

Udržitelnost sbírek v muzeích a galeriích

Sledování kvality prostředí v muzeích a galeriích

Jaroslav Valach, Karel Juliš, Benjamin Wolf

Základní idea preventivní péče a modulární systém senzorů

Základní ideou projektu je zvýšení ochrany předmětů kulturního dědictví před působením negativních vlivů, což je zároveň základním cílem preventivní péče o kulturní dědictví. Naplnění tohoto cíle přineslo vývoj variabilního skladebného modulárního systému pro monitorování a matematické zpracování veličin popisujících rizika ohrožení vystavovaných sbírkových předmětů, což je podmínkou pro komplexnější přístup k preventivní péči o předměty kulturního dědictví. Omezené rozpočty kulturních institucí si vynucují hledání úsporných řešení, která by zachovala hlavní poslání, jež lze v případě muzeí spatřovat v péči o sbírky a jejich zpřístupnění veřejnosti. Je proti duchu doby, aby pracovníci muzeí plýtvali svým časem na úkony, jakými jsou například obcházení lepových pastí, záznamníků prostředí, dozimetrů apod., místo toho, aby se věnovali své odborné činnosti – péči o sbírky. Je proto žádoucí tyto úkony automatizovat a záznamy používat nejen k úpravě klimatu sbírek, ale také pro další výzkum. Ukazuje se totiž, že monitorování vnitřního prostředí sbírek se sice stalo běžnou praxí v muzeích, ale dlouhodobé sledování a vyhodnocování zaznamenaných dat má dosud nevyčerpané možnosti. Ačkoli jsou data cennou surovinou budoucího poznání, zdaleka nebývá ukládání zaznamenaných hodnot samozřejmostí. Jedním z příkladů je i to, že díky analýze jemné degradace exponátů, ke které dochází i přes veškerou péči o sbírkové předměty, lze upravit bezpečné meze prostředí.

Konflikty v ochraně sbírek

Ideálních podmínek pro ochranu sbírek nelze vždy dosáhnout. Bývají totiž v konfliktu s jinými zájmy a hodnotami, které ve své činnosti muzeum jakožto kulturní instituce sleduje. Pro ilustraci takových rozporných požadavků lze uvést několik příkladů (**obr. 237**).

Muzea jsou často situována v chráněných budovách: zde dochází ke konfliktu mezi ochranou budovy a ochranou exponátů (budova např. neumožňuje ideální zateplení, instalaci klimatizačního zařízení) – musí nastat určitá forma kompromisu. Jiným příkladem může být vystavování předmětů citlivých na světlo, jako jsou různé barvené textilie, fotografické desky a podobně. Uchováním ve tmě by se životnost předmětů prodloužila, ale posláním muzea je své



OBRAZEK 237: Příklady konfliktů v ochraně sbírek

sbírkové předměty také vystavovat a poskytnout návštěvníkovi dostatek světla, aby předmět mohl pozorovat. Následuje otázka škůdců ve sbírkách. Pro jejich eliminaci (např. plynováním) dochází k vystavení návštěvníků muzeí potenciálně škodlivým látkám. Preventivní plynování se provádí plošně a nevyběrově, ačkoli by bylo možné je omezit pouze na sbírky s pozitivní detekcí škůdců. Lze se tedy ptát, jaké je řešení takových konfliktů? Odpovědí je kvantitativní poznání rozhodných veličin, které pomůže najít úzkou cestičku mezi těmito rozpory, cestičku, jež nám umožní stanovit v daném místě optimální režim. V jistém smyslu lze parafrázovat výrok lorda Kelvina: „Pokud člověk opravdu něčemu rozumí, je schopen to vyjádřit číslem.“ Nasazení čidel vede k tomu, že lze prostředí exponátu kvantifikovat a pomocí jejich instalací tudíž odpovědět na některé otázky pro život (a životnost) sbírek rozhodující.

Rozsah nasazení čidel rozhoduje o úspěchu zvoleného přístupu, a proto je pro dosažení potřebného počtu čidel nutné instalovat je v interiérech muzeí s minimálními náklady a minimálními zásahy. Tyto požadavky lze naplnit několika způsoby: adaptovat existující čidla (např. v Centrálním depozitáři Horní Počernice – jsou instalována pro udržování stálého klimatu, ale data poté, co bylo prostředí zregulováno, nebývají dále nevyužita); připojit vlastní rozhraní ke stávajícím záznamníkům dat (vyžadujícím manuální stahování dat nebo ve kterých jsou data prezentována v uzavřeném /propietárním/ formátu, tudíž s nimi nelze dále nakládat); především pak vývojem vlastních čidel.

Centrální pult ochrany sbírek

Po oživení je celý systém k dispozici uživatelům v podobě webové aplikace, která jednotným způsobem ovládá velmi různorodé části. O webovém rozhraní můžeme hovořit jako o centrálním pultu ochrany sbírek, který celý systém modulárních snímačů zastřešuje. Jedno rozhraní a jedno místo zajišťuje přístup ve všech úrovních – od samostatných poboček přes jejich místnosti a všechny v nich umístěné vitríny až k jednotlivým snímačům. Tyto snímače jsou obvykle

konstruovány jako víceparametrové a vzdálený přístup určuje i volbu sledovaného parametru. Administrátor systému smí upravovat a přidávat budovy i další měřicí místa. Každá budova má v databázi základní údaje – adresu, GPS pozice, internetovou adresu, jednotlivé místnosti v budově, půdorysy, popis místnosti a materiály v místnostech uložené. Následují jednotlivé měřicí body, kterých může být v každé místnosti několik. K měřicím bodům přiřazujeme jednotlivé senzory. Můžeme např. vyměnit senzor za jiný, přiřadit ho ke stejnému bodu a měření pak na sebe bude navazovat. Záznamy dat pořízené čidly jsou následně ukládány na centrální server, kde jsou k dispozici nejen pro aktuální vyhodnocení stavu ve sbírkách, ale také k tomu, aby se mohlo pracovat s celou retrospektivou měření. Zpětná analýza záznamů může přispět k ochraně exponátů. Reálné prostředí v muzeu zaostává za ideálním, a proto i přes veškerou snahu dochází k mírné degradaci zvláště citlivých exponátů. Jsou-li ze záznamů známy hodnoty prostředí v minulosti, lze u řízeného klimatu přestavět meze, které budou pro jejich další existenci ve sbírce bezpečné. Naopak je úzkostlivé lpění na některých parametrech pro méně citlivé exponáty mnohdy zbytečné a zvyšuje energetické nároky udržování klimatu v budově.

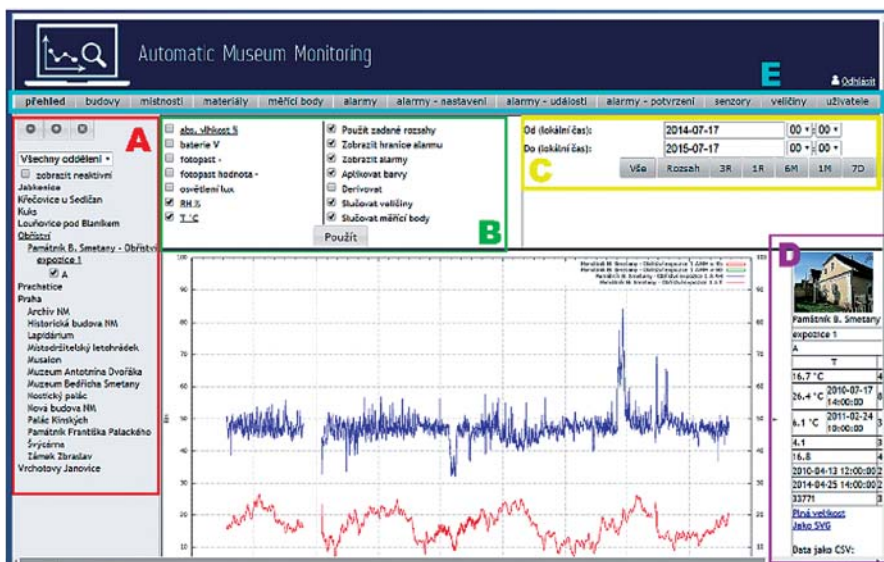
Uživatelské rozhraní zabezpečuje díky řešení přes webové stránky na platformě nezávislé ovládání a přístup k systému, jak ukazuje **obrázek 238**. Uživatel má tak na jednom místě shromážděná veškerá zaznamenaná data. Může je podle potřeby zobrazovat a určovat chování systému nastavením bezpečných mezí a také reakci systému následující po vybočení z těchto mezí. Do systému je možné zapojit všechna čidla – jak komerční, tak také nově vyvinutá. Výhody tohoto systému lze spatřovat v tom, že jsou všechna data na jednom místě, přístup do databáze je možný odkudkoliv přes internet. Další předností je variabilita čidel – lze připojit jakékoliv, nahrát libovolné funkce a statistiky, systém má otevřený software, je přístupný pro každého přes jednotný přístupový protokol, je výhodný pro malé (používající jen dataloggery nebo některé naše senzory) i velké instituce, které mají několik systémů a potřebují spojit výstupy do jedné databáze.

Zobrazení dat

Do webového rozhraní je možné načíst i několik senzorů najednou. Zobrazí se pod sebou nebo v jednom grafu. Lze si vybírat i měřené veličiny, např. jen vlhkost a absolutní vlhkost, vlhkost a teplotu, libovolné kombinace včetně určení období, pro které budou data vykreslena. Spolu s vykreslením grafu se načítají běžné statistiky pro vybraná období a jsou k dispozici i pokročilejší funkce, např. integrální hodnota pro měření osvětlení. Pro další zpracování vybrané podmnožiny záznamů lze data exportovat. Výstup je v textovém formátu a proto umožňuje data dále zpracovat v programech jako např. MS Excel.

Výstrahy

Pro každý měřicí bod je možné nastavit podmínky pro zasílání výstrah v případě překročení zadaných prahových hodnot. Např. při poklesu relativní vlhkosti v depozitáři pod 35 % po dobu delší než 300 minut odešle systém výstražný e-mail na zadanou adresu. Výstrahu lze nastavit i u online senzorů v případě výpadku. Po nastaveném časovém úseku zašle výstražný systém zprávu, že došlo k výpadku měření a je tedy nezbytné zasáhnout. Výstražné e-maily obsahují informace o měřicím bodu, překročené hodnotě a je zde také odkaz na stránku, na které lze potvrdit přijetí výstrahy. Pracovník muzea může potvrdit přijetí výstrahy a zapsat svůj komentář. Záznam potvrzených i nepotvrzených výstrah je uložen v databázi.



OBRAZEK 238: Hlavní prvky uživatelského rozhraní

Technologické komponenty systému

Základní myšlenky tohoto systému jsou následující:

Jedná se o otevřený systém, který charakterizují modularita a záměnnost použitých senzorů; škálovatelnost od malého regionálního nebo soukromého muzea až po nasazení v Národním muzeu; možnost spojení senzorů do vyšších celků a jejich záměnnost, pokud se někdo rozhodne použít senzor vyšší kvality. Odlišnost požadavků je uspokojena variabilitou formy (konfigurací) nasazení, variabilita komunikačních kanálů zaručuje, že bude možné data přenést do serveru a k pracovníkům muzea. Tato otázka není triviální – jsou muzea, kde např. není internet a nemusí v nich být ani pevná telefonní linka, a přesto i zde musíme být schopni dopravit data do cílového určení (centrálního sběrného místa). Tento systém by měl mít tedy co nejvariabilnější komunikační kanály + některé komunikační kanály energeticky náročné (tzn. mnoho energie na provoz např. u mobilního telefonu), z tohoto důvodu jsme se snažili dosáhnout největší variability komunikačních nástrojů. Zpracování dat se přirozeně liší podle sledované veličiny, je zde variabilita vyhodnocovacích nástrojů. Na úrovni serveru též probíhá zálohování dat. Dlouhá časová retrospektiva dat zase umožní dodatečně dohledání doby, kdy se ve sbírce či depozitáři stala nehoda.

Otevřené datové struktury umožňují, aby byla data volně přístupná k dalšímu libovolnému zpracování třetí straně, usnadňují vytváření i zpracování výsledků, nabízejí veřejně psaný protokol, dovolující vazbu zařízení třetích stran, dále umožňují snadné vyhledávání chyb v komunikaci a jednoznačně definované předávání dat k dalšímu zpracování.

Fyzické uspořádání systému

Systém je hierarchicky uspořádán. Jeho vrcholem je server, který komunikuje s jednotlivými čidly a který je ovládán pracovníky muzeí. Lze na něm provádět dotazování a získávat nové informace o současném stavu vybrané sbírky, o statistice překročení mezí apod. Cílem ukládání záznamů je uchovat data v otevřeném formátu, který je přizpůsobený pro sémantické vyhledávání v datech, aby byla data dostatečně anotována, a pokud někdo bude chtít s daty pracovat v budoucnu, aby v nich našel dostatek informací, které vysvětlí jejich smysl. Záznamy proto obsahují metadata a byl použit .xml formát. Otevřený formát dále pomůže při „dolování dat“ – dataminingu. Dalším důležitým bodem je komunikace mezi komponentou včasného varování systému a pracovníky muzea, kteří se tak dozví o aktuální situaci ve sbírkách, aniž by je museli permanentně obcházet.

Koncept snímačů

Obecně lze na vytvořené snímače hledět jako na propojení některé z měřených proměnných s dostupnou formou přenosu danou seznamem komunikačních cest. Prostředníkem je řídicí jednotka, která tyto konce propojuje a realizuje celé měření.

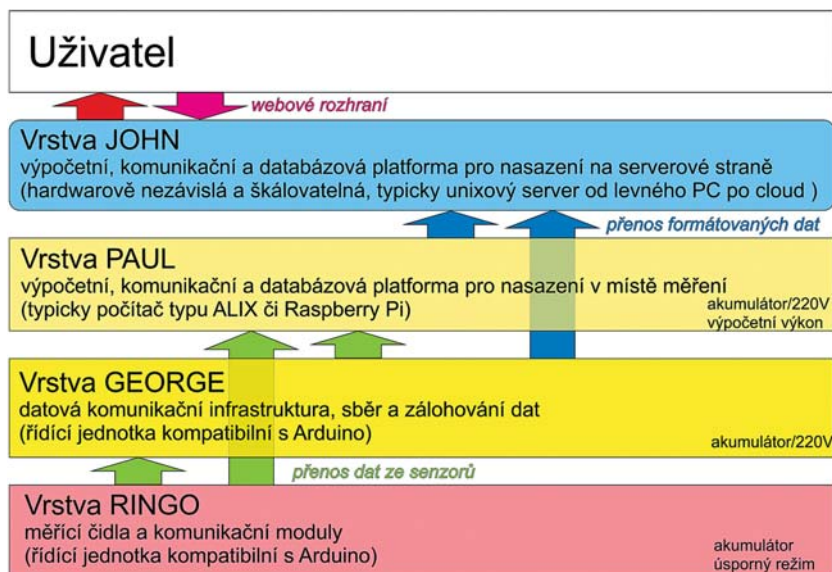
Návrh a komponenty čidel

Návrh sleduje zásady nízkých nákladů a otevřených standardů. Pro návrh byly voleny běžně dostupné a levné elektronické a IT součásti, které usnadňují připojení na další rozhraní – systém je koncipován tak, že umožňuje vazbu do prostředí, ve kterém je umístěn (např. depozi-tář Horní Počernice), mechanické a konstrukční části jsou snadno a levně vyrobitelné na zakázku. Jde-li o jednotlivé kusy, díly lze vyrobit 3D tiskárnou, v případě velké série lze zadat sériovou výrobu komponentů u výrobce. Ovládání zařízení a zpracování dat maximálně využívá modelu „svobodného softwaru“, to znamená, že se využívá, co připravili ostatní, a vytvořený kód je k dispozici i dalším uživatelům. Pořizovací náklady na software jsou pak nulové. Výstupem projektu jsou podklady pro výrobu levných zařízení, které jsou stejně jako naše podpora řešitelů poskytovaná zájemcům volně k dispozici.

Vrstvový model

Po zohlednění značně různorodých požadavků na měřené parametry, na dostupné zdroje energie pro měřicí zařízení v uvažovaných lokalitách a možnosti přenosu dat v těchto místech se vrstvý model systému ukázal jako nejvhodnější.

Nejnižší vrstva čidel nazývaná RINGO provádí měření a posílá je vyšší vrstvě (**obr. 239**). Nejnižší úroveň měření a čidel je vyvinuta s cílem maximální úspory energie při provozu, aby mohla být umístěna v nepřístupných místech, například v zapečetěných vitrínách či depozi-tářích bez dostatečných rozvodů elektrické energie.



OBRAZEK 239: Schematické vyjádření závislosti mezi jednotlivými vrstvami systému

Data posílaná jednotlivými čidly jsou přebírána zařízeními ve vrstvě GEORGE, která je uspořádává a připravuje k dalšímu předání po komunikačně náročnějších cestách, jakými jsou například přenosy přes Ethernet nebo GSM mobilní sítě. Vrstva George tedy funguje jako komunikační koncentrátor, tzn. že v ní dochází ke snímání dat z jednotlivých RINGŮ a vytváří se z nich kompaktní tvar v otevřené formě.

Zařízení ve vrstvě PAUL slouží na rozdíl od vrstvy GEORGE k základnímu zpracování dat. Zařízení tohoto typu je nutné pro zpracování signálů z biosenzorů: v okamžiku, kdy je v obrazu zaznamenána změna, může být spuštěna určitá akce, aniž by byl nutný zásah nejvyšší vrstvy typu JOHN (centrální server).

- Vrstva RINGO – čidla s velmi nízkým příkonem a jejich podpůrné prostředky.
- Vrstva GEORGE – datová komunikační infrastruktura pro bezdrátovou i drátovou komunikaci.
- Vrstva PAUL – výpočetní, komunikační a databázová platforma pro nasazení v místě měření.
- Vrstva JOHN – výpočetní, komunikační a databázová platforma pro nasazení na serverové straně.

Logická struktura vrstev tohoto systému má jednoznačně definované dělicí hrany. Do všech dělicích rozhraní je možné připojení dalších zařízení, podobně je možné napojení dalšími aplikacemi na datové toky v systému. Podle zadání se vrstvy často slévají v jedno zařízení, použité komunikační protokoly poskytují velmi širokou škálovatelnost a variabilitu konfigurace.

Materiálové a sériové výrobní náklady na jednotlivé komponenty

Náklady kalkulované z ceny součástí a odhadované ceny při výrobě jednotlivých čidel a komponent lze zjednodušeně shrnout do následující tabulky.

TABULKA 21: Odhadované ceny při výrobě jednotlivých čidel a komponent

Zařízení typu RINGO	2 000–3 000 Kč
Biosenzor	2 000 Kč
Zařízení typu GEORGE (různé úrovně funkcionality)	3 000–8 000 Kč
Zařízení typu PAUL (běžné PC)	cca 10 000 Kč
Serverová platforma JOHN	> 10 000 Kč

Fyzická realizace vrstvy RINGO

Zařízení typu RINGO se skládá z jádra, předního rozhraní (front end, FE) a zadního rozhraní (back end, BE). Přední konec (ve Windows je užívaný výraz driver) je softwarová komponenta, která slouží pro komunikaci s konkrétním čidlem a vůči jádru má jednotné rozhraní. Přední konec předává signál od čidel již v předzpracované formě jádru, které zajišťuje odeslání dat přes odpovídající BE. Toto odesílání musí být co nejjednodušší, a proto byl zvolen rádiový přenos, který může mít podobu jednoduchého přenosu typu dálkového ovládnání na auto až po možnost připojení velké radiostanice a přenosu mezi kontinenty. Spolu s rádiovým přenosem lze využívat jako komunikační rozhraní Bluetooth (BT) nebo ZigBee, což je rádiová komunikace na krátkou vzdálenost přímo podporovaná komponentami do běžných počítačů. Data z RINGO zařízení vysílaná přes BT mohou být bezprostředně zpracována PC s BT adaptérem. Je tedy možné v jednom místě měřit a nedaleko, třeba ve vedlejší místnosti, data zpracovávat na PC.

Fyzická realizace vrstvy GEORGE

Vrstva GEORGE přijímá data od zařízení typu RINGO, ale i k nim lze připojit místní čidla, přičemž výkonnější jádro dovoluje místní zpracování, místní uložení a zálohování dat. BE jsou orientovány na intenzivnější přenos dat. Parametry zařízení typu George: kompatibilní s celou řadou RINGO, výstup RS 232 nebo USB, na výstupu je otevřený protokol, v síti jich lze použít libovolný počet, umožňuje paralelní využití měření libovolným počtem dalších subjektů.

Perspektivy vývoje

Perspektiva vývoje vede ke konceptu IoT (Internet of Things neboli „internet věcí“), který má zásadní vliv na komunikaci – i nejnižší vrstva bude realizovaná na úrovni klasické paketové komunikace IP. Čidla nejnižší úrovně se změní na senzor a budič, komunikace k výkonným členům může například zajistit zapnutí světel, sirén apod. Změna přinese výhody i nevýhody: komunikace je jednotná, obsahy jsou stále otevřené, dojde ke zvýšení přenosové rychlosti, komunikace bude oboustranná a přenos je garantovaný – součástí přenosu je potvrzení o doručení, mezi nevýhodami lze zejména počítat výrazně vyšší energetickou náročnost na úrovni základních čidel, vyšší nároky na součástky. Pokud nelze dostatek energie uskladnit v akumulátorech, nelze ji čerpat z prostředí? Jako východisko ze situace s vysokou spotřebou

zařízení na platformě IOT stojí za úvahu tzv. energy harvesting – „sklizení energie“ z procesů v okolí. Tato zbytková energie by stejně přišla vniveč. Příklady čerpání energie z okolí jsou známy dlouhou dobu, např. ruské náramkové hodinky z 50. let využívající energy harvesting (samonatahovací hodinky s kyvadélkem, které se při pohybu člověka samy natahovaly). Lze se tedy ptát, jaké jsou v muzeu k dispozici přirozené zdroje energie? Mezi ně lze zahrnout mechanické pohyby, rozdíly teplot, osvětlení, pohyb vzduchu. Bohužel ani jeden z uvedených zdrojů není schopen dodat potřebných 63 μW trvalého energetického přísunu. Nejslibnější je světlo, ale i v tomto případě kvůli nízkým hladinám osvětlení (z důvodu šetrnosti k exponátům), které navíc svítí jen v určitou dobu, a kvůli nízké účinnosti fotovoltaiky (PV), vychází PV panely nesmyslně veliké (pro 100 lx a osvětlení 8/24 vychází panel cca 30 × 30 cm). Naneštěstí už nezbyvá rezerva v dalším redukování výkonu procesoru. Pro ilustraci lze uvést, že ohřátí jedné náplně varné konvice využívá výkon 2 kW po dobu 3 minut, tedy 100 Wh. Na tento objem energie by zařízení typu RINGO dokázalo pracovat nepřetržitě cca 250 let. Naproti tomu pro trvalý chod zařízení vrstvy PAUL se dvěma biosenzory potřebujeme cca 5 W trvalého příkonu. Energii akumulátoru z traktoru (150 Ah) spotřebuje PAUL za 15 dnů.

Praktické příklady použití různých modulů

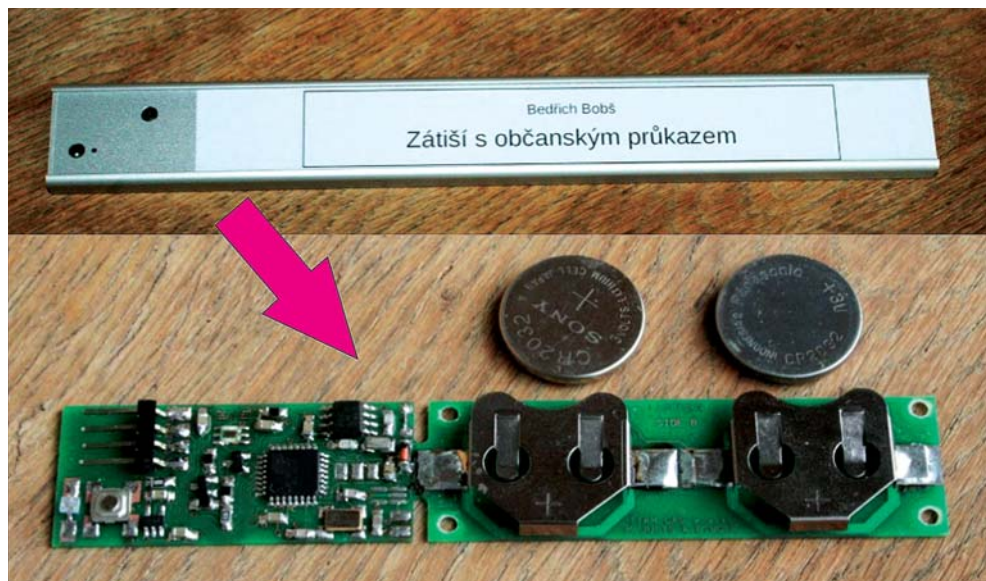
Prototypů existuje pouze několik, modulů není neomezené množství, proto se používají vždy, když je třeba pečovat o zvláště cenné předměty kulturního dědictví – jedno z prvních nasazení snímačů bylo provedeno na výstavě „Peníze“. Autonomním senzorem s rádiovým přenosem byly zaznamenávány časové průběhy měřených hodnot teploty, relativní vlhkosti a úrovně osvětlení ve vitríně s prvním vydáním knihy A. Smithe „An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations“ Londýn, 1776, zápůjčka z Österreichische Nationalbibliothek ve Vídni.

RINGO LIGHT 009

Jedná se o specializovanou verzi bloku RINGO pro jednoúčelovou aplikaci snímání světelné expozice světlo citlivých exponátů. Optická expozice se měří ve dvou spektrálních oblastech – širokopásmové měření a měření v oblasti infračerveného světla. Lze sledovat expozici v infračerveném nebo obráceně, případně ze širokopásmové křivky odečítat a matematicky si vypočítat expozici ve viditelné oblasti. Na dvě „knoflíkové“ baterie provádí „popiska k obrazu“ integrální záznam celkového nasvícení po dobu minimálně šesti měsíců a zjištěná data vydává čtecímu zařízení přes IČ rozhraní. Detailně je zařízení vyobrazeno na **obrázku 240**.

Příklady využití získaných dat

Vtáhnout návštěvníky do procesu konzervace a otázek uchování sbírky vnáší nový rozměr do zážitku návštěvy muzea. Implikací je nenechávat si data pro sebe, ale ukázat, že boj o zachování exponátu není samozřejmý, a podělit se o něj s návštěvníky. Snímače umístěné ve vitrínách s exponáty posílají data o vnitřním prostředí sběrné jednotce, která je může okamžitě zobrazovat, návštěvník získá možnost nahlédnout do péče o sbírku (**obr. 241**). Bezdrátová komunikace zajišťuje vysoce nerušící a estetické řešení ochrany, podmínkou je dlouhá výdrž baterií.



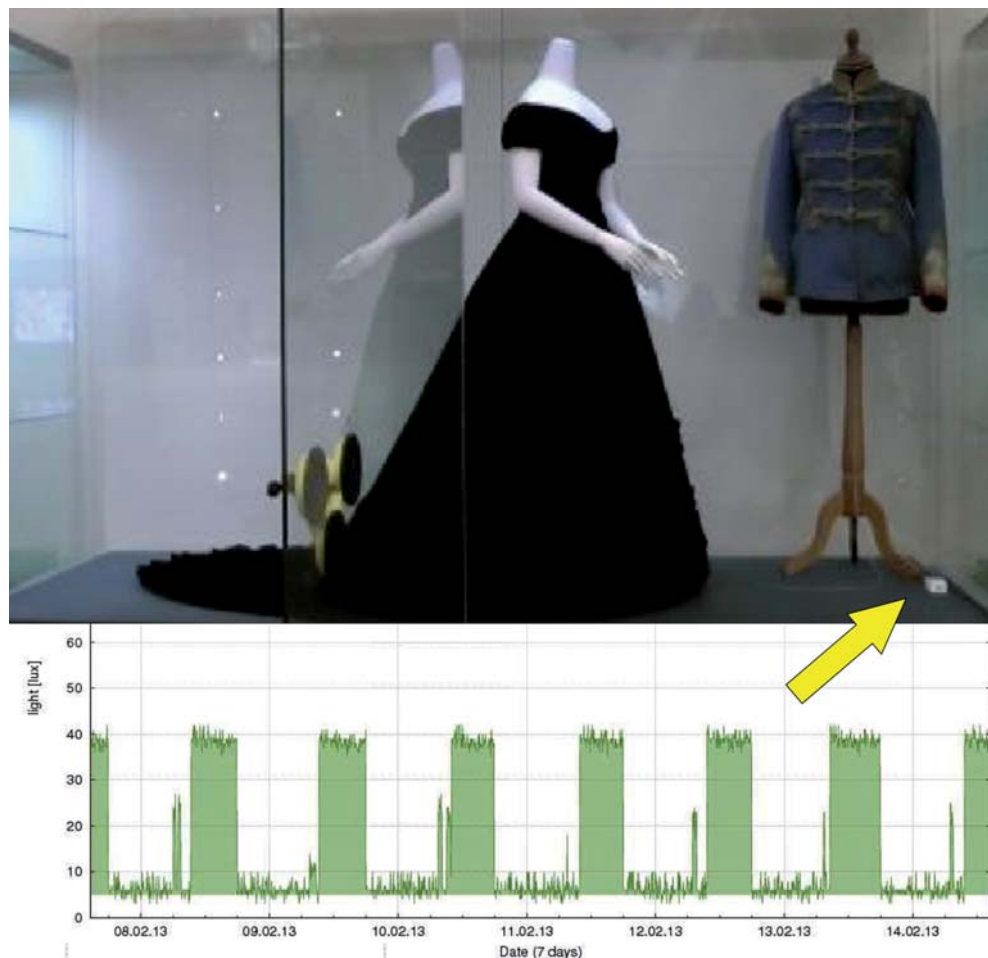
OBRAZEK 240: Světelný integrátor zaznamenávající celkovou radiační expozici objektu

Biosenzory

Moduly pro kontinuální on-line monitoring přítomnosti lezoucího a polétavého hmyzu jsou založeny na vyhodnocování časové řady snímků z webkamery tvořící jádro modulu. Prototypy modulů vyrobené na 3D tiskárně byly umístěné na výstavě „Archa“ v NM (senzor je vyobrazen na **obrázku 242** i s časovým záznamem signálu, který představuje změna barevnosti lepové plochy = nalepení dalších škůdců). Kombinuje se vhodné umístění do předpokládaných drah pohybu hmyzu a použití chemických atraktantů v lepové vrstvě se záznamem obrazu vyhodnocovaném porovnáním časově následných snímků. Pokud rozdíl mezi snímky přesáhne stanovenou mez – odpovídající například velikosti mola – pošle systém výstražnou zprávu odpovědnému pracovníkovi. Tímto způsobem jsou pracovníci muzea ušetřeni obchůzek mezi lepovými nástrahami a také sledování nástrah samotných. Další výhodou je omezení objemu přenášené informace – místo obrazových dat se posílá pouze krátká zpráva o pozitivní detekci, což je výhodné i pro odlehlá místa a depozitáře s nízkou či žádnou rychlostí připojení. Veškeré fotografie jsou uloženy v databázi. Ta je přizpůsobena pro ukládání dat z nejrůznějších typů senzorů. Umožňuje zobrazení aktuální fotografie z fotosenzorů i celou historii předchozích snímků.

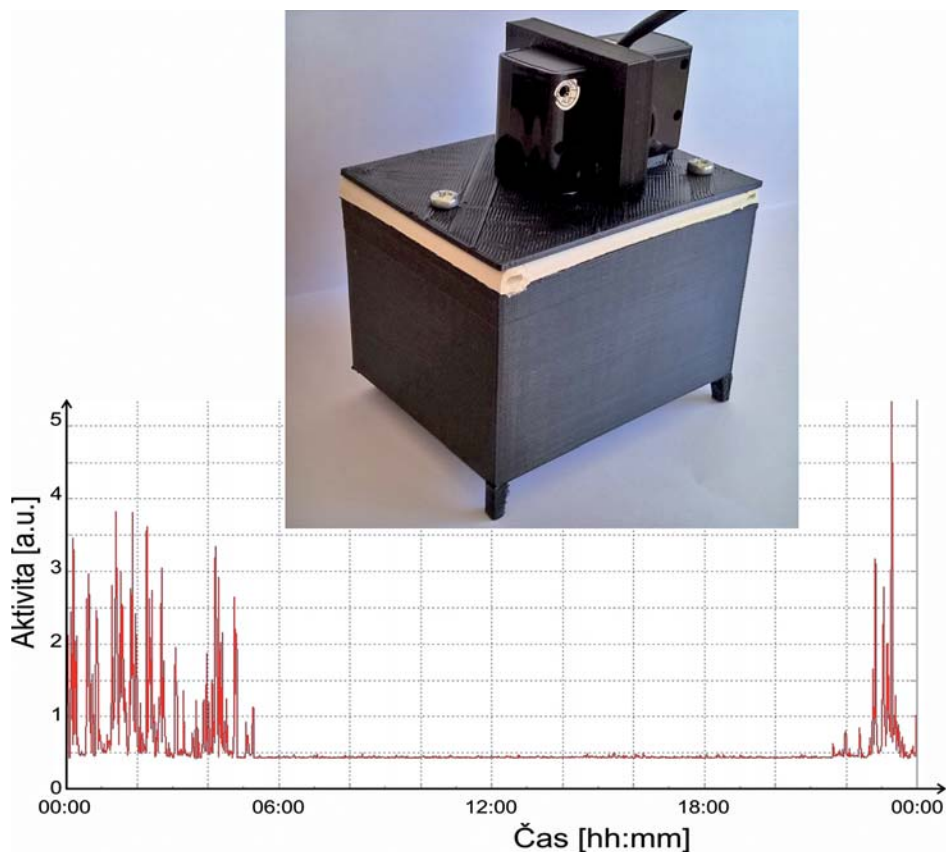
Záznamník transportu

Zatímco sbírkové předměty jsou v expozicích zabezpečeny a dobře chráněny, transport vždy představuje vysokou míru rizika (Stolow 1981, Thickett 2002). Každá instituce má proto vlastní propracovaná pravidla, jak možnost poškození během přepravy vyloučit nebo alespoň minimalizovat. Jedním ze způsobů, kterými lze zlepšovat ochranu exponátů, je důkladné monitorování všech fází přepravy – od ukládání přes transport až po vyjímání z přepravních



OBRAZEK 241: Zapojení návštěvníků do ochrany exponátů (*Monarchie, Sisi, Franz Joseph, Kunsthistorische museum „Monarchy“ – exposition in National Museum*)

boxů. Pro zabezpečení dohledu a prohloubení poznání o dějích, které přepravu provázejí, bylo vyvinuto zařízení, které tyto informace zaznamená. Zařízení musí sledovat exponát během přepravy, podrobně zaznamenávat otřesy exponátů, zaznamenávat klimatické parametry a jejich změny, vyhodnotit ochrannou funkci přepravního boxu z hlediska ochrany proti otřesům a z hlediska podmínek v mikroprostředí (pronikání vlhkosti atd.), umožnit sledování parametrů uvnitř boxu ještě před jeho otevřením. Z těchto důvodů je na těle přístroje vnitřní akcelerometr a snímač parametrů prostředí, další snímače jsou také na kabelu na externích destičkách, které mohou být umístěny přímo na exponátu. Z toho vyplývá, že vždy můžeme porovnat parametry boxu i exponátu. Je možné externí senzor nahradit jiným typem akcelerometru z této řady. Lze tudíž převážet zařízení s citlivějším či méně citlivým snímačem akcelerace. Zrychlení pozorujeme ve třech osách, máme tedy kompletní prostorové výsledky pohybů/nárazů, které zažívá exponát. Přehled měřených veličin záznamníku transportu: teplota, relativní vlhkost, tlak vzduchu (z něj lze vypočítat nadmořskou výšku), intenzita



OBRAZEK 242: Ukázka senzoru plazivého hmyzu a záznamu aktivity hmyzu v zorném poli kamery

dopadajícího světla, zrychlení, orientace (naklopení), otřesy. Veličiny jsou ukládány v uživatelsky nastavených intervalech (od 10 s až po 1 h). Z naměřených záznamů lze detailně rekonstruovat nejen časové průběhy teploty, relativní vlhkosti a tlaku během transportu, ale také počty a úroveň maximálních sil a zrychlení, změn orientace objektu (Valach et al. 2014). Náklady na tento typ snímače jsou přibližně od 10 000 do 15 000 Kč.

Transportní čidlo – příklad použití

Následující **obrázek 243** ilustruje použití transportního čidla. Může zobrazit orientaci a náklon boxu při přepravě rukopisu Symfonie č. 9 A. Dvořáka do New Yorku. Otřesy překračující stanovenou hodnotu zrychlení se zaznamenávají co do počtu a intenzity maximálního zrychlení. Výrazné otřesy jsou uloženy s celým průběhem. Rozdíl mezi histogramy je vysvědčením o kvalitě fungování výstelky. Velké hodnoty akcelerací jsou zaznamenány pro kufrík a netýkají se rukopisu samotného. Čidlo umožňuje rovněž měření tlaku např. během letových fází. Tlak se mění, a to může mít nepříznivý vliv na radikální snížení vlhkosti exponátu, pokud není nijak ochráněn. Další výhodou je i možnost „nahlédnout“ do uzavřeného transportního boxu využitím bezdrátové komunikace mezi čidlem a počítačem obsluhy. Tato



OBRAZĚK 243: Použití transportního čidla pro vylepšení konstrukce přepravního boxu. Jsou porovnávána zrychlení obalu (prostřední obrázky) a exponátu (spodní obr.) při simulovaném hrubém zacházení – převržení a upuštění (horní obr.)

funkce je zvláště užitečná v období teplotních výkyvů (léto, zima), kdy může být exponát při transportu vystaven různým venkovním teplotám. Každý, i sebelépe izolovaný transportní box, nakonec srovná svoje vnitřní klima s vnějším prostředím, pokud se v něm nachází dlouhou dobu. Proto lze po přepravě exponátu v boxu do místnosti díky senzoru monitorovat postupné vyrovnávání teploty a vyčkat do doby, kdy bude otevření boxu pro sbírkový exponát bezpečné. Objekt tedy zbytečně neprojde teplotním šokem (například nenastane zkondenzování vlhkosti na jeho povrchu, zkroucení teplotními gradienty). Další závěr, který umožní

analýza přepravních dat učinit, ukazuje, že zdrojem největšího zatížení exponátu z pohledu otřesů není ani tak stav vozovky jako spíš ruční manipulace (až 30 g), která však představuje malý zlomek přepravního času.

Optimalizace přepravních boxů

Data ze senzorů slouží i k optimalizaci přepravních boxů (**obrázek 243**). Při řízených zkouškách lze zaznamenat, jaký je rozdíl mezi tím, co se děje v konstrukci boxu, a tím, co se děje s objektem uvnitř, a najít konstrukci pláště a výstelky maximalizující efekt tlumení. Tímto způsobem může být studována i efektivita tepelného stínění. Zaznamenáváme rozdíl mezi vnější a vnitřní teplotou a rychlost jejího přizpůsobování, která je mírou efektivity ochranného obalu. Sledování vnitřní a vnější teploty napomáhá k optimalizaci ochrany exponátů. Toto použití by nebylo dostupné bez zdvojení čidel.

Závěr

Detailní znalost parametrů prostředí může přispět ke zlepšení ochrany exponátů ve sbírkách, depozitářích i během transportu. Ukazuje se, že teprve s číselným vyjádřením hodnot lze vyslovovat ověřitelné hypotézy o podstatě poškozování sbírkových předmětů. Klíčem k novým poznatkům o dějích, které vedou k hromadění poškození v exponátech, je podrobná znalost podmínek, kterým byly vystaveny (pro další informace o projektu viz Štefcová et al. 2014 a Valach et al. 2012). Na druhou stranu nelze předem odhadnout, u kterého ze sbírkových předmětů se poškození vyskytne, a proto je výhodné mít záznamová zařízení nasazena co nejmasivněji. Pro naplnění tohoto požadavku byla zařízení navržena s minimálními náklady. Tímto vývoj nekončíme. Chtěli bychom, aby čidla/zařízení byla schopna mezi sebou komunikovat a vytvářet jakousi realizaci toho, co se dnes nazývá internet věcí. Dalším cílem je využít energetické toky přítomné ve vnitřním prostředí, aby čidla mohla autonomně pracovat po co nejdélsí dobu. To, co jsme vytvořili v rámci tohoto projektu, by nemělo sloužit jen řešitelskému kolektivu, ale zcela naopak. Celý přístup k věci obsahuje pozvání pro všechny, kteří by chtěli tyto snímače na svých pracovištích vyzkoušet.

Poděkování

Kapitola využívá výsledků výzkumu podporovaného v rámci projektu NAKI (identifikační kód DF 12P01OVV027 „Jednotný modulární systém dálkového on-line sledování environmentálních charakteristik depozitářů a expozic“) Ministerstvem kultury ČR.

Použitá literatura

- Stolow, N. *Conservation standards for works of art in transit and on exhibition*. Paris: Unesco, 1979. ISBN 92-3-101628-8.
- Štefcová, P., M. Pech, M. Kotyk, J. Valach, K. Juliš a J. Frankl. Pest management in museum collections and storage areas: new approach-online sensors for pest detection. *Journal of Environmental Science and Engineering A*. 2014, 3, 163-176.

- Thickett, D. Vibration damage levels for museum objects. In: *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC: 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro preprints*. London: James & James, 2002, 90-95.
- Valach J., K. Juliš a P. Štefcová. Modular system of sensors for monitoring of museum internal environment. *International Journal of Heritage in the Digital Era*. 2012, 1, 39-42. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.0.39>
- Valach J., B. Wolf, K. Juliš, P. Štefcová a M. Pech. Mobile device for monitoring of artefacts during transportation. In Ioannides, M., N. Magnenat-Thalmann, E. Fink, A. Yen a E. Quak (eds.). *EuroMed 2014: digital heritage. Progress in cultural heritage documentation, preservation and protection*. Hockley: Multi-Science, 2014, 442-451. ISBN 978-1-907132-47-6.