FORUM 2017

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY

ODBORNÉ RECENZOVANÉ PERIODIKUM

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

Fórum pro konzervátory-restaurátory je odborné recenzované periodikum zařazené na Seznam recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR. V periodiku jsou publikovány původní odborné statě zabývající se péčí o kulturní dědictví z různých perspektiv. Základní tematické okruhy jsou zaměřeny na materiálové a technologické průzkumy, konzervátorsko-restaurátorské zásahy a nové metody a technologie v oblasti konzervování-restaurování a ochrany kulturního dědictví. Periodikum je určeno konzervátorům--restaurátorům z rozličných typů pracovišť, včetně soukromé sféry, a studentům. Zabývá se také problematikou preventivní konzervace a otázkami oborové metodologie, teorie a etiky. Příspěvky mívají často interdisciplinární charakter, souvisejícími obory jsou přírodovědné a technické i humanitní vědy, např. historie, archeologie, dějiny umění, muzeologie.

Publikace vychází s laskavou finanční podporou z programu Kulturní aktivity 2017 Ministerstva kultury ČR.

ISBN 978-80-87896-44-0
ISSN 1805-0050

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

Adresa
Metodické centrum konzervace / Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105 / 612 00 Brno / tel.: +420 541 421 416
e-mail: mck@tmbrno.cz / stohrova@tmbrno.cz
Objednávky zasílejte na adresu gilbertova@tmbrno.cz

Pre-press GRAFICOON
Tisk Reprocentrum Blansko

© Technické muzeum v Brně, 2017
Reprodukování snímků a materiálů uveřejněných v tomto periodiku je možné pouze se souhlasem vydavatele a jejich vlastníků, autorů a správců.
Pokyny pro autory příspěvků naleznete na www.mck.technicalmuseum.cz/casopis-fkr. Nevyžádané rukopisy nevracíme. Za původnost a věcnou správnost uvedených příspěvků odpovídají autoři. Všechna práva k obsahu příspěvků a obrazové dokumentaci náležejí autorům. Jakékoliv další převzetí obsažených údajů musí být doloženo citací pramene dle autorského zákona. Vydavatel žádá o zaslání případné recenze či publikace citující z periodika Fórum pro konzervátory-restaurátory.

Na obálce byl se svolením Valašského muzea v přírodě v Rožnově pod Radhoštěm použit detail fotografie z příspěvku Santa Maria – restaurování modelu lodi Kryštofa Kolumba

REDAKCE

Editor: Ing. Alena Selucká
Redaktor: Mgr. Pavla Stöhrová
Technická spolupráce: Eva Řezáčová
Překlady: Mgr. Lenka Zimková
Jazyková korektura: Bc. Lenka Máčalová

SEZNAM PUBLIKUJÍCÍCH AUTORŮ

Ing. Václava Antušková
Mgr. Jaroslav Bašta
Ursula Baumer
Ing. Marie Benešová
MgA. Hana Bilavčíková
BcA. Zuzana Brotánková Šaníková
Doc. Ing. Vladimír Bukovský, CSc.
BcA. Michaela Caranová
prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc.
Josef Čoban, akad. mal. a rest.
Mgr. David Daněček
Mgr. Helena Dáňová, Ph.D.
Dr. Patrick Dietemann
Lenka Dolanská
Ing. David Durčík
Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
Akad. mal. Igor Fogaš
MVDr. Lucia Frgelecová, Ph.D.
Jan Frišhons
MgA. Barbora Glombová
BcA. Jana Háková
RNDr. Radek Hanus, Ph.D.
Tomáš Hanus
Ing. Hana Holická
Mgr. Štěpánka Chlumská
Mgr. Lucie Janusová
Ing. Pavel Jirásek
prof. Ing. Jozef Kaiser, Ph.D
Bc. Katarína Kalistová
Ing. Martina Kmoníčková
Ing. Ivana Kopecká
Mgr. art. Veronika Kopecká
MUDr. Jan Krajsa, Ph.D.
RNDr. Lukáš Kučera
Doc. Ing. Štěpánka Kučková, Ph.D.
Ing. Ivana Kumpová
MgA. Jiři Lauterkranc
Mgr. Art. Luboš Machačko
Mgr. Michal Mazík
Ing. Martin Mrázek, PhD.
Mgr. Gabriela Obroučková
Mgr. Viktor Palíšek, DiS.
Ing. Hana Paulusová
Ing. Bohumil Planka, CSc.
Ing. Václav Pitthard, Ph.D.
prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.[3]
Ing. Jiřina Přikrylová
Bc. Lucie Radoňová
Mgr. Karel Rapouch
Jan Růžička, DiS.
Ing. Alena Selucká
Ing. Aleš Sládek, Ph.D.
Ing. Oto Sládek, Ph.D.
Mgr. BcA. Radomír Slovik
Bc. Veronika Smékalová
MUDr. Jiří Svoboda
RNDr. Eva Svobodová, Ph.D.
Ondřej Šandor
RNDr. Markéta Šaňková, Ph.D.
Ing. Radka Šefců
RNDr. Richard Ševčík, Ph.D.
Mgr. MgA. Jan Šíblo
RNDr. Lilian Švábenická
Mariana Švehlová
doc. Ing. Tomáš Trojek, Ph.D.
Ing. Daniel Vavřík, Ph. D.
Daniela Vlková
doc. Ing. Michal Vopalenský, Ph.D.
Ing. Petra Witoszková
Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.
Ing. Jan Žemlička, Ph.D.
Bc. Ivana Žlebková

FORUM /2017

FÓRUM PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

Odborné recenzované periodikum vydávané Metodickým centrem konzervace Technického muzea v Brně ve spolupráci s Komisí konzervátorů-restaurátorů Asociace muzeí a galerií ČR při příležitosti Konference konzervátorů-restaurátorů.

Reviewed journal published by the Methodical Centre of Conservation of the Technical Museum in Brno in cooperation with the Commission of Conservators-Restorers of Association of Museums and Galleries of the Czech Republic, on the occasion of the Conference of Conservators-Restorers.

REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

Ing. Ivo Štěpánek (vedoucí redakční rady)
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. Petr Kuthan, akad. soch.
prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.
Mgr. Pavla Stöhrová (tajemnice redakční rady)
Odborná spolupráce / **Cooperation:**
Rada Komise konzervátorů-restaurátorů AMG

OBSAH

RECENZOVANÉ PŘÍSPĚVKY 3
OSTATNÍ PŘÍSPĚVKY 118
FÓRUM 157

EDITORIAL

Vážené čtenářky, vážení čtenáři,

letošní číslo časopisu Fórum pro konzervátory-restaurátory přináší opět pestrou nabídku nejrůznějších příspěvků z oblasti průzkumu a konzervování-restaurování předmětů kulturního dědictví. Úvodní téma je věnováno restaurování temperové malby na plátně obrazu Čtoucí dívka od Karla Holana, které je ukázkou komplexního zpracování a záchrany poškozeného výtvarného díla realizovaného v ateliérech Fakulty restaurování Univerzity Pardubice. Vzdělávání mladých restaurátorů se na této univerzitě datuje již od roku 1993, kdy byla založena Škola restaurování a konzervačních technik v Litomyšli. Za tu dobu se podařilo vybudovat moderní studijní i technické zázemí oborového vysokoškolského vzdělávání, které významně přispívá ke zkvalitňování úrovně péče o kulturní statky v naší zemi. Proto určitě mnozí z Vás uvítají i další příspěvky prezentující výsledky restaurátorských zásahů, které prošly rukama studentů i zkušených pedagogů litomyšlské fakulty. Míra zkoumání materiálové i technologické podstaty ošetřovaných děl se neustále prohlubuje – bok po boku s interdisciplinárním výzkumem a nejnovějšími analýzami, o čemž svědčí i další statě. Příkladem je studie o původu přírodní křídy obsahující nanofosilie použité pro podkladové vrstvy středověkých deskových obrazů, která objasňuje různou kvalitu tohoto jemného sedimentu a jeho vliv na dílenské zpracování. Velkou výzvou bývají pro konzervátory-restaurátory předměty zhotovené kombinací více materiálů, které většinou nelze rozebrat a separovat na více částí, ale je nutné zvolit jejich čištění a stabilizaci v celku, postupy speciálně testovanými pro jednotlivé multimateriálové případy. Takovouto výzvou byl jistě hedvábný škapulířový amulet nebo dřevěný model lodi Santa Maria – příklady ojedinělých muzejních sbírkových předmětů a jejich konzervace. Bohužel, nemohu opět v editorialu zmínit všechny prezentované příspěvky, kterých je v letošním čísle sedmnáct recenzovaných a devět informativních, a dalších 23 abstraktů posterových prezentací. Každý si určitě přijde na své a získá tak užitečný zdroj nových poznatků a srovnání pro svoji profesní potřebu. Neméně inspirující jsou i témata v části Fórum. Vyzývají k zamyšlení se nad přístupy k restaurování papíru a knižní vazby, možnostmi a významem digitalizace sbírek a v neposlední řadě představují nový depozitář Uměleckoprůmyslového muzea v Praze – jednu z nejmodernějších účelových muzejních budov, která u nás v nedávně době vznikla.
Dovolte, abych v závěru poděkovala všem autorům příspěvků, díky kterým toto číslo mohlo být sestaveno, též oponentům, jejichž připomínky mnohdy zásadně přispívají k věcnému obsahu a srozumitelnosti publikovaných výsledků. Velký dík patří samozřejmě také členům redakční rady a celé redakci časopisu, kteří pečlivě procházejí a diskutují jednotlivá témata a bdí nad kvalitou tohoto časopisu.
Přeji Vám podnětné a zajímavé čtení!

ALENA SELUCKÁ
editorka časopisu

OBSAH

RECENZOVANÉ PŘÍSPĚVKY 3
OSTATNÍ PŘÍSPĚVKY 118
FÓRUM 157

PRŮZKUM A RESTAUROVÁNÍ TEMPERY NA PLÁTNĚ ČTOUCÍ DÍVKA OD KARLA HOLANA 3
Jana Háková, Josef Čoban, Luboš Machačko

TECHNIKA SYNTONOS V DÍLE ANTONÍNA SLAVÍČKA 8
Václava Antušková, Hana Bilavčíková, Martina Kmoníčková, Václav Pitthard, Radka Šefců

ROZLIŠENÍ CELOVAJEČNÉHO A ŽLOUTKOVÉHO POJIVA POMOCÍ HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE 16
Štěpánka Kučková, Ursula Baumer, Patrick Dietemann

BAREVNÁ KRESBA E. FILLY ZÁPAS ZVÍŘAT – PRŮZKUM PŘED RESTAUROVÁNÍM 19
Ivana Kopecká, Eva Svobodová, Daniela Vlková

RESTAUROVÁNÍ OBOUSTRANNÉ MALBY Z CÍRKEVNÍ KOROUHVE 23
Veronika Kopecká, Lenka Dolanská

RESTAUROVÁNÍ MALBY NA PLÁTNĚ Z PRŮČELÍ OLTÁŘNÍ MENZY Z KAPLE SV. ISIDORA V KŘENOVĚ 30
Luboš Machačko, Zuzana Brotánková Šaníková

ANALÝZA BAROKNÍ PIETY POMOCÍ KOMBINACE XRF ZOBRAZOVÁNÍ A RTG POČÍTAČOVÉ TOMOGRAFIE 35
Daniel Vavřík, Ivana Kumpová, Jiři Lauterkranc, Michal Vopalenský, Jan Žemlička

RESTAUROVÁNÍ POLYCHROMOVANÉ SOCHY SVATÉHO VÁCLAVA Z LAPIDÁRIA NÁRODNÍHO MUZEA 40
Jakub Ďouba, Barbora Glombovál

PŮVOD KŘÍDOVÝCH SEDIMENTŮ NA STŘEDOVĚKÝCH DESKOVÝCH OBRAZECH A ŘEZBÁCH NA ZÁKLADĚ STUDIA VÁPNITÝCH NANOFOSILIÍ 48
Radka Šefců, Lilian Švábenická, Štěpánka Chlumská, Helena Dáňová

POVRCHOVÉ VRSTVY A DŮSLEDKY APLIKACE MODERNÍCH KONZERVAČNÍCH MATERIÁLŮ NA SOCHAŘSKÝCH A UMĚLECKOŘEMESLNÝCH PAMÁTKÁCH Z PÍSKOVCE 59
Jiřina Přikrylová

SANTA MARIA – RESTAUROVÁNÍ MODELU LODI KRYŠTOFA KOLUMBA 66
Gabriela Obroučková

PRŮZKUM ŠKAPULÍŘOVÉHO AMULETU A JEHO ANALOGIÍ ZE SBÍRKY VLASTIVĚDNÉHO MUZEA V OLOMOUCI 70
Lucie Janusová, Lukáš Kučera, Veronika Smékalová, Tomáš Zikmund, Jozef Kaiser

PRŮZKUM HERBÁŘE ZE SBÍREK NTM 79
Ivana Kopecká, Eva Svobodová, Tomáš Čechák, Tomáš Trojek

NEJSTARŠÍ MĚSTSKÁ KNIHA JAROMĚŘICE NAD ROKYTNOU 85
Marie Benešová

ANALÝZA A RENOVACE HISTORICKÝCH ZOOLOGICKÝCH TEKUTINOVÝCH PREPARÁTŮ OBCHODNÍKA S PŘÍRODNINAMI VÁCLAVA FRIČE 91
Jan Frišhons, Ondřej Šandor, Jan Krajsa, Richard Ševčík, Markéta Šaňková, Jiří Svoboda, Lucia Frgelecová, Jiří Příhoda

PRŮZKUM A KONZERVACE VRTULE Z LETADLA FOCKE-WULF 190 METODOU ELEKTROLYTICKÉ REDUKCE 100
Karel Rapouch, Jaroslav Bašta, Alena Selucká, Michal Mazík, Martin Mrázek

VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY A JEJICH OPTIMÁLNÍ ŘÍZENÍ PRO DEPOZITÁŘE 105
Igor Fogaš, Aleš Sládek, Oto Sládek

PRŮZKUM VÝSKYTU PLÍSNÍ V PAMĚŤOVÝCH INSTITUCÍCH 111
Michal Mazík

KONZERVACE LAKOVANÉ USNĚ A TEXTILNÍCH ČÁSTÍ JÍDELNÍ ŽIDLE 118
Lucie Radoňová

MNOŽSTVO VODY VO FOTOGRAFICKEJ ŽELATÍNE – VPLYV NA DEGRADÁCIU 121
Vladimír Bukovský, Katarína Kalistová, Mariana Švehlová

LEPIDOLITOVÁ KROPENKA Z ROŽNÉ NAD PERNŠTEJNEM NA VYSOČINĚ 126
Radek Hanus, Tomáš Hanus

„NÁLEZY OD KRBU“: RESTAUROVÁNÍ HRACÍCH KARET Z VLADISLAVSKÉHO SÁLU 131
Michaela Caranová

VLIV VYBRANÝCH METOD NEUTRALIZACE PAPÍRU NA MECHANICKOU STABILITU TISKAŘSKÉ ČERNĚ 135
Hana Holická, David Durčík, Ivana Žlebková, Hana Paulusová

RESTAUROVÁNÍ NÁLEZŮ NA PAPÍRU A PERGAMENU Z GENIZY V RYCHNOVĚ NAD KNĚŽNOU. 137
Jan Šíblo

RESTAUROVÁNÍ VĚŽNÍHO HODINOVÉHO STROJE 140
Viktor Palíšek

DEPOT Z TURSKA 146
Petra Witoszková, David Daněček

RESTAUROVÁNÍ NOVOBAROKNÍHO ZINKOVÉHO KALAMÁŘE Z PRODUKCE KOMÁROVSKÝCH ŽELEZÁREN 150
Jan Růžička

PŘEHLED POSTEROVÝCH PREZENTACÍ NA KONFERENCI KONZERVÁTORŮ-RESTAURÁTORŮ 2017 157

RESTAUROVÁNÍ KNIHY VČERA A DNES 162
Radomír Slovik

DIGITALIZACE DLOUHÝCH SBÍRKOVÝCH PŘEDMĚTŮ, ZEJMÉNA ČEPELÍ 165
Bohumil Planka

CENTRÁLNÍ DEPOZITÁŘ A REKONSTRUKCE HLAVNÍ BUDOVY UMĚLECKOPRŮMYSLOVÉHO MUSEA V PRAZE 168
Pavel Jirásek

VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY A JEJICH OPTIMÁLNÍ ŘÍZENÍ PRO DEPOZITÁŘE

Igor Fogaš[1], Aleš Sládek[2], Oto Sládek[2] (igor.fogas@moravska-galerie.cz, sladek.ales@kybertec.com)

[1] Moravská galerie Brno
[2] Kybertec s.r.o.

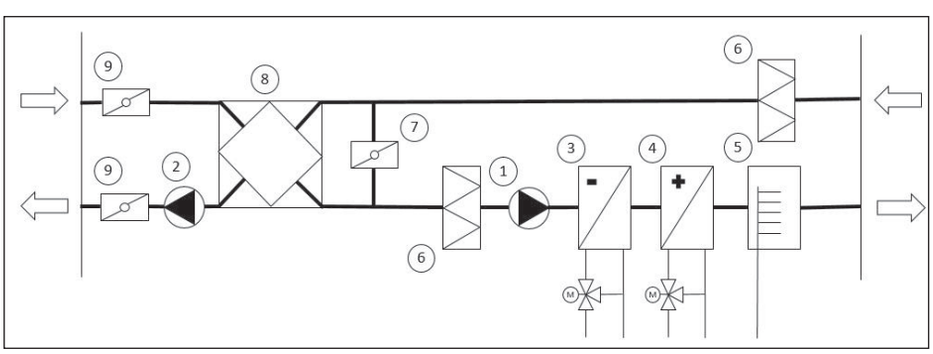
V rámci příspěvku jsou analyzovány standardní postupy pro návrh vzduchotechnických systémů a jejich regulace pro optimální mikroklima uvnitř depozitářů. Jako data pro analýzu jsou použita měření parametrů prostředí v depozitáři obrazů a soch Moravské galerie v Brně - Řečkovicích. Na základě výsledků jsou diskutovány technické možnosti a přístupy, jak zlepšit podmínky ve stávajícím depozitáři, a jakým způsobem přistupovat k návrhu vzduchotechnických systémů pro nově budované prostory obdobných depozitářů.

AIR-CONDITIONING SYSTEMS AND THEIR OPTIMAL CONTROL FOR REPOSITORIES The paper analyses standard procedures for the design of ventilation systems and their regulation for an optimal microclimate inside a repository. The data for the analysis is used to measure the environmental parameters in the Moravian Gallery and Sculpture Repository in Brno-Řečkovice. Based on the results, the technical possibilities, and approaches to improve the conditions in the existing repository are discussed and how to approach the design of air-conditioning systems for the newly constructed premises of similar repositories.

Střední Evropa v porovnání s jinými oblastmi nemá pro dlouhodobé uchování historických artefaktů příznivé klimatické podmínky. Klima našeho regionu se vyznačuje většími a častějšími výkyvy teplot a vlhkosti, které představují zvýšené riziko pro zachování našeho kulturního dědictví. Jednou z možností, jak snížit rizika nepříznivého klimatu, je zavedení vzduchotechnického systému s úpravou klimatu, který podmínky v daném prostoru zlepšuje nebo plně řídí, a to především v místech, kde jsou artefakty dlouhodobě uchovány, tedy v depozitářích a archivech. Se zvětšující se ekonomickou dostupností těchto systémů došlo k jejich masivnějšímu nasazení, ovšem bez hlubších znalostí projektantů v oblasti specifických potřeb depozitářů a s malou technickou vybaveností zadavatelů těchto zakázek.
V rámci tohoto článku se proto zaměříme na základní prvky vzduchotechnických zařízení a na jejich instrumentaci z pohledu řízení. Prakticky budou tyto znalosti dokumentovány na měřeních z depozitáře obrazů a soch Moravské Galerie v Brně-Řečkovicích.

VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY

Vzduchotechnické systémy (dále jen VZT systémy) jsou zařízení určená pro úpravu vzduchu na požadované parametry dle aplikace a dle hygienických norem. V případě depozitářů se tedy jedná především o splnění požadavků na teplotu a vlhkost prostředí, ve speciálních případech se pak může jednat i o koncentrace některých polutantů, případně další parametry. Z hlediska hygienických norem je pak pro prostory s pohybem osob definována normou požadovaná výměna vzduchu v daném prostoru.
VZT systémy mohou mít různou konfiguraci dle aplikace uživatele, nicméně u všech těchto zařízení se můžeme setkat s prvky dle zjednodušeného schématu na Obr. 1., jejichž funkce bude popsána v následujících odstavcích (popis VZT prvků částečně převzat z [Lom-Matz,2013]).



Obr. 1 *Schéma VZT systému 1 – přívodní ventilátor, 2 – odvodní ventilátor, 3 – výměník chladu, 4 – výměník tepla, 5 – zvlhčovací jednotka, 6 – prachový filtr, 7 – cirkulační klapka, 8 – rekuperátor tepla, 9 – vstupní a výstupní klapky*

Přívodní ventilátor Přívodní ventilátor je zařízení sloužící k dopravě vzduchu do větraného prostoru. Ventilátor musí zajistit dostatečný tlakový rozdíl pro pokrytí tlakových ztrát VZT jednotky, potrubí i distribuce do prostoru. Hlavními parametry ventilátorů jsou proto dopravní tlak, příkon a objemové množství vzduchu. Ventilátory VZT systémů jsou vybaveny frekvenčním měničem, pomocí kterého je možné plynule regulovat množství větraného vzduchu, což je z hlediska regulace velmi důležité a bude popsáno níže.

Odvodní ventilátor Odvodní ventilátor je zařízení sloužící k odvodu vzduchu z větraného prostoru. V případě že VZT systém je cirkulační, nebo je odvod vzduchu zajištěn přetlakem z přívodního ventilátoru, nemusí být tento ventilátor v systému obsažen.

Výměník tepla Výměníky tepla (ohřívače) rozlišujeme na vodní, parní, elektrické a chladivové. Nejrozšířenějším typem jsou vodní ohřívače. Pro výkon vodního ohřívače je nejdůležitější teplosměnná plocha a teplotní rozdíl mezi vzduchem a vodou. Regulace vodních ohřívačů může být buď kvalitativní, kdy se nemění průtok vody, ale mění se její teplota, nebo kvantitativní, kdy teplota zůstává konstantní, ale mění se průtok vody. Kvantitativní regulace je méně účinná a v praxi je méně využívaná.

Výměník chladu Hlavním úkolem výměníku chladu je ochlazovat upravovaný vzduch. Výměníky chladu jsou buď vodní, nebo přímé výparníky. U přímých výparníků je teplonosnou látkou chladivo – vzduch. Chladivo se odpařuje a přes stěny výměníku odebírá teplo vzduchu (odtud název přímý výparník). Chladící proces ve vodním chladiči probíhá velice podobným způsobem jako u výměníku tepla. Do výměníku vstupuje voda o nízké teplotě (např. 6 °C), výměníkem proudí vzduch, který se přes jeho stěny ochlazuje a předává teplo vodě.
V případě, že je v systému požadováno odvlhčení upravovaného vzduchu, je na výměníku chladu požadována teplota nižší, než je teplota rosného bodu, tak aby docházelo ke kondenzaci přebytečné vlhkosti, vzduch se následně ohřeje na požadovanou teplotu. Míra odvlhčení je regulována teplotou chladiva na výstupu z výměníku, tedy kvalitativním způsobem stejně jako u výměníku tepla.

Zvlhčovací jednotka Zvlhčovače jsou parní nebo adiabatické. V případě parního zvlhčovače dochází k odpařování vody mezi elektrodami a pára je následně přiváděna do směšovací komory. Výhodou parních zvlhčovačů je současná dezinfekce vody. V případě adiabatického zvlhčování se pak jedná především o ultrazvukové zvlhčovače, jejichž výhodou je možnost generování vodní mlhy odpovídající teplotě upraveného vzduchu.

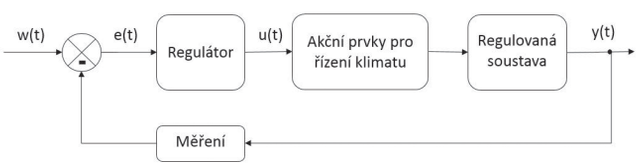
Prachový filtr Ve vzduchu jsou rovněž obsaženy znečišťující látky, které mohou mít formu plynů, popř. kapalných nebo pevných částic. Úkolem filtru je odlučování těchto znečišťujících částic z vnitřního i vnějšího ovzduší a snížení jejich koncentrace pod limity, které jsou dány hygienickými požadavky. Filtry mohou mít několik stupňů filtrace v závislosti na požadavku kvality vzduchu. Filtry pro odlučování částic se dělí na hrubé G1 až G4, jemné F5 až F9 a na filtry s vysokou účinností HEPA označené H10 až H14 a ULPA označené U15 až U17. Jednotlivé číslice uvádějí číslo filtrace. Pro běžné aplikace se v praxi používají filtry třídy G1–F9. Tam, kde je nutné zajistit, aby se mikroorganismy nedostaly do klimatizovaného prostoru, je nutné použít filtr třídy F7 nebo vyšší. Další důležitou vlastností je tlaková ztráta filtru, která je v počátečním stavu nejnižší a v provozu narůstá. Z toho důvodu musí být na filtru umístěn snímač tlakové diference, který upozorní obsluhu na potřebu výměny filtru.

Rekuperátor tepla Rekuperátor tepla je zařízení využívající teplo, které je obsažené v odváděném vzduchu z prostoru k ohřevu přiváděného vzduchu. Nejčastější typy výměníků pro zpětné získávání tepla jsou regenerační a rekuperační. Regenerační obsahuje rotující hmotu, do které se akumuluje teplo z odváděného vzduchu. Jelikož hmota rotuje, tak při jejím otočení do proudu přiváděného vzduchu se předá teplo, které je ve hmotě naakumulované, vzduchu. Rekuperační předává teplo přímo přes stěnu výměníku, kde se kříží vzduch odváděný z prostoru a přiváděný do prostoru.

Klapky V každé VZT jednotce se vyskytují klapky, které slouží k uzavření jednotky a zamezení průtoku vzduchu v momentě, kdy je vypnutý ventilátor. Dále regulační klapky, které regulují proud vzduchu. Klapky mohou být tvořeny buď jedním, nebo více listy. Listy mohou být ovládány samostatně či jako celek propojeny a ovládány mechanicky nebo servopohonem. Polohou listů se reguluje průtok vzduchu, popř. se přívod vzduchu může uzavřít úplně.

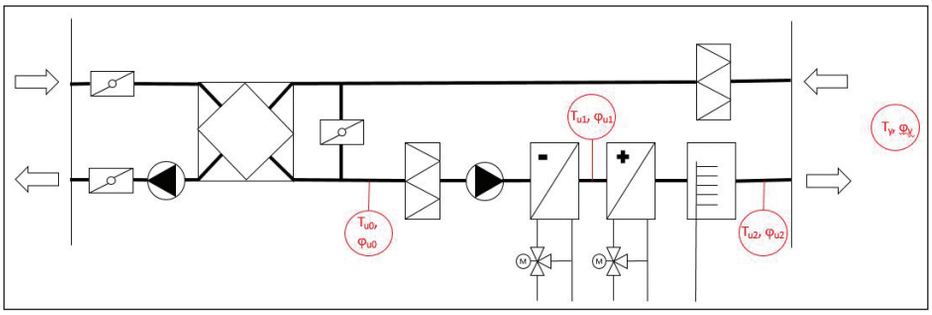
VZT SYSTÉMY Z HLEDISKA ŘÍZENÍ

Pro řízení typického vzduchotechnického systému je využívána téměř výlučně zpětnovazební regulace. Tento typ regulačního obvodu obsahuje zpětnou vazbu nesoucí informaci o skutečném výstupním signálu *y(t)* (např. teplota v místnosti, kterou regulujeme) a lze ho zjednodušeně popsat dle Obr. 2, ve kterém regulovaná soustava reprezentuje prostor, ve kterém řídíme klima, a akční prvky reprezentují výměníky tepla a chladu, zvlhčovače, ventilátory a klapky daného VZT systému. Jako regulátor je pak v dnešní době využíván u převážné části VZT aplikací PID regulátor, tedy regulátor, který umožňuje nastavení proporcionální, integrační a derivační složky regulace v závislosti na regulační odchylce *e(t)*. Nastavení jednotlivých složek PID regulátoru, pak závisí vždy na konkrétní aplikaci a parametrech regulovaného objektu.

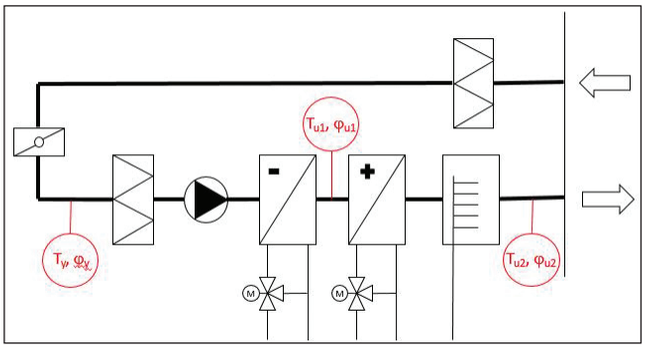


Obr. 2 Schéma zpětnovazební regulace: y(t) – regulovaná veličina, w(t) – žádaná hodnota regulované veličiny, e(t) = w(t) – y(t) – regulační odchylka, u(t) – akční veličina

Pro správné fungování regulačního obvodu je pak také nezbytné daný VZT systém vybavit adekvátním měřením. V typickém systému nalezneme z pohledu regulace dva typy měření, a to měření, která jsou přímým vstupem pro regulační obvod (např. teplota v regulovaném obvodu), a dále měření pro regulaci a kontrolu akčních prvků (např. teplota vody na výstupu z tepelného výměníku nebo vlhkost vzduchu za zvlhčovačem). Z hlediska regulace jako takové jsou měření uvedená jako druhá v předchozím výčtu podružná a regulační obvod dokáže pracovat i bez těchto měření. Slouží především pro kontrolu a pro efektivnější řízení jednotlivých akčních prvků.
Na Obr. 3 je uvedeno typické zapojení čidel ve standardním vzduchotechnickém systému, kde je měřena teplota a vlhkost v regulovaném prostoru (index *y*) a dále pak měření ve směšovací komoře (u0), za výměníkem chladu (u1) a za zvlhčovací jednotkou (u2). Měření teploty na výstupu z výměníků tepla a chladu pro regulaci vyznačených trojcestných regulačních ventilů není pro zjednodušení zakreslena. Jako důležité je poukázat na tomto místě na fakt, že pro běžné fungování VZT zařízení není nezbytné měření teploty a vlhkosti ve venkovním prostředí. Vzhledem k možnosti rekuperace tepla nebo částečné cirkulace vzduchu je relevantním parametrem teplota a vlhkost ve směšovací komoře za cirkulační klapkou



Obr. 3 *Zjednodušené schéma měření ve VZT systému pro běžné aplikace*

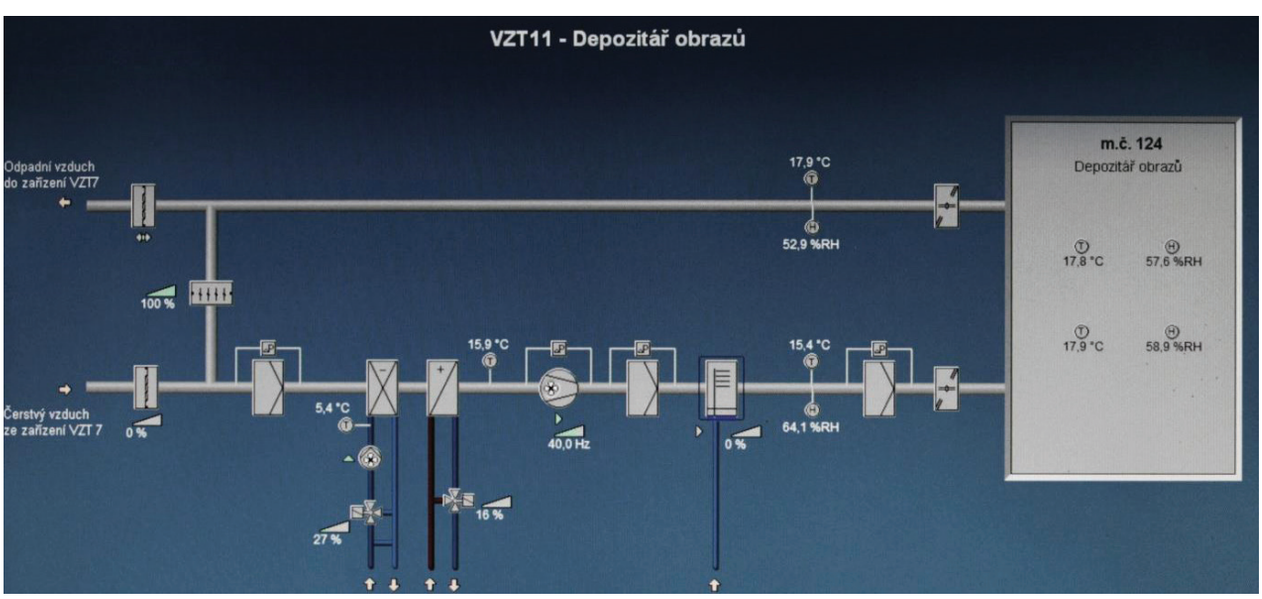


Obr. 4 *Schéma měření cirkulačního VZT systému*

V případě, že VZT systém pro daný prostor je pouze cirkulační a hygienické větrání je zajištěno přívodem vzduchu z jiného zdroje a za předpokladu krátkých vzduchotechnických cest se můžeme setkat se zjednodušenou instrumentací měření, viz Obr. 4. V rámci projektování VZT systémů se jako běžný předpoklad uvádí, že parametry naměřené na odvodním potrubí odpovídají průměrným hodnotám daných parametrů v dané místnosti. V případě, že je potrubní trasa jen velmi krátká (např. VZT systém je instalován přímo nad větraným prostorem) je možné využít pro regulaci měření přímo ze směšovací komory a ušetřit tak pořizovací a provozní náklady na jedno čidlo, jak ukazuje schéma na Obr. 4.

MĚŘENÍ NA VZT SYSTÉMŮ V DEPOZITÁŘI MG

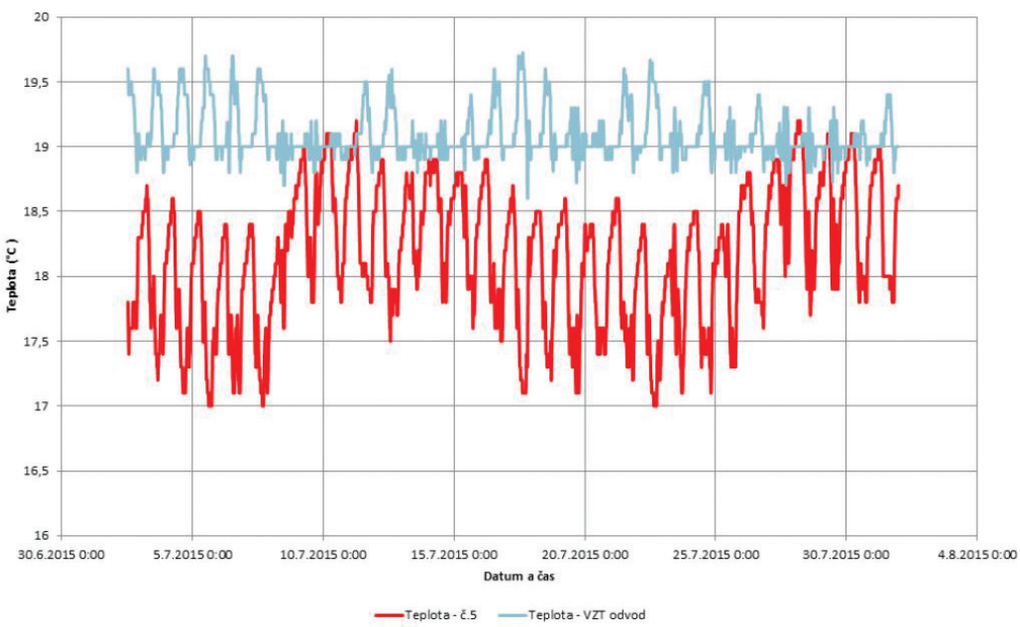
V rámci snahy o nejvyšší možnou kvalitu klimatické prostředí v depozitáři MG v Brně Řečkovicích bylo v depozitáři obrazů a starého umění prováděno od roku 2013 do roku 2015 s podporou probíhajícího výzkumného projektu programu NAKI MK ČR měření za účelem zjištění reálných parametrů klimatu uvnitř depozitáře a vliv parametrů VZT zařízení na jeho kvalitu. Vzhledem k neexistenci algoritmizačního projektu pro daný prostor, bylo nezbytné pro pochopení funkčnosti celého systému provést komplexní analýzu dat z daného prostoru. Schéma VZT systému pro zkoumaný depozitář je na Obr. 5 v podobě, jaká je použita ve SCADA systému. Schéma funkčně odpovídá obecnému schématu na Obr. 1, odtahový ventilátor a rekuperace, která je společná pro více depozitářů není na schématu zobrazena. Vzhledem k uzavřeným klapkám na vstupu a výstupu se systém chová jako cirkulační a přívod čerstvého vzduchu je realizován pouze netěsnostmi. V průběhu prvotních měření v depozitáři se ukázalo, že teplota a relativní vlhkost uvnitř depozitáře nesplňují zcela očekávání a mírně zaostávají za předpokládaným standardem, viz Tab. 1. Kolísání teploty nemělo přesáhnout hodnotu 1 °C za 24 hodin a kolísání vlhkosti nemělo být vyšší než 3 % za 24 hodin. Analýza dat prvotně poukázala na charakter výkyvů klimatu uvnitř depozitáře, který svou frekvencí odpovídá výkyvům teploty venkovního prostředí. Jako zajímavé se ukázalo, že amplituda teploty uvnitř depozitáře měla opačnou polaritu, než odpovídalo venkovnímu prostředí, a v okamžiku, kdy byla ve venkovním prostředí nejvyšší teplota, byla v depozitáři naopak teplota nejnižší. Vzhledem k dobré tepelné izolaci budovy mohl být vyloučen vliv prostupu tepla obálkou budovy do prostoru depozitáře, který by se projevil ampli-



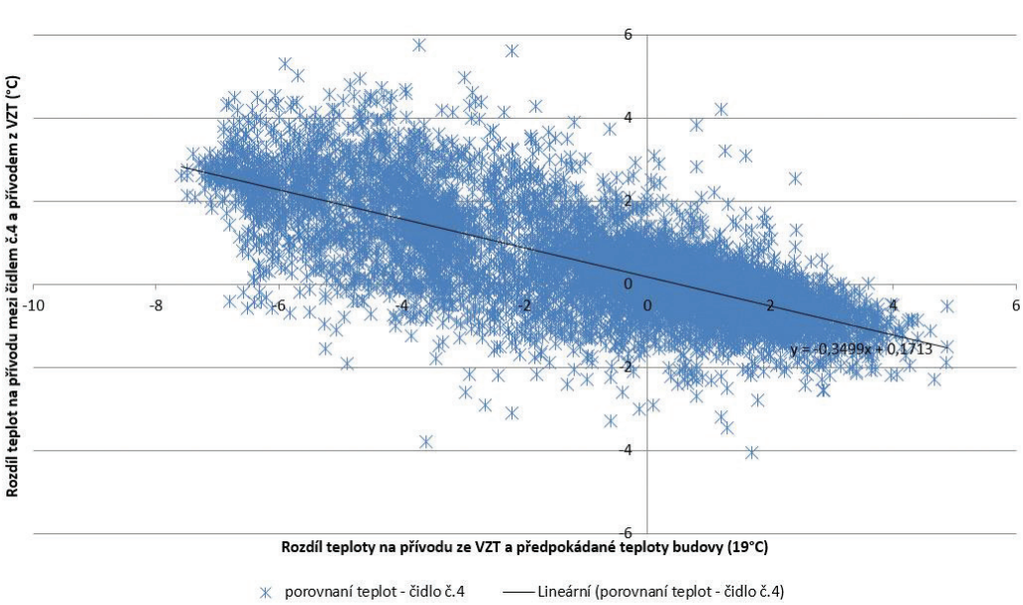
Obr. 5 *Schéma VZT systému depozitáře obrazů*

tudou se stejnou polaritou a menší dynamikou, a pozornost se proto zaměřila na fungování a regulaci vlastní VZT jednotky. Pro porovnání byly měřeny parametry teploty a vlhkosti na vstupních a výstupních prvcích distribučního systému VZT v depozitáři. Tato data byla porovnána s daty na vstupu a výstupu VZT jednotky zaznamenané řídicím systémem. Porovnání teploty na výstupu z depozitáře (tedy na vstupu do VZT jednotky) měřené na distribučních prvcích a z ŘS jsou zobrazeny na Obr. 6. Analýzou těchto dat bylo prokázáno, že VZT systém využívá pro regulaci čidlo, které dostatečně nereprezentuje měřené hodnoty uvnitř depozitáře. Po těchto zjištěních bylo čidlo měření fyzicky dohledáno a bylo zjištěno, že je umístěno před VZT jednotkou v technické místnosti mimo vlastní depozitář. Vzhledem k relativně dlouhému vedení VZT kanálů od vlastní jednotky do depozitáře byla vytvořena hypotéza, že měření je ovlivněno prostupem tepla skrz vlastní VZT kanál, který je stejně jako ostatní technické zázemí umístěn v neklimatizovaném prostoru a měření tedy být do značné míry ovlivněno venkovním prostředím. Vzhledem k faktu, že prostup tepla je lineárně závislý na rozdílu teplot, a k tomu, že známe teploty na začátku a konci VZT kanálu, bylo možné tuto závislost ověřit. Pro vyloučení vlivu možného přisávání vzduchu klapkami byla tato analýza provedena na přívodu vzduchu do VZT systému. Vynesením rozdílu teplot za VZT jednotkou a teploty měřené na přívodu do depozitáře (čidlo č. 4) na jedné ose a rozdílu teplot za VZT jednotkou a předpokládané teploty budovy (teplota, na kterou je nastavena regulace) je prokázán lineární charakter této závislosti, viz Obr. 7.

Z nalezených fakt je zřejmé, že VZT systém trpí zásadními nedostatky z hlediska projektování regulačního obvodu VZT zařízení. Čidlo teploty a relativní vlhkosti, které je využito pro regulaci není umístěno přímo v prostoru depozitáře, ale v blízkosti VZT systému a nereprezentuje tedy věrohodně parametry klimatu uvnitř depozitáře. Regulační obvod pak neodpovídá schématu na Obr. 2, protože regulovaná veličina je ovlivněna chybovým parametrem *d(t)* a systém reguluje na veličinu *y(t)+d(t)* a nikoliv na *y(t)*. To je z hlediska provozu depozitáře nevhodné, a to jak z hlediska klimatu, tak z hlediska provozních nákladů. Vlivem špatně zvoleného umístění čidla dochází v letním období k ochlazování na nižší hodnoty, než je třeba, a v zimním období naopak. Při objemu větraného vzduchu a celoročním provozu se pak jedná o nemalé částky.



Obr. 6 *Porovnání teplot na odvodním potrubí: čidlo č. 5 umístěné na mřížce odvodního potrubí, čidlo VZT odvod z měření VZT systému*



Obr. 7 *Rozdíly teplot na vstupu do depozitáře v závislosti na rozdílu teplot upraveného vzduchu na výstupu ze VZT jednotky od předpokládané teploty okolí*

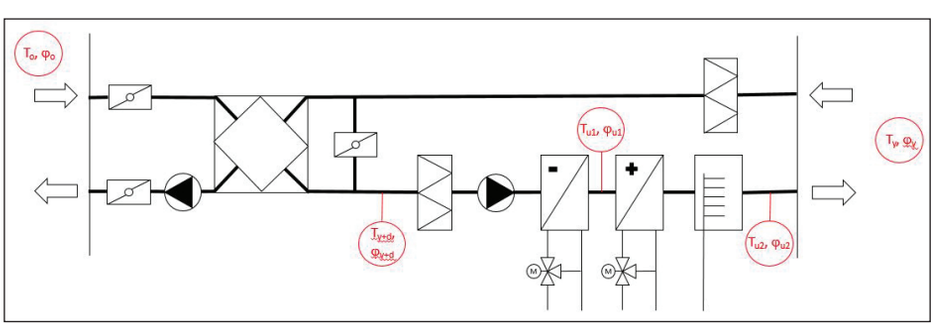
Další z problémů, které se v rámci depozitáře podařilo identifikovat z pohledu řízení, je špatná regulace zvlhčovacích jednotek. Výkon zvlhčovacích jednotek v depozitáři je ovládán pomocí výšky hladiny vody, ve které jsou zasunuty elektrody. Nastavený časový krok regulace je příliš krátký a v případě, že je požadován vyšší výkon, nestihne se voda ohřát na bod varu a ovlivnit hodnoty vlhkosti v regulovaném systému. Regulátor proto požaduje opětovné zvýšení výkonu, které je realizováno doplněním vody do nádoby s elektrodami, čímž dojde k jejímu ochlazení a dalšímu oddálení přísunu vlhkosti do systému. Pára je pak často do systému dodána, až po dosažení 100% výkonu zvlhčovací jednotky, což většinou neodpovídá reálné potřebě zvlhčování. Tímto způsobem jsou v systému generovány nepotřebné fluktuace relativní vlhkosti bez vlivu vnějšího prostředí.

SPECIFIKA ŘÍZENÍ VZT SYSTÉMŮ V DEPOZITÁŘÍCH

Jak ukázal předchozí odstavec, v případě, že firma realizující projekt podobného typu není podrobně seznámena s potřebami restaurátorů, neposkytuje VZT systém takovou kvalitu klimatu, které by byl schopen. Z hlediska řízení proto doporučujeme vždy ověřit, zda měření regulované veličiny je reprezentativní pro daný regulovaný prostor. Jako dobrou praxí se ukazuje umístění čidla na odvodu vzduchu z daného prostoru, ovšem ještě v daném prostoru. V případě, že je čidlo umístěno v místnosti s regulovaným klimatem, je nezbytné toto čidlo umístit tak, aby měření nebylo ovlivněno např. blízkostí vyústky z přívodního potrubí apod. Rovněž čidla umístěná za zvlhčovacími jednotkami je nezbytné instalovat v dostatečné vzdálenosti, tak aby se vlhkost napříč kanálem homogenizovala a výsledky měření byly relevantní.
Z hlediska ekonomiky provozu je potom významná možnost větrání venkovním vzduchem, v případě, že jeho parametry odpovídají požadavkům na větrání. Ačkoliv většinu času jsou systémy VZT v depozitářích v cirkulačním režimu, což výrazně snižuje náklady na provoz, je nezbytné zajistit alespoň částečnou výměnu vzduchu v daném prostoru. Z tohoto důvodu doporučujeme měření i ve venkovním prostředí, tak jak naznačuje schéma doporučené instrumentace (viz Obr. 8), které umožňuje větrat vzduchem z venkovního prostředí za optimálních podmínek.
Z provozního hlediska je pak nezbytné poukázat na fakt, že není zcela nezbytné, aby VZT systém větral v daném prostoru nepřetržitě. Je proto vhodné navrhovat řízení VZT systému tak, aby mohlo být plynule regulováno množství větraného vzduchu a v případě dosažení nějaké prahové hodnoty je možné VZT systém zcela vypnout. To je vhodné obzvlášť pro prostory s velkou tepelnou i vlhkostní akumulací. Rovněž opomíjenou možností je omezení parametrů klimatu na výstupu z klimatické jednotky. V případě depozitářů se vzácnými díly je možné nastavit maximální rozdíl od požadované hodnoty a zvýšenou potřebu výkonu zařízení je při této fixní hodnotě možné zajistit zvýšením objemu větraného vzduchu. Není pak možné, aby v blízkosti vyústky docházelo ke kontaktu artefaktů s příliš suchým nebo naopak příliš vlhkým vzduchem.

REGULAČNÍ PARAMETRY

Jako další velmi důležitý aspekt řízení klimatu v depozitářích je vlastní nastavení parametrů, na které je regulováno. V rámci mnohých norem se můžeme setkat s výčtem ideálních hodnot pro dané materiály, které je vhodné dodržet pro zaručení ideálního stavu daného díla. Tyto hodnoty jsou ovšem pouze teoretické a ideální stav mikroklimatu pro konkrétní artefakt je dán nejen materiálem, ale rovněž i historií klimatu, ve kterém se artefakt nacházel. Proto je nezbytné, aby o vhodnosti nastavení parametrů upravovaného vzduchu bylo rozhodnuto vždy erudovaným restaurátorem a nikoliv pouze na základě doporučení daných normou. V případě rozsáhlejších sbírek je pak vhodné posuzovat sbírku jako celek.
Z hlediska ekonomického provozu se ukazuje udržování konstantních hodnot klimatu, jako velmi nákladné, a z tohoto důvodu se v minulých desetiletích mezi odbornými kruhy rozvinula diskuze na toto téma, kdy byly zkoumány změny různých materiálů nejen v závislosti na jednotlivých mikroklimatických parametrech, ale rovněž na dynamiku těchto změn [Luxford-Strilic-Thicket, 2013; Bratasz, 2013; Michalski, 1991, 1993, 2002]. Výsledky těchto prací se objevují i v některých normách pro řízení a posuzování klimatu v depozitářích, např. [ASHRAE, 2003]. V rámci těchto průzkumů se prokázal menší vliv teploty na poškození děl, a to především z důvodu lepšího přenosu tepla uvnitř materiálu (větší homogenity teploty uvnitř zkoumaných děl) a rovněž z důvodů menších objemových změn materiálu, než jak je tomu u vlhkosti.
Z hlediska uměleckých děl je vždy optimální mikroklima s konstantními parametry, ovšem takové prostředí je velmi nákladné udržet, a ne vždy je nezbytné pro bezpečné uchování artefaktů pro příští generace. Jako kritický parametr se ukazuje relativní vlhkost, ale i pro ni je poměrně velký rozsah přípustné změny, než je v materiálu překročena mez elasticity a dojde ke vzniku poškození. Například z práce [Jakiela-Bratazs-Kozlowski, 2008] je pro vzorek dřeva vystavený skokové změně relativní vlhkosti z počáteční hodnoty 50% relativní vlhkosti zajištěna elasticita materiálu pro změny až o 15 % relativní vlhkosti a pro změnu na požadovanou vlhkost s postupným navýšením v čase 24 hodin dokonce až o 20 % relativní vlhkosti. Z výsledků je zřejmé, že pro dobré uchování uměleckých děl je důležitá nejen hodnota klimatických parametrů jako taková, ale rovněž dynamika jejich chování. Výsledkem výzkumů jsou proto doporučení nejen na optimální regulační hodnotu teploty a relativní vlhkosti (vždy se jedná o hodnotu, která umožňuje maximální změnu daného parametru před ztrátou elasticity), ale rovněž na přípustné změny v průběhu delších období. U depozitářů i těch nejcitlivějších sbírkových předmětů je proto považována jako možná pozvolná sezónní změna teploty až o ± 5 °C v případě, že je zachována relativní vlhkost vzduchu, viz [ASHRAE, 2003]. Tímto způsobem je možné výrazně ušetřit provozní náklady, nicméně je vždy na kurátorovi sbírky, zda takové nastavení parametrů umožní.



Obr. 8 Zjednodušené schéma měření pro VZT systém

Tab. 1 *Doporučené hodnoty klimatických podmínek pro dlouhodobé uložení sbírkových předmětů v depozitářích dle jednotlivých materiálů*

Materiál	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
Papír	15 – 18	45 – 55
Textil	15 – 18	45 – 60
Dřevo	16 – 18	50 – 65
Keramika, sklo, kámen	18 – 20	40 – 55
Kov	18 – 20	30 – 40
Obrazy	16 – 18	50 – 55
ČB fotografie a diapozitivy	15 – 20	30 – 50
Barevné fotografie	do 2	30
ČB filmy	do 20	30
Barevné filmy	do 2	30

ZÁVĚR

Jako závěr je možno shrnout v několika bodech zásady pro úspěšnou realizaci projektů VZT systémů pro depozitáře. Pro projektovou činnost je nutno vždy vycházet nejen z dobré znalosti vlastního prostoru depozitáře, ale rovněž ze znalosti materiálu, stavu a podmínek předchozího uložení uchovávaných sbírkových předmětů, tak aby bylo možné určit konkrétní podmínky provozu a jeho parametry. Pro řízení parametrů klimatu uvnitř depozitáře je nejvhodnější provádět měření uvnitř depozitáře, a to v místě, které nejlépe určuje klimatické podmínky uvnitř depozitáře. V případě převzetí díla je pak vhodné, aby byl pro předání vypracovaný nejen nezbytný protokol o zaregulování VZT systému, ale rovněž algoritmizační projekt, tak aby uživatel mohl zjistit, jakým způsobem je prováděna samotná regulace. Pro zadávací dokumentaci je vhodné vždy spolupracovat s odbornou firmou, která zaručí přesný popis technického řešení pro výběrové řízení.

Příspěvek byl zpracován s podporou probíhajícího projektu „Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy – optimalizace podmínek s cílem dosažení dlouhodobé udržitelnosti“ schváleného z grantového programu MK ČR – NAKI, č. j. DF13P01OVV016.

LITERATURA

- ASHRAE [American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers]. 2003. Museums, libraries and archives. Chap. 21, *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, SI Edition*, 2003, Atlanta: ASHRAE.
- BRATASZ, Ł.: Allowable microclimatic variations for painted wood. *Studies In Conservation,* 2013, vol. 58, no. 2, s. 65-79.
- JAKIELA, S. – BRATASZ, Ł. – AND KOZŁOWSKI, R.: Numerical modelling of moisture movement and related stress field in limewood subjected to changing climate conditions. *Wood Science and Technology*, 2008, vol. 42, s. 21–37.
- LOM, M. – MATZ, V.: *Model řízení vzduchotechnické jednotky* [online], 2013, dostupný z www:<http://vetrani.tzb-info.cz/regulace--vetrani-klimatizace/9796-model-rizeni-vzduchotechnicke-jednotky>.
- LUXFORD, N. – STRLIC, M. – THICKETT, D.: Safe display parameters for veneer and marquetry objects: A review of the available information for wooden collections. *Studies in Conservation*, 2013, vol. 58, no. 1, s. 1–12.
- MECKLENBURG, M. F. – TUMOSA, C. S. – ERHARDT, D.: Structural Response of Painted Wood Surfaces to Changes in Ambient Relative Humidity. *Painted Wood: History and Conservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1998, s. 464–483.
- MICHALSKI, S.: Double the life for each five-degree drop, more than double the life for each halving of relative humidity', *ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002: preprints*, 2002, ed.R.Vontobel, Earthscan, London, s. 66–72.
- MICHALSKI, S.: Paintings - Their Response to Temperature, Relative Humidity, Shock, and Vibration. *Art in Transit: Studies in the Transport of Paintings*, 1991, Washington DC: National Gallery of Art, s. 223–248.
- MICHALSKI, S.: Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values. *ICOM Committee for Conservation 10th triennial meeting: Washington, DC, 22–27 August 1993: preprints*, 1993, Bridgland, Janet (Editor). ICOM Committee for Conservation, s. 624–629.