



Ingeniør, MSc Jørgen G. Øllgaard,  
ØLLGAARD Rådgivende  
Ingeniører A/S



Civilingeniør Anders  
Christiansen, ØLLGAARD  
Rådgivende Ingeniører A/S



Ingeniør Mads Nørgaard,  
ØLLGAARD Rådgivende  
Ingeniører A/S

Vi fokuserer alle på energibesparelser på vore vandforsyningsanlæg for at spare både penge og ressourcer. Det er derfor vigtigt at vide, hvor meget man kan spare, og til at belyse dette foretages evt. sammenligninger med andre anlæg i form af benchmarking. Nærværende artikel er et bud på, hvorledes benchmarkingen kan forbedres ved at inddrage vandets løftehøjde i beregningerne, samt hvorledes små og store anlæg kan sammenlignes. Endvidere er den samlede energibesparelse for vandforsyningsanlæg i Danmark vurderet til ca. 30 % ud fra en gennemgang af nøgletal fra 44 anlæg.

# Effektivisering af vandforsyningsanlæg kræver mere nuanceret benchmarking

I mange år har DANVA gennemført benchmarking for vandforsyningsanlæg, hvor man bl.a. har sammenlignet specifikt energiforbrug (energiforbrug i forhold til udpumpet vandmængde kWh/m<sup>3</sup>). Vi foreslår, at man supplerer denne sammenligning med et nyt nøgletal for en beregnet virkningsgrad, hvor man også tager hensyn til, hvor meget vandet skal løftes – fra grundvandsspejl til udpumpningstryk. For at vise, hvor meget der kan spares for hvert enkelt anlæg, er det nødvendigt at indregne anlæggets størrelse og dermed finde en nyttevirkning for det samlede vandforsyningsanlæg.

I forbindelse med VandTek 09 i Odense opfordrede vi en række besøgende til at fremsende nogle data fra deres vandforsyningsanlæg. Disse er behandlet sammen med oplysninger, vi tidligere har modtaget fra andre anlæg.

Nedenfor er beregnet og kommenteret følgende nøgletal:

- Specifikt energiforbrug (kWh/m<sup>3</sup>)
- Virkningsgrad (%) for det samlede vandværk, fra boringer til rentvandspumper, og hvor der tages hensyn til anlæggets løftehøjde for vandet

- Nyttevirkning (%), hvor der også der tages hensyn til vandværkets størrelse

Efterfølgende har vi forholdt os til eventuelle usikkerheder i beregningerne og i vurderingerne.

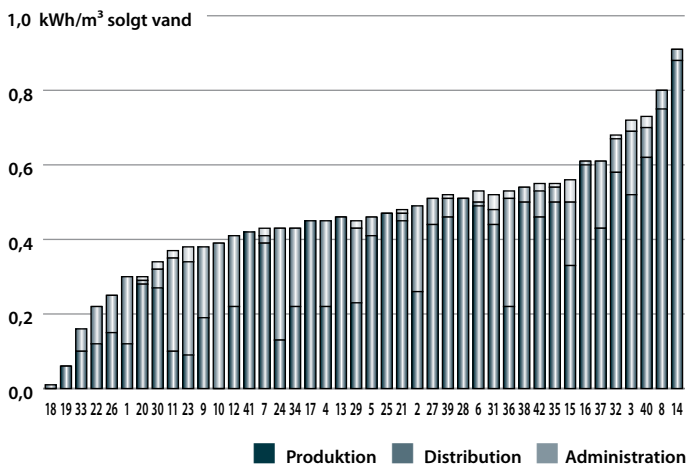
## Specifikt energiforbrug

Det specifikke energiforbrug (kWh/m<sup>3</sup>) er el-forbruget for en periode i forhold til den udpumpede vandmængde for perioden. Energiforbruget er eventuelt reduceret med forbrug til opvarmning og andre formål, der ikke direkte er tilknyttet vandbehandlingen.

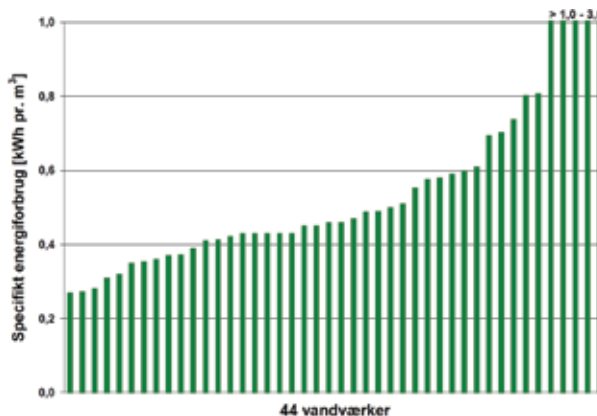
I figur 1 er vist resultaterne fra DANVAs "Vand i tal" /1/, og i figur 2 er vist de tilsvarende tal for de af os analyserede vandværker. Resultaterne er sorteret stigende efter nøgletallets størrelse. Begge analyser viser, at der er meget stor forskel på det specifikke energiforbrug.

I DANVAs beregning er det specifikke energiforbrug opdelt i "Produktion" og "Distribution" (samt "Administration"). Dette er efter vor opfattelse ikke en sigende opdeling, idet fordelingen er helt afhængig af, om vandværkets beliggen-

### Vandforsyningernes elforbrug, 2008

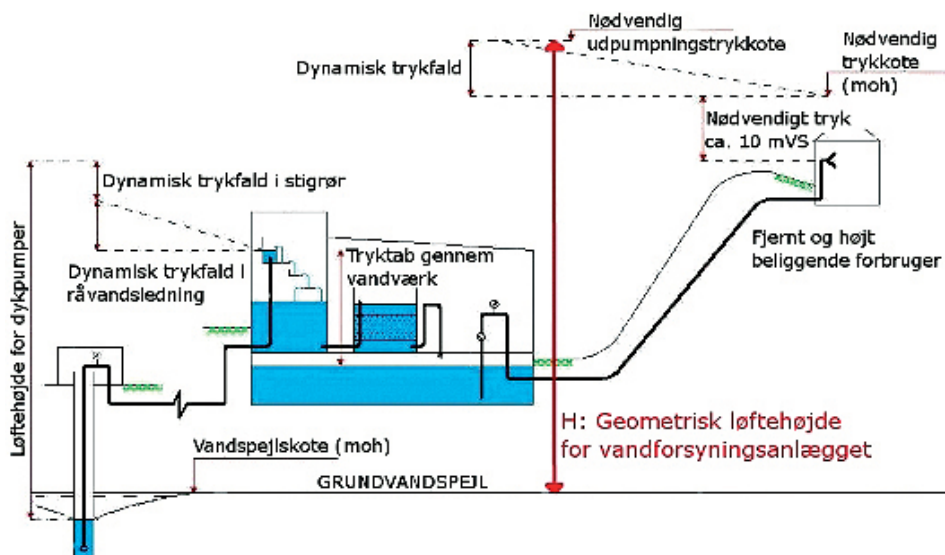


Figur 1. Specifikt energiforbrug (kWh/m³) fra DANVA's benchmarking 2009.



Figur 2. Specifikt energiforbrug (kWh/m³) for 44 analyserede vandforsyningsanlæg.

Figur 3. Snit gennem et vandforsyningsanlæg. Samlet løftehøjde fra ro-vandspejl til udpumpningstryk er vist.



hed er lav eller høj i forhold til koten for grundvandsspejl og koten for forsyningstryk.

**Nøgletallet for specifikt energiforbrug** skal løbende overvåges for hvert anlæg, idet en stigning indikerer eventuelle fejl på anlægget. Dette nøgletal kan og må dog ikke benyttes til sammenligning mellem forskellige anlæg, fordi det specifikke energiforbrug favoriserer anlæg, der kun har lille dybde til grundvandsspejlet og/eller behov for et lille udpumpningstryk. Endvidere favoriseres store anlæg i forhold til små, idet store pumper og motorer altid har højere virkningsgrader.

### Virkningsgrad

Den absolut vigtigste parameter for energiforbrug for et vandforsyningsanlæg er løftehøjden for vandet. Løftehøjden

er givet ud fra hydrogeologiske og topografiske forhold, og der kan oftest ikke ændres på dette.

Virkningsgraden,  $\eta$ , for et anlæg kan beregnes som:

$$\eta = \frac{9,81}{3600} \cdot \frac{Q \cdot H}{E} \cdot 100 \quad (\%)$$

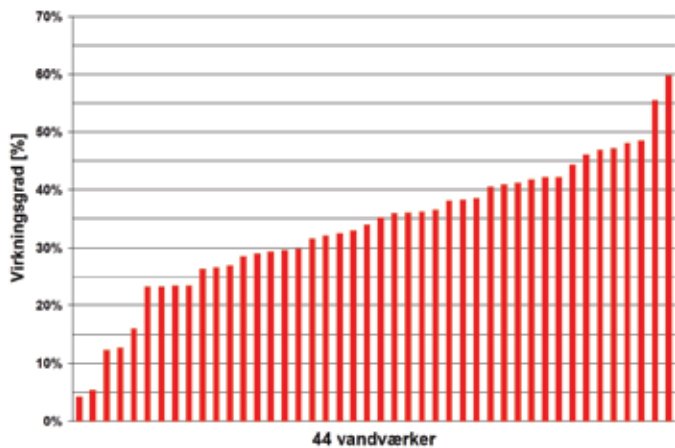
hvor:

Q er den udpumpede vandmængde for perioden (m³)

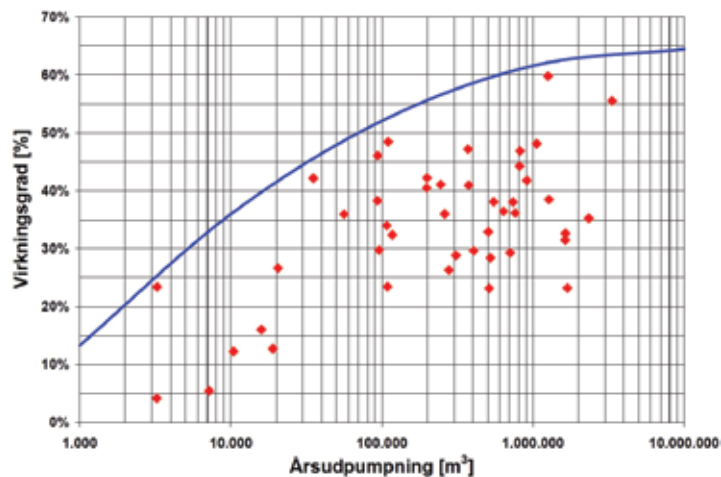
H er løftehøjden (mVS)

E er energiforbruget for perioden (kWh)

I nærværende analyse forholder vi os til den geometriske højde, som vandet skal løftes: Fra grundvandsspejlet i ro til det udpumpningstryk, rentvandspumperne leverer, jf. figur 3. I en senere analyse må man forholde sig til andre høj-



Figur 4. Energi-virkningsgrad for de analyserede værker. Løftehøjden er fra ro-vandspejl til udpumpningstryk tillagt 10 mVS for sædvanlige tab gennem vandværket m.v.



Figur 5. Energi-virkningsgrad vs. årsudpumpning. Den blå linje viser en opnåelig virkningsgrad for et ideal-vandværk.

der og modstande gennem anlægget, jf. de afsluttende bemærkninger.

For at give en reel sammenligning mellem anlæg, der har en lille henholdsvis stor løftehøjde, tillægges det gravitationstab, der er gennem alle vandværker. Et tilsvarende tab findes også for et trykfilteranlæg. Endvidere tillægges et rimeligt dynamisk trykfald i råvandsledning og omkring rentvandspumper samt sænkning i borer. Disse tillæg har vi vurderet til i alt 10 mVS for et ideal-vandværk.

Den herefter beregnede virkningsgrad er vist sorteret efter stigende virkningsgrad i figur 4. Virkningsgraderne varierer fra ca. 4 % til 60 %. For at vurdere resultaterne nærmere har vi i figur 5 sorteret disse efter vandværkernes størrelse, som vi har defineret ud fra årsudpumpningen.

For alle vandforsyningsanlæg er der et tab på mindst ca. 10 mVS. Dette tab er tillagt i beregningen af virkningsgrad for ikke at favorisere anlæg med en samlet stor løftehøjde i forhold til anlæg med lille løftehøjde.

Det ses tydeligt, at de større vandværker har bedre virkningsgrad end de mindre. Dette skyldes udelukkende, at større pumper og motorer har bedre virkningsgrader end mindre.

### Besparesespotentiale

I figur 5 er indtegnet en linje, der angiver en opnåelig virkningsgrad,  $\eta_o$ , for et ideal-vandværk. For beregningen af  $\eta_o$  har vi valgt normalt gode virkningsgrader for pumper, motorer og frekvensomformere, som vi har antaget etableret på vandforsyningsanlæg med forskellige størrelser. Endvidere har vi korrigeret med 4 % for energiforbrug til skylleluft og råvand til skyllevandsforbrug samt øvrige vandbehandlingsmæssige formål som trykluft, el-tavler m.v. baseret på erfaringstal.

Det ses, at kun få anlæg – både små og store – ligger tæt på den opnåelige virkningsgrad for et ideal-vandværk. Der er flere forhold, der kan være årsag til, at et vandforsyningsanlæg har lavere virkningsgrad.

Nogle forhold skyldes dårlig tilstand eller drift og kan eventuelt afhjælpes:

- Uøkonomisk indvindingsstrategi for drift af borerne
- Utæt stigrør fra dykpumpe
- For lille og/eller delvist tilstoppet råvandsledning
- Dykpumper og/eller rentvandspumper ligger ikke optimalt på deres karakteristik
- Dykpumper og/eller rentvandspumper er slidte/gamle og har derfor ikke god virkningsgrad

Andre forhold må eventuelt accepteres:

- Stor sænkning i borerne
- Stor afstand mellem kildeplads og vandværk
- Beluftnings-/afblæsnings-anlæg med (for) stor ydelse
- Trykfilter med (for) stor modstand

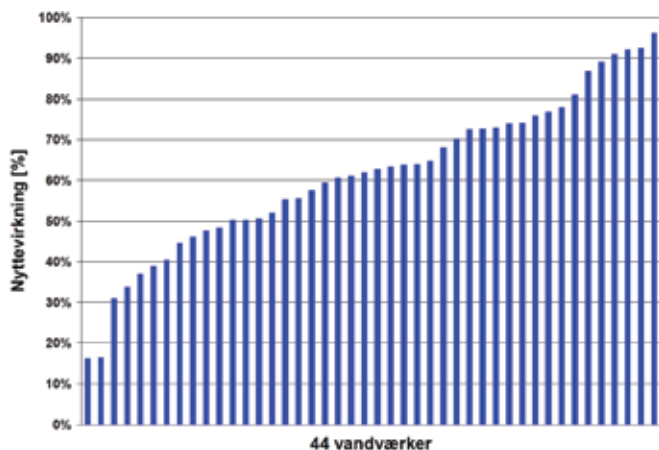
Hvis en for lav virkningsgrad ikke skyldes de nævnte særlige tekniske forhold eller opvarmning, affugtning o. lign., er det muligt at opnå en virkningsgrad svarende til den i figur 5 angivne linje for et ideal vandforsyningsanlæg.

Besparesespotentialet,  $B$ , er forskellen i energiforbrug ved den registrerede og den opnåelige virkningsgrad,  $\eta_o$ :

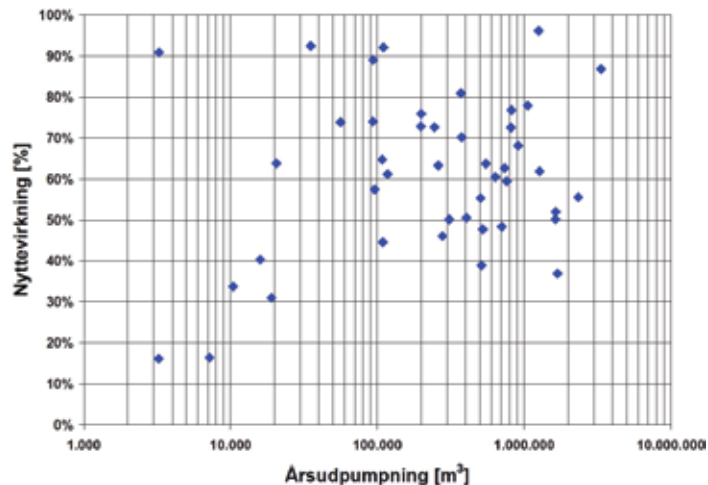
$$B = E - E \left( \frac{\eta}{\eta_o} \right)$$

Dette kan omskrives til en mulig bespareelsesprocent,  $b$ , i forhold til det nuværende energiforbrug:

$$b = \frac{B}{E} = \left( 1 - \frac{\eta}{\eta_o} \right) \cdot 100 \quad (\%)$$

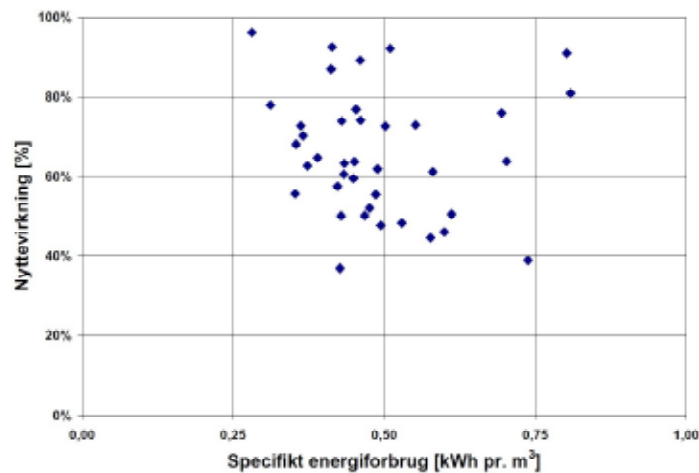


Figur 6. Vandforsyningsanlæggenes nyttevirkning: Aktuell virkningsgrad i forhold til den opnåelige virkningsgrad. Sorteret efter værdiens størrelse.



Figur 7. Vandforsyningsanlæggenes nyttevirkning: Aktuell virkningsgrad i forhold til den opnåelige virkningsgrad vs. årsudpumpning.

Den samlede vandmængde for de 44 analyserede vandværker er 25.000.000 m<sup>3</sup>/år. Ud fra ovenstående vurderinger har vi beregnet en samlet mulig energibesparelse på 4.100.000 kWh/år. Hvis dette skaleres op til den samlede produktion i Danmark på 409.000.000 m<sup>3</sup>/år [2], vil energibesparelsen blive 67.000.000 kWh/år. Imidlertid kan alle vandforsyningsanlæg ikke opnå den ideale virkningsgrad på grund af vanskelige vandindvindingsforhold og/eller nødvendig supplerende vandbehandling. Endvidere vil der være nogle anlægsdele, der er så dyre at ændre, at man ikke kan opnå en rimelig tilbagebetalingstid og således må acceptere de eksisterende forhold. Et skøn over den samlede energibesparelse kan være 75 % eller 50.000.000 kWh/år. Dette svarer til ca. 30 % af vandforsyningssektorens årlige energiforbrug.



Figur 8. Nyttevirkning vs. specifikt energiforbrug. Det ses tydeligt, at der ikke er sammenhæng mellem de to nøgletal.

### Nyttevirkning – benchmarking

Man kan lave en sammenligning (benchmarking) mellem vandforsyningsanlæg med nøgletallet virkningsgrad. Men som nævnt ovenfor er det ikke muligt for de mindre anlæg at opnå så høje virkningsgrader som de større anlæg. Det vil derfor være mere sigende at beregne et andet nøgletal, nyttevirkning,  $N$ . Denne har vi defineret som anlæggets virkningsgrad i forhold til, hvad der er opnåeligt.

$$N = \frac{\eta}{\eta_o} \cdot 100 \quad (\%)$$

Denne værdi er – for de analyserede vandværker – vist sorteret efter værdiens størrelse i figur 6 og sorteret efter anlæggets størrelse i figur 7.

Af figurene ses, at der – for både store og små anlæg – kan opnås betydelige besparelser. Endvidere ses, at der er meget stor spredning på anlæggenes energi-nyttvirkning. Det er relativt enkelt at beregne et anlægs nyttevirkning, og dermed hvor stort besparelspotentialet er for det konkrete vandværk.

I figur 8 er vist det specifikke energiforbrug i forhold til den beregnede nyttevirkning. Det ses tydeligt, at der ikke er sammenhæng mellem de to nøgletal. Derfor er det specifikke energiforbrug ikke velegnet til sammenligning mellem vandværker. Derimod skal – som tidligere anført – denne værdi anvendes til den løbende overvågning af det enkelte anlæg.

### Afsluttende bemærkninger

I alle de anvendte data fra vandforsyningsanlæggene er der naturligvis en række usikkerheder. Således er det vanskeligt for de fleste anlæg at adskille el-forbruget til opvarmning o. lign. fra el-forbruget til vandproduktionen. Endvidere kan beliggenheden af ro-grundvandsspejlet sjældent defineres præcist, ligesom udpumpningstrykket er et vurderet gennemsnit.

Tilsvarende kan man gøre forskellige antagelser om sammenligningen med virkningsgraden for det ideale vandforsyningsanlæg, både med hensyn til det valgte gravitations-

og trykfald på 10 mVS og el-forbruget til skyllevand m.v. på 4 % samt de anvendte virkningsgrader for pumper m.v. i forskellige størrelser.

Vi mener imidlertid, at disse usikkerheder er små i forhold til de overordnede værdier i beregningerne. En usikkerhed på f.eks. 10 % i det indregnede energiforbrug eller løftehøjde medfører blot en fejl på ca. 6 procentpoint i den beregnede nyttevirkning. Virkningsgrad og i særdeleshed nyttevirkning er derfor gode nøgletal til brug for benchmarking.

Man kan også vælge at beregne virkningsgraden for anlægget ud fra et driftsvandspejl i stedet for ro-vandspejlet. Dette vil give en mere ensartet og korrekt beregning af virkningsgraden, men datarapporteringen vil blive mere omfattende. Hvis dette vælges, skal man lave en selvstændig vurdering af selve vandindvindingsens virkningsgrad. Se f.eks. analysen for Birkerød vandværk /3/.

Tilsvarende kan man korrigere for andre særlige forhold (råvandsledning, afblæsning, trykfilter m.v.) for det enkelte anlæg og vurdere deres energivirkningsgrad for sig samt indsætte det præcise gravitationstab gennem vandværket. Herefter kan man beregne virkningsgraden for det resterende

de anlæg, nu blot omfattende råvandspumper og rentvands-pumper.

I nærværende analyse er benyttet vandforsyningsens aktuelle udpumpningstryk (eller trykkote). Den letteste energibesparelse en vandforsyning kan opnå, fås ved at reducere udpumpningstrykket til, at de højest og/eller fjernest beliggende forbrugere lige akkurat har tilstrækkeligt tryk hele døgnet. En reduktion af udpumpningstrykket kan ofte opnås med en sektionering af ledningsnettet.

## Referencer

/1/ Vand i tal. DANVA 2009.

/2/ DANVA: Drikkevand i Danmark (<http://www.danva.dk/Drikkevand-58.aspx>)

/3/ Birkerød Vandværk: Energibesparelser på kildepladsen – Yes we can! danskVAND nr. 7, december 2009.

Hos Brøker har vi noget af det bedste materiel, en højt kvalificeret serviceafdeling og 110 års erfaring med boringer.



## BRØNDBORINGSFIRMAET BRØKER A/S

Spånnebæk 7, 4300 Holbæk  
 Telefon: 5944 0406  
 E-mail: [thomas@broeker.dk](mailto:thomas@broeker.dk)  
[www.broeker.dk](http://www.broeker.dk)

Din samarbejdspartner indenfor vandforsyningsboringer, køle- og varmeboringer, service og vedligeholdelse af vandforsyningsboringer, sløjfning af brønde og boringer.