

# Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních parametrů depozitářů a expozic

Petra Štefcová, Michal Pech, Michael Kotyk, Jaroslav Valach, Karel Juliš, Jiří Frankl

## Modular System of Sensors for On-line Monitoring of Museums' Collection Storage and Exhibition Environment

*Abstract: Modern information and communication technology offers many new possibilities for the care of the physical condition of cultural heritage objects. This paper briefly presents the monitoring system developed during the research project of „Unified modular system of remote on-line monitoring of environmental parameters of depositories and expositions“, which is being developed at the offices of the National Museum and the Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, vvi as part of a program of applied research and the development of the national cultural identity of the Ministry of Culture of the Czech Republic. Special attention is paid to monitoring the conditions of the collection's items during transport.*

*Keywords: Preventive Conservation, Cultural Heritage, Monitoring, Indoor Environment, Sensor, Collection Items, Transport*

### 1. Úvod

Preventivní péče o předměty a objekty kulturního dědictví je pojmem zahrnujícím jak ochranu před působením nepříznivých vlivů a faktorů (teplota, vlhkost, záření, atmosférické znečištění a prach, biologické poškození), tak i vytvoření bezpečného prostředí pro deponování, vystavování a v neposlední řadě i transport předmětů kulturního dědictví.

Řešený projekt si klade za cíl komplexní přístup k řešení této problematiky a pojetí, jehož výsledkem by mělo být univerzálně použitelné řešení – integrovaný a současně modulární systém dálkového monitoringu předmětů kulturního dědictví prostřednictvím on-line záznamu (včetně zajištění automatizovaného dohledu nad měřeními environmentálními parametry) a zpracování environmentálních charakteristik depozitářů a expozic situovaných v památkových objektech, muzeích, galeriích, archivech nebo knihovnách.

Očekávaným přínosem projektu je zlepšení kvality a úrovně preventivní péče

o předměty a objekty kulturního dědictví. K řešení jsou používány prostředky aplikovaného výzkumu a vývoje; výsledkem by měla být unikátní modulární sestava prvků propojující monitorovací, hodnotící a dohledové činnosti nad předměty kulturního dědictví za pomoci moderních komunikačních technologií.

### 2. Technologie monitorovacího systému

Celý monitorovací systém je navržen jako vícevrstvý, kde každá vrstva je optimalizována z hlediska své charakteristické role v systému. Celý systém lze rozčlenit do následujících vrstev:

- čidla a komunikátory čidel,
- koncentrátory komunikace, komunikační interface,
- serverové zázemí.

Vrstva systému tvořená čidly a komunikátory čidel je první v celém řetězci sběru a zpracování dat; jedná se o vlastní čidla snímaných veličin (např. teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, intenzity

**Ing. Petra Štefcová, CSc.**  
Národní muzeum  
petra\_stefcova@nm.cz

**Ing. Michal Pech**  
Národní muzeum  
michal\_pech@nm.cz

**Mgr. Michael Kotyk**  
Národní muzeum  
michael\_kotyk@nm.cz

**Ing. Jaroslav Valach, PhD.**  
Ústav teoretické a aplikované  
mechaniky Akademie věd  
České republiky v.v.i.  
valach@itam.cas.cz

**Prof. Ing. Karel Juliš, DrSc.**  
Ústav teoretické a aplikované  
mechaniky Akademie věd  
České republiky v.v.i.  
karel@itam.cas.cz

**Ing. Jiří Frankl, PhD.**  
Ústav teoretické a aplikované  
mechaniky Akademie věd  
České republiky v.v.i.  
frankl@itam.cas.cz

osvětlení viditelným a UV světlem, koncentrace plyných příměsí v atmosféře rozdílového tlaku aj.).

**Druhou vrstvu tvoří tzv. koncentrátoři komunikace**, které slouží ke sběru dat z komunikátorů čidel (1. vrstva), k jejich základnímu zpracování, případnému místnímu uložení a odeslání do serverového zázemí (3. vrstva). Struktura jejich software je opět modulární, obdobně sestavená z odpovídajících *frontend* a *backend* bloků, jejichž služeb využívá jádro systému koncentrátoru. Uživateli toto řešení dává naprostou svobodu volby přenosového média mezi komunikátory a koncentrátoři, tedy mezi vrstvami 1 a 2.

**Třetí vrstvu tvoří serverové zázemí projektu**, které je místem, kde se shromažďují a zpracovávají informace z koncentrátorů komunikace. Zde je předpoklad prakticky výhradního připojení přes TCP/IP síť, ať už datovými okruhy, nebo prostřednictvím GSM/GPRS.

Pro potřeby projektu byl pořízen a nainstalován odpovídající server, který byl umístěn v budově ÚTAM AVČR v Praze. Zároveň s tím bylo zprovozněno online zálohování dat na geograficky vzdáleném serveru (Centrum Excellence Telč), čímž je garantován vysoký stupeň ochrany získaných dat před ztrátou či poškozením.

Vyrobené prototypy modulárního systému (sestava několika komunikátorů čidel a dvou koncentrátorů komunikace, čidla na snímání teploty, relativní vlhkosti, úrovně osvětlení a tlaku) byly v roce 2013 a 2014 spolehlivě a bezporuchově provozovány na několika výstavách Národního muzea ve vitrínách s mimořádně cennými exponáty (výstava „Monarchie“, výstava „Zámořské objevy“, výstava „Peníze“ aj.) (obr. 1). Průběh měřených hodnot sledovaných veličin byl přístupný on-line z počítačů řešitelů projektu, čímž byl významně zvýšen komfort obsluhy vitrín s možností okamžité reakce na byť jen drobné výkyvy, což lze dobře dokumentovat na

grafických výstupech (časový průběh měřených veličin). Velkou výhodou vyvíjeného systému je široká možnost volby typu čidel podle potřeb v konkrétním umístění. Např. čidlo osvětlení ve vitríně se šaty císařovny Sissi bylo umístěno externě pomocí kabelu tak, aby měření probíhalo v místě nejintenzivnějšího osvětlení. Podobně lze snímače vybavit externími čidly teploty a relativní vlhkosti. Pro monitoring vybraných předmětů je možné zvolit nákladnější čidla s vysokou přesností měření, běžně používaná čidla měří teplotu s přesností 0,1 °C a relativní vlhkost s přesností 1 % (obr. 2).

### 3. Nové prvky systému

Vývoj a kompletace dalších (nových) typů čidel navazovala na studium dalších konkrétních (fyzikálních a biologických) parametrů vnitřního prostředí některých depozitářů/expozic Národního muzea.<sup>1</sup>

#### 3.1 Senzor na detekci lezoucího hmyzu

V květnu r. 2013 byl navržen a sestaven první prototyp zařízení pro detekci lezoucího hmyzu na principu uzavřené komůrky s jedním vstupem, vybaveným elektronickou dvojitou závorou, zabudovaným osvětlením a vlastním snímačem – kamerou. Jako návnada byla do komůrky umístěna potrava nebo feromonové lákadlo (obr. 3). Průchodem hmyzu závorou dojde k zapnutí osvětlení (bílé nebo IR) a aktivaci záznamového zařízení (kamera). Přenos obrazu je řešen bezdrátově na vzdálené úložiště přístupné přes webové rozhraní. Kameru lze nastavit i pro časoběrné snímání nezávislé na elektronické závoře a pořizovat snímky v pravidelných intervalech. Pro zpracování získaných snímků byl vytvořen software, který pomocí obrazové analýzy umožňuje zobrazit aktivitu hmyzu ve formě grafu (obr. 4). Zároveň je možné nastavit zaslání výstrah ve formě emailu nebo SMS zprávy při překročení předvolené změny obrazu.

<sup>1</sup> ŠTEFCOVÁ, Petra a kol. *Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních parametrů depozitářů a expozic.* Múzeum, 2014, roč. LX, č. 3, s. 41–45.

ŠTEFCOVÁ, Petra a kol. *Pest management in museum collections and storage areas (new approach – online sensors for pest detection).* *Journal of Environmental Science and Engineering, A 3* (2014) 1–13. Formerly part of *Journal of Environmental Science and Engineering.*

ŠTEFCOVÁ, Petra, VALACH, Jaroslav a JULIŠ, Karel. *Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních charakteristik depozitářů a expozic.* In: *Zborník príspevkov konferencie CSTI 2013 Conservation Science, Technology and Industry, Bratislava 2013.* Bratislava, 2013 s. 201–218.

2 JOHNSON, Arne P., HANNEN, W. Robert. A ZUCCARI, Frank. *Vibration Control During Museum Construction Projects. Journal of the American Institute for Conservation*, 52, 1, 2013, s. 30–47.

3 STOLOV, Nathan. *Procedures and conservation standards for museum collections in transit and on exhibition. Unesco*, 1981.

HEATHER, Norville Day, TOWNSEND, Joyce H. a GREEN, Timothy. *Degas Pastels: Problems with transport and examination and analysis of materials. The conservator*, 17, 1, 1993, s. 46–55.

4 SAUNDERS, David. *Monitoring shock and vibration during the transportation of paintings. National Gallery Technical Bulletin*, 1998, s. 64–73.

5 WATTS, Siobhan a kol. *In control or simply monitoring? The protection of museum collections from dust and vibration during building works. 2002*, s. 108–115.

JOHNSON, Arne P., HANNEN, W. Robert., ZUCCARI, Frank. *Vibration Control During Museum Construction Projects. Journal of the American Institute for Conservation* 52, 1, 2013, s. 30–47.

6 THICKETT, David. *Vibration damage levels for museum objects. In: ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC: 13<sup>th</sup> Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002: preprints. Vol. 1. ICOM-CC; James & James, 2002.*

7 SAFAK, Erdal, CAKTI, Esera KAYA, Yavuz. *Seismic wave velocities in historical structures: a new parameter for identification and damage detection. In: Proceedings of (IOMAC 2009) the 3<sup>rd</sup> international modal analysis conference, Ancona, Italy. Italy, 2009, s. 4–6.*

### 3.2 Senzor na detekci přítomnosti polétavého hmyzu

V srpnu r. 2013 proběhl úvodní experiment navrženého a sestaveného prototypu zařízení (čidla) pro detekci přítomnosti polétavého hmyzu (např. rodu *Trineola* – mol). Jedná se o feromonovou lepovou past sledovanou optickým snímačem (kamerou) v časosběrném režimu snímání. Senzor pořizuje fotografie dané plochy a vyhodnocuje zaznamenané změny mezi sebou následujícími obrazy (obr. 5).

Bezprostředně po odzkoušení prvních prototypů obou druhů čidel následovalo praktické ověřování funkčnosti a spolehlivosti kontinuálního monitoringu „biologických“ parametrů vnitřního prostředí; v roce 2014 to bylo např. v celkem čtyřech depozitárních objektech/prostorách Národního muzea, lišících se jak stavebním charakterem objektu, tak i jeho umístěním v městské/krajinné aglomeraci (Musaion v Letohrádku Kinských na Praze 5, zámek Vrchotovy Janovice, Památník Josefa Suka v Křečovicích, depozitární komplex Historického muzea Národního muzea v Terezíně). Příklad praktické aplikace senzoru na monitoring polétavého hmyzu je uveden na obr. 6.

Oba druhy senzorů pro detekci přítomnosti biologických škůdců jsou navrženy přesně podle potřeb ochrany předmětů kulturního dědictví; u čidel je počítáno s dostatečně přizpůsobivou architekturou a dostatečnou variabilitou vstupních rozhraní tak, aby byla zaručena kompatibilita všech senzorů.

### 3.3 Senzor na měření vibrací

Relativně riskantní jsou veškeré operace spojené s přesunem sbírkového předmětu, a to až v rámci depozitáře či vlastního objektu, nebo v rámci jeho transportu na jiné místo, např. za účelem restaurování mimo objekt muzea nebo při zapůjčení na výstavu jiné instituce, kdy jsou předměty vystaveny riziku poškození v důsledku pádu nebo vibrací.<sup>2</sup>

Nejvíce ohroženy jsou – ze zřejmých důvodů – křehké předměty (např. skleněné či keramické), které mohou být nevratně poškozeny i při relativně mírném pádu. Jiný typ předmětů, jako např. sbírky preparátů hmyzu nebo obrazy s nesoudržnou malbou, mohou být vážně poškozeny působením nepříliš silných vibrací, které mohou během přepravy snadno uniknout pozornosti.<sup>3</sup> Z další studie vyplývá zjištění, že předměty v menších obalech jsou často vystaveny vážnějším otřesům, s rozměrnými zavazadly je nakládáno opatrněji (obr. 7).<sup>4</sup>

Získat data o průběhu přepravy, ze kterých by bylo možné mechanické namáhání předmětu hodnotit, je však značně obtížné. I když v současné době již existují senzory zaznamenávající způsob namáhání předmětu v průběhu transportu (např. časový průběh zrychlení, povaha otřesů a vibrací aj.), není uvedený způsob monitorování podmínek transportu příliš rozšířen.

Vibrace však ohrožují sbírkové předměty nejen při transportu. Je známo, že budovy situované v blízkosti dopravních komunikací mohou vibrační působení přenášet na deponované předměty v objektech; v dlouhodobém měřítku tak mohou vibrace přispívat k poškození předmětů kulturního dědictví. Ještě větší riziko pak představují stavební práce při rekonstrukci budovy<sup>5</sup>; škodlivé však mohou být i vibrace vyvolané pohybem osob v interiéru, zvláště v historických budovách s dřevěnou konstrukcí podlah.<sup>6</sup> V některých geografických oblastech může docházet k poškození předmětů i v důsledku seizmické aktivity.<sup>7</sup>

Hodnocení vlivu tohoto druhu zatížení je komplikováno rovněž i povahou mechanického poškození předmětů, které může být skryté a projevit se až po delší době. V praxi zpravidla není možné jednoznačně označit jako příčinu poškození předmětu konkrétní průběh vibrací nebo otřesů. Jistým zjednodušením je provést cílené měření až po zjištění mechanického poškození předmětu. Při podobném průzkumu v Britském muzeu



prováděném v průběhu rekonstrukce budovy bylo zjištěno, že k poškození mohou vést vibrace o síle od 0,2 g, což je hodnota, která může být snadno překročena např. při železniční nebo automobilové přepravě předmětu. Vlivem otřesů docházelo nejčastěji ke vzniku a rozvoji trhlin na nástěnných malbách a k poškození polychromie kamenných a keramických plastik. Míra přenosu vibrací na sbírkové předměty samotné je výrazně ovlivněna i způsobem uložení předmětů a jejich adjustace (materiál podložky, druh uchycení apod.).<sup>8</sup> Metodiku hodnocení vibrací nabízí výzkum provedený kolektivem Arne Johnsona publikovaný v roce 2013.<sup>9</sup>

Výsledky získané pomocí v projektu NAKI DF 12-27 vyvinutých a konstruovaných čidel jsou potvrzením předpokladu, že **předměty jsou vystaveny většímu nebezpečí při ruční manipulaci (nakládka, vykládka) než při následném transportu**. Pomocí GPS lze rovněž promítnout aktuální polohu, při které došlo k nějakému mimořádnému ději. Ve spojení s GSM modulem pak lze zjišťovat podmínky uvnitř transportního boxu na dálku (obr. 8).

Experimentální ověření první verze senzoru pro komplexní monitoring podmínek transportu sbírkového předmětu probíhalo při přepravě transportního boxu s předmětem simulujícím skutečný sbírkový předmět, a to při reálném transportu jiných sbírkových předmětů firmou specializující se na transport uměleckých předmětů. Při porovnání zrychlení transportního boxu a vlastního objektu se např. ukázalo, že simulovaný přepravní kontejner nepracoval optimálně, neboť nezajistil dostatečné tlumení z důvodu příliš pevného uložení objektu v molitanu uvnitř transportního boxu.

Během transportu se vyskytlo pouze několik otřesů; není bez zajímavosti, že všechny se odehrály během přepravy transportního boxu po Praze (obr. 9).

#### 4. Závěr

Předkládaný článek je stručnou prezentací některých dílčích výstupů projektu s názvem *Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních parametrů depozitářů a expozic*, jehož hlavním a základním cílem je průběžné hodnocení environmentálních charakteristik depozitářů a expozic situovaných v různých typech objektů, a to s využitím moderních informačních a komunikačních technologií, umožňujících on-line přenos měřených veličin a sledovaných parametrů přímo na pracovní plochu počítače konkrétního uživatele. Předností vyvíjeného systému je jeho modularita – možnost připojení mnoha druhů senzorů a jejich budoucího doplnění o další typy. Neméně důležitá je nízká cena používaných senzorů, která umožňuje nasazení většího počtu čidel se srovnatelnou přesností, jakou mají dostupné komerční systémy. A v neposlední řadě je přínosem i otevřenost zvoleného řešení, veškerá dokumentace k hardware i software systému bude zveřejněna k využití v dalších institucích.

#### Poděkování

Projekt „Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních charakteristik depozitářů a expozic“ (č. DF-12P01OVV27) je řešen z prostředků účelové podpory poskytnuté z Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity (NAKI) Ministerstva kultury České republiky. Řešitelé touto cestou děkují Ministerstvu kultury ČR za možnost projekt uskutečnit.

#### Použité zdroje

HEATHER, Norville Day, TOWNSEND, Joyce H. a GREEN, Timothy. Degas Pastels: Problems with transport and examination and analysis of materials. *The conservator*, 17, 1, 1993, s. 46–55.

JOHNSON, Arne P., HANNEN, W. Robert. A ZUCCARI, Frank. Vibration

<sup>8</sup> THICKETT, David. *Vibration damage levels for museum objects*. In: ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC: 13<sup>th</sup> Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22-27 September 2002: preprints. Vol. 1. ICOM-CC; James & James, 2002.

<sup>9</sup> JOHNSON, Arne P., HANNEN, W. Robert. A ZUCCARI, Frank. *Vibration Control During Museum Construction Projects*. *Journal of the American Institute for Conservation*, 52, 1, 2013, s. 30–47.

- Control During Museum Construction Projects. *Journal of the American Institute for Conservation*, 52, 1, 2013, s. 30–47.
- SAFAK, Erdal, CAKTI, Esera KAYA, Yavuz. Seismic wave velocities in historical structures: a new parameter for identification and damage detection. In: *Proceedings of (IOMAC 2009) the 3<sup>rd</sup> international modal analysis conference, Ancona, Italy*. Italy, 2009, s. 4–6.
- SAUNDERS, David. *Monitoring shock and vibration during the transportation of paintings*. National Gallery Technical Bulletin, 1998, s. 64–73.
- WATTS, Siobhan a kol. *In control or simply monitoring? The protection of museum collections from dust and vibration during building works*. 2002, s. 108–115.
- STOLOW, Nathan. *Procedures and conservation standards for museum collections in transit and on exhibition*. Unesco, 1981.
- ŠTEFCOVÁ, Petra. a kol.. Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních parametrů depozitářů a expozic. *Múzeum*, 2014, roč. LX, č. 3, s. 41–45.
- ŠTEFCOVÁ, Petra. a kol. Pest management in museum collections and storage areas (new approach – online sensors for pest detection). *Journal of Environmental Science and Engineering*, A 3 (2014) 1-13. Formerly part of *Journal of Environmental Science and Engineering*.
- ŠTEFCOVÁ, Petra, VALACH, Jaroslav a JULIŠ, Karel. Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních charakteristik depozitářů a expozic. In: *Zborník príspevkov konferencie CSTI 2013 Conservation Science, Technology and Industry*, Bratislava 2013. Bratislava, 2013 s. 201–218.
- THICKETT, David. Vibration damage levels for museum objects. In: *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC: 13<sup>th</sup> Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002: preprints*. Vol. 1. ICOM-CC; James & James, 2002.

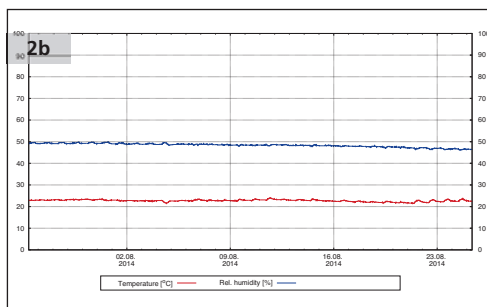
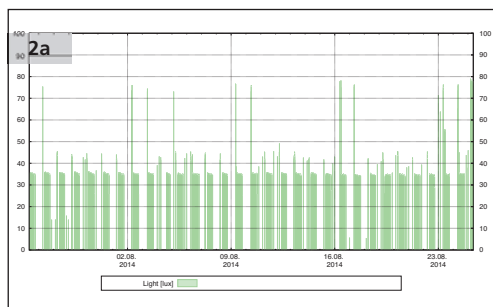
#### **Použité zkratky**

- TCP** = Transmission Control Protocol (jeden ze základních protokolů internetu, představující transportní vrstvu; garantuje spolehlivé doručení dat ve správném pořadí)
- IP síť** = Internet Protocol (základní / komunikační/ protokol používaný pro internet, e-mail a téměř každou nově instalovanou síť)
- GSM** = Global System for Mobile Communications (nejrozšířenější standard pro mobilní telefony)
- GPRS** = General Packet Radio Service (mobilní datová služba přístupná v rámci sítě GSM)

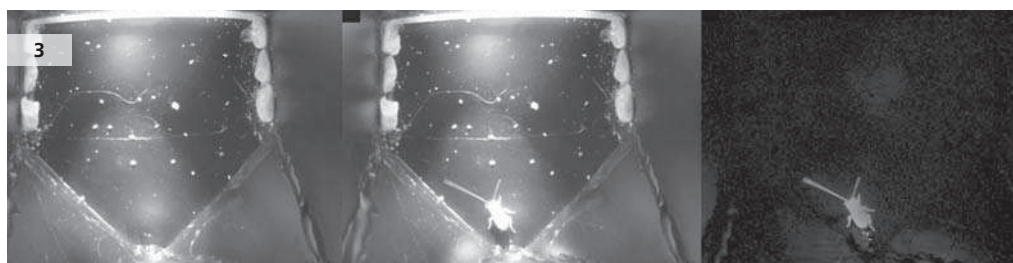
## Obrazová příloha



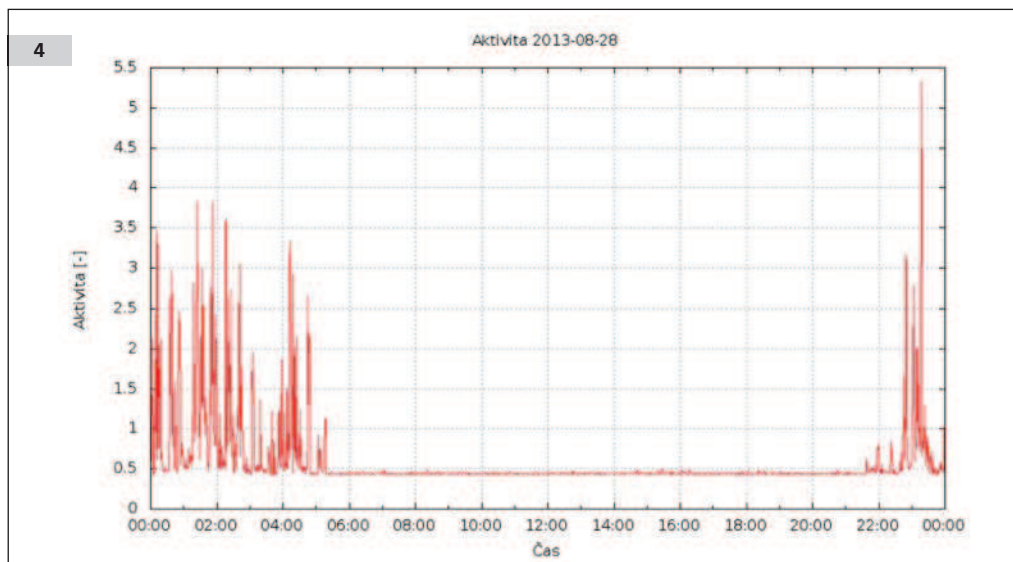
Obr. 1: Modul s čidly pro kontinuální on-line monitoring teploty, relativní vlhkosti a osvětlení v jedné z vitrín výstavy „Peníze“ (kniha Adama Smithe *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*; vydáno v Londýně v roce 1776, zápůjčka z Österreichische Nationalbibliothek ve Vídni).



Obr. 2 Grafický záznam časového průběhu teploty a relativní vlhkosti (a) a úrovně osvětlení (b); (výstava „Peníze“, vitrina s knihou Adama Smithe *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*, Londýn, 1776, zápůjčka z Österreichische Nationalbibliothek ve Vídni).



Obr. 3: Detekce změn (pohybu) v detekční komoře lezoucího hmyzu.



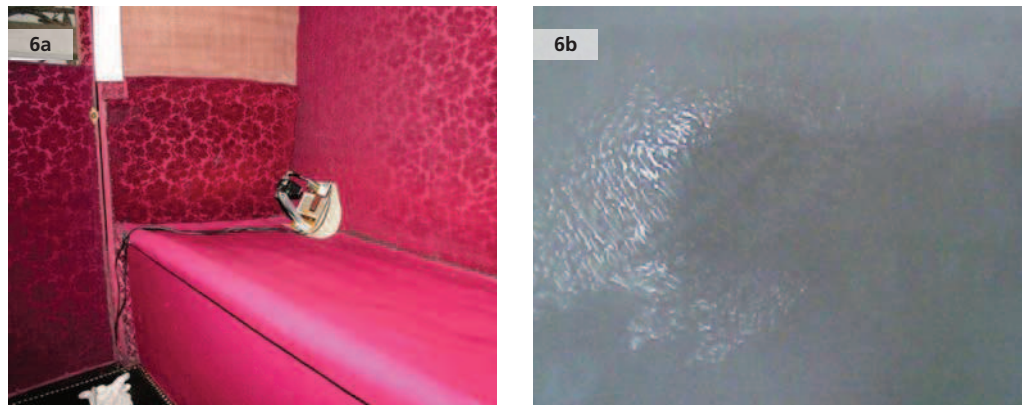
Obr. 4: Ukázka výstupu obrazové analýzy – grafický záznam aktivity lezoucího hmyzu v průběhu dne.



Obr. 5: Série snímků zachycených senzorem polétavého hmyzu s grafickým výstupem obrazové analýzy (identifikace nově zachycených jedinců).



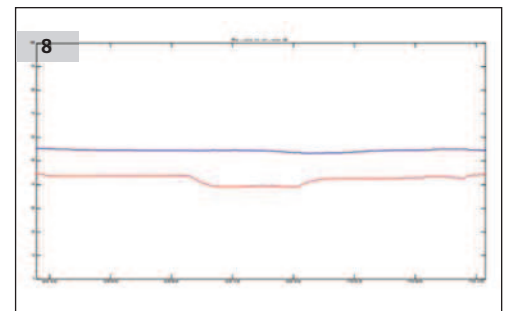
Obr. 6: Modul pro kontinuální on-line monitoring detekce přítomnosti polétavého hmyzu a) umístění senzoru, b) ukázka on-line fotografie z průběhu měření (přítomnost polétavého hmyzu neprokázána).



Obr. 7: Transportní kufr s transportovaným předmětem.



Obr. 8: Příklad záznamu časového průběhu relativní vlhkosti během přípravy a v průběhu transportu; červená křivka zachycuje hodnoty zaznamenané snímačem umístěným ve vnitřním prostoru boxu, modrá křivka relativní vlhkost v místě spojeném s transportním boxem (vodorovná osa – čas, svislá osa – relativní vlhkost).



Obr. 9: Trasa transportu.

