

## 1 FORMÅL

En viktig del av transportsystemet for drikkevann er pumpestasjoner for trykk- og kapasitetsøkning.

I dette VA/Miljø-bladet gis informasjon om hensiktsmessige løsninger tilpasset beliggenhet, topografi og ledningsføring, for eksempel:

- pumping der det er noe selvføll,
- bruk av hydroforanlegg,
- pumping direkte på nettet.

Det gis også informasjon om valg av pumpeløsninger, arrangement og utstyr.

## 2 BEGRENSNINGER

Dette VA/Miljø-bladet tar for seg pumpestasjoner der det benyttes sentrifugalpumper. Det gis ikke detaljert informasjon om:

- rørføringer,
- forankringer,
- elektriske installasjoner,
- prosessstyring,
- løsninger for demping av trykksvingninger,
- bygningsmessige løsninger.

## 3 FUNKSJONSKRAV

Pumpestasjoner for trykk- og kapasitetsøkning skal tilfredsstillende flere funksjoner:

- akseptabelt trykk og tilfredsstillende mengder i alle driftssituasjoner;
- akseptable trykksvingninger;
- tilfredsstillende forankringer;
- tilfredsstillende løsninger for helse, miljø og sikkerhet (tilrettelegge for lett og trygg adkomst til utstyr som skal vedlikeholdes);
- instrumentering med tanke på:
  - varsling av unormale hendelser,
  - kontroll av kapasitet og effekt,
  - pumpekontroll (tilrettelegge for vibrasjonstesting).

## 4 LØSNINGER

### 4.1 AKTUELLE DRIFTSSITUASJONER.

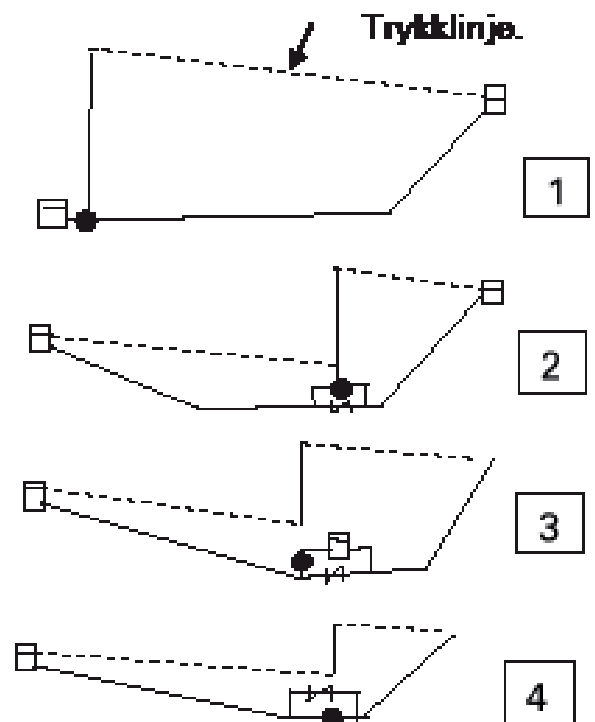
Valg av pumpestasjonsløsning avhenger av flere forhold, blant annet:

- plassering i forhold til basseng,
- topografi.

#### 4.1.1 PLASSERING I FORHOLD TIL BASSENG

I figur 1 vises eksempel på følgende plasseringer:

1. Pumpestasjon ved basseng, som pumper mot høydebasseng.
2. Pumpestasjon ute på nettet, som pumper mot høydebasseng.
3. Pumpestasjon og hydroforanlegg ute på nettet.
4. Pumping direkte på nettet.



Figur 1: Prinsipp for plassering av pumpestasjoner.

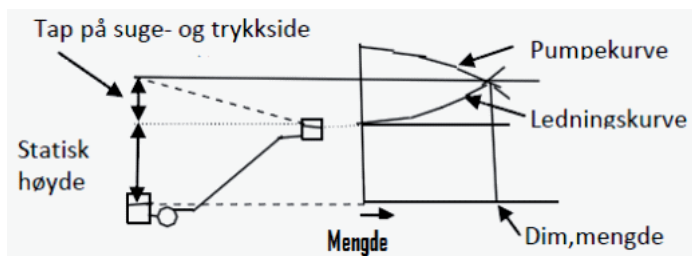
Hvis det er fare for undertrykk i ledningsnettet

ved pumpestopp bør pumping direkte på nettet unngås. Sikreste og beste driftsforhold fås ved bruk av høydebasseng.

For sikring av brannvann må det ofte benyttes separate pumper.

## 4.2 GRUNNLAG FOR VALG AV PUMPEKAPASITET

I figur 2 vises prinsippet for pumping fra basseng til høydebasseng



Figur 2: Prinsippet for valg av pumpekapasitet.

Pumpekapasiteten bestemmes av:

- dimensjonerende vannmengde,
- løftehøyde (statisk + tap).

### 4.2.1 DIMENSJONERENDE PUMPEMENNGDE

Dimensjonerende pumpemengde er avhengig av tilgjengelig utjevningvolum, og blir ved full døgnutjevning:

- Midlere timeforbruk i et maks.døgn.

Uten døgnutjevning:

- Største timeforbruk i et maks.døgn

Ved små mengder normalt forbruk bør det benyttes separate brannvannspumper.

### 4.2.2 EKSEMPEL PÅ VANNMENGDER I BOLIGOMRÅDER:

- Antall personer tilknyttet 1200
- Årsmiddelforbruk inkludert lekkasje 250 l/pd =  $300 \text{ m}^3 / \text{d} = 12.5 \text{ m}^3 / \text{h} = \text{ca.} 3,5 \text{ l/sek.}$

- Maks. døgnfaktor 2,0
- Maks. timefaktor 2.0

**Dim. vannmengder (teoretisk):**

- Middell i et maks døgn =  $12.5 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 2,0$   
=  $25 \text{ m}^3 / \text{h}$  (ca. 7,0 l/sek), og gjelder der det er full døgnutjevning.

- Maks.time i et maks døgn =  $25 \cdot 2,0$   
=  $50 \text{ m}^3 / \text{h}$  (ca. 14,0 l/sek), og gjelder der det ikke er døgnutjevning.

Timefaktoren øker når mengden reduseres

Det er viktig å dimensjonere med sikkerhetsmarginer, for uforutsette hendelser.

## 4.3 EFFEKT- OG ENERGIFORBRUK

Det forutsettes 3 faser, og installert effekt fra E-verket blir da:

$$P = (E \cdot I \cdot 3^{0,5} \cdot \text{Cos } \varphi) / 1000 \quad (1)$$

P = Aktiv effekt      **kW**  
E = Spenning          **Volt**  
I = Strømstyrke        **Ampere**  
Cos  $\varphi$  = Effektfaktoren

Uten Cos  $\varphi$  benevnes effekten **KVA** (kilovoltampere), som er skinneffekt eller inaktiv effekt.

Det betales bare for den aktive effekten.

### 4.3.1 BEREGNING AV EFFEKT OG ENERGI

Effektbehov:  $P = q \cdot H / (102 \cdot \mu) \quad (2)$

Energiforbruk:  $Ph = Q \cdot H / (367,2 \cdot \mu) \quad (3)$

Ph = Energiforbruk i kWh

q = Pumpekapasitet l/sek

H = Total løftehøyde

Q = Pumpet mengde  $\text{m}^3$

$\mu$  = Virkningsgrad for motor og pumpe.

### 4.3.2 EKSEMPEL PÅ TILFØRT OG UTNYTTET EFFEKT

Gitt: Spenning volt	400
Ampere (avlest)	120
Cos $\varphi$	0,90
Virkningsgrad: Motor 95%	0,95
Pumpe 80%	0,80
Motor og Pumpe $0,95 \cdot 0,80 =$	<b>0,76</b>
Pumpet mengde l/sek	72,5
Løftehøyde mvs	80

Aktiv effekt fra E-verket, formel (1):

$$400 \cdot 120 \cdot 3^{0,5} \cdot 0,9 / 1000 = \text{ca.} 74,8 \text{ kW}$$

Effektbehov, formel (2)

$$72,5 \cdot 80 / (102 \cdot 0,76) = \text{ca.} 74,8 \text{ kW}$$

Leverandørene angir vanligvis pumpas virkningsgrad uten virkningsgraden for motoren.

Når aktiv effekt (P), tilført motor og pumpe, er kjent kan virkningsgraden beregnes i forhold til pumpet mengde (q) og løftehøyde (H), med formel (4).

$$\text{Virkn.grad } \mu = (q \cdot H / (102 \cdot P)) \cdot 100\% \quad (4)$$

### 4.3.3 BETYDNINGEN AV GOD VIRKNINGSGRAD

Energikostnadene ved pumping utgjør en stor andel av driftskostnadene, og det er derfor viktig å oppnå best mulig virkningsgrad,

Eksempel:

- Pumpet mengde 1 000 000 m<sup>3</sup>/år
- Bestemmende løftehøyde 80 m
- Energikostnad 0,80 kr/kWh
- Virkn.grad for aktuelle pumper 75 og 80 %
- Realrente 4 % og tidsperiode 10 år gir sumfaktor 8,1109 (formel (5))

$$\text{Sumfaktor} = \frac{((1+r)^N - 1,0)}{((1+r)^N \cdot r)} \quad (5)$$

r = realrente 4% = 0,04

N = antall år

Nåverdi = Sumfaktor · årlig kostnad

Energiforbruk beregnes med formel (3)

Virkn. grad %	Energiforbruk kWh år	Energikostnad kr/år	Nåverdi kr.
75	290 487	232 389,-	1 884 885,-
80	272 331	217 865,-	1 767 080,-
<b>spart</b>	<b>18 156</b>	<b>14 524,-</b>	<b>117 805,-</b>

### 4.4 GRUNNLAG FOR PUMPEVALG

Det er mange forhold som påvirker valg av pumper:

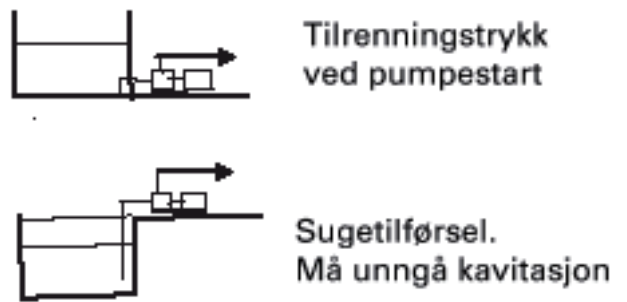
- Horisontal eller vertikal oppstilling.
- Formen på følgende kurver:
  - » Kapasitet og løftehøyde (QH-kurve).
  - » Effekt.
  - » NPSH (Net Positive Suction Head).
  - » Virkningsgrad.

Det er også viktig med informasjon om pumpeaggregatets treghetsmoment, som er av betydning for pumpas gangtid etter at strømmen kuttes (påvirker trykkvariasjonene).

*Turtallsregulering kan også få betydning for pumpevalget.*

#### 4.4.1 Pumpeplassering i tilknytning til basseng

En prinsippsskisse med horisontaloppstilte pumper vises i figur 3.



Figur 3: Eksempel på pumpeplassering der det er basseng.

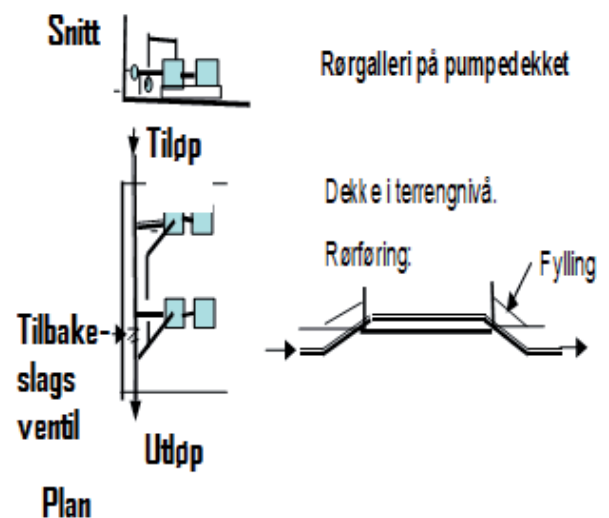
#### 4.4.2 PLASSERING UTE PÅ NETTET

Ved pumpestasjoner ute på nettet (uten basseng) benyttes vanligvis to løsninger:

- separat rørgalleri i egen underetasje,
- pumper og rørgalleri på samme nivå.

Det kan være både økonomiske og driftstekniske fordeler med en etasje.

Prinsippsskisse vises i figur 4.



Figur 4. Prinsipp for pumpestasjon uten separat rørgalleri

#### 4.4.3 BRUK AV HYDROFORANLEGG

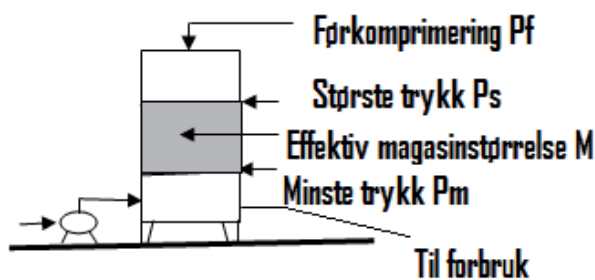
Ved hydroforanlegg pumpes vann til en trykktank, der det er trykkløpere som gir start- og stoppsignal til pumpen.

Nødvendig effektivt volum tilpasses minste tiden mellom to start.

For å begrense selve tankvolumet bør det benyttes førkomprimering, som kan oppnås på to måter.

- En kompressor pumper inn luft i forhold til et innstilt trykk i tanken.
- En membran skiller luft og vann, slik at førkomprimeringen holdes konstant (det kan være behov for etterfylling av luft).

I figur 5 vises en prinsippsskisse.



Figur 5: Prinsipp av hydroforanlegg.

**Formler:**

$$M = q \cdot T / 4 \quad (6)$$

$$V = M (P_s \cdot P_m) / P_f (P_s - P_m) \quad (7)$$

M = Effektivt magasin i liter

q = Pumpekapasitet l/min

V = Tankvolum i liter

P<sub>s</sub> = Største absolutte trykk i bar

Absolutt trykk = trykk i forhold til vakum  
(atmosfæretrykk + manometertrykk).

P<sub>m</sub> = Minste absolutte trykk i bar

P<sub>f</sub> = Førkomprimering absolutt trykk i bar.

Hydroforanlegg benyttes der det ikke er høydebasseng, og pumpekapasiteten må tilpasses maks timeforbruk i et maks.døgn.

Fordelene med hydroforanlegg:

- redusert driftstid for pumper.
- trykket opprettholdes ved kortvarige strømbrudd.
- reduserte trykksvingninger i ledningsnett ved pumpestopp.

Hvis ledningsnett er dimensjonert for sikring av brannvann må det benyttes separate brannvannspumper.

### Eksempel på dimensjonering

Gitt:

- Boligfelt der antall personer er 500
- Vannforbruk inkl. lekkasjer 250 l/pd.
- Maks.døgnfaktor 2,0
- Maks timefaktor 3,5
- Største trykk (P<sub>s</sub>) 5,5 bar = absolutt trykk 6,5 bar
- Minste trykk (P<sub>m</sub>) 4,0 bar = absolutt trykk 5,0 bar
- Førkomprimering (P<sub>f</sub>) = ca 70 % av P<sub>m</sub> = 2,8 bar = absolutt trykk 3,8 bar.
- Minste tid mellom to start = 5 minutter.

Beregning:

Pumpekap = maks.time i et maks døgn

$$500 \cdot 250 \cdot 2,0 \cdot 3,5 / (24 \cdot 60) = \text{ca. } 610 \text{ l/min}$$

Effektivt magasin volum (formel 6)

$$M = 610 \cdot 5 / 4 = \text{ca } 763 \text{ liter}$$

Tankvolum (formel 7)

$$V = 763(6,5 \cdot 5,0) / (3,8 \cdot (6,5 - 5,0)) = 4350 \text{ l}$$

## 4.4.4 PUMPING DIREKTE PÅ NETTET

Dette er en usikker løsning, som om mulig bør unngås, særlig hvis nettet blir trykløst ved pumpestopp.

Der løsningen velges bør det benyttes turtallsregulering og styring etter innstilt trykk (innstilt "dødbånd").

## 4.5 KAVITASJON

Når statisk trykk i vann synker under damptrykket (absolutt trykk) dannes det dampbobler (gass). Boblene vil kollapse (implodere) ved etterfølgende trykkøkning. Dette fører til "jetstråler", som med stor kraft og hastighet treffer omkringliggende gods.

Fenomenet kalles kavitasjon.

Kavitasjon i tilknytning til pumping kan medføre store skader, og må unngås.

### 4.5.1 TRYKKBEGREP

For lettere å forstå forhold knyttet til kavitasjon er det viktig å kjenne følgende begrep:

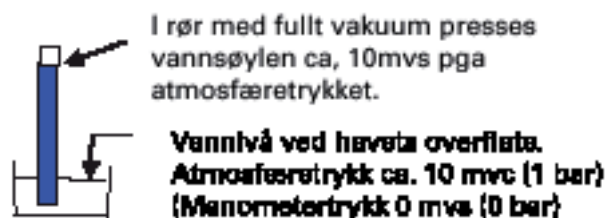
Atmosfæretrykk:

Trykket som forårsakes av luftens tyngde, og reduseres i forhold til høyden over havet, slik det vises i tabellen.

Høyde over havet meter	Lufttrykk (ca-verdier)		
	kPa	bar	mvs
0	101,3	1,01	10,1
100	99,8	1,00	10,0
200	98,4	0,98	9,8
300	96,9	0,97	9,7
400	95,5	0,95	9,5
500	94,1	0,94	9,4

### Absolutt trykk

Trykk i forhold til "fullt" vakum. Ved havets overflate ca.10 mvs (1 bar). Illustrert i figur 6.



Figur 6 :Illustrasjon av trykkforhold.

Det blir kavitasjon hvis det lokale statiske trykket blir mindre enn damptrykket (overgang fra væske til damp /gass).

### Damptrykk

Absolutt trykk der vann overgår til damp (gass) benevnes damptrykket.

## 4.5.2 KAVITASJON VED PUMPEANLEGG

Når dampboblene som er dannet på sugesiden av pumper kommer over på trykksiden fås kavitasjon, som fører til:

- korrosjonsskader,
- viberasjon og støy,
- redusert kapasitet,
- slitasje og redusert levetid.

Kavitasjonsfri sugehøyde er avhengig av NPSH, som angir absolutt trykk som må være tilstede på pumpas sugeside for å unngå kavitasjon.

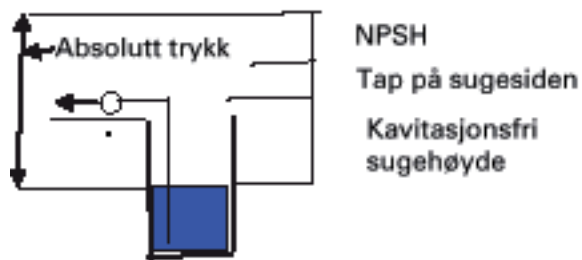
## 4.5.3 EKSEMPEL PÅ KAVITASJONS-FRI SUGEHØYDE (FIGUR 7)

Gitt:

- Absolutt trykk 10,0 mvs
- NPSH 3,0 mvs
- Tap på sugesiden 2,0 mvs

Kavitasjonsfri sugehøyde =  $10,0 - (3,0 + 2,0) = 5,0$  mvs.

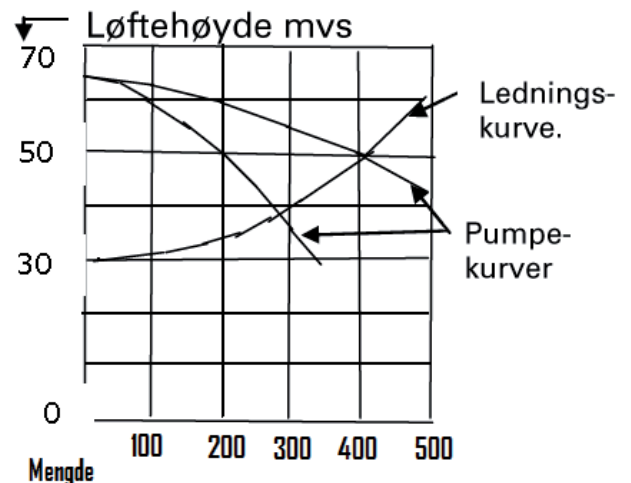
Som sikkerhet bør NPSH verdien økes med 1 mvs.



Figur 7: Eksempel på kavitasjonsfri sugehøyde.

## 4.6 SAMKJØRING AV PUMPER

Eksempel på samkjøring av to like pumper vises i figur 8.



Figur 8: Samkjøring av to like pumper.

Samkjøringskurven fås ved å summere pumpeenes kapasitet ved samme løftehøyde.

**Eksempel:**

Ved løftehøyde 50 m gir en pumpe ca. 200 l/sek., mens to like pumper gir ca. 400 l/sek (200 + 200).

## 4.7 TRYKKSvingninger ved PUMPEDRIFT

Informasjon gis i VA/Miljø-blad nr. 94.

Henvvisninger:		Utarbeidet:	Nov 2013	Roar Finsrud
		Revidert:		