

Vandmåleres måleevne ved dynamisk aftapning – eksemplet Benny

Dynamisk aftapning er tidligere behandlet i rapporten *Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre*¹, hvor der er lavet test på specifikke vandstrømme og åbne/lukke tider. Rapporten tog udgangspunkt i enkelte scenarier taget ud af standarden for vandinstallationer, DS439, i forbindelse med test af et udvalg af typiske vandmålere. Konklusionen på dette arbejde var, at der ikke kunne påvises nogen signifikant afvigelse på vandregningen.

Dette indlæg beskriver, hvilke forventninger der kan være til usikkerheden på vandregningen, når der tages udgangspunkt i et hverdagsscenario for en fiktiv persons forbrugsmønster. Der er her tale om et forbrugsmønster, som afviger i forhold til standarden og er baseret på observation af virkelige personers forbrugsmønster.

Baggrund for beregningerne

Benny er her en virtuel person, hvis handlinger i løbet af en dag er inspireret af observationer fra virkelige personer og publicerede tappeprofiler. Data er således ikke sporbar til en bestemt husstand, landsdel eller persongruppe.

For at vurdere effekten på årsafregningen er tappeprofilen testet op imod to forskellige teoretiske målere, som er simplificeret i virkemåde: en vingehjulsmåler og en elektronisk måler, dvs. ultralyd.

Vingehjulsmålere måler kontinuerligt baseret på en mekanisk bevægelse. Typen er kendt for at kunne have et efterløb ved lukning af vandhaner, hvilket betyder, at der måles for meget.

Elektroniske målere er ikke belastet af mekanisk-dynamisk begrundende fejlmålinger men kan være konstrueret således, at der samples i korte perioder med fastlagte tidsintervaller, f.eks. 5 sekunder. De elektroniske målere vil derfor kun fange de flowrater, som er aktuelle under samplingen.

Den anvendte software vil have indbygget en forudsætning om, hvordan variationen imellem de målte punkter beregnes. Simuleringerne vil tage udgangspunkt i simple modeller, som ikke indeholder adaptive justeringer af målerens drift eller mekanisk slid.

Hovedpersonen Benny

Benny er ikke nødvendigvis en typisk dansker, når det kommer til vandforbrug. Men i dette eksempel vil vi betragte ham som en repræsentant for en vandforbruger og betragte Bennys tappeprofil som grundlag for et årsforbrug.

Benny kan godt lide at vågne op men vente med at stå op. Men på et tidspunkt skal han op, da han skal på toilettet. Efter at have trækket i snoren, går Benny hen for at vaske hænder under rindende vand – også mens han gnider hænderne i sæben. Han afslutter vask af hænderne, inden cisternen på toilettet er fyldt (sekv. A). Toilettet er i øvrigt med elektronisk ventil, som holder tæt og lukker og åbner momentant.

¹ Flowcenter Danmark, 2011

Benny tager et glas vand. For at undgå smagen af rust og gammelt vand, bliver vandhanen skyllet igennem ekstra kraftigt, før han fylder glasset (sekv. B).

Benny tager ud på en løbetur. Da han kommer hjem, går han under bruseren. Benny har det princip, at vandet skal være lukket under indsæbning. Men bagefter kan han godt nyde det varme vand fra varmtvandsbeholderen et stykke tid (sekv. C).

Til morgenmad tager Benny sig et eller to glas mælk og en stor tallerken havregryn med mælk. Benny skyller hurtigt tallerkenen af under vandhanen (sekv. D) og går på toilettet for at børste tænder. Benny fylder et plastikkrus med vand (sekv. B) til at skylle munden efterfølgende, men skyller tandbørsten under rindende vand både før og efter (sekv. E).

Inden Benny løber ud af døren for at nå bussen, fylder han sin vanddunk efter at have skyllet den først (sekv. F).

Efter arbejde kommer Benny hjem igen. Det første, han gør, er at tage en tur på toilettet (sekv. A).

Madlavningen er det næste på opgavelisten for dagen. Han fylder en gryde med ca. 1 liter vand til kogning af pasta/ris/kartofler (sekv. G). Salaten og skræling af gulerødder/kartofler sker under rindende vand (sekv. H). Til aftensmadet drikker han af princip kun øl.

Efter aftensmadet skyller han tallerkenen hurtigt under vandhanen, inden han sætter den ind i opvaskemaskinen (sekv. D). Panden bliver ligeledes vasket under rindende varmt vand. Det tager lidt tid, da han også skal vente på at det varme vand når frem til vandhanen (sekv. I). Vandet er derimod varmt fra starten, når han efterfølgende skal bruge til at skylle og vride karkluden både før og efter brug (sekv. J).

Lidt senere på aftenen er det blevet tid til en kop kaffe eller to. Benny har en kaffemaskine med kværn, hvor filtret først skal tømmes og skylles. Derefter skal kanden skylles, inden den fyldes med vand til 6 kopper kaffe (sekv. K).

Inden sengetid starter Benny opvaskemaskinen med tidsforsinkelse, så den er færdig om morgenen (sekv. L). Herefter er det tid til toiletbesøg (sekv. A) og tandbørstning (sekv. E).

Og det var den dag ...

I weekenderne besøger Benny sin mor, hvis han ikke tager ud på besøg hos sine venner eller en tur til båden i den lokale marina. Så slipper han for at betale bl.a. for vandforbrug. Desuden er der gratis forplejning, når han er ude ved vennerne eller hos sin mor. Benny er dog begyndt at vaske sit tøj selv, hvilket bliver til to vask om ugen i egen moderne vaskemaskine (sekv. F).

Vi ved ikke, om Benny har have og/eller bil. Men af princip vil Benny kun bruge opsamlet regnvand til bilvask og havevanding.

Med hensyn til rengøring, antager vi, at Benny tager en 10 liters spand og fylder den med 5 liter vand. Dette gør han 3 gange, da det er forskellige ting, som rengøres. Frekvensen er en gang per måned (sekvens N).

Tappesekvenser

I historien om Benny indgår sekvenser A-N. Disse er inspireret af faktiske målinger, angivelser i litteraturen og andre input. Tabel 1 viser disse i tekstform.

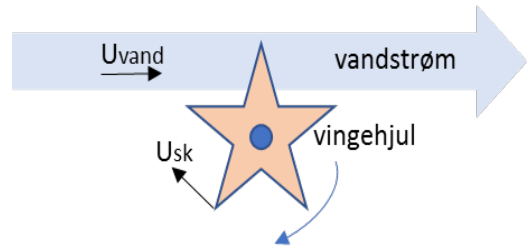
Tabel 1 Sekvenser fra Bennys dagligdag

Sekvens	Aktivitet	Forløb	Mængde	Per dag
A	Fyldning af cisterne og vask af hænder	i. 6 sec @ 16 ltr/min ii. 12 sec @ 21 ltr/min iii. 2 sec @ 16 ltr/min	6,5 ltr	3
B	Glas vand med skyld	i. 4 sec @ 15 ltr/min ii. 2 sec @ 0 ltr/min iii. 3 sec @ 4 ltr/min	1,2 ltr	2
C	Bruser	i. 20 sec @ 15 ltr/min ii. 30 sec @ 0 ltr/min iii. 180 sec @ 15 ltr/min	50 ltr	1
D	Tallerken skyl	i. 3 sec @ 16 ltr/min	0,8 ltr	2
E	Tandbørstning (fyldning krus, skyl, pause, skyl)	i. 6 sec @ 5,5 ltr/min ii. 200 sec @ 0 ltr/min iii. 5 sec @ 5,5 ltr/min	1,0 ltr	2
F	Drikkedunk (0,5 ltr) samt skyl	i. 10 sec @ 5,5 ltr/min	0,9 ltr	1
G	Fyldning af gryde med 1 ltr vand	i. 10 sec @ 6 ltr/min	1 ltr	1
H	Skylning af salat og skrælning af grønsager	i. 40 sec @ 3,8 ltr/min	2,5 ltr	1
I	Pandevask samt afvente varmt vand ved hane	i. 12 sec @ 10 ltr/min ii. 15 sec @ 3,8 ltr/min	2,9 ltr	1
J	Karklud	i. 4 sec @ 6,7 ltr/min ii. 240 sec @ 0 ltr/min iii. 6 sec @ 6,7 ltr/min	1,1 ltr	1
K	Kaffe	i. 6 sec @ 5 ltr/min ii. 6 sec @ 0 ltr/min iii. 3 sec @ 6 ltr/min iv. 2 sec @ 0 ltr/min v. 6 sec @ 10 ltr/min	1,7 ltr	1
L	Opvaskemaskine	i. 12 sec @ 20 ltr/min ii. 4300 sec @ 0 ltr/min iii. 12 sec @ 20 ltr/min	8 ltr	1
M	Vaskemaskine	i. 10 sec @ 20 ltr/min ii. 25 sec @ 0 ltr/min iii. 25 sec @ 20 ltr/min iv. 1800 sec @ 0 ltr/min v. 25 sec @ 20 ltr/min vi. 300 sec @ 0 ltr/min vii. 25 sec @ 20 ltr/min	28,3 ltr	2/7
N	Fyldning af spand	i. 60 sec @ 15 ltr/min	15 ltr	3/30

Vi antager, at Benny følger den beskrevne sekvens 270 dage om året. For tøjvask er det dog alle 52 uger. Dette giver et samlet vandforbrug på ca. 101 liter/døgn eller ca. 27 m³/år. En gennemsnitlig dansker bruger ca. 116 liter/døgn eller 40 m³/år.

Simulering af vingehjulsmåler

Vingehjulsmåleres funktionsprincip er enkelt beskrevet ved, at et skovlhjul udsættes for en gennemløbende strømning af vand. Kraften på skovlen er proportional med forskellen $U_{\text{vand}}^2 - U_{\text{sk}}^2$. Denne drivende kraft bruges til at ophæve det indre driftsmoment samt til acceleration/deceleration af skovlhjulet.



Figur 1 Princip bag vingehjulsmåler

En øgning af driftsmoment grundet slidte lejer eller lignende vil således betyde, at hastighedsforskellen $U_{\text{vand}} - U_{\text{sk}}$ øges for at drive målerens tællerværk. Da kraften på skovlhjulet er kvadratisk med hastighedsforskellen, og da hastigheden er kontrolleret af en kraftbalance, vil en øgning af hastigheden på en af strålerne – for eksempel ved at en af de andre stråler i en mangestrålet måler bliver delvist tilstoppet – medføre en fejlvisning. Et simpelt regnestykke: en 50% reduktion af vandstrømmen i en stråle i en 4-strålet måler giver teoretisk en fejlvisning på +4,5%.

Så længe der er en vandstråle på skovlhjulet, er de styrende parametre hastighedsforskellen og driftsmomentet. Hvis vandstrålerne spontant ophører, vil de styrende parametre være inertimomentet bestående af energien i skovlhjulet og vandet imellem skovlene og driftsfriktionsmomentet. Disse to situationer kan bedst illustreres ved, at man fylder et glas med vand og rør rundt med en ske. Når skeen efterfølgende holdes stille, aftager vandrotationen hurtigt. Løftes skeen op af vandet, fortsætter vandet med at rotere et stykke tid endnu.

Omsat til den aktuelle beregning af konsekvensen af en tappeprofil, er der derfor en forskel mellem en meget hurtig (spontan) lukning af en vandhane eller langsom lukning (soft close).

Simuleringsforsøg

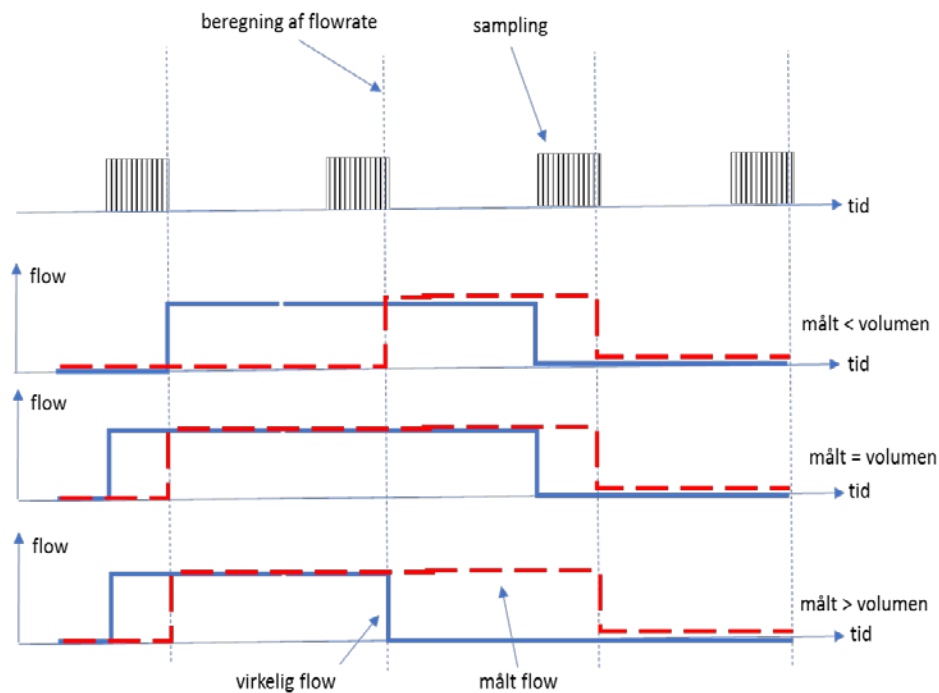
Der er foretaget en simpel test i forfatterens egen bolig med et ældre armatur i umiddelbar nærhed til vanduret. Ved fuld åben vandhane er flowet ca. 360 l/h. Lukkes ventilen hurtigst muligt, kunne man konstatere et efterløb på ca. 4 sekunder. Ved en lukning af vandhanen efter ca. 1 sekund, var efterløbet ca. 1,5 sekund. Den langsomme lukning betyder således, at tællerværket så at sige "motorbremses" den første del af lukningen.

Til beregning af måleusikkerheden for Bennys tappeprofil er der lavet beregninger for både spontan og soft close situationerne. Ved friløb formodes det, at målerens rotation aftager svarende til 114 (l/h) /s, hvilket er en meget forenklet tilnærmelse. Rotationen aftager væsentligt hurtigere ved høje omdrejninger flow og mindre ved lave omdrejninger. Ved soft close antager vi, at skovhjulets hastighed reduceres med ca. 72%, inden denne overgår til friløb.

Simulering af elektronisk meter

Det elektroniske flowmeter anvender teknikker, som ikke fysisk påvirker vandstrømmen. Det kan være magnetisk induktiv eller ultralyd.

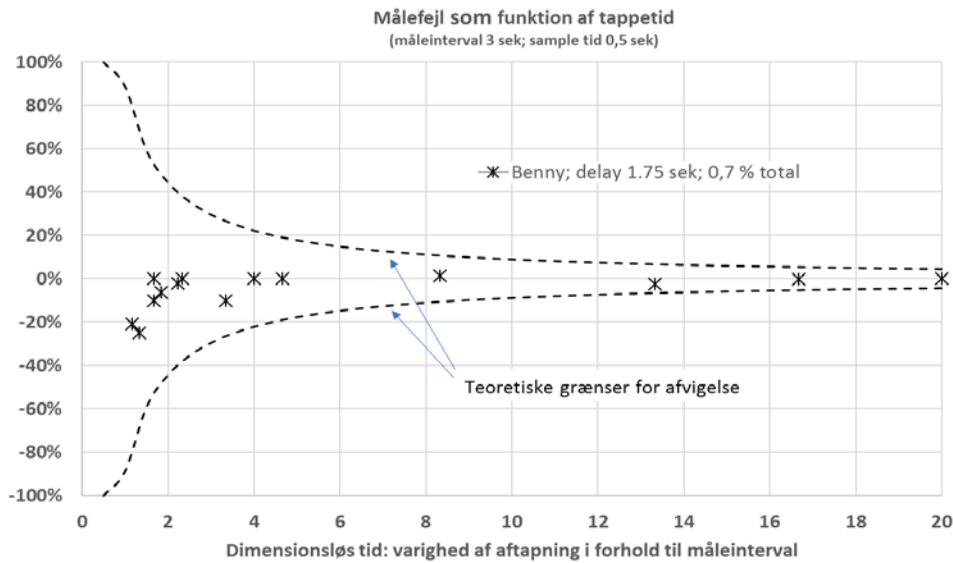
Kendetegnet ved den simulerede elektroniske måler er, at den med faste måleintervaller gennemfører 2 eller flere samples. dvs. målinger og beregner en måleværdi, som er gældende, indtil næste periode med sampling er gennemført. Dette betyder, at der vil være en usikkerhed på +/- på måleinterval og sampletid. Det er således reelt muligt at få "gratis vand" ved tilstrækkeligt kortvarige og timede aftapninger.



Figur 3 Fejlmåling grundet periodevis måling i en virtuel elektronisk vandmåler. Blå streg repræsenterer det faktiske flow. Rød stiptet streg repræsenterer det beregnede flow som opstår som følge af periodevis måling og sampling..

Til beregning af måleusikkerheden for Bennys tappeprofil har vi ikke medtaget effekter fra snavs/belægninger, slid af måler eller dårlige installationsforhold. Der er simuleret to målere – en med 3 sekunders måleinterval og en udgave med 5 sekunders interval.

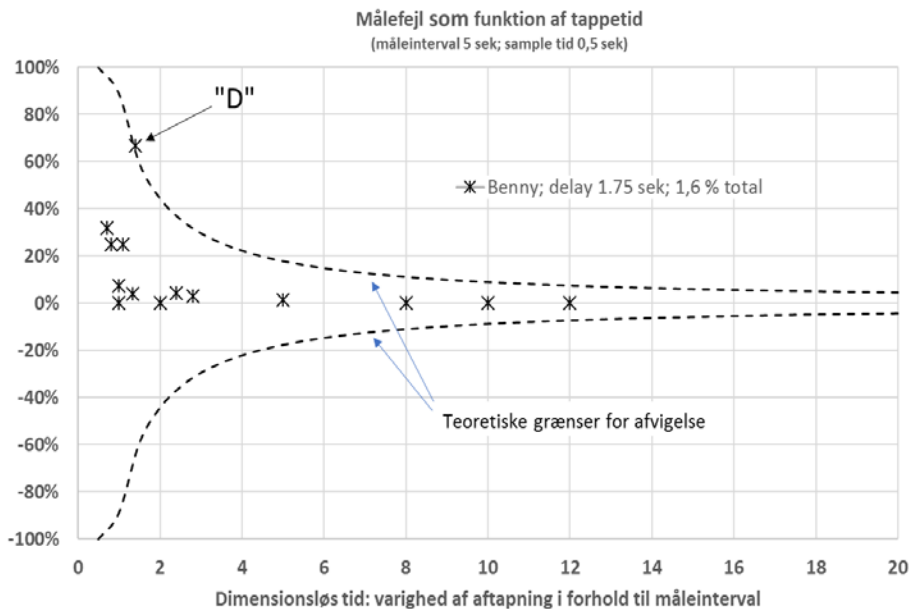
Figur 4 viser resultatet af beregningerne ved et måleinterval på 3 sekunder og med sampletid på 0,5 sekunder.



Figur 4 Målefejl for "Benny" med interval på 3 sekunder. Samlet beregnet fejl er 0,7 %.

Figur 4 og 5 viser Bennys aftapninger sammen med de teoretiske grænser for den simulerede måler. Der er anvendt en tilfældig tidsforskydning i forhold til målerens faste intervaller. Ved en anden tidsforskydning vil punkterne ligge anderledes. Ud fra en betragtning over en meget lang periode med tilstrækkelig stort antal aftapninger, må det forventes, at der opstår en normalfordeling med middelværdi på 0%. Effekten af soft close eller hard close er her ikke medtaget.

På figur 5 har den kortvarige aftapning i forbindelse med skylning af tallerken lagt sig højt. Dette skyldes, at denne netop er placeret værst muligt i forhold til målerens timing. Se figur 3 nederste kurve.



Figur 5 Målefejl for "Benny" med interval på 5 sekunder. Samlet beregnede fejl er 1,6 %.

Uanset måleperiode indikerer simuleringerne, at der ved aftapninger på mindre end 2 måleperioder er en vis følsomhed på målefejlene. Taget i betragtning af, at der er mange kortvarige aftapninger i Bennys dagligdag, må det også forventes, at den reelle målefejl vil kunne variere fra dag til dag.

Ved et tilstrækkeligt højt antal aftapninger fordelt tilfældigt bør det dog formodes, at den samlede fejl nærmer sig nul.

I rapporten *Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre* anvendte man aftapningstider på 10 sekunder til 300 sekunder. I rapportens tabel 1 ud for magnetisk induktiv måler fremgår, at der er målt en -8% fejl ved 900 l/h og 10 sekunders aftapning. 10 sekunder svarer til dimensionsløse tid på hhv. 3,3 (figur 4) og 2 (figur 5). Den faktiske driftsalgoritme for den testede flowmåler kendes ikke. Ud fra figur 3 og 5 er den konstaterede -8% fejl ikke urealistisk.

Konklusion

De teoretisk fastlagte målefejl er baseret på virtuelle målere, hvor der ikke er taget højde for dynamik, slid, installationsforhold og lignende. De beregnede målefejl kan derfor ikke overføres direkte til installationer. Formålet med undersøgelsen har ikke været at fastlægge måleafvigelse men at identificere de forhold, som vanskeliggør karakterisering af fejl ved dynamisk aftapning.

Via et tænkt forbrugsmønster for en tilfældig person har vi illustreret, at forbrugeradfærd kan have en stor betydning for målefejlen. Anvendelse af armaturer med elektromekaniske lukninger kan i teorien vise sig at betyde en højere vandregning end ved anvendelse af et langsomt drejeregreb. Ligeledes vil forsøg på at spare på vandet gennem korte aftapninger ligeledes kunne have den utilsigtede konsekvens, at forbrugerens målinger kan være afvigende i forhold til det faktiske forbrug.

Test af flomåleres afvigelser grundet dynamisk aftapning er traditionelt defineret ud fra faste tidsintervaller, faste flow rater men kun delvist specificerede lukketider. Dette kendes fra "fast response metering" som defineret via standarden EN 1334. Lignende undersøgelser af "step response" tager ligeledes udgangspunkt i en fastlagt aftapningsprofil med definerede intervaller. Reelt vil resultaterne af sådanne målinger være udfordrende at konkludere på, idet parametre såsom lukketider, intervaller, tidsforskydning og aftapningsvolumener i sig selv kan have en påvirkning af resultaterne. En realistisk test af dynamiske aftapninger skal således tage højde for varierende lukketider og intervaller (pause imellem aftapninger) og bestå af et tilstrækkeligt stort antal målinger.

Beregninger viser, at målefejlen på årstotalen må forventes at være lav sammenlignet med de teoretisk maksimale afvigelser. Simuleringen understøtter således konklusionen fra rapporten *Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre*, som angiver, at *et almindeligt varierende forbrug ikke giver anledning til betydelige målefejl i private husstandsinstallationer.*

Fremtidsudsigter

Der er på europæisk plan fremsendt en projektansøgning til EMPIR (SRT-i13) vedrørende indsamling af aftapningsprofiler og systematisere disse, således at det fremadrettet bliver muligt at evaluere på målerens nøjagtighed under dynamisk aftapning. Et af dette EMPIR projekts udfordringer bliver at sikre, at forbrugeradfærd og testmetode indgår på en sådan måde, at målinger kan reproducere. FORCE Technology og Teknologisk Institut er begge med i projektet. FORCE Technology er valgt som delprojektleder på indsamling og systematisering af data fra virkelige installationer samt etablering af måleopstillinger til simulering af usikkerheder ved anvendelse af mere realistiske aftapningsprofiler.

Kontaktpersoner

- Erik Jensen, erje@force.dk
- Johan Bunde Kondrup, jbko@force.dk