefär 14.5 kW. Är salhalten tillräckligt låg för att man ska kunna använda havsvattnet?

(1.5p)

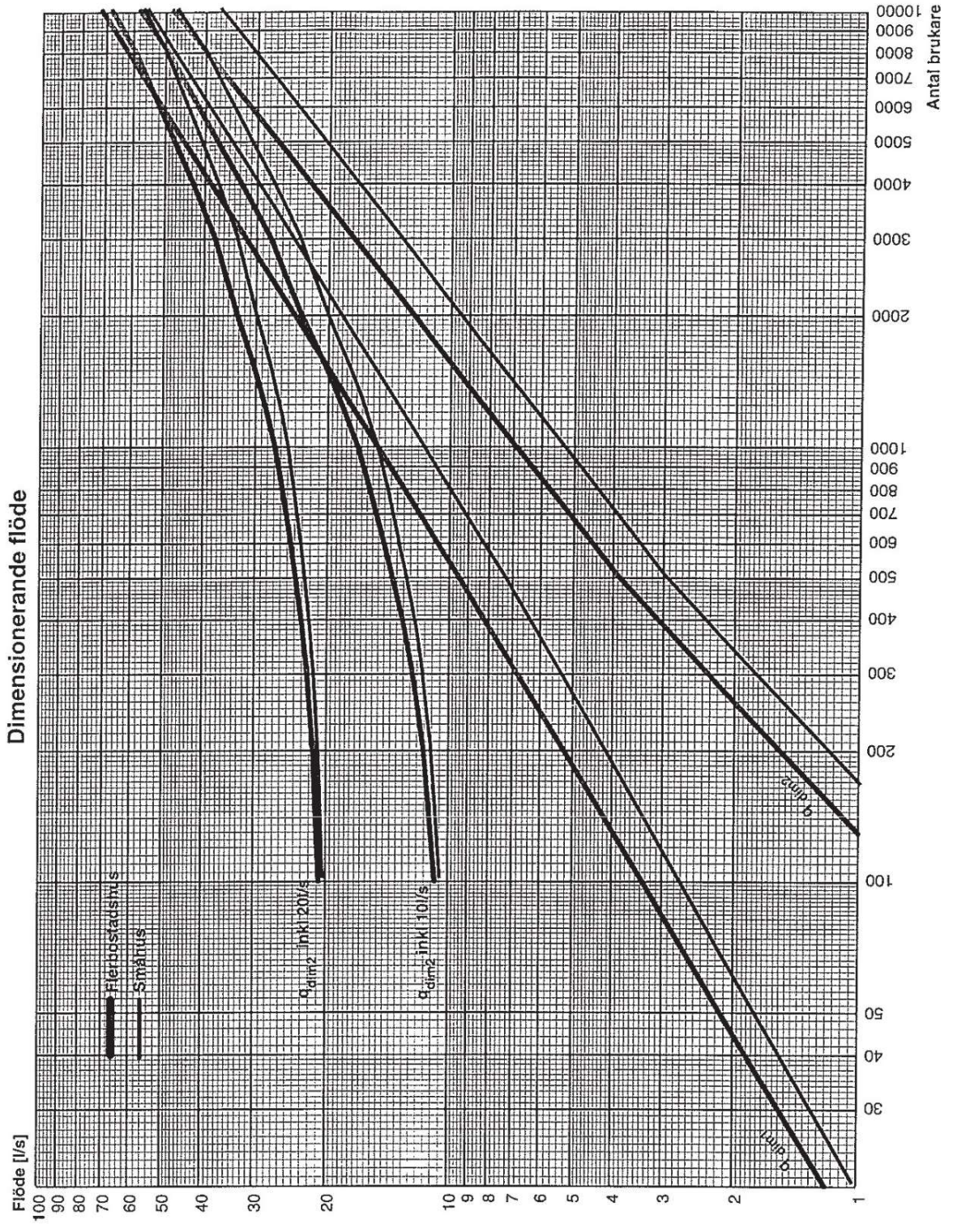


Figur 1: Alternativ I med två pumpar av märket S1.



Figur 2: Alternativ II med en pump av märket S2.





# Lösningar

## Uppgift 1b

Ställ upp massbalans för respektive damm. Flödet är konstant  $Q = 2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Beteckna koncentrationen i damm 1 med  $c_1$  och koncentrationen i damm 2 med  $c_2$ .

Damm 1:

$$Qc_{in} - v_{s1}A_1c_1 - Qc_1 = 0$$

Damm 2:

$$Qc_1 - v_{s2}A_2c_2 - Qc_2 = 0$$

Lös ut  $c_1$

$$c_1 = \frac{Qc_{in}}{v_{s1}A_1 + Q} = \frac{2,1 \cdot 40}{0,09 \cdot 10 + 2,1} = 28 \text{ g/m}^3$$

Lös ut  $c_2$

$$c_2 = \frac{Qc_1}{v_{s2}A_2 + Q} = \frac{2,1 \cdot 28}{0,004 \cdot 10 + 2,1} = 27,5 \text{ g/m}^3$$

Svar:  $c_2 = 27,5 \text{ g/m}^3$ .

## Uppgift 2

Beräkna tyngdpunkt, tryckresultanten, tryckcentrum och ställ upp moment ekvation runt punkten A för att beräkna F.

Beräkna först  $h_{TP}$  där  $a = 0,1 \text{ m}$ ,  $l = 2 \text{ m}$  and  $\alpha = 45^\circ$

$$h_{TP} = a + \frac{l}{2} \cdot \sin\alpha = 0,807 \text{ m}$$

Beräkna nu tryckresultanten där arean  $A = 1 \cdot 2 \text{ m}^2$

$$P = \rho g A h_{TP} = \rho g \cdot 2 \cdot 0,807 = 15\,835,44 \text{ N}$$

Beräkna nu tryckcentrum. Börja med  $x_{TP}$

$$x_{TP} = \frac{h_{TP}}{\sin\alpha} = \frac{0,807}{\sin\alpha} = 1,41 \text{ m}$$

Beräkna  $I_0$

$$I_0 = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \cdot 2^3}{12} = 0,67 \text{ m}$$

Beräkna tryckcentrum

$$x_{TC} = x_{TP} + \frac{I_0}{Ax_{TP}} = 1,41 + \frac{0,67}{2 \cdot 1,41} = 1,43 \text{ m}$$

Ställ nu upp momentekvation kring A

$$F \cdot \frac{L}{2} - P \cdot \left( x_{TC} - \frac{a}{\sin \alpha} \right) = 0$$

Svar: Detta ger  $F = 20459,91 \text{ N}$

### Uppgift 3

Börja med att beräkna total belastning och läs av störrtappning. Dimensionera ledningen utifrån att hastigheten ska vara högre än 0,8 m/s. Använd Colebrook för diameter. För vald standarddiameter kika på vilken hastighet den ger.

Delsträcka	Förbrukare	Totalt antal förbrukare	Typ av hus	Störrtappning (l/s)	Vald diameter Från Colebrook [mm]	Hastighet för vald standarddiameter [m/s]
P-A	0	1550	Flerbostad	20	150	1.13
A-B	300	850	Flerbostad	13.5	<b>100</b>	1.72
B-C	550	550	Flerbostad	10	100	1.27
A-D	200	700	Flerbostad	11.5	100	1.46
D-E	100	200	Flerbostad	5.2	80	1.03
E-F	100	100	Flerbostad	3.3	60	1.17
D-G	300	300	Flerbostad	6.9	80	1.37

Hastigheterna blir mycket stora i ledningarna och rekommendationen är att egentligen ta lite större dimensioner för dessa ledningar. Kontrollera att du inte har en ledning som har mindre diameter och som sedan följs av en större diameter när du går utåt bort från pumpen. Beräkna nu friktionsförlusten för respektive sträcka.

Delsträcka	Störrtappning [l/s]	Vald diameter [mm]	m	L [m]	$h_f = mLQ^2$
P-A	20	150	27	380	4.10
A-B	13.5	<b>100</b>	230	250	10.48
B-C	10	100	230	400	9.20
A-D	11.5	100	230	200	6.08
D-E	5.2	80	1000	400	10.82
E-F	3.3	60	3000	125	4.08
D-G	6.9	80	1000	150	7.14

Beräkna uppfodringshöjd. Trycket är lägre än 70 mvp i alla punkter.

Delsträcka	Plushöjd pump [m]	Plushöjd punkt [m]	Hs [m]	Summa hf [m]	Hs+20+hf [m]
P-A	10	20	10	4.10	34.10
P-A-B	10	25	15	14.58	49.58
P-A-B-C	10	15	5	23.78	48.78
P-A-D	10	40	30	10.19	60.19
P-A-D-E	10	46	36	21.00	<b>77.00</b>
P-A-D-E-F	10	15	5	29.18	54.18



P-A-D-G	10	25	15	17.33	52.33
---------	----	----	----	-------	-------

Trycket blir för högt och vi får därför bortse från kravet på att hastigheten ska vara minst 0,8 m/s. Ledning D-E ger stora förluster. Vi väljer en större ledning här.

Delsträcka	Ny diameter [mm]	Flöde	m	Längd [m]	Hf [m]
D-E	100	5.2	230	400	2.5

Svar: Pump Hp = 68.7 mvp och Q = 20 l/s. Diameter enligt tabell nedan

Delsträcka	Vald diameter [mm]
P-A	150
A-B	100
B-C	100
A-D	100
D-E	100
E-F	60
D-G	80

#### Uppgift 4

Naturligt vattendjup uppstår i kanalen och uppströms vattensprånget kommer vi ha  $y_n$ . Börja med att beräkna naturligt vattendjup.

$$S_b = \frac{Q^2}{A_n^2 M^2 R_n^{4/3}}$$

Där  $A_n = B y_n$  och  $R_n = B y_n / (B + 2 y_n)$ .

$$\frac{2,5}{1000} = \frac{50^2}{(9 y_n)^2 80^2 \left( \frac{9 y_n}{9 + 2 y_n} \right)^{4/3}}$$

Passningsräkning ger  $y_n = 1,35$  m.

Nu kan vattendjupet nedströms beräknas. Vi behöver även hastigheten.

$$U = \frac{Q}{A} = 4,12 \text{ m/s}$$

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \left( \frac{y_1^2}{4} + \frac{2U_1^2 y_1}{g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$y_2 = -\frac{1,35}{2} + \left( \frac{1,35^2}{4} + \frac{2 \cdot 1,35 \cdot 4,12^2}{g} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,59 \text{ m}$$

Avståndet mellan sjö och vattensprånget beräknas med direkta stegmetoden.

$$L = \frac{\left( y_2 + \frac{U_2^2}{2g} \right) - \left( y_1 + \frac{U_1^2}{2g} \right)}{S_b - \frac{U_m^2}{M^2 R_m^{4/3}}}$$

Med  $y_1 = 1,59 \text{ m}$  och  $y_2 = 1,7 \text{ m}$  får vi  $y_m = 1,645 \text{ m}$ . Vi får även  $U_1 = 3,49 \text{ m/s}$ ,  $U_2 = 3,27 \text{ m/s}$  och  $U_m = 3,38 \text{ m/s}$ .

Svar: Avståndet till vattensprånget blir ca 30 m

Svar: Vattensprånget ligger kvar i kanalen om djupet i sektionen närmast sjön överstiger  $y_2 = 1,59 \text{ m}$ .

## Uppgift 5

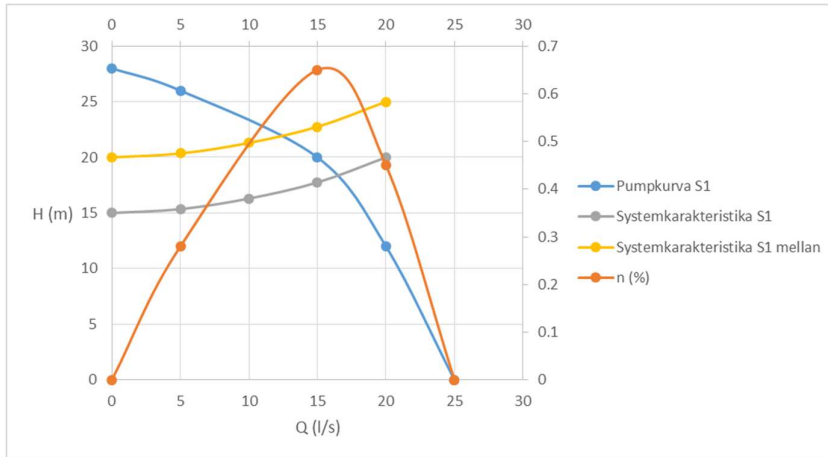
Två små pumpar

S1

Q (l/s)	0	5	10	15	20
L (m)	500	500	500	500	500
S (‰)	0	0.7	2.6	5.5	10
H <sub>f</sub> (m)	0	0.35	1.3	2.75	5
H <sub>s</sub> (m)	15	15	15	15	15
H <sub>p,max</sub>	15	15.35	16.3	17.75	20

S1-Mellan

Q (l/s)	0	5	10	15	20
L (m)	500	500	500	500	500
S (‰)	0	0.7	2.6	5.5	10
H <sub>f</sub> (m)	0	0.35	1.3	2.75	5
H <sub>s</sub> (m)	20	20	20	20	20
H <sub>p,max</sub>	20	20.35	21.3	22.75	25

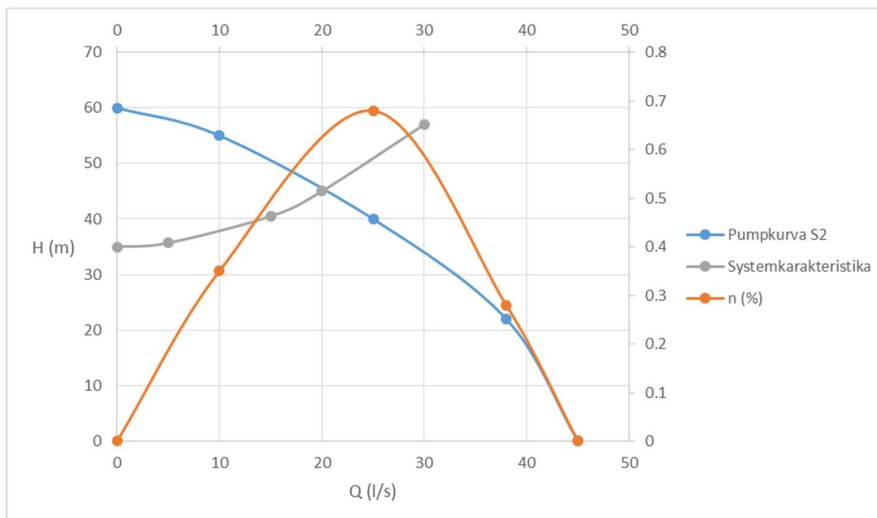


**Pump S1 kan leverera minst 16,4 l/s och uppföringshöjd av 18 m till Pump S1-mellan.**

**Pump S1-mellan kan leverera minst 12,5 l/s och uppföringshöjd av 22,5 m.**

En stor pump (S2)

Q (l/s)	0	5	15	20	30
L (m)	1000	1000	1000	1000	1000
S (‰)	0	0.7	5.5	10	22
H <sub>f</sub> (m)	0	0.7	5.5	10	22
H <sub>s</sub> (m)	35	35	35	35	35
H <sub>p,max</sub>	35	35.70	40.50	45	57



**Pump S2 kan leverera Q = 20 l/s med H<sub>p</sub> = 45 m.**

**Svar:**

**Staden ska välja S2, eftersom den ger 20 l/s och uppföringshöjd av 45 m.**

## Del 2

Vattnets salthalt bör inte överstiga 20 per mille.  
 $\eta = 61\%$  (läs från verkningsgrad av driftpunkt i a)

Effektbehov för S2:

$$P = \frac{\rho * g * Q * H_p}{\eta}$$

När

$$P = 14.5 * 10^3 \text{ W}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 20 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_p = 45 \text{ m}$$

$$\eta = 61\%$$

$\rho =$  densitet

$$\text{Densitet} = 1007 \text{ kg/m}^3$$

**s.262 (s264 gammal bok) Densitet för saltvatten tabell**

$$T = 13^\circ\text{C}$$

$$P = 1007 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Salthalt} = 10\text{‰}$$

**Svar: Havet kan användas eftersom salthalten är 10‰ (mindre än 25‰)**