

Eva Kling, Krister Stolt, Peter Lau,
Kerstin Mattiasson

Kalibrering/provning av mätare i utrustning varm- vattenbänk VM7

Abstract

Calibrating/testing meters in Hot Water Test Bench VM7

A Hot Water Test Bench, VM7, has been developed and constructed for the calibration and testing of volume and flow meters, in a project at the National Volume Measurement Laboratory at SP. Its main feature is its capability to measure with high accuracy at high temperatures and low flowrates, from 0.1 to 100 l/min. The intended area of use includes use as a reference at audit measurements, e.g. for accredited laboratories, calibration of meters for the industry and for the testing of hot water meters.

The objective of the project, which was initiated in 1989, was to design equipment with stable flow and with a minimal temperature drop even at very low flow-rates. The system should also easily and effectively be made free of air. Ready-made equipment available commercially, was found not to meet these requirements and it was therefore decided to develop the test bench in house.

The principle of the design is a closed system with two pressure tanks at different pressures. The water is led from the high pressure tank through the test object and the volume standard, in the form of master meters or a piston prover alternatively, to the low pressure tank. Calibrations/tests are made comparing the indication of the test object to that of master meters covering the current flowrate. These are, in the same test cycle, calibrated to the piston prover. Alternatively the test object can be calibrated directly to the piston prover. The assembly of pipes and master meters is inclined to allow any air to be easily deaerated. The set-up includes a computer system comprising control- and measuring systems.

SP
SP Rapport 1993:26
ISBN 91-7848-411-1
ISSN 0284-5172
Borås 1993

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1993:26

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone +46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax +46 33 13 55 02

Innehållsförteckning

	Abstract	2
	Innehållsförteckning	3
	Sammanfattning	4
1	Inledning	5
2	Bakgrund	6
3	Provningsanläggningen	7
4	Funktionsbeskrivning	10
5	Provning	11
5.1	Provning av mätobjekt med pulssignal mot kalibrator (Plf, Phf)	11
5.2	Provning av mätobjekt med pulssignal mot referensmätare (Mls, Mlf, Mhs, Mhf)	11
5.3	Provning av mätobjekt med räkneverk mot referensmätare (Mls, Mhs)	11
6	Mätosäkerhet	12
Bilaga 1	Specifikation (2 sidor)	
Bilaga 2	Mätosäkerhet	

Sammanfattning

Varmvattenbänk VM7 är konstruerad och utvecklad för kalibrering/provning av volym- och flödesmätare vid höga temperaturer och låga flöden, från 0,1 till 100 l/min, i ett projekt vid Volymlaboratoriet på SP. Behov av mätning inom dessa områden kommer från bl a ackrediterade laboratorier, industrin (t ex massflödesmätare och andra typer av små mastermätare) samt från tillverkare och användare av varmvattenmätare.

Målsättningen för projektet har varit att skapa en anläggning med stabilt och störningsfritt flöde, samt med ett minimalt temperaturfall även vid låga flöden. Systemet skall dessutom vara lätt och effektivt att avlufta.

Funktionsprincipen är baserat på ett slutet system bestående av två trycktankar med olika tryck, där vattnet leds från högtryckstanken genom mätobjekt och volymnormal, i form av referensmätare alternativt mätcylinder, till lågtryckstanken. Kalibrering/provning sker genom att jämföra mätobjektets visning med de referensmätare som täcker det aktuella flödesområdet. Referensmätarna kalibreras inom mätcykeln mot mätcylindern. Alternativt kan mätobjekt kalibreras direkt mot mätcylindern. Referensmätarna med tillhörande rör är installerade lutande, för att eliminera luftfickor. Utrustningen inkluderar en mätdator och ett styrsystem som är förberett för helautomatisk kalibrering.

1 Inledning

Varje typ av flödesmätare kräver sin metod för kalibrering/provning.

Volym kan mätas direkt, däremot inte flöde. Mätning i volymkärl, vägning, användning av mastermätare, mätslinga och mätcylinder (eng piston prover) är några exempel på kalibreringsmetoder.

Varmvattenbänken VM7 som beskrivs i denna rapport, är konstruerad för volumetriskt provningsförfarande med vatten speciellt vid höga temperaturer och låga flöden 0,1 till 100 l/min. Provning/kalibrering av mätobjektet sker mot mastermätare kopplade i serie, som inom samma mätcykel kalibreras mot en mätcylinder. Även denna är kopplad i serie. Mätobjekten kan inom hela mätområdet kalibreras med både stående och flygande start/stopp.

Genom framtagandet av denna mätbank, höjer vi den tillgängliga mätkompetensen för låga flöden i Sverige. Det innebär bland annat att jämförelsemätningar med hög mätsäkerhet kan genomföras med t ex ackrediterade laboratorier. Till användningsområdena hör också kalibrering av massflödes- och flödesmätare till t ex läkemedels- och kemisk industri. Provning av varmvattenmätare är ytterligare ett område.

Rapporten avser att ge en översiktlig bild av det utvecklingsarbete som genomförts inom sektionen, och som resulterat i den nya varmvattenbänken benämnd VM7.

2 Bakgrund

Utrustning att mäta låga flöden av varmt vatten med hög mätsäkerhet har tidigare saknats i Sverige. Behovet av denna mätmöjlighet visade sig dock ökande, i takt med att mätare för flöden ner under 10 l/h introducerades. Det innebar bland annat att laboratorier visade intresse för ackreditering för lägre flöden och högre temperaturer än tidigare. Möjlighet att verifiera mätplatsernas resultat saknades dock.

Utifrån dessa indikationer startade vi 1989 inom volymsektionen ett projekt att utvärdera behov och möjlig mätutrustning för att bl a kalibrera auditpaket och mätare. Utvärderingen resulterade i ett beslut att en utrustning skulle införskaffas.

Då det visade sig att lämplig nyckelfärdig utrustning inte fanns att tillgå på marknaden, valde volymsektionen att på egen hand, utifrån mångårig erfarenhet, konstruera och utveckla en mätbänk. En rad högt uppsatta mål skulle uppfyllas. Huvuddelar i kravspecifikationen var att anläggningen skulle ge ett stabilt och störningsfritt flöde, med stabilt tryck vid mätobjekt och referensnormaler, samt med ett lågt temperaturfall över anläggningen, även vid höga temperaturer och låga flöden under långa provtider. Därtill skulle systemet vara lätt och effektivt att avlufta. Bänken skulle användas för provning med flöden ner till 0,1 l/min.

Efter att ett flertal anläggningsprinciper utvärderats och förkastats, däribland högtank respektive pump, beslutades att hydroforprincipen var lämpligast för ändamålet. Det vidare utvecklingsarbetet bestod i att konstruera ett system där hydrofortanken kontinuerligt hålls fylld, val av lämpliga mastermätare samt kalibreringssätt för dessa. För det senare planerades en liten mätcylinder (eng piston prover), en teknik som volymsektionen tidigare har använt med goda erfarenheter. Dessutom behövde styrningen och mätdatauppsamlingen i mätbänken fungera praktiskt och smidigt och med hög tillförlitlighet. Resultatet blev den utrustning som beskrivs i följande kapitel.

3 Provningsanläggningen

Anläggningen finns schematiskt beskriven i bild 1. Den består av:

- 2 trycktankar
- mätbänk för upp till 3 provobjekt
- 4 mastermätare för flöde (överlappande flödesområde)
- 1 mätcylinder (prover) med pneumatisk återställningscylinder
- 3 pumpar
- vatten och tryckluftsledningar av olika dimension
- vattenfilter
- uppvärmnings och kylutrustning
- ca 60 hand-, styr- och reglerventiler för vatten och luft
- 25 givare för tryck, temperatur, vattennivå
- mätdatorsystem
- styrsystem
- manöverpanel med indikerande instrument för flöde, tryck, temperatur och vattennivå

Högtryckstanken betecknas som tank I och lågtryckstanken som tank II. Båda är isolerade och försedda med elektriska värmepatroner för att nå en stabil vattentemperatur upp till 95 °C. Till lågtryckstanken är kopplad en värmeväxlare med pump för att snabbt kunna ändra temperaturen ner till 15 °C.

I varje tank finns ett vertikalt rör som skapar ett bräddöverlopp för ett konstant statiskt tryck. Båda tankarna är anslutna till tryckluftssystemet via var sin tryckregulator som åstadkommer en reglerbar tryckdifferens mellan 1 och 6 bar. Nivågivare ger reglerinformation till ett styrsystem.

Tankarna står i ett separat rum ovanför mätbänken. Flera rörförbindelser med olika ventiler och pumpar åstadkommer vattenförflyttning och tryckutjämning.

Mätbänken har plats för att prova tre mätare samtidigt.

Mätbänken, mastermätarpaketet och provern är placerade på nedre plan för kortast möjliga avstånd och därmed med minimal buffervolym dem emellan. Alla ledningar är dragna svagt lutande för att eventuell luft i dem snabbt skall kunna nå ut till lågtryckstanken. På många ställen, framför allt vid mätbänken, mastermätarna och provern, är ledningarna dubbelmantlade för att med hjälp av underhållsvärmning uppnå en jämn temperaturfördelning. Hela rörsystemet är isolerat och provern är inkapslad.

Det är enbart tryckdifferensen mellan tank I och II i kombination med flödesventiler som bestämmer flödet. De magnet- och tryckluftsstyrda ventilerna styrs från ett provprogram i en mätdator, via ett styrsystem. För en noggrann flödesinställning utnyttjas reglerbara flödesventiler.

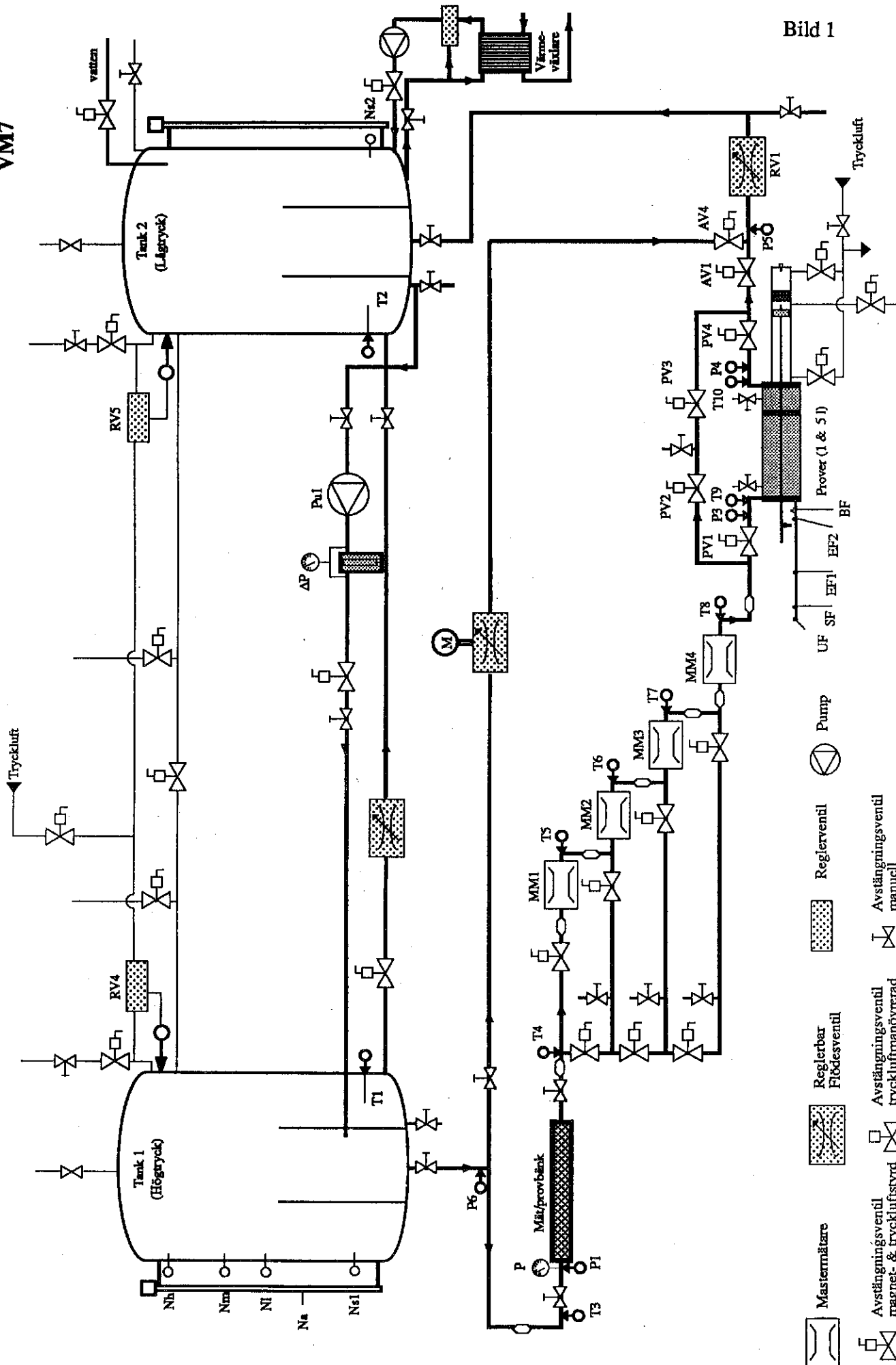
7 tryckgivare och 4 manometrar samt 10 temperaturgivare används för tryckövervakning respektive temperaturövervakning.

Mätdatorsystemet består av en persondator med bildskärm och tangentbord för kommunikation med operatören. Den är kopplad till en flerkanalig analog och digital datainsamlingsutrustning, även den egentillverkad inom SP. Styrsystemet är ett PLC-system för styrning av ventiler, tryck och temperaturer etc.

Manöverpanelen visar ett förstorat schema av bild 1 där de aktiverade ventilerna, värmeelementen, pumpar, mastermätare, nivålägen m m anges med hjälp av lysdioder. Kring schemat finns 10 visningsinstrument placerade, underst ett för varje mastermätare, på höger respektive vänster sida en för tankens aktuella vätskenivå, tryck och temperatur.

Schemaskiss
VM7

Bild 1



4 Funktionsbeskrivning

Flödeskalibreringen kan inom hela flödesområdet 0,1 till 100 l/min ske med både stående och flygande start/stopp. Flödesområdet delas in i två delområden. Område I är för flöden upp till 8 l/min. Område II gäller för alla flöden därutöver. Flödet alstras i båda fallen med hjälp av en tryckdifferens mellan de två tankarna. Konstanthållningen sker med hjälp av en reglerbar flödesventil RV1 och en separat regleringen av trycket i båda tankarna.

I det låga flödesområdet tillämpas hydroforprincipen. Tank I fylls med pump Pu1 till en nivå N_H och töms via mätbänken till tank II. När tank I är fylld stängs förbindelsen mellan tankarna och pump 1 är i vila. Tryckdifferensen skapas i huvudsak med tryckluft till ett konstant värde genom reglerventil RV4 och RV5 i respektive tank I och II. När det konstanta övertrycket har sänkt vattennivån i tank I till nivå N_L fylls tanken upp igen. För stående start/stopp behöver bara avstängningsventilen AV1 manövreras. Flygande start/stopp klaras utan ventil så länge det finns tillräckligt med vatten i tank I över nivå N_L .

För det höga flödesområdet kompletteras hydroforprincipen med pumpen Pu1 som kontinuerligt för vatten från låg- till högttryckstanken. Pumpen drivs med konstant varvtal och tryckdifferensen hålls i det här fallet konstant genom att anpassa returledningens flöde med en reglerventil så att vattennivån i tank I hålls stabilt vid arbetsnivån N_a . Flygande start/stoppbetingelser är i detta driftfall inga problem. Vid stående start/stopp däremot växlar flödet mellan mätleddning och by-passledning genom att ventilerna AV1 och AV4 öppnas och stängs samtidigt men i motfas. Med en justerbar reglerventil i by-pass ledningen bibehålls tryckdifferensen över provobjekten även när flödet ej passerar provobjektet.

Jämförelsen av provobjekten i mätbänken (upp till 3 samtidigt) sker mot sammanlagt fyra stycken mastermätare som täcker hela flödesområdet. De är kopplade så att vattnet kan passera flera mätare samtidigt, vilket möjliggör korskorrelationsmätningar och ger bra kontroll över mastermätarnas tillstånd. I allmänhet är dock en av mätarna den som har bäst förutsättning att vid rådande flöde ge bästa värde.

Mastermätarna kalibreras genom jämförelse med en prover, vars två definierade volymer är 1 l och 5 l för de lägsta respektive övriga flöden. Flödet går i detta fall genom proverns cylinder och skjuter dess kolv framåt. I dess ändlägen kastas provventilerna PV1 - PV4 om, så att flödet kan gå vid sidan om provern. Kolven trycks tillbaka med en påkopplad pneumatisk cylinder. Kalibrering av mastermätarna sker före och efter varje prov och medelvärdet används som referens till provet.

Utrustningen kompletteras av ett styrsystem och en mät dator. Styrsystemet kontrollerar hela mätanläggningen, och de flesta av givarna och alla ställdon (pumpar, ventiler mm) är kopplade till det. Utifrån givarnas information planeras åtgärder som sedan verkställs via ställdonen. Därför är en stor del av givarna kopplade till styrsystemet. Andra givare går bara till mät datorsystemet. En rad givare är via en strömsignalledning (4-20 mA) gemensam för båda.

Mät datorn har två viktiga uppgifter. Den samlar in alla metrologiska mät data under provningen och gör alla beräkningar samt redovisar och skriver ut resultaten. Men mät datorn kommunicerar och samarbetar också nära med styrsystemet för att åstadkomma olika driftfall. Som exempel kan nämnas omräkningen av de av användaren önskade parametrarna i driftdata som styrsystemet skall verkställa. Speciellt vid kalibrering av mastermätarna med provern måste mätning och styrning gå hand i hand.

5 Provning

I menyn finns beteckningar för olika mätmetoder/driftfall (Mls, Mlf, Plf, Mhs, Mhf, Phf). Första bokstaven anger om referensen utgörs av mastermätare eller prover. Andra bokstaven anger lågt eller högt flöde dvs hydroforprincip eller konstant nivåprincip. Sista bokstaven anger stående start/stopp eller flygande start/stopp. Hydroforprincipen utan kontinuerlig återfyllning används upp till ca 8 l/min. Mätarens minsta flöde provas alltid vid stående start/stopp.

Resultat redovisas genom automatisk utskrift på printer efter varje prov/proverslag.

5.1 Provning av mätobjekt med pulssignal mot kalibrator (Plf, Phf)

Mätarens nominella K-faktor matas in i datorn. Antal proverslag och provserier väljs.

5.2 Provning av mätobjekt med pulssignal mot referensmätare (Mls, Mlf, Mhs, Mhf)

Referensmätarens nominella K-faktor matas in i datorn. Antal proverslag för referensmätarkalibrering och provserier väljs. Mätobjektet kan kalibreras på två sätt:

5.2.1 Referensmätaren kalibreras med kalibratorm samtidigt som mätobjektets och referensmätarens pulser samlas in. Provvolymer är då begränsad till val mellan proverkalibrators fasta volymer 1 eller 5 liter.

5.2.2 Referensmätaren kalibreras med kalibratorm före och efter pulsinsamlingen från referensmätaren och mätobjektet. Mätobjektets provvolym väljs fritt (1 - 1000 l) av operatören och referensmätarens pulsräknare styr avläsningen vid den aktuella volymen.

5.3 Provning av mätobjekt med räkneverk mot referensmätare (Mls, Mhs)

Provningsförfarandet är det samma som vid provning av mätobjektet med pulssignal mot referensmätare men med skillnad att vid jämförelsen avläses mätobjektet vid starten av pulsinsamlingen och vid stoppet av pulsinsamlingen. Här väljs så kallad manuell mätning dvs programmet stoppar för avläsning av provobjekt före och efter prov.

6 Mätosäkerhet

Mätosäkerhetsberäkningen sker enligt riktlinjer i WECC Doc. 19-1990 samt ISO/TAG/WG3 (June 1992). Mätosäkerhetsberäkningen för provnings/kalibreringsförfarandet utgår från två huvudbidrag, ett från mätobjektet u_{M_o} och ett från mätutrustningen och mätbetingelserna u_{M_b} . Det första omfattar mätarens spridning och upplösning, det andra tar hänsyn till mastermätarnas kalibreringsosäkerhet och utrustningens respektive metodens inflytande.

$$U = \pm 2 \cdot \sqrt{u_{M_o}^2 + u_{M_b}^2}$$

Då dessa två bidrag ej är direkt tillgängliga visas i bilaga 2 nedan en struktur över alla osäkerhetsbidrag, som påverkar en provnings totala osäkerhet. Jämförelsen av mätobjektet med mastermätarna, som kalibreras mot provern och dennes kalibrering mot andra volymnormaler eller genom utvägning, kräver en struktur med flera nivåer. I bilaga 2 visas bara toppen av denna struktur.

Strukturens uppläggning utgår vidare ifrån att skilja osäkerhetsbidragen i varje nivå i två grupper. Den första gruppen med index A utgörs av bidrag orsakade av variationer vid upprepade mätningar och bedöms efter strängt statistiska metoder genom att den experimentella standardavvikelsen (s_I respektive s_{II}) förses med en faktor $t_{(n)}^{1\sigma/\sqrt{n}}$.

För den andra gruppen med index B skattas de olika bidrag utifrån maximala osäkerhetsintervall, som sedan halveras och också transformeras till samma statistiska sannolikhetsnivå genom antagande av en rimlig fördelningsfunktion. Genom att kvadrera alla bidragen och addera dem som varianser eller deras motsvarigheter, fås den sammanlagda mätosäkerheten på standard nivå. Detta osäkerhetsintervall expanderas med hjälp av en täckningsfaktor 2 att gälla för praktiskt tagit alla normala situationer.

Kombinationen av de olika bidragen har realiserats med hjälp av ett kalkylark och programmet Excel. Programmet kan användas som en mall. De maximalt uppskattade och halverade osäkerhetsintervallerna för de olika bidragen, förs in i inmatningsfält. I de tillhörande fälten transformeras de till en standardiserad sannolikhetsnivå motsvarande 1 sigma. De kombineras som varianser tillsammans med de tillfälliga osäkerhetsbidragen justerade efter antalet mätningar. Kombinationen sker först på nivå II och resultatet förs automatiskt in som mastermätarnas systematiska osäkerhetsbidrag u_{IB1} i nivå I. Där sker en liknande kombination som sedan även omfattar mätobjektets tillfälliga bidrag. Slutresultatet beräknat enligt formeln nedan visas som total mätosäkerhet U_{tot} i kalkylen.

$$U_{tot} = \pm 2 \cdot \sqrt{\left[\left(s_I \cdot \frac{t^1 \sigma_n}{\sqrt{n_I}} \right)^2 + u_{IB6}^2 \right] + \left[\left(s_{II} \cdot \frac{t^1 \sigma_n}{\sqrt{n_{II}}} \right)^2 + \sum_{i=1}^5 u_{IBi}^2 + \sum_{j=2}^5 u_{IBj}^2 \right]}$$

Hakparanteserna avgränsar mätobjektets och utrustningens bidrag. Som osäkerhet från utrustning och metod betraktas den med faktor 2 expanderade kombinationen av alla komponenter u_{IBi} med undantag av $i=6$, som är mätobjektets systematiska bidrag som beror på dess upplösning och tidskonstant.

$$U_{metod\&utrustning} = \pm 2 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_{IBi}^2}$$

Specifikation av varmvattenbänk 7

Temperaturreglering

Reglerområde:	5-95 °C normal användning 15-90 °C
Osäkerhet:	± 0.5 °C över hela bänken (T5 -T8) < ±1.5 °C över hela bänken (T3 -T4)
Stabilitet:	0.3 °C inom en mätning 0.5 °C inom en mätserie, inom en timmes drift

Temperaturmätning

Mätområde:	0-100 °C
Upplösning:	0.1 °C
Osäkerhet:	± 0.3 °C
Antal mätpunkter:	10 st
Typ av mätgivare:	Pt 100 resistans

Flödesreglering

Reglerområde:	0.1-100 l/min, dynamik 1:1000
Typ av reglering:	kontinuerligt m h a tryckregulator
Osäkerhet:	1 % av aktuellt börvärde
Repeterbarhet:	0.5 % av aktuellt börvärde
Stabilitet:	0.5 % av aktuellt börvärde

Flödesmätning

Mastermätare:

MM1	
Mätområde:	0.05-3 l/min
Typ av mätare:	Krohne DN 2.5

MM2	
Mätområde:	3-17 l/min
Typ av mätare:	Krohne DN 6

MM3	
Mätområde:	10-80 l/min
Typ av mätare:	Endress & Hauser DN 15

MM4	
Mätområde:	20-295 l/min
Typ av mätare:	Krohne DN 25

Prover:

Mätområde:	0.1-100 l/min
------------	---------------

Volymmätning

Mätområde:	1-1000 l mastermätare 1 och 5 l prover (fasta flaggor)
Osäkerhet:	0.07% mätutrustningens totala bidrag
Repeterbarhet:	< 0.1 % av medelvärdet

Tryckreglering

Reglerområde:	0-600 kPa differenstryck mellan tankarna
Osäkerhet:	< 1 kPa
Upplösning:	0.1 kPa
Stabilitet:	0.5 % av inställt värde
Typ av reglering:	kontinuerlig

Tryckmätning

Mätområde:	0-1000 kPa
Upplösning:	0.1 kPa
Antal mätpunkter:	5 st
Typ av givare:	piezoresistiva

Kalibrering

Låga flöden:	0.1-8 l/min hydroforprincipen
Höga flöden:	8-100 l/min konstant nivåhållning

Fysiska mått

Bänkens längd:	2 m
----------------	-----

