



NSC-ONSC

Publication Reference

GLA-20

Part 2

ข้อเสนอแนะการตีความและการนำ EURAMET cg – 20 ไปใช้สอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ ๑ 10400

โทรศัพท์ 0-2202-3491

โทรสาร 0-2354-3045

เอกสารที่ผู้มีส่วนได้เสียในกระบวนการสอบเทียบและการรับรองระบบงานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปศึกษาและใช้ประกอบการพัฒนาความความเข้าใจ รวมทั้งกระบวนการสอบเทียบมาตรฐานการวัดดังกล่าวซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ยังมีนโยบายที่จะยกระดับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยผลักดันให้ใช้วิธีการสอบเทียบที่เทียบเท่า หรือสามารถอ้างอิงได้กับวิธีการมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาโดยองค์กรที่มีความสามารถทางวิชาการและความน่าเชื่อถือ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติซึ่งเป็นผู้ริเริ่มการจัดทำโครงการพัฒนาเอกสารนี้ และมีฐานะเป็นผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการเกี่ยวกับการสอบเทียบมาตรฐานการวัด จึงมีความรับผิดชอบในการสร้างความรู้ความเข้าใจในประเด็นดังกล่าวให้แก่ผู้มีส่วนได้เสีย โดยสร้างความชัดเจน ความกระจ่างและลดความคลุมเครือ

ดังนั้นการพัฒนาและจัดทำเอกสารนี้จึงดำเนินไปด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้สามารถรวบรวมประเด็นที่คลุมเครือและอาจจะจำเป็นต้องตีความไว้ให้ครบ ซึ่งการดำเนินการพัฒนาเอกสารนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะทำงานที่ประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิและมีประสบการณ์ในการสอบเทียบมาตรฐานการวัดในการให้ความเห็นและปรับแก้ไขต้นฉบับในทุกขั้นตอน

สารบัญ

วัตถุประสงค์	5
ขอบข่าย	5
คำนิยาม	6
มาตรฐานอ้างอิง	7
ข้อตกลงมาตรฐาน	8
ข้อกำหนดเบื้องต้นของผู้ควบคุมอุณหภูมิที่ถูกลบเทียบ	8
องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการวัด	9
การนำเสนอขอบข่ายของการลบเทียบ	9
การรายงานผลการลบเทียบ	10
การทดสอบความชำนาญ	10
ภาคผนวก ก แนวทางด้านเทคนิคของการลบเทียบผู้ควบคุมอุณหภูมิ	11
ภาคผนวก ข องค์ประกอบของการประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัด	16
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์เพื่อหา Self-heat ตาม ASTM E644-11	21
ภาคผนวก ง ตัวอย่างขอบข่ายขีดความสามารถของการลบเทียบผู้ควบคุมอุณหภูมิ	22
ภาคผนวก จ องค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนจากเอกสารมาตรฐานการลบเทียบ	24
ภาคผนวก ฉ เอกสารแนบสำหรับใบรับรองการลบเทียบผู้ควบคุมอุณหภูมิ	25

เอกสารวิชาการ

ข้อแนะนำการตีความและการนำ EURAMET cg – 20 ไปใช้สอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ

1. วัตถุประสงค์

- 1.1 เอกสารนี้เป็นข้อแนะนำ (guidance document) ดังนั้นรายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้จึงไม่สามารถนำไปบังคับใช้เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตาม
- 1.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารวิชาการเพื่อขยายความรู้วิธีการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Enclosures) ตาม EURAMET cg – 20 เพื่อให้เกิดความเข้าใจและการปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการรับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบของสำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ (Office of the National Standardization Council of Thailand, ONSC) และห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปใช้ประกอบการจัดทำขั้นตอนการสอบเทียบ รวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด
- 1.3 กรณีห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่สามารถดำเนินการตามรายละเอียดที่ระบุไว้ใน EURAMET cg – 20 และเอกสารนี้ได้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแสดงหลักฐานเพิ่มเติมในส่วนของปฏิบัติที่เบี่ยงเบนไปจากเอกสารทั้งสองฉบับนี้

2. ขอบข่าย

- 2.1 เอกสารฉบับนี้จัดทำเพื่อแนะนำวิธีการสอบเทียบในหน่วยวัดอุณหภูมิของตู้ควบคุมอุณหภูมิ โดยการสอบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ยังไม่อยู่ในการพิจารณาของเอกสารข้อแนะนำนี้ ซึ่งวิธีการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิจะใช้การเปรียบเทียบผลการวัดร่วมกับเครื่องมือมาตรฐาน ภายใต้ปริมาตรการทำงานของตู้ควบคุมอุณหภูมิในตำแหน่งที่ถูกกำหนดไว้
- 2.2 เอกสารฉบับนี้ใช้การพิจารณาคูณสมบัติของเครื่องมือภายใต้ความดันบรรยากาศ และทำงานขณะอยู่ในสภาวะคงตัว ซึ่งไม่ได้รวมองค์ประกอบอื่นๆ อาทิเช่น ความชื้น การไหลอากาศ และอื่นๆที่ถูกควบคุมไว้
- 2.3 เอกสารฉบับนี้แสดงกรรมวิธีการวัดอุณหภูมิของความเสถียรของอุณหภูมิ (stability) ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ (uniformity) การแปรผันรวม (Overall variation) และความแม่นยำของอุณหภูมิ ในช่วงตั้งแต่ -90 °C ถึง 500 °C ด้วยอากาศหรือก๊าซที่ควบคุมในสภาวะความดันบรรยากาศจากระบบควบคุมอัตโนมัติ และไม่จำกัดปริมาตรของตู้ควบคุมอุณหภูมิ กรรมวิธีการสร้างของผู้ผลิต และวัตถุประสงค์การใช้งาน
- 2.4 เอกสารฉบับนี้แสดงวิธีการสอบเทียบเพื่อระบุถึงการควบคุมอุณหภูมิภายใต้การกำหนดตำแหน่ง การกำหนดปริมาตร และการกำหนดอุณหภูมิที่ควบคุมในเครื่องมือ โดยเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้ในการตรวจสอบว่าเครื่องมือมีคุณสมบัติตรงตามข้อตกลงที่ได้ถูกกำหนดไว้

3. นิยาม

- 3.1 **ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ (Temperature Uniformity)** – ผลต่างที่มีค่ามากที่สุดของอุณหภูมิที่เซนเซอร์ใดๆ วัดได้เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เซนเซอร์อ้างอิงวัดได้ในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันเท่าที่จะ

- เป็นไปได้ เพื่อหารูปแบบหรือความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของอุณหภูมิภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิในสภาวะคงที่ โดยเซนเซอร์อ้างอิงติดตั้งในตำแหน่งศูนย์กลางของปริมาตรที่สมมาตรเชิงเรขาคณิต
- 3.2 **ความชัน (Gradient)** – ผลต่างที่มากที่สุดของค่าเฉลี่ยหลังจากเข้าสู่สภาวะคงที่ ณ เวลาหนึ่ง ระหว่างสองตำแหน่งใดๆ ในปริมาตรใช้งาน
 - 3.3 **ความเสถียรของอุณหภูมิ (Temperature Stability)** – ครึ่งหนึ่งของผลต่างที่มากที่สุดของอุณหภูมิที่เซนเซอร์ใดเซนเซอร์หนึ่งวัดได้เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที ภายหลังจากเครื่องมือเข้าสู่สภาวะคงที่หรือหลังจากการครอบงำควบคุมอย่างสมบูรณ์หรืออย่างใดอย่างหนึ่งมาก่อน การตรวจสอบเฉพาะของความเสถียรของอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเฉพาะเจาะจงของปริมาตรใช้งานภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิตามวิธีการใช้งานควรมีการระบุอย่างชัดเจน การบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ควรเป็นแบบต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถกำหนดรูปแบบความเสถียรของอุณหภูมิในตู้ควบคุมภายใต้สภาวะคงที่ของเครื่องมือ
 - 3.4 **ความผันผวน (Fluctuation)** – การเปลี่ยนแปลง (จากค่าเฉลี่ย) ของอุณหภูมิหลังจากเข้าสู่สภาวะคงที่ ณ จุดที่ระบุภายในปริมาตรใช้งานในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถวัดได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือส่วนเบี่ยงเบนมากที่สุด
 - 3.5 **การแปรผันรวม (Overall Variation)** – ผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่มากที่สุดเทียบกับอุณหภูมิต่ำสุดที่สุดของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งใดๆ ตลอดช่วงเวลาของการสอบเทียบ
 - 3.6 **อุณหภูมิที่แสดงผล (Indicating Temperature)** – ค่าเฉลี่ยจากการอ่านค่าของอุปกรณ์แสดงผลซึ่งเป็นส่วนสำคัญของตู้ควบคุมอุณหภูมิ หากตู้ควบคุมอุณหภูมิมียังมีเพียงอุปกรณ์สำหรับการตั้งค่า สามารถนำมาพิจารณาว่าเป็นอุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิได้
 - 3.7 **อุณหภูมิที่ถูกรวต (Measured Temperature)** – ค่าเฉลี่ยการอ่านของเซนเซอร์มาตรฐานที่ตำแหน่งใดๆ
 - 3.8 **การตรวจสอบเฉพาะ (Specific Check)** – การสอบเทียบที่ดำเนินการ ณ ตำแหน่งการวัดที่เฉพาะเจาะจงภายในปริมาตรใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากขั้นตอนการดำเนินงานแบบปกติ
 - 3.9 **ปริมาตรการใช้งาน (Working space)** – ปริมาตร 3 มิติภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งแวดล้อมด้วยเซนเซอร์มาตรฐานที่ติดตั้งอยู่ การสอบเทียบจะยอมรับได้เฉพาะปริมาตรใช้งานที่ครอบคลุมโดยเซนเซอร์มาตรฐานที่ได้ถูกติดตั้งตามข้อกำหนดของแนวทางการสอบเทียบนี้
 - 3.10 **สภาวะคงที่ (Steady State)** – การทำงานของเครื่องมือวัดหรือระบบวัด ที่ทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้มาโดยการสอบเทียบยังคงใช้ได้อยู่เสมอแม้ว่าสิ่งที่เจตนาวัดจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในเอกสารฉบับนี้ประกอบด้วย

- DKD-R 5-7: Calibration of Climatic Chambers English Translation
- IEC 60068 series on environmental testing, in particular
 - IEC 60068-3-5 – Environmental Testing – Part 3-5
 - BS EN 60068 -3 -5 Confirmation of the Performance of Temperature Chambers.

- IEC 60068-3-6 – Environmental Testing – Part 3-6
BS EN 60068 -3-6 Confirmation of the Performance of Temperature/Humidity Chambers.
- IEC 60068-3-7 – Environmental testing – Part 3-7
BS EN 60068 -3-7 Measurements in Temperature Chambers for Tests A and B (with load)
- IEC 60068-3-11 – Environmental Testing – Part 3-11: Calculation of Uncertainty of conditions in Climatic Test Chambers
- AFNOR NF X 15-140 : Mesure de l'humidité de l'air Measurement of Air Humidity Enceintes climatiques et thermostatiques - Caractérisation et verification Climatic and Thermostatic Chambers. Characterisation and Verification

อีกทั้งยังมีเอกสารมาตรฐานอื่นที่อ้างอิงในส่วนที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ได้แก่

- IEC 60584-1 Thermocouples – Part 1 Reference Tables
- IEC 60751 Industrial Platinum Resistance Thermometers Class A
- ASTM E644-11

5. ข้อตกลงมาตรฐาน

การสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิอยู่กับหลักการพิจารณาของผลต่างระหว่างค่าบนหน้าจอแสดงผลที่ชี้บ่งของเครื่องมือและค่าที่สมนัยกับสิ่งที่เครื่องมือทำการวัด ซึ่งรวมถึงคุณสมบัติของพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายใต้ปริมาตรสอบเทียบของเครื่องมือ ความเสถียรในช่วงเวลาสอบเทียบของอุณหภูมิอากาศ การไหลของอากาศ ความเฉื่อยในการดูดกลืนความร้อน (thermal inertia) ช่วงเวลากลับคืนสภาวะเดิม (recovery time) ซึ่งสามารถระบุไว้ในขอบเขตการสอบเทียบของห้องปฏิบัติการ

อย่างไรก็ตามการสอบเทียบเพียงหน้าจอแสดงผลของเครื่องมือก็ไม่ได้เหมาะสมที่สุด การใช้เซนเซอร์ไม่น้อยกว่าหนึ่งตัวสำหรับอุณหภูมิในขณะที่มีไหลในตัวมักจะทำให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้มากกว่าการสอบเทียบเพียงจากหน้าจอแสดงผลอย่างเดียว ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบถึงข้อแนะนำต่างๆ ดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อนตกลงทำสัญญากับลูกค้า หรือแนบเอกสารที่เป็น Supplement of calibration certificate ใน Annex A ในเอกสาร Euramet cg-20 (ภาคผนวก ฉ ในเอกสารนี้) ไปพร้อมกับใบรับรองผลการสอบเทียบ

เพื่อลดต้นทุนลูกค้าอาจขอสอบเทียบเพียง 1 ตำแหน่ง (การสอบเทียบจุดเดียว) ในบางกรณีอาจเป็นวิธีการที่เหมาะสม แต่การสอบเทียบส่วนใหญ่ควรครอบคลุมเพื่อให้ตรงตามลักษณะการทำงานปกติของลูกค้า ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะระบุขอบข่ายของการสอบเทียบในใบรับรองการสอบเทียบให้สอดคล้องกันอย่างชัดเจน

ห้องปฏิบัติการและลูกค้าต้องยอมรับเงื่อนไขภายใต้ขอบเขตของการสอบเทียบตามที่ร้องขอ ระยะเวลาของการสอบเทียบ (ครอบคลุมความเสถียรของอุณหภูมิ ของเครื่องมือและเวลาในการบันทึกผล) พารามิเตอร์ที่กำหนดจุดสอบเทียบที่กำหนด การศึกษาความสม่ำเสมอของอุณหภูมิของอุณหภูมิ การศึกษาความเสถียรของอุณหภูมิ ฯลฯ รวมถึงโหลด (Load) ขณะสอบเทียบ ซึ่งเป็นสิ่งที่ห้องปฏิบัติการต้องบันทึกไว้ขณะทำการสอบเทียบ

ข้อควรปฏิบัติคือหากมีข้อบ่งชี้ว่าเป็นครั้งแรกที่เครื่องมือถูกปรับแต่ง จำเป็นต้องทำการสอบเทียบในลักษณะที่ไม่มีโหลด (Empty) และโหลดเต็ม (Full load)

6. ข้อกำหนดเบื้องต้นของผู้ควบคุมอุณหภูมิที่ถูกสอบเทียบ

ห้องปฏิบัติการที่ทำการสอบเทียบต้องดำเนินการตามแนวทางที่ยอมรับได้ของการสอบเทียบ โดยแนวทางที่ยอมรับได้ถูกพิจารณาตามปริมาตรที่ถูกวัด พารามิเตอร์การวัด และเอกสารเทคนิคของเครื่องมือที่แนบมา ขอแนะนำให้อ้างอิงแนวทางด้านเทคนิคในภาคผนวก ก

การสอบเทียบตามปกติของตู้สร้างอุณหภูมิ ถูกจำกัดให้ดำเนินการที่ความดันบรรยากาศปกติ ขณะที่การสอบเทียบหม้อหนึ่งความดันและเครื่องมือที่คล้ายกันต้องมีข้อกำหนดเพิ่มเติม ซึ่งไม่ได้อธิบายไว้ในมาตรฐานและแนวทางที่กล่าวถึง จึงไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของแนวทางนี้

7. องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการวัด

การสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิต้องพิจารณาพารามิเตอร์ที่ปรากฏไม่น้อยกว่านี้ ซึ่งทั้งหมดเป็นองค์ประกอบหลักของประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty Budget) โดยได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ข

- การกระจายของอุณหภูมิอากาศภายในปริมาตรสอบเทียบที่กำหนด (Air temperature spatial distribution in the specified calibration volume) ใน DKD-R 5-7 กำหนดให้ใช้ Inhomogeneity ในขณะที่ IEC 60068 ใช้ Gradient กับ Variation
- ความเสถียรของอุณหภูมิ ในขณะทำการวัด (Air temperature temporal stability over a representative period of time) ใน DKD-R 5-7 กำหนดให้ใช้ Instability ในขณะที่ IEC 60068 ใช้ Fluctuation
- ความไม่แน่นอนอื่นๆ ที่สัมพันธ์กับเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ
- ผลกระทบของการแผ่รังสีที่สัมพันธ์กับสภาพการเปล่งรังสี (emissivity) ของเซนเซอร์อุณหภูมิและขนาดของเซนเซอร์ (เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง > 4 mm., DKD-R 5-7 ข้อ 7.4) อาจมีสาเหตุจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันของผนังของตู้และอากาศในตู้ ที่อุณหภูมิหนึ่งอาจเป็นองค์ประกอบของความไม่แน่นอนที่ใหญ่ที่สุด
- ความแตกต่างที่ขึ้นกับเวลาของอุณหภูมิอากาศ เซนเซอร์ที่ใช้วัด และโหลดที่อยู่ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- ความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งในอากาศหรือในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ รวมถึงระยะเวลาในการเข้าสู่สถานะเสถียรของเซนเซอร์ที่ติดตั้งในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) จะใช้ระยะเวลานานกว่าการติดตั้งในอากาศ ดังนั้นจะต้องมั่นใจว่าการพิจารณาสถานะคงที่ก่อนการบันทึกผลทำได้ถูกต้องเหมาะสม และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด
- อิทธิพลของการบรรจุโหลดที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ และความเสถียรของอุณหภูมิ ของอุณหภูมิอากาศ
- อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม
- ความแยกชัดของตัวอ่าน

ขั้นตอนการวัดของห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องอธิบายถึงองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนจากพารามิเตอร์ดังปรากฏ ในบางกรณีการอ้างอิงมาตรฐานแห่งชาติอาจเติมเต็มข้อกำหนดเหล่านี้

8. การนำเสนอขอบข่ายของการสอบเทียบ

ขอบข่ายของการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิโดยห้องปฏิบัติการ ต้องแสดงสถานะของพารามิเตอร์ของเครื่องมือได้แก่

- อุณหภูมิอากาศที่สถานะไม่มีโหลดภายใต้การระบุปริมาตรของการสอบเทียบ
- อุณหภูมิอากาศที่สถานะมีโหลดภายใต้การระบุปริมาตรของการสอบเทียบ
- อุณหภูมิอากาศที่จุดเดียวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- ระบุสถานะการวัดของเซนเซอร์ว่าวัดในอากาศหรือวัดในตัวกลางชนิดอื่น (ของเหลว/ของแข็ง)

ควรมีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจน เช่น หมายความว่าความไม่แน่นอนที่สอบเทียบเมื่อเครื่องมืออยู่ในสถานะไม่มีโหลดต่ำกว่าเมื่ออยู่ในสถานะมีโหลด รวมถึงควรมีข้อความที่ระบุว่าค่าความไม่แน่นอนรวม/ไม่รวมค่าจากผลกระทบของการแผ่รังสี ตัวอย่างขอบข่ายอยู่ในภาคผนวก ง

9. การรายงานผลการสอบเทียบ

นอกเหนือจากรายละเอียดใบรายงานผลการสอบเทียบตามข้อกำหนดทั่วไปของ ISO/IEC 17025 ต้องประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยต่อไปนี้

- รายละเอียดพารามิเตอร์การทำงานของตู้ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการสอบเทียบ (PID, อื่นๆ)
- รายละเอียดสภาวะของปริมาตรของการสอบเทียบ และระยะในการติดตั้งของเซนเซอร์ (เช่น แสดงในรูปแบบแผนภาพ)
- ในกรณีที่การสอบเทียบถูกระบุให้เป็นชนิดมีโหลด ต้องอธิบายลักษณะของโหลดที่ใช้
- กรณีการสอบเทียบโดยติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิในอากาศหรือในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ต้องมีการอธิบายรายละเอียดของตัวกลางให้ชัดเจน เช่น ชนิด ขนาด ตำแหน่งของเซนเซอร์อุณหภูมิที่ติดตั้งในตัวกลาง
- ถ้าผลของเซนเซอร์ถูกใช้เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์อื่น เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเชิงปริมาตร หรือความเสถียรของอุณหภูมิเชิงเวลา นั้น จำเป็นต้องระบุพารามิเตอร์ดังกล่าวให้ชัดเจน รวมถึงวิธีการคำนวณพร้อมกับความไม่แน่นอนในการวัด

10. การทดสอบความชำนาญ

เป็นเรื่องสำคัญสำหรับการสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการต้องแสดงหลักฐานเกี่ยวกับความสามารถของการวัดผ่านการทดสอบความชำนาญหรือเปรียบเทียบผลการวัด การสอบเทียบโดยปกติทำในปริมาตรของลูกค้ำ (ยกเว้นกรณีการสอบเทียบครั้งแรกที่บริษัทผู้ผลิต) ดังนั้นขอแนะนำให้เข้าร่วมทดสอบความชำนาญกับหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือด้านการสอบเทียบดังกล่าว ซึ่งประโยชน์ที่เกิดขึ้นสำหรับการควบคุมประสิทธิภาพด้วยวิธีการนี้ พบว่าประสบผลสำเร็จมากกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกันเอง

ภาคผนวก ก
แนวทางด้านเทคนิคของการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ

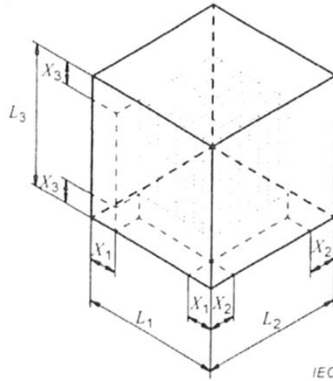
1. แนวทางการพิจารณาตู้ควบคุมอุณหภูมิที่จะสอบเทียบ

- ความพร้อมใช้งานของเซนเซอร์สำหรับอุณหภูมิอากาศพร้อมหน้าจอแสดงผลที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องมือ
- ความพร้อมของระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่ถูกสอบเทียบซึ่งเป็นส่วนประกอบของตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- ความพร้อมใช้งานของข้อกำหนดทางเทคนิคของผู้ผลิต
- ความพร้อมของเอกสารทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลประกอบเพิ่มเติม เช่น ตำแหน่งและข้อมูลเฉพาะของเซนเซอร์ ลักษณะชนิดของฉนวนที่ทำให้อุณหภูมิมีความเสถียรของอุณหภูมิ ตามที่ต้องการ
- ความดันบรรยากาศในปริมาตร (ให้มั่นใจว่ามีการปรับสมดุลความดันบรรยากาศให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม)
- การสอบเทียบควรดำเนินการอย่างน้อยสามอุณหภูมิตามลำดับจากช่วงการใช้งาน สำหรับการสอบเทียบที่อุณหภูมิเพียงจุดเดียว (ค่าที่ใช้งาน-nominal value) จากช่วงอุณหภูมิทั้งหมดนั้นยอมรับได้ แต่จำกัดผลการสอบเทียบไว้ที่ค่าใช้งานนั้นเพียงค่าเดียว (ต้องระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ)
- หากพบว่ามีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อผล (เช่น โหลดที่บรรจุมีการสร้างความร้อน หรือมีความร้อนที่กระจายอยู่ในอากาศ) จะต้องพิจารณาปัจจัยนี้ภายใต้การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของผลกระทบจากโหลด

สำหรับช่วงการทำงานและการสอบเทียบตามแนวทางนี้ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีและไม่มีภาระหมนเวียนของอากาศ (การพาความร้อนแบบบังคับ) ในปริมาตรที่ใช้งาน ทั้งสองกรณีตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศต้องมีระบบทำความร้อนและ / หรือระบบทำความเย็น

1.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศพร้อมระบบหมนเวียนอากาศ:

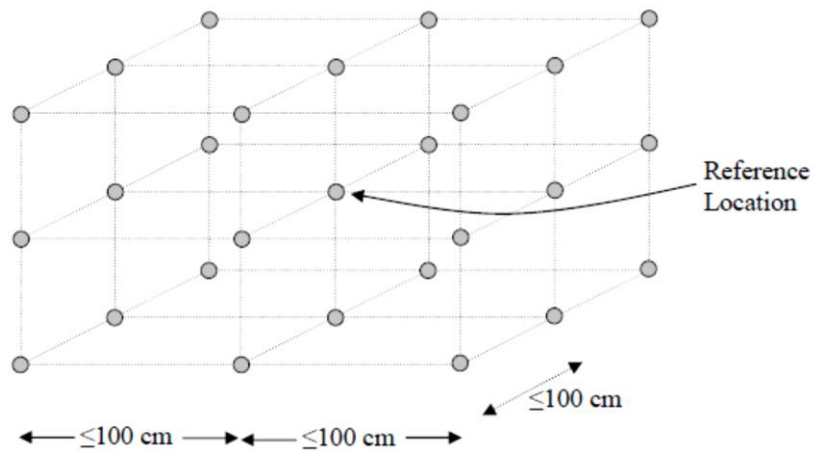
- ช่วงอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ -90 °C ถึง 500 °C
- การกำหนดตำแหน่งของเซนเซอร์อุณหภูมิสำหรับการสอบเทียบ ขึ้นอยู่กับปริมาตรที่ใช้งานโดยมีข้อกำหนดที่ถูกต้องดังต่อไปนี้
- ปริมาตรใช้งานปริมาตร < 2 m³ อย่างน้อยเก้าตำแหน่งวัดตามข้อกำหนดของ IEC 60068-3-5 ตำแหน่งวัดกำหนดตามสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ ที่ตำแหน่งมุมและศูนย์กลางของปริมาตรที่ใช้งาน โดยมีระยะห่างจากผนังอ้างอิงตาม IEC 60068-3-5 (ในกรณีที่ไม่มีการระบุเป็นระยะอื่นจากลูกค้) ขณะที่เซนเซอร์อ้างอิงอยู่ในระยะติดตั้งไม่เกินกว่า ± 2.5 ซม. จากศูนย์กลางของปริมาตรที่สอบเทียบ



ขนาด	ปริมาตร ลิตร	ระยะ X mm	X mm
เล็ก	น้อยกว่า 1 000	L/10	50
กลาง	ระหว่าง 1 000 ถึง 2 000	L/10	100
ใหญ่	มากกว่า 2 000	L/10	150

รูปที่ 1 ระยะอ้างอิงที่ปริมาตรใช้งานปริมาตร < 2 m³

- สำหรับปริมาตรใช้งาน $\geq 2 \text{ m}^3$ ตำแหน่งวัดอาจจะมีระยะห่างของเซนเซอร์ไม่เกิน 1 เมตร (ระยะที่มากที่สุดของตำแหน่งวัดคือ 1 เมตร) หรือกำหนดระยะในการติดตั้งเซนเซอร์ตามเอกสารมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยให้ครอบคลุมทั้งปริมาตรทรงลูกบาศก์



รูปที่ 2 ระยะอ้างอิงที่ปริมาตรใช้งานปริมาตร $\geq 2 \text{ m}^3$

1.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิอากาศโดยไม่มีระบบไหลเวียนของอากาศ:

- ช่วงอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ $-90 \text{ }^\circ\text{C}$ ถึง $350 \text{ }^\circ\text{C}$
- ปริมาตรที่ใช้งานจำกัดไว้ที่ 2 m^3

- หากไม่มีการไหลเวียนของอากาศ การปรับสมดุลของอุณหภูมิจะช้ากว่าอย่างเห็นได้ชัด เวลาในการรักษาสมดุลที่เกิดขึ้นจะต้องนำมาพิจารณา ควรดำเนินการวัดหลังจากอุณหภูมิในทุกตำแหน่งไม่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่อระบบเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ความเสถียรของอุณหภูมิอื่นๆ จะต้องไม่เกินกว่าข้อกำหนดของเครื่องมือที่ระบุไว้ และถูกนำมาใช้พิจารณาในการคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด
- จำนวนตำแหน่งการวัดในปริมาตรสำหรับการสอบเทียบเป็นไปตามข้อกำหนดของ IEC 60068-3-5: 2002 การวัดต้องกำหนดตำแหน่งอย่างน้อยเก้าตำแหน่ง
- ผลกระทบของโหลดต่อความสม่ำเสมอของอุณหภูมิของอากาศควรวัดในสถานะที่ไม่มีโหลด เทียบกับสถานะที่มีโหลดในบริเวณที่ตรวจวัดอย่างน้อยหนึ่งตำแหน่ง โดยใช้โหลดปกติที่ถูกใช้งาน หรือใช้โหลดของห้องปฏิบัติการสอบเทียบเอง แต่ควรจำลองให้อยู่ในสถานะที่ให้ผลแย่ที่สุด เพื่อให้เกิดการปรับสมดุลเชิงปริมาตรของอุณหภูมิ และอธิบายไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ เว้นแต่ลูกค้าต้องการเป็นอย่างอื่น โดยโหลดที่บรรจุไม่ควรน้อยกว่า 40% ของปริมาตรที่ใช้งาน
- การติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ควรติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิตัวกลาง (Buffer temperature) หรือตามที่ผู้ใช้งานกำหนด
- โหลดแบบแอกทีฟที่มีการกระจายความร้อนหรือสร้างความร้อนยังไม่อยู่ในการพิจารณาของเอกสารข้อแนะนำนี้

2. วิธีการสอบเทียบ

สำหรับการสอบเทียบอุปกรณ์แสดงผลของตู้ควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำได้ 3 วิธีต่อไปนี้

- 2.1 การสอบเทียบที่สัมพันธ์กับปริมาตรที่ใช้งาน ซึ่งถูกวัดในสถานะไม่บรรจุโหลดในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (empty working-volume) สำหรับจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่งของการวัดให้ดูในหัวข้อที่ 1.1 โดยครอบคลุม
 - การรายงานผลระหว่างการวัดที่ตำแหน่งอ้างอิงกับอุปกรณ์แสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ
 - การกำหนดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในขณะที่ไม่มีโหลดบรรจุในปริมาตรใช้งาน
 - การกำหนดผลกระทบของการแผ่รังสี (เฉพาะการวัดอุณหภูมิอากาศเท่านั้น)
 - กรณีที่ลูกค้ากำหนดเพิ่มเติมสำหรับการวัดผลกระทบของการบรรจุโหลดในตำแหน่งที่ทำการวัด โดยเทียบกับสถานะไม่มีโหลดของปริมาตรใช้งาน
- 2.2 การสอบเทียบที่สัมพันธ์กับปริมาตรที่ใช้งาน ซึ่งถูกวัดในสถานะบรรจุโหลดในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (loaded working-volume) การบรรจุโหลดสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามผู้ใช้งาน โดยปกติแล้วไม่น้อยกว่า 40 % ของปริมาตรที่ใช้งาน สำหรับการตรวจสอบแบบไม่มีโหลดและองค์ประกอบของความไม่แน่นอนในการวัดให้เป็นไปตามวิธีการในข้อ 2.1 โดยครอบคลุม
 - การรายงานผลระหว่างการวัดที่ตำแหน่งอ้างอิงกับอุปกรณ์แสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ
 - การกำหนดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในขณะที่มีโหลดบรรจุของปริมาตรใช้งาน
 - การกำหนดความเสถียรของอุณหภูมิ ในสถานะมีโหลดในปริมาตรที่ใช้งาน
 - การกำหนดผลกระทบของการแผ่รังสี

2.3 การสอบเทียบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งเฉพาะเจาะจงในปริมาตรที่ใช้งาน (single spot / specific volume) ต้องครอบคลุมถึง

- การรายงานผลระหว่างการวัดที่ตำแหน่งอ้างอิงกับอุปกรณ์แสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ
- การกำหนดผลกระทบของการแผ่รังสีในตำแหน่งที่ทำการวัด
- การกำหนดผลกระทบของการบรรจุไหลในตำแหน่งที่ทำการวัด โดยเทียบกับสถานะไม่มีไหลของปริมาตรที่ถูกค้ำกำหนด

3. กระบวนการสอบเทียบ

3.1 การสอบเทียบในปริมาตรที่ใช้งานตามวิธี 2.1 และ 2.2

การสอบเทียบจะต้องดำเนินการวัดให้ครอบคลุมตำแหน่งในปริมาตรที่มีการใช้งาน (วิธีการ 2.1 และวิธีการ 2.2) หากปริมาตรเครื่องมือเกินกว่า 2 m^3 ข้อกำหนดสำหรับจำนวนเซนเซอร์มาตรฐานและตำแหน่งของจุดวัดใช้การอ้างอิงตาม 1.1 คือตำแหน่งการวัดในมุมและตรงกลางของทรงลูกบาศก์ ซึ่งต้องจัดเรียงในปริมาตรที่มีการใช้งานด้วยระยะห่างสูงสุดไม่เกิน 1 เมตร (หรืออ้างอิงตามเอกสารข้อเสนอแนะมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง) และครอบคลุมปริมาตรใช้งานทั้งหมด เมื่อลูกค้าต้องการให้ทำการวัดที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็สามารถทำได้ แต่ต้องมั่นใจว่าปริมาตรที่ใช้งานนั้นได้ถูกกำหนดตำแหน่งในการวัดของเซนเซอร์ตามข้อเสนอแนะ ค่าที่เกินกว่าช่วงการใช้งานสำหรับตู้ควบคุมอุณหภูมิจะเป็นทางเลือกที่นอกเหนือจากที่แนวทางนี้ได้แนะนำไว้

ผลการสอบเทียบสามารถใช้งานได้ในปริมาตรที่ถูกครอบคลุมด้วยตำแหน่งที่ทำการวัดเท่านั้น เกี่ยวกับการ interpolation ค่าที่วัดได้ยินยอมให้ทำได้เฉพาะกรณีที่ปริมาตรใช้งานถูกครอบคลุมด้วยตำแหน่งที่ทำการวัดของตู้ควบคุมอุณหภูมิ ความไม่แน่นอนของการวัดที่ระยะจะยอมรับค่าสูงสุดของผลการวัดเฉพาะในปริมาตรใช้งาน ค่าความไม่แน่นอนจากการ interpolation ไม่สามารถยอมรับได้ การ extrapolation ของผลการวัดที่เกินปริมาตรใช้งานนอกเหนือจากตำแหน่งการวัดไม่สามารถยอมรับได้

ตำแหน่งของการวัดในปริมาตรที่ทำการสอบเทียบของตู้ควบคุมอุณหภูมิจะถูกจำลองเป็นภาพร่างในใบรับรองการสอบเทียบ

3.2 การสอบเทียบในปริมาตรที่ใช้งานตามวิธี 2.3

ยอมรับเฉพาะตามข้อเรียกร้องของลูกค้า ในกรณีนี้ผลการสอบเทียบจะใช้ได้เฉพาะตำแหน่งการวัดที่ถูกระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ โดยใบรับรองการสอบเทียบต้องถูกระบุสถานะของ "ตำแหน่งที่ทำการวัดในตู้ควบคุมอุณหภูมิ" รวมถึงมีการพิจารณาความสม่ำเสมอของอุณหภูมิของตำแหน่งที่ทำการวัด ควรใช้เทอร์โมมิเตอร์ 2 ตัว ที่ติดตั้งด้วยระยะห่างระหว่าง 2 ซม. ถึง 5 ซม. (ระยะห่างจะขึ้นอยู่กับความยาวของเซนเซอร์เทอร์โมมิเตอร์ที่เลือกใช้ด้วย) เทอร์โมมิเตอร์หนึ่งตัวจะถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงผลการสอบเทียบในตำแหน่งนั้นๆ สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดตั้งในระยะอื่นๆ ทำหน้าที่เพื่อแสดงผลความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในบริเวณนั้น และไม่ได้ถูกใช้เป็นของหนึ่งในผลการสอบเทียบอย่างชัดเจน อีกทั้งสภาพการเปล่งรังสีของเครื่องมือวัดอุณหภูมิทั้งสองหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้การวัดระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองนี้เพื่อพิจารณาผลกระทบของการแผ่รังสี และต้องถูกนำมาพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับ

ผลกระทบดังกล่าว ดังนั้นเพื่อลดอิทธิพลของการแผ่รังสีที่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ เทอร์โมมิเตอร์ 2 ตัวที่มีคุณสมบัติแปลงรังสีต่ำจะถูกติดตั้งด้วยระยะห่างระหว่าง 2 ซม. ถึง 5 ซม. ร่วมกับเทอร์โมมิเตอร์ที่มีคุณสมบัติแปลงรังสีสูงที่ถูกติดตั้งเพิ่ม

ในการสอบเทียบมากกว่าหนึ่งตำแหน่งตามวิธีการ 2.3 โดยไม่รวมการประเมินปริมาตรใช้งาน ต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ 2 ตัวเพื่อใช้ประเมินต่อตำแหน่ง โดยค่าความไม่แน่นอนจะรวมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ได้จากความแตกต่างของเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในตำแหน่งนั้นๆ กรรมวิธีการวัดจะระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ รวมถึงปริมาตรของปริมาตรที่กำหนดตำแหน่งสำหรับการวัดต้องถูกระบุไว้ในแบบจำลองบนใบรับรองการสอบเทียบ

หมายเหตุ หากทำการวัดอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์เพียงสองเซนเซอร์ย่อมส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายจะน้อยกว่าสำหรับการวัดอุณหภูมิที่ใช้เซนเซอร์สามเซนเซอร์

- 3.3 การสอบเทียบในปริมาตรใช้งาน โดยติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ข้อกำหนดสำหรับจำนวนเซนเซอร์มาตรฐานและตำแหน่งเชิงปริมาตรของจุดวัดในข้อ 1.1 และ 3.2 สามารถนำมาอ้างอิงได้ โดยในส่วนของตัวกลางที่จะนำมาติดตั้งเซนเซอร์ ให้เป็นไปตามรายละเอียดการทบทวนข้อตกลงกับผู้ใช้งานว่าใช้ตัวกลางในลักษณะใด ข้อควรพิจารณาสำหรับตัวกลางที่จะใช้ ควรคำนึงถึง ชนิด ความทนทานต่ออุณหภูมิในขณะสอบเทียบ ความปลอดภัย และสามารถเป็นตัวแทนโหลดที่ใช้งานปกติในตู้ควบคุมอุณหภูมิ การติดตั้งเซนเซอร์ในตัวกลาง ควรติดตั้งในลักษณะที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิตัวกลาง (Buffer temperature) ได้ กรณีที่ผู้ใช้ต้องการให้วัดในตำแหน่งอื่นภายในตัวกลาง ให้ทำการบันทึกข้อตกลงดังกล่าวไว้สำหรับรายงานใบรับรองผลการสอบเทียบ การสอบเทียบในลักษณะของการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิในตัวกลาง ควรคำนึงถึงระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากส่งผลต่อความผิดพลาดของผลการวัด ดังนั้นถือเป็นสิ่งจำเป็นในการจดบันทึกระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบของการประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัด (Measurement uncertainty)

1. ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิอากาศภายใต้ปริมาตรที่ทำการสอบเทียบ (Temperature uniformity / inhomogeneity)

ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิ (inhomogeneity) เป็นการพิจารณาจากค่ามากที่สุดของผลต่างของอุณหภูมิที่มุมหรือผนังในตำแหน่งที่วัดตามลำดับกับตำแหน่งอ้างอิง (ส่วนใหญ่เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของปริมาตรใช้งาน) ซึ่งเป็นไปตาม DIN EN 60068-3-5 หรือ DIN 50011-12 โดยพิจารณาตามอุณหภูมิที่สอบเทียบ การวัดความไม่สม่ำเสมอเชิงปริมาตรเป็นการตรวจสอบปริมาตรที่สอบเทียบตามวิธีการในภาคผนวก ก (2.1) หรือ (2.2) สำหรับวิธีการ (2.3) เป็นเพียงการวัดความไม่สม่ำเสมอเชิงเวลาในตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นการประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณาการกระจายตัวของความน่าจะเป็นเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. ความเสถียรของอุณหภูมิที่ขึ้นกับช่วงเวลา (temporal instability/stability)

ความไม่เสถียรของอุณหภูมิอากาศพิจารณาจากผลต่างที่มากที่สุดของการวัดอุณหภูมิที่เซนเซอร์ใดเซนเซอร์หนึ่งเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหลังจากเครื่องมือมีสถานะคงที่หรือหลังจากครบรอบการควบคุมอย่างสมบูรณ์ โดยสถานะคงที่ที่ถูกพิจารณาจากความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างเป็นระบบเมื่อไม่ได้ถูกทำการวัดอื่นใดอีก สำหรับตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มีระบบไหลเวียนของอากาศจะทำการวัดหลังจากเครื่องมือมีความคงที่ไม่น้อยกว่า 30 นาที

สำหรับผลการวัดของความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิจะทำการบันทึกผลไม่น้อยกว่า 30 ครั้ง ภายในเวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งเวลาอาจแปรผันมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ ตำแหน่งในการวัดอยู่ที่กึ่งกลางของปริมาตรสอบเทียบหรือตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับในแต่ละอุณหภูมิที่ทำการสอบ โดยพิจารณาการกระจายตัวของความน่าจะเป็นเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3. ผลกระทบของการแผ่รังสี

เมื่อตู้ควบคุมอุณหภูมิถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของผนังมักต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิอากาศมักจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์หรือของวัตถุในตัว และอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์และของวัตถุภายในตู้ก็แตกต่างกันด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสภาพการเปล่งรังสีของวัตถุแตกต่างจากของเทอร์โมมิเตอร์

ตามกฎของการแผ่รังสี ผลดังกล่าวจะยิ่งเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูง แต่จะมีค่าตรงข้ามและมีค่าลดลงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องซึ่งสามารถละเลยได้ ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องสามารถประมาณผลกระทบดังกล่าวได้จาก 1 ใน 4 วิธี (อ้างอิง DKD-R 5-7 page 13) ดังนี้

3.1 พิจารณาผลกระทบของรังสีด้วยการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของปริมาตรใช้งาน โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่สภาพการเปล่งรังสีสูง $\varepsilon > 0.6$ (T_{hc}) และเทอร์โมมิเตอร์ที่สภาพการเปล่งรังสีต่ำ $\varepsilon < 0.15$ (T_{lc}) โดยอาจจะทำการวัดพร้อมๆ กันด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่เหมือนกันแต่ค่าสภาพการเปล่งรังสีต่างกันหรือใช้เทอร์โมมิเตอร์เดียวกันแต่วัดที่สภาพการเปล่งรังสีต่างกันคนละช่วงเวลาก็ได้ แนะนำให้ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มี

ผิวนิกเกล็ดขี้ดงา (การแผ่รังสีต่ำ) หรือเทอร์โมมิเตอร์ที่เป็นผิวเทฟลอน (การแผ่รังสีสูง) และควรจะมี ความแตกต่างมากพอ เช่นการเคลือบผิวเทอร์โมมิเตอร์ด้วยทองคำ หรือสีดำ อย่างไรก็ตาม ควรต้องทราบค่าสภาพ การเปล่งรังสีอย่างถูกต้องเพียงพอ โดยเฉพาะที่ค่าสภาพการเปล่งรังสีต่ำต้องหลีกเลี่ยงการออกซิเดชันหรือ ความขรุขระที่พื้นผิวด้วย แม้ว่าโดยปกติเทอร์โมมิเตอร์ที่มีสภาพการเปล่งรังสีต่ำสามารถใช้ประมาณค่า อุณหภูมิอากาศในตู้ได้ แต่อุณหภูมิอากาศที่แท้จริงจะมาจากการประมาณค่าในช่วงไปที่ค่าสภาพการเปล่ง รังสีเป็น $\varepsilon = 0$ ดังนั้นผลต่างที่ตรวจวัดได้ระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองคือ ผลกระทบของการแผ่รังสีหาก อุณหภูมิของผนังและอุณหภูมิของอากาศไม่เท่ากัน

ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในกรณีที่ 1 ใช้ค่า 20 %¹ ของผลกระทบเนื่องจากการแผ่รังสีในการ คำนวณดังต่อไปนี้

$$|\delta T_{\square\square\text{radiation}}| \leq 0.2 \cdot \text{Max}|T_{\square\text{le}} - T_{\text{he}}|$$

ดังนั้นสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนได้ดังสมการ

$$\square u(\delta T_{\square\square\text{radiation}}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \cdot \text{Max}|T_{\square\text{le}} - T_{\text{he}}|$$

3.2 พิจารณาได้จากอุณหภูมิของอากาศที่สามารถวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันรังสี (Radiation shield) สำหรับป้องกันอิทธิพลที่เกิดจากผนัง อุปกรณ์ป้องกันรังสีนี้จะต้องมีการระบายอากาศ หรือถูกเตรียม และออกแบบเพื่อยอมให้เทอร์โมมิเตอร์มีอากาศหมุนเวียนอย่างเพียงพอ เมื่อติดตั้งชุดป้องกัน รังสีแล้วเทอร์โมมิเตอร์จะทำการวัดอุณหภูมิอากาศ (T_{shield}) ก่อน และอุณหภูมิอากาศหลังจากถอดอุปกรณ์ ป้องกันรังสี ($T_{\text{no shield}}$) ออก โดยความแตกต่างที่ตรวจสอบได้ระหว่างการวัดทั้งสองถือเป็นการวัดผลของรังสี ความร้อนในกรณีที่อุณหภูมิผนังเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิอากาศที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของรังสี หรือที่เรียกกันว่า เป็น “อุณหภูมิเชิงแผ่รังสี” โดยอาจทำการวัดอุณหภูมิดังกล่าวในเวลาเดียวกันด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่เหมือนกัน ก็ได้ เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ

ในกรณีนี้ ผลต่างมากที่สุดของอุณหภูมิที่วัดได้เมื่อมีหรือไม่มี radiation shield จะใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตรงเลยดังสมการ

$$|\delta T_{\square\square\text{radiation}}| \leq \text{Max}|T_{\text{shield}} - T_{\text{no shield}}|$$

ดังนั้นสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนได้ดังสมการ

$$\square u(\delta T_{\square\square\text{radiation}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max}|T_{\text{shield}} - T_{\text{no shield}}|$$

¹S. Friederici, E. Tegeler, Radiation effects and its consequences on measurements in climatic chambers, in: D. Zvizdic (ed.), Pr°C. TEMPMEKO 2004, vol. 2, pp.795-800

3.3 พิจารณาได้จากการวัดอุณหภูมิผนัง (T_{wall}) และการวัดของอุณหภูมิอากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีสภาพการแปลงรังสีต่ำ ตามข้อ 3.1 หรือเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันรังสี ตามข้อ 3.2 ช่วยให้สามารถประมาณค่าผลกระทบจากรังสีได้ แต่ในกรณีนี้ 10%¹ ของผลต่างมากที่สุดของอุณหภูมิอากาศที่วัดได้กับอุณหภูมิผนังจะใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าดั่งสมการ

$$|\delta T_{\square\square radiation}| \leq 0.1 \times \text{Max}|T_{\square le} - T_{wall}|$$

ดังนั้นสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนได้ดั่งสมการ

$$\square u(\delta T_{\square\square radiation}) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \times \text{Max}|T_{\square le} - T_{wall}|$$

3.4 สำหรับอุณหภูมิตั้งแต่ 0 °C ถึง 50 °C ผลกระทบเนื่องจากการแผ่รังสีอาจไม่ต้องใช้ระเบียบทางมาตรวิทยามากำหนด และสามารถประมาณการได้ที่ 0.3 K¹ สำหรับค่าความไม่แน่นอนในการวัดดังกล่าว หากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิอากาศ (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ) ในระหว่างการสอบเทียบเกิน 30 K ผลของรังสีจะต้องถูกพิจารณาตามข้อ 1 ถึง 3

$$|\delta T_{\square\square radiation}| \leq 0.3 \text{ K}$$

ในกรณีนี้ ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการแผ่รังสีสามารถประเมินได้โดยง่ายจากสมการ

$$\square u(\delta T_{\square\square radiation}) = \frac{0.3}{\sqrt{3}} \text{ K}$$

อนึ่ง ขั้นตอนที่ 3.1 และ 3.2 มุ่งเป้าไปที่การวัดอุณหภูมิอากาศให้ใกล้เคียงมากที่สุด โดยไม่ได้ประมาณผลกระทบของรังสีต่ออุณหภูมิของวัตถุในปริมาตรใช้งาน

ขั้นตอนที่ 3.3 ยอมให้นำไปประเมินผลต่างของอุณหภูมิวัตถุจากอุณหภูมิอากาศ และเพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนในการวัดต่ำที่สุด ต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบแล้วในการวัด

ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้สำหรับขั้นตอนที่ 3.4 ให้ค่าผลกระทบของรังสีในการประเมินค่าความไม่แน่นอนได้เลย

ในวิธีการสอบเทียบ 2.1 ถึง 2.3 จะต้องคำนึงถึงผลกระทบของรังสีด้วยการวัดในสถานะแปลงรังสีที่ต่ำที่สุด ($\epsilon < 0.15$) อีกทั้งไม่จำเป็นต้องแก้ค่าผลการวัดสำหรับผลกระทบของรังสีเพื่อให้ $\epsilon = 0$ แต่เป็นไปได้หากลูกค้าร้องขอ (ต้องระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ)

4. ผลกระทบของการไหล

การพิจารณาผลเนื่องจากไหล ต้องพิจารณาในกรณีที่มิไหลอยู่ภายในไม่น้อยกว่า 40% ของปริมาตรใช้งาน เทียบกับกรณีที่ไม่มีไหลที่ตำแหน่งอ้างอิง การบรรจุไหลสามารถใช้วิธีที่อ้างอิงตามเอกสารมาตรฐาน IEC 60068-3-7 ขณะที่ DKD R 5-7 ใช้การประเมินความไม่แน่นอนเนื่องจากไหลให้ใช้ค่า 20% ของความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ และกำหนดให้ความน่าจะเป็นของผลเนื่องจากไหลมีการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามตัวอย่างสมการที่อ้างอิง DKD-R 5-7 ดังนี้

$$u(\delta T_{\text{Loading}}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \times |T_{\text{ref.empty}} - T_{\text{ref.Load}}|$$

กรณีของการโหลดแบบแอคทีฟที่มีการกระจายพลังงาน โดยความแตกต่างที่ตรวจสอบแล้วจะถูกเพิ่มสำหรับความไม่แน่นอนของโหลด ในการสอบเทียบตามวิธีการ (2.2) โหลดจะต้องทำงานในระหว่างการสอบเทียบ ซึ่งผลของโหลดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิจากตำแหน่งอ้างอิง

5. Self-Heating (ในกรณีที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดความต้านทาน)

เมื่อเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ค่า self-heating ต้องถูกนำมาพิจารณาประกอบ เนื่องจากตัวกลางที่ใช้วัดเป็นอากาศซึ่งส่งผลต่อ self-heating ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบด้วยตัวกลางเป็นของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ สามารถใช้วิธีที่อ้างอิงตามเอกสารมาตรฐาน ASTM E664-11 โดยอธิบายแนวคิดไว้ในภาคผนวก ค

6. Inhomogeneity (ในกรณีที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดเทอร์โมคัปเปิล)

จะส่งผลมากในความไม่แน่นอนทางการวัดของการใช้งานเซนเซอร์เทอร์โมคัปเปิล ในกรณีที่ไม่มีระบบสำหรับการทดสอบค่า Inhomogeneity การประเมินค่าความไม่แน่นอนทำได้โดยให้ค่า Inhomogeneity ที่เกิดขึ้นกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ทำการสอบเทียบ มีค่าน้อย 20% ของเกณฑ์การยอมรับ ตาม Class 2 ของ IEC 60584-2 (หรือเทียบเท่ากับ standard tolerance ใน ASTM E230) หรืออ้างอิงค่า Inhomogeneity จากงานวิจัยอื่นที่ได้รับการยอมรับ

7. อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม

สภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างการสอบเทียบถูกระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากเงื่อนไขของการสอบเทียบ หรือการเปลี่ยนแปลงจากช่วงที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตจะต้องได้รับการประเมินหากเกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องมือ หากเป็นไปได้ต้องมีการระบุถึงความไม่แน่นอนเพิ่มเติมสำหรับเงื่อนไขที่เบี่ยงเบน

8. การแยกชุดของตัวอ่าน

การเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของหน้าจอบ่งชี้ผลสำหรับอุณหภูมิที่กำลังวัด เป็นความไม่แน่นอนที่มีลักษณะการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีค่าการกระจายไม่เกินครึ่งหนึ่งของความละเอียดของหน้าจอบ่งชี้ผล

9. การประมวลผลความไม่แน่นอน (Uncertainty Budget) และแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนเพื่อใช้ในการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการวัดตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยวิธีการสอบเทียบที่ตำแหน่งเฉพาะเจาะจงตามข้อ 2.3 แสดงตามตัวอย่างในตารางด้านล่าง

Source of Uncertainty		Standard uncertainty °C	Distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution °C
เครื่องมือมาตรฐาน	ผลการสอบเทียบ	0.15	normal	1	0.075
	การเลื่อน	0.05	rectangular	1	0.029
	Self-heating	0.02	rectangular	1	0.012
เครื่องมือที่ ถูกสอบ เทียบ	ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ (ที่ตำแหน่งเฉพาะเจาะจง)	0.012	rectangular	1	0.007
	ความเสถียรของอุณหภูมิ	0.073	rectangular	1	0.042
	ผลกระทบของการแผ่รังสี	0.15	rectangular	1	0.087
	ความสามารถในการทวนซ้ำ	0.048	Normal	1	0.048
	การแยกขีดของตัวอ่าน (0.1 °C)	0.05	rectangular	1	0.029
	ผลกระทบของการโหลด	0.00	rectangular	1	0.000
ความไม่แน่นอนรวม, $u_c(t)$					0.142
ความไม่แน่นอนขยาย, ($k=2$)					0.28

Note: องค์ประกอบของความไม่แน่นอนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลา และจากความไวของเซนเซอร์ ที่ระบุไว้ในเอกสาร Euramet cg-20 ถือว่าละเลยได้หากการวัดดังกล่าวเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์เพื่อหา Self-heat ตาม ASTM E644-11

ในเอกสารนี้ ผลเนื่องจาก self-heating, °C ได้จากการคำนวณหา self-heating constant ในหน่วย mW/ °C จากสมการตาม ASTM E644-11 ข้อ 12.3.1.1 ในช่วงการวัดตั้งแต่ -80 °C ถึง 500 °C ของ Platinum Resistance Thermometer 100 Ω ดังนี้

$$\text{self-heating constant, mW/ } ^\circ\text{C} = S(P_2 - P_1) / (R_2 - R_1) \quad (1)$$

- R_1 = ความต้านทานของเซนเซอร์ที่ power dissipation ต่ำที่สุด, Ω
- R_2 = ความต้านทานของเซนเซอร์ที่ power dissipation สูงที่สุด, Ω
- S = thermometer sensitivity (dR/dt) ที่อุณหภูมิอ้างอิงควบคุมอุณหภูมิ, Ω/ °C
- P_1 = power dissipation ต่ำที่สุด, ($R_1 I_1^2$), mW และ
- P_2 = power dissipation สูงที่สุด, ($R_2 I_2^2$), mW

$$\text{self-heating, } ^\circ\text{C} = P/h \quad (2)$$

- P = Power, W ที่กระแส 1 mA
- h = self-heating constant, W/ °C

จากตัวอย่าง 1 หากต้องการหาค่า self-heating ของเทอร์มิสเตอร์ความต้านทานที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อทราบว่าที่เทอร์มิสเตอร์ความต้านทาน 100 Ω มี sensitivity (S) = 0.4 Ω/ °C มีค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่กระแส 1 mA = 109.7305 Ω และค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่กระแส $\sqrt{2}$ mA = 109.7399 Ω ค่า $P_1 = R_1 \cdot I_1^2$ ที่กระแส 1 mA = 0.00011 W ค่า $P_2 = R_2 I_2^2$ ที่กระแส $\sqrt{2}$ mA = 0.000219 W ดังนั้น

self-heating constant จากสมการ (1) = 0.005 W/ °C

$$\begin{aligned} \text{self-heating, } ^\circ\text{C} = P/h &= 0.00011 \text{ W} / (0.005 \text{ W/ } ^\circ\text{C}) \\ &= 0.02359 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

หรือสามารถใช้ค่า self-heating constant, mW/ °C จากการทดลองโดย มว. ภายใต้เงื่อนไขสำหรับเทอร์มิสเตอร์ความต้านทาน 100 Ω ที่แปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทอร์มิสเตอร์ ได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า self-heating constant, mW/ °C

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	self-heating constant (mW/ °C)
3	0.005
5	0.009

ภาคผนวก ง

ตารางที่ แสดงตัวอย่างขอบข่ายขีดความสามารถของการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิพร้อมระบบหมุนเวียนอากาศ (Temperature controlled enclosure with air circulation systems)

สาขาการสอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของ การสอบเทียบและการ วัด	วิธีการสอบเทียบ	
อุณหภูมิ	Temperature controlled enclosure with air circulation systems			
		-80 °C to -40 °C	0.50 °C	EURAMET cg-20: Air temperature in an empty working-volume
		> -40 °C to 0 °C	0.30 °C	
		> 0 °C to 50 °C	0.20 °C	
		> 50 °C to 200 °C	1.0 °C	
		-80 °C to -40 °C	0.50 °C	EURAMET cg-20: Air temperature in a loaded working-volume
		> -40 °C to 0 °C	0.30 °C	
		> 0 °C to 50 °C	0.20 °C	
		> 50 °C to 200 °C	1.0 °C	
		-80 °C to -40 °C	0.20 °C	EURAMET cg-20: Air temperature at a single spot in the enclosure
		> -40 °C to 0 °C	0.10 °C	
		> 0 °C to 50 °C	0.20 °C	
		> 50 °C to 200 °C	0.50 °C	
		-80 °C to -40 °C	0.50 °C	EURAMET cg-20: Buffer temperature in an empty working-volume
		> -40 °C to 0 °C	0.30 °C	
		> 0 °C to 50 °C	0.20 °C	
> 50 °C to 200 °C	1.0 °C			
-80 °C to -40 °C	0.50 °C	EURAMET cg-20: Buffer temperature in a loaded working-volume		
> -40 °C to 0 °C	0.30 °C			
> 0 °C to 50 °C	0.20 °C			
> 50 °C to 200 °C	1.0 °C			

สาขาการสอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด	วิธีการสอบเทียบ
	-80 °C to -40 °C > -40 °C to 0 °C > 0 °C to 50 °C > 50 °C to 200 °C	0.20 °C 0.10 °C 0.20 °C 0.50 °C	EURAMET cg-20: Buffer temperature at a single spot in the enclosure

หมายเหตุ ขีดความสามารถของการสอบเทียบที่แสดงในภาคผนวก ง ของตารางที่ 1 และ 2 เป็นเพียงตัวเลขสมมุติ

ภาคผนวก จ

องค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนจากเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบ Temperature controlled enclosure

Source of uncertainty	DKD-R-5-6			IEC 60068-11		CG-20		Remark
	Empty	Loaded	Single spot	Empty	Loaded	in air	in buffer	
Calibration of STD	√	√	√	√	√	√	√	
Drift of STD	√	√	√	√	√	√	√	
Resolution of STD	√	√	√	√	√	√	√	
Repeatability of STD	√	√	√					

Self-heating of STD	√	√	√			√		
Hysteresis				√	√			
Ambient Temperature effect	√	√	√	√	√	√	√	
Temperature Uniformity	√	√	√	√	√	√	√	within 2-5 cm for single spot
	Inhomogeneity			Gradient		Spatial distribution		
Temperature Stability	√	√	√	√	√	√	√	
	Instability			Fluctuation		Temporal stability		
Radiation effect	√	√	√			√		negligible at low temperature
Loading effect		√				√	√	
Resolution of UUC	√	√	√	○	○	√	√	
Repeatability of UUC	√	√	√	○	○	√	√	
Drift of UUC				○	○	○	○	
Overall mean				√	√			

√ จำเป็น

○ เพิ่มเติม/ตามการร้องขอ

ภาคผนวก ฉ
เอกสารแนบสำหรับใบรับรองการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ

General

Unless stated otherwise in the calibration certificate, the calibration is valid only for the air temperature and humidity in the empty useful volume of the enclosure. Under ambient conditions of measurement other than those stated, considerable deviations (up to several kelvin) from the calibration value can in part be reckoned with.

It is strongly recommended to install temperature and/or humidity sensors in close contact to the load in the enclosure. These sensors usually provide a much more realistic data on the condition in the enclosure than the indication of the enclosure, which has been calibrated.

Radiation effects

When enclosures are used in the temperature range above room temperature, the temperature of the walls of many models is lower than that of the air. Due to radiation losses, the air temperature then is higher than the temperature of a thermometer or test object in the useful space.

Also, the temperature of the thermometer and that of an object in the enclosure can differ considerably. Especially if the emissivity or emittance (ϵ) of the object differs from that of the thermometer, great differences are to be reckoned with.

According to the law of radiation, the influence of this effect increases over proportionally at higher temperatures. Below room temperature, the effect is inverse but the impact is considerably smaller and often negligible.

Depending on the model of the enclosure, differences of several kelvin are possible above 150 °C.

Object in the useful volume

Objects in the useful volume will in general not assume the air temperature prevailing during calibration because

- 1) the conditions of loading - unless exactly simulated for the calibration – influence or change the temperature field in the useful volume,
- 2) position, size and material of the object are in general not in conformity with the characteristics of the thermometer used for the calibration of the enclosure, and
- 3) in qualitative but not in quantitative terms, the object and the thermometer are subjected to comparable → radiation effects.

Measurement uncertainty

The measurement uncertainty stated is valid only if the measurement conditions documented in the specific case are complied with. It is valid for the temperature or humidity indication of the enclosure in relation to the temperature or relative humidity of the air in the enclosure in a defined position or for a defined volume.

Only if the state of loading, the measuring location(s) or the useful volume, respectively, are identical and if the thermometer characteristics are similar ($e < 0,2$) can the calibration value be reproduced within the measurement uncertainty stated.

The remaining radiation effect of the standard used, related to the enclosure calibrated here, was determined and allowed for in the measurement uncertainty. Unless expressly stated in the calibration certificate, a correction for this effect was not applied.