

EURAMET.M.P-S9 / EURAMET 1170, LOOP1
Comparison in the negative gauge pressure range -950 to 0 hPa

FINAL REPORT

Sari Saxholm¹, Pierre Otal², Aykurt Altintas³, Lovorka Grgec Bermanec⁴, Yasin Durgut⁶,
Rory Hanrahan⁵, Ilknur Kocas⁶, Alexandros Lefkopoulos⁷, Dominik Pražák⁸, Ion Sandu⁹,
Janez Šetina¹⁰, Isabel Spohr¹¹, Dietmar Steindl¹², Kristijan Tammik¹³, Nicola Testa¹⁴
(pilots first, then in alphabetical order)

¹MIKES Metrology, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Tekniikantie 1, FI-02150 Espoo, Finland

²Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE), 1 rue Gaston Boissier FR-75015, Paris, France

³FORCE Technology (DANIAMet-FORCE), Park Alle 345, DK-2605 Brøndby, Denmark

⁴Laboratory for Process Measurement (FSB-LPM), Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lucica 5, HR 10 000 Zagreb, Croatia

⁵NSAI National Metrology Laboratory (NSAI), Claremont Avenue, Glasnevin, Dublin 9, Ireland

⁶TÜBITAK UME (UME), Gebze Yerleşkesi Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. No:1, TR-41470 Gebze Kocaeli, Turkey

⁷Hellenic Institute of Metrology (EIM), Industrial Area of Thessaloniki, Block 45, Sindos, GR-57022, Greece

⁸Český Metrologický Institut (CMI), Okružní 31, CZ-63800 Brno, Czech Republic

⁹Institutul National de Metrologie (INM), Sos. Vitan Barzesti, nr. 11, sect. 4, RO-042122 Bucuresti, Romania

¹⁰Metrology Institute of the Republic of Slovenia/Institute of Metals and Technology/Laboratory of Pressure Metrology (MIRS/IMT/LMT), Lepi pot 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

¹¹Instituto Português da Qualidade (IPQ), Rua António Gião 2, PT-2829-513 Caparica, Portugal

¹²Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), AT-1160 Wien, Arltgasse 35, Austria

¹³Metrosert AS (METROSERT), Teaduspargi 8, Tallinn EE-12618, Estonia

¹⁴Malta Competition and Consumer Affairs Authority (MCCAA), Kordin Business Incubation Centre, Industrial Estate, Kordin, Paola, PLA 3000, Malta

1 INTRODUCTION	3
2 PARTICIPANTS.....	3
2.1 BEV measurement standard	5
2.2 CMI measurement standard.....	5
2.3 DANIAmet-FORCE measurement standard.....	6
2.4 EIM measurement standard	6
2.5 HMI/FSB-LPM measurement standard	7
2.6 INM measurement standard.....	8
2.7 IPQ measurement standard	9
2.8 LNE measurement standard	9
2.9 MCCAA measurement standard.....	10
2.10 METROSERT measurement standard	10
2.11 MIKES measurement standard	11
2.12 MIRS/IMT/LMT measurement standard	11
2.13 NSAI measurement standard	12
2.14 UME measurement standard.....	12
3 TRANSFER STANDARD.....	15
4 PROCEDURE OF THE COMPARISON	17
5 EVALUATION OF THE COMPARISON DATA	18
6 RESULTS	21
7 CONCLUSIONS	47
8 ACKNOWLEDGEMENTS	48
9 REFERENCES	48

1 INTRODUCTION

This comparison is registered as EURAMET project no. 1170 and as a supplementary comparison EURAMET.M.P-S9 in the BIPM key comparison database. A previous comparison in this range was arranged in 2009 and it was registered as EURAMET project no. 1131 and EURAMET.M.P-S8 [1, 2]. The conclusions from the previous project suggest that the calibrations in the negative gauge pressure range are not as easy as expected, and that there is a need for further comparisons in the negative gauge pressure range.

The project was divided into two loops: Loop1, piloted by MIKES, and Loop2, piloted by LNE. The results of the two loops are reported separately. The transfer standard in Loop1 was Beamex MC5 no. 25516865 with internal pressure module INT1C, resolution 0,001 kPa.

The nominal pressure points for the comparison were 0 kPa, -20 kPa, -40 kPa, -60 kPa, -80 kPa, -95 kPa, -95 kPa, -80 kPa, -60 kPa, -40 kPa, -20 kPa and 0 kPa.

Note to readers: The decimal sign used throughout the document is a comma on the line.

2 PARTICIPANTS

A total of 14 laboratories participated in this comparison. The list of participants and their contact persons is given below (in alphabetical order according to the abbreviation of the institute) and the circulation chronology is shown in the Table 1:

- BEV (Austria)
Dietmar Steindl, email: dietmar.steindl@bev.gv.at, tel: +43 1 211 10 6362
- CMI (Czech Republic)
Dominik Pražák, email: dprazak@cmi.cz, tel: +420 545555226
- DANIAmet-FORCE (Denmark)
Aykurt Altintas, email: aya@force.dk, tel: +45 4326 7160
- EIM (Greece)
Alexandros Lefkopoulos, email: lefkopoulos@eim.gr, tel: 00302310569961
- HMI/FSB-LPM (Croatia)
Lovorka Grgec Bermanec, email: lovorka.grgec@fsb.hr, tel: +385 1 6168 488
- INM (Romania)
Ion Sandu, email: ion.sandu@inm.ro, tel: +4021 334 5520
- IPQ (Portugal)
Isabel Spohr, email: ISpohr@ipq.pt, tel: +351 212 948 173
- LNE (France)
Pierre Otal, email: pierre.otal@lne.fr, tel: +33 1 40 43 39 63
- MCCA (Malta)

Nicola Testa, email: nicola.testa@mccaa.org.mt, tel: +356 23 980176

- METROSERT (Estonia)
 Kristijan Tammik, email: kristijan.tammik@metrosert.ee, tel: +372 520 9495
- MIKES (Finland)
 Sari Saxholm, email: sari.saxholm@vtt.fi, tel: +358 504105499
- MIRS/IMT/LMT (Slovenia)
 Janez Setina, email: janez.setina@imt.si, tel: +386 1 4701 800
- NSAI (Ireland)
 Rory Hanrahan, email: rory.hanrahan@nsai.ie, tel: +353 1 8082611
- UME (Turkey)
 Yasin Durgut, email: yasin.durgut@tubitak.gov.tr, tel: +90 262 6795000

Table 1 Circulation chronology

Laboratory name	Measurement date
MIKES (Finland) 1	13.1.2011
CMI (Czech Republic)	4.2.2011
HMI/FSB-LPM (Croatia)	23.2.2011
MIKES (Finland) 2	30.3.2011
MIKES (Finland) 3	30.5.2011
LNE (France)	8.7.2011
INM (Romania)	20.7.2011
BEV (Austria)	10.8.2011
MIKES (Finland) 4	5.9.2011
DANIAMet-FORCE (Denmark)	19.9.2011
UME (Turkey)	11.10.2011
EIM (Greece)	8.12.2011
MIKES (Finland) 5	6.3.2012
IPQ (Portugal)	27.3.2012
MIKES (Finland) 6	26.4.2012
METROSERT (Estonia)	9.5.2012
MCCAA (Malta)	31.5.2012
NSAI (Ireland)	12.6.2012
MIRS/IMT/LMT (Slovenia)	17.7.2012
MIKES (Finland) 7	1.10.2012

2.1 BEV measurement standard

The measurements were done in two different ways. We used a commercial pressure balance from DH Budenberg, type 551 pressure balance s/n 550/27014, Inv. No. T201-540-185/2000 with piston/cylinder assembly s/n A6410, which can be used for negative pressures by inverting the piston/cylinder assembly. The calibration certificate of the piston/cylinder, effective area of about 322 mm²: E09-0397/2, dated 3 April 2009, traceability to BEV. Details about the mass set: Ser. No. SNA6410, certificate E10-0220, 4 March 2010, traceability to BEV was used for the measurements.

In addition, we have performed measurements with a pressure balance from the company Pressurements Ltd., type A6100, which can be used in gauge and absolute mode. The piston-cylinder unit U743, 2045311 L, Inv. No. 591-01/2002/3 was used. Traceability to BEV, certificate E09-2133/2, 21 January 2010. The mass set No. 2045311 L was also used, certificate E08-1784, 27 Nov. 2008, traceability to BEV. The results of both methods were in good agreement.

The results provided are from measurements carried out on 10 August 2011 with the pressure balance from DH Budenberg type 551 pressure balance s/n 550/27014, Inv. No. T201-540-185/2000 with piston/cylinder assembly s/n A6410, which can be used for negative pressures by inverting the piston/cylinder assembly.

2.2 CMI measurement standard

The laboratory standard used was the same as for Project 1131, i.e. a DH Instruments PG7601 pressure balance s/n 127 equipped with a piston-cylinder unit s/n 368, see [1, 2, 3]. The effective area of this piston-cylinder unit, nominally 980 mm², is traceable (the latest calibration certificate 6013-KL-P0077-10 from 7 December 2010) to a piston-cylinder unit s/n 248 of the same nominal effective area which was evaluated from the dimensional measurements. The automated mass handling system with weight set s/n 2189 (the latest calibration certificate 6012-KL-H052-08 from 1 December 2008) was used.

The measurements were performed on 16 June. The temperature stabilisation time before the first measurements was 48 hours. The negative gauge pressure was generated in the bell jar of the pressure balance, while the atmospheric pressure acted at the bottom of the piston, see [3]. The head pressure was negligible during the measurements. The pressure medium was nitrogen. Manual acquisition of data from the transfer standard was used.

The standard uncertainty of the deviation was calculated as

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{u_A^2 + u_{LS}^2 + u_{res}^2}, \quad (1)$$

where

$u_{LS} = u_{CMC}$ is 0,005 hPa + 0,0006% of the measured value and

u_{res} is $\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 0,01$ hPa.

2.3 DANIAmet-FORCE measurement standard

A Budenberg pressure balance, type 239 s/n 18130 equipped with a piston/cylinder unit s/n H.369, stainless steel weights and a vacuum adapter, was used to realise the negative gauge pressure.

The pressure p_e is calculated by

$$p_e = \frac{g \cdot \left[\sum m_i \left(1 - \frac{\rho_{amb}}{\rho_i} \right) + V(\rho_i - \rho_{amb}) \right]}{A_0 \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot (t - 20^\circ\text{C})]} + gh(\rho_i - \rho_{amb}) \quad (2)$$

where

- g is the local gravity measured in the pressure laboratory
 $9,8154821 \text{ m/s}^2 \pm 0,000001 \text{ m/s}^2$,
- m_i is the masses of the weights, $0,0049313 \text{ kg} \pm 0,000002 \text{ kg}$ for the piston-cylinder unit,
- ρ_i is the density of the weights, $4380 \text{ kg/m}^3 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ for the piston-cylinder unit and $7920 \text{ kg/m}^3 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ for the make-up weights,
- ρ_{amb} is the density of the ambient air at the reference level of the pressure balance, $1,183 \text{ kg/m}^3 \pm 0,016 \text{ kg/m}^3$ (the ambient air is calculated according to the revised equation for the density of Moist Air (CIPM-2007) by A. Picard, R. S. Davis, M. Gläser and K. Fujii),
- V is the additional volume required for the pressure-transmitting medium buoyancy correction $6,0 \text{ cm}^3 \pm 0,6 \text{ cm}^3$,
- ρ_l is the density of the pressure-transmitting medium,
- h is the height difference between the pressure level and the reference level of the pressure balance $0 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$,
- A_0 is the effective cross-sectional area of the piston-cylinder unit at zero pressure
 $(3,22622 \pm 0,00011) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$,
- $\alpha + \beta$ is the thermal expansion coefficients of the piston-cylinder unit
 $(22,0 \pm 3,0) \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, and
- t is the piston-cylinder temperature $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$.

The expanded uncertainty of measurement is calculated from the above-mentioned parameters, the long-term stability of the pressure balance, the resolution of the device under test, the zero-error and the repeatability.

The traceability of the pressure balance is achieved from PTB Braunschweig.

2.4 EIM measurement standard

The transfer standard was calibrated by comparing its indications with reference pressure values realised through the use of a pressure balance, operating in absolute mode, and a barometer. Therefore, at each calibration point the value of the generated negative gauge pressure (P_{st}) is obtained as the absolute pressure realised by the pressure balance, reduced by the current barometric pressure, as shown below:

$$P_{st} = P_{weights} + P_{vac} + P_{head} - P_{bar} \quad (3)$$

where

- $P_{weights}$ is (differential) pressure generated by the pressure balance through the use of a set of weights,
 P_{vac} is absolute pressure (vacuum) generated in the bell jar space above the weights,
 P_{head} is head correction, to account for the different reference levels of the pressure balance and the transfer standard, and
 P_{bar} is the barometric pressure at the time of the measurement.

Traceability of measurements is to SI units, through PTB and EIM standards.

Comments:

- since calibration uncertainty must be provided separately for ascending and descending order measurements, no hysteresis effects in the calibration uncertainty are considered;
- no reproducibility measurements were carried out (unchanged mounting);
- the orientation of the transfer standard was horizontal;
- the reference plane of the transfer standard was considered to be its pressure inlet port.

2.5 HMI/FSB-LPM measurement standard

The LPM standard used in this project was the DH Instruments PG7601 absolute pressure balance equipped with piston-cylinder unit s/n 1359. The effective area of this piston-cylinder unit, nominally 980 mm², is traceable to PTB (the latest calibration PTB-3.33-4057096 from January 2010). The Vaisala barometer (Type PTB 220) was also used for the measurement of ambient pressure. It was calibrated in LPM with the DHI pressure balance described above.

The measurements were performed on 23 February. The temperature stabilisation time before the first measurements was more than 48 hours. The negative gauge pressure was measured as the difference between atmospheric pressure measured by the Vaisala barometer and absolute pressure measured by pressure balance. The pressure medium was nitrogen. Manual acquisition of data from the transfer standard was used.

Standard uncertainty of deviation, u_{LPM} , was evaluated as a combined standard uncertainty, taking into account following influence quantities:

$$u_{LPM} = \sqrt{u_{p/c}^2 + u_{amb}^2 + u_{DUT}^2} \quad (4)$$

where

- $u_{p/c}$ is uncertainty of DHI pressure balance,
 u_{amb} is uncertainty of the Vaisala barometer (with resolution, hysteresis, repeatability and zero deviation included), and
 u_{DUT} is uncertainty of DUT (with resolution and repeatability included).

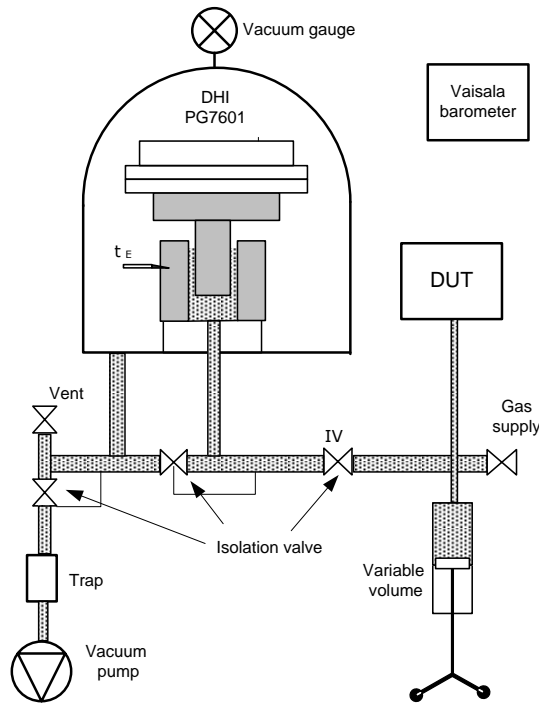


Figure 1 Schematics of the measurement set-up

2.6 INM measurement standard

The INM standard used in this project was a Budenberg pressure balance, serial no. 9355, connected to the vacuum adaptor. The nominal area of the piston-cylinder unit is 325,58 mm², traceable (Calibration Certificate No. 02.02-268/20080) to the Ruska piston gauge, type 2465, up to 175 kPa, traceable to NPL (Calibration Certificate No. 0478-2007).

The measurements were performed on 20.07.2011. The temperature stabilisation time before the measurements was 72 hours. The negative pressure was generated at the bottom of the piston by a vacuum pump; the piston and weights were in atmospheric pressure conditions. The pressure medium was nitrogen. The temperature of the piston-cylinder unit was measured by a digital contact thermometer with a 0,025 °C standard uncertainty. The ambient pressure, ambient temperature and ambient humidity were measured with proper devices having proper uncertainties. Corrections of the INM standard with these parameters were performed.

At the time of the measurements, the transfer standard was in the horizontal position. The reference plane of the INM standard was on the same plane with the pressure inlet port of the transfer standard.

The standard uncertainty of the deviation was calculated by the equation:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{u_A^2 + u_{St}^2 + u_{zero}^2 + u_{res}^2 + u_{fluct}^2} \quad (5)$$

where

u_A is repeatability expressed as a standard uncertainty of the mean value,
 u_{St} is $16 \cdot 10^{-6} \cdot p$ (due to the standard uncertainty of the INM standard),

u_{zero} is $0,001/\sqrt{12}$ (due to zero-error of the calibrator),
 u_{res} is $0,001/\sqrt{3}$ (due to resolution of the calibrator), and
 u_{fluct} is $0,001/\sqrt{3}$ (due to fluctuation of the indication in the measurement time).

2.7 IPQ measurement standard

The standards used for the calibration in negative gauge pressure conditions are a D&H Pressure divider, model 1600/10, connected with pressure balance D&H 5304. Regarding the procedure, firstly we perform the tare of the system, so that when we calibrated, the only mass that counted was the mass of the weights used in the pressure balance – using the nominal coefficient of 1/10 for the pressure obtained in the divider. The pistons of the pressure divider were calibrated at D&H and the P/C of the D&H 5304 at LNE. The weights used were calibrated at IPQ.

For the process of the determination of the pressure, we first calculate the pressure in the pressure balance, without considering the mass of the piston and bell (because of the tare). Then, using the coefficients of the pistons of the divider (K_{d0} and λ_{Div}), we obtain the value of the negative gauge pressure in the divider (reference pressure corrected for the difference in height between the transfer standard and the reference level of the divider).

The uncertainty budget included the uncertainties of the pressure generated in both standards (D&H divider and D&H 5304), the resolution of the transfer standard, the repeatability calculated for measurements (up and down separately), and the difference in height between the transfer standard and the reference level of the divider.

2.8 LNE measurement standard

LNE uses different methods to define low and negative differential pressures. Procedure *b* was used for the EURAMET project 1170 Loop1.

Procedure a

The best uncertainties are achieved with two absolute pressure balances. First, equilibrium is achieved between the pressure balances at a pressure close to the atmospheric pressure in order to “tare” the balances. Then, negative gauge pressures are defined by decreasing the pressure in one of them.

Procedure b

For daily calibrations, the same method is used with the difference between the variations in atmospheric pressure measured with a barometer. This barometer is “tared” using the comparison with the absolute pressure balance. In addition to calculating the offset, this method allows us to reduce the uncertainty in the absolute pressure defined by the piston gauge by reducing the contributions to vacuum measurements and the mass load corresponding to the static pressure. The only remaining mass uncertainty is the relative uncertainty in the differential mass load corresponding to the differential pressure.

Concerning the reference barometer, only the resolution and the short-term stability contribute to the uncertainty in the negative gauge pressure.

The gauge pressure ΔP is calculated by the following:

$$\Delta P = P_{\text{bal}_{\text{abs}}} - P_0(t) - P_{0_{\text{offset}}} \quad (6)$$

where

$P_{\text{bal}_{\text{abs}}}$ is the absolute pressure defined by pressure balance,

$P_0(t)$ is the current atmospheric pressure, and

$P_{0_{\text{offset}}}$ is the barometer offset determined by comparison with the pressure balance.

The expanded uncertainty of the gauge pressure is estimated to be:

$$U(\Delta P) = 0,20 \text{ Pa} + 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot |p| \quad (7)$$

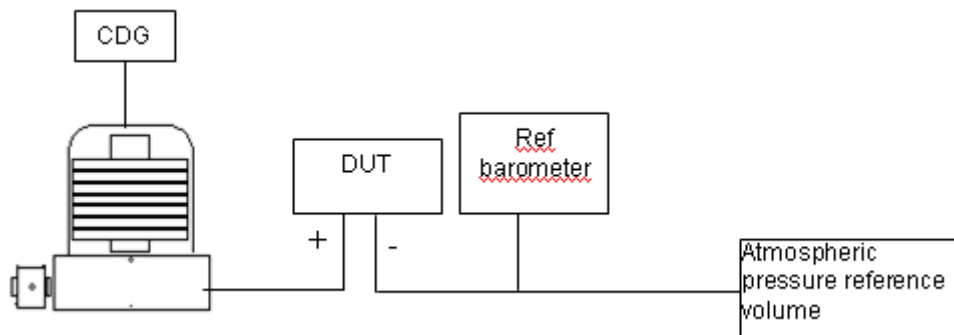


Figure 2 Differential mode schematics

The pressure balance used is a DHI PG7601 with an AMH-38 automated mass handling system. The pressure balance is equipped with a DH piston-cylinder assembly with 10 cm² of nominal effective area, with serial number 246.

2.9 MCAA measurement standard

A. reference pressure generated inside the bell jar of a classical pressure balance

B. pressure balance:

- base: DHI PG7601, no. 806

- piston/cylinder assembly: DHI PC-7100/7600 10, no. 1608, nominal area 980 mm²

C. mass standards set: DHI MS-7002-59, no. 2635

D. medium: N₂

E. traceability for area and mass through Fluke DHI

2.10 METROSERT measurement standard

The reference standard of Metrosert was a Pressurements 6100-5L pressure balance s/n 59125. The effective area of the piston-cylinder assembly s/n X0131 is traceable to MIKES (M – 10P132 certificate, dated 15.11.2010). The weight set was calibrated at the Metrosert mass laboratory (certificate ATLM – 10/0596, dated 01.10.2010).

The negative gauge pressures were generated in the bell jar of the pressure balance. The measurements were performed on 09 May (2012).

Error values were calculated according to the equation:

$$\Delta p = p_{\text{test}} - (p_{\text{atm}} - p_{\text{ref(abs)}}) \quad (8)$$

2.11 MIKES measurement standard

The MIKES measurement standard was Fluke/DH Instruments' pressure balance, type PG7607, no. 397 with piston-cylinder assembly no. 451. Negative gauge pressures were generated in the bell jar of the pressure balance, with the test port open to the atmosphere. The nominal effective area of the piston-cylinder assembly is 1960 mm² and it was determined with dimensional measurements at MIKES and LNE as well as with cross-floating at MIKES and LNE. The effective area has been traceable to LNE for almost twenty years, but after the dimensional determination of the effective area at MIKES showing good agreement with the results of LNE, the effective area can be considered traceable to MIKES' dimensional measurements [4].

There is only one comparison registered for the negative gauge pressure range prior to this project: MIKES participated in comparison EURAMET project no. 1131/EURAMET.M.P-S8 in 2009, range -950 hPa to +950 hPa.

2.12 MIRS/IMT/LMT measurement standard

The measurement standard of MIRS/IMT/LMT was Ruska 2465A pressure balance s/n 52651 with a piston-cylinder unit s/n TL 1462. The nominal effective area of this piston-cylinder unit is 336 mm² and is traceable to PTB.

The negative gauge pressure was generated in the bell jar of the pressure balance, while the atmospheric pressure was applied at the bottom of the piston (the test port of the pressure balance was opened to the atmosphere and the bell jar was evacuated below atmospheric pressure until the floating of the piston was established). The pressure medium was nitrogen.

The standard uncertainty of the deviation was calculated as

$$u_{\text{cal}} = \sqrt{u_{\text{standard}}^2 + u_{\text{resolution}}^2 + u_{\text{repeatability}}^2} \quad (9)$$

where

- u_{standard} is standard uncertainty of generated pressure,
- u_{standard} is 0,001 hPa + 0,0015% of the measured value,
- $u_{\text{resolution}}$ is uncertainty due to resolution of digital display of transfer standard,
- $u_{\text{resolution}}$ is $\frac{0,01\text{hPa}}{\sqrt{3}} = 0,0057\text{ hPa}$, and
- $u_{\text{repeatability}}$ is uncertainty due to repeatability of transfer standard (Type A).

2.13 NSAI measurement standard

The measurement standard used was a Ruska 2465 pressure balance with a piston-cylinder assembly s/no TL-1173. The effective area of 335,7147mm² at zero pressure and 20 °C is traceable to PTB cert 30286/11. Weight set s/no 43501, also traceable to PTB cert 30286/11, and weight set s/no PFM1486, traceable to NSAI/NML cert M12303C, were used.

The negative gauge pressure was generated in the bell jar, while the bottom of the piston was open to the atmosphere. The pressure medium was nitrogen.

The standard uncertainty of the deviation was calculated as

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{std}^2 + u_{res}^2} \quad (10)$$

where

- u_A is the standard deviation associated with repeat measurements at the same measurement point – this was considered a normal distribution,
- u_{std} is uncertainty associated with the pressure applied by the NML reference standard – this value is derived from the PTB calibration certificate and is treated a normal distribution, and
- u_{res} is standard uncertainty due to resolution, estimated as the full width of the resolution of the instrument under test (rectangular distribution).

2.14 UME measurement standard

The Ruska 2465 model pneumatic pressure balance was used as a reference standard. Tables 2 – 4 show the reference standard specifications. The transfer standard was directly connected to the reference standard. The calibration procedure was applied following the technical protocol of this comparison. The atmospheric pressure value was read from the DPM1 at each pressure point.

The absolute reference pressure was calculated thus:

$$p_{ref(abs)} = \frac{(\sum m + V \cdot \rho_f) \cdot g}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p) \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot (t - 20)]} + p_{res} + (\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot \Delta h \quad (11)$$

where

- m is the true mass of the floating elements,
- A_0 is the effective area at atmospheric pressure and a reference temperature of 20 °C,
- λ is the elastic distortion coefficient,
- ρ_a is the calculated ambient density,
- ρ_f is the calculated fluid density,
- V is the piston's additional volume which is submerged into fluid and requires a correction due to fluid buoyancy,
- g is the local gravity value,
- p is the pressure value,

t is the temperature of the piston-cylinder unit,
 α is the thermal expansion coefficient of the piston,
 β is the thermal expansion coefficient of the cylinder,
 Δh is the height difference between the reference and the test, and
 p_{res} is the residual pressure.

Error values were calculated according to the equation:

$$\text{Error} = p_{\text{test}} - (p_{\text{atm}} - p_{\text{ref(abs)}}) \quad (12)$$

Table 2 Laboratory standards and measurement conditions

Manufacturer	Ruska, serial. no. TL-1283
Measurement range in MPa	0,0014 to 0,172
Material of piston	440 C stainless steel
Material of cylinder	tungsten carbide
Zero pressure effective area (A_0) at the reference temperature in m^2	$3,356984 \times 10^{-4}$
Relative uncertainty of A_0 in 10^{-6}	$1,6 \times 10^{-5}$ ⁽¹⁾
Pressure distortion coefficient (λ) in Pa^{-1}	0
Relative uncertainty of mass pieces in 10^{-6}	$6 \cdot 10^{-7}$
Linear thermal expansion coefficient of piston-cylinder ($\alpha + \beta$) in $^{\circ}\text{C}^{-1}$	15×10^{-6}
Reference temperature (t_0) in $^{\circ}\text{C}$	20
Local gravity (g) in m/s^2	9,80231036
Relative uncertainty of g in m/s^2	$1,1 \times 10^{-7}$
Height difference between laboratory standard (LS) and TS (h , positive if LS is higher than TS) in m	0,058
Uncertainty of h in mm	2

⁽¹⁾Reference standard was calibrated against the UME reference standard, which is traceable to LNE (PG7601, serial number 178/329, LNE, F014386/1)

Table 3 Uncertainty budget for pressure point -950 hPa

Quantity	Estimate	Width of distribution 2a	Divisor	Uncertainty	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution Pa	Variance Pa ²	
Resolution	p_{test}	1,00E-2 hPa	$\sqrt{3}$	2,89E-03	1	2,89E-01	8,3E-02	
Zero deviation(max)	$\delta p_{\text{zero dev}}$	3,00E-2hPa	$\sqrt{3}$	8,66E-03	1	8,66E-01	7,5E-01	
Repeatability	$\delta p_{\text{repeatability}}$	1,25E-2hPa	$\sqrt{3}$	3,60E-03	1	3,60E-01	1,3E-01	
Hysteresis	$\delta p_{\text{hysteresis}}$	3,15E-2hPa	$\sqrt{3}$	9,08E-03	1	9,08E-01	8,2E-01	
Standard	$p_{\text{reference}}$	1,56E-2 hPa	2	7,80E-03	1	7,80E-01	6,1E-01	
Temperature	t	1,00E-1 °C	$\sqrt{3}$	2,89E-02	-1,4E-02	-4,12E-02	1,7E-03	
Thermal linear expansion coefficient	$\alpha+\beta$	1,50E-06 1/°C	$\sqrt{3}$	4,33E-07	-2,5E+03	-1,07E-01	1,1E-02	
Acceleration due to gravity	g_{mass}	1,10E-07 m/s ²	$\sqrt{3}$	3,18E-08	-97	-3,08E-04	9,5E-08	
Determination of density difference	air	5,95E-02 kg/m ³	$\sqrt{3}$	1,72E-02	5,61E-01	9,76E-03	9,5E-05	
	nitrogen	2,18E-03 kg/m ³	$\sqrt{3}$					
Determination of acceleration due to gravity	g_{height}	1,10E-07 m/s ²	$\sqrt{3}$	3,18E-08	-6,64E-02	-2,11E-09	4,5E-18	
Determination of difference of altitude	h	2,00E-03m	$\sqrt{3}$	5,77E-04	-1,12E+01	-6,48E-03	4,2E-05	
Mass	m	1,90E-06 kg	$\sqrt{3}$	5,54E-07	-7,47E+03	-4,14E-01	1,7E-01	
DPM1	p_{atmp}	4,50E-2 hPa	2	2,25E-02	1	2,25E+00	5,1E+00	
Reproducibility	p_{rep}	2,60E-2	$\sqrt{3}$	7,51E-3	1	7,51E-1	5,6E-1	
						u² (Pa²)	8,2	
						Standard uncertainty (k=1)	u (Pa)	2,9
						Standard uncertainty (k=1)	u (hPa)	0,03

Table 4

Nominal pressure /hPa	Standard uncertainty of the deviation /hPa
0	0,03
-200	0,03
-400	0,03
-600	0,03
-800	0,03
-950	0,03
-950	0,03
-800	0,03
-600	0,03
-400	0,03
-200	0,03
0	0,03

3 TRANSFER STANDARD

The transfer standard was Beamex MC5 no. 25516865 with internal pressure module INT1C, resolution 0,01 hPa. The nominal pressure range of the INT1C is -1000 hPa to +1000 hPa. The instrument operates with clean air or nitrogen. A battery charger with a 100 V to 240 V input was included, as well as a connector with flexible tubing and a ball valve.



Figure 3 The transfer standard, battery charger and tubing with valve

Hysteresis of the transfer standard was investigated during the MIKES measurements. The maximum value for the hysteresis is 0,03 hPa. Descending and ascending results are handled and reported separately, so the hysteresis does not have any effect on the uncertainty values.

MIKES performed measurements for the transfer standard seven times in total: before, during and after the circulation. There was no systematic drift and therefore no drift corrections were made to the results. The uncertainty due to stability was estimated from the maximum difference observed (among the seven mentioned measurements) at MIKES, separately at each pressure level:

$$u_{\text{stab}} = \frac{\max(M_1; M_2; M_3; M_4; M_5; M_6; M_7) - \min(M_1; M_2; M_3; M_4; M_5; M_6; M_7)}{2\sqrt{3}} \quad (13)$$

where M1...M7 are MIKES measurement results. The u_{stab} values are presented in the Table 5.

Table 5 Uncertainty due to transfer standard stability

Nominal pressure (hPa)	u_{stab} (hPa)
0	0,001
-200	0,005
-400	0,006
-600	0,011
-800	0,013
-950	0,017
-950	0,017
-800	0,012
-600	0,012
-400	0,008
-200	0,007
0	0,004

From the MIKES measurements, slopes of $-0,0013 * p$ for descending pressure and $-0,0012 * p$ for ascending pressure were found. With the help of the slope values, the deviations of the labs were calculated for exactly the same reference pressures. The slope correction was calculated separately for each laboratory.

4 PROCEDURE OF THE COMPARISON

In the measurement protocol preparation of the transfer standard, measurements and reporting were instructed as follows:

Preparation of the transfer standard

Plug in the battery charger. Place the instrument in a horizontal position, with the display facing upwards. Switch the instrument on by pressing the red key. Press *Continue* (button **D**). The pressure reading from the transducer is now shown in Window 1. Selecting *MENU* (button **D**) allows you to reselect *kPa* as the pressure unit if another unit is in use (press button **4**Unit, then use arrow keys **0** & **8**, select by pressing button **D**). The resolution of the display is 0,001 kPa when kPa is selected. Close the *MENU* (button **D**).

Wait overnight (at least 12 hours) before starting the measurement. Note the atmospheric pressure at the beginning and the end of each cycle. The reference pressures should be within the nominal pressures ± 5 hPa.

Measurements with negative gauge pressure

1. Select *MENU* and press *Zero Pressure Module* (button **7**). Close the *MENU*.
2. Pre-pressurise three times to -95 kPa.
3. Wait for 3 to 5 minutes and zero the pressure module again at atmospheric pressure.
4. Feed the pressure from your laboratory standard to the transfer instrument and record the readings at nominal gauge pressures 0 kPa, -20 kPa, -40 kPa, -60 kPa, -80 kPa and -95 kPa. Do not come back to zero pressure between the points; if necessary use the attached ball valve to separate the transfer standard when preparing the next nominal pressure.
5. Apply pressure -98 kPa \pm 2 kPa for approximately 3 to 5 minutes.
6. Feed the pressure from your laboratory standard to the transfer instrument and record the readings at nominal gauge pressures -95 kPa, -80 kPa, -60 kPa, -40 kPa, -20 kPa and 0 kPa. (The results in increasing and decreasing direction of pressure will be treated separately to minimise hysteresis effects.)
7. Wait for 3 to 5 minutes with the pressure module at atmospheric pressure and zero the pressure module again.
8. Repeat steps 4 to 6 three times, making a total of 36 measurement points (3 x 12).

Do not make any other adjustments on the device before or after your measurements.

The minimum content of the results to be delivered

- Deviation of the transfer standard reading from the laboratory standard at each nominal pressure and the standard uncertainty ($k = 1$) of the deviation, use attached Excel file, Results-LOOP1.xls
- Description of the laboratory standard and its traceability
- Reference to the certificate of calibration, in case more detailed information of the measurements is needed

Each participant will send the results within two weeks of the measurements to both pilots: MIKES, sari.saxholm@mikes.fi and LNE, Isabelle.morgado@lne.fr.

It was stated later that the results should be sent at LNE to Pierre Ota.

5 EVALUATION OF THE COMPARISON DATA

Evaluation of the comparison data was performed according to [5]. First, Procedure A from [5] was used to calculate the reference values at each measurement point. However, when a chi squared test was carried out it was found that the check failed at some points. Then, a decision was made to use Procedure B from [5] to determine the reference values at each measurement point.

Table 6 shows the reference values.
 The main steps of Procedure B are explained in the following.

Procedure B

According to Procedure B, Monte Carlo simulations were performed. A column vector $\mathbf{x}^{(r)}$ was obtained by sampling at random from the probability distribution:

$$\mathbf{x}^{(r)} = (x_1^{(r)}, \dots, x_N^{(r)})^T \quad (14)$$

where $r = 1, \dots, M$ and M is number of the Monte Carlo trial, and T means transpose. The median $m^{(r)}$ of this sample was then formed.

Then, M column vectors $\mathbf{x}^{(1)}, \dots, \mathbf{x}^{(M)}$ were assembled into an $N \times M$ matrix \mathbf{Z} :

$$\mathbf{Z} = (\mathbf{x}^{(1)}, \dots, \mathbf{x}^{(M)}) \quad (15)$$

After that the row vector \mathbf{q} was formed:

$$\mathbf{q} = (m^{(1)}, \dots, m^{(M)}) \quad (16)$$

The mean of the values in \mathbf{q} was taken as the KCRV x_{ref} and the standard deviation of the values in \mathbf{q} as the standard uncertainty $u(x_{\text{ref}})$ associated with x_{ref} .

The difference d_i of the laboratory result x_i from the reference value x_{ref} was calculated:

$$d_i = x_i - x_{\text{ref}} \quad (17)$$

And the expanded uncertainty $U(d_i)_{\text{MC}}$ (shortest coverage interval at the 95 % level of confidence) was determined from the Monte Carlo simulated data according to [5].

Stability uncertainty of the transfer standard

The stability uncertainty of the transfer standard (u_{stab} , Table 5) was included to the final $U(d_i)$:

$$U(d_i) = \sqrt{u(d_i)_{\text{MC}}^2 + u_{\text{stab}}^2} \quad (18)$$

where $u(d_i)_{\text{MC}}$ is the standard uncertainty of d_i .

Degrees of equivalence

The degrees of equivalence for each laboratory were calculated as the pair of values d_i & $U(d_i)$. The laboratories' results are regarded as equivalent with the reference values if $|d_i| < U(d_i)$.

E_n

Additionally, E_n -values were calculated:

$$E_n = \frac{d_i}{U(d_i)} \quad (19)$$

The laboratories results are regarded as equivalent with the reference values if E_n is between -1 ... +1. E_n is between -1 ... +1 when $|d_i| < U(d_i)$.

Mutual equivalence

The degrees of equivalence between laboratory i and laboratory j were calculated as the pair of values D_{ij} & $U(D_{ij})$. The difference d_{ij} of the laboratory i result x_i from the laboratory j result x_j was calculated:

$$D_{ij} = x_i - x_j \quad (20)$$

And the standard uncertainty $u(D_{ij})$ associated with D_{ij} was calculated:

$$u^2(D_{ij}) = u^2(x_i) + u^2(x_j) \quad (21)$$

where $u(x_i)$ and $u(x_j)$ are uncertainties of laboratory average results.

The expanded uncertainty $U(D_{ij})$ was calculated:

$$U(D_{ij}) = 2u(D_{ij}) \quad (22)$$

The laboratories results are regarded as equivalent with the reference values if $|D_{ij}| < U(D_{ij})$.

Reference values

The reference values are presented in Table 6. x_{ref} is Monte Carlo median and $u(x_{ref})$ is Monte Carlo standard deviation.

Table 6 The reference values

Nominal pressure (hPa)	x_{ref} (hPa)	$u(x_{ref})$ (hPa)
0	0,001	0,004
-200	0,289	0,008
-400	0,547	0,009
-600	0,800	0,010
-800	1,048	0,011
-950	1,156	0,012
-950	1,139	0,012
-800	1,018	0,010
-600	0,766	0,011
-400	0,509	0,011
-200	0,260	0,009
0	-0,017	0,006

6 RESULTS

Results, their associated uncertainties and degrees of equivalences for each laboratory are presented in Tables 7 – 20. For each laboratory the average of the three measurement cycles is used as the result (“Result average”, in the Equations in Chapter 5 marked with “ x_i ”). Zero correction is made to the reported results. MIKES performed measurements for the transfer standard seven times in total, but only one set of measurement results are used for the result calculation to ensure all the laboratories have the same weighting. The repeatability component is included in the uncertainty values of the results from all the laboratories. The uncertainty of the transfer standard stability was included in $U(d_i)$.

Degrees of equivalences at each pressure level are presented in Figures 4 – 15.

Mutual equivalences between laboratories are presented in Tables 21 – 34.

After the circulation of the Draft A – Version 1, two laboratories reported mistakes in their reported results:

Metrosert reported that there might be a typing error in the values of first cycle at -600 hPa. The withdrawal of these results was not permitted, because the original raw data was not available and it was impossible to confirm the typing error.

MCCAA reported that they found a mistake in their calculations. The correction of the results was not permitted, because it was obvious that the mistake was found as a result of this comparison.

After the circulation of Draft A – Version 2, UME discovered that their reported results were collected for the calculation in wrong order. This caused a situation where the results for descending and ascending pressures were mixed. This was a mistake made by the pilot laboratory (MIKES) and it was caused by a misunderstanding. A similar situation compared to UME was found from INM, IPQ and METROSERT. These laboratories were contacted by the pilot, the raw data files and calculation files were analysed very carefully and finally, the results of INM, IPQ and UME were re-ordered. Re-calculation was performed after that.

Results, their associated uncertainties and degrees of equivalences

Table 7 Results of BEV

Nominal pressure (hPa)	BEV	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,011	0,022	-0,001	0,022	-0,05
-200	0,270	0,020	0,040	-0,019	0,042	-0,45
-400	0,538	0,020	0,040	-0,009	0,043	-0,22
-600	0,802	0,030	0,060	0,003	0,062	0,04
-800	1,058	0,030	0,060	0,010	0,065	0,15
-950	1,164	0,040	0,080	0,008	0,086	0,10
-950	1,140	0,040	0,080	0,001	0,085	0,02
-800	1,024	0,030	0,060	0,005	0,063	0,08
-600	0,761	0,030	0,060	-0,005	0,063	-0,08
-400	0,497	0,020	0,040	-0,012	0,046	-0,27
-200	0,229	0,020	0,040	-0,031	0,045	-0,69
0	-0,030	0,010	0,020	-0,013	0,024	-0,55

Table 8 Results of CMI

Nominal pressure (hPa)	CMI	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,013	0,025	-0,001	0,026	-0,04
-200	0,287	0,014	0,027	-0,002	0,031	-0,05
-400	0,540	0,014	0,028	-0,007	0,034	-0,22
-600	0,795	0,015	0,029	-0,005	0,039	-0,13
-800	1,045	0,015	0,031	-0,003	0,042	-0,07
-950	1,156	0,016	0,032	0,000	0,049	0,01
-950	1,139	0,017	0,033	0,000	0,050	0,00
-800	1,013	0,015	0,031	-0,005	0,042	-0,13
-600	0,756	0,015	0,030	-0,010	0,042	-0,24
-400	0,492	0,014	0,029	-0,018	0,037	-0,48
-200	0,246	0,013	0,027	-0,014	0,034	-0,42
0	0,010	0,013	0,025	0,027	0,029	0,93

Table 9 Results of DANIAmet-FORCE

Nominal pressure (hPa)	Dmet-FORC	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,024	0,048	-0,001	0,048	-0,02
-200	0,310	0,024	0,048	0,022	0,049	0,44
-400	0,593	0,043	0,085	0,045	0,086	0,53
-600	0,880	0,062	0,124	0,080	0,125	0,64
-800	1,151	0,082	0,164	0,103	0,164	0,63
-950	1,274	0,096	0,193	0,118	0,191	0,62
-950	1,274	0,096	0,193	0,135	0,190	0,71
-800	1,121	0,081	0,163	0,103	0,160	0,64
-600	0,843	0,062	0,124	0,077	0,124	0,62
-400	0,543	0,042	0,085	0,033	0,085	0,39
-200	0,270	0,024	0,048	0,010	0,050	0,20
0	-0,030	0,024	0,048	-0,013	0,048	-0,27

Table 10 Results of EIM

Nominal pressure (hPa)	EIM	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,009	0,017	-0,001	0,019	-0,06
-200	0,293	0,047	0,094	0,005	0,091	0,05
-400	0,536	0,046	0,092	-0,011	0,090	-0,13
-600	0,794	0,044	0,088	-0,006	0,089	-0,07
-800	1,039	0,042	0,083	-0,009	0,087	-0,10
-950	1,143	0,040	0,081	-0,013	0,085	-0,16
-950	1,135	0,041	0,082	-0,004	0,086	-0,04
-800	1,020	0,042	0,083	0,002	0,086	0,02
-600	0,763	0,044	0,088	-0,003	0,090	-0,03
-400	0,508	0,045	0,090	-0,001	0,089	-0,01
-200	0,255	0,047	0,094	-0,006	0,093	-0,06
0	-0,023	0,009	0,017	-0,006	0,022	-0,29

Table 11 Results of FSB-LPM

Nominal pressure (hPa)	FSB-LPM	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,056	0,113	-0,001	0,111	-0,01
-200	0,255	0,060	0,120	-0,034	0,117	-0,29
-400	0,510	0,068	0,135	-0,037	0,131	-0,28
-600	0,759	0,080	0,159	-0,040	0,157	-0,26
-800	1,000	0,106	0,212	-0,047	0,207	-0,23
-950	1,139	0,119	0,238	-0,017	0,232	-0,07
-950	1,158	0,120	0,240	0,019	0,236	0,08
-800	1,014	0,110	0,220	-0,005	0,216	-0,02
-600	0,763	0,080	0,160	-0,003	0,157	-0,02
-400	0,518	0,070	0,140	0,009	0,137	0,06
-200	0,246	0,060	0,120	-0,014	0,116	-0,12
0	0,047	0,060	0,120	0,064	0,118	0,54

Table 12 Results of INM

Nominal pressure (hPa)	INM	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
0	0,000	0,009	0,018	-0,001	0,019	-0,06
-200	0,272	0,009	0,018	-0,017	0,025	-0,69
-400	0,520	0,011	0,022	-0,027	0,030	-0,90
-600	0,768	0,014	0,028	-0,031	0,039	-0,79
-800	1,005	0,018	0,036	-0,043	0,049	-0,88
-950	1,126	0,021	0,042	-0,031	0,058	-0,53
-950	1,112	0,022	0,044	-0,027	0,058	-0,47
-800	0,984	0,018	0,036	-0,035	0,046	-0,76
-600	0,744	0,015	0,030	-0,022	0,043	-0,52
-400	0,489	0,011	0,022	-0,020	0,034	-0,60
-200	0,244	0,012	0,024	-0,016	0,032	-0,49
0	-0,010	0,009	0,018	0,007	0,022	0,32

Table 13 Results of IPQ

Nominal pressure (hPa)	IPQ	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,160	0,321	-0,001	0,313	0,00
-200	0,347	0,161	0,322	0,059	0,317	0,18
-400	0,621	0,161	0,322	0,073	0,316	0,23
-600	0,904	0,161	0,321	0,105	0,319	0,33
-800	1,146	0,162	0,324	0,098	0,317	0,31
-950	1,295	0,161	0,323	0,139	0,317	0,44
-950	1,277	0,161	0,322	0,138	0,316	0,44
-800	1,134	0,161	0,321	0,116	0,317	0,37
-600	0,858	0,160	0,321	0,092	0,310	0,30
-400	0,588	0,161	0,321	0,079	0,320	0,25
-200	0,316	0,161	0,322	0,056	0,315	0,18
0	-0,030	0,160	0,321	-0,013	0,314	-0,04

Table 14 Results of LNE

Nominal pressure (hPa)	LNE	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,009	0,018	-0,001	0,018	-0,06
-200	0,286	0,011	0,021	-0,002	0,026	-0,09
-400	0,559	0,012	0,024	0,012	0,032	0,38
-600	0,808	0,018	0,036	0,008	0,044	0,18
-800	1,050	0,023	0,046	0,002	0,053	0,04
-950	1,132	0,018	0,037	-0,024	0,054	-0,46
-950	1,126	0,018	0,036	-0,013	0,053	-0,25
-800	1,022	0,024	0,048	0,003	0,054	0,06
-600	0,771	0,019	0,039	0,005	0,047	0,10
-400	0,516	0,010	0,021	0,007	0,032	0,21
-200	0,272	0,016	0,032	0,012	0,037	0,32
0	-0,017	0,012	0,023	0,000	0,026	-0,02

Table 15 Results of MCCA

Nominal pressure (hPa)	MCCA	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,006	0,012	-0,001	0,014	-0,08
-200	0,297	0,016	0,033	0,008	0,035	0,24
-400	0,546	0,022	0,044	-0,001	0,046	-0,03
-600	0,768	0,031	0,062	-0,031	0,067	-0,47
-800	0,965	0,031	0,062	-0,083	0,070	-1,19
-950	1,012	0,032	0,063	-0,144	0,075	-1,93
-950	1,002	0,049	0,099	-0,137	0,106	-1,29
-800	0,938	0,032	0,064	-0,081	0,070	-1,16
-600	0,735	0,032	0,064	-0,031	0,069	-0,45
-400	0,499	0,040	0,081	-0,010	0,079	-0,13
-200	0,267	0,022	0,045	0,007	0,046	0,14
0	-0,033	0,031	0,061	-0,016	0,061	-0,27

Table 16 Results of METROSER

Nominal pressure (hPa)	METROSER	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,010	0,020	-0,001	0,020	-0,05
-200	0,203	0,054	0,108	-0,085	0,109	-0,78
-400	0,498	0,058	0,116	-0,050	0,114	-0,43
-600	0,650	0,063	0,126	-0,150	0,127	-1,18
-800	0,969	0,069	0,138	-0,079	0,137	-0,58
-950	1,056	0,075	0,150	-0,100	0,151	-0,66
-950	1,043	0,075	0,150	-0,097	0,154	-0,63
-800	0,944	0,069	0,138	-0,075	0,140	-0,53
-600	0,718	0,063	0,126	-0,048	0,126	-0,38
-400	0,463	0,058	0,116	-0,047	0,116	-0,40
-200	0,263	0,054	0,108	0,003	0,106	0,03
0	-0,005	0,010	0,020	0,012	0,024	0,50

Table 17 Results of MIKES

Nominal pressure (hPa)	MIKES	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,013	0,026	-0,001	0,026	-0,04
-200	0,282	0,020	0,040	-0,007	0,041	-0,17
-400	0,533	0,020	0,040	-0,014	0,044	-0,32
-600	0,789	0,020	0,040	-0,011	0,047	-0,22
-800	1,032	0,020	0,040	-0,016	0,050	-0,32
-950	1,146	0,020	0,040	-0,010	0,055	-0,18
-950	1,130	0,020	0,040	-0,009	0,055	-0,16
-800	1,005	0,020	0,040	-0,013	0,048	-0,27
-600	0,754	0,020	0,040	-0,012	0,049	-0,24
-400	0,498	0,020	0,040	-0,011	0,046	-0,25
-200	0,251	0,020	0,040	-0,009	0,043	-0,21
0	-0,023	0,013	0,026	-0,006	0,028	-0,23

Table 18 Results of MIRS/IMT/LMT

Nominal pressure (hPa)	MIRS/IMT/LMT	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,006	0,012	-0,001	0,014	-0,08
-200	0,279	0,007	0,013	-0,010	0,022	-0,43
-400	0,531	0,012	0,024	-0,017	0,032	-0,53
-600	0,793	0,016	0,033	-0,007	0,041	-0,17
-800	1,050	0,014	0,027	0,002	0,041	0,04
-950	1,177	0,019	0,037	0,021	0,054	0,39
-950	1,167	0,024	0,048	0,028	0,061	0,45
-800	1,015	0,014	0,027	-0,004	0,040	-0,09
-600	0,748	0,015	0,030	-0,019	0,043	-0,43
-400	0,486	0,013	0,027	-0,024	0,037	-0,65
-200	0,241	0,012	0,024	-0,019	0,032	-0,59
0	-0,033	0,012	0,023	-0,016	0,024	-0,68

Table 19 Results of NSAI

Nominal pressure (hPa)	NSAI	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,010	0,020	-0,001	0,020	-0,05
-200	0,300	0,008	0,016	0,011	0,023	0,50
-400	0,560	0,009	0,018	0,013	0,028	0,45
-600	0,810	0,011	0,022	0,010	0,036	0,29
-800	1,057	0,012	0,024	0,009	0,040	0,22
-950	1,160	0,014	0,028	0,004	0,048	0,08
-950	1,123	0,014	0,028	-0,016	0,049	-0,32
-800	1,020	0,012	0,024	0,002	0,037	0,04
-600	0,777	0,011	0,022	0,011	0,037	0,28
-400	0,527	0,009	0,018	0,017	0,031	0,55
-200	0,267	0,008	0,016	0,006	0,027	0,24
0	-0,023	0,010	0,020	-0,006	0,024	-0,27

Table 20 Results of UME

Nominal pressure (hPa)	UME	$k = 1$	$k = 2$	Degree of equivalence:		
	Result average	Result uncertainty	Result uncertainty	d_i	$U(d_i)$	En
	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)	
0	0,000	0,030	0,060	-0,001	0,059	-0,02
-200	0,349	0,030	0,060	0,060	0,062	0,97
-400	0,588	0,030	0,060	0,041	0,063	0,66
-600	0,839	0,030	0,060	0,039	0,065	0,61
-800	1,079	0,030	0,060	0,031	0,065	0,47
-950	1,189	0,030	0,060	0,033	0,070	0,46
-950	1,180	0,030	0,060	0,041	0,070	0,59
-800	1,061	0,030	0,060	0,043	0,065	0,66
-600	0,815	0,030	0,060	0,049	0,065	0,75
-400	0,561	0,030	0,060	0,052	0,064	0,81
-200	0,319	0,030	0,060	0,059	0,064	0,92
0	-0,023	0,030	0,060	-0,006	0,060	-0,11

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: zero, in the beginning

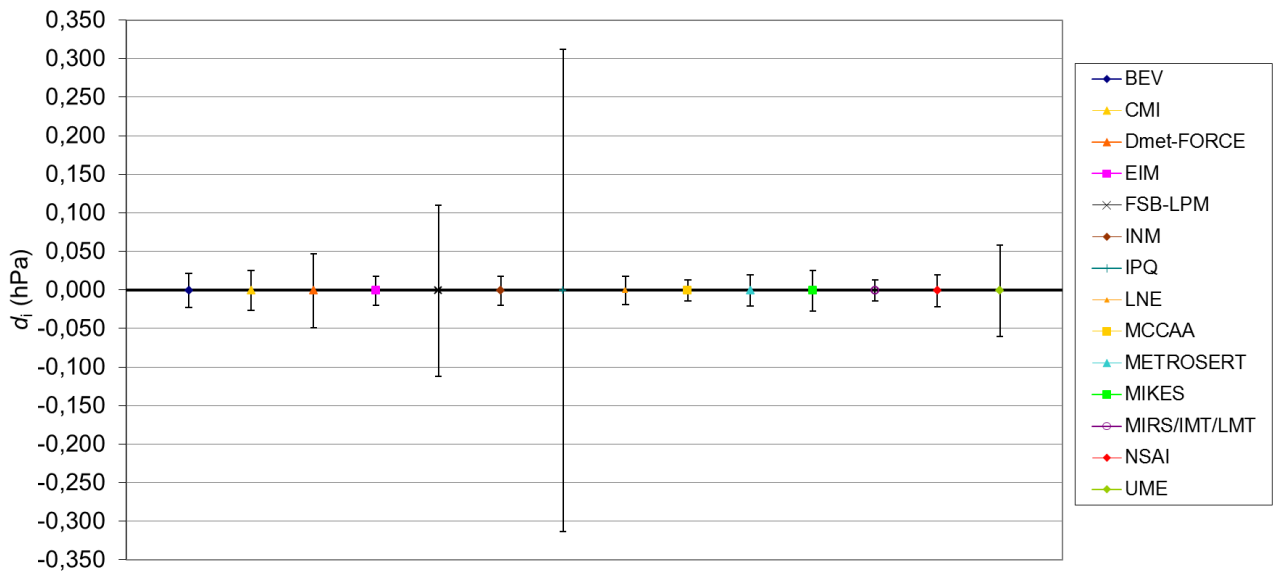


Figure 4 Degrees of equivalences at zero, at the beginning

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: zero, in the end

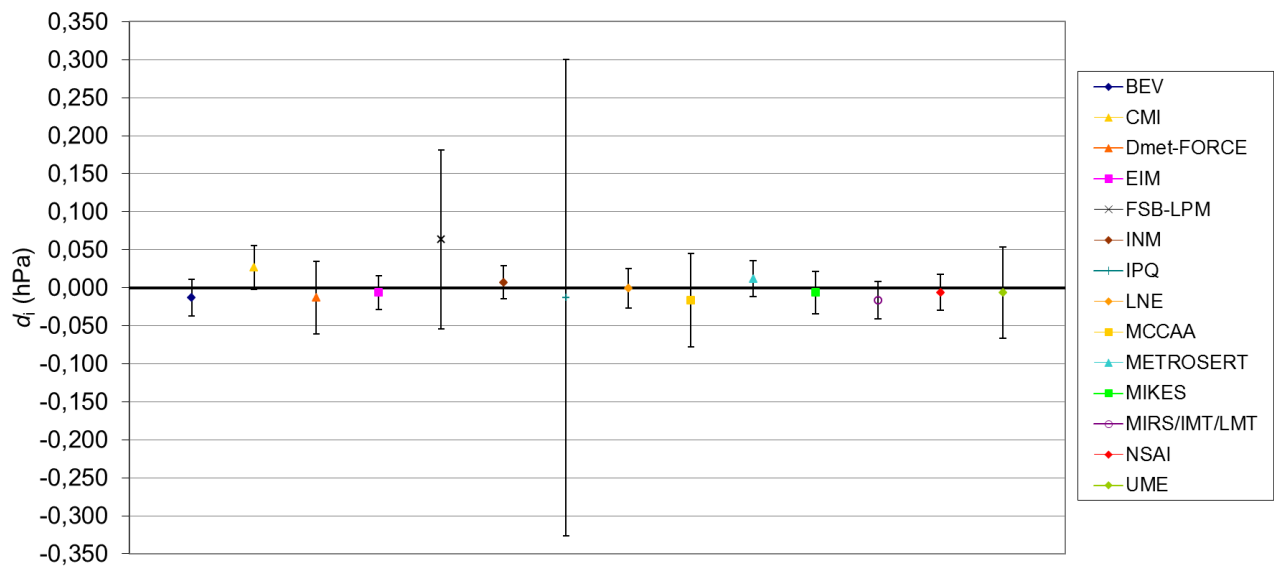


Figure 5 Degrees of equivalences at zero, at the end

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -200 hPa, down

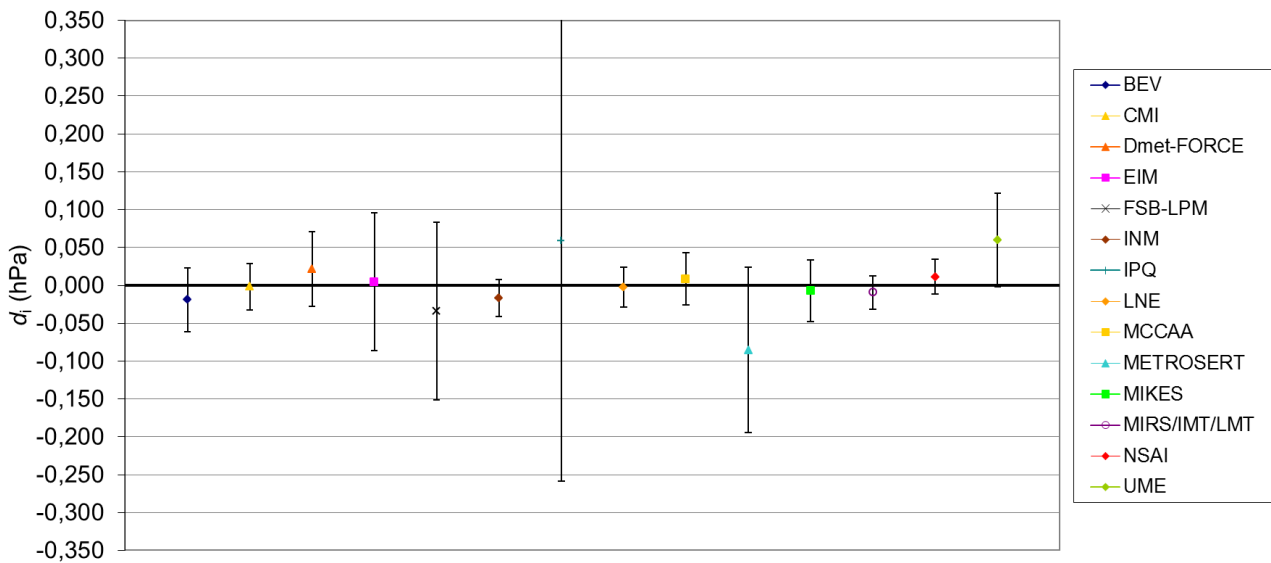


Figure 6 Degrees of equivalences at -200 hPa, down

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -200 hPa, up

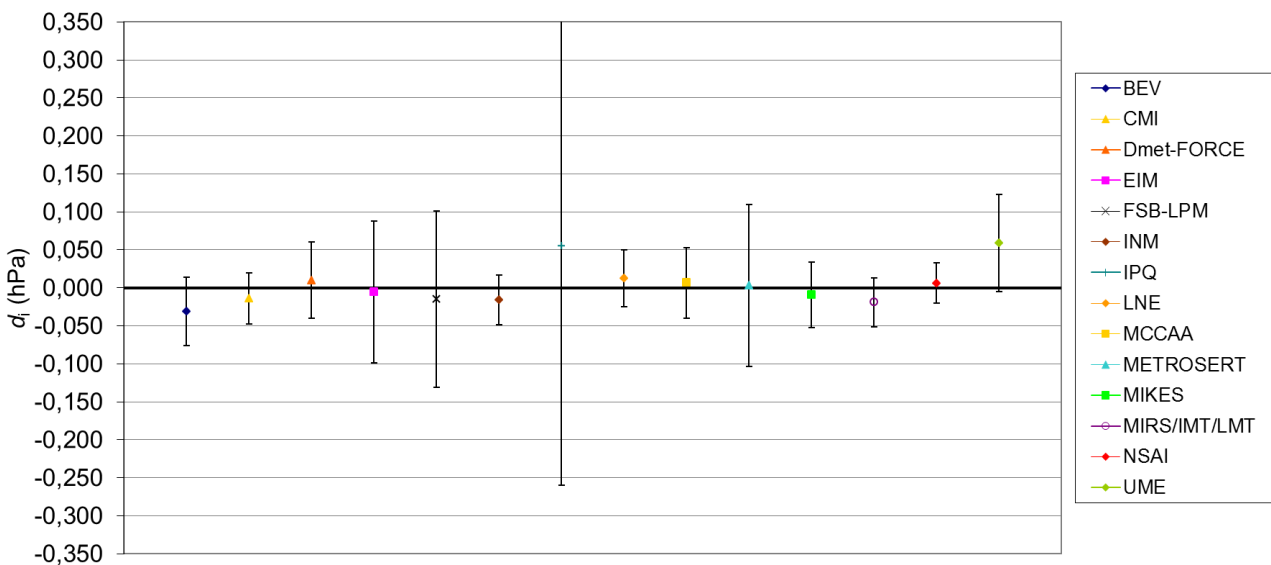


Figure 7 Degrees of equivalences at -200 hPa, up

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -400 hPa, down

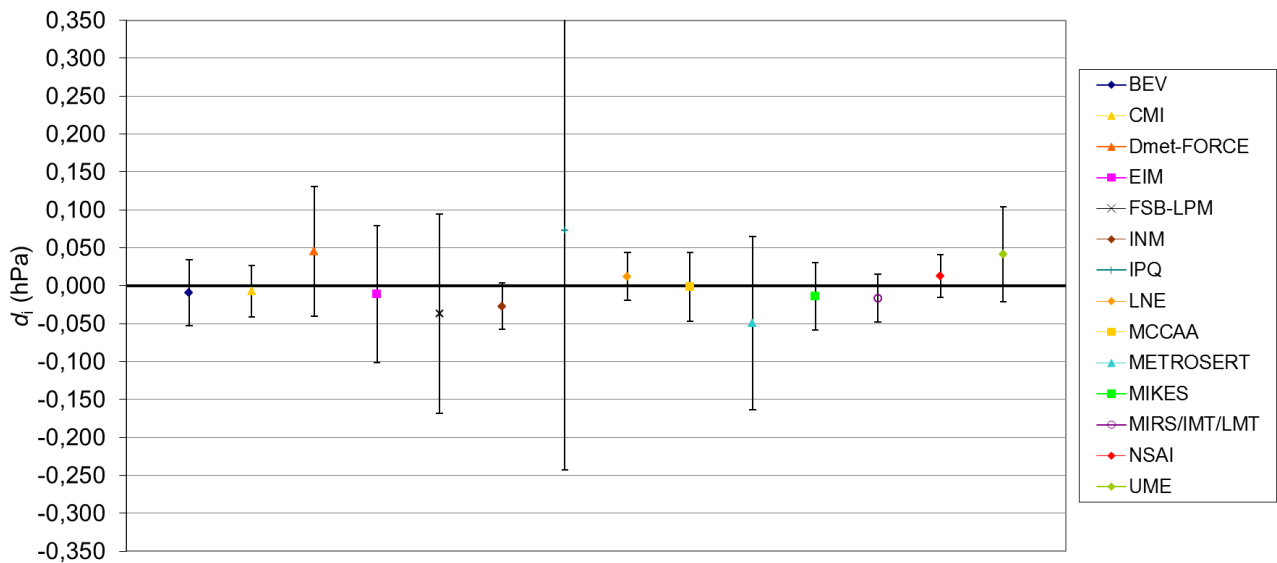


Figure 8 Degrees of equivalences at -400 hPa, down

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -400 hPa, up

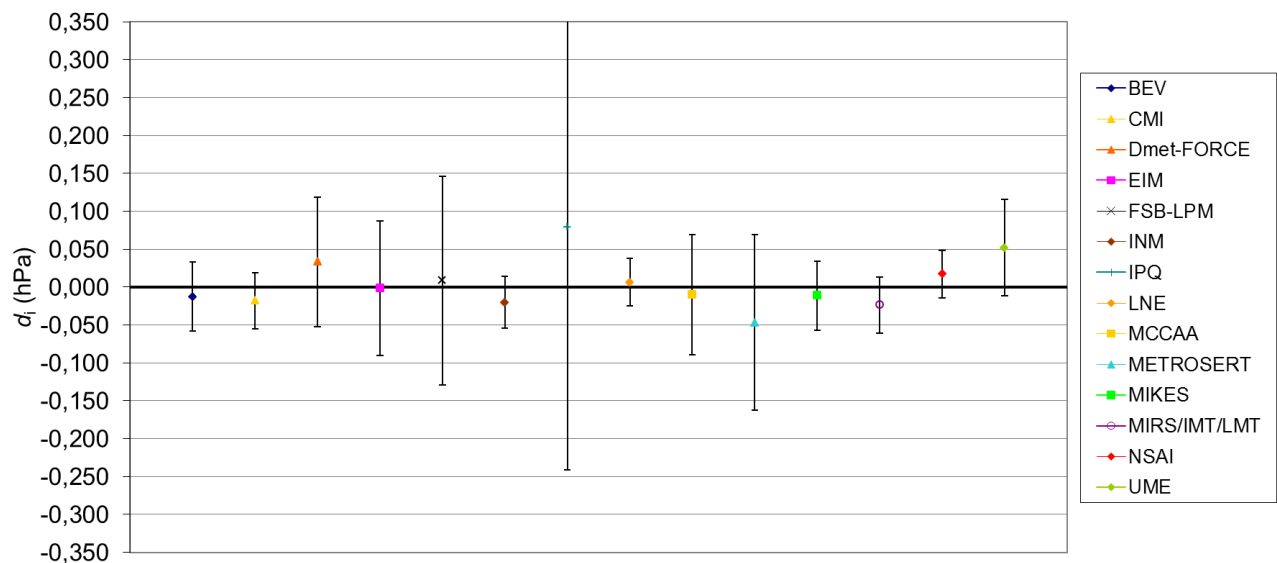


Figure 9 Degrees of equivalences at -400 hPa, up

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -600 hPa, down

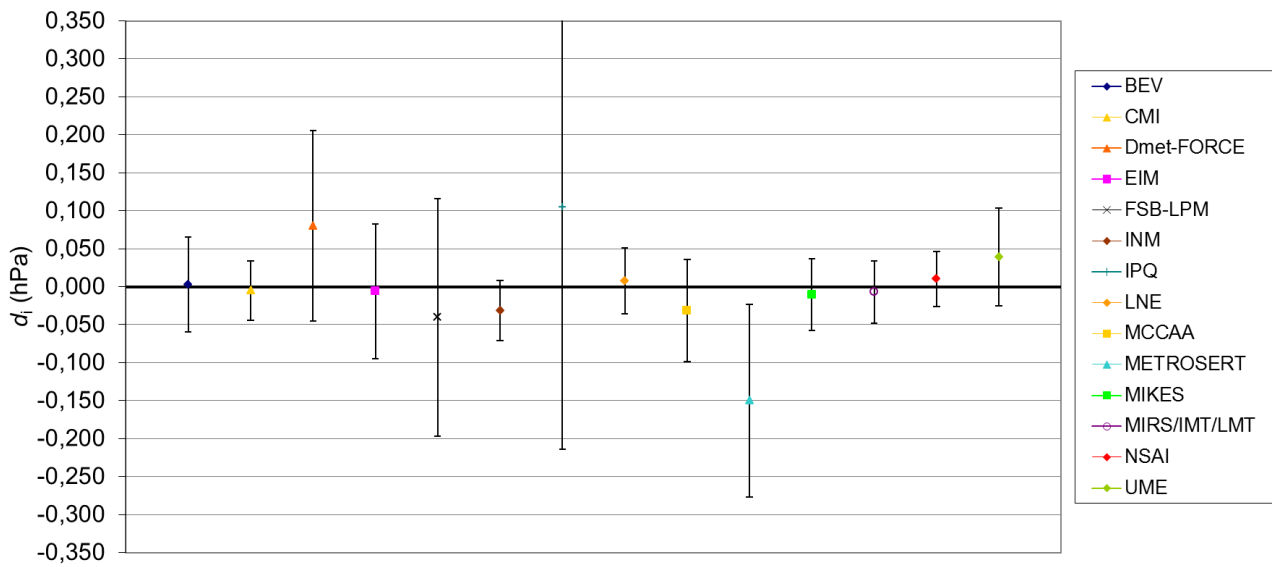


Figure 10 Degrees of equivalences at -600 hPa, down

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -600 hPa, up

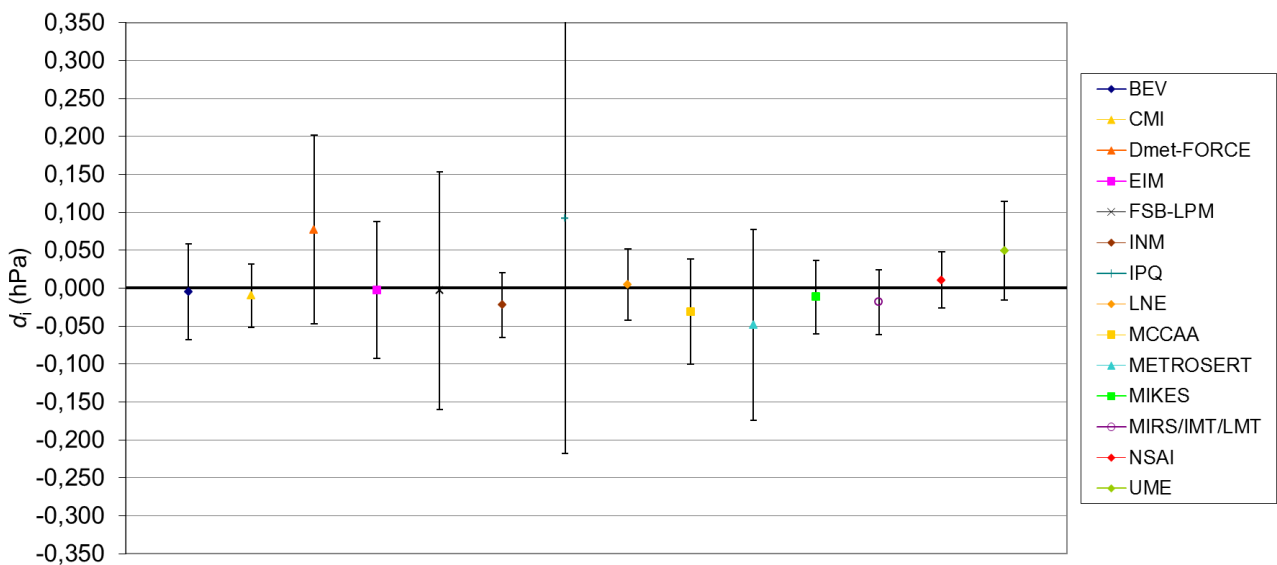


Figure 11 Degrees of equivalences at -600 hPa, up

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -800 hPa, down

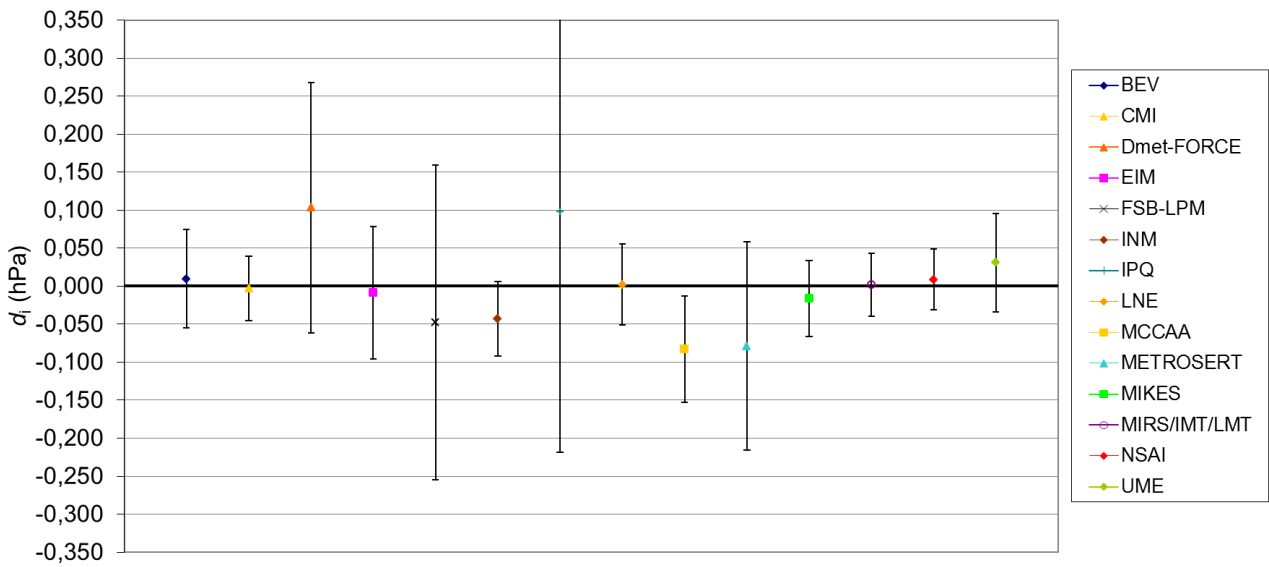


Figure 12 Degrees of equivalences at -800 hPa, down

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -800 hPa, up

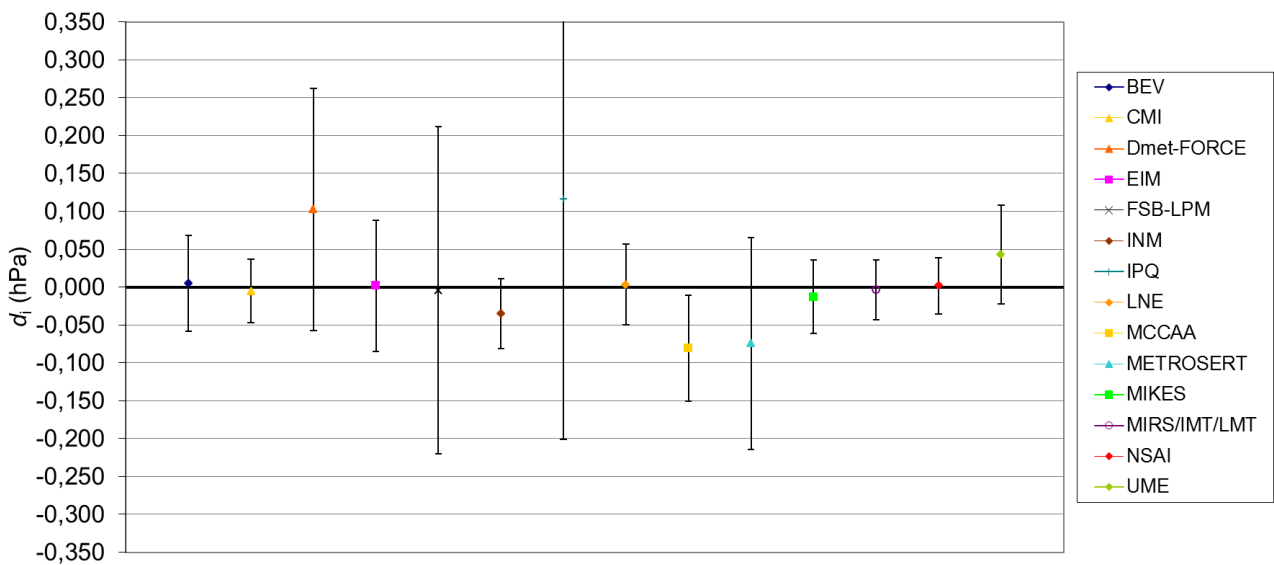


Figure 13 Degrees of equivalences at -800 hPa, up

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -950 hPa, down

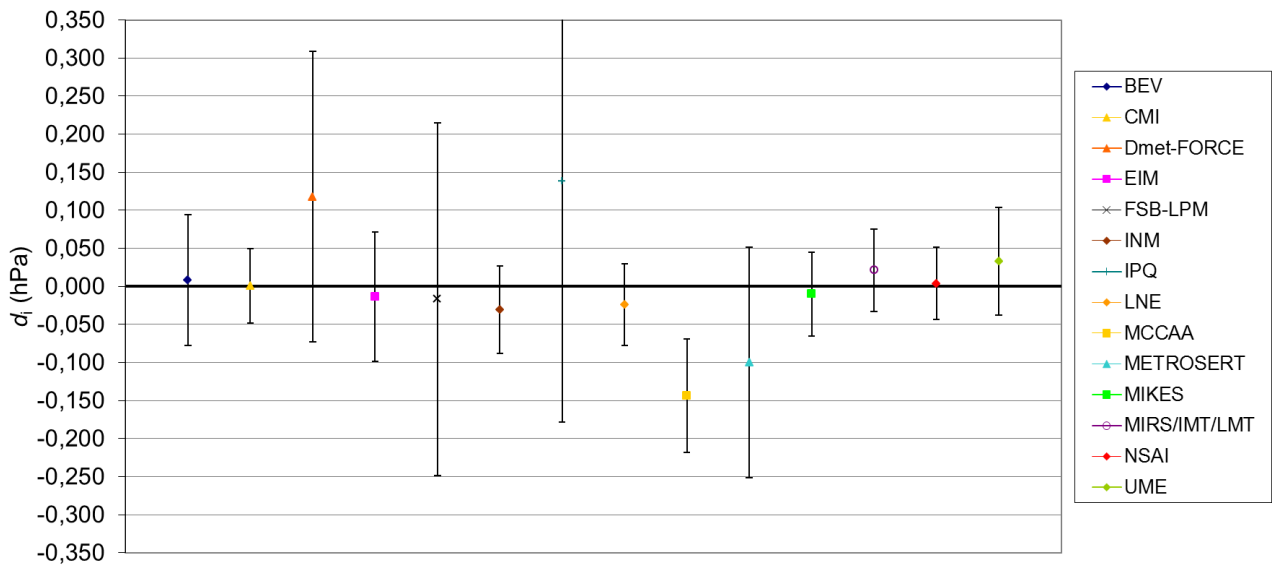


Figure 14 Degrees of equivalences at -950 hPa, down

$d_i = x_i - x_{ref}$ & $U(d_i)$: -950 hPa, up

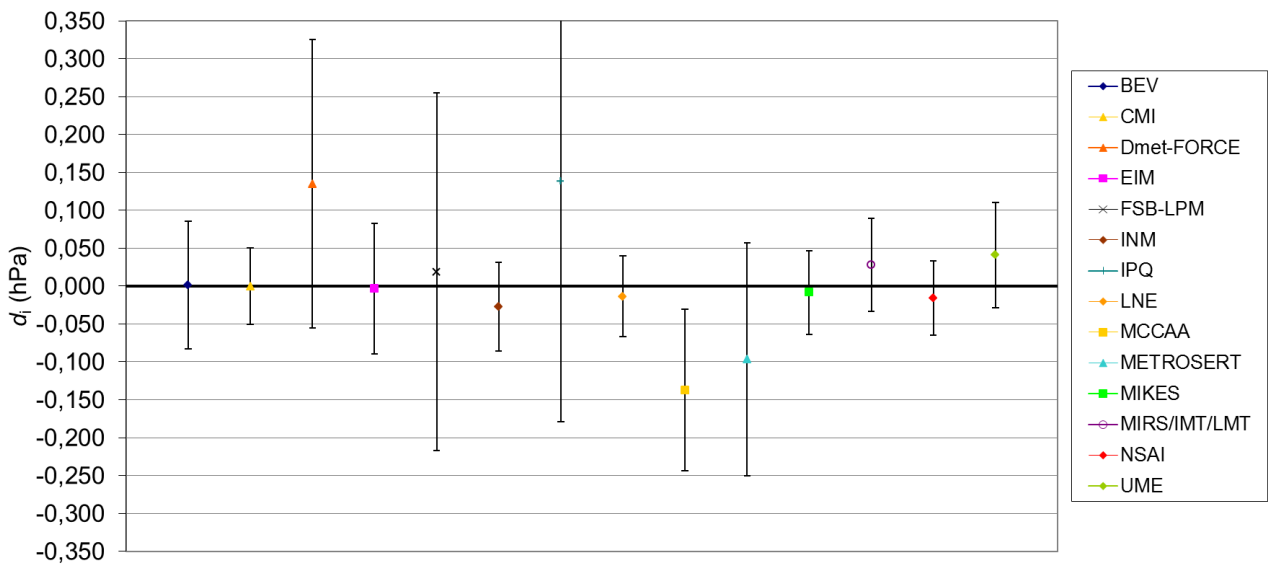


Figure 15 Degrees of equivalences at -950 hPa, up

Mutual equivalences between laboratories

Table 21 Mutual equivalences of BEV

BEV									
Nominal pressure (hPa)	CMI			Dmet-FORCE			EIM		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,033	0,00	0,000	0,053	0,00	0,000	0,028	0,00
-200	-0,017	0,049	-0,35	-0,041	0,063	-0,64	-0,023	0,103	-0,23
-400	-0,002	0,050	-0,04	-0,055	0,095	-0,58	0,002	0,102	0,02
-600	0,008	0,070	0,11	-0,077	0,139	-0,56	0,009	0,109	0,08
-800	0,013	0,072	0,18	-0,093	0,176	-0,53	0,018	0,106	0,17
-950	0,008	0,093	0,09	-0,109	0,211	-0,52	0,022	0,119	0,18
-950	0,002	0,093	0,02	-0,134	0,212	-0,63	0,005	0,120	0,04
-800	0,011	0,072	0,15	-0,097	0,175	-0,56	0,003	0,106	0,03
-600	0,005	0,071	0,07	-0,082	0,140	-0,59	-0,002	0,109	-0,02
-400	0,005	0,052	0,10	-0,046	0,095	-0,48	-0,011	0,100	-0,11
-200	-0,017	0,050	-0,33	-0,041	0,064	-0,64	-0,025	0,103	-0,25
0	-0,040	0,033	-1,20	0,000	0,053	0,00	-0,007	0,028	-0,24

FSB-LPM			INM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,115	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,025	0,00
0,015	0,127	0,12	-0,002	0,045	-0,04	-0,077	0,324	-0,24	-0,016	0,046	-0,35	-0,027	0,053	-0,52
0,028	0,142	0,20	0,018	0,047	0,37	-0,083	0,325	-0,26	-0,022	0,048	-0,45	-0,008	0,061	-0,13
0,043	0,172	0,25	0,034	0,070	0,49	-0,102	0,327	-0,31	-0,005	0,074	-0,07	0,034	0,089	0,38
0,057	0,221	0,26	0,053	0,075	0,71	-0,089	0,330	-0,27	0,008	0,080	0,10	0,093	0,090	1,03
0,025	0,253	0,10	0,039	0,097	0,40	-0,130	0,334	-0,39	0,033	0,094	0,35	0,152	0,107	1,42
-0,017	0,255	-0,07	0,029	0,097	0,29	-0,137	0,333	-0,41	0,015	0,094	0,16	0,139	0,131	1,05
0,010	0,229	0,04	0,040	0,074	0,54	-0,111	0,328	-0,34	0,002	0,080	0,02	0,086	0,091	0,94
-0,002	0,173	-0,01	0,017	0,071	0,24	-0,097	0,327	-0,30	-0,010	0,075	-0,13	0,026	0,091	0,29
-0,021	0,147	-0,14	0,008	0,049	0,16	-0,091	0,324	-0,28	-0,019	0,048	-0,40	-0,002	0,092	-0,03
-0,016	0,127	-0,13	-0,015	0,049	-0,31	-0,087	0,324	-0,27	-0,043	0,053	-0,81	-0,037	0,062	-0,61
-0,077	0,122	-0,63	-0,020	0,028	-0,71	0,000	0,322	0,00	-0,013	0,032	-0,40	0,003	0,065	0,05

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,030	0,00	0,000	0,034	0,00	0,000	0,025	0,00	0,000	0,030	0,00	0,000	0,064	0,00
0,066	0,116	0,57	-0,012	0,057	-0,21	-0,009	0,043	-0,21	-0,030	0,044	-0,68	-0,079	0,073	-1,08
0,040	0,123	0,33	0,005	0,058	0,08	0,007	0,048	0,15	-0,022	0,046	-0,49	-0,050	0,073	-0,69
0,153	0,141	1,08	0,013	0,075	0,18	0,010	0,072	0,13	-0,008	0,068	-0,11	-0,036	0,088	-0,42
0,089	0,153	0,58	0,026	0,077	0,34	0,008	0,071	0,11	0,001	0,070	0,01	-0,021	0,089	-0,24
0,109	0,173	0,63	0,018	0,096	0,19	-0,013	0,095	-0,13	0,004	0,091	0,05	-0,024	0,106	-0,23
0,098	0,173	0,57	0,010	0,095	0,10	-0,026	0,099	-0,27	0,017	0,091	0,19	-0,039	0,105	-0,37
0,080	0,152	0,52	0,018	0,076	0,24	0,009	0,070	0,13	0,004	0,069	0,05	-0,038	0,088	-0,43
0,043	0,142	0,31	0,007	0,076	0,09	0,014	0,071	0,19	-0,015	0,068	-0,23	-0,054	0,088	-0,61
0,034	0,124	0,28	-0,001	0,059	-0,02	0,011	0,051	0,22	-0,030	0,047	-0,63	-0,064	0,074	-0,87
-0,034	0,116	-0,29	-0,022	0,058	-0,37	-0,012	0,049	-0,25	-0,037	0,045	-0,82	-0,090	0,074	-1,22
-0,025	0,030	-0,85	-0,007	0,034	-0,20	0,003	0,032	0,10	-0,007	0,030	-0,23	-0,007	0,064	-0,10

Table 22 Mutual equivalences of CMI

CMI

Nominal pressure (hPa)	BEV			Dmet-FORCE			EIM		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,033	0,00	0,000	0,054	0,00	0,000	0,031	0,00
-200	0,017	0,049	0,35	-0,023	0,056	-0,42	-0,006	0,098	-0,06
-400	0,002	0,050	0,04	-0,053	0,091	-0,58	0,004	0,097	0,04
-600	-0,008	0,070	-0,11	-0,085	0,129	-0,66	0,001	0,095	0,01
-800	-0,013	0,072	-0,18	-0,106	0,169	-0,63	0,006	0,093	0,06
-950	-0,008	0,093	-0,09	-0,117	0,198	-0,59	0,014	0,093	0,15
-950	-0,002	0,093	-0,02	-0,135	0,199	-0,68	0,003	0,095	0,04
-800	-0,011	0,072	-0,15	-0,108	0,167	-0,65	-0,007	0,092	-0,08
-600	-0,005	0,071	-0,07	-0,087	0,130	-0,67	-0,007	0,096	-0,08
-400	-0,005	0,052	-0,10	-0,051	0,091	-0,56	-0,016	0,096	-0,17
-200	0,017	0,050	0,33	-0,024	0,057	-0,43	-0,009	0,098	-0,09
0	0,040	0,033	1,20	0,040	0,055	0,73	0,033	0,032	1,05

FSB-LPM			INM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,116	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,028	0,00
0,032	0,123	0,26	0,015	0,034	0,45	-0,060	0,323	-0,19	0,001	0,036	0,02	-0,010	0,044	-0,23
0,030	0,139	0,21	0,020	0,038	0,52	-0,081	0,323	-0,25	-0,020	0,039	-0,50	-0,006	0,054	-0,11
0,035	0,163	0,22	0,026	0,046	0,57	-0,110	0,323	-0,34	-0,013	0,052	-0,25	0,026	0,072	0,37
0,044	0,215	0,21	0,040	0,054	0,74	-0,101	0,326	-0,31	-0,005	0,061	-0,08	0,080	0,074	1,08
0,017	0,242	0,07	0,031	0,063	0,49	-0,138	0,326	-0,42	0,025	0,059	0,42	0,144	0,078	1,84
-0,019	0,245	-0,08	0,027	0,064	0,42	-0,138	0,325	-0,42	0,013	0,059	0,22	0,137	0,109	1,25
-0,001	1,494	0,00	0,030	0,053	0,56	-0,121	0,324	-0,37	-0,009	0,062	-0,14	0,075	0,075	1,01
-0,007	0,165	-0,04	0,012	0,049	0,25	-0,102	0,323	-0,32	-0,015	0,055	-0,27	0,021	0,074	0,29
-0,026	0,144	-0,18	0,002	0,040	0,06	-0,097	0,323	-0,30	-0,024	0,039	-0,62	-0,008	0,088	-0,09
0,000	0,124	0,00	0,002	0,039	0,04	-0,070	0,323	-0,22	-0,026	0,044	-0,60	-0,021	0,054	-0,38
-0,037	0,123	-0,30	0,020	0,032	0,62	0,040	0,322	0,12	0,027	0,035	0,77	0,043	0,067	0,65

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,032	0,00	0,000	0,036	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,032	0,00	0,000	0,065	0,00
0,084	0,112	0,75	0,005	0,049	0,10	0,008	0,032	0,25	-0,013	0,033	-0,40	-0,062	0,067	-0,93
0,042	0,120	0,35	0,007	0,050	0,13	0,009	0,039	0,24	-0,020	0,035	-0,57	-0,048	0,067	-0,72
0,145	0,131	1,11	0,005	0,054	0,10	0,002	0,049	0,03	-0,015	0,043	-0,36	-0,044	0,070	-0,63
0,076	0,144	0,53	0,013	0,057	0,23	-0,005	0,049	-0,10	-0,012	0,047	-0,25	-0,034	0,072	-0,47
0,101	0,157	0,64	0,010	0,061	0,17	-0,021	0,060	-0,35	-0,004	0,054	-0,06	-0,032	0,076	-0,43
0,096	0,157	0,61	0,008	0,062	0,14	-0,028	0,067	-0,42	0,016	0,055	0,28	-0,041	0,076	-0,54
0,069	0,143	0,48	0,008	0,056	0,14	-0,002	0,048	-0,03	-0,007	0,046	-0,15	-0,048	0,072	-0,67
0,038	0,132	0,29	0,002	0,056	0,03	0,009	0,049	0,18	-0,020	0,044	-0,46	-0,059	0,071	-0,82
0,029	0,121	0,24	-0,006	0,052	-0,12	0,006	0,043	0,14	-0,035	0,038	-0,93	-0,070	0,069	-1,01
-0,017	0,112	-0,15	-0,005	0,050	-0,10	0,005	0,038	0,12	-0,021	0,034	-0,60	-0,073	0,067	-1,09
0,015	0,033	0,45	0,033	0,037	0,90	0,043	0,035	1,23	0,033	0,033	1,00	0,033	0,066	0,51

Table 23 Mutual equivalences of DANIAmet-FORCE

Dmet-FORCE

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			EIM		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,053	0,00	0,000	0,054	0,00	0,000	0,051	0,00
-200	0,041	0,063	0,64	0,023	0,056	0,42	0,017	0,106	0,16
-400	0,055	0,095	0,58	0,053	0,091	0,58	0,057	0,126	0,45
-600	0,077	0,139	0,56	0,085	0,129	0,66	0,086	0,153	0,56
-800	0,093	0,176	0,53	0,106	0,169	0,63	0,112	0,186	0,60
-950	0,109	0,211	0,52	0,117	0,198	0,59	0,131	0,212	0,62
-950	0,134	0,212	0,63	0,135	0,199	0,68	0,139	0,212	0,65
-800	0,097	0,175	0,56	0,108	0,167	0,65	0,101	0,184	0,55
-600	0,082	0,140	0,59	0,087	0,130	0,67	0,080	0,154	0,52
-400	0,046	0,095	0,48	0,051	0,091	0,56	0,035	0,125	0,28
-200	0,041	0,064	0,64	0,024	0,057	0,43	0,016	0,106	0,15
0	0,000	0,053	0,00	-0,040	0,055	-0,73	-0,007	0,052	-0,13

FSB-LPM			INM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,123	0,00	0,000	0,051	0,00	0,000	0,325	0,00	0,000	0,051	0,00	0,000	0,050	0,00
0,056	0,130	0,43	0,039	0,052	0,74	-0,037	0,325	-0,11	0,024	0,053	0,45	0,013	0,059	0,23
0,082	0,161	0,51	0,072	0,089	0,81	-0,028	0,333	-0,08	0,033	0,090	0,37	0,047	0,097	0,48
0,121	0,203	0,59	0,111	0,129	0,87	-0,024	0,345	-0,07	0,072	0,131	0,55	0,112	0,140	0,80
0,151	0,269	0,56	0,146	0,170	0,86	0,005	0,364	0,01	0,101	0,172	0,59	0,186	0,177	1,05
0,135	0,308	0,44	0,148	0,200	0,74	-0,021	0,377	-0,06	0,142	0,199	0,72	0,262	0,206	1,27
0,116	0,310	0,38	0,162	0,201	0,81	-0,003	0,377	-0,01	0,148	0,199	0,75	0,272	0,219	1,24
0,107	0,275	0,39	0,137	0,168	0,82	-0,013	0,361	-0,04	0,099	0,171	0,58	0,183	0,176	1,04
0,080	0,204	0,39	0,100	0,130	0,76	-0,015	0,345	-0,04	0,072	0,132	0,55	0,108	0,142	0,76
0,025	0,164	0,15	0,053	0,089	0,60	-0,046	0,333	-0,14	0,027	0,089	0,30	0,043	0,118	0,37
0,025	0,130	0,19	0,026	0,056	0,47	-0,046	0,325	-0,14	-0,002	0,059	-0,04	0,004	0,067	0,05
-0,077	0,130	-0,59	-0,020	0,052	-0,38	0,000	0,325	0,00	-0,013	0,054	-0,23	0,003	0,078	0,04

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,052	0,00	0,000	0,055	0,00	0,000	0,050	0,00	0,000	0,052	0,00	0,000	0,077	0,00
0,107	0,119	0,90	0,029	0,063	0,45	0,031	0,051	0,62	0,010	0,052	0,20	-0,038	0,078	-0,49
0,095	0,145	0,66	0,060	0,095	0,63	0,062	0,089	0,69	0,033	0,088	0,37	0,004	0,105	0,04
0,230	0,178	1,29	0,091	0,132	0,69	0,087	0,130	0,67	0,070	0,128	0,55	0,041	0,139	0,29
0,182	0,216	0,84	0,119	0,170	0,70	0,101	0,168	0,60	0,094	0,167	0,56	0,072	0,176	0,41
0,218	0,246	0,88	0,128	0,200	0,64	0,097	0,199	0,49	0,114	0,198	0,58	0,085	0,205	0,42
0,231	0,247	0,94	0,144	0,200	0,72	0,107	0,202	0,53	0,151	0,198	0,76	0,094	0,205	0,46
0,177	0,215	0,82	0,116	0,169	0,68	0,106	0,167	0,64	0,101	0,166	0,61	0,060	0,175	0,34
0,125	0,179	0,70	0,089	0,133	0,67	0,096	0,130	0,74	0,067	0,129	0,52	0,028	0,140	0,20
0,080	0,145	0,55	0,045	0,095	0,47	0,057	0,090	0,63	0,016	0,088	0,18	-0,019	0,105	-0,18
0,007	0,119	0,06	0,019	0,064	0,30	0,029	0,055	0,52	0,004	0,053	0,07	-0,049	0,078	-0,62
-0,025	0,053	-0,47	-0,007	0,055	-0,12	0,003	0,054	0,06	-0,007	0,053	-0,13	-0,007	0,077	-0,09

Table 24 Mutual equivalences of EIM

EIM

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,028	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,051	0,00
-200	0,023	0,103	0,23	0,006	0,098	0,06	-0,017	0,106	-0,16
-400	-0,002	0,102	-0,02	-0,004	0,097	-0,04	-0,057	0,126	-0,45
-600	-0,009	0,109	-0,08	-0,001	0,095	-0,01	-0,086	0,153	-0,56
-800	-0,018	0,106	-0,17	-0,006	0,093	-0,06	-0,112	0,186	-0,60
-950	-0,022	0,119	-0,18	-0,014	0,093	-0,15	-0,131	0,212	-0,62
-950	-0,005	0,120	-0,04	-0,003	0,095	-0,04	-0,139	0,212	-0,65
-800	-0,003	0,106	-0,03	0,007	0,092	0,08	-0,101	0,184	-0,55
-600	0,002	0,109	0,02	0,007	0,096	0,08	-0,080	0,154	-0,52
-400	0,011	0,100	0,11	0,016	0,096	0,17	-0,035	0,125	-0,28
-200	0,025	0,103	0,25	0,009	0,098	0,09	-0,016	0,106	-0,15
0	0,007	0,028	0,24	-0,033	0,032	-1,05	0,007	0,052	0,13

FSB-LPM			INM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,114	0,00	0,000	0,025	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,025	0,00	0,000	0,021	0,00
0,039	0,153	0,25	0,021	0,096	0,22	-0,054	0,335	-0,16	0,007	0,097	0,07	-0,004	0,100	-0,04
0,026	0,164	0,16	0,016	0,096	0,16	-0,085	0,335	-0,25	-0,023	0,096	-0,24	-0,010	0,103	-0,10
0,035	0,183	0,19	0,025	0,095	0,27	-0,111	0,334	-0,33	-0,014	0,098	-0,14	0,026	0,110	0,23
0,039	0,229	0,17	0,034	0,095	0,36	-0,107	0,335	-0,32	-0,011	0,099	-0,11	0,074	0,107	0,69
0,004	0,253	0,01	0,017	0,097	0,18	-0,152	0,334	-0,45	0,011	0,095	0,12	0,131	0,108	1,21
-0,022	0,256	-0,09	0,024	0,099	0,24	-0,142	0,334	-0,42	0,010	0,096	0,10	0,133	0,133	1,00
0,006	0,236	0,03	0,037	0,094	0,39	-0,114	0,333	-0,34	-0,002	0,099	-0,02	0,082	0,108	0,77
0,001	0,184	0,00	0,020	0,096	0,21	-0,095	0,334	-0,28	-0,007	0,099	-0,08	0,029	0,111	0,26
-0,010	0,167	-0,06	0,019	0,094	0,20	-0,080	0,334	-0,24	-0,008	0,094	-0,08	0,009	0,122	0,07
0,009	0,153	0,06	0,010	0,098	0,10	-0,061	0,335	-0,18	-0,018	0,100	-0,18	-0,012	0,105	-0,12
-0,070	0,122	-0,58	-0,013	0,026	-0,50	0,007	0,322	0,02	-0,006	0,030	-0,20	0,010	0,064	0,16

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,027	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,021	0,00	0,000	0,027	0,00	0,000	0,062	0,00
0,090	0,143	0,63	0,011	0,103	0,11	0,014	0,095	0,15	-0,007	0,096	-0,07	-0,055	0,112	-0,49
0,038	0,149	0,26	0,003	0,102	0,03	0,005	0,096	0,06	-0,024	0,095	-0,25	-0,052	0,111	-0,47
0,144	0,155	0,93	0,005	0,099	0,05	0,001	0,097	0,01	-0,016	0,093	-0,17	-0,045	0,109	-0,41
0,070	0,163	0,43	0,008	0,096	0,08	-0,010	0,092	-0,11	-0,017	0,091	-0,19	-0,039	0,106	-0,37
0,087	0,174	0,50	-0,003	0,096	-0,03	-0,034	0,095	-0,36	-0,017	0,092	-0,19	-0,046	0,106	-0,43
0,093	0,174	0,53	0,005	0,097	0,05	-0,031	0,101	-0,31	0,012	0,093	0,13	-0,045	0,107	-0,42
0,076	0,163	0,47	0,015	0,096	0,15	0,006	0,091	0,06	0,000	0,090	0,00	-0,041	0,106	-0,39
0,046	0,155	0,29	0,009	0,099	0,09	0,016	0,096	0,17	-0,013	0,094	-0,14	-0,052	0,109	-0,47
0,045	0,148	0,31	0,010	0,100	0,10	0,022	0,096	0,23	-0,019	0,093	-0,20	-0,053	0,110	-0,48
-0,009	0,144	-0,06	0,003	0,103	0,03	0,013	0,098	0,13	-0,012	0,096	-0,13	-0,065	0,112	-0,58
-0,018	0,028	-0,66	0,000	0,032	0,00	0,010	0,030	0,33	0,000	0,028	0,00	0,000	0,063	0,00

Table 25 Mutual equivalences of FSB-LPM

FSB-LPM

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,115	0,00	0,000	0,116	0,00	0,000	0,123	0,00
-200	-0,015	0,127	-0,12	-0,032	0,123	-0,26	-0,056	0,130	-0,43
-400	-0,028	0,142	-0,20	-0,030	0,139	-0,21	-0,082	0,161	-0,51
-600	-0,043	0,172	-0,25	-0,035	0,163	-0,22	-0,121	0,203	-0,59
-800	-0,057	0,221	-0,26	-0,044	0,215	-0,21	-0,151	0,269	-0,56
-950	-0,025	0,253	-0,10	-0,017	0,242	-0,07	-0,135	0,308	-0,44
-950	0,017	0,255	0,07	0,019	0,245	0,08	-0,116	0,310	-0,38
-800	-0,010	0,229	-0,04	0,001	0,223	0,00	-0,107	0,275	-0,39
-600	0,002	0,173	0,01	0,007	0,165	0,04	-0,080	0,204	-0,39
-400	0,021	0,147	0,14	0,026	0,144	0,18	-0,025	0,164	-0,15
-200	0,016	0,127	0,13	0,000	0,124	0,00	-0,025	0,130	-0,19
0	0,077	0,122	0,63	0,037	0,123	0,30	0,077	0,130	0,59

EIM			INM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,114	0,00	0,000	0,114	0,00	0,000	0,340	0,00	0,000	0,114	0,00	0,000	0,113	0,00
-0,039	0,153	-0,25	-0,017	0,122	-0,14	-0,093	0,343	-0,27	-0,032	0,122	-0,26	-0,042	0,125	-0,34
-0,026	0,164	-0,16	-0,010	0,138	-0,07	-0,110	0,349	-0,32	-0,049	0,138	-0,36	-0,036	0,143	-0,25
-0,035	0,183	-0,19	-0,009	0,163	-0,06	-0,145	0,359	-0,40	-0,048	0,165	-0,29	-0,009	0,172	-0,05
-0,039	0,229	-0,17	-0,004	0,216	-0,02	-0,146	0,388	-0,38	-0,049	0,218	-0,23	0,036	0,222	0,16
-0,004	0,253	-0,01	0,014	0,244	0,06	-0,156	0,402	-0,39	0,008	0,243	0,03	0,127	0,248	0,51
0,022	0,256	0,09	0,046	0,246	0,19	-0,119	0,403	-0,30	0,032	0,245	0,13	0,156	0,262	0,60
-0,006	0,236	-0,03	0,030	0,224	0,14	-0,120	0,390	-0,31	-0,008	0,226	-0,03	0,076	0,230	0,33
-0,001	0,184	0,00	0,019	0,165	0,12	-0,096	0,359	-0,27	-0,008	0,166	-0,05	0,028	0,174	0,16
0,010	0,167	0,06	0,029	0,143	0,20	-0,070	0,351	-0,20	0,002	0,143	0,01	0,019	0,163	0,11
-0,009	0,153	-0,06	0,001	0,123	0,01	-0,070	0,344	-0,20	-0,027	0,125	-0,21	-0,021	0,129	-0,16
0,070	0,122	0,58	0,057	0,122	0,47	0,077	0,343	0,22	0,064	0,123	0,52	0,080	0,135	0,59

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,115	0,00	0,000	0,116	0,00	0,000	0,113	0,00	0,000	0,115	0,00	0,000	0,128	0,00
0,051	0,162	0,32	-0,027	0,127	-0,21	-0,024	0,121	-0,20	-0,045	0,121	-0,37	-0,094	0,135	-0,70
0,013	0,179	0,07	-0,023	0,142	-0,16	-0,020	0,138	-0,15	-0,050	0,137	-0,36	-0,078	0,149	-0,53
0,110	0,204	0,54	-0,030	0,166	-0,18	-0,034	0,164	-0,20	-0,051	0,162	-0,31	-0,080	0,172	-0,46
0,031	0,254	0,12	-0,031	0,217	-0,14	-0,049	0,215	-0,23	-0,056	0,215	-0,26	-0,078	0,221	-0,35
0,083	0,283	0,29	-0,007	0,244	-0,03	-0,038	0,243	-0,16	-0,021	0,242	-0,09	-0,050	0,248	-0,20
0,115	0,285	0,40	0,027	0,246	0,11	-0,009	0,247	-0,04	0,034	0,244	0,14	-0,022	0,250	-0,09
0,070	0,261	0,27	0,009	0,225	0,04	-0,001	0,223	0,00	-0,006	0,223	-0,03	-0,047	0,229	-0,21
0,045	0,205	0,22	0,008	0,167	0,05	0,015	0,164	0,09	-0,014	0,163	-0,08	-0,052	0,173	-0,30
0,055	0,183	0,30	0,020	0,147	0,14	0,032	0,143	0,22	-0,009	0,142	-0,06	-0,043	0,153	-0,28
-0,018	0,162	-0,11	-0,005	0,127	-0,04	0,004	0,123	0,04	-0,021	0,122	-0,17	-0,073	0,135	-0,54
0,052	0,122	0,42	0,070	0,123	0,57	0,080	0,123	0,65	0,070	0,122	0,57	0,070	0,134	0,52

Table 26 Mutual equivalences of INM

INM

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,028	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,051	0,00
-200	0,002	0,045	0,04	-0,015	0,034	-0,45	-0,039	0,052	-0,74
-400	-0,018	0,047	-0,37	-0,020	0,038	-0,52	-0,072	0,089	-0,81
-600	-0,034	0,070	-0,49	-0,026	0,046	-0,57	-0,111	0,129	-0,87
-800	-0,053	0,075	-0,71	-0,040	0,054	-0,74	-0,146	0,170	-0,86
-950	-0,039	0,097	-0,40	-0,031	0,063	-0,49	-0,148	0,200	-0,74
-950	-0,029	0,097	-0,29	-0,027	0,064	-0,42	-0,162	0,201	-0,81
-800	-0,040	0,074	-0,54	-0,030	0,053	-0,56	-0,137	0,168	-0,82
-600	-0,017	0,071	-0,24	-0,012	0,049	-0,25	-0,100	0,130	-0,76
-400	-0,008	0,049	-0,16	-0,002	0,040	-0,06	-0,053	0,089	-0,60
-200	0,015	0,049	0,31	-0,002	0,039	-0,04	-0,026	0,056	-0,47
0	0,020	0,028	0,71	-0,020	0,032	-0,62	0,020	0,052	0,38

EIM			FSB-LPM			IPQ			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,025	0,00	0,000	0,114	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,026	0,00	0,000	0,022	0,00
-0,021	0,096	-0,22	0,017	0,122	0,14	-0,076	0,322	-0,23	-0,014	0,029	-0,49	-0,025	0,038	-0,65
-0,016	0,096	-0,16	0,010	0,138	0,07	-0,100	0,323	-0,31	-0,039	0,035	-1,12	-0,026	0,051	-0,50
-0,025	0,095	-0,27	0,009	0,163	0,06	-0,136	0,323	-0,42	-0,039	0,051	-0,77	0,000	0,071	0,00
-0,034	0,095	-0,36	0,004	0,216	0,02	-0,141	0,327	-0,43	-0,045	0,064	-0,70	0,040	0,076	0,52
-0,017	0,097	-0,18	-0,014	0,244	-0,06	-0,169	0,327	-0,52	-0,006	0,065	-0,09	0,114	0,083	1,37
-0,024	0,099	-0,24	-0,046	0,246	-0,19	-0,165	0,326	-0,51	-0,014	0,066	-0,21	0,110	0,113	0,97
-0,037	0,094	-0,39	-0,030	0,224	-0,14	-0,151	0,324	-0,47	-0,038	0,065	-0,59	0,046	0,077	0,59
-0,020	0,096	-0,21	-0,019	0,165	-0,12	-0,115	0,323	-0,35	-0,027	0,054	-0,50	0,009	0,074	0,12
-0,019	0,094	-0,20	-0,029	0,143	-0,20	-0,099	0,322	-0,31	-0,027	0,035	-0,78	-0,010	0,086	-0,12
-0,010	0,098	-0,10	-0,001	0,123	-0,01	-0,071	0,323	-0,22	-0,028	0,042	-0,66	-0,022	0,053	-0,42
0,013	0,026	0,50	-0,057	0,122	-0,47	0,020	0,322	0,06	0,007	0,031	0,24	0,023	0,064	0,36

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,027	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,022	0,00	0,000	0,027	0,00	0,000	0,063	0,00
0,068	0,110	0,62	-0,010	0,045	-0,22	-0,007	0,024	-0,30	-0,028	0,026	-1,09	-0,077	0,063	-1,21
0,022	0,119	0,19	-0,013	0,047	-0,27	-0,010	0,035	-0,30	-0,040	0,031	-1,28	-0,068	0,065	-1,04
0,119	0,131	0,91	-0,021	0,054	-0,39	-0,024	0,048	-0,50	-0,042	0,042	-0,99	-0,070	0,070	-1,01
0,036	0,145	0,25	-0,027	0,060	-0,45	-0,045	0,052	-0,86	-0,052	0,050	-1,03	-0,074	0,075	-0,99
0,070	0,159	0,44	-0,021	0,067	-0,31	-0,052	0,066	-0,79	-0,034	0,061	-0,57	-0,063	0,081	-0,78
0,069	0,160	0,43	-0,019	0,068	-0,27	-0,055	0,073	-0,75	-0,011	0,062	-0,19	-0,068	0,082	-0,84
0,040	0,145	0,27	-0,022	0,059	-0,37	-0,031	0,051	-0,61	-0,036	0,050	-0,74	-0,078	0,074	-1,05
0,026	0,132	0,20	-0,011	0,055	-0,19	-0,004	0,049	-0,08	-0,033	0,044	-0,74	-0,071	0,071	-1,00
0,026	0,119	0,22	-0,009	0,049	-0,18	0,003	0,038	0,09	-0,038	0,033	-1,14	-0,072	0,066	-1,09
-0,019	0,112	-0,17	-0,007	0,049	-0,14	0,003	0,037	0,08	-0,022	0,032	-0,69	-0,075	0,066	-1,13
-0,005	0,028	-0,18	0,013	0,033	0,41	0,023	0,031	0,76	0,013	0,028	0,47	0,013	0,063	0,21

Table 27 Mutual equivalences of IPQ

IPQ

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,322	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,325	0,00
-200	0,077	0,324	0,24	0,060	0,323	0,19	0,037	0,325	0,11
-400	0,083	0,325	0,26	0,081	0,323	0,25	0,028	0,333	0,08
-600	0,102	0,327	0,31	0,110	0,323	0,34	0,024	0,345	0,07
-800	0,089	0,330	0,27	0,101	0,326	0,31	-0,005	0,364	-0,01
-950	0,130	0,334	0,39	0,138	0,326	0,42	0,021	0,377	0,06
-950	0,137	0,333	0,41	0,138	0,325	0,42	0,003	0,377	0,01
-800	0,111	0,328	0,34	0,121	0,324	0,37	0,013	0,361	0,04
-600	0,097	0,327	0,30	0,102	0,323	0,32	0,015	0,345	0,04
-400	0,091	0,324	0,28	0,097	0,323	0,30	0,046	0,333	0,14
-200	0,087	0,324	0,27	0,070	0,323	0,22	0,046	0,325	0,14
0	0,000	0,322	0,00	-0,040	0,322	-0,12	0,000	0,325	0,00

EIM			FSB-LPM			INM			LNE			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,321	0,00	0,000	0,340	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,321	0,00
0,054	0,335	0,16	0,093	0,343	0,27	0,076	0,322	0,23	0,061	0,322	0,19	0,050	0,323	0,16
0,085	0,335	0,25	0,110	0,349	0,32	0,100	0,323	0,31	0,061	0,323	0,19	0,075	0,325	0,23
0,111	0,334	0,33	0,145	0,359	0,40	0,136	0,323	0,42	0,097	0,324	0,30	0,136	0,328	0,42
0,107	0,335	0,32	0,146	0,388	0,38	0,141	0,327	0,43	0,096	0,328	0,29	0,181	0,331	0,55
0,152	0,334	0,45	0,156	0,402	0,39	0,169	0,327	0,52	0,163	0,327	0,50	0,283	0,331	0,86
0,142	0,334	0,42	0,119	0,403	0,30	0,165	0,326	0,51	0,151	0,326	0,47	0,275	0,338	0,81
0,114	0,333	0,34	0,120	0,390	0,31	0,151	0,324	0,47	0,112	0,326	0,35	0,196	0,328	0,60
0,095	0,334	0,28	0,096	0,359	0,27	0,115	0,323	0,35	0,088	0,324	0,27	0,124	0,328	0,38
0,080	0,334	0,24	0,070	0,351	0,20	0,099	0,322	0,31	0,072	0,322	0,22	0,089	0,332	0,27
0,061	0,335	0,18	0,070	0,344	0,20	0,071	0,323	0,22	0,043	0,323	0,13	0,049	0,325	0,15
-0,007	0,322	-0,02	-0,077	0,343	-0,22	-0,020	0,322	-0,06	-0,013	0,322	-0,04	0,003	0,327	0,01

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,322	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,327	0,00
0,144	0,339	0,42	0,065	0,324	0,20	0,068	0,322	0,21	0,047	0,322	0,15	-0,001	0,327	0,00
0,123	0,342	0,36	0,088	0,325	0,27	0,090	0,323	0,28	0,061	0,323	0,19	0,032	0,328	0,10
0,255	0,346	0,74	0,115	0,324	0,36	0,111	0,324	0,34	0,094	0,323	0,29	0,065	0,327	0,20
0,177	0,353	0,50	0,115	0,327	0,35	0,097	0,326	0,30	0,089	0,326	0,27	0,068	0,330	0,20
0,239	0,358	0,67	0,149	0,327	0,45	0,118	0,327	0,36	0,135	0,326	0,41	0,106	0,330	0,32
0,235	0,357	0,66	0,147	0,326	0,45	0,110	0,327	0,34	0,154	0,325	0,47	0,097	0,329	0,30
0,190	0,350	0,54	0,129	0,325	0,40	0,120	0,323	0,37	0,114	0,323	0,35	0,073	0,328	0,22
0,141	0,346	0,41	0,104	0,324	0,32	0,111	0,323	0,34	0,082	0,323	0,25	0,043	0,327	0,13
0,126	0,342	0,37	0,090	0,324	0,28	0,103	0,323	0,32	0,062	0,322	0,19	0,027	0,327	0,08
0,053	0,340	0,15	0,065	0,324	0,20	0,074	0,323	0,23	0,049	0,322	0,15	-0,003	0,327	-0,01
-0,025	0,322	-0,08	-0,007	0,322	-0,02	0,003	0,322	0,01	-0,007	0,322	-0,02	-0,007	0,327	-0,02

Table 28 Mutual equivalences of LNE

LNE

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,028	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,051	0,00
-200	0,016	0,046	0,35	-0,001	0,036	-0,02	-0,024	0,053	-0,45
-400	0,022	0,048	0,45	0,020	0,039	0,50	-0,033	0,090	-0,37
-600	0,005	0,074	0,07	0,013	0,052	0,25	-0,072	0,131	-0,55
-800	-0,008	0,080	-0,10	0,005	0,061	0,08	-0,101	0,172	-0,59
-950	-0,033	0,094	-0,35	-0,025	0,059	-0,42	-0,142	0,199	-0,72
-950	-0,015	0,094	-0,16	-0,013	0,059	-0,22	-0,148	0,199	-0,75
-800	-0,002	0,080	-0,02	0,009	0,062	0,14	-0,099	0,171	-0,58
-600	0,010	0,075	0,13	0,015	0,055	0,27	-0,072	0,132	-0,55
-400	0,019	0,048	0,40	0,024	0,039	0,62	-0,027	0,089	-0,30
-200	0,043	0,053	0,81	0,026	0,044	0,60	0,002	0,059	0,04
0	0,013	0,032	0,40	-0,027	0,035	-0,77	0,013	0,054	0,23

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			MCCAA		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,025	0,00	0,000	0,114	0,00	0,000	0,026	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,022	0,00
-0,007	0,097	-0,07	0,032	0,122	0,26	0,014	0,029	0,49	-0,061	0,322	-0,19	-0,011	0,040	-0,27
0,023	0,096	0,24	0,049	0,138	0,36	0,039	0,035	1,12	-0,061	0,323	-0,19	0,014	0,052	0,26
0,014	0,098	0,14	0,048	0,165	0,29	0,039	0,051	0,77	-0,097	0,324	-0,30	0,039	0,075	0,52
0,011	0,099	0,11	0,049	0,218	0,23	0,045	0,064	0,70	-0,096	0,328	-0,29	0,085	0,081	1,04
-0,011	0,095	-0,12	-0,008	0,243	-0,03	0,006	0,065	0,09	-0,163	0,327	-0,50	0,120	0,081	1,48
-0,010	0,096	-0,10	-0,032	0,245	-0,13	0,014	0,066	0,21	-0,151	0,326	-0,47	0,124	0,110	1,12
0,002	0,099	0,02	0,008	0,226	0,03	0,038	0,065	0,59	-0,112	0,326	-0,35	0,084	0,083	1,01
0,007	0,099	0,08	0,008	0,166	0,05	0,027	0,054	0,50	-0,088	0,324	-0,27	0,036	0,078	0,46
0,008	0,094	0,08	-0,002	0,143	-0,01	0,027	0,035	0,78	-0,072	0,322	-0,22	0,017	0,085	0,19
0,018	0,100	0,18	0,027	0,125	0,21	0,028	0,042	0,66	-0,043	0,323	-0,13	0,006	0,057	0,10
0,006	0,030	0,20	-0,064	0,123	-0,52	-0,007	0,031	-0,24	0,013	0,322	0,04	0,016	0,066	0,24

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,027	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,022	0,00	0,000	0,027	0,00	0,000	0,063	0,00
0,083	0,110	0,75	0,004	0,046	0,10	0,007	0,027	0,27	-0,014	0,028	-0,49	-0,062	0,064	-0,97
0,062	0,119	0,52	0,026	0,048	0,54	0,029	0,036	0,80	-0,001	0,033	-0,02	-0,029	0,066	-0,44
0,158	0,133	1,19	0,018	0,058	0,32	0,015	0,054	0,27	-0,002	0,048	-0,05	-0,031	0,074	-0,43
0,081	0,148	0,55	0,018	0,066	0,27	0,000	0,059	0,00	-0,007	0,058	-0,12	-0,029	0,080	-0,36
0,076	0,158	0,48	-0,014	0,064	-0,23	-0,045	0,062	-0,73	-0,028	0,057	-0,49	-0,057	0,078	-0,73
0,083	0,158	0,53	-0,005	0,063	-0,08	-0,041	0,069	-0,60	0,002	0,057	0,04	-0,054	0,078	-0,70
0,078	0,148	0,53	0,016	0,067	0,24	0,007	0,060	0,12	0,002	0,059	0,03	-0,039	0,080	-0,49
0,053	0,134	0,40	0,017	0,060	0,27	0,023	0,054	0,43	-0,006	0,050	-0,11	-0,044	0,075	-0,59
0,053	0,119	0,45	0,018	0,048	0,37	0,030	0,038	0,80	-0,011	0,032	-0,33	-0,045	0,066	-0,69
0,009	0,113	0,08	0,021	0,053	0,40	0,031	0,042	0,74	0,006	0,038	0,15	-0,047	0,069	-0,67
-0,012	0,032	-0,39	0,006	0,036	0,17	0,016	0,034	0,47	0,006	0,032	0,19	0,006	0,065	0,09

Table 29 Mutual equivalences of MCCA

MCCA

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,025	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,050	0,00
-200	0,027	0,053	0,52	0,010	0,044	0,23	-0,013	0,059	-0,23
-400	0,008	0,061	0,13	0,006	0,054	0,11	-0,047	0,097	-0,48
-600	-0,034	0,089	-0,38	-0,026	0,072	-0,37	-0,112	0,140	-0,80
-800	-0,093	0,090	-1,03	-0,080	0,074	-1,08	-0,186	0,177	-1,05
-950	-0,152	0,107	-1,42	-0,144	0,078	-1,84	-0,262	0,206	-1,27
-950	-0,139	0,131	-1,05	-0,137	0,109	-1,25	-0,272	0,219	-1,24
-800	-0,086	0,091	-0,94	-0,075	0,075	-1,01	-0,183	0,176	-1,04
-600	-0,026	0,091	-0,29	-0,021	0,074	-0,29	-0,108	0,142	-0,76
-400	0,002	0,092	0,03	0,008	0,088	0,09	-0,043	0,118	-0,37
-200	0,037	0,062	0,61	0,021	0,054	0,38	-0,004	0,067	-0,05
0	-0,003	0,065	-0,05	-0,043	0,067	-0,65	-0,003	0,078	-0,04

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,021	0,00	0,000	0,113	0,00	0,000	0,022	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,022	0,00
0,004	0,100	0,04	0,042	0,125	0,34	0,025	0,038	0,65	-0,050	0,323	-0,16	0,011	0,040	0,27
0,010	0,103	0,10	0,036	0,143	0,25	0,026	0,051	0,50	-0,075	0,325	-0,23	-0,014	0,052	-0,26
-0,026	0,110	-0,23	0,009	0,172	0,05	0,000	0,071	0,00	-0,136	0,328	-0,42	-0,039	0,075	-0,52
-0,074	0,107	-0,69	-0,036	0,222	-0,16	-0,040	0,076	-0,52	-0,181	0,331	-0,55	-0,085	0,081	-1,04
-0,131	0,108	-1,21	-0,127	0,248	-0,51	-0,114	0,083	-1,37	-0,283	0,331	-0,86	-0,120	0,081	-1,48
-0,133	0,133	-1,00	-0,156	0,262	-0,60	-0,110	0,113	-0,97	-0,275	0,338	-0,81	-0,124	0,110	-1,12
-0,082	0,108	-0,77	-0,076	0,230	-0,33	-0,046	0,077	-0,59	-0,196	0,328	-0,60	-0,084	0,083	-1,01
-0,029	0,111	-0,26	-0,028	0,174	-0,16	-0,009	0,074	-0,12	-0,124	0,328	-0,38	-0,036	0,078	-0,46
-0,009	0,122	-0,07	-0,019	0,163	-0,11	0,010	0,086	0,12	-0,089	0,332	-0,27	-0,017	0,085	-0,19
0,012	0,105	0,12	0,021	0,129	0,16	0,022	0,053	0,42	-0,049	0,325	-0,15	-0,006	0,057	-0,10
-0,010	0,064	-0,16	-0,080	0,135	-0,59	-0,023	0,064	-0,36	-0,003	0,327	-0,01	-0,016	0,066	-0,24

METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,023	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,017	0,00	0,000	0,023	0,00	0,000	0,061	0,00
0,093	0,113	0,83	0,015	0,053	0,29	0,018	0,037	0,49	-0,003	0,038	-0,08	-0,052	0,069	-0,75
0,048	0,125	0,39	0,013	0,061	0,21	0,015	0,052	0,29	-0,014	0,049	-0,29	-0,042	0,076	-0,56
0,119	0,142	0,84	-0,021	0,077	-0,27	-0,025	0,073	-0,34	-0,042	0,069	-0,60	-0,071	0,089	-0,80
-0,004	0,154	-0,03	-0,067	0,078	-0,85	-0,085	0,073	-1,17	-0,092	0,071	-1,28	-0,114	0,090	-1,26
-0,044	0,166	-0,26	-0,134	0,082	-1,63	-0,165	0,081	-2,04	-0,148	0,077	-1,92	-0,177	0,094	-1,89
-0,041	0,183	-0,22	-0,129	0,112	-1,15	-0,165	0,115	-1,44	-0,121	0,108	-1,12	-0,178	0,120	-1,48
-0,006	0,154	-0,04	-0,068	0,079	-0,86	-0,077	0,073	-1,05	-0,082	0,072	-1,14	-0,123	0,091	-1,36
0,017	0,143	0,12	-0,019	0,079	-0,25	-0,013	0,074	-0,17	-0,042	0,071	-0,59	-0,080	0,091	-0,89
0,037	0,142	0,26	0,001	0,092	0,01	0,014	0,087	0,16	-0,027	0,085	-0,32	-0,062	0,102	-0,61
0,003	0,118	0,03	0,016	0,062	0,25	0,025	0,053	0,48	0,000	0,050	0,00	-0,052	0,076	-0,69
-0,028	0,065	-0,44	-0,010	0,067	-0,15	0,000	0,066	0,00	-0,010	0,065	-0,15	-0,010	0,086	-0,12

Table 30 Mutual equivalences of METROSERT

METROSERT

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,030	0,00	0,000	0,032	0,00	0,000	0,052	0,00
-200	-0,066	0,116	-0,57	-0,084	0,112	-0,75	-0,107	0,119	-0,90
-400	-0,040	0,123	-0,33	-0,042	0,120	-0,35	-0,095	0,145	-0,66
-600	-0,153	0,141	-1,08	-0,145	0,131	-1,11	-0,230	0,178	-1,29
-800	-0,089	0,153	-0,58	-0,076	0,144	-0,53	-0,182	0,216	-0,84
-950	-0,109	0,173	-0,63	-0,101	0,157	-0,64	-0,218	0,246	-0,88
-950	-0,098	0,173	-0,57	-0,096	0,157	-0,61	-0,231	0,247	-0,94
-800	-0,080	0,152	-0,52	-0,069	0,143	-0,48	-0,177	0,215	-0,82
-600	-0,043	0,142	-0,31	-0,038	0,132	-0,29	-0,125	0,179	-0,70
-400	-0,034	0,124	-0,28	-0,029	0,121	-0,24	-0,080	0,145	-0,55
-200	0,034	0,116	0,29	0,017	0,112	0,15	-0,007	0,119	-0,06
0	0,025	0,030	0,85	-0,015	0,033	-0,45	0,025	0,053	0,47

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,027	0,00	0,000	0,115	0,00	0,000	0,027	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,027	0,00
-0,090	0,143	-0,63	-0,051	0,162	-0,32	-0,068	0,110	-0,62	-0,144	0,339	-0,42	-0,083	0,110	-0,75
-0,038	0,149	-0,26	-0,013	0,179	-0,07	-0,022	0,119	-0,19	-0,123	0,342	-0,36	-0,062	0,119	-0,52
-0,144	0,155	-0,93	-0,110	0,204	-0,54	-0,119	0,131	-0,91	-0,255	0,346	-0,74	-0,158	0,133	-1,19
-0,070	0,163	-0,43	-0,031	0,254	-0,12	-0,036	0,145	-0,25	-0,177	0,353	-0,50	-0,081	0,148	-0,55
-0,087	0,174	-0,50	-0,083	0,283	-0,29	-0,070	0,159	-0,44	-0,239	0,358	-0,67	-0,076	0,158	-0,48
-0,093	0,174	-0,53	-0,115	0,285	-0,40	-0,069	0,160	-0,43	-0,235	0,357	-0,66	-0,083	0,158	-0,53
-0,076	0,163	-0,47	-0,070	0,261	-0,27	-0,040	0,145	-0,27	-0,190	0,350	-0,54	-0,078	0,148	-0,53
-0,046	0,155	-0,29	-0,045	0,205	-0,22	-0,026	0,132	-0,20	-0,141	0,346	-0,41	-0,053	0,134	-0,40
-0,045	0,148	-0,31	-0,055	0,183	-0,30	-0,026	0,119	-0,22	-0,126	0,342	-0,37	-0,053	0,119	-0,45
0,009	0,144	0,06	0,018	0,162	0,11	0,019	0,112	0,17	-0,053	0,340	-0,15	-0,009	0,113	-0,08
0,018	0,028	0,66	-0,052	0,122	-0,42	0,005	0,028	0,18	0,025	0,322	0,08	0,012	0,032	0,39

MCCAA			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,023	0,00	0,000	0,033	0,00	0,000	0,023	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,063	0,00
-0,093	0,113	-0,83	-0,078	0,116	-0,68	-0,076	0,109	-0,69	-0,097	0,110	-0,88	-0,145	0,124	-1,17
-0,048	0,125	-0,39	-0,035	0,123	-0,29	-0,033	0,119	-0,28	-0,062	0,118	-0,53	-0,091	0,131	-0,69
-0,119	0,142	-0,84	-0,140	0,134	-1,04	-0,143	0,132	-1,08	-0,160	0,130	-1,24	-0,189	0,141	-1,34
0,004	0,154	0,03	-0,063	0,146	-0,43	-0,081	0,143	-0,56	-0,088	0,142	-0,62	-0,110	0,153	-0,72
0,044	0,166	0,26	-0,090	0,159	-0,57	-0,121	0,158	-0,77	-0,104	0,156	-0,67	-0,133	0,165	-0,81
0,041	0,183	0,22	-0,088	0,159	-0,55	-0,124	0,161	-0,77	-0,081	0,156	-0,52	-0,137	0,165	-0,83
0,006	0,154	0,04	-0,062	0,146	-0,42	-0,071	0,143	-0,50	-0,076	0,142	-0,54	-0,117	0,152	-0,77
-0,017	0,143	-0,12	-0,036	0,134	-0,27	-0,030	0,132	-0,23	-0,059	0,130	-0,45	-0,097	0,142	-0,69
-0,037	0,142	-0,26	-0,035	0,124	-0,29	-0,023	0,120	-0,19	-0,064	0,119	-0,54	-0,099	0,132	-0,75
-0,003	0,118	-0,03	0,012	0,116	0,10	0,022	0,111	0,20	-0,003	0,110	-0,03	-0,056	0,124	-0,45
0,028	0,065	0,44	0,018	0,034	0,54	0,028	0,032	0,89	0,018	0,030	0,62	0,018	0,064	0,29

Table 31 Mutual equivalences of MIKES

MIKES

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,034	0,00	0,000	0,036	0,00	0,000	0,055	0,00
-200	0,012	0,057	0,21	-0,005	0,049	-0,10	-0,029	0,063	-0,45
-400	-0,005	0,058	-0,08	-0,007	0,050	-0,13	-0,060	0,095	-0,63
-600	-0,013	0,075	-0,18	-0,005	0,054	-0,10	-0,091	0,132	-0,69
-800	-0,026	0,077	-0,34	-0,013	0,057	-0,23	-0,119	0,170	-0,70
-950	-0,018	0,096	-0,19	-0,010	0,061	-0,17	-0,128	0,200	-0,64
-950	-0,010	0,095	-0,10	-0,008	0,062	-0,14	-0,144	0,200	-0,72
-800	-0,018	0,076	-0,24	-0,008	0,056	-0,14	-0,116	0,169	-0,68
-600	-0,007	0,076	-0,09	-0,002	0,056	-0,03	-0,089	0,133	-0,67
-400	0,001	0,059	0,02	0,006	0,052	0,12	-0,045	0,095	-0,47
-200	0,022	0,058	0,37	0,005	0,050	0,10	-0,019	0,064	-0,30
0	0,007	0,034	0,20	-0,033	0,037	-0,90	0,007	0,055	0,12

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,031	0,00	0,000	0,116	0,00	0,000	0,031	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,031	0,00
-0,011	0,103	-0,11	0,027	0,127	0,21	0,010	0,045	0,22	-0,065	0,324	-0,20	-0,004	0,046	-0,10
-0,003	0,102	-0,03	0,023	0,142	0,16	0,013	0,047	0,27	-0,088	0,325	-0,27	-0,026	0,048	-0,54
-0,005	0,099	-0,05	0,030	0,166	0,18	0,021	0,054	0,39	-0,115	0,324	-0,36	-0,018	0,058	-0,32
-0,008	0,096	-0,08	0,031	0,217	0,14	0,027	0,060	0,45	-0,115	0,327	-0,35	-0,018	0,066	-0,27
0,003	0,096	0,03	0,007	0,244	0,03	0,021	0,067	0,31	-0,149	0,327	-0,45	0,014	0,064	0,23
-0,005	0,097	-0,05	-0,027	0,246	-0,11	0,019	0,068	0,27	-0,147	0,326	-0,45	0,005	0,063	0,08
-0,015	0,096	-0,15	-0,009	0,225	-0,04	0,022	0,059	0,37	-0,129	0,325	-0,40	-0,016	0,067	-0,24
-0,009	0,099	-0,09	-0,008	0,167	-0,05	0,011	0,055	0,19	-0,104	0,324	-0,32	-0,017	0,060	-0,27
-0,010	0,100	-0,10	-0,020	0,147	-0,14	0,009	0,049	0,18	-0,090	0,324	-0,28	-0,018	0,048	-0,37
-0,003	0,103	-0,03	0,005	0,127	0,04	0,007	0,049	0,14	-0,065	0,324	-0,20	-0,021	0,053	-0,40
0,000	0,032	0,00	-0,070	0,123	-0,57	-0,013	0,033	-0,41	0,007	0,322	0,02	-0,006	0,036	-0,17

MCCAA			METROSERT			MIRS/IMT/LMT			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,028	0,00	0,000	0,033	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,033	0,00	0,000	0,065	0,00
-0,015	0,053	-0,29	0,078	0,116	0,68	0,003	0,043	0,06	-0,018	0,044	-0,41	-0,067	0,073	-0,92
-0,013	0,061	-0,21	0,035	0,123	0,29	0,002	0,048	0,05	-0,027	0,046	-0,59	-0,055	0,073	-0,75
0,021	0,077	0,27	0,140	0,134	1,04	-0,004	0,056	-0,07	-0,021	0,051	-0,41	-0,050	0,075	-0,66
0,067	0,078	0,85	0,063	0,146	0,43	-0,018	0,055	-0,33	-0,025	0,053	-0,47	-0,047	0,077	-0,61
0,134	0,082	1,63	0,090	0,159	0,57	-0,031	0,064	-0,48	-0,014	0,059	-0,23	-0,043	0,080	-0,54
0,129	0,112	1,15	0,088	0,159	0,55	-0,036	0,071	-0,51	0,007	0,059	0,12	-0,049	0,079	-0,62
0,068	0,079	0,86	0,062	0,146	0,42	-0,009	0,054	-0,17	-0,015	0,052	-0,28	-0,056	0,076	-0,73
0,019	0,079	0,25	0,036	0,134	0,27	0,007	0,055	0,12	-0,022	0,051	-0,43	-0,061	0,076	-0,80
-0,001	0,092	-0,01	0,035	0,124	0,29	0,012	0,051	0,24	-0,029	0,047	-0,61	-0,063	0,074	-0,85
-0,016	0,062	-0,25	-0,012	0,116	-0,10	0,010	0,049	0,20	-0,015	0,045	-0,34	-0,068	0,074	-0,92
0,010	0,067	0,15	-0,018	0,034	-0,54	0,010	0,036	0,28	0,000	0,034	0,00	0,000	0,066	0,00

Table 32 Mutual equivalences of MIRS/IMT/LMT

MIRS/IMT/LMT

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,025	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,050	0,00
-200	0,009	0,043	0,21	-0,008	0,032	-0,25	-0,031	0,051	-0,62
-400	-0,007	0,048	-0,15	-0,009	0,039	-0,24	-0,062	0,089	-0,69
-600	-0,010	0,072	-0,13	-0,002	0,049	-0,03	-0,087	0,130	-0,67
-800	-0,008	0,071	-0,11	0,005	0,049	0,10	-0,101	0,168	-0,60
-950	0,013	0,095	0,13	0,021	0,060	0,35	-0,097	0,199	-0,49
-950	0,026	0,099	0,27	0,028	0,067	0,42	-0,107	0,202	-0,53
-800	-0,009	0,070	-0,13	0,002	0,048	0,03	-0,106	0,167	-0,64
-600	-0,014	0,071	-0,19	-0,009	0,049	-0,18	-0,096	0,130	-0,74
-400	-0,011	0,051	-0,22	-0,006	0,043	-0,14	-0,057	0,090	-0,63
-200	0,012	0,049	0,25	-0,005	0,038	-0,12	-0,029	0,055	-0,52
0	-0,003	0,032	-0,10	-0,043	0,035	-1,23	-0,003	0,054	-0,06

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,021	0,00	0,000	0,113	0,00	0,000	0,022	0,00	0,000	0,321	0,00	0,000	0,022	0,00
-0,014	0,095	-0,15	0,024	0,121	0,20	0,007	0,024	0,30	-0,068	0,322	-0,21	-0,007	0,027	-0,27
-0,005	0,096	-0,06	0,020	0,138	0,15	0,010	0,035	0,30	-0,090	0,323	-0,28	-0,029	0,036	-0,80
-0,001	0,097	-0,01	0,034	0,164	0,20	0,024	0,048	0,50	-0,111	0,324	-0,34	-0,015	0,054	-0,27
0,010	0,092	0,11	0,049	0,215	0,23	0,045	0,052	0,86	-0,097	0,326	-0,30	0,000	0,059	0,00
0,034	0,095	0,36	0,038	0,243	0,16	0,052	0,066	0,79	-0,118	0,327	-0,36	0,045	0,062	0,73
0,031	0,101	0,31	0,009	0,247	0,04	0,055	0,073	0,75	-0,110	0,327	-0,34	0,041	0,069	0,60
-0,006	0,091	-0,06	0,001	0,223	0,00	0,031	0,051	0,61	-0,120	0,323	-0,37	-0,007	0,060	-0,12
-0,016	0,096	-0,17	-0,015	0,164	-0,09	0,004	0,049	0,08	-0,111	0,323	-0,34	-0,023	0,054	-0,43
-0,022	0,096	-0,23	-0,032	0,143	-0,22	-0,003	0,038	-0,09	-0,103	0,323	-0,32	-0,030	0,038	-0,80
-0,013	0,098	-0,13	-0,004	0,123	-0,04	-0,003	0,037	-0,08	-0,074	0,323	-0,23	-0,031	0,042	-0,74
-0,010	0,030	-0,33	-0,080	0,123	-0,65	-0,023	0,031	-0,76	-0,003	0,322	-0,01	-0,016	0,034	-0,47

MCCAA			METROSERT			MIKES			NSAI			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,017	0,00	0,000	0,023	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,023	0,00	0,000	0,061	0,00
-0,018	0,037	-0,49	0,076	0,109	0,69	-0,003	0,043	-0,06	-0,021	0,023	-0,91	-0,070	0,062	-1,12
-0,015	0,052	-0,29	0,033	0,119	0,28	-0,002	0,048	-0,05	-0,029	0,032	-0,91	-0,058	0,066	-0,88
0,025	0,073	0,34	0,143	0,132	1,08	0,004	0,056	0,07	-0,017	0,045	-0,38	-0,046	0,072	-0,64
0,085	0,073	1,17	0,081	0,143	0,56	0,018	0,055	0,33	-0,007	0,045	-0,16	-0,029	0,071	-0,41
0,165	0,081	2,04	0,121	0,158	0,77	0,031	0,064	0,48	0,017	0,058	0,30	-0,012	0,078	-0,15
0,165	0,115	1,44	0,124	0,161	0,77	0,036	0,071	0,51	0,043	0,065	0,67	-0,013	0,084	-0,16
0,077	0,073	1,05	0,071	0,143	0,50	0,009	0,054	0,17	-0,005	0,043	-0,12	-0,046	0,070	-0,66
0,013	0,074	0,17	0,030	0,132	0,23	-0,007	0,055	-0,12	-0,029	0,044	-0,66	-0,067	0,071	-0,95
-0,014	0,087	-0,16	0,023	0,120	0,19	-0,012	0,051	-0,24	-0,041	0,036	-1,13	-0,076	0,068	-1,11
-0,025	0,053	-0,48	-0,022	0,111	-0,20	-0,010	0,049	-0,20	-0,025	0,032	-0,79	-0,078	0,066	-1,18
0,000	0,066	0,00	-0,028	0,032	-0,89	-0,010	0,036	-0,28	-0,010	0,032	-0,31	-0,010	0,065	-0,15

Table 33 Mutual equivalences of NSAI

NSAI

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,030	0,00	0,000	0,032	0,00	0,000	0,052	0,00
-200	0,030	0,044	0,68	0,013	0,033	0,40	-0,010	0,052	-0,20
-400	0,022	0,046	0,49	0,020	0,035	0,57	-0,033	0,088	-0,37
-600	0,008	0,068	0,11	0,015	0,043	0,36	-0,070	0,128	-0,55
-800	-0,001	0,070	-0,01	0,012	0,047	0,25	-0,094	0,167	-0,56
-950	-0,004	0,091	-0,05	0,004	0,054	0,06	-0,114	0,198	-0,58
-950	-0,017	0,091	-0,19	-0,016	0,055	-0,28	-0,151	0,198	-0,76
-800	-0,004	0,069	-0,05	0,007	0,046	0,15	-0,101	0,166	-0,61
-600	0,015	0,068	0,23	0,020	0,044	0,46	-0,067	0,129	-0,52
-400	0,030	0,047	0,63	0,035	0,038	0,93	-0,016	0,088	-0,18
-200	0,037	0,045	0,82	0,021	0,034	0,60	-0,004	0,053	-0,07
0	0,007	0,030	0,23	-0,033	0,033	-1,00	0,007	0,053	0,13

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,027	0,00	0,000	0,115	0,00	0,000	0,027	0,00	0,000	0,322	0,00	0,000	0,027	0,00
0,007	0,096	0,07	0,045	0,121	0,37	0,028	0,026	1,09	-0,047	0,322	-0,15	0,014	0,028	0,49
0,024	0,095	0,25	0,050	0,137	0,36	0,040	0,031	1,28	-0,061	0,323	-0,19	0,001	0,033	0,02
0,016	0,093	0,17	0,051	0,162	0,31	0,042	0,042	0,99	-0,094	0,323	-0,29	0,002	0,048	0,05
0,017	0,091	0,19	0,056	0,215	0,26	0,052	0,050	1,03	-0,089	0,326	-0,27	0,007	0,058	0,12
0,017	0,092	0,19	0,021	0,242	0,09	0,034	0,061	0,57	-0,135	0,326	-0,41	0,028	0,057	0,49
-0,012	0,093	-0,13	-0,034	0,244	-0,14	0,011	0,062	0,19	-0,154	0,325	-0,47	-0,002	0,057	-0,04
0,000	0,090	0,00	0,006	0,223	0,03	0,036	0,050	0,74	-0,114	0,323	-0,35	-0,002	0,059	-0,03
0,013	0,094	0,14	0,014	0,163	0,08	0,033	0,044	0,74	-0,082	0,323	-0,25	0,006	0,050	0,11
0,019	0,093	0,20	0,009	0,142	0,06	0,038	0,033	1,14	-0,062	0,322	-0,19	0,011	0,032	0,33
0,012	0,096	0,13	0,021	0,122	0,17	0,022	0,032	0,69	-0,049	0,322	-0,15	-0,006	0,038	-0,15
0,000	0,028	0,00	-0,070	0,122	-0,57	-0,013	0,028	-0,47	0,007	0,322	0,02	-0,006	0,032	-0,19

MCCAA			METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			UME		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,023	0,00	0,000	0,028	0,00	0,000	0,033	0,00	0,000	0,023	0,00	0,000	0,063	0,00
0,003	0,038	0,08	0,097	0,110	0,88	0,018	0,044	0,41	0,021	0,023	0,91	-0,049	0,063	-0,77
0,014	0,049	0,29	0,062	0,118	0,53	0,027	0,046	0,59	0,029	0,032	0,91	-0,028	0,064	-0,44
0,042	0,069	0,60	0,160	0,130	1,24	0,021	0,051	0,41	0,017	0,045	0,38	-0,029	0,068	-0,43
0,092	0,071	1,28	0,088	0,142	0,62	0,025	0,053	0,47	0,007	0,045	0,16	-0,022	0,070	-0,31
0,148	0,077	1,92	0,104	0,156	0,67	0,014	0,059	0,23	-0,017	0,058	-0,30	-0,029	0,074	-0,39
0,121	0,108	1,12	0,081	0,156	0,52	-0,007	0,059	-0,12	-0,043	0,065	-0,67	-0,057	0,074	-0,76
0,082	0,072	1,14	0,076	0,142	0,54	0,015	0,052	0,28	0,005	0,043	0,12	-0,041	0,069	-0,60
0,042	0,071	0,59	0,059	0,130	0,45	0,022	0,051	0,43	0,029	0,044	0,66	-0,038	0,068	-0,56
0,027	0,085	0,32	0,064	0,119	0,54	0,029	0,047	0,61	0,041	0,036	1,13	-0,035	0,065	-0,53
0,000	0,050	0,00	0,003	0,110	0,03	0,015	0,045	0,34	0,025	0,032	0,79	-0,052	0,064	-0,82
0,010	0,065	0,15	-0,018	0,030	-0,62	0,000	0,034	0,00	0,010	0,032	0,31	0,000	0,064	0,00

Table 34 Mutual equivalences of UME

UME

Nominal pressure (hPa)	BEV			CMI			Dmet-FORCE		
	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0	0,000	0,064	0,00	0,000	0,065	0,00	0,000	0,077	0,00
-200	0,079	0,073	1,08	0,062	0,067	0,93	0,038	0,078	0,49
-400	0,050	0,073	0,69	0,048	0,067	0,72	-0,004	0,105	-0,04
-600	0,036	0,088	0,42	0,044	0,070	0,63	-0,041	0,139	-0,29
-800	0,021	0,089	0,24	0,034	0,072	0,47	-0,072	0,176	-0,41
-950	0,024	0,106	0,23	0,032	0,076	0,43	-0,085	0,205	-0,42
-950	0,039	0,105	0,37	0,041	0,076	0,54	-0,094	0,205	-0,46
-800	0,038	0,088	0,43	0,048	0,072	0,67	-0,060	0,175	-0,34
-600	0,054	0,088	0,61	0,059	0,071	0,82	-0,028	0,140	-0,20
-400	0,064	0,074	0,87	0,070	0,069	1,01	0,019	0,105	0,18
-200	0,090	0,074	1,22	0,073	0,067	1,09	0,049	0,078	0,62
0	0,007	0,064	0,10	-0,033	0,066	-0,51	0,007	0,077	0,09

EIM			FSB-LPM			INM			IPQ			LNE		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,062	0,00	0,000	0,128	0,00	0,000	0,063	0,00	0,000	0,327	0,00	0,000	0,063	0,00
0,055	0,112	0,49	0,094	0,135	0,70	0,077	0,063	1,21	0,001	0,327	0,00	0,062	0,064	0,97
0,052	0,111	0,47	0,078	0,149	0,53	0,068	0,065	1,04	-0,032	0,328	-0,10	0,029	0,066	0,44
0,045	0,109	0,41	0,080	0,172	0,46	0,070	0,070	1,01	-0,065	0,327	-0,20	0,031	0,074	0,43
0,039	0,106	0,37	0,078	0,221	0,35	0,074	0,075	0,99	-0,068	0,330	-0,20	0,029	0,080	0,36
0,046	0,106	0,43	0,050	0,248	0,20	0,063	0,081	0,78	-0,106	0,330	-0,32	0,057	0,078	0,73
0,045	0,107	0,42	0,022	0,250	0,09	0,068	0,082	0,84	-0,097	0,329	-0,30	0,054	0,078	0,70
0,041	0,106	0,39	0,047	0,229	0,21	0,078	0,074	1,05	-0,073	0,328	-0,22	0,039	0,080	0,49
0,052	0,109	0,47	0,052	0,173	0,30	0,071	0,071	1,00	-0,043	0,327	-0,13	0,044	0,075	0,59
0,053	0,110	0,48	0,043	0,153	0,28	0,072	0,066	1,09	-0,027	0,327	-0,08	0,045	0,066	0,69
0,065	0,112	0,58	0,073	0,135	0,54	0,075	0,066	1,13	0,003	0,327	0,01	0,047	0,069	0,67
0,000	0,063	0,00	-0,070	0,134	-0,52	-0,013	0,063	-0,21	0,007	0,327	0,02	-0,006	0,065	-0,09

MCCAA			METROSERT			MIKES			MIRS/IMT/LMT			NSAI		
D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n	D_{ij} (hPa)	$U(D_{ij})$ (hPa)	E_n
0,000	0,061	0,00	0,000	0,063	0,00	0,000	0,065	0,00	0,000	0,061	0,00	0,000	0,063	0,00
0,052	0,069	0,75	0,145	0,124	1,17	0,067	0,073	0,92	0,070	0,062	1,12	0,049	0,063	0,77
0,042	0,076	0,56	0,091	0,131	0,69	0,055	0,073	0,75	0,058	0,066	0,88	0,028	0,064	0,44
0,071	0,089	0,80	0,189	0,141	1,34	0,050	0,075	0,66	0,046	0,072	0,64	0,029	0,068	0,43
0,114	0,090	1,26	0,110	0,153	0,72	0,047	0,077	0,61	0,029	0,071	0,41	0,022	0,070	0,31
0,177	0,094	1,89	0,133	0,165	0,81	0,043	0,080	0,54	0,012	0,078	0,15	0,029	0,074	0,39
0,178	0,120	1,48	0,137	0,165	0,83	0,049	0,079	0,62	0,013	0,084	0,16	0,057	0,074	0,76
0,123	0,091	1,36	0,117	0,152	0,77	0,056	0,076	0,73	0,046	0,070	0,66	0,041	0,069	0,60
0,080	0,091	0,89	0,097	0,142	0,69	0,061	0,076	0,80	0,067	0,071	0,95	0,038	0,068	0,56
0,062	0,102	0,61	0,099	0,132	0,75	0,063	0,074	0,85	0,076	0,068	1,11	0,035	0,065	0,53
0,052	0,076	0,69	0,056	0,124	0,45	0,068	0,074	0,92	0,078	0,066	1,18	0,052	0,064	0,82
0,010	0,086	0,12	-0,018	0,064	-0,29	0,000	0,066	0,00	0,010	0,065	0,15	0,000	0,064	0,00

7 CONCLUSIONS

A total of 14 laboratories participated in this comparison. Every laboratory reported results for all twelve measurement points, which means that there were 168 reported values in total. Some 163 of the 168 values (97%) agree with the reference values within the expanded uncertainties, with a coverage factor $k = 2$. Two laboratories reported values which were in disagreement with the reference value; METROSERT -600 hPa (down) and MCCAAC at both -800 hPa and -950 hPa (up and down). Both these laboratories reported mistakes in their reported results, but it was not possible to correct those in this report, as explained in Chapter 6.

Four different methods were used to determine negative gauge pressure in this comparison:

- Pressure balance DHI/Ruska/Pressurements, where the negative gauge pressure is generated in the pressure balance bell jar, while the atmospheric pressure acts at the bottom of the piston (CMI, MCCAAC, METROSERT, MIKES, MIRS/IMT/LMT, NSAI);
- Pressure balance DHI/Ruska Budenberg, where the value of the generated negative gauge pressure is obtained as the absolute pressure realised by the pressure balance, reduced by the current barometric pressure (EIM, FSB-LPM, LNE, UME);
- Pressure balance DH Budenberg, which is used for negative pressures by inverting the piston-cylinder assembly (BEV, DaniaMET-FORCE, INM);
- Pressure balance D&H and pressure divider D&H where, in order to determine the negative gauge pressure, the pressure in the pressure balance is calculated (not considering the mass of the piston and bell because of the tare). Then, by using the coefficients of the pistons of the divider, the value of the negative gauge pressure in the divider is obtained (IPQ).

The bell jar method seems to be the most popular, with six laboratories using it. Two laboratories out of six achieved at least one value, which is not in agreement with the reference value. This is followed by the absolute mode and barometric pressure method with four users. All the results in tests with this method are in agreement with the reference value. There are three laboratories using pressure balance with inverted piston-cylinder assembly, and all these results are in agreement with the reference value. Only one laboratory uses pressure balance together with a pressure divider, reporting values which agree with the reference values. It should be noted that the laboratory using the last mentioned method has notably higher uncertainty values than the other participants.

From this it can be concluded that special attention must be paid to the measurements and methods when measuring negative gauge pressures. Negative gauge pressure measurements are not necessarily trivial. There might be a need for a technical guide and/or a workshop that provides information about details and practices related to the measurements of negative gauge pressure. In addition, a deeper analysis of the differences between the different methods would be interesting. At least some further transfer of knowledge and co-operation is needed, as are comparisons of negative gauge pressure ranges.

8 ACKNOWLEDGEMENTS

Many thanks to Mr Pasi Kauppila, Beamex Oy Ab, for providing the transfer standard for this comparison and Kari Riski, MIKES, for the Monte Carlo simulations.

9 REFERENCES

- [1] Rantanen, M., Saxholm, S., Altintas, A., Pavis, R., Peterson, G.: Negative gauge pressure comparison, range -95 kPa to +95 kPa. MIKES Publication J6/2009
- [2] Rantanen, M., Saxholm, S., Altintas, A., Pavis, R., Peterson, G.: Negative gauge pressure comparison: range -95 kPa to 95 kPa (EURAMET Project 1131). Metrologia. Vol. 47 (2010), Tech. Suppl. 07007.
- [3] Tesař, J., Krajíček, Z., Pražák, D., Staněk, F.: Primary etalonnage of negative gauge pressures using pressure balances at the Czech Metrology Institute. Materiali in Tehnologie, Vol. 43 (2009), No. 3, p. 151-156. ISSN 1580-2949.
- [4] Saxholm, S., Hemming, B., Heinonen, M., Otal, P., Rantanen, M., Esala, V.-P., Lassila, A.: Traceability of the pressure balance effective area at MIKES. PTB-Mitteilungen, 121, 2011, Heft 3
- [5] Cox, M. G.: The evaluation of key comparison data. Metrologia, 2002, 39, 589-595