# Optimering af indvinding på større kildepladser

*Af Steen Christensen og Olav Hansen, Kemp & Lauritzen A/S*

*Særtryk fra VANDTEKNIK nr. 5, 1990*

# Optimering af indvinding på større kildepladser

*Af Steen Christensen og Olav Hansen, Kemp & Lauritzen A/S*

## Indledning

Erfaringsmæssigt ofrer de fleste større danske vandforsyninger megen opmærksomhed på driften af filteranlæg, rentvandsudpumpning og distributionsnet, mens driften af kildepladserne ofte er mindre i fokus.

Kildepladsen er grundlaget for stort set enhver vandforsyning i Danmark. Det er herfra, der indvindes grundvand, som det er enkelt at behandle, inden det distribuseres til forbrugerne. Hertil kommer, at el- og vedligeholdelsesomkostningerne i forbindelse med indvindingsanlæggene er af en betydelig størrelsesorden sammenlignet med de tilsvarende omkostninger til vandbehandling og distribution. For at sikre en fortsat god og billig vandforsyning er det derfor naturligt at interessere sig for kildepladserne og de hertil hørende indvindingsanlæg.

Indvindingssiden på et vandværk består af fire hovedled: grundvandsmagsin, boringer, pumper og ledningsnet. Grundvandsmagasinet udgør vandressourcen, som ved hjælp af pumper indvindes fra boringerne. Herfra transporteres vandet til vandværket via ledningerne. Som skitseret i figur 1 er der et samspil mellem grundvandsmagasin, vandstandssænkninger i boringerne, pumpernes ydelse og friktionstabene i ventiler, stigrør, vandmålere samt råvandsledninger.

Samspillet er vanskeligt at overskue, når der er mange boringer på kildepladsen og måske tillige et kompliceret råvandsledningsnet. Som et hjælpeværktøj til analyse af samspillet og til optimering af driften på større kildepladser har Kemp & Lauritzen derfor udviklet en kildepladsmodel.

I denne artikel beskrives kort samspillet mellem grundvandsmagasin, boringer, pumper og ledningsnet, og der gives forslag til, hvordan disse bør overvåges. Via et eksempel demonstreres, hvordan en kildepladsmodel opstilles og anvendes.

Steen Christensen

Olav Hansen

## Grundvandsmagasin

Det er i grundvandsmagasinet, vi finder ressourcen for vandforsyningen. De geologiske forhold i og omkring magasinet er bestemmende for størrelsen og kvaliteten af ressourcen.

Grundvandsmagasinets transmissivitet og magasintal er fysiske størrelser, som er bestemmende for, hvor store afsænkninger man får på kildepladsen, og hvor hurtigt sænkningerne spreder sig. Ved vurdering af den tilgængelige ressources størrelse og den indbyrdes sænkningspåvirkning mellem boringerne, er det vigtigt at få bestemt transmissiviteten og magasintallet. Bestemmelsen sker ved prøvepumpning, hvor det tidslige sænkningsforløb registreres.

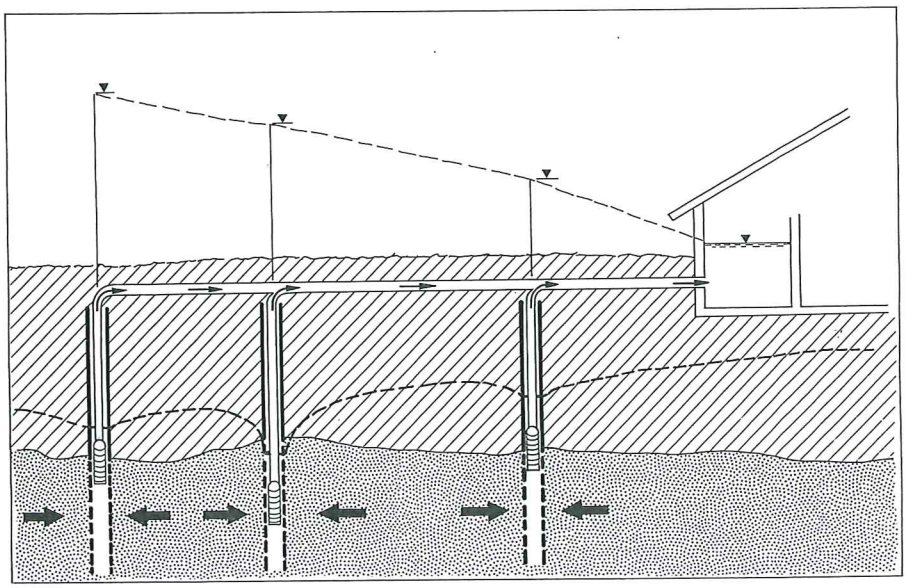

Fig. 1. Skitseret samspil mellem grundvandsmagasin, boringer, pumper og ledningsnet.

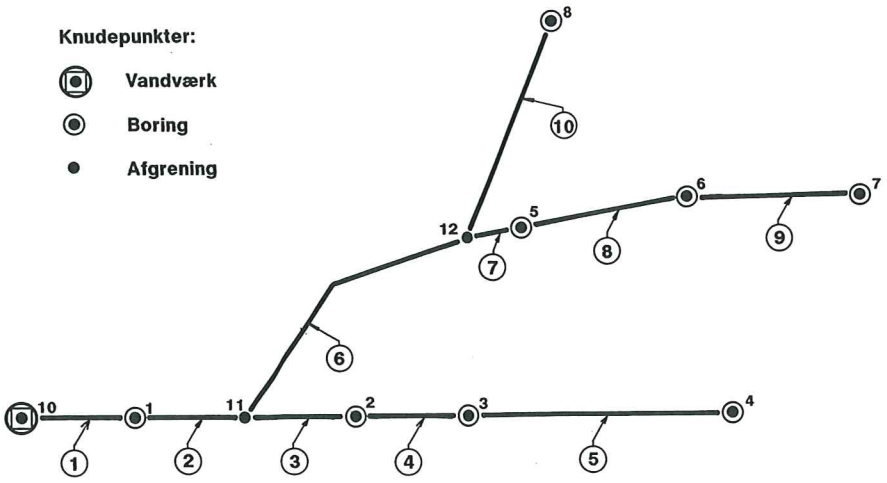


Fig. 2. Eksempel på model over en kildeplads.

| Knude nr. | Type | Kote (m) |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 37.60 |
| 2 | 1 | 32.50 |
| 3 | 1 | 25.00 |
| 4 | 1 | 23.70 |
| 5 | 1 | 31.00 |
| 6 | 1 | 29.60 |
| 7 | 1 | 22.10 |
| 8 | 1 | 30.00 |
| 10 | 2 | 37.70 |
| 11 | 1 | 35.00 |
| 12 | 1 | 32.00 |

Fig. 3. Indlæste knudepunktsoplysninger.

## Hvorfor opstille en kildepladsmodel?

Som det fremgår af ovenstående. er der en række parametre for grundvandsmagasin, boringer, pumper og ledningsnet, som har betydning for, om indvindingen på en kildeplads sker optimalt.

Når der er tale om en kildeplads med få (1-3) boringer, kan man foretage kontrolmålinger af ydelse og tryktab i alle mulige driftssituationer. Hvis man supplerer målingerne med lidt håndregning, kan man danne sig fuldt overblik over driften:

- boringernes ydelse og afsænkning
- boringernes indbyrdes påvirkning
- tryktab i stigrør
- pumpernes ydelse og tilstand
- vandstrømning og tryktab i ledningsnet
- vandkvalitet i boringer og blandingsvand

Hvis der derimod er tale om kildepladser med flere boringer, kompliceret ledningsnet eller trykforøgeranlæg, bliver det vanskeligt at skaffe sig fuldt overblik over kildepladsen. Det bliver uoverkommeligt at foretage kontrolmåling af samtlige mulige driftskombinationer af boringer, og håndregning er ikke længere tilstrækkeligt til at analysere forholdene tilbunds.

Til dette formål har Kemp & Lauritzen udviklet et EDB-program til beregning af indvindingsforholdene på større kildepladser. Beregningsprogrammet kan anvendes for:

- vilkårligt antal indvindingsboringer
- komplicerede ledningsnet
- tilledning til flere vandbehandlingsanlæg

I programmet opstilles en model over indvindingsanlæggene på kildepladsen. Modellen benævnes derfor *kildepladsmodel*. Modellen kan benyttes til beregning af såvel nuværende driftssituationer som alternative situationer i forbindelse med udeller ombygning af kildepladsen.

Programmet minder naturligt nok en del om et almindeligt ledningsnet-beregningsprogram, men er dog væsentligt udvidet med beregning af borings- og grundvandshydraulik. I det følgende gennemgås derfor via et eksempel, hvilke oplysninger der indgår i kildepladsmodellen, og hvilke beregningsresultater man får til gengæld.

## Opstilling af kildepladsmodel

Ligesom ved opstilling af modeller af vandforsyningens ledningsnet inddeles kildepladsen i knudepunkter og ledningsstrækninger.

I figur 2 er vist et eksempel på en model af en kildeplads med 8 boringer. Boringerne er hver repræsenteret ved et knudepunkt med numre fra 1 til 8. Herudover findes knudepunkt nr. 10 ved indløbet til vandværket og knudepunkt 11 og 12 ved ledningsafgreninger. Bemærk, at af hensyn til overskueligheden er modellen forsimplet, idet stigrør og afgangsrør fra boring til råvandsledningen er udeladt, ligesom der ses

| Ledn. nr. | Fra knude | Til knude | Diameter (mm) | Længde (m) | Ruhed (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 10 | 250. | 50.0 | 1.000 |
| 2 | 11 | 1 | 250. | 50.0 | 1.000 |
| 3 | 2 | 11 | 200. | 50.0 | 1.000 |
| 4 | 3 | 2 | 150. | 50.0 | 1.000 |
| 5 | 4 | 3 | 150. | 120.0 | 1.000 |
| 6 | 12 | 11 | 150. | 155.0 | 1.000 |
| 7 | 5 | 12 | 150. | 5.0 | 1.000 |
| 8 | 6 | 5 | 100. | 100.0 | 1.000 |
| 9 | 7 | 6 | 100. | 80.0 | 1.000 |
| 10 | 8 | 12 | 100. | 110.0 | 1.000 |

Fig. 4. Indlæste ledningsoplysninger.

Fig. 7. Beregnet strømning og tryktab for ledningsstrækninger.

| Ledn. nr. | Fra knude | Til knude | Vandføring (m3/S) | Hastighed (m/s) | Gradient (o/oo) | Friktionstab (mVS) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 10 | 389.33 | 2.2032 | 29.244 | 1.4622 |
| 2 | 11 | 1 | 314.35 | 1.7789 | 19.107 | .9553 |
| 3 | 2 | 11 | 188.19 | 1.6639 | 22.369 | 1.1184 |
| 4 | 3 | 2 | 133.70 | 2.1016 | 51.937 | 2.5969 |
| 5 | 4 | 3 | 65.61 | 1.0314 | 12.633 | 1.5160 |
| 6 | 12 | 11 | 126.17 | 1.9832 | 46.277 | 7.4043 |
| 7 | 5 | 12 | 92.61 | 1.4570 | 25.101 | .1255 |
| 8 | 6 | 5 | 55.68 | 1.9694 | 78.307 | 7.8307 |
| 9 | 7 | 6 | 27.31 | .9660 | 19.040 | 1.5232 |
| 10 | 8 | 12 | 33.56 | 1.1869 | 28.636 | 3.1500 |

dybden fra terræn til driftsvandspejl samt tryk over terræn. Sænkningen er størst og ydelsen forholdsvis lav i boring 2, hvilket skyldes, at boringen har en lav virkningsgrad på 35%. Tryk over terræn er naturligt nok størst for de boringer, der ligger lavest terrænmæssigt.

For pumperne er beregnet: det samlede modtryk (summen af løft til terræn og tryk over terræn), den virkningsgrad pumpen kører ved, det hertil svarende energiforbrug for den aktuelle ydelse samt den relative udgift til oppumpning af 1 $m^3$ vand fra boringen.

Modtrykket er forholdsvis stort ved boring 2, 5, 6, 7 og 8. For førstnævntes vedkommende skyldes det boringens dårlige virkningsgrad og deraf følgende store afsænkning. For de øvrige boringer skyldes modtrykket primært tryktab i ledningerne mellem knudepunkt 6 og 11.

Den relative el-udgift ses at variere meget fra boring til boring. Udgiftsniveauet er generelt højest for boring 5 til 8 med de mindre pumper og de laveste ydelser. Prisen er også forhøjet for boring 2, der pga. den lave virkningsgrad yder mindre end boring 1, 3 og 4.

Til sammenligning er i figur 10

Fig. 8. Beregnet trykkote, oppumpning og udløb for knudepunkter.

| Knude nr. | Kote (m) | Trykhøjde (mVS) | Trykkote (m) | Oppumpning (m3/t) | Udløb (m3/t) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 37.60 | 1.56 | 39.16 | 74.98 | |
| 2 | 32.50 | 8.74 | 41.24 | 54.49 | |
| 3 | 25.00 | 18.83 | 43.83 | 68.09 | |
| 4 | 23.70 | 21.65 | 45.35 | 65.61 | |
| 5 | 31.00 | 16.52 | 47.52 | 36.93 | |
| 6 | 29.60 | 25.75 | 55.35 | 28.37 | |
| 7 | 22.10 | 34.78 | 56.88 | 27.31 | |
| 8 | 30.00 | 20.67 | 50.67 | 33.56 | |
| 10 | 37.70 | .00 | 37.70 | | 389.33 |
| 11 | 35.00 | 5.12 | 40.12 | | |
| 12 | 32.00 | 15.40 | 47.40 | | |

| Boring nr. | Ydelse (m3/t) | Sænkning (m) | Løft til terræn (mVS) | Tryk o. terræn (mVS) | Modtryk (mVS) | Pumpe V (%) | Energiforbrug (kWh) | Relativ el-udgift (kr/m3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 74.98 | 8.67 | 36.17 | 1.56 | 37.73 | 52.8 | 14.600 | .166 |
| 2 | 54.49 | 17.96 | 40.46 | 8.74 | 49.19 | 55.5 | 13.155 | .205 |
| 3 | 68.09 | 9.84 | 23.34 | 18.83 | 42.17 | 55.2 | 14.186 | .177 |
| 4 | 65.61 | 9.47 | 21.97 | 21.65 | 43.62 | 55.6 | 14.016 | .182 |
| 5 | 36.93 | 9.11 | 30.61 | 16.52 | 47.13 | 50.8 | 9.335 | .215 |
| 6 | 28.37 | 8.56 | 29.06 | 25.75 | 54.82 | 47.9 | 8.849 | .265 |
| 7 | 27.31 | 7.43 | 20.93 | 34.78 | 55.71 | 47.2 | 8.792 | .274 |
| 8 | 33.56 | 8.08 | 29.58 | 20.67 | 50.25 | 50.3 | 9.137 | .231 |
| Ialt | 389.33 | | | | | | 92.071 | .201 |

Fig. 9. Beregnet oppumpning og sænkning for boringer samt modtryk, virkningsgrad, energi- og el-forbrug for pumper.

kunder, hvorfor det er en enkel ting at gennemregne alternative driftssituationer.

For en eksisterende kildeplads kan modellen give svar på spørgsmål som: hvilke boringer bør være i drift samtidig; er boringerne bestykket med de rigtige pumper; hvad er besparelsen ved regenerering af boringer; er der underdimensionerede ledningsstrækninger, hvor der sker store tryktab.

Har man planer om at etablere en ny eller udbygge en eksisterende kildeplads, bør man eliminere risikoen for fejlinvesteringer. Inden man påbegynder dyre anlægsarbejder, skal fordele og ulemper ved alternative udbygningsforslag vurderes på grundlag af kildepladsberegninger. Kildepladsmodellen er det værktøj, der giver det bedste overblik over: hvordan skal en ny kildeplads indrettes; hvad betyder det, hvis man udbygger en eksisterende kildeplads med ny boringer; hvordan skal ny boringer placeres i forhold til gamle, og med hvilke pumper skal de bestykkes; har det eksisterende ledningsnet kapacitet til at transportere vand fra boringer til vandværket, eller skal ledningsnettet udbygges; hvad bliver udgifterne til fremtidig kildepladsdrift.