

Kapacitetsberegning af vandforsyningsanlæg

August 2010

Kapacitetsberegning af vandforsyningsanlæg

August 2010

Udgave	Betegnelse/Revision	Dato	Udført	Kontrol	Godkendt
		10.08.2010	KUR		



NIRAS A/S
Tilsluttet F.R.I

Åboulevarden 80
Postboks 615
DK-8100 Århus C

Telefon
Fax
E-mail

8732 3232
8732 3200
niras@niras.dk

1.	INDLEDNING	1
2.	FORSYNINGSKRAV	2
2.1	Forbrugsmønster	2
2.2	Årsforbrug	3
2.3	Maksimaldøgnforbrug og krav til døgnproduktion	3
2.4	Maksimaltimeforbrug og krav til timeproduktion.....	4
2.5	Krav til indvindings- og behandlingsanlæg.....	4
2.6	Krav til beholderanlæg	5
2.7	Krav til udpumpningsanlæg	7
2.7.1	Forsyningsområder uden højdebeholder/vandtårn	7
2.7.2	Forsyningsområder med højdebeholder/vandtårn	7
3.	FORSYNINGSEVNE	8
3.1	Hovedelementer.....	8
3.2	Timeproduktion	8
3.3	Døgnproduktion.....	9
3.4	Årsproduktion.....	9
3.5	Forsyningsikkerhed.....	10
4.	BEREGNINGSPROGRAM	11

1. INDLEDNING

Vandforsyningsanlæg indeholder en række elementer, hvis samspil bestemmer kapaciteten af anlægget. Et vandforsyningsanlæg består typisk af følgende anlægselementer:

- Indvindingsanlæg
- Behandlingsanlæg
- Rentvandsbeholder
- Udpumpningsanlæg
- Højdebeholder/Vandtårn
- Ledningsanlæg.

Det svageste led i denne kæde af elementer bestemmer - begrænser - produktionskapaciteten og dermed forsyningsikkerheden.

Det gælder om at have den bedst mulige harmoni mellem de enkelte anlægselementer, så man undgår overinvestering i elementer, som ikke umiddelbart forøger kapaciteten eller forsyningsikkerheden. Samspillet mellem anlægselementerne er styret af det forbrugsmønster, som vandforbruget foregår med.

Denne vejledning giver et grundlag for at beregne den nødvendige størrelse – forsyningskravet - af de enkelte anlægselementer ved et vandforsyningsanlæg. Desuden opstilles et grundlag for beregning af forsyningsevnen af et givet eller planlagt vandforsyningsanlæg.

Ved at sammenholde forsyningsevne og forsyningskrav får man et indeks for den kapacitetsmæssige forsyningsikkerhed, der er i et givet forsyningsområde.

Det er hensigten, at vejledningen skal bruges, hvor der ikke foreligger tilstrækkelige oplysninger om vandforbruget, herunder målte maksimale døgn- og timeforbrug. Stiller vandforsyningen specielle krav til forsyningsikkerheden, kan disse medføre, at brug af vejledningen bliver irrelevant. Det tilsvarende gælder, hvis der er opstillet særlige målsætninger for vandforsyningen. Forsyningsikkerhed og målsætninger for vandforsyningen skal derfor altid afklares inden brug af vejledningen.

I tilknytning til vejledningen er der udarbejdet et program til beregning af kapacitetsforholdene ved vandforsyningsanlæg, jf.

Tabel 4-1. Programmet er udarbejdet i regnearket Excel.

2. FORSYNINGSKRAV

2.1 Forbrugsmønster

Forbrugsmønstret beskriver hvordan vandforbruget fordeler sig på dimensionsgivende spidsbelastningsforbrug - maksimaldøgnforbrug og maksimaltimeforbrug.

Spidsbelastningsforbrugene beregnes på grundlag af døgnfaktoren f_d og timefaktoren f_t . Døgnfaktoren f_d er forholdet mellem maksimaldøgnforbruget og middeldøgnforbruget:

$$f_d = \frac{\text{Maksimaldøgnforbrug}}{\text{Middeldøgnforbrug}}$$

Timefaktoren f_t er forholdet mellem maksimaltimeforbruget og middeltimeforbruget i et døgn med maksimaldøgnforbrug.

$$f_t = \frac{\text{Maksimaltimeforbrug}}{\text{Middeltimeforbrug i maksimaldøgnet}}$$

f_d og f_t fastsættes enten erfaringsmæssigt eller ved at sammenholde middelforbrug med maksimalforbrug i vandforsynings driftsjournaler eller SRO-system.

Både døgnfaktoren og timefaktoren varierer betydeligt fra forsyningsområde til forsyningsområde. Der foreligger dog erfaring med, at både f_t og særlig f_d falder med stigende bystørrelse. Ligeledes viser erfaringen, at f_t falder med en øget variation af forbrugertyper i forsyningsområdet.

Hvis der ikke foreligger erfaringstal for f_d og f_t , bruges IDAs norm for almene vandforsyningsanlæg, DS442 fra 1988, ofte som vejledning. Siden 1988 er der dog sket en markant reduktion af vandforbruget inden for alle typer af forbrugere så vel som væsentlige ændringer af forbrugsmønstret.

Efterfølgende Tabel 2-1, der svarer til Tabel V 3.4 d i DS 442, omfatter værdier for f_d og f_t , som ud fra erfaringstal er reviderede i forhold til normens vejledende tal. Til sammenligning er normens værdier anført i parentes.

Kategori	Døgnfaktor fd, max	Timefaktor ft, max
Fritidsområder (campingpladser, sommerhuse o.lign.)	2,0 - 2,5 (2,0 - 4,0)	2,0 - 2,5 (2,0 - 4,0)
Spredte eller samlede bebyggelser med overvejende landbrugserhverv (<i>landsbyer</i>)	1,7 - 2,0 (2,0 - 3,0)	1,8 - 2,0 (2,0 - 3,0)
Mindre samlede bebyggelser med overvejende byerhverv (<i>mindre byer</i>)	1,5 - 1,8 (1,5 - 2,0)	1,7 - 1,9 (1,5 - 2,5)
Større samlede bebyggelser med differentieret byerhverv (<i>gns. købstadsniveau</i>)	1,3 - 1,6 (1,3 - 1,5)	1,6 - 1,8 (1,5 - 1,7)
Større samlede bebyggelser med differentieret byerhverv (<i>store byer</i>)	1,2 - 1,4 (1,3 - 1,5)	1,5 - 1,7 (1,5 - 1,7)

Tabel 2-1: fd- og ft-værdier, med tal fra 1988-norm DS442 i parentes

Når årsforbrug, samt døgn- og timefaktor er kendte eller fastlagte, kan de dimensionsgivende spidsbelastningsforbrug - forsyningskrav - beregnes.

2.2 Årsforbrug

Oplysning om årsforbruget $Q_{\text{År}}$ er i de fleste tilfælde let tilgængelig, og er et vigtigt grundlag for beregningerne af de øvrige forsyningskrav.

2.3 Maksimaldøgnforbrug og krav til døgnproduktion

Vandforbruget i et hvert forsyningsområde varierer med årstiden afhængig af klimatiske forhold, industriel aktivitet m.v.

Da det er de ekstreme belastningssituationer, der er dimensionsgivende for et vandforsyningsanlæg, er det vigtigt at få fastlagt størrelsen af maximaldøgnforbruget. Maximaldøgnforbruget $Q_{\text{max } d}$ beregnes ud fra årsforbruget og døgnfaktoren fd efter udtrykket:

$$Q_{\text{max } d} = \frac{Q_{\text{År}}}{365} \times fd = Q_{\text{krav } d\text{øgnprod}} \quad (\text{m}^3/\text{døgn})$$

Maksimaldøgnforbruget svarer også til den krævede døgnproduktion, $Q_{\text{krav } d\text{øgnprod}}$, dvs. den maksimalt krævede vandleverance i en periode på et døgn.

2.4 Maksimaltimedforbrug og krav til timeproduktion

Timeforbruget varierer normalt betydeligt over døgnet. Det er størst om dagen og mindst om natten. Tendensen er, at forbrugsvariationerne udjævnes med stigende bystørrelse og med øget variation af forbrugertyper.

Maksimaltimedforbruget $Q_{\max t}$ beregnes af maksimaldøgnforbruget og timefaktoren ft efter udtrykket:

$$Q_{\max t} = \frac{Q_{\max d}}{24} \times ft = Q_{krav\ timeprod} \quad (\text{m}^3/\text{t})$$

Maksimaltimedforbruget svarer også til den krævede timeproduktion, $Q_{krav\ timeprod}$, dvs. den maksimalt krævede vandleverance i en periode på en time.

Maksimaltimedforbruget er direkte dimensionsgivende for rentvands-pumperne og ledningsnettet. Sammen med maksimaldøgnforbruget er det maksimale timeforbrug desuden bestemmende for størrelsen af vandforsyningssystemets øvrige hovedelementer:

- Indvindingsanlæg
- Behandlingsanlæg
- Beholderanlæg
- Udpumpningsanlæg (rentvandspumper og højdebeholder/vandtårn).

2.5 Krav til indvindings- og behandlingsanlæg

Ved det ideelt afstemte vandforsyningssystem, der har tilstrækkelig beholdervolumen til at udjævne forbrugsvariationen i maksimaldøgn, skal indvindings- og behandlingsanlægget have tilstrækkelig kapacitet til jævnt hen igennem maksimaldøgnet at levere forsyningsområdets vandforbrug og vandværkets eget forbrug til filterskylning.

For at tage højde for vandværkets filterskylning m.v., skal indvindings- og behandlingsanlægget dimensioneres til at kunne levere det maksimale døgnforbrug over 22 timer. Herved vurderes der at være afsat nok tid (2 timer) til filterskylning.

$$Q_{krav\ indv} = Q_{krav\ behand} = \frac{Q_{\max d}}{22} \quad (\text{m}^3/\text{t})$$

2.6 Krav til beholderanlæg

Vandforsyningens beholderanlæg har til formål at udjævne forbrugsvariationerne over døgnet for at holde en jævn belastning på indvindings- og behandlingsanlægget. Normalt dimensioneres beholderanlægget således, at forbruget i maksimaldøgnet kan udjævnes.

Ved dimensioneringen af et sådan døgneservoirvolumen er det nødvendigt at fastlægge ikke blot timefaktoren ft , men også timeforbrugsfordelingen over døgnet. Oftest er fordelingen ikke kendt, og under alle omstændigheder varierer den fra døgn til døgn.

For at simplificere beregningerne tilnærmes fordelingskurven med en hat-formet kurve, som indhyller det maksimale timeforbrug. Der gøres endvidere den antagelse, at 2/3-del af vandet pumpes ud over 10 timer eller - ved forsyningsområder med jævnt forbrug (lille ft) - så hurtigt som muligt.

På fordelingskurven i Figur 2-2 på næste side er det vist, at den del af forbruget, der - sædvanligvis i dagtimerne - ligger over middeltimerforbruget, skal leveres af beholderanlægget.

T_{\max} er på den simplificerede fordelingskurve den tid, hvori forsyningsområdet aftager det maksimale timeforbrug, og findes ved fastlagt timefaktor ud fra ovenstående forudsætninger af udtrykket:

$$T_{\max} = \frac{18}{1,75 \times ft - 1} \quad \text{for } ft \geq 1,6$$

og

$$T_{\max} = \frac{16}{ft} \quad \text{for } ft \leq 1,6$$

For at hovedelementerne i et vandforsyningssystem kan være indbyrdes optimalt afstemt, skal døgneservoirvolumen have et volumen på

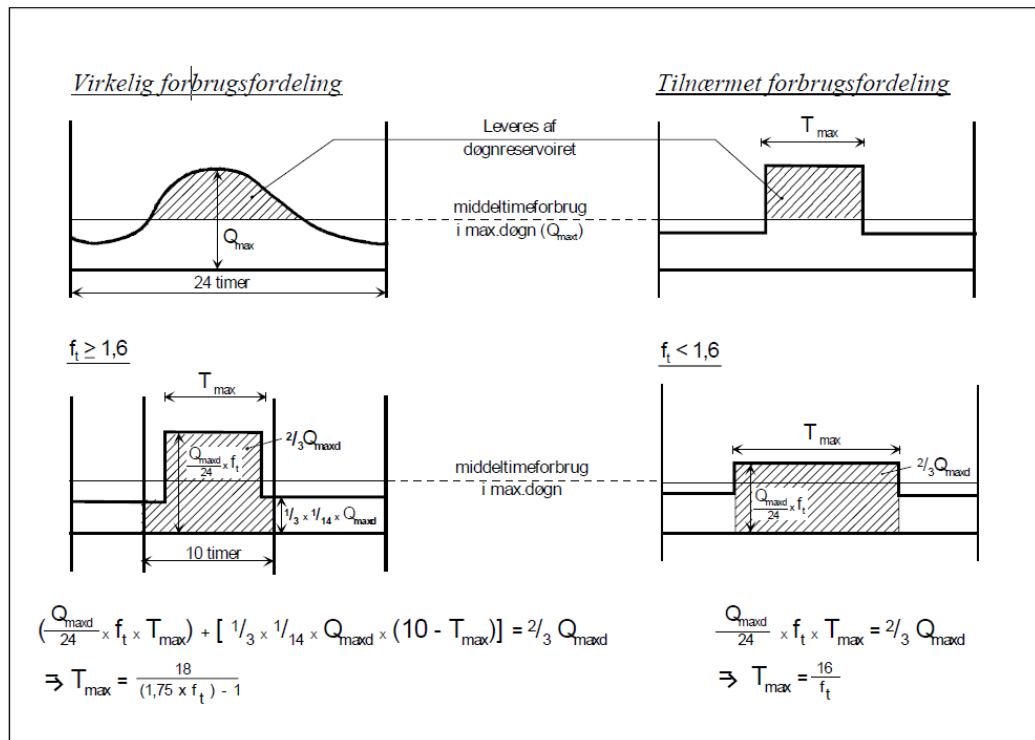
$$V_{krav\ behold} = T_{\max} \times (Q_{\max t} - Q_{krav\ indv}, Q_{krav\ behand}) + 2 \times Q_{\max t} \quad (\text{m}^3)$$

hvor $Q_{krav\ indv} = Q_{krav\ behand} = \frac{Q_{\max d}}{22}$, og

hvor $2 \times Q_{\max t}$ er lagt til som sikkerhed.

Døgnreservoirvoluminet har først og fremmest til formål at udjævne driften på indvindings- og behandlingsanlægget. For disse anlægselementer er det derfor underordnet, hvor i forsyningsområdet reservoiret er placeret, eller om reservoiret helt eller delvis placeres i en højdebeholder.

Døg skal der på vandværket være mindst en pumpeump og tilstrækkelig vand i rentvandsbeholderen til at kunne foretage de nødvendige filterskyllinger.



Figur 2-2: Fordelingskurve og døgnreservoirvolumen

2.7 Krav til udpumpningsanlæg

2.7.1 Forsyningsområder uden højdebeholder/vandtårn

I forsyningsområder uden højdebeholder eller vandtårn skal udpumpningsanlægget klare det maksimale timeforbrug. Det vil sige at

$$Q_{krav\ udp} = Q_{max\ t} \text{ (m}^3\text{/t)}.$$

2.7.2 Forsyningsområder med højdebeholder/vandtårn

Hvis en del af det krævede beholdervolumen (se afsnit 2.6) placeres som højdebeholder i forsyningsområdet, vil den nødvendige udpumpningskapacitet kunne formindskes. Formindskelsen svarer til den vandmængde, som højdebeholderen kan levere i den tid (T_{max}), hvor der er maksimalt timeforbrug. Det forudsættes, at der disponeres over 80 % af højdebeholderens volumen. De resterende 20 % reserveres til nødsituationer.

Udpumpningsanlægget i et forsyningsområde med højdebeholder/vandtårn skal dog mindst have en størrelse, så det maksimale døgnforbrug kan blive pumpet ud på 22 timer.

Generelt for et forsyningsområde med eller uden højdebeholder vil kravet til udpumpningskapacitet derfor kunne udtrykkes ved:

$$Q_{krav\ udp} = Maks \left\{ \left(Q_{max\ t} - \frac{V_{højd} \times 0,8}{T_{max}} \right), \left(\frac{Q_{max\ d}}{22} \right) \right\} \text{ (m}^3\text{/t)}$$

3. FORSYNINGSEVNE

3.1 Hovedelementer

Forsyningsevnen af et vandforsyningsanlæg angiver, hvor meget vand anlægget kan levere på time-, døgn- og årsbasis. De fleste hovedtal til fastlæggelse af et givet vandværks forsyningsevne kan afklares uden særlig beregning. Det gælder fastlæggelse af kapaciteten af vandværkets hovedelementer:

- Indvindingskapacitet (m³/t)
- Behandlingskapacitet (m³/t)
- Beholdervolumen (m³)
- Udpumpningskapacitet (m³/t)

Derimod skal vandforsyningens

- Mulige timeproduktion (m³/time)
- Mulige døgnproduktion (m³/døgn)
- Mulige årsproduktion (m³/år)

beregnes under hensyntagen til, hvordan vandværkets hovedelementer er afstemt i forhold til hinanden og under hensyntagen til forsyningsområdets forbrugsmønstre.

3.2 Timeproduktion

Vandværkets timeproduktion angiver, hvor meget vand forsyningsområdet maksimalt kan tilføres i timen i en periode (T_{\max}) med maksimalt timeforbrug. Forsyningsområdet kan tilføres vand fra rentvandspumperne og fra højdebeholder/vandtårn, hvis der er en sådan beholder i forsyningsområdet.

Ved beregning af timeproduktionen må der også tages hensyn til voluminet af vandværkets rentvandsbeholder. Er der f.eks. en lille rentvandsbeholder eller slet ikke nogen, kan udpumpningen fra vandværket ikke være større end indvindings- og behandlingsanlæggets kapacitet, $Q_{kap\ ind}$ og $Q_{kap\ behand}$

$$Q_{prod\ t} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(Q_{kap\ ind}, Q_{kap\ behand}) + \frac{(V_{rentv} + V_{højd}) \times 0,8}{T_{\max}} \\ \text{rentvandspumpekapacitet} + \frac{V_{højd} \times 0,8}{T_{\max}} \end{array} \right. \quad (\text{m}^3/\text{t})$$

Det forudsættes, at der disponeres over rentvandsbeholderens volumen (V_{rentv}) plus højdebeholderens volumen ($V_{\text{højde}}$) fratrukket 20 %. De 20 % reserveres til nødsituationer.

3.3 Døgnproduktion

Den mulige produktion i et døgn begrænses af følgende:

- a) Indvindingsanlæggets døgnproduktion
- b) Behandlingsanlæggets døgnproduktion
- c) Vandforsyningsanlæggets leveringskapacitet i relation til forbrugsmønstret i forsyningsområdet.

Vandforsyningsanlæggets døgnproduktion kan udtrykkes således:

$$Q_{\text{prod } d} = \text{Min}(a, b, c) \quad (\text{m}^3/\text{døgn})$$

hvor

$$a = Q_{\text{kap } \text{indv}} \times 22$$

$$b = Q_{\text{kap } \text{behand}} \times 22$$

$$c = \frac{Q_{\text{prod } t}}{ft} \times 24$$

3.4 Årsproduktion

Et vandværks mulige leverance på et år kan beregnes ud fra den mulige døgnproduktion og døgnfaktoren efter følgende udtryk:

$$Q_{\text{prod } \text{å}} = \frac{Q_{\text{prod } d}}{fd} \times 365 \quad (\text{m}^3/\text{år})$$

Det er naturligvis en forudsætning, at der er tilstrækkelige vandressourcer til rådighed til en sådan årsproduktion.

3.5 **Forsyningsikkerhed**

Forsyningsikkerheden i et forsyningsområde eller en by kan udtrykkes som forholdet i mellem vandforsyningsanlæggets forsyningsevne og forsyningskravet fra forbrugerne:

$$\text{Forsynings sikker hed} = \frac{\text{Evne}}{\text{Krav}}$$

Hvor stor en forsyningssikkerhed man vil have i et givet forsyningsområde er i sidste ende en politisk afgørelse. Det gælder også for opstilling af målsætninger for forsyningen. Men vil man undgå driftsforstyrrelser skal indekset for forsyningssikkerhed være over 1,0. Er indekset under 1 vil der til tider opstå situationer, hvor forbrugerne vil opleve vandmangel.

Normalt vil man ved de fleste vandforsyninger sætte minimumsgrænsen ved 1,3 og gerne have så stor kapacitet, at man kan tåle udfald af største enhed.

Forsyningsikkerhed såvel som målsætninger for et områdes vandforsyning skal altid afklares med vandforsyningen.

4. BEREGNINGSPROGRAM

På grundlag af beskrivelsen i de foregående afsnit er der udarbejdet et beregningsprogram i Excel. Udskrift af regnearket er vist nedenfor.

Regnearket beregner forsyningssikkerheden i forhold til årsforbruget, det maksimale døgn- samt timeforbrug. Det sker ved at beregne forholdet mellem forsyningsevne og forsyningskrav.

Beregningerne foregår ved at fremskaffe data fra vandforsyningen for de med rødt mærkede størrelser, og derefter indtaste dem. De øvrige felter er beskyttede, så uforvarende indtastning undgås. Størrelsen af den maksimale døgnfaktor (fd) og maksimale timefaktor (ft) vurderes ud fra

Tabel 2-1, hvor der tages højde for forsyningsområdets forbrugsmønster.

De øvrige værdier for forsyningskrav og –evne beregnes herefter automatisk.

Som eksempel er tal for fd og ft samt de øvrige med rødt markerede størrelser indtastet i tabellen, og beregnede værdier for forsyningsevne og –krav er vist.

X-købing Vandværk				Forbrugsmønster			
				Maks.døgnfaktor	fd	1,4	
				Maks.timefaktor	ft	1,7	
Forsyningskrav				Forsyningsevne			
				Indvind.tilladelse		1000 m ³ /år	1000
	Årsforbrug	1000 m ³ /år	766,9	Mulig årsproduktion		1000 m ³ /år	1288
	Maks.døgnforbrug	m ³ /døgn	2942	Døgnproduktion		m ³ /døgn	4941
	Maks.timeforbrug	m ³ /time	208	Timeproduktion		m ³ /time	350
	Pumpekapacitet	m ³ /time	208	Pumpekapacitet		m ³ /time	350
	Råvandskapacitet	m ³ /time	128	Råvandskapacitet		m ³ /time	320
	Filterkapacitet	m ³ /time	128	Filterkapacitet		m ³ /time	300
	Beholdervolumen	m ³	1199	Rentvandsbeholder		m ³	1000
				Højdebeholder		m ³	0
				Forsynings-sikkerhed	Årsforbrug	Evne/krav	1,7
					Maks.døgn	Evne/krav	1,7
					Maks.time	Evne/krav	1,7
				Periode med maksimalt timeforbrug (T _{max})	Timer/døgn		9,1

Tabel 4-1: Beregning af forsyningskrav og –evne