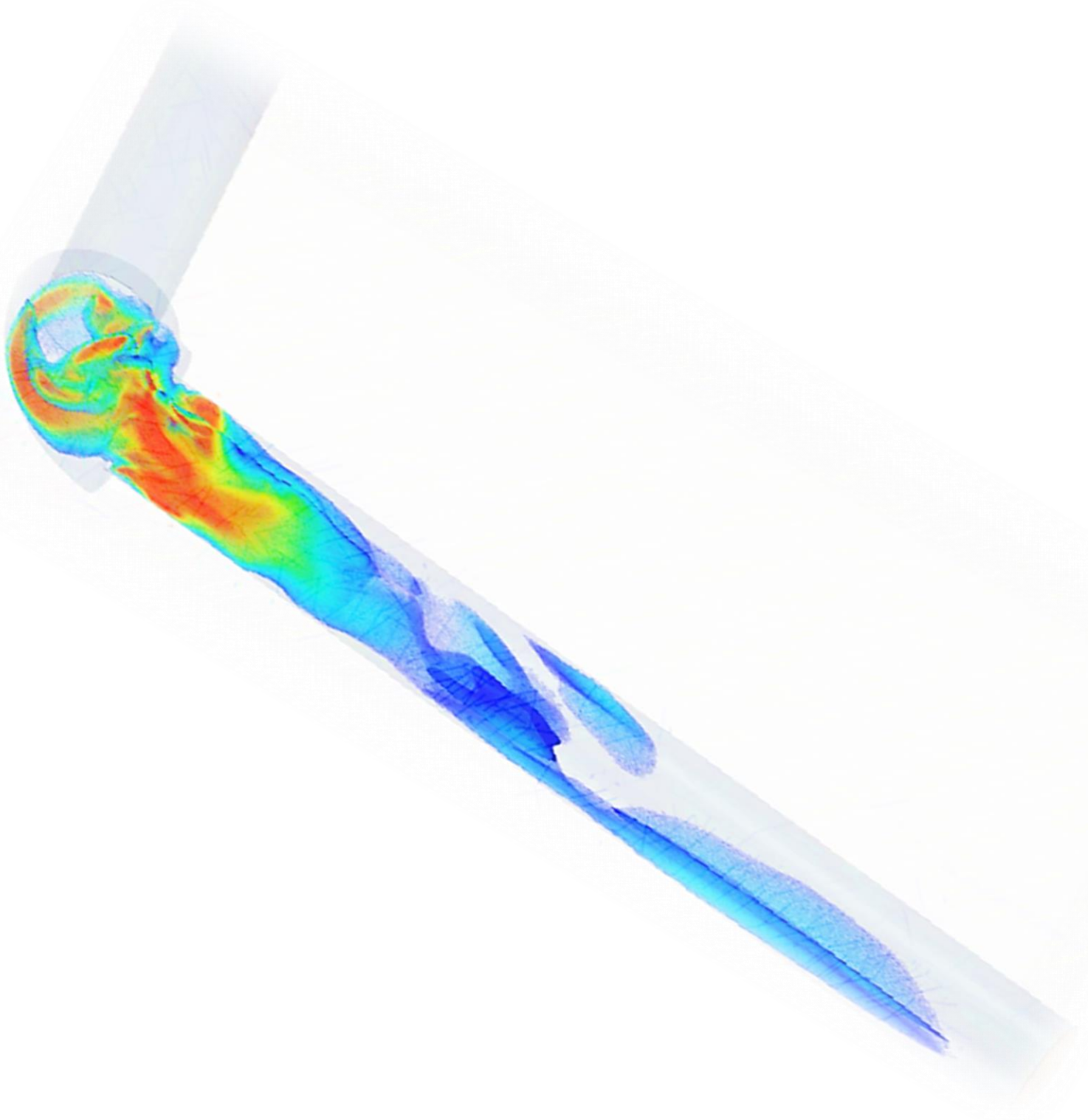


Installationsforhold og dynamisk aftapning

Afsluttende rapport for Flowcenter Danmark projekter i perioden 2016-2018

Af Erik Jensen og Johan Bunde Kondrup, FORCE Technology



Indhold

Sammenfatning	4
Abstract	4
1 Introduktion.....	6
1.1 Afgrænsning.....	6
1.2 Lovkrav – måleusikkerhed	7
2 Installationsforhold	9
2.1 Typeprøvning.....	9
2.1.1 Vandmåler	10
2.1.2 Varmemåler (flowdel).....	10
2.2 Anbefalede installationsforhold (forskrifter)	11
2.2.1 Koldt vand (brugsvand).....	12
2.2.2 Varmt vand (fjernvarme)	13
2.2.3 Fjernvarme units.....	14
2.2.4 Stikledninger.....	15
2.3 Virkelige installationer (Danmark).....	16
2.3.1 Karakterisering af installationer	16
2.3.2 Anvendte typer af flowmålere i Danmark (ud fra indsamlede billeder)	17
2.3.3 Data for brugsvands målere (koldt vand) baseret på indsamlede billeder	18
2.3.4 Data for varmt vands målere (fjernvarme) baseret på indsamlede billeder.....	21
2.3.5 Karakterisering af installationsforhold ved gruppering.....	22
3 Stationære installationsforhold – påvirkning af flow	25
3.1 Typisk anvendt rør fittings og påvirkning af nedstrøms flow profil	25
3.2 Eksempel på vinkler udført med glatte rør og støbte fittings	26
3.2.1 CFD beregning af støbte fittings – del I	26
3.2.2 CFD beregning af støbte fittings – del II	29
3.3 Virkelige rør, belægninger og tilstopninger.....	30
3.3.1 Korrosion	30
3.3.2 Partikler	31
3.4 Opsummering.....	Error! Bookmark not defined.
4 Dynamiske installationsforhold	32
4.1 Dynamisk aftapning	32
4.1.1 Måleprogrammer	33
4.2 Simulering af dynamisk påvirkning.....	34

4.2.1	Model for vingehjulsmåler	34
4.2.2	Model for elektronisk måler	36
4.2.3	Opsummering	38
5	Uddrag fra tidligere undersøgelser	39
5.1	Virkelighedsnære forhold for målertests, PTB	39
5.2	Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre, FCDK	39
5.3	Test af varmeenergimålere, DECC	39
6	Laboratorietest	40
6.1	Statiske installationsforhold	40
6.1.1	Rørføring	40
6.1.2	Delvist blokeret indløb	44
6.1.3	Test med faktiske installationstype.	46
6.2	Dynamisk aftapning	48
6.2.1	Etablering af dynamisk aftapning	48
6.3	Opsummering – er der noget vi kan lære?	52
7	Bibliografi	53
Bilag 1.	Beskrivelse af installation ved kodning	54
	Karakterisering/gruppering af installationsforhold	56
Bilag 2.	Beskrivelse af en tappeprofil	61
	Beskrivelse af dagligdagen	61
	Tappesekvens	62

Sammenfatning

Flowcenter Danmark har i projektperioden 2016-2018 undersøgt installationsforhold og dynamiske forbrugsmønstres indvirkning på målerresultater for husstands vand- og varmeenergimålere.

Der er foretaget en systematisk gennemgang af virkelige installationer. Denne gennemgang viser at det ofte ikke er muligt at følge installationsvejledningerne grundet begrænsninger i de fysiske forhold. De etablerede måleinstallationer viser sig at være af en opbygning, hvor der kan være forventes at være betydende flowforstyrrelser.

De hyppigst forekomne indløbsforhold inklusive rør med fremtræden korrosionsbelægning er genskabt i laboratoriet med tilfældigt udvalgte fabrikater og måleprincipper. Ingen af de afprøvede installationsforhold og målere udviste målefejl drift tolerancer (MPES).

Projektet har, på baggrund af observationer, generet en referenceprofil til at gengive et variabelt forbrugsmønster. Formålet med at skabe en ny profil var at teste måleren i de mest ekstreme brugsbetingelser, men stadig genskabe en realistisk belastning. Test af dette referenceprofil op imod de udvalgte målere og udvalgte indløbsforhold viser at indløbsforholdene ikke har signifikant betydning for målefejlene men at det dynamiske forbrugsmønster kan medføre målefejl på over MPES. Set over et helt år forbrug er der med det valgte simulerede forbrugsmønster ikke konstateret at nogle af de testede målere vil overskride MPES på årsbasis.

Der blev testet vingehjulsmålere, ringstempelmålere og ultralydsmålere af forskellige fabrikat. Vingehjulsmålerne overskred MPES ved dynamisk belastning.

Der er etableret et europæisk metrologiprojekt (EMPIR, MetroWaMet), der i perioden 2018-2020 vil gennemføre en undersøgelse af dynamiske forbrugsmønstres indvirkning på forbrugsafmåling og som forventes at etablere en vejledning i et testscenarie for at afdække målefejl ved dynamisk aftapning allerede ved testene i forbindelse med typegodkendelsen. Resultaterne af Flowcenter Danmark projektet er medtaget som udgangspunkt for dette europæiske projekt.

Abstract

In the project period from 2016 – 2018, *Flowcenter Danmark (FCDK)* have examined the effects of installations and dynamic load changes on the measurement of domestic water and heat metering.

A systematic analysis of real-world installation has been carried out. The analysis show that it is often not possible to follow installation directions due to limited physical installation spaces. Actual installations indicate that significant flow disturbances must be assumed to be present.

The most reoccurring types of installations have been recreated in the lab, together with tests of pipes with significant corrosion build-ups. Meters tested with these inlets showed no error that surpassed the tolerances while in use (MPES).

A reference load profile has been created. The aim of creating a new profile was to test the meters in the most extreme situations, but still be within a realistic usage pattern/load. The load profile was tested against the chosen meter types, and with the installation inlets mentioned earlier. Again, the installation effects showed to have little to no effect on the metering error. The dynamic load did affect the error, in that at some load changes the error did exceeded the MPES. Taking the yearly average usage into account, the simulated flow pattern did not find grounds to believe that the MPES would be exceeded.

The test included impeller meters, ring piston meters and ultrasonic meters made by different fabricators. In the dynamic load test, the impeller meters exceeded the MPES at certain flow ranges.

In 2018 a new European metrology project (EMPIR, MetroWaMet) was initiated, with the goal to examine, among other things, the effects of dynamic load changes on metering accuracy. The EMPIR project aims to develop the scenarios at which domestic meters are tested when being type approved. The results from this FCDK project will be included in the work of the EMPIR project.

1 Introduktion

Uddannelses- og Forskningsministeriet, Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte, har i perioden 2016-2018 tildelt støttemidler til aktiviteten *Flowcenter Danmark & Praksisnær metrologiudvikling*.

Flowcenter Danmark (FCDK) påtager sig en væsentlig public servicefunktion med formidling af metrologisk viden til alle interessenter (forbrugere, forsyningsselskaber, producenter, myndigheder, universiteter m.fl.).

Et særligt fokusområde i branchen er korrekt måling og afregning. Det er afgørende for forbrugernes tillid, at målinger og afregning er retvisende. Det er ligeledes værdifuldt for de danske udstyrsproducenter og deres mange underleverandører at have kendskab til hvorledes korrekt måling og afregning sikres. Aktiviteten omfatter derfor gennemførelse af to udviklingsprojekter med arbejdstitlerne *Den specifikke installation af flowmålere* samt *Dynamiske aftapningsforhold*.

Det har vist sig at være fordelagtigt at kombinere disse projekter til et fælles projekt med titlen *Installationsforhold og dynamisk aftapning*, da der er en stor grad af sammenfald imellem delaktiviteterne i disse projekter.

Denne rapport sammenfatter de aktiviteter, som er gennemført under projektet samt hvilke generelle observationer og konklusioner som vurderes at kunne uddrages af dette 3-årige forløb.

Er særlig tak skal gå til følgende virksomheder og de ansatte der har bidraget med indhold eller feedback til dette projekt:

- Aarhus Vand A/S
- DIN Forsyning A/S
- Foreningen af Vandværker i Danmark
- HOFOR A/S
- Vandcenter Syd A/S
- Sikkerhedsstyrelsen
- TREFOR Vand og TREFOR Varme
- NEXT/TEC, Glostrup
- Fyns Fjernvarme A/S
- Erhvervsakademi Sjælland, Slagelse

1.1 Afgrænsning

Det er valgt at foretage en afgrænsning i projektets aktiviteter for at sikre størst muligt udbytte af aktiviteten.

Den specifikke installation af en flowmåler kan påvirke målenøjagtigheden. Der findes mange eksempler på betydende forskelle imellem en måling foretaget lige efter en rørvinkel på 90 grader sammenlignet med en måling, der er foretaget længere nedstrøms.

Området har stor interesse for målgruppen som har efterspurgt en systematisk og uvildig afdækning af, hvordan specifikke installationsforhold påvirker målenøjagtigheden. Test under typegodkendelsesforløbet anvender op til to standardiserede flowobstruktioner som hver resulterer i en karakteristisk strømning. Ved overholdelse af specificerede måleusikkerheder under typetest er det formodningen at måleren i en virkelige fysisk installation vil overholde den maksimalt tilladte afvigelse under drift (MPES).

I dette projekt er det valgt at tage udgangspunkt i om en måler i en faktisk dansk installation kan forventes at overholde MPES. Det er kendt at en måler vil, afhængigt af måleinstallationen og den tekniske opbygning, udvise en fejl, men det interessante er om denne er betydende i forhold til MPES.

Det er kendt at mekaniske målere, efter at for eksempel en vandhane lukkes, fortsat kan vise et vandforbrug. Dette er også kendt under betegnelse *efterløb*. Den måde aftapningen foregår på kan derfor påvirke målenøjagtigheden. Mange små aftapninger kan måske give efterløb og dermed forhøje årets afregning, så forbrugeren ender med at betale en merpris for det samme volumen. Der findes imidlertid meget begrænset viden omkring, hvordan målenøjagtigheden påvirkes af forskellige aftapningsforhold.

Målgruppen har stor interesse i området og fremsat ønsker om gennemførelse af en nærmere undersøgelse af sammenhængen mellem dynamiske aftapningsforhold og årets afregning.

Projektet er afgrænset til at fokusere på forenklede aftapningsstrategier og primært mindre installationer, hvor det er sjældent at der aftappes vand på flere steder samtidigt og derigennem udglatter variationen i vandstrømmen.

De små målere er kendetegnet ved at have en flowpåvirkende konstruktion i form af ting såsom indbygget si, flowstraightner eller et indløbsforhold som er relativt langt i forhold til diameteren. Afregning på basis af disse målere sker primært imellem privatpersoner og forsyningsselskaber – det vil sige en situation, hvor kun den ene part formodes at have en teknisk viden om installationen.

Større målere er derimod kendetegnet ved at være "full bore" – det vil sige at de forstyrrer flowet mindst muligt. Anvendelsen af de større målere står oftere imellem forsyningsselskaber og boligselskaber/firmaer, hvor det må formodes at disse vil have muligheden for at tilegne sig tilstrækkeligt med teknisk viden om målerinstallationer til at vurdere nøjagtigheden af en måling.

Fejlvisning for større målere (full bore) som følge af installationsforhold har været emne i utallige videnskabelige rapporter og undersøgelser, da disse kan generaliseres og er mere enkle at modellere ved simulering. De små måleres følsomhed overfor installationsforhold lader sig ikke forenkle til samme niveau.

Problemstillingerne vedrørende installationsforhold og dynamisk aftapning er gældende for både vandforsyning og varmforsyning. For sidstnævnte gælder at de dynamiske effekter også omfatter variationer i vandtemperaturen og tidsforsinkelsen i en varmekreds. Det er valgt at foretage en afgrænsning til at fokus er på måling af vandmængden og ikke målefejl grundet afvigende temperaturforskelle i fremløb og returløb i en fjernvarmeinstallation.

Som en yderligere afgrænsning er det valgt at fokusere på mindre vandmålere til husstande, da disse udgør den største del af de fiskale vandmålere i Danmark og er kendetegnet ved at brugeren ikke har den faglige tekniske viden til at vurdere om en måling er troværdig eller ej.

1.2 Lovkrav – måleusikkerhed

EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2004/22/EF af 31. marts 2004 om måleinstrumenter – i daglig tale MI-direktivet eller MID – fastlægger at måleinstrumenter til afregning af vand og fjernvarme skal typegodkendes i henhold til fastlagte procedurer.

Fælles for måler er at disse skal være angivet med data således at brugeren hurtigt kan se den nominelle flowrate, maksimalt tilladelig flowrate og mindste flowrate. Tabel 1 viser sammenhængen imellem varmemålere, vandmålere iht. ny standard og gammel notation.

Tabel 1 Angivelses af flowområder for måler

Beskrivelse	Varmemåler	Vandmåler, ny.	Vandmåler, gl.
Maksimal kortvarig flowrate	Q_s	$Q_4 (1,25 \cdot Q_3)$	$Q_{\max} (2 \cdot Q_n)$
Maksimal flowrate for kontinuerlig drift	Q_p (nominel)	Q_3 (nominel)	Q_n
Mindste flowrate for bedste nøjagtighed	Q_2	$Q_2 (1,6 \cdot Q_1)$	Q_t
Mindste flowrate (MID godkendelse)	Q_i (defineret i forhold til Q_p)	Q_1 (defineret i forhold til Q_3)	$Q_{\min}$
Dynamikområde	n/a	$R (=Q_3/Q_1)$	Klasse A, B, C *)

*) klasse A = R40; klasse B = R80, klasse C = R160

For vandmålere gælder at nøjagtigheden ved koldt vand skal være bedre end 2 % og 3 % ved varmt vand (> 30 °C) såfremt flowraten er større end Q_2 . Under Q_2 er kravet maksimalt 5 %. Dette krav gælder for alle installationsforhold under typetesten hvilket også omfatter de flowforstyrrelser, som er foreskrevet anvendt under testen.

For varmemåleres flowmåleenhed er der tilsvarende krav på at usikkerheden i % skal være under 5 % samt opfylde et klassebestemt krav – for eksempel klasse 2: fejl $\leq 2 + 0,02 Q_p/Q$, hvor Q_p er flowraten hvor flowmåleenheden kan operere kontinuerligt. Dette krav gælder for alle installationsforhold under typetesten hvilket også omfatter de flowforstyrrelser, som er foreskrevet anvendt under testen.

Det acceptable niveau for måleusikkerhed er således maksimalt 5 % og ved maksimalt flow 2,02 % (kl 2). Toleranceforløbet for en vandmåler er stepvis, hvorimod for en varmemåler en lineær ændring i forhold til nominelt maksimum.

I den faktiske installation foreskriver BEK nr. 582 af 28/05/2018 *Bekendtgørelse om anvendelse af måleinstrumenter til måling af forbrug af vand, gas, el eller varme at brugstolerancen er lig med det dobbelte af den tolerance, der var gældende, da måleinstrumentet blev bragt i omsætning* (MPES). En flowmåler til vand kan derfor betragtes som værende tilstrækkelig god, hvis den har en målenøjagtighed i en installation på 4 % (10 % ved lave flowrater).

BEK nr. 582 af 28/05/2018 *Bekendtgørelse om anvendelse af måleinstrumenter til måling af forbrug af vand, gas, el eller varme* skriver ligeledes at reverifikation skal bekræfte(r), at et måleinstrument i brug opfylder forskriftsmæssige krav og opfylder samme nøjagtighedskrav i det aktuelle brugsområde, som var gældende, da måleinstrumentet blev bragt i omsætning. En ældre flowmåler udtaget af dets installation og testet i et laboratorium skal fortsat overholde de tolerancer, som var gældende i forbindelse med typegodkendelsen.

Dette projekt omhandler den faktiske installation under anvendelse hvorfor der i dette projekt tages udgangspunkt i MPES værdierne, da dette er den juridiske indikator for om en måler viser korrekt i en fysisk installation.

2 Installationsforhold

Overordnet set vil installationsforholdene variere meget for den enkelte type af måler. Nogle steder er der gode installationsforhold med lange lige rene rør. Andre installationer er kendetegnet ved at være nærmest en teknisk *kunstart* i at få indløbet af målestrækningen og udløbet af samme til at passe til de koblingspunkter, som bygningens installationer er etableret med.

Under typeprøvning og reverifikation vil måleren ligeledes være monteret i pæne rørstykker og med standardiserede flowforstyrrelser for at sikre repeterbarhed imellem akkrediterede institutter. Det vil være om end ikke umuligt at etablere en fysisk installation som testopstilling og samtidigt anvende resultatet til at skulle gælde alle flowmåler installationer.

For at kunne vurdere sammenhængen imellem de virkelige installationer og testopstillingen til typeprøvning har projektet derfor igangsat en indhentning af billeder af virkelige installationer og lavet en statistisk sammenskrivning af resultatet i form af gruppering i de typer af flow, som typeprøvningen foreskriver som testgrundlag.

Afsnit 2.1, 2.2 og 2.3 er en beskrivelse af de ideelle installationer i form af opstilling ved typegodkendelse og efter måletekniske forskrifter fra forsyningsselskaberne.

Afsnit 2.4 beskriver indhentede billeder samt databehandlingen frem til opdeling i de tre hovedgrupper som svarer til de tre grupper af flowprofiler som testes under typetestene.

2.1 Typeprøvning

Typeprøvning af flowmålere har som formål at sikre at det tekniske design er af sådan en beskaffenhed at det med rimelighed kan forventes at en serieproduceret måler ud fra samme design også vil kunne overholde kravene i MID. MID godkendelsen af en måler omfatter foruden godkendte resultater fra prøvningerne også periodisk audit på kvalitetssystemerne i godkendelsesperioden. Kombineret med at den enkelte producerede flowmåler ligeledes testes inden den forlader producenten udgør dette basis for at forvente at en flowmåler overholder kravene for at måtte anvendes som afregningsmåler.

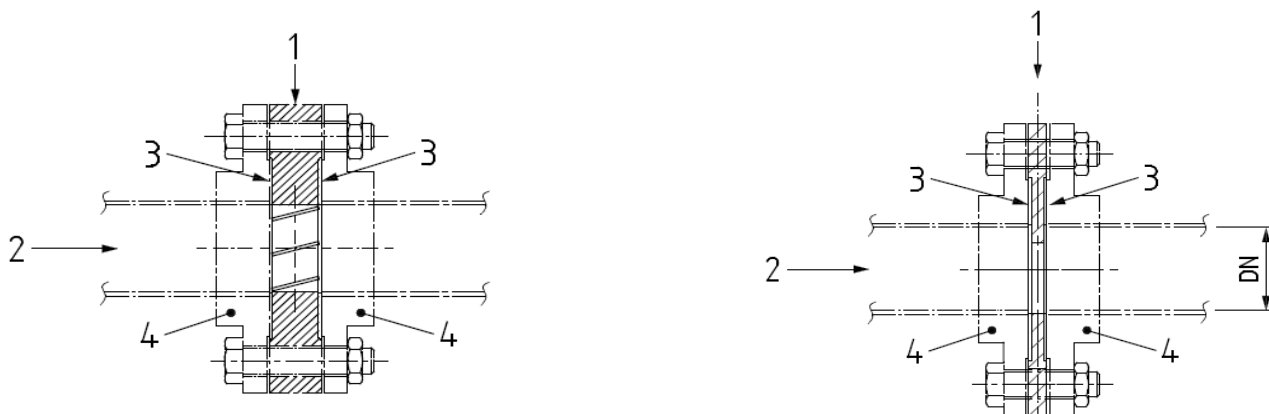
Fælles for testene er at disse foretages i et kontrolleret miljø, hvilket omfatter rene og glatte rør af hensyn til reproducerbarheden.

For at dokumenterer stabiliteten imod flowforstyrrelser og dynamiske forhold er der i DS EN 14451 og DS EN 1434 angivet hvilke tests, der som hovedregel skal gennemføres under anvendelse af specielle fittings. Figur 1 viser de to fysiske varianter.

Til venstre på figur 1 er en hvirvelgenerator. Flowet nedstrøms for en denne skal simulere roterende strømninger, som kan forekomme efter flere rørvinkler efter hinanden eller hvor et rør på grund af korrosion eller tilkalkning har fået reduceret tværsnittet og hvor gennemstrømningen ligger i den ene side af røret.

Til højre på figur 1 er vist en delvis obstruktion, hvor en lille del af gennemstrømningsarealet er blokeret (cirka 12 % af arealet). Denne type flowforstyrrelse kan betegnes som asymmetrisk og fremkommer når flowet udsættes for en symmetrisk delvis blokering. Dette kan være en rørvinkel, delvist lukket ventil eller filter (hvirvelgenerator betragtes i denne sammenhæng ikke som symmetrisk, selv om den til en grad kan betragtes som rotationssymmetrisk).

Fælles er at testopstillingen skal sikre fuldt udviklet flow lige før obstruktionen.



Figur 1 Flowforstyrrelser ifj. OIML R-49-2. Venstre: roterende strømning, højre: delvist afspærret rørtværsnit.

2.1.1 Vandmåler

Vandmålere testes i henhold til DS/EN 14154.

Der skal testes for roterende strømning både med og imod uret. Herforuden skal der tests for den delvise blokering. Der foretages kun test ved Q_3 .

Da der skal testes for flowforstyrrelse opstrøms, så vil en måler beregnet til flowmåling i begge retninger skulle gennemføre 6 tests.

Der er i standarden angivet muligheden for at undlade en eller flere af disse tests såfremt det af den typegodkendende part vurderes at målerens konstruktion historisk betragtet må formodes ikke at være påvirkelig af flowforstyrrelsen.

2.1.2 Varmemåler (flowdel)

Flowmåledelen af en varmemåler testes i henhold til DS/EN 1434.

Her testes der kun for en roterende strømning både med uret. Der testes ikke for delvist blokeret indløb som for vandmålerne.

Der er i standarden angivet muligheden for at undlade denne tests for klasse 2 og klasse 3 målere, såfremt den opfylder visse krav til dynamikområde og et mindste flowhastighed.

For varmemålere findes der betegnelsen "fast response meter" for målere med $Q_p \leq 2,5 \text{ m}^3/\text{t}$. Målere af denne type skal testes for dynamisk aftapning i form af en test. Denne består af 10 til 15 sekvenser beskrevet som 10 sekunder ved Q_s og 30 sekunder ved $0 \text{ m}^3/\text{t}$. Kravet er her at steptiden skal være $(1 \pm 0,2) \text{ s}$.

2.2 Anbefalede installationsforhold (forskrifter)

For at sikre adgangsforhold og brugbar installation findes der for (næsten) alle forsyningsselskaber et reglement eller forskrift som beskriver kravene til installationerne for vandmåler og/eller fjernvarmemåler. For ældre huse vil der typisk ikke være ideelle forhold for vandmålerne men etableret noget lignende med specielle rørføringer for at kunne give vandmålerne indløbs- og udløbsforhold som påkrævet i henhold til MID godkendelsen.

Normen for vandinstallationer DS 439 angiver hvorledes en vandmåler skal installeres.

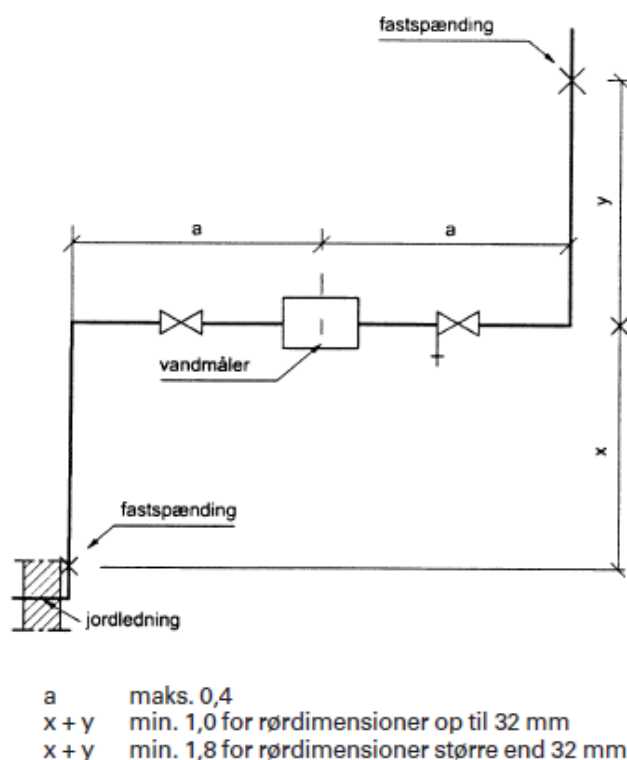
Bygningsreglementet omfatter kun de overordnede regler. Derfor er der udgivet vejledninger såsom *Er der plads nok? Disponering af parcelhusets VVS-installationer. En vejledning for arkitekter og VVS-installatører*, TI, 2009 samt *"Opsætning af vandmålere"*, DVF-vejledning nr. 8 1994.

Fællestrækket er at de angiver, i forenklet form, kravet til lige rørstrækninger før og efter måleren. For DN50 angives denne information som 10 D. For mindre målere er længden angivet som en maksimal totallængde.

For varmemålere er der for hver varmtvandsleverandør udgivet en teknisk forskrift om hvorledes målere skal installeres. Disse omfatter ofte muligheden for at anvende standard præfabrikerede units som kan have nogle helt andre installationsforhold for flowmålingen. Afsnit 2.2.1 og 2.2.2 gennemgår i hovedtræk de anbefalede installationsforhold. Der henvises til de enkelte vand- og/eller varmforsyningers hjemmesider, vejledninger og normer for detaljeret information.

2.2.1 Koldt vand (brugsvand)

DS 439:2009 afsnit 3.2.5 angiver at installation i huse eller brønde aftales direkte med vandforsyningen. Det er ved gennemsyn af et antal hjemmesider for vandforsyninger konstateret, at der ikke for alle vandforsyninger forefindes en tilgængelig teknisk forskrift.

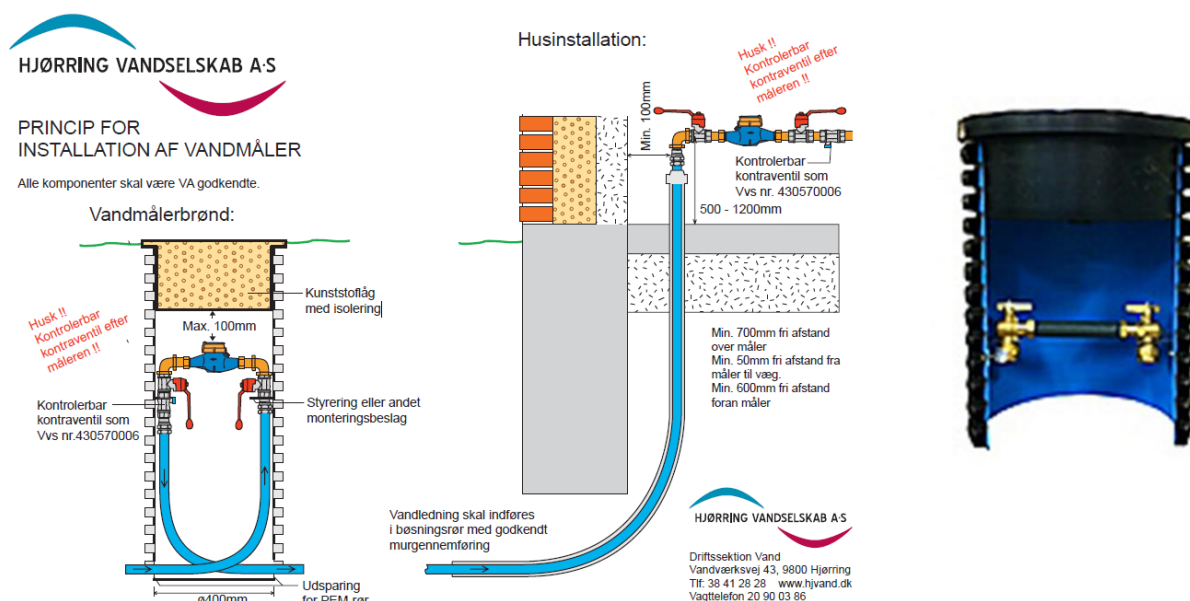


Figur 2 Vejledning i installationsforhold for en vandmåler jf. DS 439:2009, figur V 3.2.3.

DS 439 angiver at der ved målere på over DN50 skal være mindst 10D lige rørstrækninger før måleren. Dog må der godt forefindes ventiler eller lignende, såfremt disse ikke formodes at forstyrre vandets flowprofil. Venstre side af figur 2 viser illustrationen fra DS439:2009. Det angives at der maksimalt bør være 0,4 m ret rørstrækning før flowmåleren og at der indenfor denne strækning skal være afspærringsventiler som tillader udskiftning af flowmåleren.

Generelt illustreres vandmålerinstallationer som en enkelt konstruktion, hvilket ikke er i overensstemmelse med de virkelige installationer.

Figur 3 viser også montage i målebrønd, som også finder anvendelse. Der kan i dag købes færdige enheder, hvor kuglehanerne og rørbøjningerne er udskiftet med en kombineret kuglevinkelventil.



Figur 3 Eksempel fra Hjørring Vandselskab A/S. Til højre eksempel på standard målebrønd (Sanistål).

2.2.2 Varmt vand (fjernvarme)

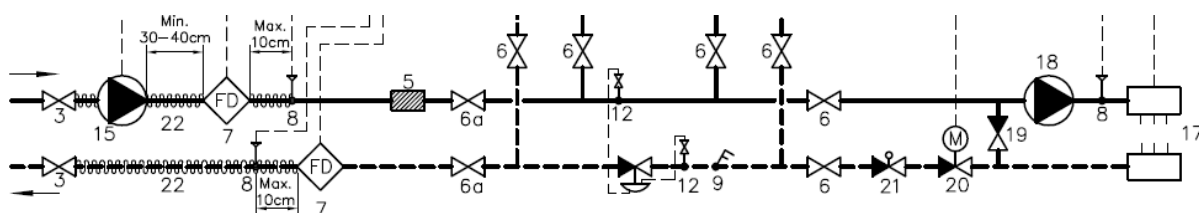
I forbindelse med analyse af installationsforhold og krav til disse er de tekniske forskrifter fra et antal fjernvarmeforsyningsselskaber som tilsammen forsyner mere end halvdelen af forbrugerne i Danmark (2015 data fra *Dansk Fjernvarme*). Boksen til højre viser hvilke forsyningsselskaber som er medtaget i undersøgelsen.

Generelt er fokus lagt på at specificere afstande imellem målesteder for temperatur og vandmængde. Den typiske specifikation er at temperaturen måles tæt på afspærringshanerne efter stikledningen og at flowmængder skal måles tæt på tilkobling – dog med den undtagelse af montering af flowmåleren i units er accepteret.

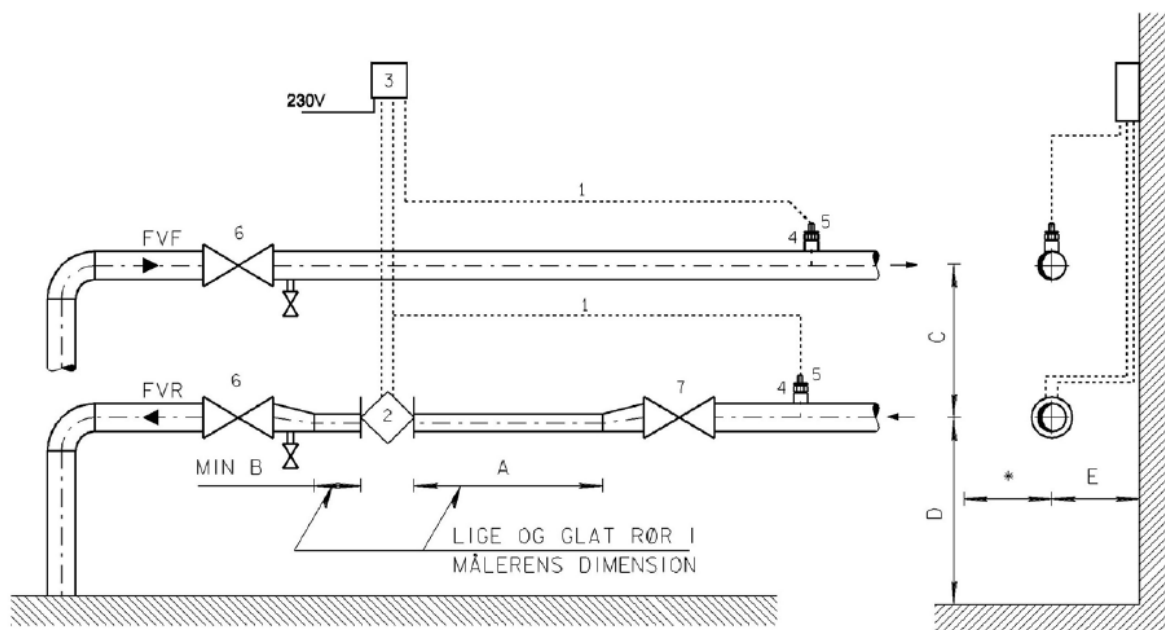
Måleinstallationen beskrives med indsættelse af et pasrør samt tilslutningsstørrelse.

VERDO angiver at der skal være 5D lige rørstrækning før flowmåleren. Aalborg angiver 4D før og efter. Aabenraa-Rødekro angiver 10D før og 4D efter, når der er tale om flowmålere Q_p på over 1.5 m³/h.

AFFALDVARME AARHUS
ENERGIMIDT - ENERGIGRUPPEN JYLLAND A/S
ESBJERG FORSYNING A/S
FJERNVARME FYN A/S
FREDERICA FJERNVARME A.M.B.A.
HJØRRING VARMEFORSYNING
HOFOR
IKAST VÆRKERNE VARME A/S
ROSKILDE VARME A/S
SILKEBORG FJERNVARME A/S
SKANDERBORG - HØRNING FJERNVARME A.M.B.A.
SKÆRBÆK FJERNVARME A.M.B.A.
SØNDERBORG FJERNVARME A.M.B.A.
TRE-FOR VARME A/S
VERDO VARME A/S
VESTFORSYNING VARME A/S
VIBORG FJERNVARME
AABENRAA-RØDEKRO FJERNVARME A.M.B.A.
AALBORG KOMMUNE



Figur 4 Illustration fra www.skaerbækfjernvarme.dk (2016)



* Fri plads foran måleren skal minimum være 600 mm.
Fri plads omkring måleren i øvrige retninger skal minimum være 300 mm.
Måler er Kamstrup type CD

Tabel 3 - Afstands krav

Målerstørrelse DN	A	B	C	D	C+D	E
≤ DN20	ingen	ingen	250	400	Maks. 1200	110
DN25 < måler ≤ DN50	Min. 5xDN	ingen	400	600	Maks. 1200	200
≥ DN65	Aftales med værket	Aftales med værket	Aftales med værket	Min. 600	Maks. 1200	Aftales med værket

1. Ledninger, leveres og monteres af VÆRKET
2. Flowmåler, leveres af VÆRKET og monteres af INSTALLATØREN
3. Energiregning, leveres og monteres af VÆRKET
4. Temperaturfølere, leveres og monteres af VÆRKET
5. Følerlommer, leveres af VÆRKET og monteres af INSTALLATØREN
6. Hovedhaner, leveres og monteres af VÆRKET
7. Afspærringshaner, leveres og installeres af INSTALLATØREN

Figur 5 Illustration fra teknisk forskrift ved Fors A/S.

Det er kun hos Skærbæk Fjernvarme at der er illustreret indsættelse af en pumpe før flowmåleren til at sikre systemtrykket hos forbrugeren, som illustreret på se figur 4.

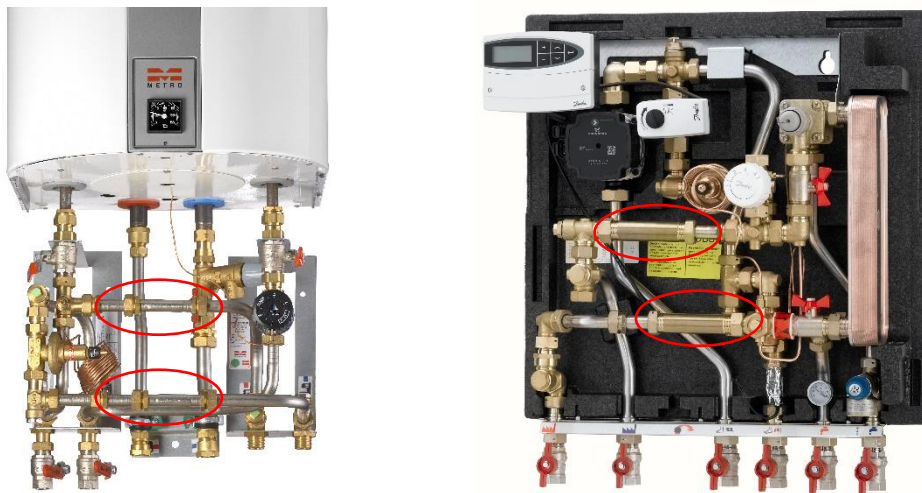
Figur 5 viser ududsnit af den tekniske forskrift for HOFOR. Ses på tekniske foreskrifter for flere forsyningselskaber, så er der en generel enighed om at der skal være rette rørstrækning før og efter støren. Der er således relativt vide grænser for den praktiske installation i hver hjem.

2.2.3 Fjernvarme units

Der findes på det danske marked et større antal forskellige fjernvarmeunits (*enhed*), som har til formål at forenkle installationen af fjernvarme. Forbrugeren skal i princippet kun sikre at der kobles de nødvendige tilgange og afgang på enheden. Kontrolventiler og styring er en del af enheden.

Fjernvarmeunits leveres med pasrør til eftermontering inde i enheden på enten frem eller returdelen.

Figur 6 viser nogle tilfældigt valgte illustrationer fra producenterens hjemmesider.

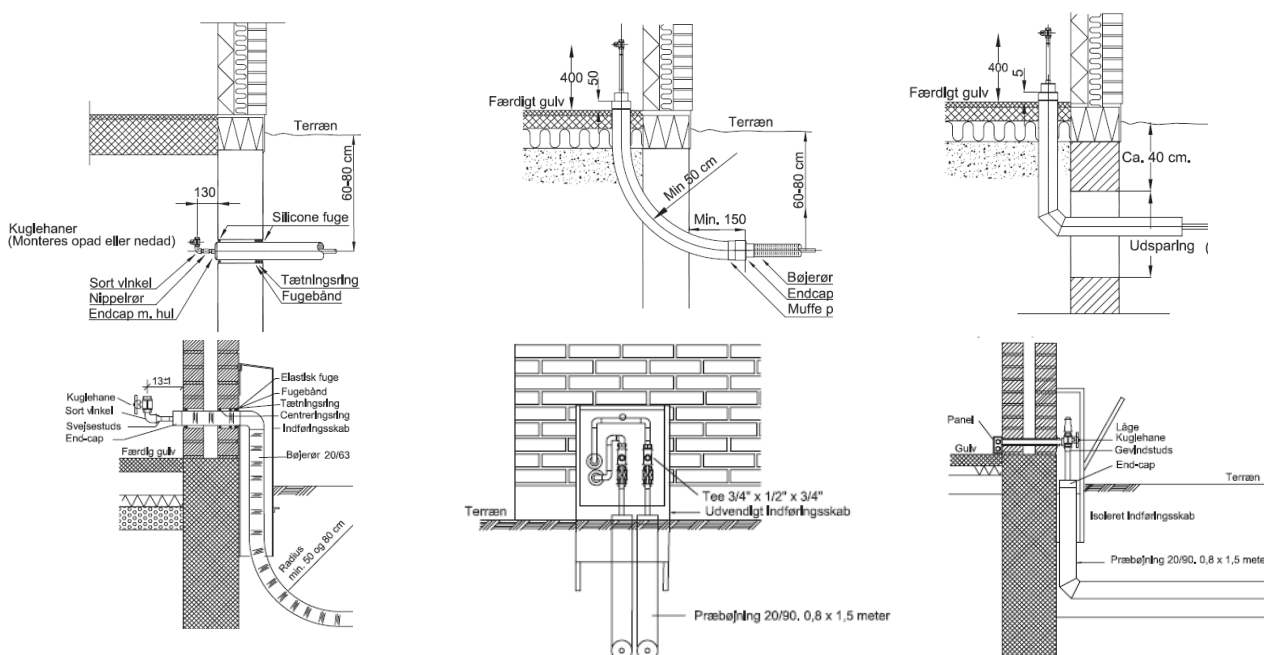


Figur 6 Eksempler på pasrør i fjernvarmeunits. Pasrør markeret med rød cirkel. Venstre side METRO System 1, type 6371. Højre side REDAN Akva Lux II.

Isolationskrav til units påvirker dog muligheden for anvendelsen af enheden som monteringssted for flowmåleren.

2.2.4 Stikledninger

Normalt er der kun adgang til at vurdere på rørforløbet fra stikledningens afslutning inde i/ved huset og nedstrøms for denne position. Figur 7 viser en mængde eksempler fra de tekniske bestemmelser fra FYNS FJERNVARME A/S.



Figur 7 Eksempler på stikrørsforbindelser

Da flowforstyrrelse fra en rørbøjning også afhænger af om der opstrøms for rørbøjningen har været en ikke-ideel hastighedsfordeling i vandet, så vil der kunne være en risiko for at stikledningens udformning i sig selv kan betragtes som en opstrøms flowforstyrrelse. Dette medtages dog ikke i fastlæggelse af testene men er medtaget som info.

2.3 Virkelige installationer (Danmark)

I forbindelse med etablering af flowmåling i rørsystemer som ikke er en del af præfabrikerede enheder, vil der være behov for at tilpasse rørene til de fysiske omgivelser. Der kan derfor forefindes et utal af varianter og dermed være et behov for at etablere et registreringssystem som tillader statistisk håndtering af data.

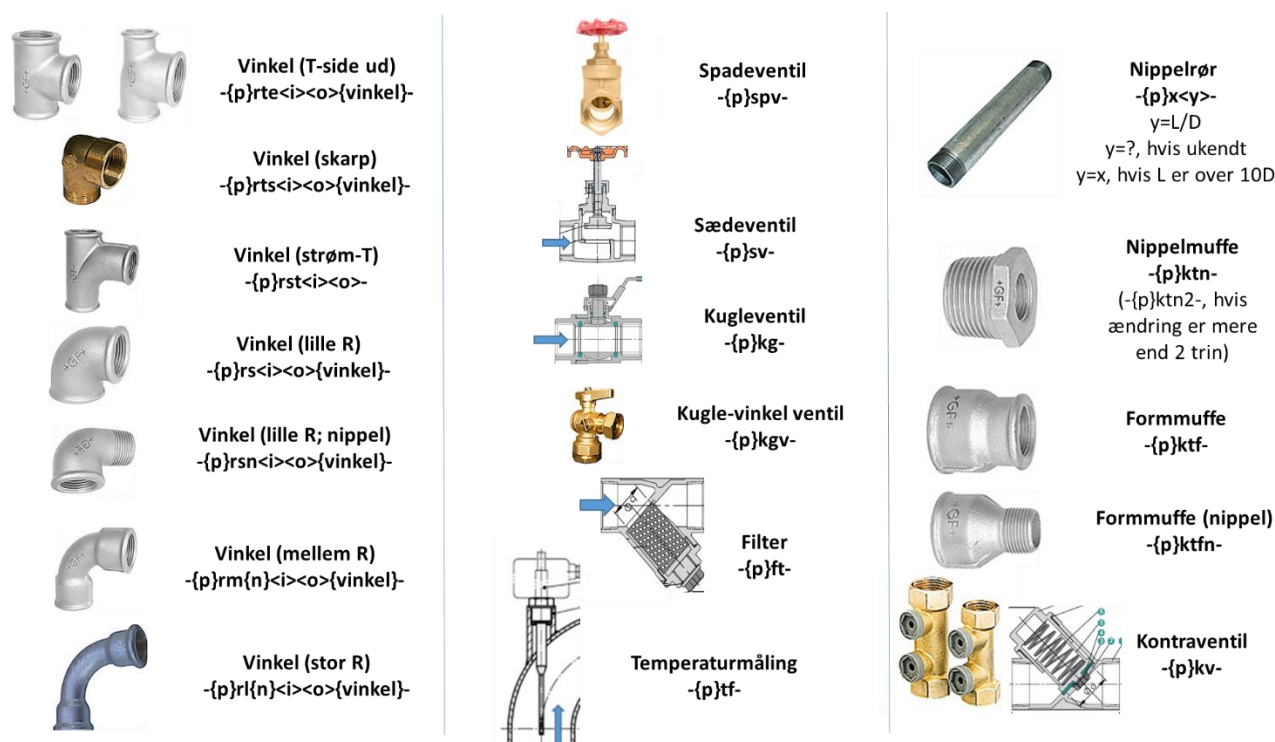
2.3.1 Karakterisering af installationer

For at tillade en systematisk kategorisering af måleinstallationer er der indført en nomenklatur til beskrivelse af installationsforholdene.



Figur 8 Nummerering af fittings i forhold til flowmåler

Der er ud fra billederne lavet en opsplnitning i mindst 4 opstrøms og 1 nedstrøms fittings. Nummereringen af disse fremgår af figur 8.



Figur 9 Fittings og anvendte koder. <i> betyder orientering af indløb. <o> betyder orientering af udløb.

Figur 9 viser en oversigt over nogle af de valgte fittings.

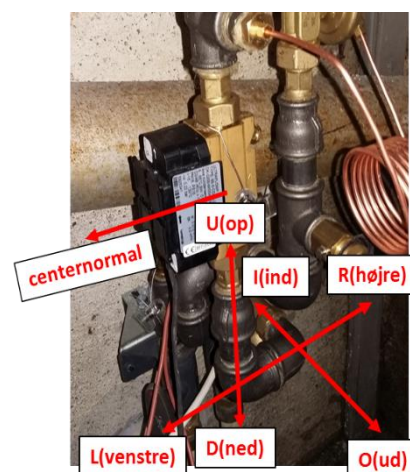
Navngivningen er en sammensat tekststreng af 5 elementer <montage type> <type af fitting> <orientering af indløb> <orientering af udløb>.

Montagetype angiver om der er tale om presfitting eller gevindfitting. I denne sammenhæng tages det som udtryk for om der er tale om "glatte rør" eller rørsamlinger med dimensionsovergange.

Bilag 1 giver en mere uddybende gennemgang af navngivningen.

Der er anvendt et større antal koder til beskrivelse af vinkler, da disse alt efter installation kan have en forskellig påvirkning af flowprofilet igennem flowmetret. Det er udelukkende valgt at se på opstrøms rørstykke i forhold til flowmetret, da denne del har langt den største betydning for hvorledes hastighedsprofilet ser ud ved indløbet til målepunktet.

Den indbyrdes orientering af fittings er ligeledes vigtigt. Er der for eksempel to vinkler monteret i en indbyrdes vinkel, så genereres en roterende strømning. Er de monteret i samme plan vil flow profilet kunne være ganske anderledes. Der er derfor indført en notation for den indbyrdes anvendte orientering på et billede. To billeder af samme installation taget med forskellige vinkler vil derfor kunne have forskellige koder selv om de beskriver samme opsætning.



Figur 10 Koder for geometrisk orientering

Da installationen på figur 10 ikke er tydelige med hensyn til opstrøms installation før den synlige første rørbøjning, så vil denne beskrives som **??-nrsol-x0-rslu-x1-ktf**, målerens data som **uliteralyd/L** og første nedstrøms fitting **tf**.

2.3.2 Anvendte typer af flowmålere i Danmark (ud fra indsamlede billeder)

Der anvendes forskellige typer af flowmålere i Danmark. Disse vil for testformål være opdelt i grupperingerne i tabel 2.

Tabel 2 Gængse målerprincipper benyttet til husstandsafregning i Danmark.

Gruppering	Beskrivelse og karakteristika
I. Vingehjul	Et mekanisk måleprincip, hvor mængden af vand opgøres via et paddel-/vingehjul placeret i væskestrømmen og hvor denne paddel/vinge ikke afspærrer rørtværsnittet. Fordelen er at de er billige og enkle. Ulempen er at deres visning er afhængig af slitage og ved spontan start/stop har en accelerationsperiode, hvor dette skal foretages ved vand-vinge friktion.
II. Volumentrisk	Et mekanisk måleprincip, hvor mængden af vand opgøres via små volumener afspærret af flytbare "vægge", som afspærrer rørtværsnittet og derigennem forhindrer flow uden bevægelse. <i>Hvirvelskive</i> og <i>Ringstempel</i> er to varianter. Fordelen er at de er billige og enkle. Ulempen er at deres visning er afhængig af slitage.

III. 1-dimensionel flow	Et elektronisk princip, hvor flowhastigheden over en tænkt linje imellem to punkter inde i måleren eller på en kendt position antages at repræsentere flowmængden i hele røret. Da flow er per definition 3-dimensionel, så er der en indbygget risiko for fejlmåling som følge af opstrøms flowforstyrrelser. Eksempel på målere er <i>uliteralysmålere</i> .
IV. 3-dimensionel flow	Et elektronisk princip, hvor flowhastigheden i en 3-dimensionel volumen bidrager til at generere et flowsignal. <i>Magnetisk induktiv</i> måler er af denne type. Da elektroderne i en <i>magnetisk induktiv</i> måler har en vis størrelse og at forudsætningen for korrekt visning er at disse ikke er tilsmudset forskelligt, så er denne type måler sensitiv overfor belægninger.

Indenfor hver gruppe er der et større antal producenter og modeller, som hver har deres mekanisk-fysisk udformning og derigennem forskellig respons på flowforstyrrelser. Nogle modeller – specielt små målere – er konstrueret således at de i sig selv har indbygget en flowforstyrrelse i indløbet til måleren og derigennem opnår muligheden for at "overdøve" eventuelle flowforstyrrelser inden måleren. Det er derfor ikke et mål at kunne fastlægge flowprofiler i alle strømningssituationer, da flowmåleren selv har et bidrag.

2.3.3 Data for brugsvands målere (koldt vand) baseret på indsamlede billeder

Der er fra HOFOR og Fyns Fjernvarme A/S modtaget billeder af 90 installationer. DIN Forsyning Esbjerg har ligeledes leveret et større antal data. LinkedIn indsamlingen har givet nogle få billeder.

Der er registreret 2651 installationer hvoraf 2353 er for brugsvand om med nedenstående fordeling imellem måletyper.

Uden yderligere dokumentation er det valgt at lige rørstrækninger mindre end 10 D ignoreres.

Resultatet for vandinstallationer ses på nedenstående tabel.

Tabel 3 Opgørelse for vandmålere – to første fittings opstrøms

1. fitting upstrøms	2. fitting upstrøms						
	TOTALT	Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
Vinkel	1455	420	98	728	4	195	10
Reduktion	319	149	8	135	7	19	1
Ventil	514	290	69	1	1	153	0
Filter	17	8	3	5	0	1	0
Ret rør	44	25	1	5	0	9	4
Andet	4	2	0	2	0	1	0

Lidt over halvdelen af installationerne er med en vinkel som første fitting. 1/3 af disse sidder nedstrøms for en anden vinkel. Halvdelen er nedstrøms for en ventil.

Fordeling imellem fittings på 3. niveau (alle lige rørstrækninger mindre end 10D ignoreres) ses på tabel 4. Under forudsætning af at "ventil" er en fuldt åben kuglehane er de 603 installationer karakteriseret ud fra et ret rør efterfulgt af en vinkel uden dimensionsovergang. Dette er tæt på installationen i målebrønde.

I mange tilfælde er rørføringen i en større dimension end måleren, hvorfor målerforskrningen er monteret i en nippelmuffe med dimensionsovergang. Ud fra tabellen er denne konfiguration observeret i 105 tilfælde forudsat at ventilen er fuldt åbent og uden diameter reduktion.

Kombinationen *vinkel-ventil-ret rør* udgør 603 ud af 2354 tilfælde svarende til ca. 26%. Denne kombination svarer til en brøndmontering men ikke begrænset udelukkende til disse. Figur 11 viser nogle af tilfældene.



Figur 11 Installationseksempler af typen "vinkel-ventil-ret rør"

Tabel 4 Opgørelse for vandmålere – tre første fittings opstrøms

1. fitting opstrøms	2. fitting opstrøms	3. fitting opstrøms					
		Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
Vinkel	Vinkel	72	23	166	0	156	3
	Reduktion	5	2	85	0	6	0
	Ventil	82	38	1	1	603	3
	Filter	1	0	3	0	0	0
	Ret rør	41	13	44	0	43	54
	Andet	3	1	2	0	4	0
Reduktion	Vinkel	33	8	87	0	18	3
	Reduktion	5	0	1	0	2	0
	Ventil	66	6	0	1	62	0
	Filter	6	0	1	0	0	0
	Ret rør	7	0	1	0	4	7
	Andet	0	0	1	0	0	0
Ventil	Vinkel	47	27	6	0	208	2
	Reduktion	30	3	0	0	36	0
	Ventil	0	1	0	0	0	0
	Filter	1	0	0	0	0	0
	Ret rør	10	1	0	0	13	129
	Andet	0	0	0	0	0	0
Filter	Vinkel	0	2	6	0	0	0
	Reduktion	2	0	1	0	0	0
	Ventil	1	0	0	0	4	0
	Filter	0	0	0	0	0	0
	Ret rør	0	0	0	0	0	1
	Andet	0	0	0	0	0	0
Ret rør	Vinkel	10	1	7	0	6	1
	Reduktion	1	0	0	0	0	0
	Ventil	2	1	0	0	2	0

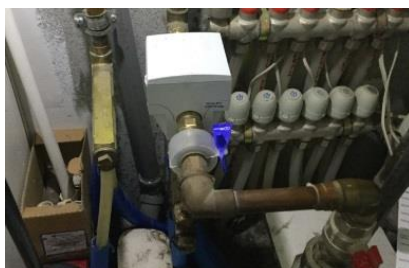
1. fitting opstrøms	2. fitting opstrøms	3. fitting opstrøms					
		Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
	Filter	0	0	0	0	0	0
	Ret rør	1	0	0	0	2	6
	Andet	0	0	0	0	0	4
Andet	Vinkel	1	0	0	0	1	0
	Reduktion	0	0	0	0	0	0
	Ventil	1	0	0	0	1	0
	Filter	0	0	0	0	0	0
	Ret rør	0	0	0	0	0	1
	Andet	0	0	0	0	0	0

Kombinationen *ventil-vinkel-ret rør*, som udgør 208 ud af det 2354 tilfælde svarende til ca. 9%, er vist med eksempler på figur 12. Betragtes kuglehanen som fuldt åbent, så er der sammenfald imellem disse.



Figur 12 Installationseksempler af typen "ventil-vinkel-ret rør"

Kombinationen *vinkel-vinkel-...*, som udgør 420 ud af det 2354 tilfælde svarende til ca. 18%, er vist med eksempler på figur 13.



Figur 13 Installationseksempler af typen "vinkel-vinkel-..."

Kombinationen *reduktion-...-...* udgør 319 ud af det 2354 tilfælde svarende til ca. 14%. Det specielle ved dimensionsovergange er at roterende bevægelser forstærkes, hvorimod et fuldt udviklet hastighedsprofil ikke påvirkes i væsentlig grad. Kombinationen *reduktion-vinkel-vinkel*, som udgør 33 ud af det 2354 tilfælde, er umiddelbart en installation som vil kunne forstærke en rotation.

2.3.4 Data for varmt vands målere (fjernvarme) baseret på indsamlede billeder

Der er modtaget og registreret 301 installationer for fjernvarme.

Fordeling imellem fittings på 2. niveauer (alle lige rørstrækninger mindre end 10D ignoreres) ses på tabel 5.

Cirka 1/3 af installationerne er med en vinkel som første fitting og hvor halvdelen af disse sidder nedstrøms for en vinkel. Den mest forekommende kombination af de første 2 fittings er filter og reduktion.

Tabel 5 Opgørelse for varmtvandsmålere – to første fittings opstrøms

1. fitting opstrøms	2. fitting opstrøms						
	TOTALT	Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
Vinkel	94	40	6	14	12	18	4
Reduktion	110	22	0	4	78	4	2
Ventil	18	6	1	1	0	9	1
Filter	49	34	1	10	0	3	1
Ret rør	14	6	1	1	2	2	2
Andet	16	4	1	3	2	9	1

Fordeling imellem fittings på 3. niveau (alle lige rørstrækninger mindre end 10D ignoreres) ses på tabel 6.

Den mest forekommende kombination er vinkle -> filter -> reduktion, som er fundet i 60 ud af de 301 registrerede installationer.

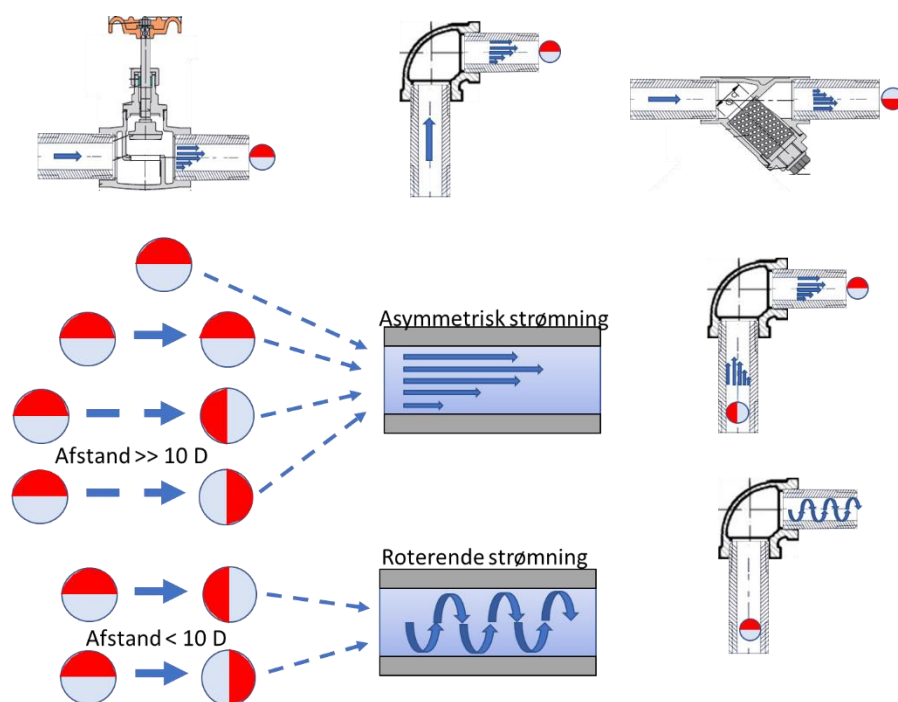
Tabel 6 Opgørelse for varmtvandsmålere – tre første fittings opstrøms

1. fitting opstrøms	2. fitting opstrøms	3. fitting opstrøms					
		Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
Bøjning	Vinkel	9	2	7	4	18	0
	Reduktion	1	0	2	1	1	1
	Ventil	2	0	0	0	12	0
	Filter	5	1	4	0	2	0
	Ret rør	1	0	3	0	4	10
	Andet	1	0	1	1	1	0
Reduktion	Vinkel	6	0	1	5	8	2
	Reduktion	0	0	0	0	0	0
	Ventil	1	0	1	0	2	0
	Filter	60	1	17	0	0	0
	Ret rør	2	0	1	0	0	1
	Andet	1	0	0	0	0	1
Ventil	Vinkel	2	0	1	0	3	0
	Reduktion	1	0	0	0	0	0
	Ventil	0	0	0	0	1	0
	Filter	0	0	0	0	0	0
	Ret rør	0	0	0	0	1	8
	Andet	0	0	0	0	1	0

1. fitting opstrøms	2. fitting opstrøms	3. fitting opstrøms					
		Vinkel	Reduktion	Ventil	Filter	Ret rør	Andet
Filter	Vinkel	11	6	6	0	8	3
	Reduktion	0	0	1	0	0	0
	Ventil	5	0	0	0	5	0
	Filter	0	0	0	0	0	0
	Ret rør	0	0	0	0	0	3
	Andet	1	0	0	0	0	0
Ret rør	Vinkel	2	0	1	0	3	0
	Reduktion	0	0	0	0	1	0
	Ventil	0	0	0	0	1	0
	Filter	0	0	1	0	1	0
	Ret rør	0	0	0	0	0	2
	Andet	1	0	0	0	0	1
Andet	Vinkel	1	0	0	0	3	0
	Reduktion	0	0	0	1	0	0
	Ventil	0	0	0	0	3	0
	Filter	0	1	0	0	1	0
	Ret rør	0	0	0	0	1	8
	Andet	0	0	0	0	1	0

2.3.5 Karakterisering af installationsforhold ved gruppering

Umiddelbart viser tabellerne ikke hele udfaldsrummet, da dobbelte vinkler kan være i forskellige retninger, samme retning eller ophæve hinanden. Ligeledes vil nogle fittings udvise samme type af flowpåvirkninger



Figur 14 Illustreret forenklet håndregel til at vurdere type af flow i en installation. Der er ikke taget hensyn til effekter.

hvorfor disse bedre kan grupperes. Endeligt vil en kuglehane ikke nødvendigvis påvirke et flow mere end et ret rørstykke.

Figur 14 illustrerer nogle simple håndregler til at vurdere om en strømning formodentligt er roterende eller asymmetrisk. Den røde halvcirkel illustrerer den del af tværsnittet, hvor der er den største hastighed. For et filter, sædeventil eller vinkel er denne et udtryk for at flowet tvinges til at lave et "z" formet forløb igennem fittingen.

Sendes et asymmetrisk flow ind i en fitting, som i sig selv giver en asymmetrisk flowprofil vil der blive genereret en roterende strømning. Det asymmetriske flowprofil er efter 10 D forløb reduceret til et niveau hvor det ikke længere er betydende, hvorfor det roterende flow ikke genereres hvis afstanden imellem to fittings er stor nok.

For at lave en generel opsætning skal de forskellige konfigurationer og fittings inddeles i flowkarakteristiske installationsforhold omfattende 3 grupperinger som beskrevet i tabel 7.

Tabel 7 Tre grupper af installationer

Gruppe	Karakteristik/Eksempler
A	Ideelt flow eller flow uden væsentlige afvigelser i forhold til aksesymmetrisk flow. Ingen signifikant hvirvel eller recirkulation. Denne gruppe indeholder lange lige rørstrækninger (>10 D) samt kuglehaner og symmetriske dimensionsovergange, hvor disse ikke er placeret tæt efter en anden fitting som giver asymmetrisk indløb til dimensionsovergangen. Gruppen er valgt til også at omfatte en kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at udløbet af 2. vinkel har samme retning som indgangen til 1. vinkel. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. De 2 vinkler vil delvist forsøge at ophæve hinandens flowforstyrrelse, hvorfor den forenkede registrering vil være at betragte flowprofilet i udløb til at være i samme kategori som det lange lige rør.  
B	Den radiale hastighedsfordeling af den aksiale komponent er styret af en opstrøms forhindring, som delvist blokerer for frit gennemløb. Kan være kombineret med en (svag) recirkulation. Obstruktioner, som giver en "Z" flow bevægelse. Kan være så forskellige ting som sædeventiler, membranventiler, filitere, delvist lukkede kuglehaner m.m. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem flowforstyrrelsen og måleren. 

	Vinkel/vinkel. "x" kan være T, H eller B – alt efter om der er tale om vinker baseret på T-stykker, skarpe vinkler eller "bløde" vinkler ($r > D$). Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem flowforstyrrelsen og måleren. Kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at udløbet af 2. vinkel har den modsatte retning som indgangen til 1. vinkel. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. Flowprofil i udløb vil være samme karakteristik som en enkelt bøjning.	 
C	Den radiale hastighedsfordeling af den aksiale komponent er styret af en (kraftig) hvirvel. Dette fremkommer primært ved kombinationen af 2 vinkler ude af plan. Kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at vinklerne er ude af plan. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. De 2 vinkler sat i en indbyrdes vinkel vil betyde at der generes en roterende strømning og hvor dennes styrke vil presse vandet ud mod rørvæggen. Flowprofilet i udløb vil derfor være karakteriseret af en rotation om den aksiale akse samt en radial fordeling af den aksiale hastighed, som kan være størst ved væggen. Hvirvel kan også generes af kombinationen ventiler/filtre og vinkler alt efter den indbyrdes orientering.	

Der er indsamlet 2353 brugsvandsinstallationer og 301 fjernvarmeinstallationer (eksklusivt units).

Tabel 8 opsummerer observationerne ud fra grupperingerne fra tabel 6 og tabel 7:

Tabel 8 Opdeling af installationsforhold

Gruppe	Brugsvand	Fjernvarme
A	373 (16%)	30 (10%)
B	1676 (70%)	200 (66%)
C	238 (10%)	32 (10%)
ANDET	75 (3%)	54 (18%)

Undersøgelsen er ikke statistisk sikker på grund af det relativt lave antal dokumenterede installationer set i forhold til det samlede antal installationer i Danmark. Resultaterne viser dog at der en overvejende del af installationerne, som kan betragtes på samme måde som en enkeltstående vinkel (ud fra den anvendte grupperingsteknik).

Som beskrevet i afsnit 2 er der for varmemålere ikke nogen test for type B men kun type A og C.

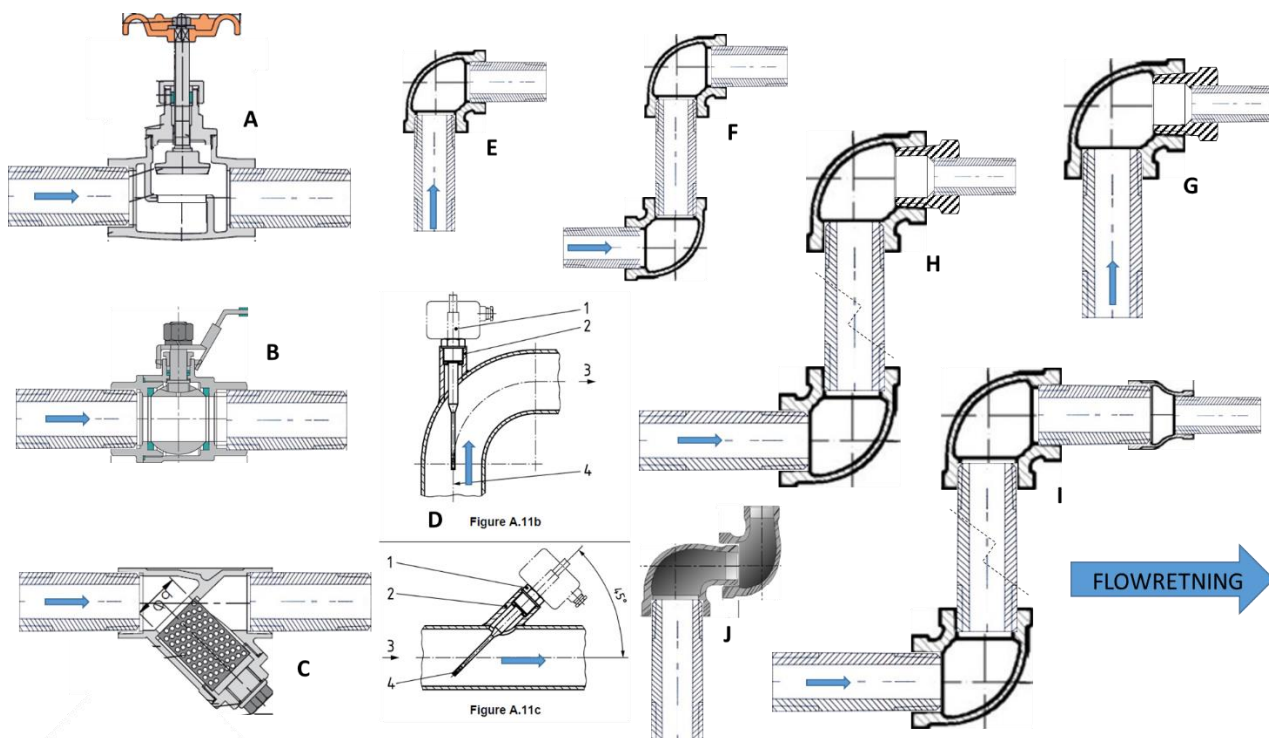
3 Stationære installationsforhold – påvirkning af flow

Afsnit 2 gennemgik fordelingen af de fysiske installationer i Danmark. Langt de fleste installationer er enten lavet med presfitting eller gevindsamlinger. Eftersom test i laboratorier anvender glatte rør uden de overgange, som forekommer ved de forskellige i praksis anvendte samlingsmetoder, så er det et relevant spørgsmål om der er nogen forskel imellem de faktiske forhold og laboratorieforhold.

3.1 Typisk anvendt rør fittings og påvirkning af nedstrøms flow profil

Flowprofiler i rør kan ikke fastlægges blot ud fra at se på hvorledes fittings er skruet sammen. Det er dog en generel tendens til at rørstrømninger – uanset om der måles med laser eller beregnes med CFD – tager udgangspunkt i pæne rørovergange og rør med homogen ruhed.

Figur 15 viser nogle illustrationer af rørtværsnit ved udvalgte fittings observeret anvendt til installation af flowmålere under virkelige forhold.



Figur 15 Eksempler på samlinger og rørfittings (tværsnit).

Sædeventilen, figur 15(A), har samme påvirkning af flowprofilen som nåleventiler. Der må forventes en asymmetrisk fordeling noget lignende hvad der forekommer efter en vinkel. Kugleventilen, figur 15(B), er

noget mere ideel og vil kun foretage en lille flowforstyrrelse. Dette gælder dog kun så længe at kuglen er korrekt åbnet i forhold til gennemstrømningen.

Figur 15(C) viser et filter magen til dem, som er vist i tabel 7(B) placeret opstrøms for en ultralydsmåler. Filtret har den fluidmekaniske egenskab at den fungerer for en slags flowstraightner og derigennem bortfiltrere opstrøms flow forstyrrelser. Ved tilsmudsning vil flowprofilet nedstrøms for filtret være asymmetrisk, hvorfor installation af et filter (og som ikke tømmes med jævne mellemrum) vil være en (langsom) dynamisk påvirkning af målenøjagtigheden.

Figur 15(D) viser montering af termoføler i varmesystemer. Nedstrøms for føleren vil der i et interval af Reynoldstallet opstå en hvirvelallem i kølvandet på føleren.

Figur 15(E,F) viser enkel vinkel og dobbelt vinkel. Det er kendetegnet ved små rørstørrelser – her 3/4" – at vinkler ikke kun er vinkler men virker som kamre med den 50% større rørdiameter. Anvendelse af muffe-nippel vinkler vil give et volumen med spontan udvidelse og efterfølgende indsnævring. Det kan ikke på forhånd fastlægges hvilken effekt sådanne flowforhold vil have på flowprofilet, som opleves af flowmåleren.

Figur 15(G,H) viser to anvendte metoder til dimensionsovergange. Det er kendt at en reduktion af rørdimensioner vil kunne forstærke en roterende flow. Kombination af en dobbelt vinkel og formmuffe med nippeludgang vil umiddelbart være den værste kombination, idet denne har den blødeste overgang imellem dimensionerne.

Rørsystemer baseret på presfittings og klemrørsfittings har den egenskab at der er relativt god overensstemmelse imellem overgange og derfor tilnærmelsesvis kan betragtes som lige rør. Dog vil der positionen for presset være en lokal deformation af rørets tværsnit, som kan bidrage til en flowforstyrrelse. Hvorledes deformationen ser ud afhænger af kæberne på presværktøjet.

værktøjets karakter. Et 2-delt klemmeværktøj kan for eksempel give en 6-kantet tværsnit, et 3-delt værktøj en 3-kantet tværsnit og 4-delt et rektangulært tværsnit

Vinkler baseret på krumning af rette rør vil derudover også besidde den egenskab at tværsnittet bliver ovalt. (blød 1/2" vinkel er opmålt til at være 20 mm(r) x 22 mm(b) på midten men ø21 ved enderne. Denne relativt store deformation vil også have en indflydelse på flowprofilet.

3.2 Eksempel på vinkler udført med glatte rør og støbte fittings

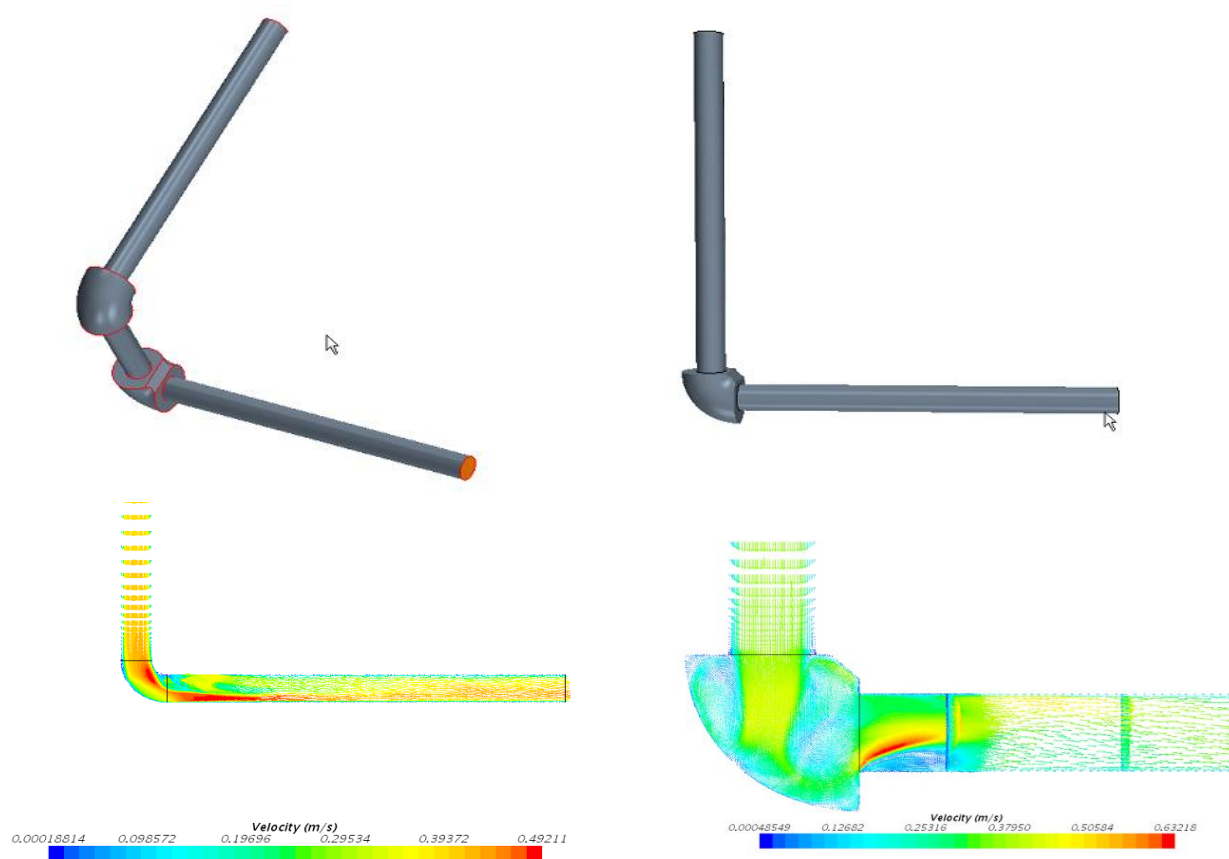
For at illustrere effekten af de to yderpunkter – vinkler kombineret med kortvarigt dimensionsovergang i vinklen og vinkel med glatte rør – er der gennemført CFD beregninger på førstnævnte og henholdsvis enkelt vinkel og dobbelt vinkel.

3.2.1 CFD beregning af støbte fittings – del I

Nedenstående figurer viser beregningsmodellen for de "støbte" ekstremer; det er valgt at lave 1/2" rør i 3/4" vinkler. Indløb med dimensionsudvidelse er ikke set på modtagne billeder. Dimensionsnedgang direkte i vinklen via en nippelmuffe er en ofte observeret installation, hvorfor udløbet af den første vinkel er virkelighedsnær. Uanset hvad, så illustrerer beregningerne det virkelige flow i rørene.

Der er anvendt en DES algoritme til simulering af de turbulente flow. DES er en algoritme, som kan skifte imellem den klassiske k- ϵ model og LES modellen (direkte simulering). Hvor den klassiske k- ϵ model beregner tab på grund af turbulens som et ekstra bidrag, så er LES en direkte simuleringsform hvor beregningsnettet er tilstrækkeligt fintmasket til at beregningerne kan lave den direkte simulering af de enkelte hvirvelstrukturer. Overordnet set skal DES køre med tiden som en variabel, hvor k- ϵ modellen tillader beregninger af tidsinvariante steady-state flows. Beregninger er lavet ved et $Re=3500$, hvilket svarer til ca. 200 l/t i et $\frac{3}{4}$ " rør og ca. 150 l/t i et $\frac{1}{2}$ " rør.

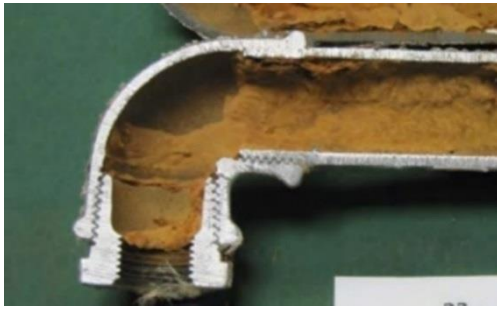
Geometri er vist på figur 16 for modellen med indbyggede dimensionsovergange.



Figur 16 CFD beregning. Øverst vinkler med stor diameterovergang. Nederst til venstre simulering af vinkel uden diameterovergang. Nederst til højre simulering af vinkel uden diameterovergang.

Den glatte vinkel ser umiddelbart ud som forventet baseret på litteraturen. Ved at have en overdimensioneret vinkel opstår et hulrum, som spejler hastighedsprofilet. Denne effekt er stærkt relateret til skarpheden af kanterne. Gennemstrømningen adskiller sig derved fra både bløde bøjninger og aflukkede t-stykker.

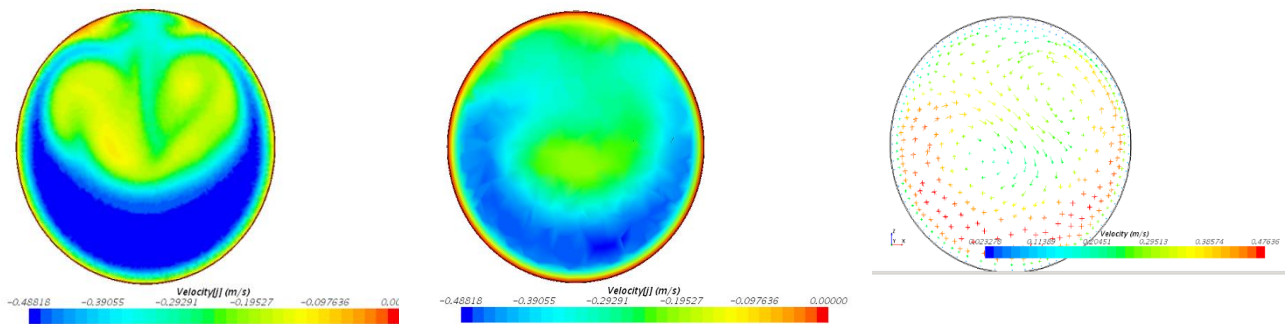
Billedet nedenfor illustrerer en virkelig vinkel med dimensionsnedgang, hvor sliddet af belægningen tydeligt indikere at vandet ikke bare løber om hjørnet.



Figur 17 Rør/vinkel udtaget fra virkelig installation. Venstre side viser gennemskåret.

Nedenstående figurer viser til venstre den aksiale hastighed efter 1 D på gult rør, midten tilsvarende efter 3 D (svarende til målerforskruningens længde) og til højre de tangentielle hastigheder ved 3 D.

Disse ligner de klassiske billeder for en vinkel men hvor der kan observeres en hvis asymmetri (traditionelt er beregninger på simple vinkler ofte lavet med symmetrier for at spare på kravet til regnekraft).



Figur 18 CFD beregnede aksielle og tangentielle hastigheder kort nedstrøms for vinkel.

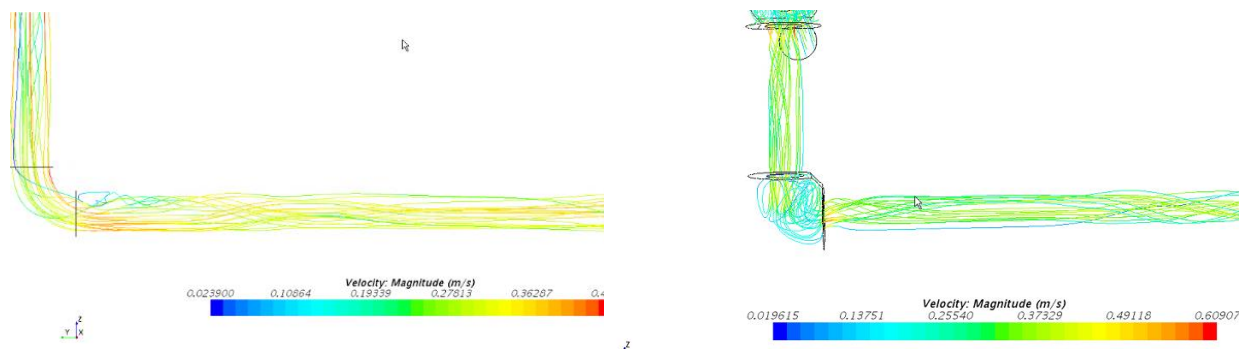
Nedenfor er illustreret flowet i en dobbelt vinkel og de tangentielle hastigheder ved 3D.

Igen er der god overordnet overensstemmelse med de figurer, som ses i litteraturen (og som ikke gengives her).



Figur 19 Simulerede data fra dobbelt vinkel.

Hulrummet giver en masse turbulens og giver jf. beregningerne en "omvendt retning" på hvirvlen nedstrøms for den dobbelte vinkel. Det er interessant at observere at hvirvlen efter hulrummet først er etableret 10 D nedstrøms i forhold til den glatte vinkel, hvor hvirvlen er etableret noget tidligere, ca. 5 D.

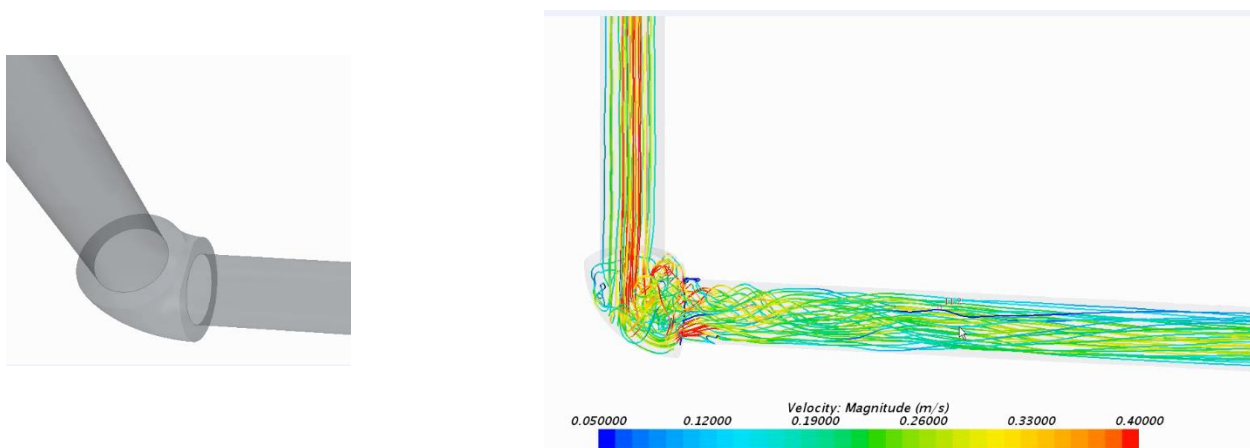


Figur 20 Strømningslinier igennem vinkel med/uden dimensionsovergang.

3.2.2 CFD beregning af støbte fittings – del II

CFD beregningerne for en enkelt vinkel er gentaget og denne gang modificeret til at anvende data fra ¾" rør og ¾" bøjning. Herudover er nettet forfinet. Der er fortsat regnet på $Re=3500$. Den væsentligste forskel er der kun er få mm kant. Beregningsteknik er disse fortsat skarpe og dermed ikke helt så pæne som observeret i virkeligheden.

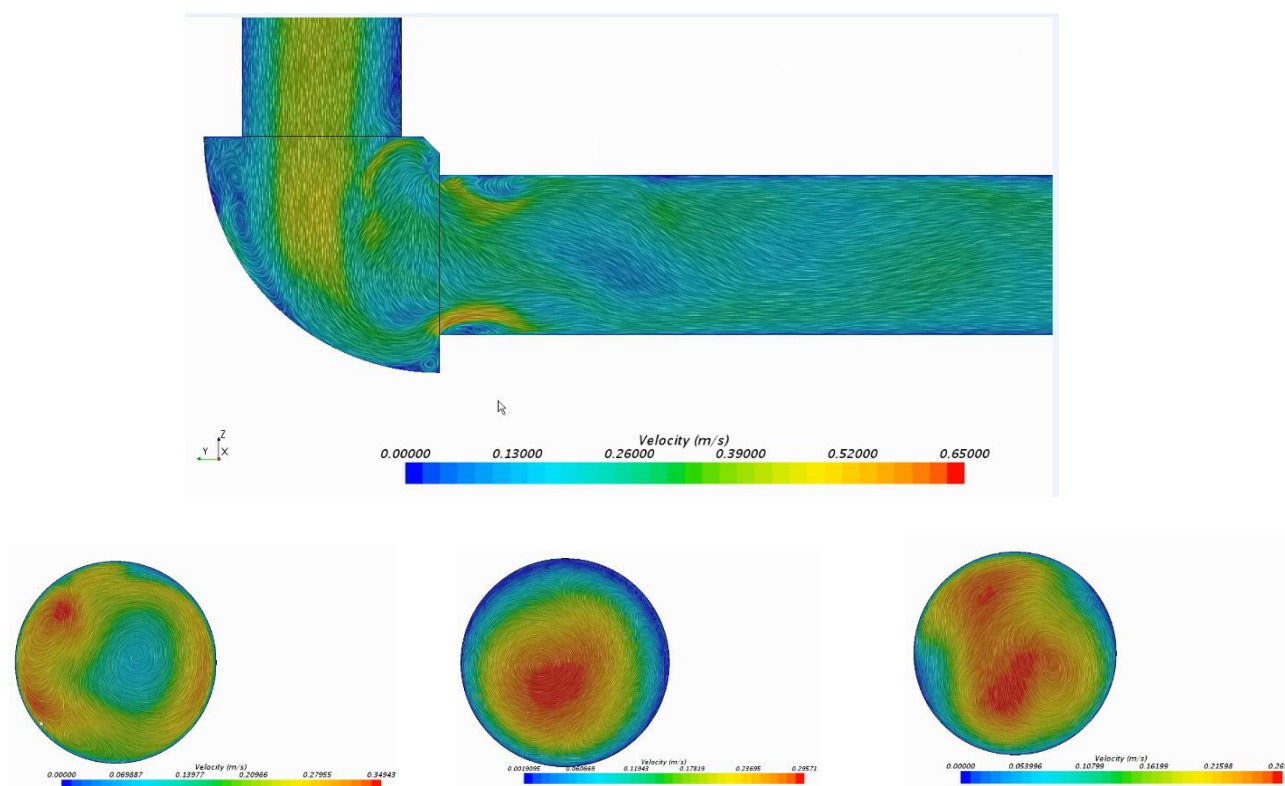
Derudover kan det nævnes at dimensionsændringen er en mellemting imellem de 2 ekstremer, som er set på tidligere.



Figur 19 Strømlinier igennem vinkel med dimensionsovergang.

Figur 21 strømningslinier for beregningen, som tydeligt viser en høj grad af turbulens.

Figuren nedenfor viser øverst hastigheden i det aksiale tværsnit samt nederst hvirvel og aksial hastighed (farve) ved henholdsvis 1 D, 3 D og 6 D.



Figur 20 CFD beregnede aksielle og tangentielle hastigheder kort nedstrøms for dobbelt-vinkel.

Dette flow er karakteriseret ved at være meget ustabil – der dannes en del turbulens i vinklen med hvirveldannelse til følge, som ”skylles” nedstrøms. Igen, den beregnede dimensionsændring er midt imellem den dimensionsændring, som er beregnet i første omgang. Umiddelbart ser det ud til at der i denne kørsel er en kaotisk blanding af to ekstreme situationer tidligere beregnet. Derigennem opnås alt andet end en hastighedsprofil som ses ved glatte rør / større dimensionsændringer. Ved at gøre de skarpe kanter mere realistisk bløde så vil opnås en mindre turbulens men det forventes fortsat at dette kaos af flowtyper består. Efter 6 D ser det ud til at flowprofilet er blevet mere symmetrisk men mere ”spids” end det teoretiske fuldt udviklede hastighedsprofil.

3.3 Virkelige rør, belægninger og tilstopninger

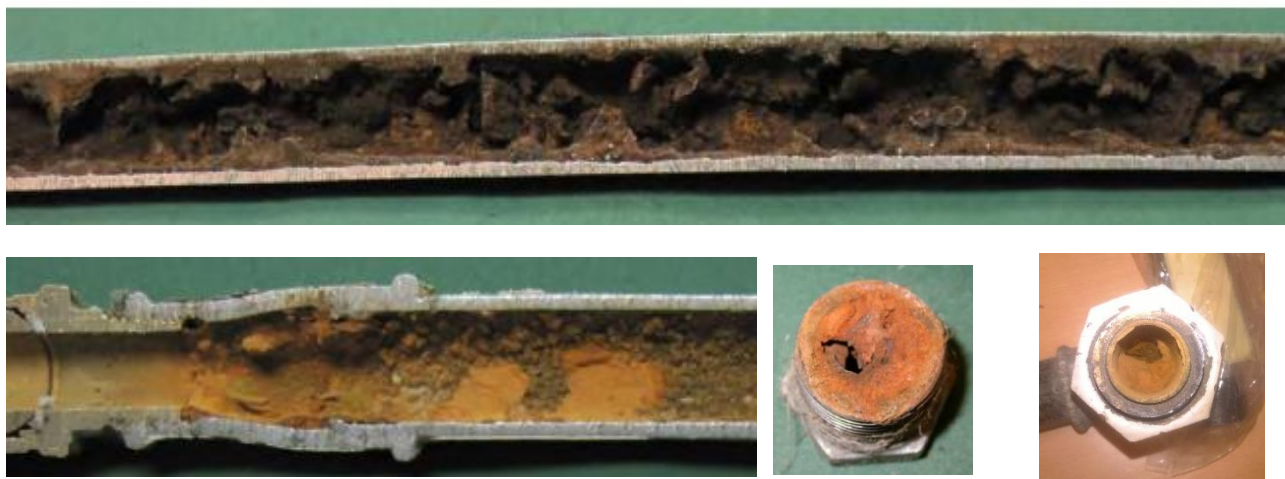
De faktuelle rørstrømningsforhold afhænger ikke kun af den anvendte rørføring og anvendt samlingsmetode, men også af dannelsen af belægninger inde i røret. Der er tre typer af belægninger – rust, kalkudfældning og partikler (kalkflager inkluderet som partikler).

3.3.1 Korrosion

Rustbelægninger fremkommer som følge af korrosion og vil typisk eksistere i ældre vandinstallationer lavet med galvaniserede rør. Figur 23 viser nogle eksempler på rette rørstrækninger med brugsvand fra en tilstandsvurdering fra samme bygning.

For begge rørstrækninger er der tale om et niveau for rustansamlinger, som gør at det vurderes at der hydraulisk ikke kan leveres en tilfredsstillende vandforsyning. Hydraulisk betragtet er der ikke længere tale om overfladeruhed men om en labyrintagtig obstruktion (**pukkelpist**). Hvis røret skæres over i et tværsnit, så vil det se ud som om at der er et mindre hul i røret og at denne kan være placeret excentrisk. Til højre er vist en nippelmuffe, som er tilstoppet (pukkelpisten muligvis groet videre ind i nippelmuffen).

For disse eksempler gælder at rusten svarer til en forøgelse af overfladeruheden.



Figur 21 Korroderet rør og blokerede tværsnit

Nyere installationer består af rustfrie eller kunststofrør med tilhørende messing eller rødgoods fittings. Disse er ikke i samme grad udsat for korrosion og vil derfor ikke resultere i tilsvarende dannelse af rustbjerge.

Varmvandssystemer er ikke udsat for samme niveau af korrosion, da iltindholdet er væsentligt lavere (eller helt væk) og ilt er en af bestanddelene for korrosion.

Billedet til højre nederst på figur 23 er angivet til at være kalkbelægning men farven antyder at der er tale om rust og dermed muligvis et tværsnit fra en "pukkelpist".

Det er vigtigt at notere sig at der ikke kendes noget til forhistorien for disse billeder men er kun medtaget som eksempler.

3.3.2 Partikler

Partikler skal her forstås bredt – det vil sige en blanding af sand, småsten, afrevne flager af rust og hvad der ellers måtte være af løse dele i rørene.

Partikler vil blive fanget i de filtre, som enten er placeret før måleren som et selvstændigt filter eller indbygget i måleren for små målere. Nedenstående viser eksempler på filtre (si) indbygget i små målere – bemærk at filtret til højre har fanget to rustflager.

Filtre indbygget i målere har en sekundær virkning, idet disse også delvist vil virke som flowstraightner. Når/hvis der fanges partikler uanset oprindelse så vil disse kunne spærre for dele af tilløbet og derigennem påvirke fordelingen af vandet igennem flowmåleren. Dette vil betyde en risiko for fejlvisning.



Figur 22 Forskellige typer af sier. Til højre en si, hvor der er indfanget partikler (rustflager).

For måleprincipper baseret på relativt små sensorflader – det vil primært sige ultralydsmålere og elektromagnetiske målere – vil små partikler/flager kunne medføre delvist forstyrrelse af signalet og derigennem betyde en mulig fejlvisning.

Mekaniske målere med små pasninger vil være følsomme overfor partikler idet disse kan bremse de mekaniske dele eller helt låse/blokere disse.

For store målere kendes ikke til filtre/si indbygget i målere. Disse er dog fortsat udsat for risiko for at flager kan påvirke signaloverførslen. Det elektromagnetiske måler er ligeledes følsom overfor belægninger udenfor elektroderne, da princippet for en ideel måling kræver elektrisk isolerende overflader.

4 Dynamiske installationsforhold

Dynamiske installationsforhold er en fællesbetegnelse for ikke-stationære forhold. Disse kan igen opdeles i mekaniske-dynamiske forhold og direkte aftapningsforhold.

De mekanisk-dynamiske forhold kan være ting såsom tilkalkning, slid, belægninger, mekanisk opspænding, vibrationer, luft, elektronisk støj, ventiler og lignende.

Den dynamiske aftapning er defineret ud fra hvor meget, hvor hurtigt og hvor ofte vandet aftappes fra et rørsystem.

De mekanisk-dynamiske forhold (kan betegnes som drift) er i modsætning til den dynamiske aftapning en langsom ændring som ikke nødvendigvis kan observeres ved målinger fra år til år. Den dynamiske aftapning er derimod en ændring, som sker ofte så hurtigt at målerens dynamik ikke følger med.

I denne rapport betragtes udelukkende den dynamiske aftapning som dynamisk fænomen.

4.1 Dynamisk aftapning

Dynamisk aftapning er fastlagt i brugsprofilen for den enkelte installation. Denne afhænger af hvor mange mennesker, hvor mange tæppesteder og ikke mindst typen af bygning (virksomhed, restaurant, villa m.m.).

4.1.1 Måleprogrammer

For at kunne systematisere forbruget i forbindelse med målekontrol eller dimensionering af vandsystemer er det nødvendigt med at fastlægge nogle måleprogrammer som antages af være repræsentative for det gældende type installation.

4.1.1.1 DS 439:2009

DS 439:2009 er den gældende norm for vandinstallationer i Danmark. Denne beskriver blandt andet dimensioneringsgrundlaget for en vandinstallation ud fra fastlagte flowrater for hver type tappested.

Tabel V 2.2.4 beskriver de dimensionerende flowrater for hvert tappested for at fastslå vandforbruget. Der anvendes intervallet fra 0,03 l/s (108 l/t) til 1,5 l/s (5,4 m³/t). Sidstnævnte er angivet for et WC. De fleste tappesteder er angivet til at have imellem 0,1 l/s til 0,4 l/s (360 l/t – 1080 l/t).

Tabel V 2.5.1 beskriver de tappeprogrammer som anvendes til dimensionering af varmtvandsanlægget. Heraf fremgår den tappeprofil, som skal anvendes til dimensionering af vandinstallationerne. Disse fremgår af tabel 9.

Tabel 9 Tappeprofil fra DS 439:2009

Tappe type	Flowrate	Tid	Volumen /tapning	Antal per dag
Badekar	0,21 liter/s (800 l/t)	600 s	133 liter	2
Bruser	0,14 liter/s (500 l/t)	300 s	42 liter	4
Køkkenvask	0,10 liter/s (360 l/t)	150 s	15 liter	2
Håndvask	0,056 liter/s (200 l/t)	180 s	10 liter	2

KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) Nr. 814/2013 af 2. august 2013 om gennemførelse af Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2009/125/EF for så vidt angår krav til miljøvenligt design af vandvarmere og varmtvandsbeholdere specificerer krav til energieffektivitet for varmevekslere og ikke direkte målerne. I forordningen angives ligeledes tappeprogrammer i forbindelse med tests som er udviklet til at simulere varmtvandsbehovet over et døgn.

4.1.1.2 Benny

DS 439:2009 er meget generel og ikke kendt som den endegyldige sandhed om et aftapningsforløb. Som et alternativ er der derfor lavet en tænkt tappeprofil for en virtuel person, Benny, som beskrevet nærmere i bilag 1.

Tappeprofilen er etableret ved at observere enkelt personers (anonyme) forbrug af vand ved for eksempel håndvask, kaffebrygning, madlavning og lignende.

Tabel 10 Dynamisk tappeprofil udsnit

Tappe type	Flowrate	Tid	Volumen /tapning	Antal per dag
Bruser	15 l/min (900 l/t)	210 s	53 liter	1
Håndvask	5 l/min (300 l/t)	12 s	1 liter	2
Køkkenvask	10 l/min (600 l/t)	12 s	2 liter	1

”Benny” er baseret på flowrater på 250 l/t, 400 l/t, 600 l/t, 900 l/t og 1.200 l/t. Spandet fra 250 l/t til 1.200 l/t svarer til hvad DN 439:2009 også angiver. Der er således sammenfald imellem DS 439:2009 (tabel 9) og projektets tappeprofil.

4.2 Simulering af dynamisk påvirkning

For at kunne udnytte et tappeprogram til noget fornuftigt skal denne parres med en model af flowmåleren. Dette er forsøgt via etablering af simple modeller for henholdsvis en mekanisk måler og en elektronisk måler.

4.2.1 Model for vingehjuls måler

Vingehjuls målerens mekanik er drevet af vandstrømmens påvirkning af en bevægelig plade. Dette kan også betegnes som et paddelhjul – netop at denne vil forsøge at følge vandstrømmen med en lille hastighedsforskel, som skyldes friktionstabet i måleren.

Hvis vandhastigheden ændres så vil der, indtil omdrejningstallet på vingehjulet er tilpasset, være en større kraft som enten bremser eller accelererer den roterende bevægelse.

Når vandstrømmen hurtigt ændres til nul flow svarer dette til at en roer løfter årerne ud af vandet. Med andre ord vil der ikke være nogen hastighedsforskel til nedbremsning af rotationen men kun være friktionskræfterne imellem den stillestående vand og vandet vingehjulet, som sammen med friktionstabet får måleren til at bremse op.

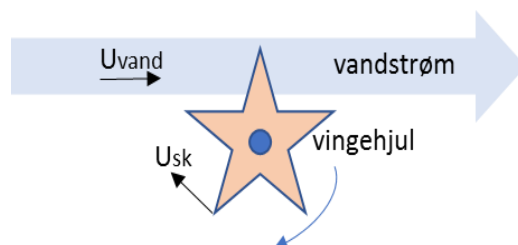
Disse fænomener ligger til grund for den teoretiske model for en vingehjuls måler.

Ved en langsom lukning af en ventil vil den "langsomme" reduktion af flowraten være med til at bremse rotationen indtil den er for svag.

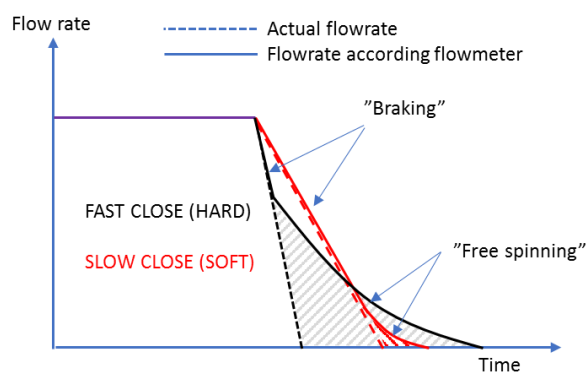
Ved en hurtig lukning vil flowraten falde hurtigere end den roterende del kan følge med og dermed hurtigere overgå en "fri rotations" tilstand og derigennem tage længere tid om at stoppe rotationen.

I modellen er efterløbet yderligere simplificeret.

Modellen er inspireret af observation gjort på en virkelig installation, hvor disse fænomener er tydelige at se.



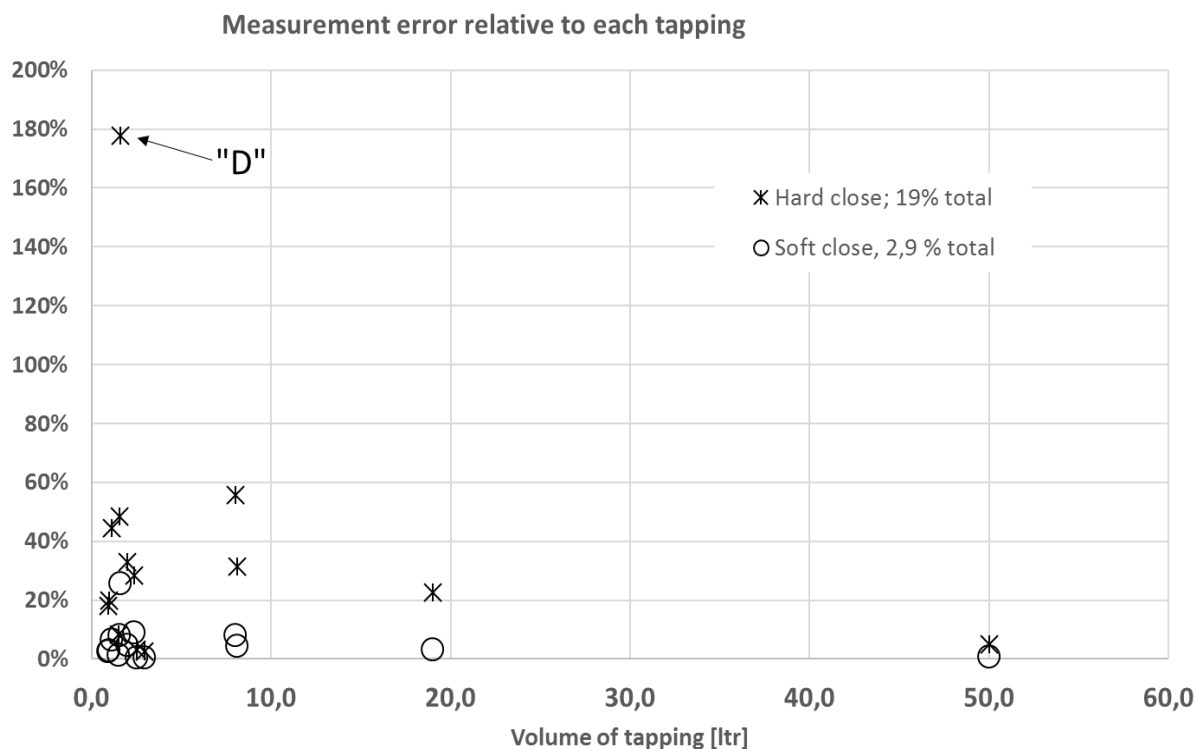
Figur 23 Princip bag vingehjuls måler



Figur 24 Simulerede responskurver for virtuel vingehjuls måler.

Figur 27 viser de simulerede målefejl ved henholdsvis en hurtig lukning og en langsom lukning. Som det ses vil der være et efterløb, som altid vil have fejlen til den samme side. Det er derfor forventeligt at der vil være en fejlvisning.

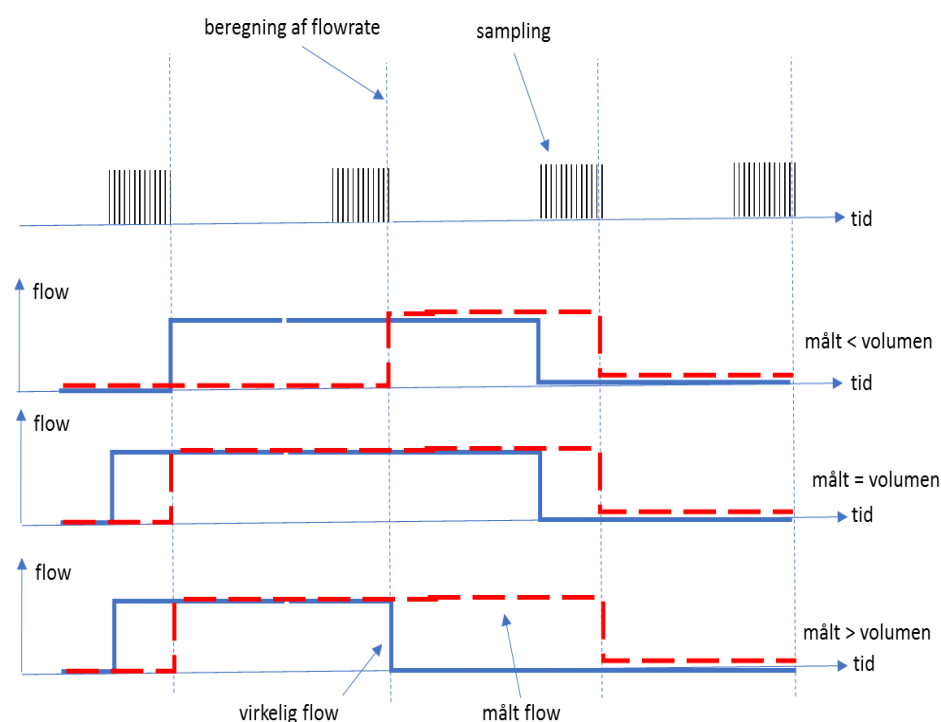
Den simulerede fejl på 19 % på årsregningen er betydende sammenlignet med en måler, som må vise 4 % fejl på kontinuerligt flow under drift. Med blød lukning er den simulerede fejl på årsregnskabet mindre end 4 %.



Figur 25 Simulerede data ved kombination af model for virtuel vingehjulsmåler og "Benny".

4.2.2 Model for elektronisk måler

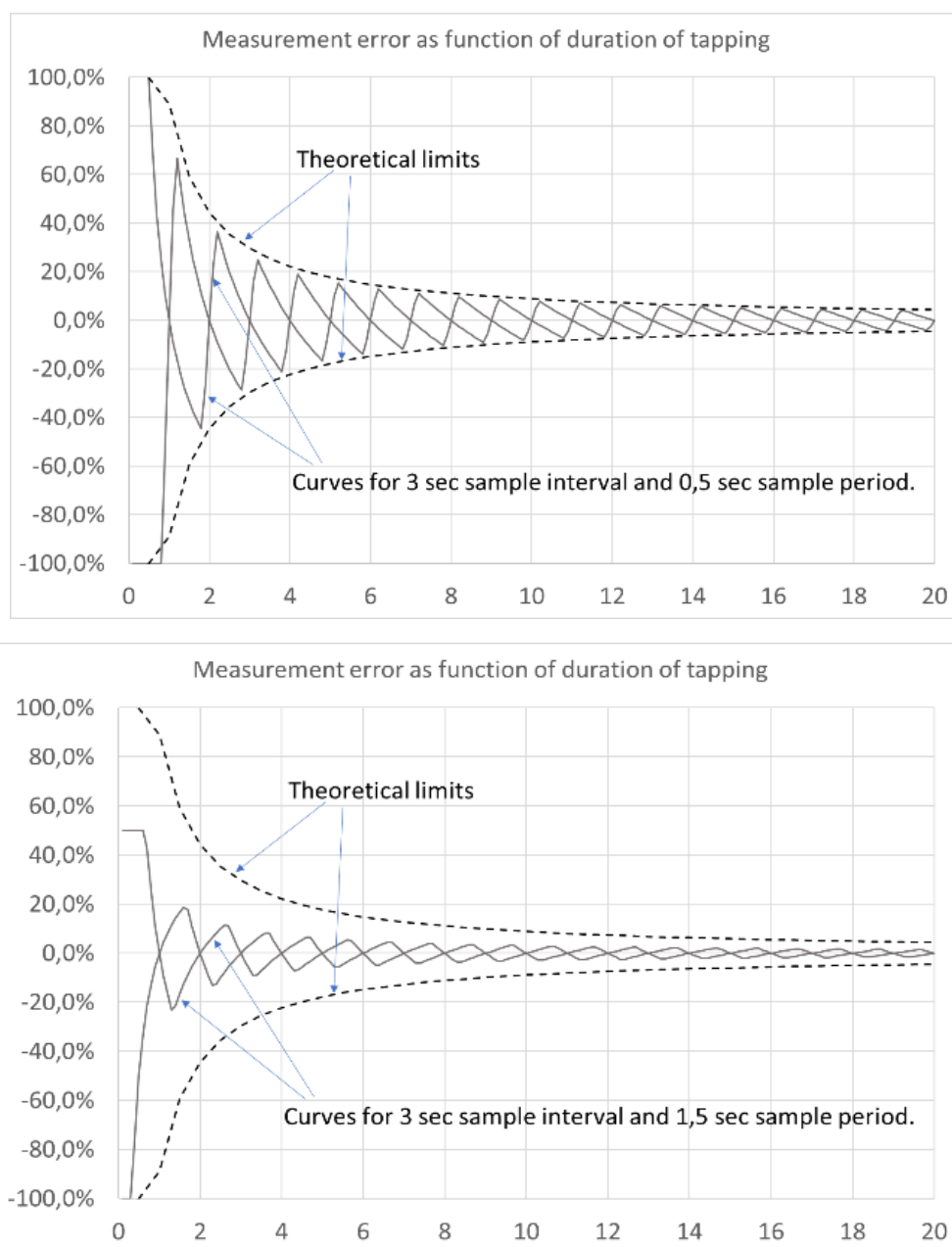
Elektroniske måler vil uanset måleprincip ikke være måletekniske aktive hele tiden. De vil foretage en måling med en varighed på x antal millisekunder med en periode på y sekunder. Dette betyder reelt at der er tidsrum hvor der ikke foretages måling. I disse tidsrum vil måleren foretage en antagelse om flowraten uanset om den anvender en lineær interpolation imellem kendte værdier eller om den anvender seneste målte værdi indtil den næste forekommer.



Figur 26 Fejlmåling grundet periodevis måling i en virtuel elektronisk vandmåler. Blå streg repræsenterer det faktiske flow. Rød stiplet streg repræsenterer det beregnede flow som opstår som følge af periodevis måling og sampling.

Til simulering af dynamiske effekter på en elektronisk flowmåler er der taget udgangspunkt i den simple tilgang at en målt værdi er gældende indtil den næste forekommer. Det er antaget at der er en afgrænset måleperiode og at denne gentages med en fast periode.

Konsekvensen af disse antagelser er at flowmåleren i ekstreme tilfælde vil være i stand til at lave en fejlmålingen alene på grund af periodiciteten svarende til en periode – enten for lidt flow eller for meget.



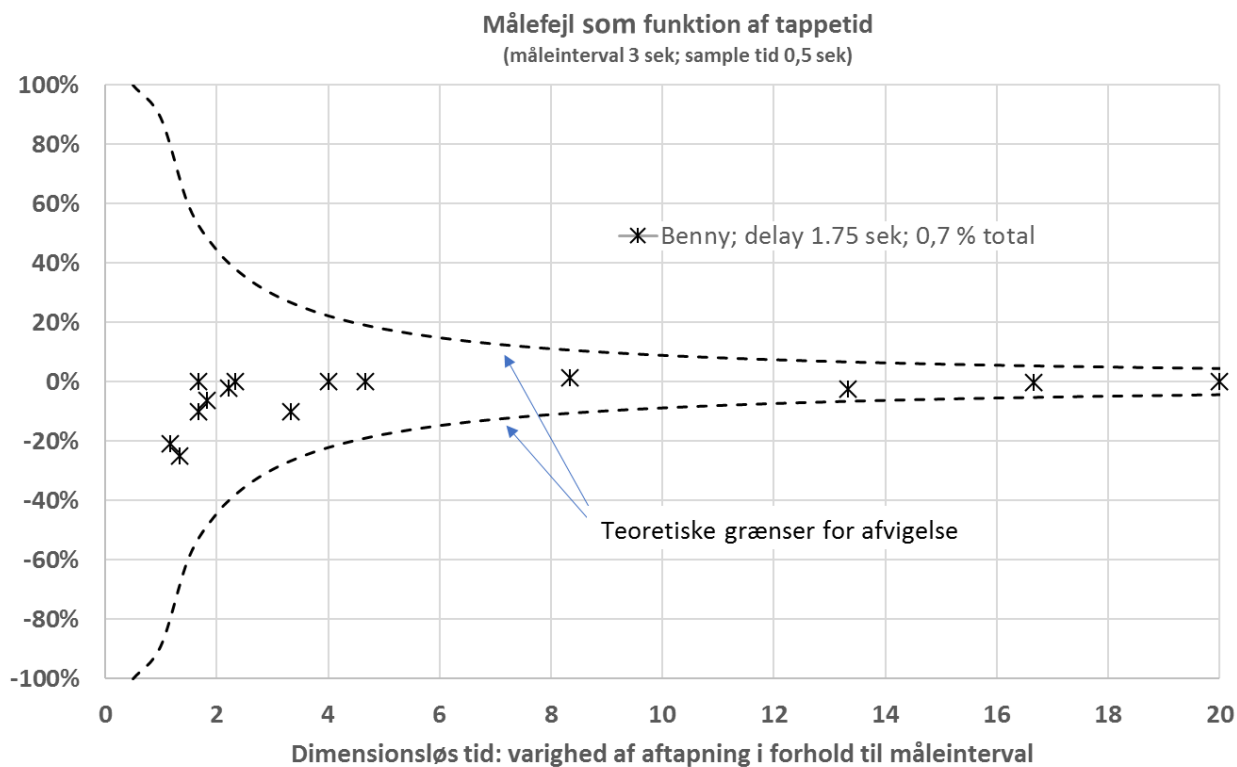
Figur 29 Simulerede fejlgrænser for virtuel elektronisk måler med forskellige måleperiode men samme målefrekvens.

Dette er illustreret på figur 29, som viser forskellige virkelige flows sammenholdt med det flow, som flowmålerens elektronik antager eksisterer.

Figur 29 viser den teoretiske maksimale fejlkurver. De fuldt optrukne linjer viser den reelle simulerede fejlgrænse baseret på modellen hvor der samtidigt er foretaget en simulering af tidsforskydninger imellem perioderne. Fejlen vil dog altid være nul, når periodetiden er lig tappetiden uanset tidsforskydningen.

Jo større andel af en måleperiode som anvendes til måling, jo mindre bliver den teoretiske måleusikkerhed.

”Benny” modellen er indlagt i beregningerne uden at der taget hensyn til tidsforskydninger – hverken i forhold til målerens periode eller indbyrdes forskydning af måledata.



Figur 30 Simulerede data ved kombination af model for virtuel elektronisk måler og ”Benny”.

Simuleret på årsbasis vil de viste fejlratere være 0,7 % af årstotalen. Dette afspejler den tilfældighedsfordeling som vil være gældende når en aftapning er afmålt for lidt eller for meget.

4.2.3 Opsummering

Det er vigtigt at fastslå at der ikke er tale om modeller som kan henføres til en type måler eller én fabrikant. Af samme årsag til de beregnede værdier ikke overføres til de i praksis forekommende afvigelser.

Tanken bag modellerne er at de skal illustrere de udfordringer en måler er udsat for under praktisk drift.

For den mekanisk baserede model er problemstillingen at som følge af ændringer i flowraterne, som ved moderne armatur med indbyggede magnetventiler kan give hurtige variationer i flowhastigheden, øget risiko for efterløb.

For den elektroniske måler er udfordringen at foretage en periodevis måling og samtidigt sikre troværdighed for flowraten imellem målingerne. Taget i betragtning af man af hensyn til at spare vand ofte hurtigt kan lukke/åbne vandhaner, så ligger der her en potentiel årsag til fejlmålinger. Men – som følge af den tilfældige anvendelse – med en formodning om at den samlede fejl, på det årlige regnskab, ikke er større end hvad der er tilladeligt.

5 Uddrag fra tidligere undersøgelser

I dette afsnit henvises der til et udpluk af de rapporter der danner grundlag for såvel afgrænsningen som fremgangsmåden for de tests lavet under dette projekt.

5.1 Virkelighedsnære forhold for måbertests, PTB

Oversat uddrag: *"... viser den væsentlige splittelse mellem de praktiske betingelser ved brugen af vandmålere, og de krav der er i de gældende internationale regler for vandmålerprøvning. Selvom virkelige forhold karakteriseres af stærkt dynamiske og hurtigt ændrende strømningsforhold, fastsætter reglerne stabile og reproducerbare strømningsforhold ved faste flowhastigheder som ligger langt fra det reelle forbrug der hovedsageligt forekommer i praksis."* (Schumann, Wendt, & Tränckner, 2016)

5.2 Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre, FCDK

Uddrag: *"Det blev på grundlag af de fremlagte resultater vist, at de testede vandmålere, der repræsenterer typiske vandmålere i private installationer til afregning af vandforbrug har en begrænset fejlvisning. Testet under "normale" forbrugsflowrater og forbrugsmønstre giver estimering af årsfejlvisningen for disse vandmålere ingen betydende fejlvisning på årsbasis. Det kan derfor på basis af den nærværende undersøgelse konkluderes, at hvis der forudsættes et normalt forbrugsmønster, giver vandmålere i private installationer ikke anledning til nogen betydelig fejlvisning."* (Niemann, 2011)

5.3 Test af varmeenergimålere, DECC

Oversat uddrag: *"Testresultaterne viser, at det er svært for den installerede flowmåler at opfylde MID-nøjagtighedsniveauerne, men denne komponent er relativt modstandsdygtig over for ukorrekt installation."* (Butler, Anela, & Martin, 2015)

6 Laboratorietest

Test i laboratoriet har til formål at generere data til vurdering af installationsforhold og dynamisk aftapning. Hvert afsnit beskriver selvstændigt én test inklusiv opstilling og resultatbehandling.

Der er ved testene anvendt tilfældigt udvalgte målere, som enten har været udsat for typetest (elektroniske) eller kontrolmåling (mekaniske målere). Denne pulje omfatter:

- Multical 21 – koldt vand, $Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{t}$, R400 ($Q_i = 6,25 \text{ l/t}$)
- Multical 21 – varmt vand, $Q_3 = 1,6 \text{ m}^3/\text{t}$, R160 ($Q_i = 10,0 \text{ l/t}$)
- Zenner (vingehjul) – koldt vand, $Q_N = 1,5 \text{ m}^3/\text{t}$, R160 ($Q_{\min} = 9,3 \text{ l/t}$)
- Sensus (ringstempel) – koldt vand, $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{t}$, R20 ($Q_{\min} = 125 \text{ l/t}$)

Valget af test punkter er ikke fastlagt ud fra disse målere men derimod ud fra de observationer og tappeprogrammer, som er beskrevet tidligere i rapporten.

Der er ingen kendskab til målernes historik ud over at disse målere har været anvendt i virkelige installationer og er typegodkendt.

Det er vigtigt at pointere at valget af målere er helt tilfældige og foretaget uden hensyntagen til driftsområde eller historik. Der er udelukkende udtaget målere som følge af deres funktionsprincip. Af denne grund kan ingen af resultaterne henføres til specifikke målertyper eller producenter.

6.1 Statistiske installationsforhold

Typiske måledata og resultater fra typetest omfatter test ved kontinuerligt flow og med forskellige indløbsforhold. Det er i projektet valgt at supplere den viden som er tilgængelig i litteraturen med test af målerne på de typer af målerinstallationer som er observeret karakteristiske ved gennemgang af de modtagne billeder af installationer.

6.1.1 Rørføring

Der er 2016-07-07 gennemført test af 4 installationsforhold og med 5 stk. Multical 21 varmtvandsmålere. Den ene (F1) anvendes som reference for de fire øvrige målere. Målet med forsøget er at etablere et første kendskab til installationsforhold og målenøjagtighed.

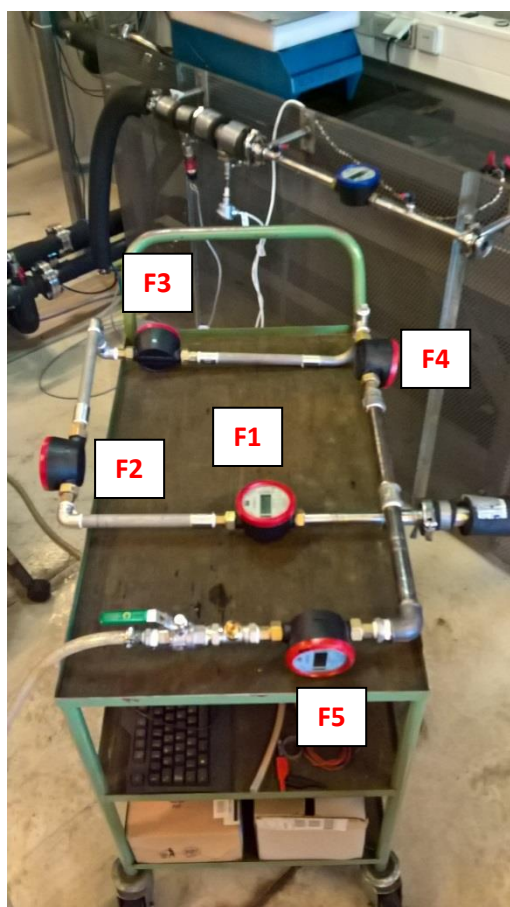
Der er anvendt følgende forstyrrelser:

- F1: ingen (referencemåler)
- F2: vinkel (x15-rs)
- F3: dobbelt vinkel (x15-rs-x4-rs)
- F4: blød vinkel og T-stykke (x15-rl-rte)
- F5: vinkel og reduktion til $\frac{1}{2}$ " (x40-rs-ktn)

Der er kørt ved følgende flowrater:

- 60 l/h (svarer til $Re=1400$ = laminar)
- 350 l/h (svarer til $Re=8000$ = turbulent)
- 900 l/h (svarer til $Re=21000$ = turbulent)

Først er der gennemført målinger på opstillingen som vist nedenfor med tre gentagelser per målepunkt. Der er ikke gjort noget for at afstive rørføringen eller forhindre mekanisk påvirkning af målerne.



Figur 31 Test af målere ved fire typisk forekommende installationer.

Flowmåler under test er angivet som F1 (s/n 75998513), F2 (s/n 75998510), F3 (s/n 75998511), F4 (s/n 75998512) og F5 (s/n 75998509).

Der er derefter foretaget måling på de fem flowmålere placeret i serie som vist på figur 32.



Figur 32 Test af målere som reference.

Efter første referencemåling (1. måling ved 900 l/h) blev strengen flyttet således at clampen var ved kanten af rullebordet og dermed medførte at F5 hang ude over kanten. Ingen effekt blev observeret.

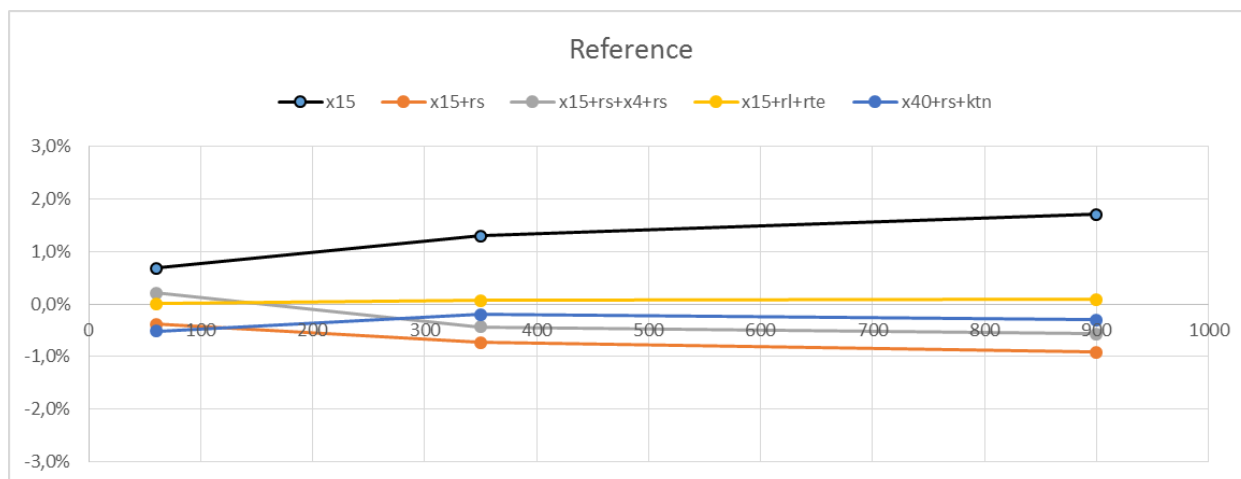
Generelt er der kørt med 15 min perioder og med en estimeret standardusikkerhed på mindre 0,7 %.

Gentagelighed er beregnet til:

- 60 l/h: 0,3 %-0,4 %.
- 350 l/h: bedre end 0,1 %.
- 900 l/h: for F1, F2, F3 og F4: 0,5 %. For F5: 0,9 %, hvilket indikerer et ustabil flow.

I første omgang er afvigelsen i forhold til *sandt flow* estimeret ud fra den antagelse at gennemsnittet af de fem visninger er det sande flow. Denne afvigelse for F1 er efterfølgende anvendt til at beregne sandt flow for de øvrige fire målere.

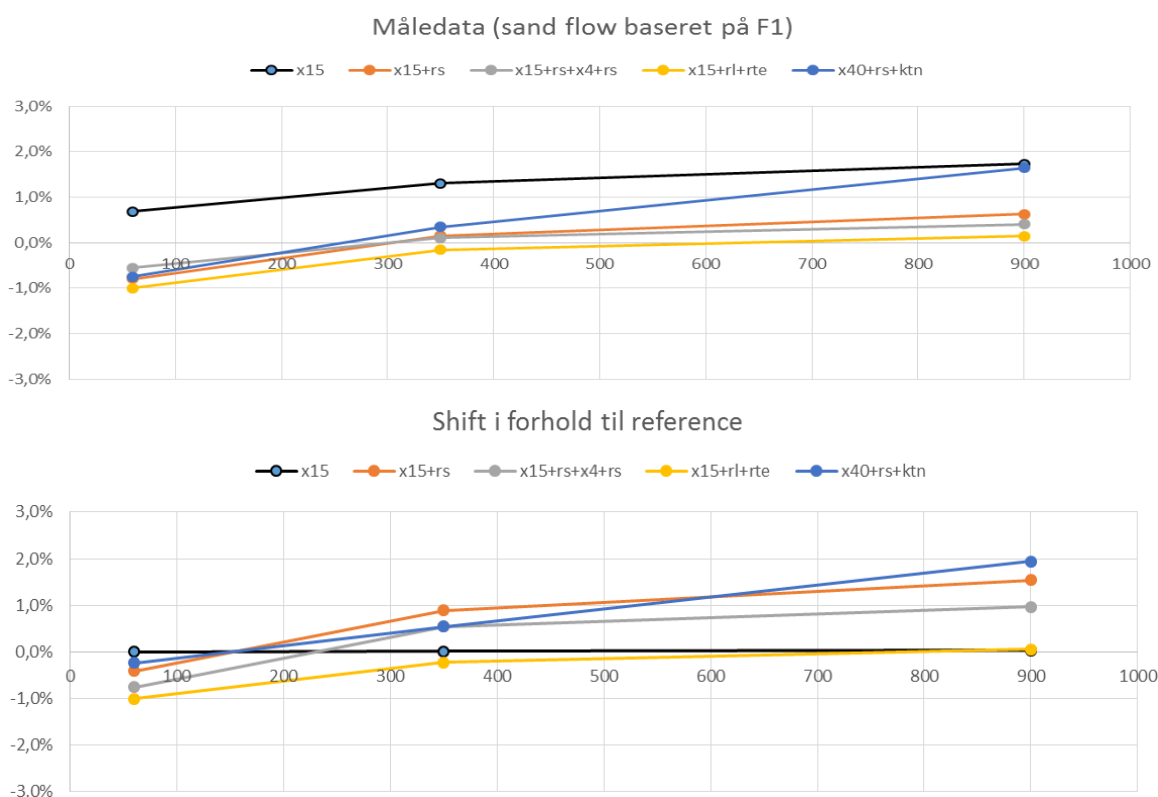
Figur 33 viser afvigelse under referencemåling.



Figur 27 Resultater af referencemåling (se figur 32)

F1 ser ud til at være udenfor men anvendes fortsat som reference i beregningerne.

Figur 34 viser hhv. resultaterne under prøvningen samt "shift" i forhold til afvigelsen under referencemålingen:



Figur 28 Resultater af referencemåling (se figur 32)

De to "enkle vinkler" følges ad og med lille forskel. De to "dobbelte vinkler" følges ikke ad. Specielt anvendelsen af stor vinkel og t-stykke giver ingen fejl ved turbulent strømning. Der er derimod en "stor" målefejl ved laminar, hvor den enkelte vinkel ikke giver en stor fejl.

Man skal være varsom på at konkludere noget som helst ud fra disse data, da det ikke er den samme måler, som er anvendt til alle forhold samt at forskellene ikke er væsentligt større end måleusikkerhederne.

Vinkel m/u reduktion giver en fejl som øges med større flow. Asymmetrien i det aksiale hastighedsprofil og recirkulationerne øges med øget flow, hvilket underbygger de viste data.

Dobbelte vinkler er næsten ens ved laminar men med nærmest ingen usikkerhedsændring for t-stykket ved de høje flow rater. T-stykket virker som en "beholder" og konsekvensen af en sådan kan fornemmes ved at se på figurene 21 og 22. Ved de høje flow vil vandet "lige ud" men tvinges ind i afgang. Der må forventes en del "kaos" hvorfor der ikke er etableret en hvirvel eller kraftig skævhed i det aksiale hastighedsprofil ved turbulent strømning. Ved laminart flow formodes det at dette kaos ikke eksisterer og flowet igennem T-stykket og vinklen ligner hinanden med roterende strømning som følge.

Denne tese skal dog eftervises på en eller anden måde. Enten CFD eller test med andre typer af flowmetre.

6.1.2 Delvist blokeret indløb

Test af delvist blokerede indløb tager udspring i de installationsforhold, som er kendetegnet ved at være med kraftige belægninger enten af korrosionsprodukter eller udfældning af kalk. Disse test omfatter ikke test af belægninger på indre si/filter i flowmåleren.

6.1.2.1 Etablering af prøvestand

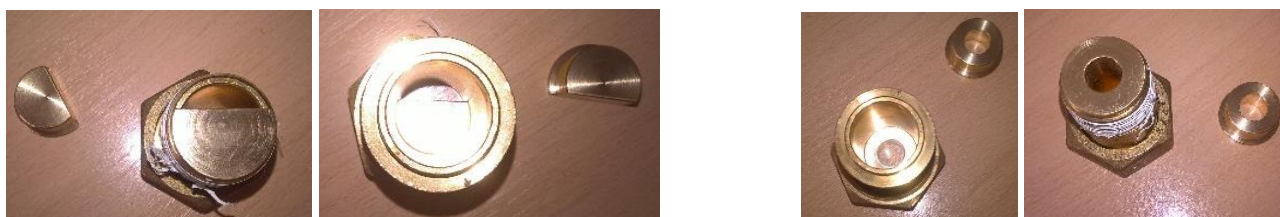
Der anvendes 85°C anlægget og hvor flowmålerene koblet i serie er sat ind i strengen.



Figur 35 Test af delvist blokerede indløb.

Der er ikke indbygget dedikerede stopventiler i loopet, som køres med stående start. Start/stop foregår ved at pumperne slukkes, clampventilen lukkes tæt og aflæsning afventer stilstand på målerne.

Obstruktionerne er indbygget i opstrøms målerforskruning som en 10mm lang indsats.



Figur 29 Delvist blokerede indløb. Til venstre ekstrem blokering.

Obstruktionerne svarer således til at der indsættes nye målerforskruning i en tilstoppet rørstrækning. De lodrette obstruktioner har vist sig at være roteret.

Der køres udelukkende tre gentagelser ved 350 l/t og uden dynamiske aftapningsforhold repræsenteret.

6.1.2.2 Test af mekaniske målere – Sensus og Zenner.

Der er foretages test af en type I og type II måler. I denne sammenhæng er der anvendt 4 stk. ZENNER QN 1,5 (s/n 09538105, s/n 07474094, s/n 10443165 og s/n 08308202) samt 3 stk. SENSUS Qn 2,5 (s/n 07 541664, s/n 07 541666 og s/n 06 405795).



Figur 30 Billede af valgte målere

Alle målere er genanvendte. Målerne har været indsendt til kontrolmåling men er ikke reverificerede. Der er ingen kendskab til målernes forhistorie ud over at disse målere har været anvendt i virkelige installationer.

Nedenstående tabel viser placering (F1 er ved indløb; F7 er udløbsmåler) og obstruktion.

Tabel 11 Målere med blokerede indløb

Placering	Målertype	s/n	Obstruktion
F1	Zenner Q1,6	ZR 09538105	Ingen
F2	Zenner Q1,6	ZR 07474094	Koncentrisk hul
F3	Zenner Q1,6	ZR 10443165	Afskæring; blokering set af opstrøms side er afblændet bund roteret 30° mod uret
F4	Zenner Q1,6	ZR 08308202	Afskæring; blokering set af opstrøms side er afblændet bund
F5	Sensus Q2,5	07 541664	Koncentrisk hul
F6	Sensus Q2,5	06 405795	Afskæring; blokering set af opstrøms side er afblændet bund roteret 135° med uret
F7	Sensus Q2,5	07 541666	Afskæring; blokering set af opstrøms side er afblændet bund

Note: den ene Sensus (s/n 07 541666) satte sig fast under første måling men kørte igen i forbindelse med anden og tredje måling.

Tabel 12 viser afvigelsen i forhold til afvejet mængde vand.

Tabel 12 Resultater fra test med delvis blokerede indløb

Placering	Målertype	s/n	1. måling	2. måling	3. måling	Gennemsnit
F1	Zenner Q1,6	ZR 09538105	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%
F2	Zenner Q1,6	ZR 07474094	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
F3	Zenner Q1,6	ZR 10443165	2,1%	2,0%	2,0%	2,1%
F4	Zenner Q1,6	ZR 08308202	0,9%	0,8%	0,7%	0,8%
F5	Sensus Q2,5	07 541664	-0,1%	-0,3%	-0,3%	-0,2%
F6	Sensus Q2,5	06 405795	-1,9%	-2,2%	-2,2%	-2,1%
F7	Sensus Q2,5	07 541666	-68,3%	-3,8%	-0,1%	-0,1%

Der kan ikke drages nogen endelige konklusioner på baggrund af disse test. Dog er der en indikation på at asymmetri i forhold til den mekaniske målers rotationsakse kan påvirke målingerne. Dette skal undersøges nærmere.

6.1.3 Test med faktiske installationstype.

En række brugte rør blev gjort tilgængelig i projektet. Disse rør havde siddet i faktiske installationer og var udtaget i forbindelse med udskiftning af flowmålere. De var alle af en karakter, hvor det med sikkerhed kan siges at flowprofilet ikke er ideelt.

Et af kendetegnene er at selv om røret er galvaniseret jern og målerforskrningen af mere ædelt metal, så korrosionsprodukterne har også udfyldt det første af forskruningen. Figur 38 viser eksempler på hvorledes rørene ser ud ved afmontering af forskruning samt selve forskruningen.

Det blev besluttet af foretage en række test med stationære flowrater ved 9 l/t, 90 l/t og 900 l/t for at undersøge om et "rigtigt" korroderet indløb kan detekteres på målenøjagtigheden.



Figur 38 Kik ind i rør udtaget fra faktiske installationer.

Der blev igen anvendt de tre målertyper som tidligere og med følgende fire opstillinger.



Figur 39 Øverst til venstre lige rør m/u rustangreb. Nederst venstre side: brøndfitting med vinkelventiler (ny), Højre øverst rør og vinkel med rustangreb. Højre nederst viser indløbet.

Det må formodes at der ved anvendelse af rustent rør og vinkel (figur 39, højre side) opstår en roterende strømning i indløbet på måleren. Der er kørt op til tre gentagelser. Data i tabellen angiver spandet af målingerne.

Tabel 13 Resultater fra kontinuerligt flow ved forskellige installationer.

Rørføring	Flow	Vingehjulsmåler	Ringstempel	Ultralyd (kv)	Ultralyd (vv)
Lige rene rør	900 l/t	-0,3 % → 0,7 %	-1,9 % → 2,0 %	-2,7 % → -0,8 %	Anvendt som reference
	90 l/t	-1,5 % → -1,3 %	-0,1 % → 0,0 %	-0,7 % → -0,6 %	
	9 l/t	36 % → 98 %	-5,2 % → -4,9 %	-1,1 % → 0,5 %	
Lige rustne rør	900 l/t	i.d.	-2,3 % → -2,2 %	0,0 % → 0,1 %	
	90 l/t	i.d.	-0,8 % → -0,7 %	-1,0 % → 0,8 %	
	9 l/t	i.d.	i.d.	-0,1 % → 1,6 %	
Vinkel og rustfitting	900 l/t	0,0 % → 0,3 %	-2,1 % → -1,8 %	-2,9 % → -1,8 %	
	90 l/t	0,2 % → 0,7 %	-1,0 % → -0,9 %	-0,8 % → -0,5 %	
	9 l/t	i.d.	i.d.	i.d.	
Brøndfitting	900 l/t	0,4 % → 0,6 %	-2,5 % → -2,1 %	-0,2 % → 0,4 %	
	90 l/t	-1,5 % → -1,3 %	-3,0 %	-1,4 % → -1,3 %	

i.d. = ingen data

Et hurtigt kik på tabel 13 viser at der kun er vingehjulsmåleren ved det helt lave flow, som overskrider MPES.

Det har således ikke været muligt at eftervise betydende fejl som følge af installationsforhold med tilfældigt udvalgte målere. Det er vigtigt at pointere at det gennemførte test på ingen måde kan overføres til alle fabrikater og modeller.

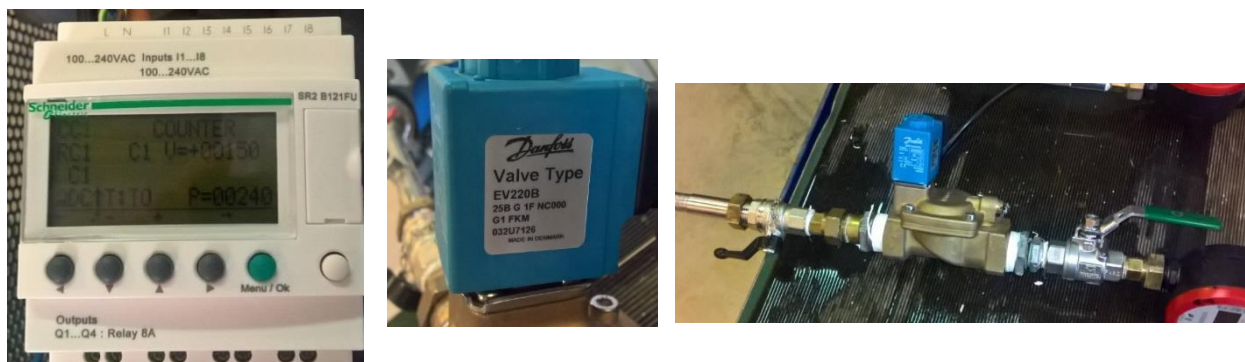
6.2 Dynamisk aftapning

Ved de første test af dynamisk aftapning anvendes ikke-kalibreret men kontrolleret vægt. Forventning til præcision er vurderet tilfredsstillende for de første tests. Derudover anvendes ikke svanehals men hvor systemtik er sikret ved at afvente addrypning inden visningen er stabil.

Dynamisk aftapning tager udgangspunkt i testpunkterne fra Flowcenter *Danmark rapporten Vandmåleres måleevne ved varierende forbrug*, marts 2012, samt de installationsforhold som er anvendt under afsnit 6.1.

6.2.1 Etablering af dynamisk aftapning

Testtriggene ved FORCE Technology, Brøndby, er ikke beregnet til test bestående af mange kortvarige pulser. Derfor er der etableret en ventilstyring bestående af en Schneider logisk relæ (SR2 B121FU) kombineret med en Danfoss servoventil (EV220B 25B NC). Sidstnævnte har en nominel åbningstid på 0.3 sek. og en lukketid på 1 sek. (se figur 40).



Figur 40 Kontrolsystem til dynamisk aftapningsforsøg

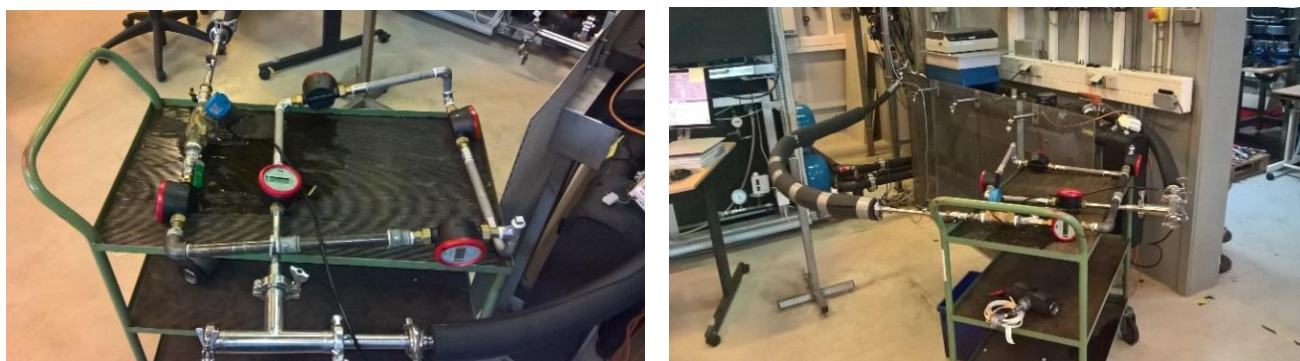
Danfossventilen anvendes til styring af pulser under test. Kuglehanen nedstrøms anvendes til at lukke efter et fastlagt antal pulser.

To ting er ikke helt tilsvarende til en normal installation. Magnetventilen sidder nedstrøms for sidste måler men opstrøms for rørstykket hen til vejecellen. Ventilen sidder således ikke relativt i samme position som en vandhane. Ventilen fungerer ligeledes ved at noget af vandet anvendes til at åbne ventilen. Disse to ting kan være en årsag til at de mekaniske målere udviser en høj rotationshastighed i de første ms under åbning af ventilen. kraftig startpuls.

Vejecelle tømmes og nulstilles efter 1 min for at sikre stabilitet.

6.2.1.1 Test af uliteralydsmåler – Multical 21 (varmtvand)

Nedenstående figur viser opstillingen for test af MC21.



Figur 31 Opstilling til dynamisk aftapningsforsøg

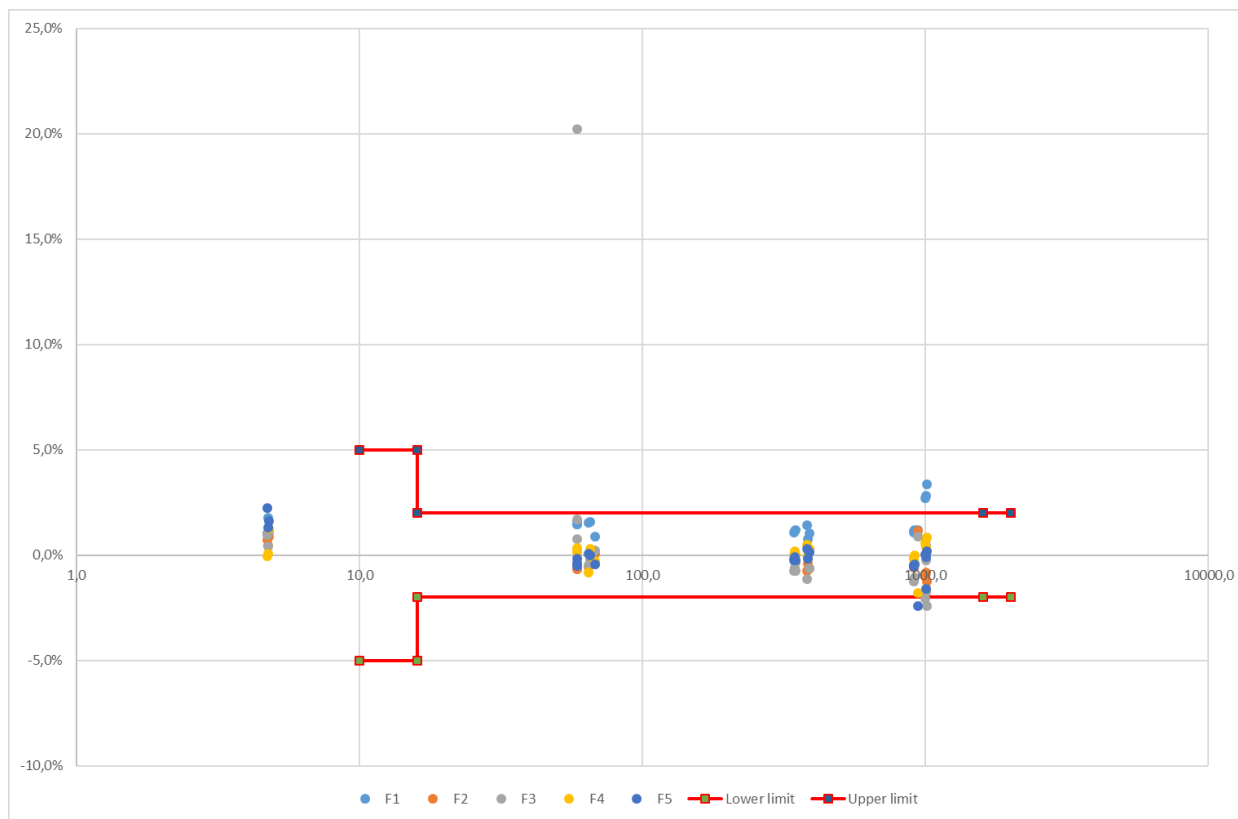
Placering af målere i forhold til rørforstyrrelser er den samme som er anvendt til test beskrevet i 6.1.1.

Der er kørt test i henhold til tabel 14.

Tabel 14 Dynamisk aftapnings sekvens

Test nr.	Nominelt flow	Sekvens	Afmålt
1	5 l/t	1 sekvens/3 gentagelser	Afvejet 6,2-7,3 liter Flowrate 4,7,-4,8 l/t
2	60 l/t	1 sekvens/3 gentagelser	Afvejet 19,6-22,3 liter Flowrate 58,8-58,9 l/t
3	350 l/t	1 sekvens/3 gentagelser	Afvejet 57,4-57,9 liter Flowrate 342,9-347,3 l/t
4	900 l/t	1 sekvens/3 gentagelser	Afvejet 68,2-76,0 liter Flowrate 910,2-912,8 l/t
5	60 l/t	240 sekvenser/3 gentagelser 15 sek. åben; 5 sek. lukket	Afvejet 64,4-67,7 liter Flowrate 64,4-67,7 l/t Per aftapning 0,27-0,28 liter
6	350 l/t	60 sekvenser/3 gentagelser 10 sek. åben; 5 sek. lukket	Afvejet 63,5-64,7 liter Flowrate 380,7-388,1 l/t Per aftapning 1,06-1,08 liter
7	900 l/t	30 sekvenser/3 gentagelser 10 sek. åben; 5 sek. lukket	Afvejet 78,2-84,3 liter Flowrate 938,6-1011,2 l/t Per aftapning 2,61-2,81 liter
8	900 l/t	20 sekvenser/2 gentagelser 15 sek. åben; 5 sek. lukket	Afvejet 83,1-84,0 liter Flowrate 996,8-1007,8 l/t Per aftapning 4,15-4,2 liter

Resultater er vist på figur 43.



Figur 32 Resultater af dynamisk aftaringsforsøg med elektronisk måler. Bemærk enkeltstående outlier, som er observeret ind imellem to andre målinger.

Ved 900 l/t er der enkelte tests, som ligger udenfor 2% grænsen. Ellers ligger alle øvrige inden testtolerancen. Alle ligger indenfor brugstolerancen. Den ene afvigelse kan ikke angives at være forkert, da der kan være tale om en ekstrem situation, hvor lukning/åbning er sket uheldigt i forhold til målerens egen måleperiode (se afsnit 4.2.2).

Flowmåler under test er angivet som F1 (s/n 75998513), F2 (s/n 75998510), F3 (s/n 75998511), F4 (s/n 75998512) og F5 (s/n 75998509).

6.2.1.2 Test af mekaniske målere – Sensus og Zenner.

Der er foretages test af en type I og type II måler (samme som i 6.1.1.2).

Testopstilling er som vist nedenfor uden installationseffekter.



Figur 44 Testopstilling

Række følge fra højre til venstre er: Z s/n 09538105 – Z s/n 10443165 – S s/n 07 541666 – S s/n 07 540818

Note: den ene Sensus (s/n 07 540818) roterede under alle testene men udelukkende fordi flowraten kortvarigt blev skruet op (måler sad fast 2 gange ved lavt flow).

Tabel 15

Test nr.	Nominelt flow	Sekvens	Afmålt
1	60 l/t	100 sekvenser/2 gentagelser 15 sek. åben; 5 sek. lukket P1: 3,83 barg; P2: 3,5 barg	Afvejet 21,5-21,7 liter Flowrate 51,7-52 l/t Per aftapning 0,22-0,22 liter
2	40 l/t	60 sekvenser/2 gentagelser 15 sek. åben; 5 sek. lukket P1: 1,69-2,2 barg; P2: 1,3-1,77 barg	Afvejet 9,6-12,8 liter Flowrate 38,3-51,0 l/t Per aftapning 0,16-0,21 liter

Ud over den nominelle flowrate (planlagt til at være den samme) er forskellen trykniveauet. Det ses tydeligt på de mekaniske målere at "startpuls" er mindre voldsom ved det lavere tryk end det højere tryk.

Resultaterne vist i tabellen nedenfor viser at de tidligere test foretaget af Flowcenter Danmark er gentaget.

Tabel 16

Test nr.	ZENNER s/n 09538105	ZENNER s/n 10443165	SENSUS s/n 07 541666	SENSUS s/n 07 540818
1	19,6%	20,0%	-3,1%	-2,4%
	20,3%	20,6%	-5,2%	-3,8%
2	16,5%	18,1%	-2,1%	0,1%
	12,2%	12,7%	-0,1%	0,2%

Hvirvelskive målerne udviser dog større afvigelse ved test 1 end observeret tidligere. Test 2 er tættest på en "vandhanetest" – her er tallene også tættest på FlowcenterDanmarks tidligere resultater.

6.2.1.3 Test af målere.

I forbindelse med testene beskrevet i afsnit 6.1.3 blev der foretages ekstra målinger af dynamisk aftapning for alle fire typer af målere. Tabel 17 viser resultatet. Der er kørt med rette rør og tilbageløbsventil med op til tre gentagelser. Data i tabellen angiver spandet af målingerne. Der er foretaget måling i forhold til afvejnet mængde vand på cirka 18 liter per aftapning.

Tabel 17 Resultatet af dynamisk aftapning med "virkelige" installationer.

Flow	Vingehjulsmåler	Ringstempel	MC 21 (kv)	MC 21 (vv)
900 l/t; 25 x 2,5 sek.	15,0 % → 15,6 %	-0,9 % → -0,6 %	2,8 % → 4,6 %	-0,1 % → 2,4 %
900 l/t; 15 x 5,5 sek.	9,0 % → 9,1 %	-0,8 % → 1,1 %	-1,5 % → 3,0 %	-0,5 % → 1,7 %
360 l/t; 50 x 3,5 sek.	17,4 % → 18,8 %	0,5 % → 0,7 %	1,6 % → 2,7 %	-0,1 % → 0,6 %
360 l/t; 30 x 5,5 sek.	16,3 % → 16,7 %	0,1 %	-0,9 % → 1,8 %	-0,4 % → 0,5 %
120 l/t; 100 x 3,5 sek.	36,8 % → 40,9 %	1,1 % → 1,2 %	0,5 % → 2,1 %	0,7 %
120 l/t; 60 x 5,5 sek.	25,0 % → 46,6 %	1,0 % → 1,1 %	0,4 % → 0,6 %	-0,1 % → 0,3 %

Som det ses fra tabel 17 så er generelt betragtet kun vingehjulsmåleren, som klart udviser en afvigelse højere end MPES.

6.3 Opsummering

Flowforstyrrelser har en indvirkning på målenøjagtigheden på flowmålere. Det er dog ikke fundet belæg for at de hyppigst forekomne installationer, som er iagttaget i analysedelen af denne rapport, skaber grund til at betvivle hvorvidt måleren overholder de foreskrevne tolerancer. Selv i situationer hvor vejledninger ikke nødvendigvis var fuldt, og forekomsten af betydelige flowforstyrrelser var forventet, overholdte de testede målere tolerancerne.

De simulerede flow igennem fittings med hårde kanter viste at flowprofilen blev spejlvendt i forhold til simulering med bløde bøjninger. Belægninger i brugte installationer bekræftede dette. Dette medvirker til at flowprofilen ikke opførte sig som hidtidigt antaget, men stadig uden at medvirke til fejl der overskrider tolerancerne.

Nedenstrøms flowforstyrrelser er ikke omfattet i dette projekt, men kunne være en faktor der var interessant for fremtidige undersøgelser.

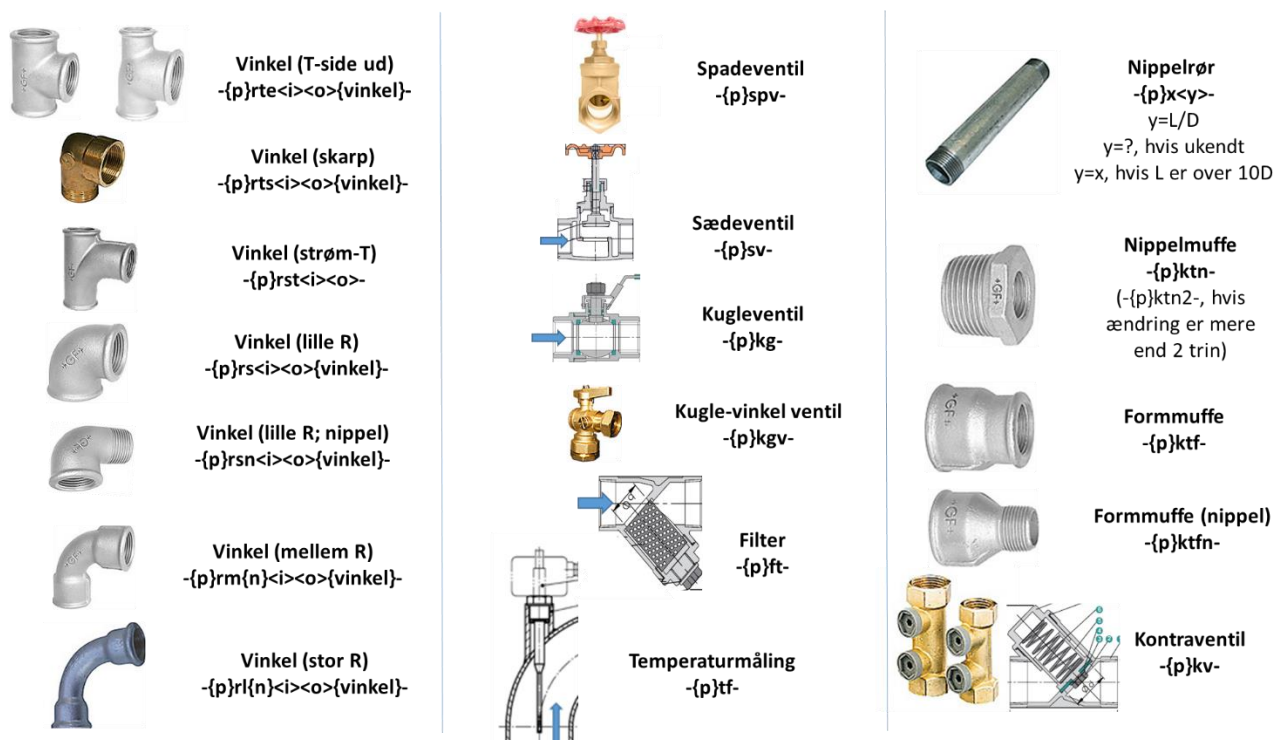
Dynamisk aftapning foresager fejlmåling, specielt i de testede vingehjulsmålere overskred tolerancerne betydeligt. Både ved ideelle installationsforhold og de i analysen fundne forhold viste de testede vingehjulsmålere at de ikke kunne overholde tolerancer ved alle flowrater og specielt ved små flow.

7 Bibliografi

- AECOM. (2013). *An Investigation into Heat Meter Measurement Errors Final Report*. Hertfordshire: Department of Energi and Climate Change, UK.
- Alsbjer, M., & Wahlgren, P. (2011). *Raksträckor för ultraljudsmätare*. Stockholm: Fjärrvärme AB.
- Butler, D., Anela, A., & Martin, C. (2015). *Heat meter accuracy testing*. London: Department of Energy and Climate Change, UK.
- Christiansen, C. H. (2011). *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i Energyflexhouse*. Energistyrelsen.
- Christiansen, C. H., Paulsen, O., & Hansen, M. P. (2009). *Study on water heaters and tapping patterns in relation to proposed ecodesign implementation measures*. Aarhus: Teknologisk Institut.
- Guo, B., Fletcher, D. F., & Langrish, T. A. (2001). *Effect of a Downstream Sudden Contraction on Flow Instability Behind a Sudden Pipe Expansion*. Adelaide: Adelaide University.
- Kalpakli, A. (2012). *Experimental study of turbulent flows through pipe bends*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Kelner, E. (u.d.). *Flow Meter Installation Effects*. San Antonio, TX: Southwest Research Institute .
- Kim, J., Yadav, M., & Kim, S. (2016). *Characteristics of secondary flow induced by 90-degree elbow in turbulent pipe flow*. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics.
- Niemann, A. (2011). *Vandmåleres måleevne ved varierende forbrugsmønstre*. Aarhus: Flowcenter Danmark.
- Schumann, D., Wendt, G., & Tränckner, J. (2016). *Development of a calibration process for water meters close to real world conditions*. Braunschweig: PTB.
- So, R. M., & Anwer, M. (1993). *Swirling turbulent flow through a curved pipe; Part 2: Recovery from swirl and bend curvatures*. Springer-Verlag.
- Wahlgren, P., Nilsson, D., & Franzén, T. (2013). *Raksträckor för större ultraljudsmätare*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme AB.
- Weissenbrunner, A., Eichler, T., & Lederer, T. (2014). CFD Simulation einer 7% Segmentblende und Vergleich mit PIV-Messungen. *EMATEM* (s. 8). Seon: PTB.
- Wendt, G. (2007). Gegenüberstellung des Profils von Swirl-Generator und Raumkrümmer. *EMATEM* (s. 7). Kloster Seeon: PTB.
- Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach. (2015). *Wasserverbrauch und Wasserbedarf*. Wien: lebensministerium.at.

Bilag 1. Beskrivelse af installation ved kodning

For at tillade en systematisk (men grov) kategorisering af måleinstallationer er der indført en nomenklatur til beskrivelse af installationsforholdene. Figur B1-1 viser de primære anvendte navngivninger. For enkelte meget specielle situationer er det dog nødvendigt at angive fittingen direkte eller beskrive denne på anden måde.

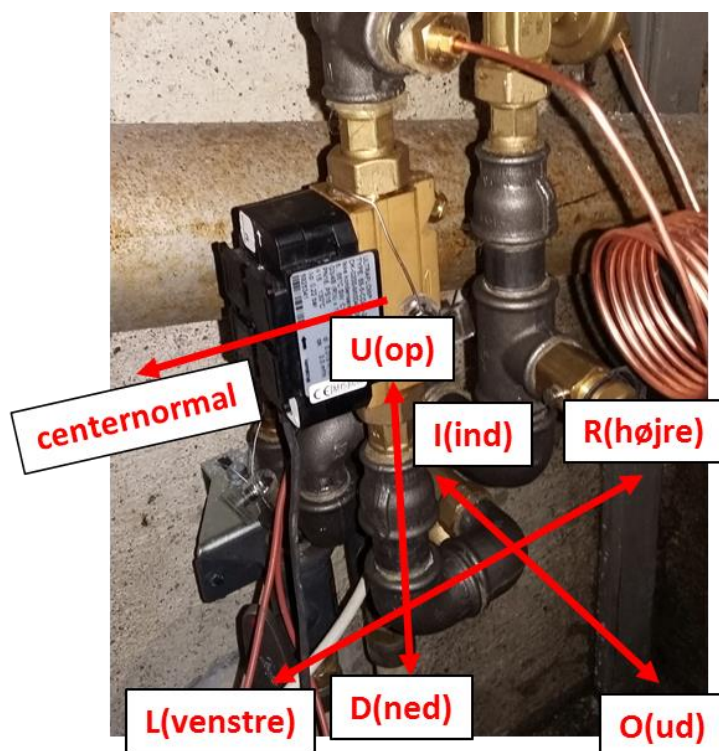


Figur B1-1 Nomenklatur for beskrivelse af rørsystemer

Der er derudover følgende generelle guidelines:

- Vinkler på mindre end 90° angives (for eksempel angives 45 for en 45°vinkel til sidst i navnet; bemærk at vinkel er i forhold til ret rørs forløb!).
- "n" er reserveret til angivelse af placering af nippel position, hvor der kan være både en nippel eller muffe. En vinkel med stor radius og indløb ved nippel hedder derfor "nrl<i><o>". Er nippel placeret ved udløbet, så er navngivningen "rln<i><o>".
- {p} angiver at navnet starter med "p" såfremt der er tale om presfitting eller tilsvarende. Årsagen beskrives nærmere i afsnit 5.1. Anvendes "x" i stedet for "p" indikerer dette at der er anvendt fitting, hvor muffen er med udvidet diameter og derfor tilnærmelsesvis sikrer samme indvendige diameter på rørføringen.
- <i><o> anvendt til beskrivelse af vinkler anvendes til at angive orienteringen for henholdsvis indløb (i) og udløb (o). Dette er ikke anvendt for de øvrige fittings, hvorfor vinkler i fællesskab beskriver rørføringen. Definitionen på retninger er angivet på figur 2-2.
- Orientering af flowmetrets centernormal angives ligesom typen af måler i form af <måletype>/<retning>, hvoraf sidstnævnte kan være med 2 bogstaver hvis måleren er placeret skævt i forhold til rørstrækningerne. Se figur 2-2 for retningsangivelser.

- Der registreres kun fra synlig stophane til flowmetret samt første fitting efter flowmetret.
- Målerforskruning og indbyggede filtre i flowmetret medtages ikke. Målerforskruningen vil ofte udgøre en ret rørstrækning på 2-3 diameter.
- Rørlængde angives som visuelt vurderet L/D på yderdiameter.
- Udtrykket "x0" beskriver en *brystnippel*. Udtrykket "x0m" beskriver en *randmuffe*.
- "*" efter beskrivelse angiver ændret dimension del af fitting. For *ktn*, *ktf* og *ktfn* betyder "*" en ændring over 2 dimensioner.
- For ventiler gælder notationene –{p/x}csv<retning af nål>.



Figur B1-2 Orientering af koordinatsystem

Da installationen på figur 4-2 ikke er tydelige med hensyn til opstrøms installation før den synlige første vinkel, så vil denne beskrives som *??-nrsol-x0-rslu-x1-ktf*, målerens data som *uliteralyd/L* og første nedstrøms fitting *tf*.

For at illustrere kodningen er installationen på figur 2 (fjernvarme) på figur 3 tilføjet koder for de enkelte dele.

Opstrøms for flowmetret er det kun et kort stykke som er synligt på billedet. Dette er tilstrækkeligt, da det er de viste fittings, som er de primære flowforstyrrelser. Det første stykke angives derfor med **??**-. Der er muligvis tale om kontraventil, hvilket dog ikke har betydning i denne sammenhæng.

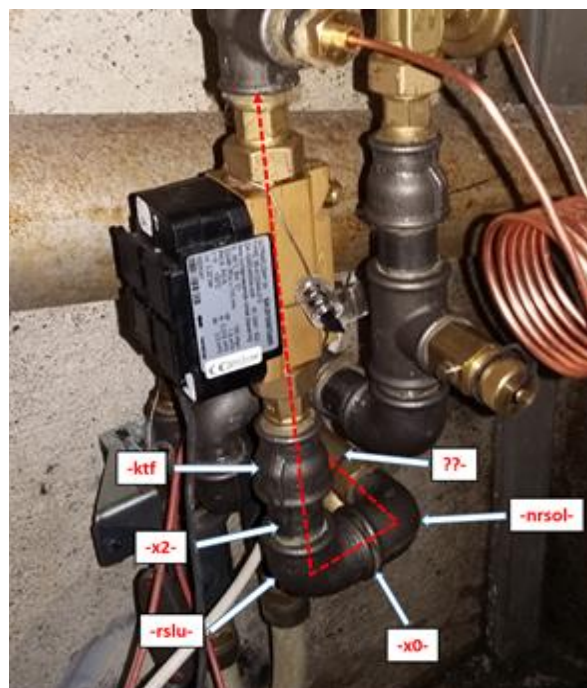
Dernæst følger en vinkel "RS" med orienteringen "out" og "left". Da vinklens indløb er en nippel, så bliver koden for dette stykke **-nrsol-**.

Imellem de to vinkler er der anvendt en nippelmuffe. Denne har koden **-x0-**.

Den anden vinkel "RS" er med orienteringen "left" og "up". Koden bliver så **-rslu-**.

Nippelrøret er vurderet til 2D lang og dermed med koden **-x1-**.

Lige før flowmetret er monteret en reduktion (en dimensionsovergang) som kodes **-ktf**.



Figur B1-3 Eksempel på kodning

Beskrivelsen af den samlede rørstrækning opstrøms bliver dermed **??-nrsol-x0-rslu-x2-ktf**. Flowmetrets type og position registreres ligeledes som **ultralyd** og med centeraksens orientering **L** for "left".

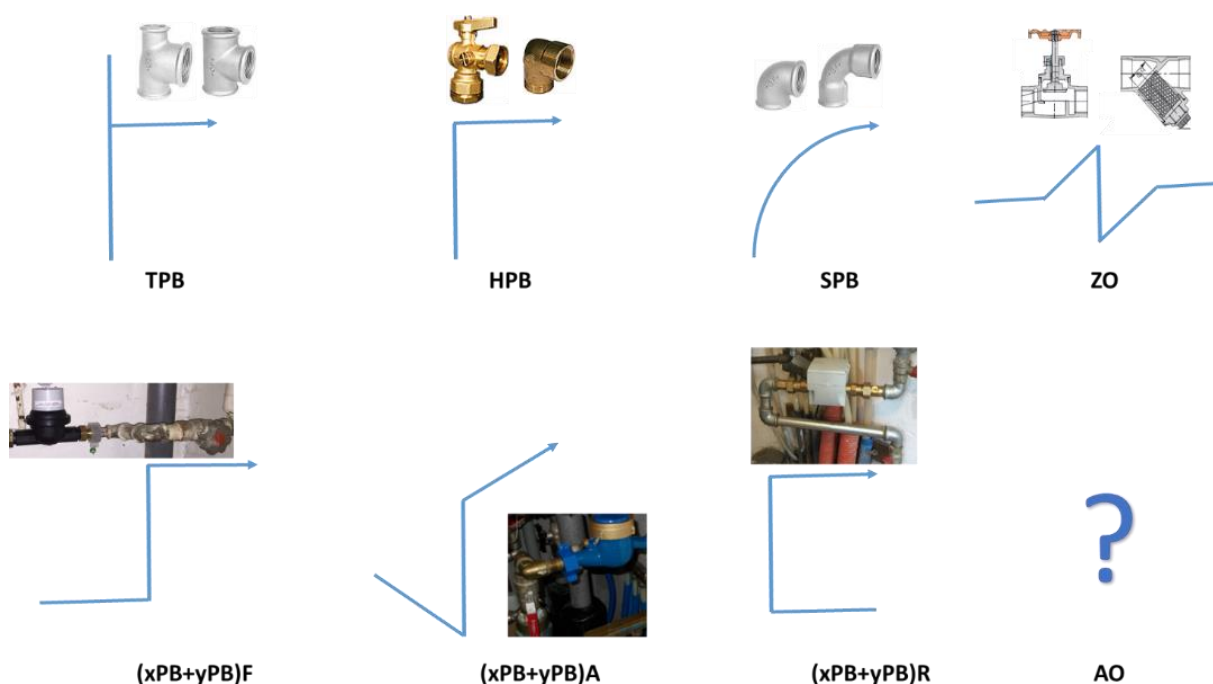
I det viste eksempel er installationen baseret på galvaniseret rør og monteret via gevindsamlinger. I kodningen vil også fremgå om der er tale om fx presfittings, da samlingsmetoden har vist sig at have betydning for hvorledes strømningen inde i røret påvirkes.

Ved registreringen er der ikke taget højde for belægninger eller korrosion. Der tages kun højde for den rørstrækning, som er visuelt.

De enkelte typer af flowmetre vil ligeledes kunne være bygget med filtre som også vil have betydning for hvorledes væskestrømmen inde i flowmetret reelt forløber. Registreringen af fittings kan kun give en indikation af hvorledes strømningen ser ud før flowmetret, hvis denne består af et ret rørstykke.

Karakterisering/gruppering af installationsforhold

Umiddelbart viser tabellerne ikke hele udfaldsrummet, da dobbelte vinkler kan være i forskellige retninger, samme retning eller ophæve hinanden. Ligeledes vil nogle fittings udvise samme type af flowpåvirkninger hvorfor disse bedre kan grupperes. Endeligt vil en kuglehane ikke nødvendigvis påvirke et flow mere end et ret rørstykke. Det er derfor valgt ud fra simple flowprincipper at lave følgende grupperinger:



Figur B1-4 Kombinationer af fittings

Vinkler (**T**ee-**p**ipe **b**end; **H**ard **p**ipe **b**end; **S**oft **p**ipe **b**end) har forskellige karakteristika. SPB er den variant som oftest refereres til når der tales om vinkler.

TPB er karakteriseret ved at væskeflowet ikke ledes til siden via rørvægget men via det modtryk, som strømningen oplever idet væskestrømmen stoppes ved udløbet af t-stykke. Effekten på flowet er at hastighedsfordelingen i udløbet er mere kaotisk (ikke bare turbulent). HPB ligger ind imellem SPB og TPB.

ZO står for "Z-obstruktion" – altså hvor flowet før og efter fittings har samme retning og centerakse men hvor flowet tvinges til siden midtvejs. Eksempler er sædeventiler, filtre, nåleventiler, membranventiler og lignende. Flow ud af disse kan idealiseret sammenlignes med flowet ud af en enkelt vinkel men uden de karakteristiske to recirkulationer.

AO står for "Any other" – som beskriver forhold der ikke falder ind under nogen af ovenstående beskrivelser.

Kombinationen af 2 vinkler vil også have forskellige karakteristika. (xPB+yPB)F betegner hvor de 2 vinkler så at sige ophæver hinanden. (xPB+yPB)R betegner hvor de 2 vinkler udgør en "frem og tilbage" loop. (xPB+yPB)A betegner hvor de 2 vinkler er ude af plan.

For at lave en generel opsætning skal de forskellige konfigurationer og fittings inddeles i 3 grupperinger:

Tabel B1-1

Gruppe	Karakteristik	"Koder"
A	Ideelt flow eller flow uden væsentlige afvigelser i forhold til akse-symmetrisk flow. Ingen hvirvel eller recirkulationer.	XO (xPB+xPB)F
B	Den radiale hastighedsfordeling af den aksiale komponent er styret af en opstrøms forhindring, som delvist blokerer for frit gennemløb. Kan være kombineret med en (svag) recirkulation.	ZO xPB (xPB+xPB)R
C	Den radiale hastighedsfordeling af den aksiale komponent er styret af en (kraftig) hvirvel. Dette fremkommer primært ved kombinationen af 2 vinkler "out of plane"	(xPB+xPB)A

Koderne skal fortolkes således:

Tabel B1-2

Kode	Beskrivelse
XO	Lange lige rørstrækninger (>10D). Kan indeholde kuglehaner og symmetriske dimensionsovergange. 
ZO	Obstruktioner, som giver en "Z" flow bevægelse. Kan være så forskellige ting som sædeventiler, membranventiler, filtre, delvist lukkede kuglehaner. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem flowforstyrrelsen og måleren. 

xPB	Vinkel/vinkel. "x" kan være T, H eller B – alt efter om der er tale om vinker baseret på T-stykker, skarpe vinkler eller "bløde" vinkler ($r > D$). Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem flowforstyrrelsen og måleren. 
(xPB+xPB)F	Kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at udløbet af 2. vinkel har samme retning som indgangen til 1. vinkel. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. De 2 vinkler vil delvist forsøge at ophæve hinandens flowforstyrrelse, hvorfor den forenkjede registrering vil være at betragte flowprofilet i udløb til at være i samme kategori som det lange lige rør (XO). 
(xPB+xPB)A	Kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at vinklerne er "out-of-plane". Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. De 2 vinkler sat i en indbyrdes vinkel vil betyde at der generes en roterende strømning og hvor dennes styrke vil presse vandet ud mod rørvæggen. Flowprofilet i udløb vil derfor være karakteriseret af en rotation om den aksiale akse samt en radial fordeling af den aksiale hastighed, som kan være størst ved væggen.  Hvirvel kan også generes af kombinationen ZO+PB alt efter om orientering af ZO i forhold til den efterfølgende PB.

(xPB+xPB)R	Kombination af 2 vinkler, som er karakteriseret ved at udløbet af 2. vinkel har den modsatte retning som indgangen til 1. vinkel. Omfatter også hvor der er en symmetrisk dimensionsovergang imellem 2. vinkel og måleren. Flowprofil i udløb vil være samme karakteristik som en enkelt bøjning (xPB). 
------------	--

Dimensionsovergange er ikke medtaget som selvstændig obstruktion, da denne type i sig selv ikke genererer asymmetri eller hvirvel.

Bilag 2. Beskrivelse af en tappeprofil

Tappeprofiler for et målepunkt vil være afhængigt af antal personer, type af hus, årstid og et utal af andre parametre. For at etablere et tappeprofil til brug for at vurdere brugbarheden af en dynamisk aftapningstest er der i forbindelse med projektet lavet en beskrivelse af en tænkt dagligdag for en tilfældig person kaldet *Benny*. Denne kan findes på FlowcenterDanmarks hjemmeside med titlen *Vandmåleres måleevne ved dynamisk aftapning – eksemplet Benny*.

Beskrivelse af dagligdagen

Benny er ikke nødvendigvis en typisk dansker. Han ser sig selv som ganske normal og kan godt lide rutiner i dagligdagen. Bennys tappeprofil vil derfor hen over året kunne beskrives ud fra enkelte dagsrutiner.

Benny kan godt lide at vågne op og få en skønhedssøvn. Men på et tidspunkt så skal han op, da han skal på toilettet. Efter at have trækket i snoren, går Benny straks hen for at vaske hænder, hvilket sker under rindende vand – også mens han gnider hænderne i sæben. Vask af hænderne afsluttes inden cisternen på toilettet er fyldt (sekv. A). Toilettet er i øvrigt med elektronisk ventil, som holder tæt og lukker og åbner momentant.

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

Benny tager ud på en løbetur. Da han kommer hjem, skynder han sig ind under bruseren. Benny har det princip at vandet under indsæbning skal være lukket. Men bagefter kan der godt gå lidt tid med at nyde det varme vand fra varmtvandsbeholderen (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 skynder sig ud på toilettet for at børste tænder. Benny fylder et plastikkrus med vand (sekv. B) til at skylle munden efterfølgende men skyller lige tandbørsten under rindende vand både før og efter (sekv. E).

Inden Benny løber ud ad døren for at nå bussen, så fylder han lige 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. En gryde skal fyldes 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 kun øl af princip.

Efter aftensmadet bliver tallerkenen hurtigt skyllet under vandhanen inden den også kommer ind i opvaskemaskinen (sekv. D). Panden bliver ligeledes vasket under rindende varmt vand, som lige skal nå at komme til vandhanen (sekv. I). Dette gør at Benny ikke behøver vente på det varme vand, når han skal bruge karkluden til at gøre rent på bordet (skylles/vrides både før og efter; sekv. J).

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

Inden sengetid starter Benny opvaskemaskinen med tidsforsinkelse, således at den er færdig om morgenen (sekv. L). Herefter er det tid til toiletbesøg (sekv. A) og få børstet tænder (sekv. E).

Og det var så den dag ...

I weekenderne besøger Benny fortsat sin gamle 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. Derfor er der jo gratis servering/mad, når han er ude ved vennerne eller mor. Benny er dog begyndt at vaske sit tøj selv, hvilket bliver to vask om ugen i egen moderne vaskemaskine (sekv. F).

Benny har måske både have og bil. Men af princip så vil Benny kun bruge opsamlet regnvand til bilvask og havevanding.

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

Tappesekvens

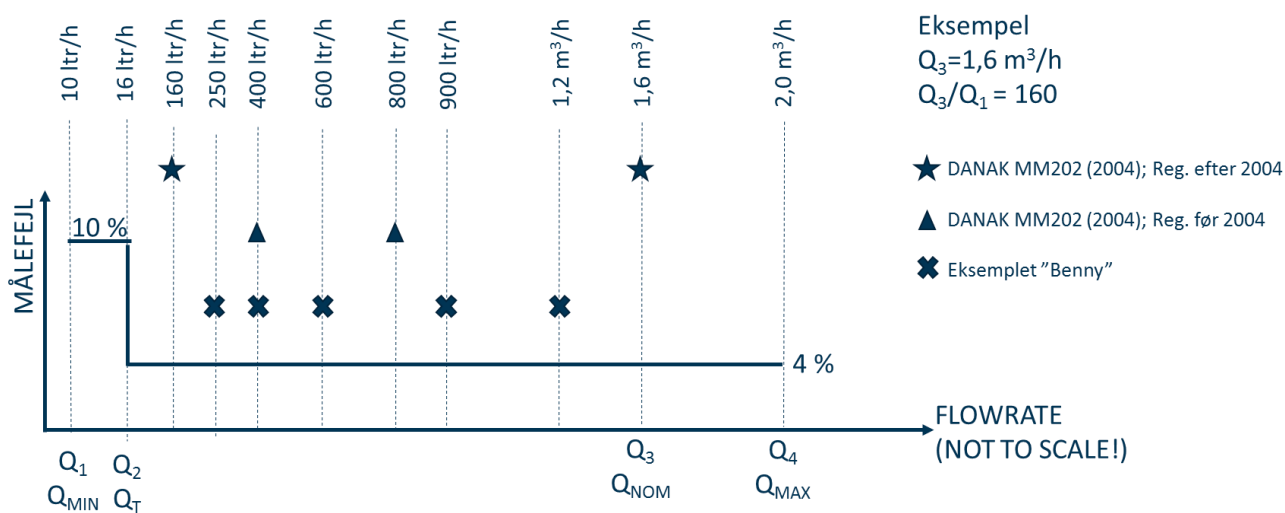
I historien om Benny indgår sekvenser A-N. Disse er inspireret fra faktiske målinger, angivelser i litteraturen og andre inputs. Tabel 1 viser disse i tekstform.

Tabel B2-1 Sekvenser fra Bennys dagligdag

Sekvens	Aktivitet	Forløb	Mængde	Per dag
A	Fyldning af cisterne og vask af hænder	i. 6 sec @ 16 l/min ii. 12 sec @ 21 l/min iii. 2 sec @ 16 l/min	6,5 liter	3
B	Glas vand med skylning	i. 4 sec @ 15 l/min ii. 2 sec @ 0 l/min iii. 3 sec @ 4 l/min	1,2 liter	2
C	Bruser	i. 20 sec @ 15 l/min ii. 30 sec @ 0 l/min iii. 180 sec @ 15 l/min	50 liter	1
D	Tallerken skyl	i. 3 sec @ 16 l/min	0,8 liter	2
E	Tandbørstning (fyldning krus, skyl, pause, skyl)	i. 6 sec @ 5,5 l/min ii. 200 sec @ 0 l/min iii. 5 sec @ 5,5 l/min	1,0 liter	2
F	Drikkedunk (0,5 liter) samt skylning	i. 10 sec @ 5,5 l/min	0,9 liter	1
G	Fyldning af gryde med 1 liter vand	i. 10 sec @ 6 l/min	1 liter	1
H	Skylning af salat og skrælning af grønsager	i. 40 sec @ 3,8 l/min	2,5 liter	1
I	Pandevask samt afvente varmt vand ved hane	i. 12 sec @ 10 l/min ii. 15 sec @ 3,8 l/min	2,9 liter	1
J	Karklud	i. 4 sec @ 6,7 l/min ii. 240 sec @ 0 l/min iii. 6 sec @ 6,7 l/min	1,1 liter	1

Sekvens	Aktivitet	Forløb	Mængde	Per dag
K	Kaffe	i. 6 sec @ 5 l/min ii. 6 sec @ 0 l/min iii. 3 sec @ 6 l/min iv. 2 sec @ 0 l/min v. 6 sec @ 10 l/min	1,7 liter	1
L	Opvaskemaskine	i. 12 sec @ 20 l/min ii. 4300 sec @ 0 l/min iii. 12 sec @ 20 l/min	8 liter	1
M	Vaskemaskine	i. 10 sec @ 20 l/min ii. 25 sec @ 0 l/min iii. 25 sec @ 20 l/min iv. 1800 sec @ 0 l/min v. 25 sec @ 20 l/min vi. 300 sec @ 0 l/min vii. 25 sec @ 20 l/min	28,3 liter	2/7
N	Fyldning af spand	i. 60 sec @ 15 l/min	15 liter	3/30

Det antages at 270 dage om året følger den beskrevne sekvens. 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 (365 dage).



Figur B2-1