



ENERGIRIGTIG OG SIKKER VANDFORSYNING

DANVA finansieret udredningsprojekt

Juni 2009

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
1.1 Baggrund	4
1.2 Formål.....	5
1.3 Inspiration	6
2. Resumé	7
3. Modelvandforsyningen og arbejdsmetoden	9
4. Vandforsyning med vandtårn	12
4.1 Energioekonomi med vandtårne.....	13
4.2 Umiddelbare besparelser	15
5. Vandforsyning uden vandtårn	18
5.1 Yderligere besparelser	20
6. Opsamling på beregninger med modelvandforsyningen	22
7. Individuelle trykzoner	23
7.1 Etablering af individuelle trykzoner	25
8. Eftervisning af rapportens konklusioner	27
9. Energirigtig og sikker vandforsyning	30
10. BILAG	31
10.1 BILAG: Vandforsyning med vandtårn	32
10.2 BILAG: Vandforsyning med vandtårn og umiddelbare besparelser	33
10.3 BILAG: Vandforsyning uden vandtårn	34
10.4 BILAG: Vandforsyning uden vandtårn, yderligere besparelser	35
10.5 BILAG: Individuelle trykzoner	36
10.6 BILAG: Dimensionering af pumper	37

ISBN: 87-90455-95-9

Titel: ENERGIRIGTIG OG SIKKER VANDFORSYNING

Udgiver: DANVA
Vandhuset
Danmarksvej 26
8660 Skanderborg

Udarbejdet af:
Bo Bartelt, Krüger A/S

Finansiering:
Vejledningen er finansieret af
DANVA

1. Indledning

1.1 Baggrund

Denne rapport med titlen *Energirigtig og sikker vandforsyning* er finansieret af DANVA som supplement til de mange igangværende energiprojekter i 2008/ 2009.

Nærværende rapport undersøger, hvilke energiomkostninger der knytter sig til vandforsyninger med vandtårne, og kortlægger besparelspotentialer ved at omlægge distributionsnettet til dels et distributionsnet med lavere driftstryk og dels et distributionsnet uden vandtårne.

Projektets konklusioner er baseret på modelberegninger analyseret på en opstillet idealiseret dansk købstads vandforsyning, og konklusionerne er forsøgt eftervist med data fra et opland hos Århus Vand og Spildevand.

Rapporten er udarbejdet af:

- Bo Bartelt, Krüger A/S

Eftervisning med målinger og AQUIS modelberegninger er foretaget af:

- Kurt Brinkmann, Århus Vand og Spildevand

Rapportens resultater er inspireret af og kvalitetssikret af:

- Søren Carsten Nielsen, Krüger A/S
- Rasmus Boe-Hansen, Krüger A/S
- Torben Nielsen, Krüger A/S
- Henrik Korsgaard, Krüger A/S

Projektet er gennemført i perioden december 2008 til juni 2009.

Der har været nedsat en følgegruppe bestående af:

- Karin Larsen, DANVA
- Ole Texel, Århus Vand og Spildevand
- Ole Fritz Adeler, Krüger A/S

De væsentligste resultater fra projektet er indbygget i et PowerPoint show, der skal ses som supplement til denne rapport.

1.2

Formål

Denne rapport skal ses som supplement til dels de mange igangværende energiprojekter og dels hele vandbranchens fokus på energireduktion og CO₂ footprint.

DANVA og Elsparefonden har en vision om, at vandbranchen generelt skal spare 25 % af det samlede energiforbrug og dermed medvirke positivt til at gøre klimaet bedre.

Derfor er rapportens sigte at se "overordnet" på energiforbruget i vandforsyningen, specielt med hensyn til drift af vandtårne og etablering af flere trykzoner, der muliggør et generelt lavere vandtryk i distributionsnettet og dermed et lavere energiforbrug.

Hovedformålet med projektet er at analysere to forskellige vandforsyninger:

- Vandforsyningen, som vi kender i dag med vandtårne og beholdere, åbent distributionsnet
- Et fremtidigt vandforsyningssystem med flere trykzoner og uden vandtårne og beholdere, lukket distributionsnet

De to forsyningsnet analyseres med fokus på følgende faktorer:

- Energi
- Økonomi
- Sikkerhed
- Vandkvalitet

Ovenstående faktorer forsøges kvantificeret dels ved analyse af eksisterende data og vurderinger baseret på en "modelvandforsyning", der er opbygget som en typisk provinsby i Danmark, og dels ved efterfølgende analyse via AQUIS og målinger på en eksisterende vandforsyning.

Følgende delformål kan opstilles for de to typer af vandforsyninger jævnfør ovenstående:

Vandforsyning, som vi kender den i dag:

- Fastsætte den bedst opnåelige driftsøkonomi i en vandforsyning
- Identificere de samlede driftsudgifter til energi i en typisk vandforsyning i dag
- Opstille en driftsøkonomisk model til simulering af forskellige driftsscenarioer for optimering af driftsøkonomien

Vandforsyning, som den i fremtiden kan etableres med ekstra trykzoner:

- Identificere de samlede driftsudgifter til energi for en vandforsyning uden vandtårne og beholdere, men med ekstra trykzoner

- Opstille en driftsøkonomisk model til simulering af forskellige drifts-scenarier for optimering af driftsøkonomi
- Formulere "tommelfingerregler" for energibesparelser i en vandforsyning med flere trykzoner

1.3

Inspiration

De resultater, som rapporten præsenterer, er tænkt som inspiration til arbejdet med egen vandforsyning og arbejdet med de energibesparelser, der kan ligge i at omlægge driften af især distributionsnettet.

Vandforsyningerne opfordres til at beregne energiomkostningerne ved deres vandtårne og forsøge at indtænke energi i strategien for et fremtidigt distributionsnet. Specielt set i forbindelse med dels renovering af eksisterende distributionsnet, herunder investering i renovering af vandtårne, og dels i forbindelse med etablering af nyt distributionsnet f.eks. i forbindelse med etablering af nye bydele.

2.

Resumé

Projektet og modelberegninger viser, at vandforsyninger kan spare energi ved at reducere "overskydende" tryk hos forbrugerne.

**Sænk forsyningstrykket 1 meter og
reducér energiforbruget med 1,3 % eller 4,6 W/ m³.**

For vandforsyninger med vandtårn, er tårnets "indbyggede" vandspejlskote en begrænsning for, hvordan en trykreduktion kan realiseres.

En sænkning af øverste driftsvandspejl i vandtårnet vil give en energibesparelse, men ofte er den sænkning, man kan opnå i praksis, begrænset af højtliggende bebyggelser eller tryktab til forsyningsområder.

Beregninger viser, at vandforsyninger med vandtårn bruger 10 % mere energi end den tilsvarende forsyning uden vandtårn og trykstyret udpumpning.

Den mest energioptimale vandforsyning har et distributionsnet opdelt i individuelle trykzoner med et tilfredsstillende og minimalt tryk overalt.

Beregninger på en simplificeret vandforsyning med en årsproduktion på ca. 290.000 m³ viser, at energiforbruget til distribution kan reduceres med mere end 25 % ved at sænke forbrugernes forsyningstryk til 2-3 bar i stedet for eksemplets oprindelige 2-5 bar. Energibesparelsen er endda opnået ved at udskifte de mest energibesparende pumper med nye og ligeså energibesparende, men med tilpassede afgangstryk – unødvendigt forsyningstryk er en energisluger.

En eftervisning af rapportens konklusioner hos Århus Vand og Spildevand på en udvalgt zone viser et potentiale for at sænke trykke 10-18 mVS, når der er gjort plads til 1-2 meters tryktab i forsyningsnettet. I den udvalgte zone var ledningsnettet ikke anlagt, så man umiddelbart kan opdele nettet i sektioner efter terrænkote, men måske kan man med fordel inddrage ledningsnettet i den opgrænsende nabozone? – Et simpelt beregningsscenarie med at trykstyre hele zonen fra Østerby Værket viste, at den ønskede tryksænkning inde i zonen næsten bliver "spist op" af tryktabet i transportledningen ind fra værket. Måske vil en mere kompleks indpumpningsmodel med inddragelse af de andre værker kunne give et energirigtigt resultat?

Eftervisningen peger på, at der er et besparelspotentiale, og at lokale forhold kan betyde, at allerede fastlagte forsyningsstrukturer skal nytænkes energirigtigt.

3.

Modelvandforsyningen og arbejdsmetoden

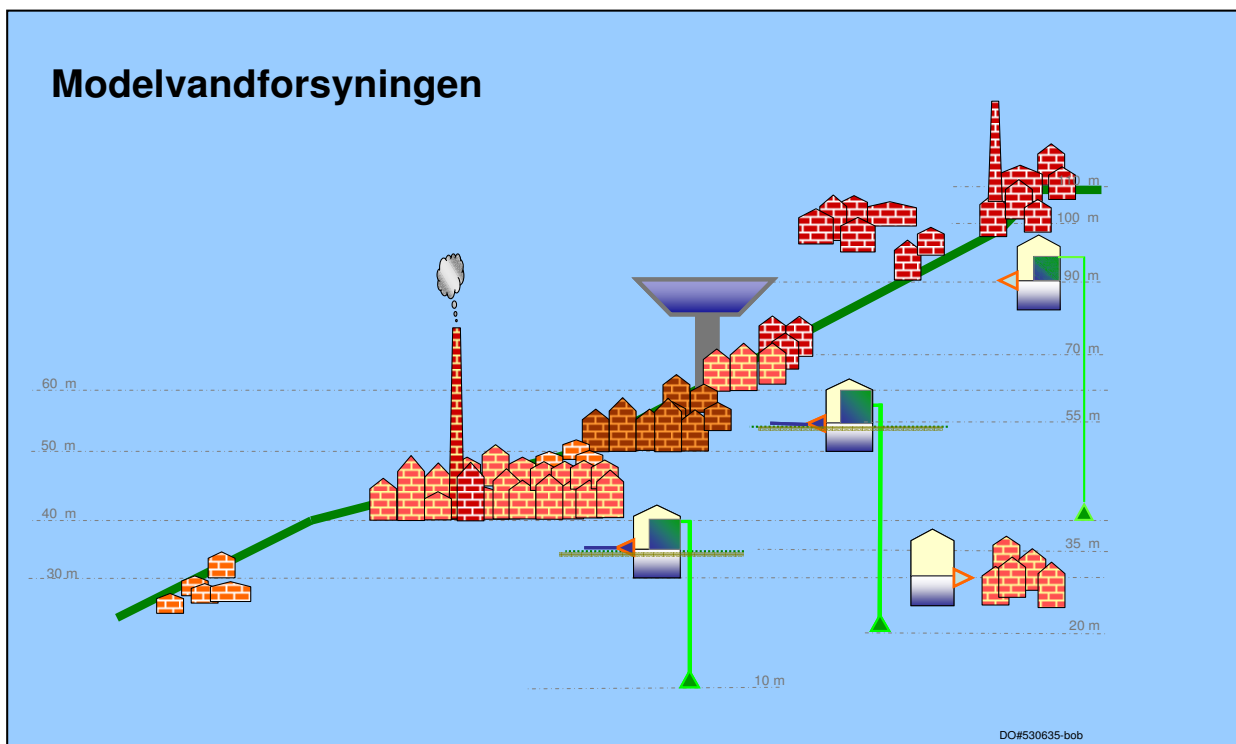
Projektet tager udgangspunkt i en model af en vandforsyning, der ligner en dansk provinsby med vandtårn og bebyggelsesmæssige ”knopskydninger” i yderområder – i alt et område med ca. 25.000 indbyggere.

Modellen dækker et område med 2 større centrale vandværker, 1 perifert mindre vandværk og 1 vandværk med nedlagt indvinding, alle elementer som kan ses hos mange virkelige vandforsyninger.

Byen har et samlet døgnforbrug på ca. 3.200 m³ eller ca. 1.200.000 m³ årligt.

Set i højdeprofil ser vandforsyningsområdet ud som vist på figur 1.

Det største vandforbrug samler sig i området omkring og nedenfor vandtårnet.



Figur 1: Modelvandforsyning.

For det viste forsyningsområde er der udlagt et distributionsnet opdelt i 8 zoner, se figur 2.

Hver zone er beskrevet med time- og døgnforbrug. Data er sammensat af driftsdata indsamlet blandt danske forsyninger, men kilden er ikke opgivet.

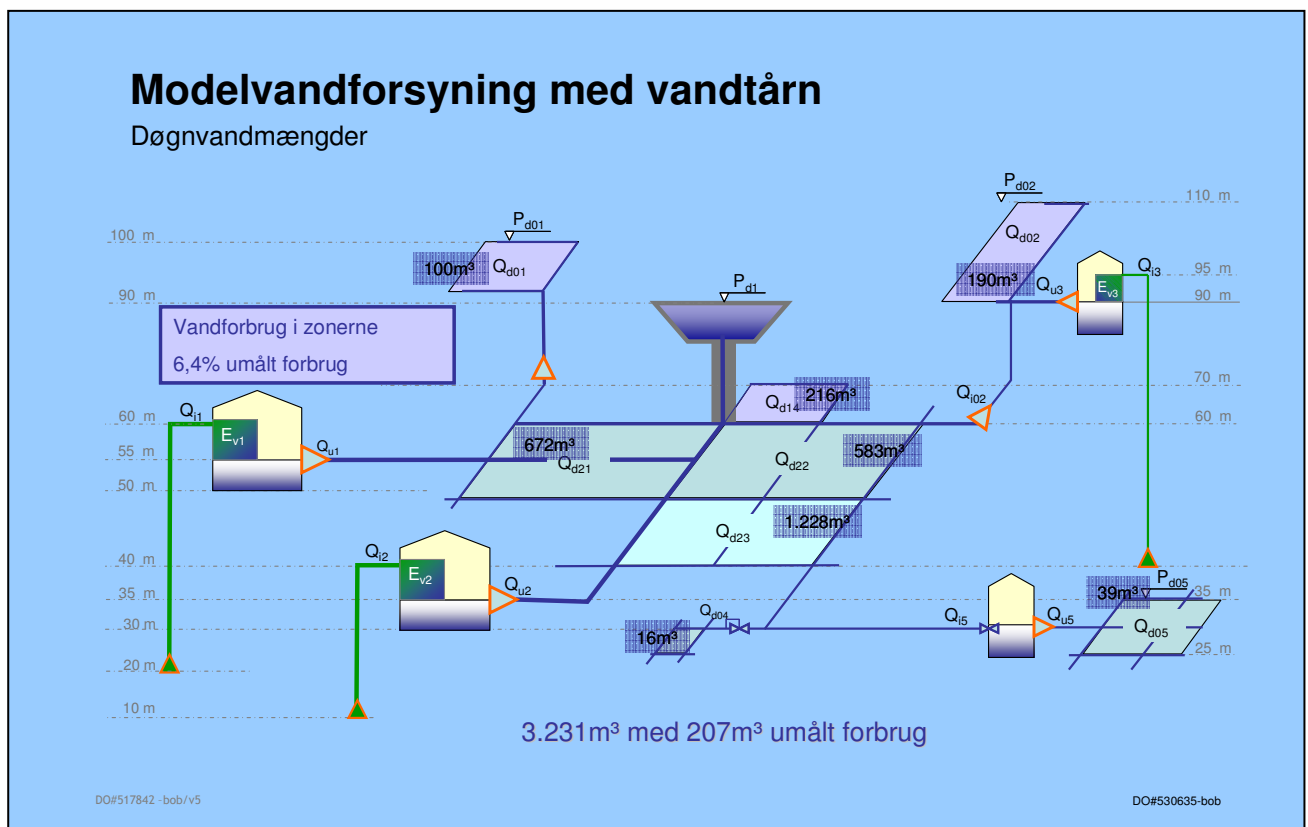
Den laveste bebyggelse i kote 30 forsynes gennem en trykreduktion for at reducere det alt for høje forsyningstryk på op til 60 mVS.

Modellen regner ikke med friktions- og tryktab i ledningsnettet.

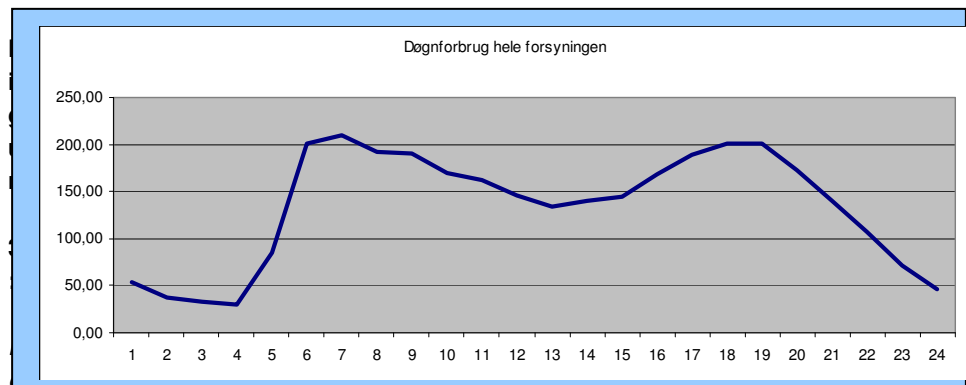
For at efterprøve gyldigheden af modellens konklusioner foretages en beregning på et virkeligt net i AQUIS hos Århus Vand og Spildevand.

Modellens energiforbrug til pumpning er beregnet ved at dimensionere alle pumpeanlæg med værktøjet Wincaps fra Grundfos, se BILAG: Dimensionering af pumper.

Det samlede døgnforbrug på ca. 3.200 m³ fordeler sig over døgnet som vist på figur 2 og figur 3.



Figur 2: Modelvandforsyning med vandtårn.



Figur 3: Døgnforbrugskurve, modelvandforsyning med vandtårn.

Det umålte forbrug er sat til 6,4 %, hvilket er gennemsnittet i DANVA's benchmarking for 2007.

Det umålte forbrug er indregnet i modellen som en ensartet procentsats af det faktiske døgnforbrug i de enkelte zoner, og det umålte døgnforbrug er ligeligt fordelt ud over døgnets 24 timer.

Modelberegningerne vil hovedsageligt fokusere på energiøkonomien i distributionen, hvorfor der er valgt 24 timers jævn harmonisk indvinding på alle værker i alle de beregnede scenarier. Der er ikke regnet på en yderligere optimering af indvindingen.

Vandforbruget til filterskyl er sat til 2 % af døgnindvindingen, dog 4 % for det lille vandværk 3.

Energiforbruget inde på vandværkerne til iltning, filterskyl, ventilation, af-fugtning samt lys og varme er for de 2 største vandværker sat til 8 % af værkets aktuelle elforbrug og for det lille vandværk sat til 9,6 kWh. Talstørrelserne er udokumenterede fingerspids-fornemmelser og er holdt konstante i alle beregninger for at kunne sammenligne resultaterne.

Modellen beregner energiprisen for 1 m³ vand leveret i de forskellige zoner.

Beregningerne forudsætter et friktionsløst ledningsnet – efterfølgende er resultaterne efterprøvet hos Århus Vand og Spildevand, se senere afsnit.

4. Vandforsyning med vandtårn

De danske vandtårne er opført i en tidsalder, hvor væksten i vandforbruget var "himmelstormende", og hvor en beholder i distributionsnettet til driftsudligning af forbrugsvariationen var "state of the art".

I dag er vandforbruget faldet væsentligt i forhold til datidens dimensionerende forudsætninger, og vi har fået en prisbillig regulerbar pumpeteknologi og masser af driftserfaring med trykstyrede forsyningsnet, så vandtårne er ikke længere så nødvendige. F.eks. har vandforsyningen i Esbjerg i mere end 30 år på tilfredsstillende vis forsynet ca. 80.000 forbrugere på én og samme trykzone med regulerbare og trykstyrede pumper og uden beholder i distributionsnettet.

Vandtårnene findes og er i drift i vandforsyningerne, og mange driftsledere sover roligt om natten i vished om, at vandtårnet vil sikre vand til forbrugerne under næsten alle driftsforstyrrelser.

Men de yngste vandtårne i Danmark er mere end 20 år gamle, og de fleste af tårnene er over 50 år gamle og trænger til en bygningsmæssig reovering. Da bygningsarbejder i vandtårnshøjde kan være kostbare, opfordres til at stoppe op og se på energioekonomien og de andre forhold ved vandforsyningsdrift med vandtårne, herunder hele vandforsyningsnettets CO₂ footprint.

Nedenstående ses en SWOT analyse for drift med vandtårne, se figur 4.

Et vandtårn eller en højdebeholder vil øge vandets gennemsnitlige alder og dermed påvirke vandkvaliteten negativt.

Klimaforandringerne og den stigende lufttemperatur vil øge vandtemperaturen af drikkevandet i beholderen og i ledningerne i jorden, og den øgede vandtemperatur vil forringe vandets kvalitet og smagsoplevelsen for forbrugerne.

De åbne vandoverflader i distributionsnettet udgør en forureningsfare og en sikkerhedsrisiko, hvilket flere forsyningsdesværre har oplevet.

Sikkerhedsovervågning omkring vandtårnene koster tid og penge og binder ressourcer. Vandtårnenes natur gør, at vandstrømmene i ledningerne i området omkring tårnet skifter retning over døgnet og dermed kan komplicere flowbilledet i forbindelse med forureningsager.

Sammenlagt konkluderes, at vandtårne forøger risikoen for forurening og terror og bidrager negativt til vandets alder og kvalitet.

Men vi ved ikke nok om, hvad vandtårnene koster energimæssigt, andet end at det er en god idé at sænke øverste driftsvandspejl mest muligt for at minimere energien til rentvandspumperne.

<p>Styrker:</p> <p>Forsyningstryk opretholdes ved strømsvigt og andet svigt.</p> <p>Simpel styring af udpumpning fra vandværk.</p> <p>Udpumpning kan foretages af dedikerede pumper med høj virkningsgrad.</p>	<p>Svagheder:</p> <p>Tårnet er ufleksibelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Svært at tilpasse dimensionerne til en ændret forsyningssituation - Tårnets topkote og aktive driftsvolumen bestemmer forsyningstrykket og driftsformen af udpumpningen. <p>Mandskabskrævende:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilsyn og vedligehold - Adgangskontrol og videoovervågning - Hyppig kontrol af vandkvalitet
<p>Muligheder:</p> <p>Tårnet kan fyldes på tidspunkter med lave elpriser.</p> <p>Vandtårnet kan være vartegn for byen.</p>	<p>Trusler:</p> <p>Åbne vandoverflader i distributionsnettet udgør en sikkerhedsrisiko for forurening.</p> <p>Vandets opholdstid i vandtårnet kan have negativ indflydelse på vandets kvalitet (dødt vandvolumen)</p> <p>Vandet i mange vandtårne opvarmes om sommeren til over 18° C med risiko for opblomstring af kim.</p>

Figur 4: Resultater for vandforsyning med vandtårn, SWOT analyse.

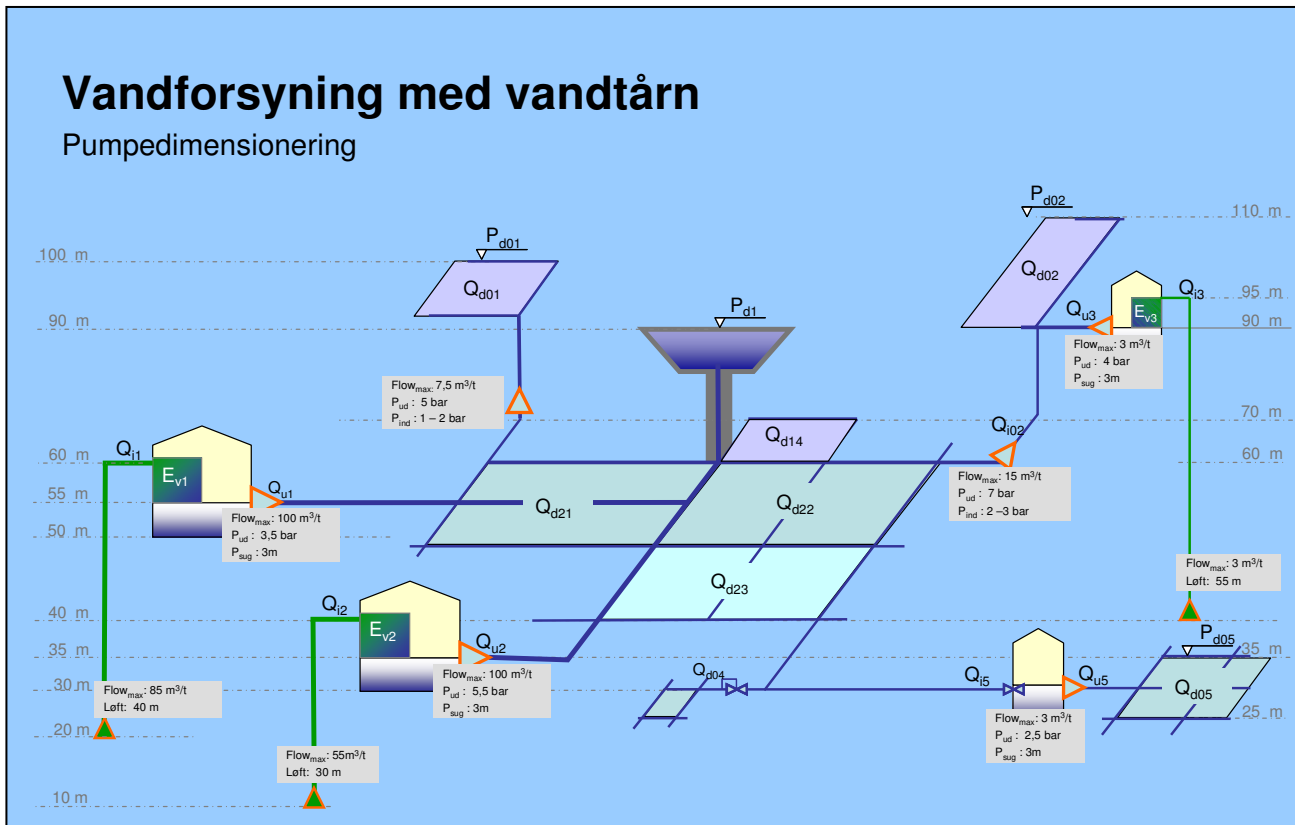
4.1

Energøkonomi med vandtårne

De efterfølgende beregninger vil undersøge de energiokonomiske forhold ved vandtårnsdrift.

Der er valgt en driftsstrategi med at hente 60 % af vandet fra det højest beliggende vandværk (værk 1) og 40 % fra vandværk 2.

Denne lastfordeling er valgt "vilkårligt", men strategien anvendes i de efterfølgende driftsscenarier for at kunne sammenligne resultaterne. Den valgte driftsstrategi er vist i figur 5.



Figur 5: Dimensionering af pumper, vandforsyning med vandtårn.

For hver pumpefunktion er "best praksis" valgt, dimensioneret med Grundfos Wincaps, se bilag.

Flowprofil for døgnet, afgang- og sugetryk indgår i valget af pumpefunktion.

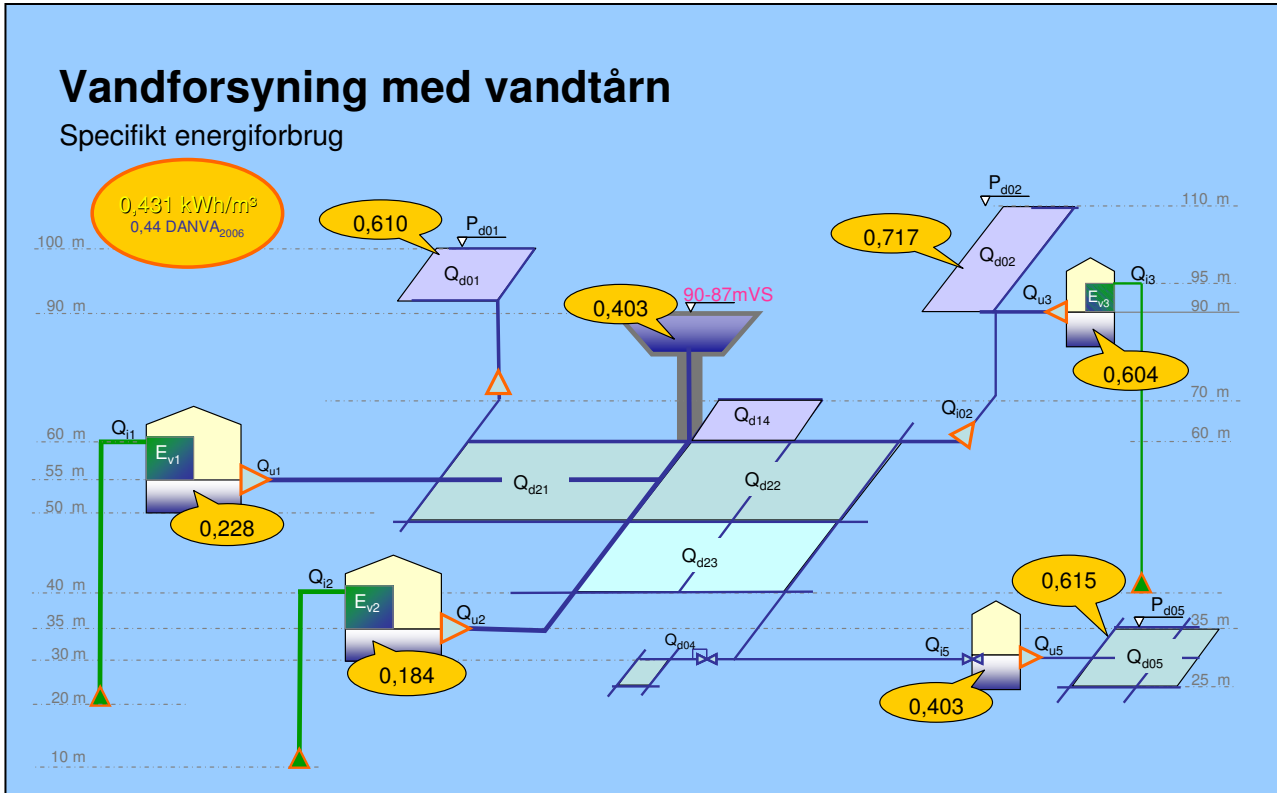
Dimensioneringen er foretaget ud fra de aktuelle driftsforhold, og der er ikke taget højde for, at værkerne skal kunne stå i reserve for hinanden og andre særlige driftsforhold.

Vandets energipris udregnes leveret i rentvandsbeholder og derfra for hver trykforøgning.

Den gennemsnitlige energivandpris på 0,431 kWh/ m³ for en vandforsyning med vandtårn ligger som forventet lavere end DANVA's benchmarking for 2006 på 0,44 kWh/ m³.

Beregningerne må forvente at vise et lavere energiforbrug end DANVA's benchmarking resultater, idet den valgte pumpe-løsning er optimeret til netop den aktuelle opgave.

På figur 6 ses det specifikke energiforbrug for vandforsyning med vandtårn.



Figur 6: Det specifikke energiforbrug, vandforsyning med vandtårn.

Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.1.

Umiddelbart kunne det forventes, at resultatet ville være endnu lavere, når det tages i betragtning, at den mest energirigtige pumpeteknologi indgår i beregningerne.

Men her kan benchmarking-tallene ikke hjælpe mere, idet indberetningen ikke indeholder oplysninger om løftehøjder for grundvand op til højeste vandkunde.

Det beregnede resultat på 0,431 kWh/ m³ vedtages værende gældende for den viste vandforsyning, som vil score pænt på energiforbrug i benchmarkingen.

4.2

Umiddelbare besparelser

Detailresultaterne i beregningerne viser de forskellige energivandpriser, og det fremgår umiddelbart, at 2 yderområder har unødvendige høje energivandpriser – zonerne 02 og 05.

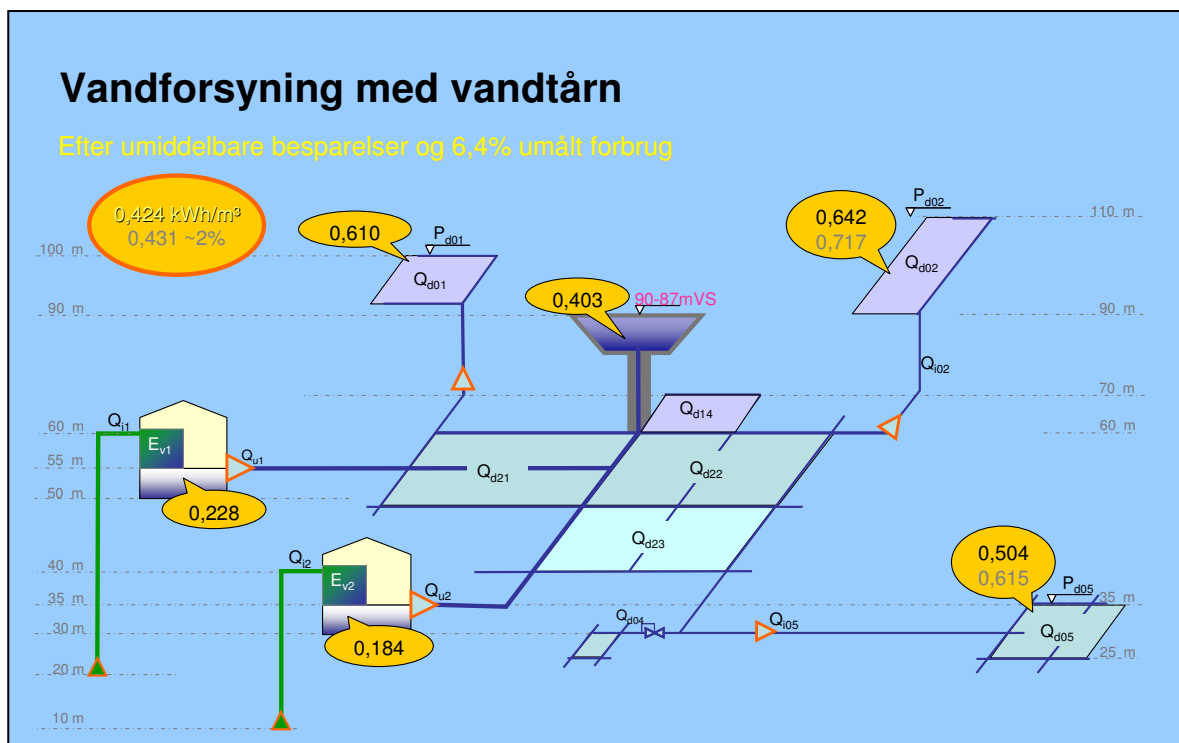
Ved at nedlægge vandværk 3 spares driften af et lille vandværk med en forholdsvis høj energivandpris. Trykforøger 02 er allerede dimensioneret til at kunne forsyne hele zone 02, så trykforøgeren kan direkte overtage hele driften uden anlægsudgifter.

Der vil være udgifter og indtægter ved at nedlægge og evt. afhænde vandværk 3, men denne problematik er ikke en del af nærværende opgave.

Rentvandsbeholderen på det nedlagte vandværk i zone 05 bør tages ud af drift, idet den ekstra trykforøgning er et energiøkonomisk fordyrende led.

Om løsningen er en opdimensionering af transportledningen til at kunne klare timemaks eller en ny trykforøgerstation, eller en kombination af begge, må afhænge af de faktiske forhold og den langsigtede driftsøkonomi. Her vælges en løsning med trykforøger 5.

Efter den beskrevne rationalisering bliver den gennemsnitlige energipris 0,424 kWh/m³, som vil være sammenligningsgrundlaget for de efterfølgende beregninger, og samtidig det bedste, der kan opnås med denne modelvandforsyning med vandtårnet i drift. Resultaterne er illustreret på figur 7.



Figur 7: Umiddelbare besparelser, vandforsyning med vandtårn.

Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.2.

Vandtårnsdrift kræver et styret vandskifte i tårnet, og behovet for aktivt beholdervolumen kan beregnes til nedenstående jf. tabel 1.

Tabel 1: Beregning af aktivt beholdervolumen.

Vandtårn	1223 m ³
Vandværk 1	253 m ³
Vandværk 2	604 m ³
Samlet	2080 m³

Overvejelserne med at nedlægge mindre vandværker i forsyningen er beskrevet i SWOT-analysen på figur 8.

<p>Styrker:</p> <p>Elbesparelse ved at nedlægge uøkonomiske værker. Sparet mandskab til tilsyn og vedligehold.</p> <p>Øget specialisering af personalet → Større effektivitet.</p> <p>Øget professionalisering → Forbedret adgang til kvalificeret arbejdskraft.</p> <p>Adgangsovervågning af småværker kan spares bort.</p>	<p>Svagheder:</p> <p>Reduceret behandlings- og indvindingskapacitet forringer den langsigtede forsynings-sikkerhed.</p> <p>Lange transportledninger kan være urentable. Høje etableringsomkostninger. Øget forsyningstryk.</p> <p>Det lokale engagement reduceres → Forringet beskyttelse af vandressourcen.</p>
<p>Muligheder:</p> <p>Ensartet niveau for sikkerhed og kvalitet → Forbedret ressourceallokering.</p> <p>Bedre udnyttelse af vandressourcerne → Helhedsbetragtninger for alle oplandets vandbrugere.</p> <p>Frasalg af grundarealer og bygninger</p>	<p>Trusler:</p> <p>Vandets kvalitet kan forringes som følge af lange transportafstande.</p> <p>Transportledningen skal kunne bære maks. time vandmængden og det nødvendige driftstryk.</p> <p>Centralisering af vandindvinding kan reducere den langsigtede forsynings-sikkerhed.</p>

Figur 8: Nedlæggelse af små vandværker, vandforsyning med vandtårn, SWOT analyse.

I nærværende beregninger er alene fokuseret på energibesparelser.

Der vil ikke blive foretaget beregninger på yderligere optimering af drift med vandtårn ved at sænke øverste driftsvandspejl 1 eller 2 meter, og evt. kombinere med mindre trykforøgere i de højtliggende områder, som vil få for lavt tryk ved en sådan sænkning.

Det postuleres, at den størst opnåelige besparelse i dette distributionsnet er at sænke trykket til 2,0 bar over foden af tårnet og lukke tårnet fra, se efterfølgende afsnit.

5. Vandforsyning uden vandtårn

Ideen med at lukke vandtårnet er at sænke trykket mest muligt og forsyne de højtliggende områder via trykforøger.

Vandforsyningens målsætning er et tryk på minimum 2,0 bar over terræn.

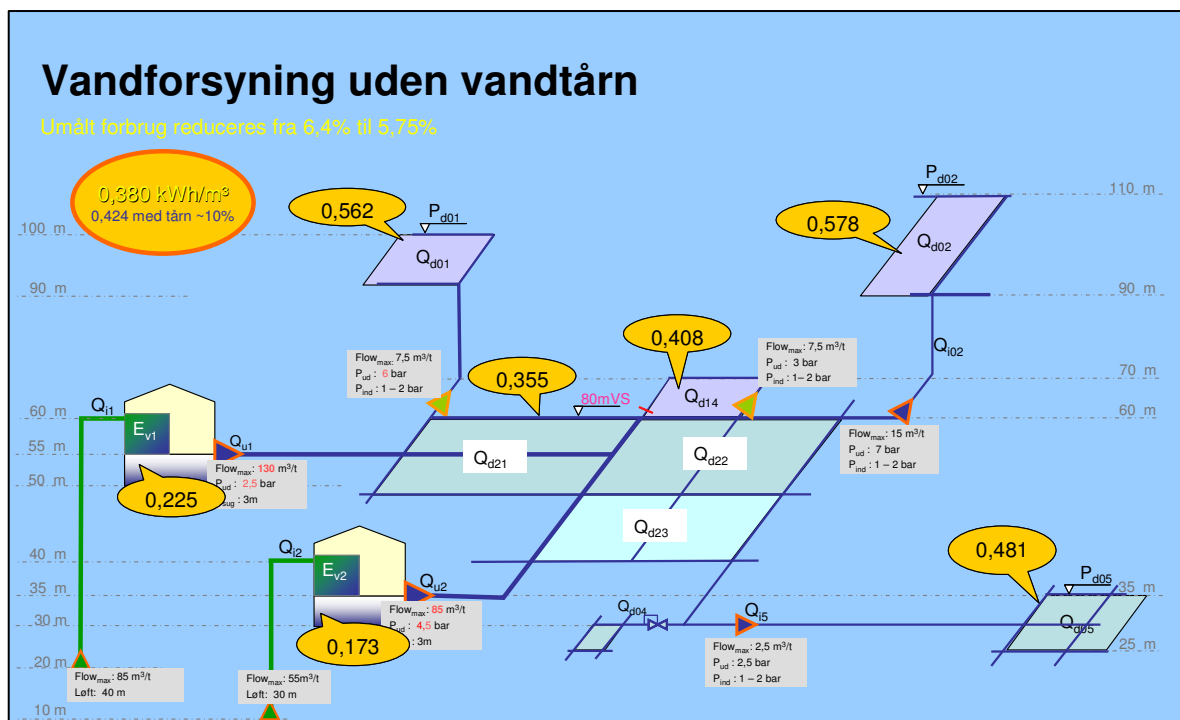
I modellen betyder det, at trykket ud af værk 1 og 2 kan sænkes fra kote 90 til 80 m – en sænkning på 10 mVS.

Det vil samtidigt være nødvendigt at forsyne zone 14 via en trykforøger for at holde målsætningen på 2,0 bar over terræn.

Trykforøgeren til zone 01 skal flyttes fra kote 70 til kote 60 for at sikre tilstrækkelige sugeforhold, som er blevet påvirket af det nye driftstryk på 2,0 bar.

Med WinCAPS dimensioneres nye pumper, og tilhørende elforbrug beregnes.

Vandets energipris for vandforsyning uden vandtårn er vist i figur 9.



Figur 9: Vandets energipris, vandforsyning uden vandtårn.

Modellen viser, at den gennemsnitlige energipris på vandet falder til 0,380 kWh/ m³ eller ca. 10 % ved at sænke trykket med 1,0 bar og trykforøge til zone 14.

Modelvandforsyningen viser altså et besparelspotentiale på ca. 10 % på det samlede energiforbrug for vandforsyningen ved at sænke trykket og helt lukke vandtårnet.

Energibesparelsen er opnået ved besparelse i pumpeenergi til distributionen, samt en reduktion af det umålte forbrug fra 6,4 % til 5,75 %, hvilket også har givet en energibesparelse til både indvinding og vandbehandling.

Kravet til aktivt beholdervolumen for drift uden vandtårn kan læses i tabel 2. Dertil skal lægges det beredskabslager, der ønskes på de 2 vandværker i tilfælde af svigt af indvinding.

Tabel 2: Aktivt beholdervolumen, vandforsyning uden vandtårn.

Vandværk 1	333 m ³
Vandværk 2	235 m ³
Samlet	568 m³

Vælges det at beholde vandtårnet, vil det være muligt kun at opnå mindre besparelser ved at kombinere en sænkning af driftsvandspejlet og en trykforøgning til områder, hvor der vil opstå dårlige trykforhold.

Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.3.

Resultaterne vedrørende nedlæggelse af vandtårn er angivet i en SWOT-analyse i figur 10.

<p>Styrker:</p> <p>Reduceret sikkerhedsrisiko → Åbne vandoverflader i distributionsnettet fjernes med vandtårnet.</p> <p>Reduceret vandalder, når vandet pumpes direkte til forbrugerne uden mellemlagring i vandtårnet.</p> <p>Adgangsovervågning af vandtårnet kan spares bort.</p> <p>Kostbart betonvedligehold af vandtårne kan spares.</p>	<p>Svagheder:</p> <p>Vandtårnets passive forsyningsikkerhed erstattes af fjerne rentvandsbeholdere på vandværkerne og styrede aktive nødgenerators.</p> <p>Transportledninger fra vandværkerne skal kunne bære maks. time vandmængden og det nødvendige drivtryk.</p> <p>Kun strømforbruget til indvindingen kan flyttes til tidspunkter med lave elpriser.</p>
<p>Muligheder:</p> <p>Det optimale driftstryk kan frit vælges. Energibesparelse. Mindre vandtab ved sivelækager.</p> <p>Enkelt at lukke for vandtårnet, idet mange forsyninger allerede har pumpeanlæg, der kan trykstyres.</p> <p>Vandtårnets grundareal kan sælges som byggegrund.</p>	<p>Trusler:</p> <p>Byen mister vandforsyningstrykket med det samme, når der sker svigt i udpumpningen → krav om hurtigere ud kald af personale.</p> <p>Lange transportledninger fra vandværket og ind til byen reducerer forsyningsikkerheden.</p>

Figur 10: Resultater fra vandforsyning uden vandtårn, SWOT analyse.

5.1

Yderligere besparelser

Den opnåede 10 % besparelse ved at lukke vandtårnet kan gøres lidt bedre ved at lade vandværk 2 forsyne zone 23, zone 04 og zone 05, idet værket ligger godt terrænmæssigt og kapaciteten og det samlede forbrug tilfældigvis passer størrelsesmæssigt overens.

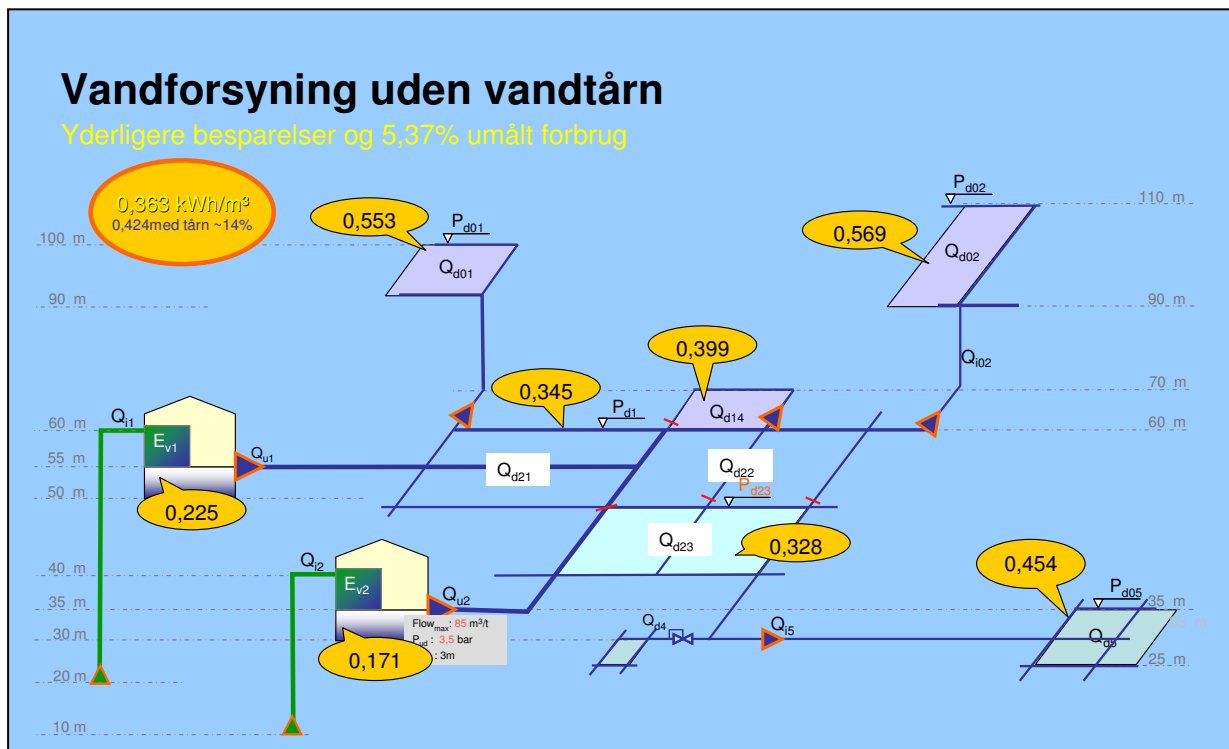
Vandværk 1 forsyner fortsat den øvrige del af byen.

Igen spares pumpeenergi til distributionen ved et lavere tryk (1,0 bar) til zone 23, samt reduktion i det umålte forbrug i samme zone og medfølgende reduktion i indvinding og vandbehandling.

Ved at omlægge driften af vandforsyningen fra vandtårn til trykstyring og indføre én individuel trykzone, er der i modelvandforsyningen opnået besparelser på 14 % i forhold til den oprindelige vandtårnsdrift.

Med løsningsforslag "yderligere besparelser" kan værk 2 ikke længere supplere resten af byen og dermed stå i reserve for hele vandforsyningen, hvorimod værk 1 vil kunne dette.

For igen at have fuld reserve kunne det vælges at beholde det gamle sæt pumper på værk 2 med den nødvendige kapacitet og afgangstryk eller etablere en trykforøger fra zone 23 til zonerne 21 og 22 mv. Denne beregning er ikke fortaget, idet løsningen alene vil være i brug under særlige driftsforhold.



Figur 11: Yderligere besparelser, vandforsyning uden vandtårn.

Modellen kan inspirere til arbejdet med at omlægge forsyningen, men vil ikke være egnet til at anviser, hvilken løsning der er bedst i en konkret forsyning – men i princippet gælder det om at løfte mindst muligt vand færrest meter.

Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.4.

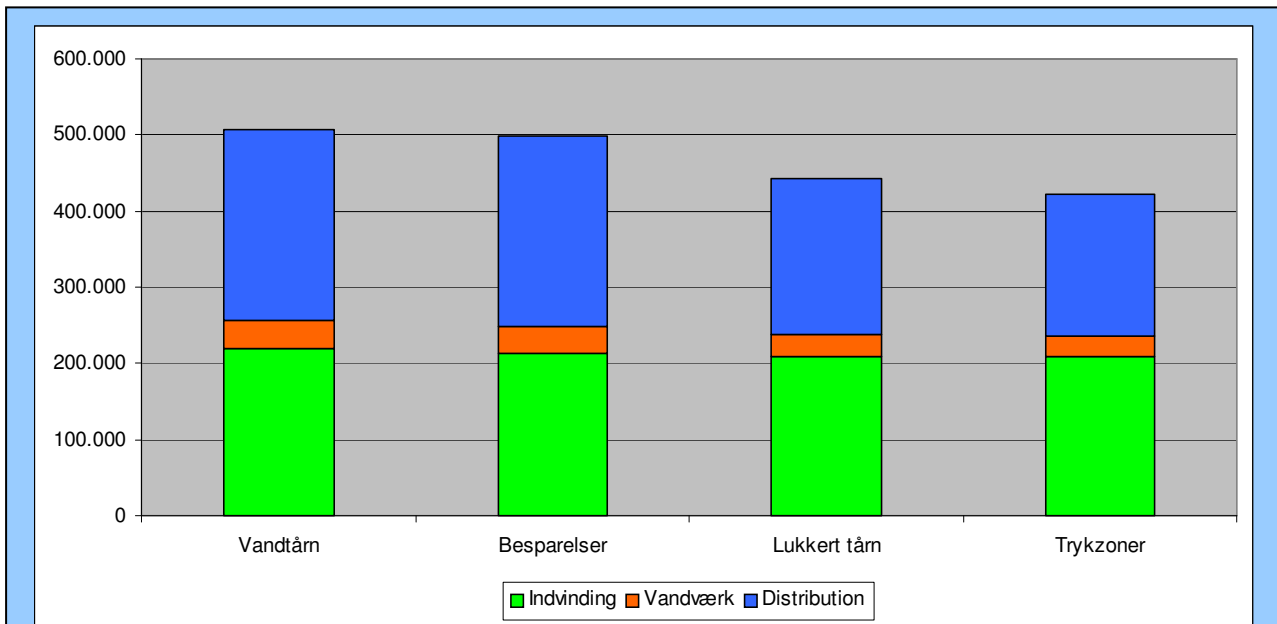
6. Opsamling på beregninger med modelvandforsyningen

Beregninger på modelvandforsyningen har vist, at der er et besparel-
 sespotentiale i at omlægge distributionsnettet til et minimalt forsynings-
 tryk hos forbrugerne.

I alle scenarier er der valgt det mest energirigtige pumpesystem, og all-
 ligevel viser modeleksemplet, at der kan hentes 14 % på hele vandforsy-
 ningens elregning.

Hvor meget større ville besparelspotentialet ikke være, når sammen-
 ligningsgrundlaget er 25 år gamle pumper, der måske ikke helt passer til
 den aktuelle drift?

Årlige energiforbrug i kWh for de 4 scenarier fremgår af figur 12.



Figur 12: Årlige energiforbrug for modelvandforsyningen for de 4 scenarier.

7. Individuelle trykzoner

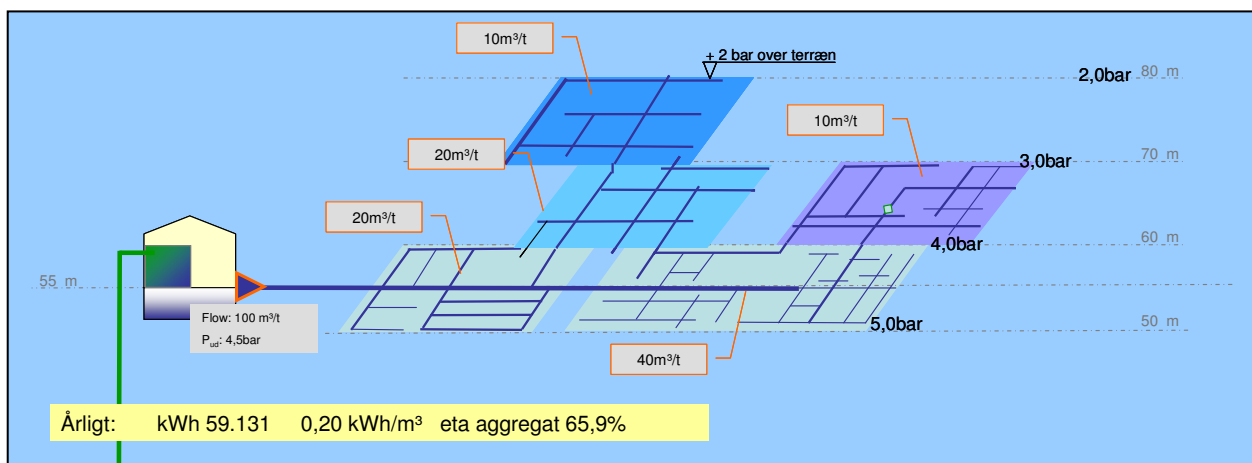
For at tydeliggøre rapportens vision om individuelle trykzoner opstilles en mere enkel modelvandforsyning.

Den forenklede beregningsmodel har ét vandværk og et forsyningsnet for godt 6.600 forbrugere og 290.000 m³ årlig udpumpning. Modellen er vist på figur 13.

Forsyningstrykket i området varierer fra 2 til 5 bar. Delområdernes maks. timeforbrug er vist i figuren ligesom kravene til vandværkets rentvands-pumper med et afgangstryk på 4,5 bar og maks. udpumpning på 100 m³/t.

Energiforbruget for et år beregnes til 59.131 kWh og 0,20 kWh/m³ ved at anvende den bedste danske pumpeteknologi. Et beregningsresultat, der passer meget overens med de tidligere resultater.

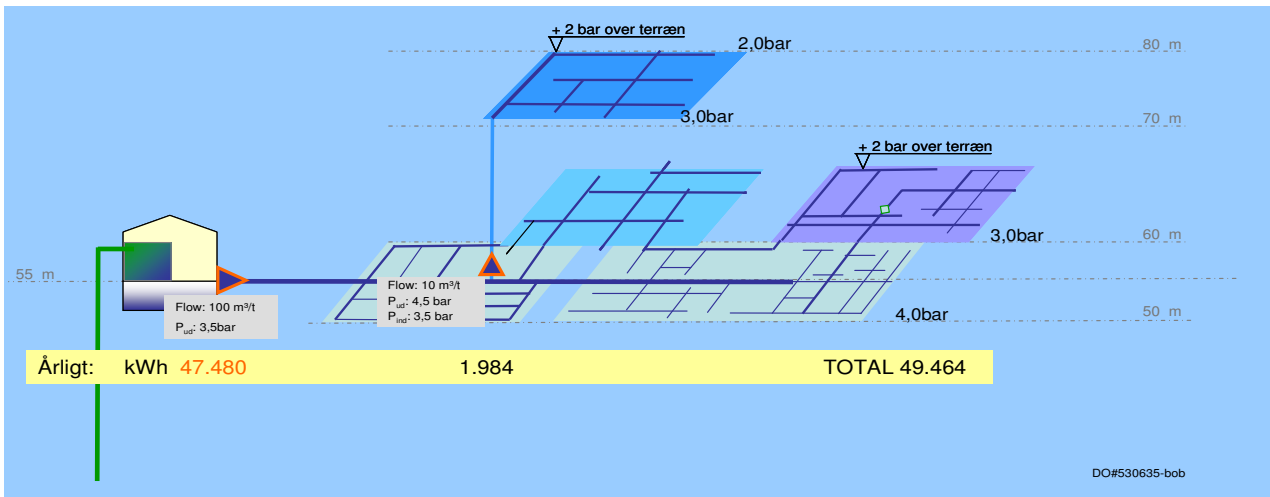
Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.5.



Figur 13: En samlet udpumpning, simpel vandforsyning.

Et umiddelbart spørgsmål vil være, om det er muligt at spare mere, selv med helt nye pumper og en hypermoderne styring?

Ja, hvis værkets afgangstryk på 4,5 bar reduceres til 3,5 bar, og der indskydes en trykforøger til at forsyne det højeste forsyningsområde.



Figur 14: En trykzone, simpel vandforsyning.

Denne løsning reducerer det årlige energiforbrug med i alt 16 % i forhold til det oprindelige, og det endda målt mod helt nye pumper!

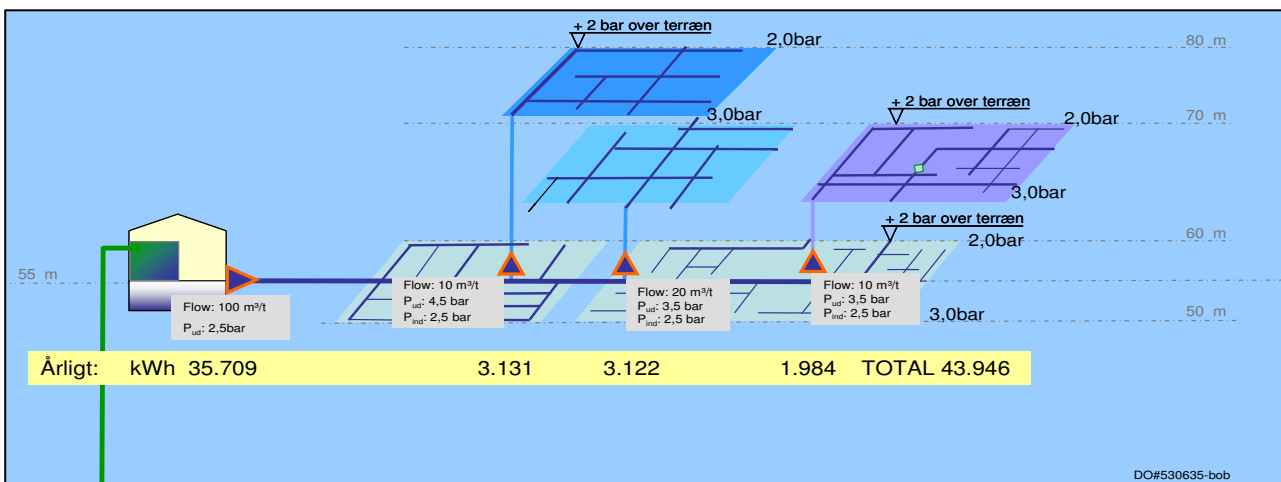
Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.5.

Så inden der investeres i nye energibesparende pumper, bør man vurdere, om det arbejde, pumperne skal udføre, også er den energimæssigt bedste måde at flytte vand på, eller om der skal tænkes nyt.

Inden næste skridt bør vandforsyningen opstille driftsmål for forsyningstryk hos forbrugerne – f.eks. mellem 2 og 3 bar målt over terræn.

Et sådant driftsmål lægger op til, at den viste forsyning kan deles op i 3-4 individuelle trykzoner.

Efter yderligere en sektionering skal vandværket levere et afgangstryk på 2,5 bar for den samlede vandmængde, og der skal etableres i alt 3 trykforøgere. Modellen er vist i figur 15.



Figur 15: 3 trykzoner, simpel vandforsyning.

De nye beregninger viser et samlet energiforbrug på 43.946 kWh eller 26 % mindre end med den oprindelige udpumpning – og i alle regneeksempler anvendes de mest energibesparende pumper.

Beregningerne indregner ikke, at det lavere tryk i 4 ud af de 5 sektioner vil betyde, at det umålte forbrug også vil blive reduceret. Denne reduktion vil betyde en mindre udpumpning og dermed også en mindre indvinding og en yderligere energireduktion.

Detaildata om vandmængder, umålt forbrug og energi for de enkelte områder er vist i bilag 10.5.

Modelberegningerne viser tydeligt, at individuelle trykzoner er en energirigtig løsning til distribution af drikkevand.

Overvejelser for indførelse af individuelle trykzoner er vist i en SWOT analyse jf. figur 16.

<p>Styrker:</p> <p>Minimalt tryk reducerer energi, vandforbrug og tab ved lækager.</p> <p>Ensartet forsyningstryk giver tilfredse kunder.</p> <p>Kun trykføring til områder, der behøver højere tryk.</p> <p>Forbedret håndtering af forureningshændelser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spredning begrænses. - Ramte områder kan lettere udpeges og inddæmmes. 	<p>Svagheder:</p> <p>Mange pumper spredt ud over forsyningsområdet kræver hurtigt udrykkende servicemandskab og lager med reservedele for at opretholde et højt serviceniveau.</p> <p>Øget krav til SRO overvågning og koordineret styring af mange individuelle pumper i serie.</p>
<p>Muligheder:</p> <p>Transportledninger drives med lavest mulige tryk.</p> <p>Kun sektioner, der kræver højere tryk skal have sektionmålerbrønde med trykføgerpumper.</p> <p>Successiv omforandring af distributionsnettet til lavere energiforbrug.</p>	<p>Trusler:</p> <p>Mange individuelle pumper i serie kan forårsage tryksvingninger i ledningsnettet, der kan medføre "uklart vand" og evt. ledningsbrud.</p> <p>Forpligtelser til brandhaner og sprinkleranlæg skal indtænkes.</p>

Figur 16: Vandforsyning med individuelle trykzoner, SWOT analyse.

7.1

Etablering af individuelle trykzoner

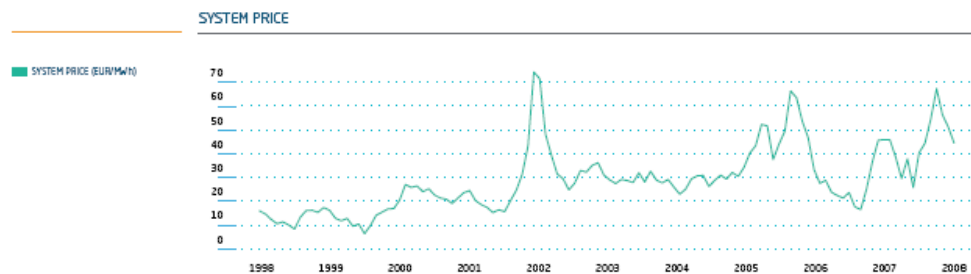
Den viste energibesparelse på udpumpningen på 15.085 kWh ved at etablere individuelle trykzoner svarer til en årlig elbesparelse på mellem kr. 11-12.000 ved en elpris på 0,70 kr/kWh. for en mellemstor vandforsyning.

Når forsyningen alligevel er i færd med at sektionere ledningsnettet og har budgetteret med 3 sektionsbrønde med dataopsamling med sektionsmålerbrønde, så er merudgiften for at indbygge 1-2 pumper i brønden ca. kr. 300.000 ekskl. moms.

Uden at medregne afskrivning og renter betyder elbesparelsen, at tilbagebetalingstiden bliver ca. 20 år, og måske kan reduceret sivelækage og dermed reduceret indvinding bringe tilbagebetalingstiden ned under 20 år.

Etablering af individuelle trykzoner er ingen umiddelbar god forretning med de nuværende elpriser.

Men hvem siger at elpriserne bliver på det nuværende prisniveau?



Figur 17: Nordpool ASA årrapport 2008 – Elpriser 1998 – 2008.

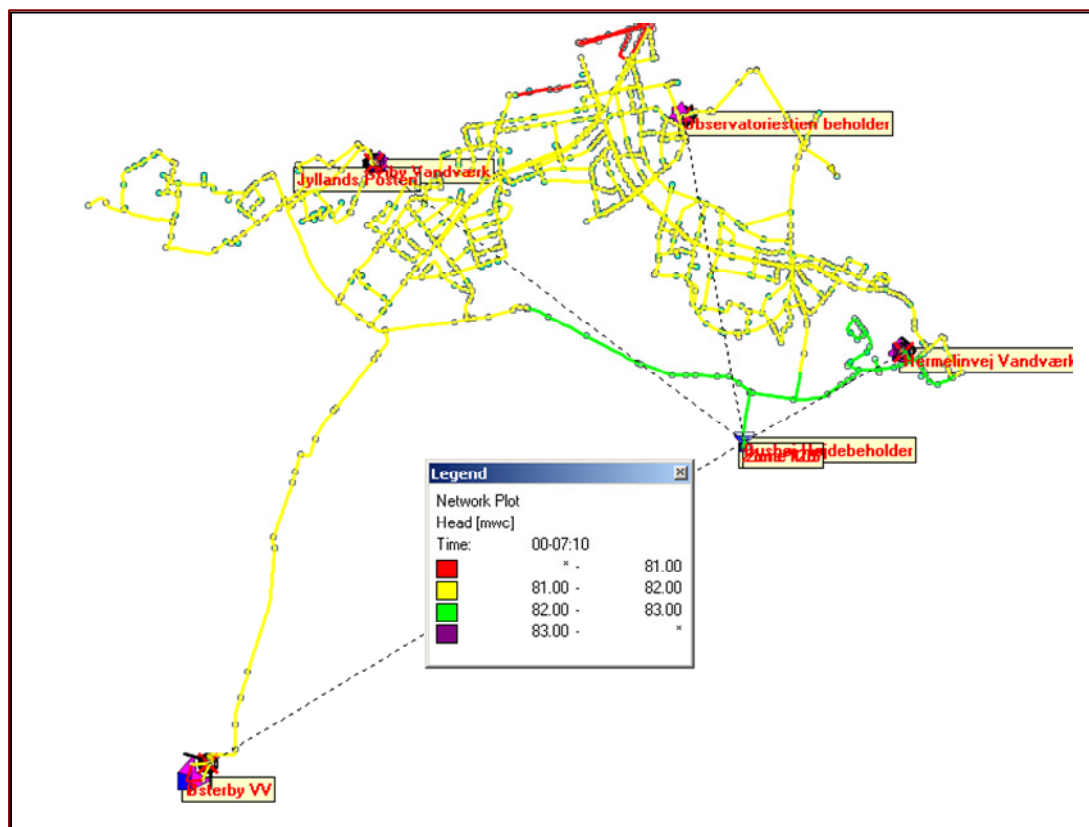
Figur 17 viser udviklingen i el-børs priserne de seneste 10 år, og dertil skal lægges statsafgifter og måske kommende adfærdregulerende afgifter.

Stigende elpriser og afgifter vil bringe tilbagebetalingstiden på energirigtig distribution af drikkevand ned på et forretningsmæssigt fornuftigt niveau. – Spørgsmålet er hvornår?

8. Eftervisning af rapportens konklusioner

Rapportens beregninger er baseret på et friktionsfrit net og på nogle i øvrigt idealiserede forhold, hvorfor det har været vigtigt at eftervise konklusionernes gyldighed i en virkelig vandforsyning.

Århus Vand og Spildevand har beredvilligt stillet data fra Højbjerg zone 80 Syd til rådighed til denne eftervisning, idet zonens størrelse og terrænforhold ligner rapportens model. Forsyningsområdet er bananformet med en højdebeholder i den østlige spids, Østerby Værkets transportledning tilsluttet midt på og en ledning direkte mod højdebeholderen, se figur 18.



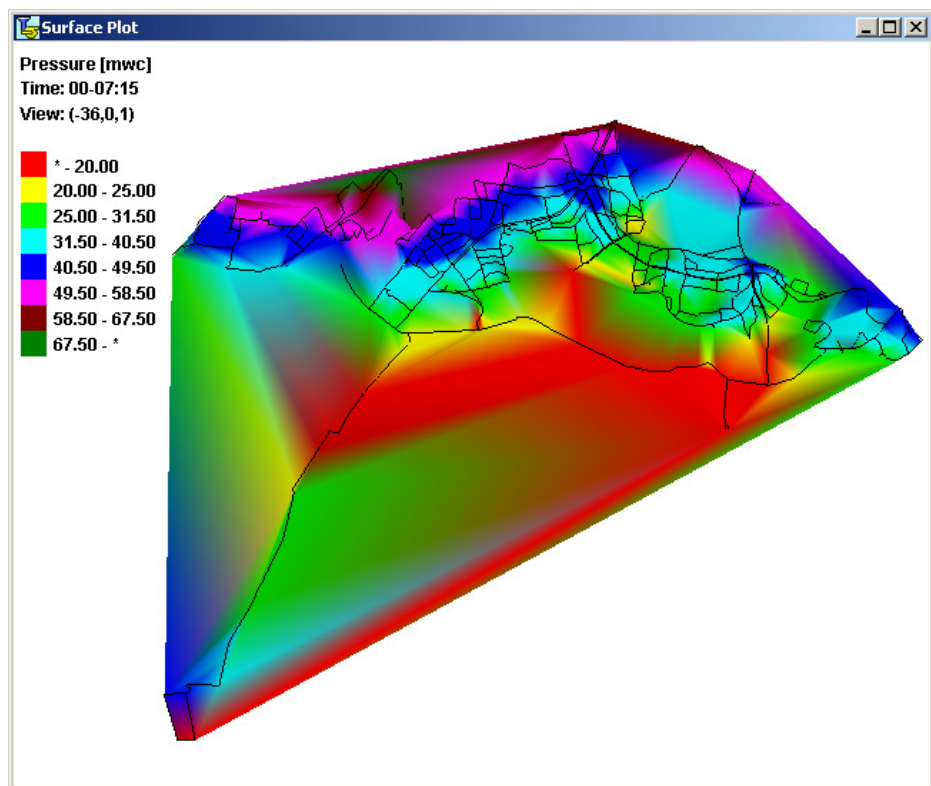
Figur 18: AQUIUS beregning af trykforhold i forsyningszone Højbjerg 80 Syd.

Modelberegninger med AQUIUS, se figur 19, viser, at forskellen i trykniveauet hos størstedelen af forbrugerne og højdebeholderens vandspejl er under 1 mVS, og kun meget få har en forskel over 2 mVS (de røde i figur 18). Dette gælder for den driftssituation, hvor tårnet alene står for hele forsyningen.

Med de viste tryktab vil det betyde, at man ikke kan opnå rapportens fulde besparelse, men må indregne plads til tryktab, som vil reducere den potentielle besparelse med 1,3-2,6 %.

Af figur 19 med forbrugernes tryk fra AQUIS beregningerne fremgår det, at trykket med fordel vil kunne sænkes 10 mVS i de blå og lilla farvede områder og måske helt op til 20 mVS, hvis man kan etablere en lav zone i de lilla områder. Men da ledningsanlægget i de lilla områder ikke udgør et egnet sammenhængende net, vil det ikke være umiddelbart at etablere en sammenhængende "lavtryk" zone for Zone 80 Højbjerg syd, og den store tryksækning kan dermed ikke umiddelbart realiseres.

For at kunne komme videre med en energirigtig sektionering er man nødt til at inddrage den opgrænsende nordlige forsyningszone. Indtænkning af energi i distributionsnet og realisering af planerne kan betyde opbrydning af nuværende opdeling i zoner.

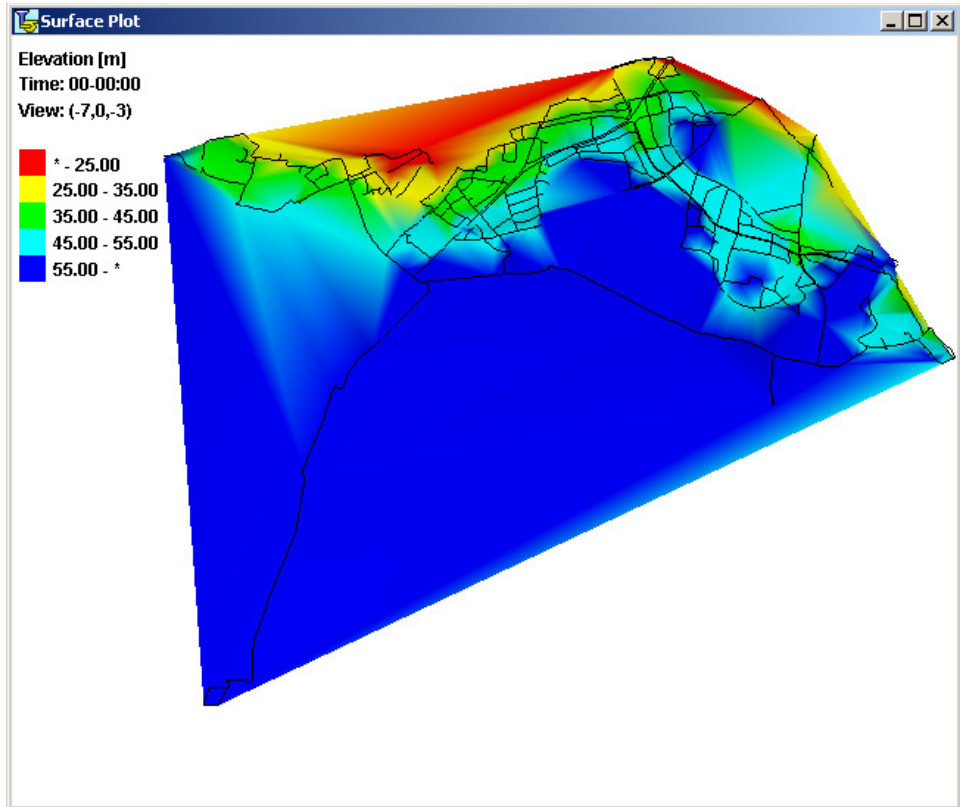


Figur 19: Forsyningstryk hos forbrugerne.

Figur 20 viser Højbjerg zone 80 Syd, der hovedsageligt forsynes fra Østerby Vandværk, som ligger 4 km fra området i det sydvestlige hjørne af modellen.

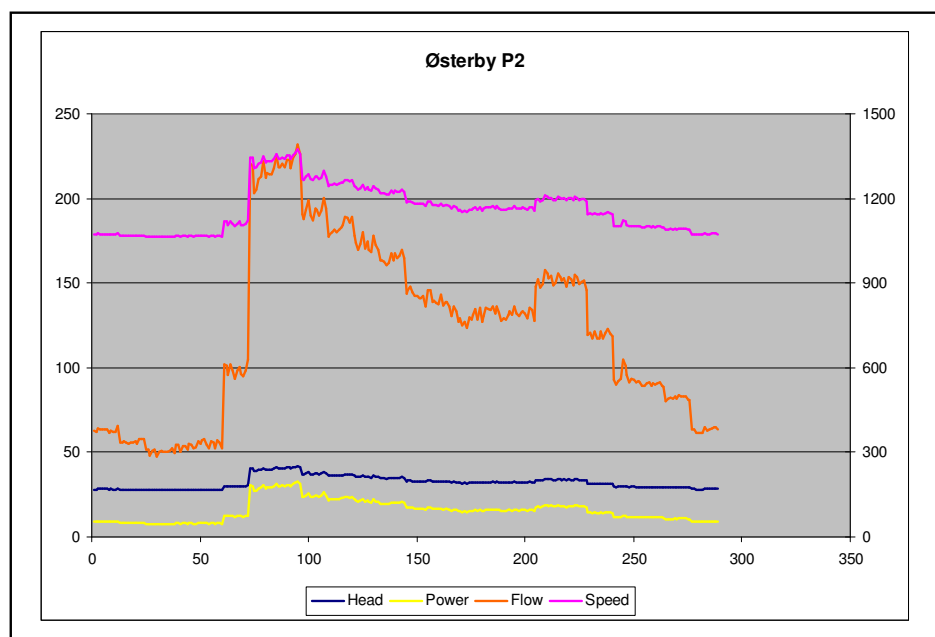
Under normal udpumpning mod højdebeholderen er tryktabet fra vandværket ind til forsyningsnettet og højdebeholderen 2,5 mVS.

I en AQUIS simulering, se figur 20, forsyner pumpen på Østerby Værket hele zonen ved hjælp af frekvensregulering og trykstyring. Vandforbruget er markant højt i morgentimerne op til 230 m³/t, og her bliver tryktabet ind til zonen ca. 13 mVS, hvilket er højt i forhold til forventningerne om at sænke trykket op til 18 mVS inde i zonen.



Figur 20: Terrænkoter Højbjerg zone 80 Syd.

Det enkle scenarie med at lade Østerby Værket stå for hele den trykstyrede forsyning viser sig ikke som en energirigtig løsning. Et mere kompleks scenarie, hvor Østerby værket står for den væsentligste forsyning og Viby og/eller Hermelinvej støtter op ved stort forbrug vil kunne holde tryktabet i Østerby transportledningen på et acceptabelt niveau. Et sådan scenarie er ikke blevet gennemregnet.



Figur 21: Simuleret trykstyret udpumpning fra Østerby Vandværk.

9. Energirigtig og sikker vandforsyning

Modelberegninger i denne rapport og den efterfølgende eftervisning hos Århus Vand og Spildevand har vist, at vandtårne er energislugere og samtidig øger vandets alder.

Men det er et åbent spørgsmål, om den enkelte vandforsyning umiddelbart vil kunne nedlægge sit vandtårn og omlægge distributionen til individuelle trykzoner. Så godt som alle vandforsyninger er i færd med at planlægge at sektionere ledningsnettet, og mange har allerede omlagt ledninger og etableret sektionmålerbrønde.

Hvis de etablerede sektioner allerede er anlagt energirigtigt, skal målerbrøndene "bare" udrustes med de nødvendige trykforøgerpumper. Efterhånden som der etableres flere og flere målerbrønde/ trykforøgere, kan vandværkets afgangstryk sænkes og energiforbruget vil reduceres.

Den mest energirigtige måde at distribuere drikkevand på er at opdele sit forsyningsnet i sektioner, der dækker mellem 10-20 m terrænforskel, og forsyne disse sektioner med egne trykforøgere. Om dette terrænterval også er den mest økonomiske løsning i alle vandforsyninger, er et åbent spørgsmål.

10.

BILAG

10.1

BILAG: Vandforsyning med vandtårn

	Værk 1	Værk 2	Værk 3	Byzonen					TOTAL	
Indvinding m³	1.940,12	1.292,75	70,00						3.302,87	
Løft Meter	40,00	30,00	55,00							
Energi kWh	378,91	193,40	30,99						603,29	
kWh/m³	0,195	0,150	0,56							
Vandbehandling kWh	54,59	39,84	7,60						102,03	
Beholderpris kWh/m³	0,228	0,184	0,604					0,211		
driftsvolumen m³	278	593	9					1283		
Udpumpning m³	1.900,12	1.266,75	58,07					3.166,87	3.224,94	
løft Meter	35,00	55,00	40,00							
energi kWh	303,46	304,60	16,18					608,06	624,24	
kWh/m³	0,160	0,240	0,279					0,192		
Blanding kWh/m³	0,388	0,425	0,883					0,403		
	Zone01	Zone02	Zone14	Zone21	Zone22	Zone23	Zone04	Zone05	Byzonen	TOTAL
Forbrug m³	94,10	174,20	216,10	672,00	583,45	1.228,05	14,70	35,90		3.018,50
Lækage m³	6,50	11,70	15,60	45,50	39,00	84,50	1,04	2,60		206,44 6,40%
Distribution m³	100,60	185,90	231,70	717,50	622,45	1.312,55	15,74	38,50		3.224,94
Energiløft Meter	60,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00		
Beholder kilde kWh/m³	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403		
mænde m³	100,60	127,83								
trykforøger kWh	20,84	30,55	0,00	0	0	0	0	8,19		59,58
trykforøgning kWh/m³	0,207	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,213		
energi pris kWh/m³	0,610	0,642	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,615		
Beholder kilde kWh/m³		0,604								
mænde m³		58,07								
løft udpumpning kWh		16,18								
energi pris kWh/m³		0,279								
energi pris kWh/m³		0,883								
Samlet energi kWh										1.389,15
Samlet energi pris kWh/m³	0,610	0,717	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,615		0,43075
kWh	61,340	133,267	93,268	288,822	250,561	528,353	6,336	23,687	1.385,633	0,42966

10.2 BILAG: Vandforsyning med vandtårn og umiddelbare besparelser

	Værk 1	Værk 2	Værk 3	Byzonen						TOTAL
Indvinding m ³	1.974,96	1.315,98	0,00							3.290,94
Løft Meter	40,00	30,00	0,00							
Energi kWh	385,71	196,87	0,00							582,58
kWh/m ³	0,195	0,150	0,00							
Vandbehandling kWh	55,65	40,63	0,00							96,28
Beholderpris kWh/m ³	0,228	0,184	0,000							0,211
driftsvolumen m ³	252	603								1216
Udpumpning m ³	1.934,96	1.289,98	0,00							3.224,94
løft Meter	35,00	55,00	0,00							
energi kWh	309,85	311,02	0,00							620,87
kWh/m ³	0,160	0,241								0,193
Blanding kWh/m ³	0,388	0,425								0,403

	Zone01	Zone02	Zone14	Zone21	Zone22	Zone23	Zone04	Zone05	Byzonen	TOTAL
Forbrug m ³	94,10	174,20	216,10	672,00	583,45	1.228,05	14,70	35,90		3.018,50
Lækage m ³	6,50	11,70	15,60	45,50	39,00	84,50	1,04	2,60		206,44
Distribution m ³	100,60	185,90	231,70	717,50	622,45	1.312,55	15,74	38,50		3.224,94
Energiløft Meter	60,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00		
Beholder kilde kWh/m ³	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403		
mænde m ³		185,90								
trykforøger kWh	20,84	44,43	0,00	0	0	0	0	3,87		69,15
trykforøger kWh/m ³	0,207	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,101		
energi pris kWh/m ³	0,610	0,642	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,504		
Samlet energi kWh										1.368,88
Samlet energi pris kWh/m ³	0,610	0,642	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,504		0,424
kWh	61,39	119,35	93,38	289,17	250,86	528,99	6,34	19,39	1.368,88	0,424

6,40%

10.3

BILAG: Vandforsyning uden vandtårn

	Værk 1	Værk 2		Byzonen	TOTAL
Indvinding m ³	1.882,64	1.381,47			3.264,11
Løft Meter	40,00	30,00			
Energi kWh	367,68	206,67			574,35
kWh/m ³	0,195	0,150			
Vandbehandling kWh	46,84	28,40			75,24
Beholderpris kWh/m ³	0,225	0,173		0,203	
driftsvolumen m ³	333	235			
Udpumpning m ³	1.842,64	1.355,47		3.198,11	3.198,11
løft Meter	25,00	45,00			
energi kWh	217,80	266,62		484,42	484,42
kWh/m ³	0,118	0,197		0,151	
Blanding kWh/m ³	0,343	0,370			0,355

	Zone01	Zone02	Zone14	Zone21	Zone22	Zone23	Zone04	Zone05	Byzonen	TOTAL
Forbrug m ³	94,10	174,20	216,10	672,00	583,45	1.228,05	14,70	35,90		3.018,50
Lækage m ³	6,50	11,70	15,60	37,15	31,84	73,18	1,04	2,60		179,61
Distribution m ³	100,60	185,90	231,70	709,15	615,29	1.301,23	15,74	38,50		3.198,11
Energiløft Meter	60,00	70,00		0,00	0,00	0,00	0,00	25,00		
Beholder kilde kWh/m ³	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355		
mænde m ³		185,90								
trykforøger kWh	20,84	41,62	12,47	0	0	0	0	4,86		79,80
trykforøger kWh/m ³	0,207	0,224	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,126		
energi pris kWh/m ³	0,562	0,578	0,408	0,355	0,355	0,355	0,355	0,481		
Samlet energi kWh										1.213,80
Samlet energi pris kWh/m ³	0,562	0,578	0,408	0,355	0,355	0,355	0,355	0,481		0,380

kWh	56,52	107,54	94,62	251,45	218,17	461,40	5,58	18,52	1.213,80	0,380
-----	-------	--------	-------	--------	--------	--------	------	-------	----------	-------

5,62%

10.4

BILAG: Vandforsyning uden vandtårn, yderligere besparelser

		Værk 1	Værk 2		Byzonen	TOTAL
Indvinding	m ³	1.878,38	1.377,28			3.255,66
Loft	Meter	40,00	30,00			
Energi	kWh	366,85	206,04			572,89
	kWh/m ³	0,195	0,150			
Vandbehandling	kWh	47,03	25,10			72,13
Beholderpris	kWh/m ³	0,225	0,171			
driftsvolumen	m ³					
Udpumpning	m ³	1838,38	1351,28			3.189,66
løft	Meter					
energi	kWh	220,97	212,29			433,26
	kWh/m ³	0,120	0,157			
		0,345	0,328			

	Zone01	Zone02	Zone14	Zone21	Zone22	Zone23	Zone04	Zone05	Byzonen	TOTAL
Forbrug	94,10	94,10	216,10	672,00	583,45	1.228,05	14,70	35,90		2.938,40
Lækage	6,50	11,70	15,60	37,15	27,58	68,99	1,04	2,60		171,16
Distribution	100,60	185,90	231,70	709,15	611,03	1.297,04	15,74	38,50		3.189,66
Energiløft	50	40		0	0	0	0	25		
Beholder kilde	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,328	0,328	0,328		
mænde	100,600	185,900	231,700	709,151	611,027	1297,045	15,740	38,500		
trykforøger	20,844	41,623	12,465					4,864		79,797
trykforøger	0,207	0,224	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,126		
energi pris	0,553	0,569	0,399	0,345	0,345	0,328	0,328	0,454		
Samlet energi										1.158,07
Samlet energi pris	0,553	0,569	0,399	0,345	0,345	0,328	0,328	0,454		0,363
	kWh	55,58	105,82	92,48	244,89	211,01	425,63	5,17	17,50	1.158,07
										0,363

5,37%

10.5

BILAG: Individuelle trykzoner

kpm til kWh * 0,002724

		årligt	løft mVS	arbejde	Grundfos		Grundfos Type	Grundfos eta
		m3		kWh	kWh	eta		
1	1 net	292.664	45	35.875	59.131	0,61	MPC-E2 CRE90-3	0,659
2	2 net	292.664	35	27.903	47.480	0,59	MPC-E2 CRE90-2	0,674
	høj 10	29.266	10	797	1.983	0,40	MPC-E 2CRIE10-6	0,418
				28.700	49.463	0,58		
				Besparelse		16%		
3	4 net	292.664	25	19.930	35.709	0,56	MPC-E2 CRE90-2-2	0,637
	høj 10	29.266	20	1.594	3.231	0,49	MPC-E2 CRIE10-4	0,521
	mellem 10	29.266	10	797	1.984	0,40	MPC-E 2CRIE10-6	0,418
	mellem 20	58.533	10	1.594	3.122	0,51	MPC-E 2 CRIE15-2	0,505
				23.916	44.046	0,54		
			Besparelse		26%			

10.6

BILAG: Dimensionering af pumper

Til dimensionering af pumpefunktioner er anvendt programmet Win-

CAPS version 2008.01.33 fra Grundfos



Programmet distribueres af Grundfos og findes også på Grundfos hjemmesiden www.grundfos.dk under navnet WebCAPS.

Funktionen "Dimensionering" er anvendt i den ønskede funktion og den aktuelle dimensioneringsdata er indtastet:

Flow, afgangstryk, installationstype, min/max tilgangstryk, reguleringsform, belastningsprofil.

Belastningsprofilen er sat til den aktuelle flow fra modellen.

Programmet angiver ofte flere løsningsforslag, og det første forslag med den bedste aggregat-virkningsgrad er valgt hver gang.

I udvælgelsen er ikke taget hensyn til, hvor på pumpekurven pumpesystemet arbejder, men alene på virkningsgraden.

Programmet angiver en energipris for den valgte løsning i kWh/ m³, som er anvendt til den videre beregning.

Energirigtig og sikker vandforsyning



DANVA
Dansk Vand- og
Spildevandsforening



DANVA
FORSKNINGS- OG UDREDNINGSPROJEKT NR. 15, 2. del marts 2010

Indhold:

1. Forord	3
2. Baggrund	4
3. NK- Vand.....	6
4. Ledningsnetmodel	8
5. Undersøgelserne.....	9
5.1 Scenarium 1. Normal drift med vandtårn	9
5.1.1 Beskrivelse.....	9
5.1.2 Resultater.....	10
5.2 Scenarium 2A. Trykstyring uden vandtårn, målt energiforbrug.....	11
5.2.1 Beskrivelse.....	11
5.2.2 Resultater.....	12
5.3 Scenarium 2B. Trykstyring uden vandtårn, simuleret energiforbrug.....	13
5.3.1 Beskrivelse.....	13
5.3.2 Resultater.....	13
5.4 Scenarium 3. Energirigtige trykzoner, simuleret energiforbrug.....	15
5.4.1 Beskrivelse.....	15
5.4.2 Resultater.....	17
6. Samlet diskussion.....	18
7. Konklusion	19

1.

Forord

I foråret 2009 gennemførte Krüger A/S et DANVA finansieret udredningsprojekt omkring energirigtig og sikker vandforsyning. Nærværende projekt er en praktisk afprøvning af nogle af det tidligere udredningsprojekts konklusioner.

Projektets resultater er baseret på modelberegninger og praktiske forsøg i forsyningsnettet omkring Næstved. Arbejdet blev udført i perioden juli 2009 til januar 2010 af en arbejdsgruppe bestående af:

- Rasmus Boe-Hansen, projektleder, Krüger A/S
- Troels Tjelum, NK-Vand
- Steen Rasmussen, NK-Vand
- Henrik Korsgaard, Krüger A/S

Projektet er udarbejdet af Krüger A/S og NK-vand med støtte fra DANVA's teknologipulje. Projektet blev undervejs fulgt en styregruppe bestående af:

- Karin Larsen, DANVA
- Ole Texel, Århus vand A/S

2.

Baggrund

Som en del af indsatsen omkring nedbringelse af Danmarks samlede CO₂ udledning har der i de senere år været et stigende fokus på energibesparelser i vandsektoren. DANVA og Elsparefonden har i den forbindelse opstillet en vision om en reduktion af det samlede energiforbrug på 25 %. På den baggrund er der igangsat en række aktiviteter, der skal demonstrere potentialet for energibesparelser.

Reduktion af energiforbruget kan ske ved en række tiltag f.eks. ved sænkning af forsyningstrykket, mindskning af ledningstab eller ved pumpeoptimering. Det er imidlertid vanskeligt at komme med generelle anbefalinger til energioptimering af ledningsnet, da der som regel er tale om komplekse tekniske anlæg tilpasset den enkelte forsyning.

I det tidligere udredningsprojekt "Energirigtig og Sikker vandforsyning" blev der analyseret to forskellige scenarier i en "typisk" dansk vandforsyning.

- Traditionel distribution med vandtårne og fælles trykzone
- Et fremtidsperspektiv med flere trykzoner og uden vandtårne

De to scenarier blev vurderet med henblik på en række faktorer: Energi, økonomi sikkerhed og vandkvalitet.

Udredningsprojektet påviste, at der potentielt er en stor energibesparelse forbundet med at tilpasse trykket ved forbrugeren så der i videst muligt omfang kun leveres det fornødne tryk. I første omgang kan der opnås en betydelig energibesparelse ved at forsyningstrykket reduceres, denne reduktion begrænses imidlertid ofte i praksis af særlige driftsforhold knyttet til vandtårnene. Beregningerne viste, at der er knyttet et betydeligt energimæssigt merforbrug til driften af vandtårne sammenlignet med en rent trykstyret udpumpning. Besparelsen blev anslået til at være ca. 10 % af det samlede energiforbrug til udpumpning.

Udover den umiddelbare energibesparelse ved trykreduktionen kan der opnås en yderligere energibesparelse ved at ledningsnettet inddeles i trykzoner med udgangspunkt i det nødvendige trykniveau hos de enkelte forbrugere.

For at efterprøve ovenstående teoretiske betragtninger i praksis blev der i dette projekt planlagt en række forsøg i en dansk vandforsyning. Formålet med forsøgene er at sammenligne energiforbruget ved forskellige driftsformer for ledningsnettet, nemlig:

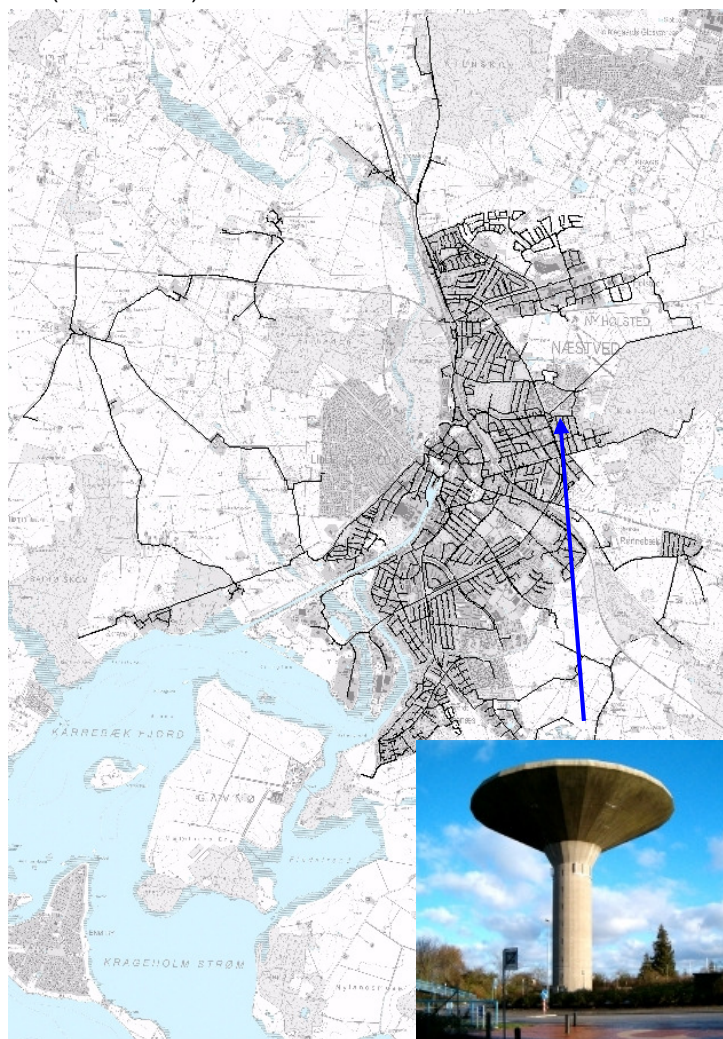
- Normal drift med vandtårn
- Trykstyret udpumpning uden vandtårn
- Trykstyret udpumpning uden vandtårn med inddeling i trykzoner.

3.

NK- Vand

NK-Vand forsyner ca. 40.000 forbrugere med drikkevand i Næstved og omegn. Den samlede udpumpning udgør ca. 2.2 mio. m³/år.

Forsyningen af Næstved by foregår med to vandværker: Hjelmsøllileværket og Pindsobroværket med en maksimal kapacitet på hhv. 1000 m³/t og 400 m³/t, hvilket betyder, at der er tilstrækkelig kapacitet til at driften på ét vandværk kan standses i en længere periode uden at forsyningsikkerheden kommer i fare. Vandværkerne er beliggende i kote 18 (Hjelmsøllille) og 33 (Pindsobro).



Figur 3.1. Kort over forsyningsledninger i Næstved.

Vandforsyningens forbrugere befinder sig i koter fra 2 til 50.

Forsyningsstrykket styres normalt af et centralt placeret vandtårn.

Af hensyn til forsyningssikkerheden kan udpumpningen fra værkerne trykstyres, hvilket betyder at vandtårnet kan tages ud af drift f.eks. i forbindelse med reparationsarbejder og eftersyn. I den forbindelse er der opstillet trykmålere 3 steder i forsyningsnettet (ved de to vandværker og ved vandtårnet) som kan bruges til trykreguleringen.

For at kunne overvåge og reducere energiforbruget har NK-vand etableret energimålinger på alle pumper, der rapporteres løbende til SRO systemet.

Som et led i planlægningen af den fremtidige forsyningsstruktur har NK-Vand opstillet en hydraulisk ledningsnetmodel.

4.

Ledningsnetmodel

Ledningsnetmodellen i Næstved er opstillet med modelværktøjet Aquis.

Modellen omfatter fysisk definition af alle ledninger med angivelse af disses interne hydrauliske forbindelser i form af knudepunkter. De enkelte ledninger er defineret ved en indre diameter og et ruhedstal, som beskriver i hvilken udstrækning, der er afsætninger i ledningen, som giver modstand mod strømning.

Ledningsnettet er importeret automatisk fra vandværkets elektroniske ledningsregistrering i juni 2008. Ledningsnettet omfatter Næstved by. Næstved Vandforsyning leverer også vand til flere mindre landområder, men disse har selvstændige ledningsnet og er ikke omfattet af modellen.

Forbrug tilknyttes de enkelte knudepunkter i form af det gennemsnitlige forbrug over hele året. Til ethvert forbrug tilknyttes en forbrugertype f.eks. "Bollig". Forbrugsfordelingen over døgnet for hver forbrugertype indlægges i modellen således at modellen varierer forbruget over døgnet. Simulering af flow i døgn som afviger fra gennemsnitsdøgnet foretages ved hjælp af en "global" faktor som kan hæve eller sænke forbruget i de enkelte døgn.

Forbrugsfordelingen har taget udgangspunkt i Næstved Vandforsynings oplysninger om vandsalg i 2007, som er oplyst i form af årstotal for hver enkelt forbruger. Ved import til modellen er der sket en forenkling af data således at mindre forbrugere fra samme område er samlet i et knudepunkt. Dette er gjort, hvor det har været muligt, uden signifikant påvirkning af det overordnede hydrauliske system.

5.

Undersøgelserne

I dette projekt er der fokuseret på besparelser af energiforbrug ved udpumpning som følge af tryksænkninger, dels ved nedlæggelse af vandtårn og dels ved inddeling af ledningsnettet i trykzoner. Ved sammenligning af forskellige scenarier forudsættes derfor samme pumpevirkningsgrad.

I projektet sammenlignes energiforbruget for rentvandsudpumpningen i 3 forskellige scenarier, hvor scenarium 2 er yderligere opdelt i to underscenerier.

Scenarium 1. Normal drift med vandtårn

Scenarium 2. Trykstyring uden vandtårn

A. Målt energiforbrug

B. Simuleret energibesparelse

Scenarium 3. Inddeling i trykzoner

De to vandværker står i forskellige koter og det højest beliggende, som er Pindsobro, kan derfor levere et givent tryk i Næstved ved brug af mindre energi end det andet vandværk, Hjelmølille, da vandet så at sige allerede er løftet op til vandværkets kote. Man ville derfor kunne spare en betragtelig energimængde til udpumpning ved kun at benytte Pindsobro, men man ønsker fra vandværkets side at bibeholde to indvindingsområder af hensyn til forsyningssikkerheden. Derfor ændres der ikke på fordelingen af udpumpning imellem de to værker i de forskellige scenarier. I dag kommer ca. 60 % af vandet fra Hjelmølille og 40 % fra Pindsobro, og denne fordeling bruges i alle beregninger. Ved begge vandværker er pumpekoten for drikkevandsboringerne omkring terræn, så energiforbruget til indvinding kan negligeres.

Ved sænkningen af trykket følger en reduktion af vandtabet ved lækager. Dette medfører både en besparelse af vand og af energi til udpumpning. Besparelsen er dog ikke kvantificeret i beregningerne af de forskellige scenarier.

5.1

Scenarium 1. Normal drift med vandtårn

5.1.1

Beskrivelse

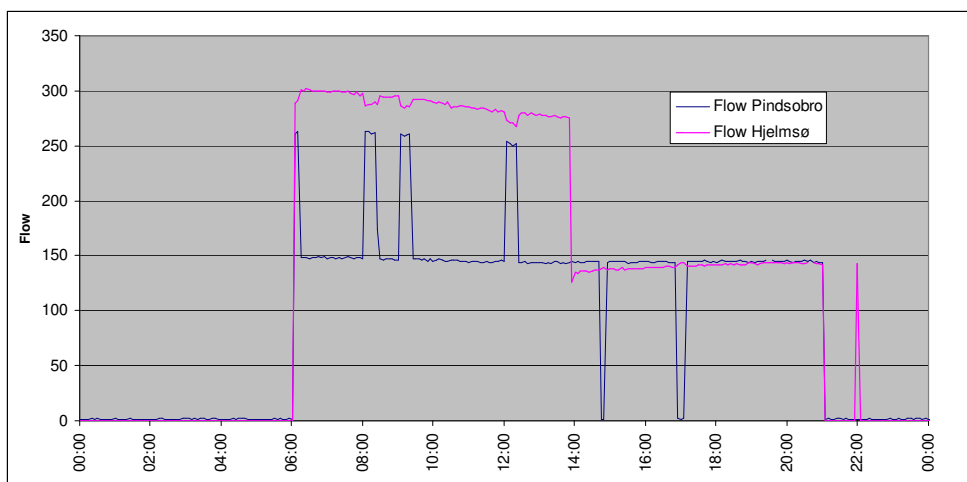
Dette scenarie belyser den nuværende forsyningssituation. Begge vandværker starter kl. 6 om morgenen og fylder vandtårnet. Omkring kl. 12 er vandtårnet fyldt og flowet fra vandværket sænkes til samme niveau som forbruget. Fra ca. kl. 23 stoppes udpumpningen og byen forsynes fra vandtårnet indtil kl. 6 næste morgen.

5.1.2

Resultater

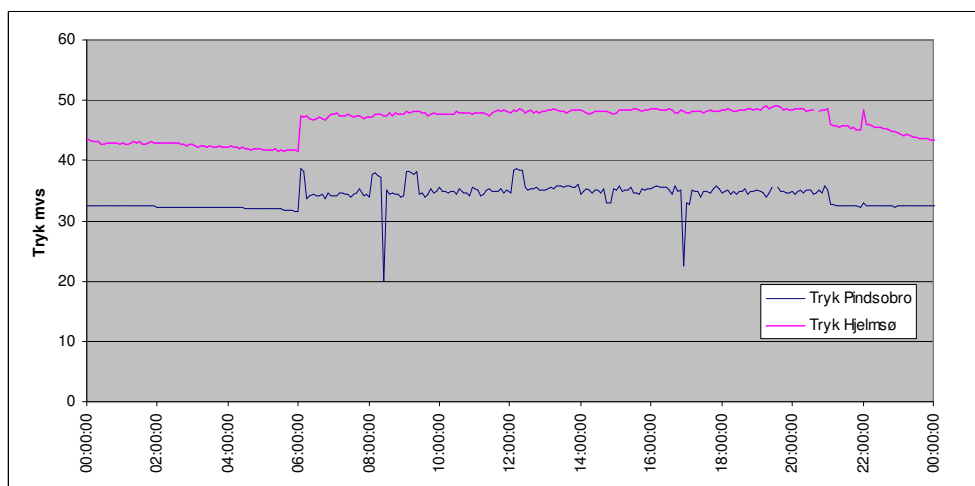
Der er taget udgangspunkt i en konkret dag (2. september 2009) hvor udpumpningstryk, flow og energiforbrug fra begge vandværker og flow ind og ud af vandtårn er logget. Flowmålingerne giver tilsammen vandforbruget over døgnet, og dette forbrug er brugt i de andre scenarier for at gøre dem sammenlignelige.

Figur 5.1 viser udpumpningen fra de to værker over døgnet. Som det ses foregår udpumpningen for begge værkers vedkommende i to trin.



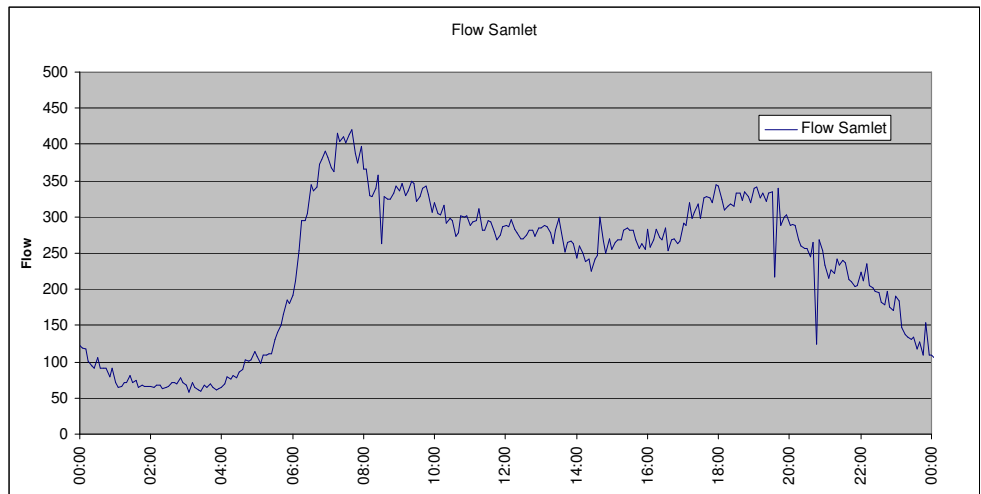
Figur 5.1. Flow fra Pindsobro og Hjelmsølille 2. september 2009

Figur 5.2 viser udpumpningstrykket fra de to vandværker. Om natten hvor der ikke er udpumpning følger trykmålingerne trykket i nettet. Trykmålinger om natten viser således indirekte koteforskellen imellem de to vandværker.



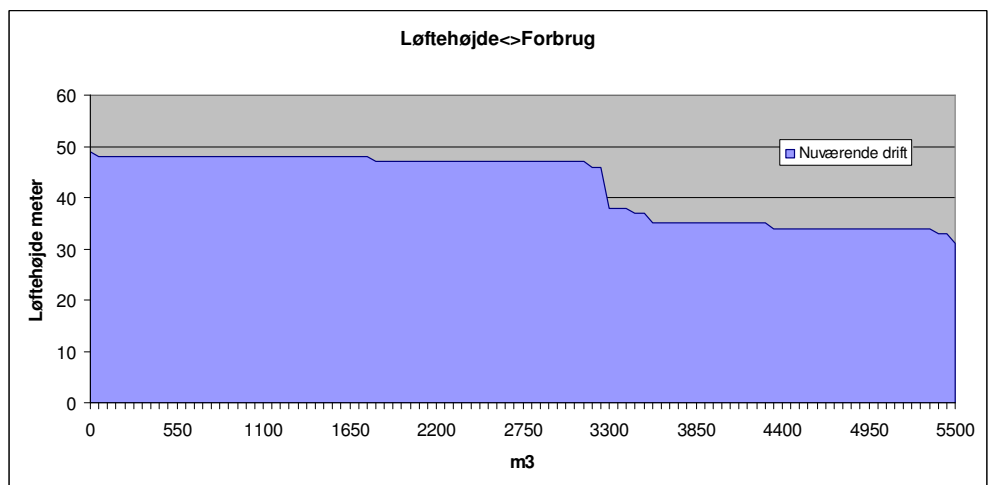
Figur 5.2. Tryk fra Pindsobro og Hjelmsølille 2. september 2009.

Det samlede forbrug følger et almindeligt mønster domineret af husholdningerne (se figur 5.3).



Figur 5.3. Samlet forbrug over døgnet.

Energiforbruget afhænger i høj grad af, hvor højt vandet skal løftes. Figur 5.4. angiver, hvor stor del af produktionen der løftes til det givne niveau (eller højere) i forbindelse med den normale forsyning af Næstved.



Figur 5.4. Løftehøjde ved nuværende drift

Som det ses af figuren er løftes ca. 60 % af vandet til ca. 47 mVs, mens 40 % af vandet kun løftes til 34 mVs. Dette afspejler netop således fordelingen af produktionen mellem Hjelmslille og Pindsobro.

5.2

Scenarium 2A. Trykstyring uden vandtårn, målt energiforbrug

5.2.1

Beskrivelse

I dette scenarium lukkes forbindelsen til vandtårnet. Der foretages ikke andre ændringer af ledningsnettet.

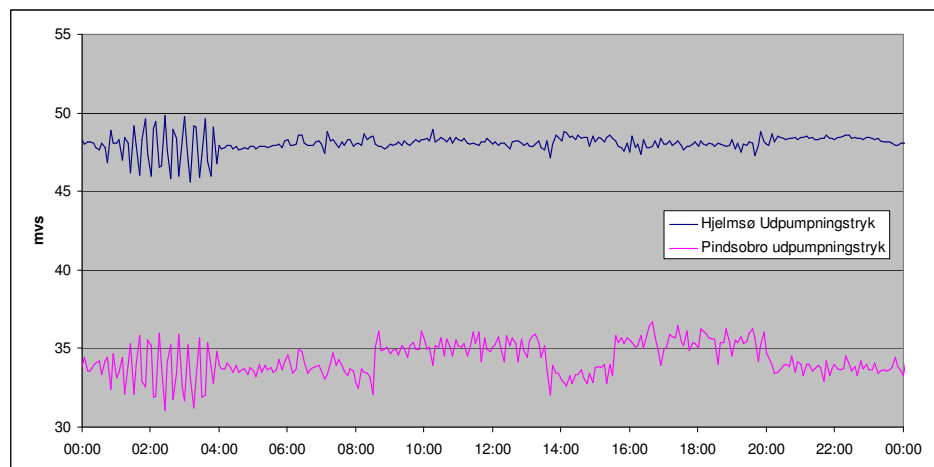
Når vandtårnet tages ud af drift, betyder det at vandværkerne skal levere vand døgnet rundt og ikke som i den nuværende situation, hvor byen forsynes fra vandtårnet om natten. Det betyder også at trykket kan fastsættes frit på vandværkerne, da det ikke er afhængigt af vandstanden i vandtårnet.

Som et praktisk forsøg har Næstved Vandværk lukket ventilen til vandtårnet og har kørt med trykstyret udpumpning i en weekend. Man har valgt at holde det samme udpumpningstryk som normalt, hvilket betyder at energiforbruget er det samme som ved normal drift med vandtårn.

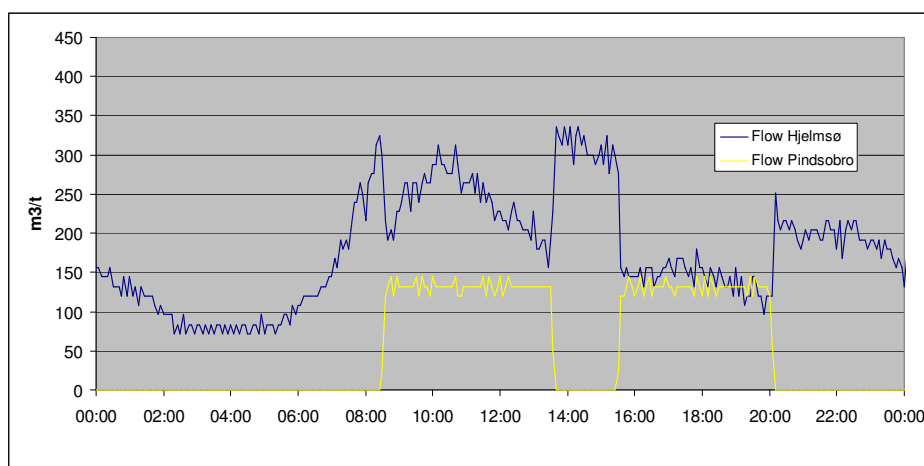
5.2.2

Resultater

Figur 5.5 viser udpumpningstrykket fra de to vandværker og figur 5.6 viser flowet. Det ses at Hjelmsøllille, som har været trykstyret med frekvensregulerede pumper, har haft varierende flow, mens Pindsobro har haft et fast flow. I forsøgsperioden har fordelingen mellem udpumpningen fra Hjelmsøllille og Pindsobro været 80/20, i modsætning til den normale 60/40 fordeling. Da energiforbruget for udpumpningen, som nævnt, er stærkt afhængigt af hvilket vandværk der leverer vand, er forsøgsresultaterne korrigeret så scenarium 1 og 2A er umiddelbart sammenlignelige. Således er måleresultaterne ændret så de bedre kan sammenlignes med den normale situation.



Figur 5.5. Udpumpningstryk fra Hjelmsøllille og Pindsobro i scenarium 2A.



Figur 5.6.: Flow fra Hjelmsøllille og Pindsøbro i scenarium 2A.

5.3

Scenarium 2B. Trykstyring uden vandtårn, simuleret energiforbrug

5.3.1

Beskrivelse

For at undersøge mulighederne for energioptimering er der udført modelberegninger, hvor udpumpningstrykket er fastsat således, at den forbruger i byen, som får det laveste tryk, aldrig får et tryk under en fastsat minimumsgrænse. I dette projekt er minimumsgrænsen sat til 20 mVs.

Det nødvendige udpumpningstryk fra vandværkerne vil variere over døgnet, da tryktabet i ledningerne stiger med flowhastigheden og dermed er større i dagtimerne end om natten og størst ved spidsbelastning om morgenen og om eftermiddagen.

5.3.2

Resultater

På baggrund af modelberegningerne er den mest udsatte forbruger fundet (se figur 5.7) og det nødvendige udpumpningstryk er beregnet.



Figur 5.7. Kritisk forsyningspunkt.

I figur 5.8 ses det målte udpumpningstryk for 2. september 2009 sammenholdt med det beregnede minimumstryk, for vandværket Pindsobro.

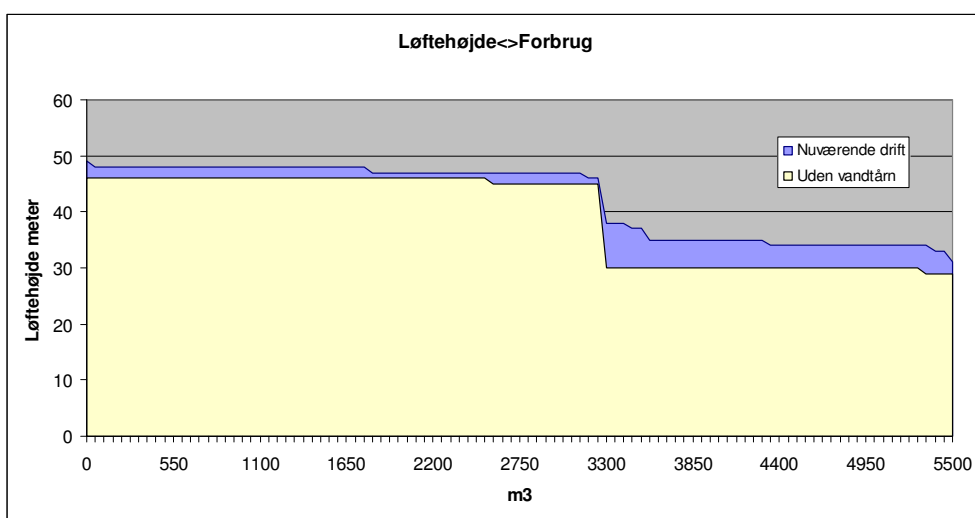
Resultaterne af forsøget er benyttet til at kalibrere modellen, for at sikre at den er retvisende ved denne drift.



Figur 5.8. Udpumpningstryk for Pindsobro i scenarium 1 og 2B

Det ses af grafen at udpumpningstrykket fra vandværket er omkring 35 mVs i dagtimerne, hvor der foretages udpumpning. Om natten er trykket styret af vandstanden i vandtårnet og det ses at trykket falder i løbet af morgenen efterhånden som vandstanden falder.

Kurven for det beregnede minimale udpumpningstryk viser, at det er nødvendigt at udpumpe med 2 meter højere tryk i dagtimerne end om natten for at holde et fast tryk hos den mest udsatte forbruger. Den viser desuden at man kan nøjes med et tryk der er 3 – 4 meter lavere end det tryk der udpumpes med i dag.



Figur 5.9. Løftehøjde for scenarium 1 og 2B.

Den besparelse der er mulig ved at lukke vandtårnet og udpumpe med et lavere tryk ses illustreret i figur 6 hvor det antal meter vandet skal løftes i de to scenarier er sammenlignet. Forskellen i løftede meter \times m³ svarer direkte til den energimængde der kan spares. Den mulige besparelse er 6 %.

5.4

Scenarium 3. Energirigtige trykzoner, simuleret energiforbrug

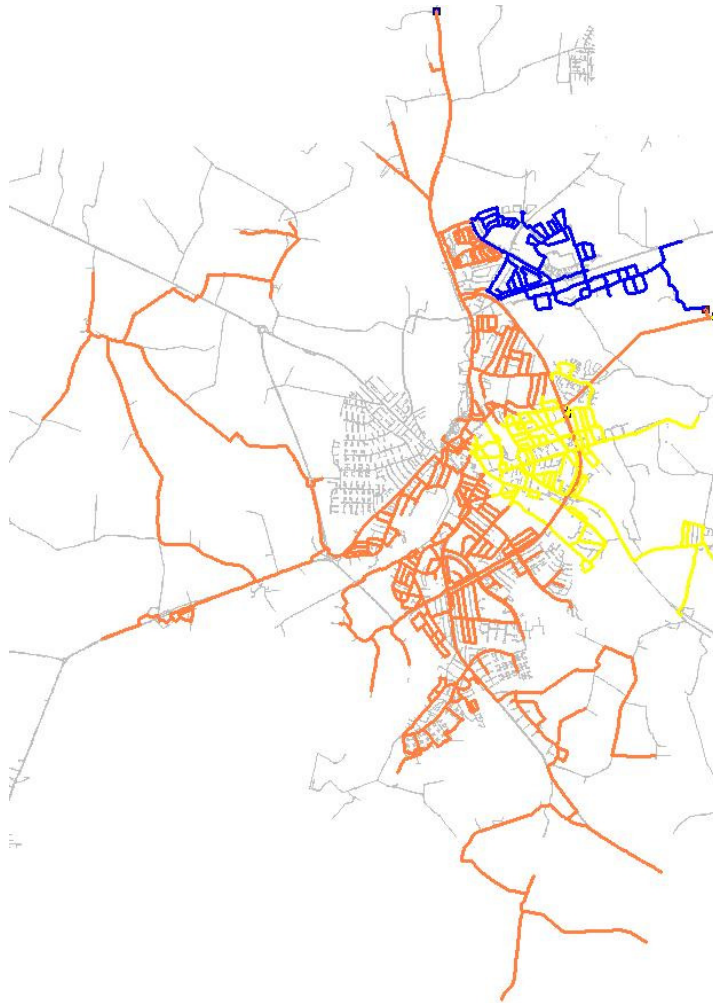
5.4.1

Beskrivelse

I dette scenarium beregnes energiforbruget for udpumpningen i ledningsnetmodellen ved at forbindelsen til vandtårnet lukkes samtidig med at ledningsnettet inddeles i mindre trykzoner.

Inddelingen af ledningsnettet sker med udgangspunkt i områdets topografi. Der er store koteforskelle imellem de forskellige forbrugere i Næstved. De højeste koter findes i den nordlige del af byen, med vandtårnet placeret på en bakketop. Terrænet falder mod syd ned mod havnen. Der er to mindre områder, der i dag forsynes via trykforøger, men størstedelen af forsy-

ningsområdet er samme trykzone. Koteforskellen mellem den højst og lavest beliggende forbruger er ca. 40 m. Ca. 1/4 af forbruget findes i et højtliggende område omkring vandtårnet, hvilket ses som det gule område i figur 5.10. Ved at afgrænse dette område og lade det forsyne via en trykforøger, samt ved at udvide den eksisterende nordlige trykzone (blå), kan trykket sænkes med 24 meter i størstedelen af det resterende ledningsnet (orange).



Figur 5.10: Opdeling i trykzoner.

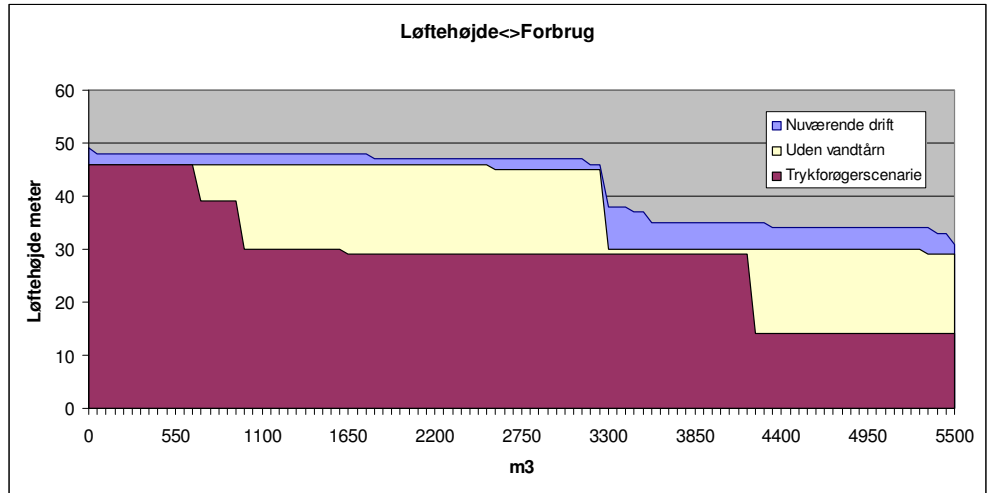
Inddelingen af ledningsnettet i trykzoner er gjort på baggrund af modelberegninger, hvor leveringstrykket er beregnet i hele nettet.

Ved beregningerne er der taget udgangspunkt i samme dag som ved de andre scenarier. Forbruget og fordelingen af flow fra de to vandværker er det samme som i de andre scenarier.

5.4.2

Resultater

Figur 5.11 viser hvor meget vandet løftes i scenarium 3 i forhold til de to andre scenarier. Forskellen i forhold til scenarium 1 er 33 %. Der er således et potentiale for at spare 33 % af energiforbruget til udpumpning i forhold til den nuværende situation.



Figur 5.11. Løftehøjde i alle tre scenarier.

6.

Samlet diskussion

Energiforbruget i projektets scenarier blev enten målt eller simuleret ud fra ledningsnetmodellen. Resultatet af energimålinger i er vist i tabel 6.1.

Tabel 6.1. Oversigt over energiforbruget i projektets scenarier

Scenarium	Type	Vandforbrug	Middeltryk	Energiforbrug	Specifikt energiforbrug	Nyttegrad	Besparelse
		m ³	mVs	kwh	kwh/m ³	%	%
1. Med vandtårn	Måling	5519	42,7	1040 ¹	0,188	62	-
2A. Uden vandtårn ²	Måling	6680	42,7	1280	0,192	61	-0,2
2B. Uden vandtårn	Simulering	5500	39,7	976	0,178	(61) ³	6,1
3. Trykzoner	Simulering	5500	28,5	701	0,127	(61) ³	32,6

¹ I perioden blev 2,3 % af vandet udpumpet med en pumpe uden elmåler. For at kompensere for dette er der lagt 2,3 % til det målte energiforbrug

² Beregningen er korrigeret for forskellen i produktionsfordelingen for de to vandværker.

³ I simuleringerne antages at nyttegraden er den samme som for scenarium 2B.

I de to praktiske forsøg (scenarium 1 og 2A), hvor vandforsyningen drives henholdsvis med tårn og uden tårn, er det målte energiforbrug stort set identisk (se tabel 1). Dette skyldes, at det gennemsnitlige tryk for udpumpningen er uændret i de to forsøg. Modelberegninger viser imidlertid, at det gennemsnitlige udpumpningstryk kan reduceres samtidig med at trykket i ledningsnettet på intet sted og tidspunkt falder under 20 mVs. I Næstved kan driftsvandspejlet i tårnet imidlertid ikke reduceres yderligere uden uheldige konsekvenser for tårnets drift og de kritiske forbrugere. Det er således ikke praktisk muligt at reducere gennemsnitstrykket i vandforsyningen når tårnet er i drift. Trykket kan imidlertid umiddelbart reduceres, når udpumpningen trykstyres og tårnet tages ud af drift. Simuleringen viser, at det gennemsnitlige udpumpningstryk kan reduceres med 3 mVs (scenarium 2B), hvilket medfører en umiddelbar energibesparelse på 6 % sammenlignet med den normale situation (scenarium 1).

I tilfældet, hvor ledningsnettet opdeles i trykzoner med lokale trykforøgerstationer er der i langt højere grad mulighed for at reducere det unødvendige "overskudstryk". Simuleringen viser således at energiforbruget til udpumpningen kan reduceres med 33%, hvis ledningsnettet opdeles i tre energirigtige trykzoner med lokale trykforøgerstationer.

Det er imidlertid et åbent spørgsmål om de nødvendige investeringer vil være rentable på kort sigt. Niveauet for forsyningssikkerheden vil i høj grad have betydning for investeringernes størrelse.

7.

Konklusion

Simuleringerne og forsøgene i denne undersøgelse viser, at NK-Vand kan spare 6 % af energiforbruget ved reduktion af udpumpningstrykket i forbindelse med overgang til trykstyring og nedlæggelse af vandtårn.

Energibesparelsen ved opdeling af ledningsnettet i 3 energirigtige trykzoner med lokale trykforøgerstationer beregnes til 33 %.

Undersøgelsen viser, at der potentielt kan opnås betydelige energibesparelser ved nedlæggelse af vandtårn og ved inddeling i trykzoner.