INSO
20028
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۰۲۸
چاپ اول
۱۳۹۵

حفاظت از اموال فرهنگی- فرآیندها و ابزارهای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطوح اشیا

Conservation of cultural property- Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects

ICS: 97.195

به‌نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوز های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و موسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین‌ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول تضمین کیفیت فرآورده‌ها و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده‌های تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای فرآورده‌های کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گران‌بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«حفاظت از اموال فرهنگی- فرآیندها و ابزارهای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطوح اشیا»

رییس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
ابراهیم زاده، رضا (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	دانشگاه شهید باهنر کرمان
دبیر:	
یزدی میرمخلصونی، سید محمد (کارشناسی فیزیک)	اداره استاندارد شهرستان سیرجان
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ابراهیمی، افشین (دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)	پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی
امین‌شیرازی، شهرزاد (دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)	پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی
جعفرزاده، صدیقه (کارشناسی مرمت آثار تاریخی)	آزمایشگاه اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمان
جوادی، مهری (کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)	اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمان
رحمانی، غلامرضا (دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)	پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی
زکریایی کرمانی، احسان (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان کرمان
زندی، عصمت (کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)	اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی کشور
سلطان زاده، زهرا (کارشناسی شیمی کاربردی)	اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمان
سهرج زاده، مریم (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	اداره کل استاندارد استان کرمان

عامری، سعید (کارشناسی مرمت آثار تاریخی)	بازنشسته سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری
فدایی، حمید (دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)	پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی
کاویانی، فربد (کارشناسی شیمی)	اداره کل استاندارد استان کرمان
کولیوند، فرشاد (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ)	دانشگاه لرستان
کیانفر، مریم (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	اداره کل استاندارد استان کرمان
هادیان، منیژه (دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)	پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش‌گفتار	و
مقدمه	ز
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۱
۴ توصیه‌های مربوط به روش‌های اندازه‌گیری	۶
۵ اندازه‌گیری دمای سطحی	۷
۶ توصیه‌های مربوط به تغییرات در فضای کمیت‌های دمایی	۱۰
۷ واسنجی	۱۱
پیوست الف (الزامی) مشخصات ابزاردقیق اندازه‌گیری	۱۲
کتاب‌نامه	۱۳

پیش گفتار

استاندارد «حفاظت از اموال فرهنگی- فرآیندها و ابزارهای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطوح اشیا» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در دویست و هفتاد و هفتمین اجلاس کمیته ملی خدمات مورخ ۱۳۹۵/۰۱/۲۳ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

BS EN 15758: 2010, Conservation of cultural property- Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects

مقدمه

این استاندارد به‌منظور کمک به نامین محیطی قابل قبول برای آثار تاریخی- فرهنگی تدوین شده است. دمای هوا و دمای سطح شئ جنبه‌های مهمی از محیط را تشکیل می‌دهند. دما یکی از عواملی است که تاثیر مهمی در حفاظت از اشیاء دارد. مشخصات فیزیکی مواد، با جذب یا آزاد شدن گرما توسط آنها تغییر می‌کند. اشیاء در اثر تغییرات دمایی، بزرگ و کوچک می‌شوند و در صورتی‌که دمای آنها به کم‌تر از دمای تبدیل شیشه‌ای[1] برسد، سخت یا شکننده می‌شوند یا به‌صورت مکانیکی از طریق ذوب شدن یا یخزدگی آب، آسیب می‌بینند. سرعت برخی از واکنش‌های شیمیایی مهم مانند تجزیه سلولز[2] (ورق یا بافت)، با افزایش دما زیاد می‌شود. دما بر فعالیت قارچ‌ها و حشراتی که موجب فساد و تباهی زیستی مواد آلی هستند تاثیر می‌گذارد. دما می‌تواند بر برخی از کانی‌ها و تبلور ساختاری تاثیر بگذارد. دما هم‌چنین تاثیر غیرمستقیمی بر موارد زیر دارد: افزایش دما باعث کاهش رطوبت نسبی[3] می‌شود که منجر به خشک شدن مواد جاذب رطوبت مانند چوب، کاغذ یا چرم می‌شود. چنین فرآیند خشک‌شدن می‌تواند باعث انقباض یا شکنندگی شود. زمانی که پرتو مستقیم آفتاب، لامپ‌ها یا گرم‌کننده‌ها به اشیاء برسد، افزایش دمای ایجاد شده باعث خشک شدن آنها می‌شود، حتی اگر رطوبت نسبی هوای اطراف تغییری نکند. دمای هوا در هر سطحی که باشد، درصورتی‌که دمای آن به پایین‌تر از نقطه شبنم برسد، بخار آب می‌تواند بر روی سطوح سرد چگالیده[4] شود.

سطوح کنترل و تغییرات دمایی، در ایجاد محیطی مناسب برای اموال فرهنگی مشارکت دارد و بنابراین ریسک فساد را کم می‌کند. چنین کنترلی، راهکار پیشگیرانه و حفاظتی مهمی است که نیاز به مداخله‌های حفاظتی آتی را کم می‌کند.

این استاندارد روش‌هایی برای اندازه‌گیری دمای هوا و سطوح اموال فرهنگی در محیط‌های داخلی و خارجی، را توصیه می‌کند و هم‌چنین حداقل مشخصات ابزاردقیق مورد نیاز برای این اندازه‌گیری‌ها را مشخص می‌کند. اگرچه استانداردها برای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطح، در سایر رشته‌ها مانند هواشناسی[5]، صنعت صنعت و طب وجود دارد، این استاندارد بر روی الزامات ویژه اموال فرهنگی تمرکز دارد. یکی از موضوعات اصلی این روش، استفاده از روش‌های غیرتماسی یا از راه دور برای امکان انجام اندازه‌گیری‌های دمایی سطوح شکننده و با ارزش، بدون هیچگونه تماسی با آنها است. با این حال انجام این اندازه‌گیری‌ها از سطوح اشیاء با استفاده از روش‌های تماسی یا غیرتماسی، مشمول درجه‌ای از خطر برای اشیاء است و نباید بدون توجیه واضح یا بدون مشاوره با متصدی با صلاحیت و باتجربه انجام شود.

این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهایی است که برای استفاده در امور بررسی محیط‌های اموال فرهنگی، تدوین شده است.

هر سامانه اندازه‌گیری که الزامات این استاندارد یا بیش‌تر از آن را رعایت می‌کند، قابل کاربرد است. توصیف یا فهرست‌بندی ابزاردقیق مشخص در این استاندارد، فقط مشخص می‌کند که آنها توصیه شده‌اند. این

1 - Glass transition temperature
2 - Degradation of cellulose
3 - Relative humidity
4 - Condense
5 - Meteorology

موضوع به کاربران بستگی دارد که کیفیت ابزار در دسترس در بازار را تحلیل کنند و شناسایی کنند که آیا آنها مطابق با الزامات این استاندارد هستند یا خیر.

حفاظت از اموال فرهنگی- روش‌های اجرایی و ابزارهای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطوح اشیا

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌هایی برای اندازه‌گیری دمای هوا و سطوح اموال فرهنگی در محیط‌های داخلی و بیرونی است. هم‌چنین ویژگی‌های ابزاردقیق مورد نیاز برای این اندازه‌گیری‌ها را مشخص می‌کند و شامل توصیه‌هایی برای اندازه‌گیری‌های دقیق، به‌منظور تضمین ایمنی اشیاء است.

این استاندارد برای هر فرد مسئول محیط، عیب‌یابی[1] آن، حفاظت یا نگهداری از ساختمان، مجموعه‌ها یا اشیاء منفرد، کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزیی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 EN ISO 7726:2001, Ergonomics of the thermal environment- Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726:1998)

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۳-۱

دمای هوا (T)

Air temperature

دما از روی دماسنجی که در تماس با هوا و در یک مکان سرپوشیده و دور از پرتو مستقیم پرتوهای حرارتی و سایر منابع انرژی قرار گرفته است، خوانش می‌شود.

یادآوری- دما برحسب درجه سیلسیوس (°C) بیان می‌شود.

1 - Diagnosis

۲-۳

دماسنج گوی مشکی

Black-globe thermometer

دماسـنج متشکل از یک گوی مشکی در مرکز آن است که در آن یک حسگر دمایی قرار دارد و دمای تابشی- هوایی موثر، که در نتیجه تعادل دمایی میان هوا، تابش ناشی از سایر منابع گرمایی و جابه‌جایی همرفتی[1] به‌وجود می‌آید، را ثبت می‌کند.

۳-۳

نوار جسم سیاه هدف

Blackbody strip target

نوار جسم سیاه هدف با اینرسی دمایی کم، مانند یک پارچه مشکی نواری است که دمای تابشی- هوایی موثر، که در نتیجه تعادل دمایی میان هوا، پرتو نور، منابع گرمایی و جابه‌جایی همرفتی به وجود می‌آید، را به خود می‌گیرد.

یادآوری- سپس دمای سطح جسم سیاه هدف، به وسیله یک دماسنج نیمه‌تماسی[2] یا دماسنج راه دور[3] اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۳

جسم سیاه

Blackbody

جسمی که تمامی پرتوهای فرابنفش، مرئی و فروسرخ برخورد کرده به خود را جذب می‌کند، یعنی دارای قابلیت انتشار سطحی است.

۵-۳

حسگر تماسی

Contact sensor

حسگری است که در تماس فیزیکی مستقیم با سطح قرار گرفته است و برای رسیدن به تعادل دمایی با آن، تعبیه می‌شود.

یادآوری- حسگر می‌تواند به سطح فشرده شود یا با چسب به آن چسبانده شود تا تبادل دما و به‌دست آوردن تعادل دمایی را بهبود بخشد.

۶-۳

دمای نقطه شبنم

Dew-point temperature

---

1 - Convective motions
2 - Quasi-contact thermometer
3 - Remote thermometer

دمایی است که در آن، هوا در فشار ثابت و محتوای بخار آب ثابت به‌منظور وقوع اشباع، سرد می‌شود.

یادآوری- این دما برحسب درجه سیلسیوس (°C) بیان می‌شود.

۳-۷

قابلیت انتشار

Emissivity

قدرت نسبی سطح برای انتشار گرما به وسیله تابش است که با نسبت انرژی تابشی گسیل شده توسط سطح، به انرژی تابشی گسیل شده توسط جسم سیاه دارای همان دما، بیان می‌شود.

یادآوری- این دامنه بین ۰ تا ۱ است.

۳-۸

دماسنج فروسرخ

Infrared thermometer

دماسنجی است که با استفاده از اندازه‌گیری جریان تابش فروسرخ گسیل شده و منعکس شده از هدف، اندازه‌گیری دمای سطح را ممکن می‌کند.

۳-۹

دامنه اندازه‌گیری

Measuring range

فاصله مقادیر مد نظر برای اندازه‌گیری است، که یا عملاً قابل اندازه‌گیری هستند یا اندازه‌گیری شده‌اند و به وسیله حدود بالایی و پایینی‌شان، مشخص می‌شود.

۳-۱۰

کاوند

Probe

وسیله کوچکی که در داخل یا روی شئ قرار می‌گیرد تا اندازه‌گیری را انجام دهد یا از حسگر حفاظت کند.

یادآوری- این وسیله معمولاً به‌صورتی طراحی شده است که تاثیر چندانی بر نتایج نگذارد.

۳-۱۱

دماسنج نیمه‌تماسی

Quasi-contact thermometer

دماسنج تابشی اندازه‌گیر دمای سطح هدف است که از یک حسگر قرار گرفته در نقطه کانونی آینه کاو تشکیل شده است و در برابر پرتو فروسرخ گسیل شده از منابع اطراف، پوشانده شده است.

یادآوری- دماسنج نزدیک هدف قرار می‌گیرد ولی در تماس با آن نیست. این دماسنج جریان پرتو فروسرخ گسیل شده از هدف را اندازه‌گیری و به دما تبدیل می‌کند.

۱۲-۳

دمای پرتوسنجی

Radiometric temperature

دمایی است که توسط دماسنج فروسرخ اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری- این دما برحسب درجه سیلسیوس (°C) بیان می‌شود.

۱۳-۳

تکرارپذیری

Repeatability

توانایی ابزار اندازه‌گیری برای تولید مجدد همان خروجی‌ها، هنگامی‌که به‌صورت متوالی همان مقادیر هوا یا سطح را تحت شرایط برابر، اندازه‌گیری می‌کند.

یادآوری- این مقدار به‌صورت ± درصد دامنه بیان می‌شود.

۱۴-۳

تفکیک‌پذیری (رزولوشن)

Resolution

کوچک‌ترین تفاوت بین شاخص‌های یک دستگاه نمایشگر، که می‌تواند تمایز معناداری ایجاد کند.

۱۵-۳

زمان پاسخ

Response time

به فاصله زمانی میان لحظه‌ای که هوا یا دمای سطحی در معرض تغییر ناگهانی قرار می‌گیرد و لحظه‌ای که پاسخ حاصل می‌شود و در دامنه حدود مشخص شده مقدار ثابت نهایی آن حفظ می‌شود، گفته می‌شود.

یادآوری- زمان پاسخ معمولاً به‌صورت زمان مورد نیار برای رسیدن به ٪۶۳٫۲ از مقدار نهایی بیان می‌شود و در این مورد زمان ثابت، یا ٪۹۰ یا ٪۹۵ آن نامیده می‌شود. زمان پاسخ ٪۹۰، ۲٫۳ بار طولانی‌تر از ثابت زمان بوده و زمان پاسخ ٪۹۵، سه برابر بزرگ‌تر است. زمان پاسخ مستقل از دوره تغییر خروجی است.

۱۶-۳

حسگر

Sensor

وسیله‌ای است که مقدار مطلق یا یک تغییر در کمیت فیزیکی را حس می‌کند و آن را به سیگنال ورودی مفیدی برای سامانه جمع آوری اطلاعات تبدیل می‌کند.

۱۷-۳

پایداری

Stability

به توانایی ابزار اندازه‌گیری به‌منظور ثابت نگه‌داشتن ویژگی‌های سنجشی آن طی یک دوره زمانی، گفته می‌شود.

یادآوری- ثبات باید با توجه به دگرگونی‌های واکنش‌های دمایی طی یک سال (°C/yr) بیان شوند.

۱۸-۳

دمای سطح (TS)

Surface temperature

به دمای سطح یک شئ داده شده، گفته می‌شود.

یادآوری- دمای سطحی را می‌توان به وسیله دماسنج‌های تماسی، شبه‌تماسی، تابشی یا دماسنج‌های فروسرخ راه دور اندازه‌گیری کرد. دمای سطحی عموماً با دمای هوا متفاوت است و بین اشیاء مختلف و جاهای مختلف متغیر است. این دما با مقیاس درجه سلسیوس (°C) بیان می‌شود. به‌طور کلی دمای سطحی اندازه‌گیری شده نشان دهنده دمای کل شئ نیست.

۱۹-۳

سطح هدف

Target surface

به سطحی که در تعادل دمایی با حسگر است، گفته می‌شود.

۲۰-۳

دماسنج

Thermometer

ابزاری برای اندازه‌گیری دما است که از یک حسگر در تعادل دمایی با هوا (درصورتی‌که دمای هوا را اندازه‌گیری کند) یا سطح تشکیل می‌شود و گاهی یک کاوند دارد که شامل حسگر است و از آن حفاظت می‌کند و دارای سامانه‌ای است که ورودی حسگر را به خروجی با درجه سلسیوس (°C) تغییر می‌دهد.

۲۱-۳

ثابت زمانی

Time constant

به فاصله زمانی میان لحظه‌ای که هوا یا دمای سطحی در معرض تغییر ناگهانی قرار می‌گیرد و لحظه‌ای که پاسخ به $1 - 1/e = ۰٫۶۳۲$ (۶۳٫۲٪) می‌رسد و در دامنه‌های مشخص در حدود مقدار ثابت نهایی باقی می‌ماند، گفته می‌شود.

یادآوری- هم‌چنین به اصطلاح «زمان پاسخ» مراجعه شود.

۲۲-۳

عدم قطعیت (اندازه‌گیری)

Uncertainty (of measurement)

عدم ثبات یک پارامتر غیرمنفی مشخص کننده پراکندگی مقادیر مختص یک کمیت اندازه‌گیری شده است.

۴ توصیه‌های مربوط به روش‌های اندازه‌گیری

۴-۱ اندازه‌گیری دمای هوا

بهتر است اندازه‌گیری‌ها فقط برای پاسخ دادن به سوالاتی که مسائل محیطی یا حفاظتی را حل می‌کنند، انجام شوند و آنها همواره بخشی از برنامه‌ریزی کلی برای بهبود محیط باشند.

دمای هوا پایش می‌شود تا یک رابطه علت و معلولی میان متغیرهای اتمسفری و پاسخ آثار تاریخی- فرهنگی ایجاد شود.

بهتر است حین اندازه‌گیری دمای هوا احتیاط‌هایی مدنظر قرار گیرد تا اثر پرتوهای گرمایی و اینرسی کاوند را کم کند.

بهتر است به‌منظور حفاظت حسگر در برابر منابع تابشی با سطوح دمایی متفاوت مانند تابش پرتو آفتاب، لامپ‌های رشته‌ای یا گرم‌کننده‌های تابشی، مراقبت‌های ویژه‌ای انجام شود. بهتر است نمایشگرها از مواد انعکاسی ساخته شود و همان‌طور که در پیوست الف استاندارد EN ISO 7726:2001 توصیف شده است، دارای تهویه مناسب طبیعی یا اجباری باشند. یک دماسنج قرار گرفته در محیط معین، فوراً دمای هوا را مشخص نمی‌کند بلکه برای رسیدن به تعادل، به زمان احتیاج دارد. بهتر است اندازه‌گیری، قبل از سپری شدن دوره زمانی حداقل ۱٫۵ برابر ثابت زمانی کاوند، انجام نشود و خروجی ٪۹۰ تفاوت میان مقادیر اولیه و تعادلی حاصل شود. برای جزییات بیش‌تر به پیوست ٔ استاندارد EN ISO 7726:2001 مراجعه شود.

۴-۲ اندازه‌گیری دمای موثر شامل دخالت تابش

۴-۲-۱ دماسنج گوی مشکی

دمای موثر با دماسنج گوی مشکی اندازه‌گیری می‌شود و در نتیجه تعادل گرمایی شامل دمای هوا، تابش سایر اجسام، جذب اشیاء و همرفتی است. اندازه‌گیری، برای توصیف محیط‌های تحت تاثیر نور مرئی شدید (از خورشید یا نورهای نقطه‌ای)، یا پرتو فروسرخ (از سطوح داغ یا گرم‌کننده‌ها)، مهم است. بهتر است گوی مشکی، هم بخش مرئی طیف و هم بخش فروسرخ (IR) را جذب کند.

بهتر است دماسنج گوی مشکی و اندازه‌گیری دمای موثر، مطابق با استاندارد EN ISO 7726 باشد.

دماسنج گوی مشکی، شکلی کروی دارد زیرا اساساً برای اندازه‌گیری میزان گرمای گسیل شده از بدن انسان معرفی شده است. شکل آن برای اندازه‌گیری اشیاء دارای هندسه متفاوت مانند نقاشی‌های پارچه‌ای مسطح[1]، پانل‌های چوبی یا فرشینه‌ها[2] (تابلوفرش‌ها)، مناسب نیست.

1 - Flat paintings on canvas
2 - Tapestry

با توجه به گوی و دمای محیط، زمان پاسخ عموماً به مدت ۲۰min تا ۳۰min طول می‌کشد.

۴-۲-۲ اندازه‌گیری دما با نوار جسم سیاه هدف

دمای سطحی که یک شئ، هنگام برخورد با تابش، پیدا خواهد کرد، باید همان‌طور که در بندهای آتی نشان داده شده است، شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شود. این بند درباره عیب‌یابی برای حفاظت پیشگیرانه است و نه فقط برای اندازه‌گیری دمای هوا است، بلکه به پتانسیل هم‌افزایی[1] دمای هوا، پرتو نور مرئی و فروسرخ و جابه‌جایی همرفتی یک شئ (نقاشی‌ها، نقاشی‌های پارچه‌ای، پنل‌های چوبی یا فرشینه‌ها)، نیز مربوط است. این بند هم‌چنین برای پیش‌بینی دمای سطحی که یک شئ، هنگام جابه‌جایی برای نمایشگاه‌های موقتی یا دائمی یا تغییر محیط آن برای نصب لامپ‌های موضعی یا گرم‌کننده‌های تابشی، به آن می‌رسد، مفید است. این اندازه‌گیری به وسیله نوار جسم سیاه هدف بدین صورت انجام می‌شود که نوار در محلی که قرار است شئ در آن قرار گیرد یا نزدیک شئ و بدون تماس با آن قرار داده می‌شود. نوار جسم سیاه هدف، آنچه را که برای شئ اتفاق می‌افتد، بدون انجام آزمون بر روی خود شئ، شبیه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی نشان‌دهنده اکثر مواد به کار رفته در اموال فرهنگی است به استثنای فلزات صیقلی که قابلیت انتشار کمی دارند و بیش‌تر پرتوهای ورودی را منعکس می‌کنند. این روش هم‌چنین برای ارزیابی سطح آسایش دمایی برای بازدیدکنندگان موزه‌ها، گالری‌ها، اماکن مذهبی، ساختمان‌های تاریخی و غیره، در جایی که بهتر است گرمایش به یک سطح حداقل قابل قبول و/یا نواحی محدود کاسته شود، مفید است.

دمای موثر ناشی از تعادل گرمایی بین دمای هوا و پرتو، با اندازه‌گیری آسان و سریع بر روی اینرسی حرارتی پایین، جسم سیاه هدف، مشابه یک نوار پارچه مشکی تعیین می‌شود. بهتر است دمای تعادل نوار جسم سیاه هدف، به درستی و با استفاده از فرآیندهای اندازه‌گیری دمای سطحی،همانطور که در زیر توصیف شده است، اندازه‌گیری شود. نوار جسم سیاه هدف، برای اندازه‌گیری شیب‌های دمایی از نیم‌رخ‌های عمودی و افقی با تفکیک‌پذیری فضایی بالا، مفید است.

نوار هدف باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- اندازه آن معرف سطح شئ تحت مطالعه و معرف طرفی از شئ باشد که پرتو نور مرئی و فروسرخ به آن برخورد می‌کند؛
- بهتر است نوار نسبت به نور مرئی و فروسرخ مات باشد یعنی نه نوری نشان دهد و نه انتقال فروسرخ داشته باشد؛
- قابلیت انتشار بالا (بالاتر از ۰/۹۲) داشته باشد؛
- اینرسی حرارتی معلوم داشته باشد که بهتر است برای اطمینان از زمان پاسخ کوتاه مورد نیاز، به اندازه کافی کم باشد.

۵ اندازه‌گیری دمای سطحی

۵-۱ کلیات

1 - Synergism

دمای سطحی می‌تواند هم به وسیله دماسنج‌های تماسی یا دماسنج‌های فروسرخ و هم توسط دماسنج‌های راه دور یا شبه‌تماسی اندازه‌گیری شود، هم‌چنین با عنوان دماسنج‌های تابشی کلی خوانده می‌شوند.

۵-۲ دماسنج‌های دارای حسگرهای تماسی

بهتر است اندازه‌گیری‌های تماسی در زمان ضرورت و با احتیاط کامل انجام شوند، چرا که این اندازه‌گیری‌ها عموماً برای بهبود تبادل حرارتی بین سطح و حسگر، به‌منظور رسیدن به تعادل گرمایی، با اعمال فشار بر سطح شئ یا استفاده از یک چسب یا خمیر رسانا، انجام می‌شوند. چسب‌ها و خمیرها می‌توانند تاثیر غیرقابل بازگشتی بر روی سطح اشیاء داشته باشند.

چنین اندازه‌گیری‌هایی بالقوه برای شئ خطرناک است. هیچ اندازه‌گیری تماسی نباید بدون مشاوره با افراد باتجربه و دارای صلاحیت انجام شود. مثلاً در مورد سطوح ساختمانی، باید با یک متصدی معمار باصلاحیت و در مورد سایر آثار تاریخی- فرهنگی با متصدی باصلاحیت دارای تجربه، مشورت شود.

حسگرهای تماسی معمولاً به‌صورت کوچک بوده و در کاوند کوچکی محصور شده‌اند. کاوند، برای داشتن تماس حرارتی خوب با سطح شئ، یک طرف مسطح فلزی دارد و سایر وجوه کاوند برای این‌که از دمای هوا، پرتو فروسرخ و پرتو نور مرئی در امان باشد، عایق شده‌اند. سه نوع حسگر قابل استفاده است: مقاومت پلاتینیوم[1]، مقاومت گرمایی[2] یا جفت گرمایی[3].

یادآوری- بهتر است این حسگرها مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۶۹۶۶ و استانداردهای EN 60584-1، EN 60584-2 و ASTM E879-01 باشند.

کاوند در تماس با سطح شئ بوده و در این ناحیه تبادل دمایی شئ و محیط تغییر می‌کند. این مسئله زمانی مطرح می‌شود که شئ در معرض پرتوی فروسرخ شدید یا پرتو مرئی شدید قرار گیرد؛ دمای سطحی در نواحی که در سایه هستند با استفاده از کاوند اندازه‌گیری می‌شود، در نتیجه دما پایین‌تر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. این مسئله مخصوصاً در مواد دارای قابلیت هدایت نسبتاً کم، به وجود می‌آید.

ظرفیت گرمایی دماسنج‌های تماسی ممکن است دمای سطحی اندازه‌گیری شده در اشیاء با اینرسی پایین مانند نقاشی‌های پارچه‌ای را دستخوش تغییر کند.

اندازه‌گیری‌های تماسی، از نظر فنی فقط بر سطوح همگون که تماس دمایی خوبی با کاوند برقرار می‌کنند، امکان‌پذیر است.

اندازه‌گیری‌های تماسی، تنها سامانه صحیح برای اندازه‌گیری دمای سطحی فلزات صیقلی هستند. برای آسیب نزدن به سطح، باید مراقبت‌های بسیاری انجام شود.

۵-۳ دماسنج‌های فروسرخ (حسگرهای دمایی راه دور)

1 - Platinum resistor
2 - Thermistor
3 - Thermocouple

دماسنج‌های فروسرخ، که تشعشع‌سنج‌های فروسرخ نیز نامیده می‌شوند، اندازه‌گیری غیرتماسی و اندازه‌گیری راه دور دمای سطحی را مقدر می‌سازند. این یک مزیت ویژه برای سطوح دور از دسترس محسوب می‌شود. اگرچه عموماً عدم قطعیت آن بالا و تکرارپذیری آن کم است.

در دماسنج‌های فروسرخ، انرژی فروسرخ مشاهده شده از شئ، بر روی آشکارساز[1] فروسرخ متمرکز می‌شود و آشکارساز یک سیگنال خروجی متناسب با پرتوی برخوردی را می‌فرستد. دمای گسیل شده از سطح، بر اساس جریان فروسرخ اندازه‌گیری شده، محاسبه می‌شود که متناسب با قابلیت انتشار سطح و نیروی رو به جلوی دمای سطحی است. اگرچه بهتر است قابلیت انتشار سطحی معلوم یا تخمین زده شده باشد. هنگامی‌که ابزاردقیق به تعادل دمایی با محیط رسیدند، اندازه‌گیری‌ها سریع و آسان می‌شوند.

دو نوع دماسنج فروسرخ تصویری و غیرتصویری وجود دارد. دماسنج فروسرخ تصویری، از شئ تحت بررسی یک تصویر ایجاد می‌کند، که رنگ‌های مصنوعی مرتبط با مقیاس دمایی را تولید می‌کند. این دماسنج مخصوصاً برای به‌دست آوردن یک دید کلی نسبت به توزیع دما و برای شناسایی پراکندگی گرمایی مفید است. دماسنج دوم، امکان خوانش رقمی (دیجیتال) از دمای هدف را فراهم می‌کند.

بهتر است دماسنج فروسرخ به‌منظور پایش مقدار واقعی دمای سطحی یک شئ در یک لحظه معین، یا برای شناسایی ناپیوستگی‌های درونی عملیاتی تحت یک فرآیند پویا مانند گرم کردن یا سرد کردن شی، استفاده شود.

عمل حسگری راه دور عموماً با دقت پایین توصیف می‌شود، زیرا:

- پرتو برخوردی اندازه‌گیری شده شامل پرتو فروسرخ منعکس شده از سطح شئ و گسیل شده از سایر اشیاء است؛
- قابلیت انتشار پرتو فروسرخ سطح، دقیقا شناخته شده نیست.

زمانی که قابلیت انتشار سطحی کاهش می‌یابد، عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها افزایش پیدا می‌کند. فلزات قابلیت انتشار خیلی پایینی دارند و ممکن است تصویر حرارتی اپراتور را منعکس کنند. این فرآیند برای فلزات صیقلی مناسب نیست، اما می‌تواند برای فلزات اکسیدشده یا رنگ زده شده استفاده شود.

برخی مواد مانند شیشه یا پلاستیک، در برخی طول موج‌ها شفاف هستند. اگر این طول موج‌ها با طول موج‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری مقارن شود، این روش قابل کاربرد نیست.

۴-۵ دماسنج‌های شبه‌تماسی

دماسنج‌های شبه‌تماسی از یک آینه مقعر که پرتو فروسرخ گسیل شده توسط سطح هدف را بر روی حسگر فروسرخ متمرکز می‌کند، تشکیل شده‌اند. این وسیله در نزدیکی سطح شئ قرار داده می‌شود. سطح خارجی آینه، حسگر را از تابش پرتو فروسرخ از اشیاء اطراف، پوشانده و حفاظت می‌کند. سطح داخلی آینه، تابش پرتو فروسرخ گسیل شده (مستقیم یا پراکنده) از شئ را به دام انداخته، منعکس گرده و به حسگر همگرا می‌کند.

1 - Detector

تحت این شرایط، حسگر فقط پرتوهای گسیل شده از سطح شئ که قابلیت انتشار آن برابر یک شده است، (هر انتشار اقعی سطحی مواد در غیاب آینه) را دریافت می‌کند.
به‌طورکلی، دماسنج‌های شبه‌تماسی برای اندازه‌گیری‌های دمای سطحی اموال فرهنگی بسیار مناسب هستند:

- نیازی به تماس فیزیکی با سطح ندارند که این برای اطمینان از امنیت اشیاء ظریف بسیار مفید است؛
- امکان اندازه‌گیری سطوح منحنی، ناهموار یا آلوده یا آن دسته از سطوح متشکل از الیاف سست را فراهم می‌کند. این روش مخصوصاً برای اندازه‌گیری دمای مواد نرم (مانند پارچه‌ها) یا اشیاء دارای ظرفیت دمایی خیلی پایین (مانند ورق کاغذ)، بدون عدم قطعیت ناشی از تبادل رسانایی گرما بین شئ و حسگر، مفید است؛
- شناخت قابلیت انتشار سطحی، درجایی که دقت بالا لازم نیست.
- فعالیت سریع و آسان دارد؛

دمای سطحی فلزات صیقلی، به دلیل قابلیت انتشار خیلی کم سطح آنها، را نمی‌توان با این روش اندازه‌گیری کرد و باید با حسگرهای تماسی اندازه‌گیری شوند.

۶ توصیه‌های مربوط به تغییرات در فضای کمیت‌های دمایی

۶-۱ کلیات

به‌طورکلی، در محیط‌های داخلی یا بیرونی، ساختمان‌های تاریخی یا اشیاء منفرد، توزیع دمایی به علت تعادل انرژی پیچیده، شامل وجود منابع گرمایی مانند نورخورشید، گرم‌کننده‌ها، نورهای نقطه‌ای و منابع گرمایی، است. شاید لازم باشد دما یا تغییرات درجه حرارت‌های محیط اطراف شئ، سطح ساختمان یا سطح شئ و درون حفره‌ها یا فضاهای داخلی ساختمان یا شئ، پایش شوند.
زمانی که محیط از لحاظ دمایی ناهمگن باشد، بهتر است دما مطابق با یک برنامه دقیق در یک یا چندین مکان، که موقعیت اشیاء در معرض ریسک‌های دمایی و هم‌چنین دمای موضعی و الگوی جریان هوا را مدنظر قرار می‌دهند، اندازه‌گیری شود. بهتر است مسائل ویژه مورد مطالعه، تعریف شوند.
فضاهای ناهمگون پیچیده را می‌توان به نواحی محدودی تقسیم کرد که برای آن برنامه‌های متفاوتی به‌منظور اندازه‌گیری، تعریف می‌شود. زمانی که پایش نیازمند ردیفی متشکل از چندین حسگر است، آنها باید از یک نوع باشند.

۶-۲ توصیه‌های مربوط به تغییرات در زمان کمیت‌های دمایی

تغییرات دمایی را می‌توان به عنوان متغیر چرخه‌ای یا متغیر غیرمنظم، در یک مدت زمان طولانی یا کوتاه توصیف کرد. تغییرات دمایی چرخه‌ای می‌تواند فصلی یا روزانه و یا ترکیبی از این دو بشد. تغییرپذیری ممکن است ناشی از آب و هوا یا بوده و ممکن است با الگوهای کاربرد مانند ورودی بازدیدکنندگان و روشن خاموش کردن روشنایی‌ها، پیچیده شود. زمانی که محیط را نمی‌توان ثابت در نظر گرفت، بهتر است متغیرهای کمّی گرمایی، را به‌صورت تابعی از زمان و مطابق با یک برنامه دقیق که مسائل خاص مورد مطالعه را در نظر می-

گیرد، اندازه‌گیری کرد. اندازه‌گیری‌های کل سال، رضایت‌بخش‌ترین‌ها هستند اما با توجه به مسئله مورد مطالعه می‌تواند دوره‌های فصلی محدود شده را در نظر گرفت.
تناوب نمونه‌برداری باید با مقیاس زمان، پویایی و نوسانات پدیده تحت بررسی هماهنگی داشته باشد، برای این‌که کوتاه‌ترین متغیر مدنظر به‌خوبی ثبت شود.

۶-۳ ویژگی‌های مربوط به ابزاردقیق اندازه‌گیری

دامنه‌های اندازه‌گیری، عدم قطعیت، تکرارپذیری، تفکیک‌پذیری، زمان پاسخ و پایداری حسگر برای دمای هوا و دمای سطحی در جدول الف۱ خلاصه شده است. بهتر است این مشخصات، به‌عنوان حداقل الزامات در نظر گرفته شوند. برای اندازه‌گیری‌های داخلی مثلاً در موزه‌ها یا موارد نمایش، عدم قطعیت «مطلوب» ارجح است. بهتر است ابرازدقیق با مقیاس درجه سلسیوس (°C) خوانش شوند.

۷ واسنجی[1]

اندازه‌گیری‌ها باید به وسیله ابزاردقیق واسنجی شده به‌صورت دوره‌ای مطابق با استاندارد EN ISO 7726، انجام شود. بهتر است حداقل یک ابزار (ابزار اولیه) مطابق با استانداردهای ملی باشد. توصیه می‌شود مابقی ابزار دارای کیفیت فنی مشابه بوده و مطابق با استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۷۰۲۵ واسنجی شده باشند. بهتر است چنین مقایسه‌هایی به‌صورت دوره‌ای انجام شده و به‌صورت مناسب مستندسازی شوند. بهتر ابزار اولیه مورد استفاده به عنوان مرجع، در مقایسه با ابزار تحت واسنجی رده بالاتری داشته باشند. عموماً بهتر است عدم قطعیت اندازه‌گیری مرجع کم‌تر از یک‌سوم عدم قطعیت الزام شده برای ابزارهای استفاده شده باشد.

یادآوری- بهتر است گواهی واسنجی برای هر دما، تصحیح خوانش ابزار و هم‌چنین عدم قطعیت مربوطه مطابق با استانداردهای مربوطه گزارش شود[۲۲].

1 - Calibration

پیوست الف
(الزامی)
مشخصات ابزاردقیق اندازه‌گیری

جدول الف۱- مشخصات ابزاردقیق اندازه‌گیری

ابزار	نماد	دامنه اندازه‌گیری	عدم قطعیت	تکرار پذیری	تفکیک پذیری	پاسخ
دماسنج برای دمای هوا	T	بیرون: ۴۰°C- تا ۶۰°C داخل: ۲۰°C- تا ۶۰°C	الزام شده: ۰٫۵°C مطلوب: ۰٫۲°C	۰٫۱°C	۰٫۱°C	کوتاه‌ترین، طولانی‌تر نیست.
دماسنج گوی مشکی	Teg	بیرون: ۴۰°C- تا ۱۰۰°C داخل: ۲۰°C- تا ۱۰۰°C	الزام شده: ۱٫۰°C مطلوب: ۰٫۵°C	۰٫۵°C	۰٫۱°C	کوتاه‌ترین، طولانی‌تر نیست.
دماسنج نوار مشکی	Trs	بیرون: ۴۰°C- تا ۱۰۰°C داخل: ۲۰°C- تا ۱۰۰°C	الزام شده: ۱٫۰°C مطلوب: ۰٫۵°C	۰٫۵°C	۰٫۱°C	کوتاه‌ترین، طولانی‌تر نیست.
دمای سطحی (حسگر تماسی یا مجاورتی)	Ts	بیرون: ۴۰°C- تا ۱۰۰°C داخل: ۲۰°C- تا ۸۰°C	الزام شده: $1°C+0٫01\ \lvert T-T_s\rvert$ مطلوب: $0٫5°C+0٫01\ \lvert T-T_s\rvert$	۰٫۲°C	۰٫۱°C	کوتاه‌ترین، طولانی‌تر نیست.
دمای سطحی (حسگر راه دور)	Ts	بیرون: ۴۰°C- تا ۱۰۰°C داخل: ۲۰°C- تا ۸۰°C	الزام شده: $1°C+0٫01\ \lvert T-T_s\rvert$ مطلوب: $0٫5°C+0٫01\ \lvert T-T_s\rvert$	۰٫۵°C	۰٫۱°C	کوتاه‌ترین، طولانی‌تر نیست.

یادآوری ۱- دامنه اندازه‌گیری گزارش شده، برای بیش‌تر اهداف در دسترس است، اگرچه برای اهداف ویژه، این دامنه می‌تواند متفاوت از حداقل مقادیر مورد انتظار باشد.

یادآوری ۲- برای اندازه‌گیری‌های داخلی، عدم قطعیت «مطلوب» ارجح است.

کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۶۹۶۶، دماسنج مقاومتی پلاتینی برای مصارف صنعتی

[۲] استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۷۰۲۵، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

[3] EN 60584-1, Thermocouples- Part 1: Reference tables (IEC 60584-1:1995)

[4] EN 60584-2, Thermocouples- Part 2: Tolerances (IEC 60584-2:1982 + A1:1989)

[5] ASTM 1999, Annual Book of ASTM Standards Section 14: General Methods and Instrumentation: Temperature Measurement (Annual Book of A S T M Standards Volume 14.03), ASTM Intl, Vol. 14

[6] ASTM E879-01, Standard Specification for Thermistor Sensors for Clinical Laboratory Temperature Measurements

[7] ASHRAE, 2003: 2003, HVAC APPLICATIONS Handbook (SI), Chapter.21: Museum, libraries and archives., Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. pp. 21-1, 21-16

[8] Benedict, R., 1984: Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements. Wiley, New York

[9] Camuffo, D., 1998: Microclimate for Cultural Heritage. Elsevier, Amsterdam

[10] Childs, P. R. N., 2001: Practical Temperature Measurement. Butterworth-Heinemann, London

[11] Knell, S., 1994: Care of Collections. Routledge, London

[12] Michalski, L., Eckersdorf, K. and McGee, J., 1991: Temperature Measurement. Wiley, New York

[13] Michalski, S., 2000: Guidelines for humidity and temperature in Canadian archives. Canadian Conservation Institute, Ottawa

[14] Nicholas, J.V. and White, D.R., 1994: Traceable Temperatures − An Introduction to Temperature Measurement and Calibration. Wiley, New York

[15] Rosenhow, W.M., Hartnett, J.P., and Ganic', E.N., 1985: Handbook of Heat Transfer Applications, Mc Graw-Hill, New York

[16] Schooley, J.F., 1986: Thermometry. CRC Press, Boca Raton, Fla

[17] Thomson, G., 1986: The Museum Environment. Butterworths

[18] UK Meteorological Office, 1981: Handbook of Meteorological Instruments − Vol.2 Measurement of Temperature. Her Majesty's Stationary Office, London

[19] Wolfe, W.L. and Zissis, G.J., 1989: The Infrared Handbook. Environmental Research Institute of Michigan

[20] World Meteorological Organisation, 1983: The Guide to Instrument and Methods of Observation, WMO Technical Publication No 8, Geneva

[21] World Meteorological Organisation, 1986: Compendium of Lecture Notes on Meteorological Instruments for Training

[22] European co-operation for accreditation, EA 4/02 Guideline Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999