

Prof. Ing. Miloslav NĚMEČEK, DrSc.,
em. prof. FEL ČVUT, Praha,
Ing. Petr BEDNÁŘ,
NPÚ ÚOPSČ, Praha,

Kaple sv. Kříže na Karlštejně po šesti letech

St. Cross Chapel Equipment at Karlstejn Revisited After Six Years

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek s odstupem šesti let rekapituluje přístup k řešení jednotky pro úpravu vzduchu v kapli sv. Kříže státního hradu Karlštejn a poukazuje na úspěšný šestiletý provoz jednotky. Mikroklimatická ochrana 129 středověkých deskových obrazů v kapli spočívá na udržení termodynamické rovnováhy mezi deskami a upravovaným vzduchem. Tato rovnováha je vyjádřena ukazatelem u a jeho časový průběh je uveden v grafech. V závěru je vyjádřeno poděkování řešitelským týmům.

Klíčová slova: klimatizace, historické objekty, regulace

In the article, the author revisits the original approach to design of the air conditioning system used to control the air quality at the St. Cross Chapel of the State Castle Karlstejn and points to the six years of successful operation of the system. The microclimatic protection of 129 medieval wood-panel paintings in the Chapel is based on maintaining a thermodynamic equilibrium between the panels and conditioned air. The equilibrium is denoted by an index u whose histogram is presented graphically. In the Summary, acknowledgement and appreciation for the work of cooperating partners on the project are expressed.

Key word: air conditioning, historical buildings, control

1. ÚVODEM

Od instalace deskových obrazů Mistra Theodorika do kaple sv. Kříže na státním hradu Karlštejně v létě r. 2000 uplynulo již 6 let jejich ochrany speciálním mikroklimatem. Během nich byl jak stav obrazů i stav zclacení stropu a v podstatě celé výzdoby kaple sv. Kříže, tak i stav mikroklimatu na státním hradu Karlštejn pečlivě sledován. Cílem tohoto příspěvku je bilancovat výsledky technických opatření referovaných v [1] po uplynutí zmíněné doby, kterou lze považovat za dostatečně dlouhou k posouzení výskytu a k objevení defektů výzdoby, pokud by zařízení pro speciální úpravu vzduchu neplnilo svůj očekávaný účel.

Autory příspěvku vedla k jeho napsání především povinnost aspoň v krátkosti vzpomenout na dobu, kdy se záměr mikroklimatické ochrany kaple připravoval, poukázat na mnoho stránek problému, na něž bylo nutno vzít zřetel a v neposlední řadě upozornit na odborný přínos a na průběh a odbornou úroveň práce, kterou v realizaci záměru všichni zúčastnění, odborní pracovníci i dodavatelské firmy odvedly.

Je tu ovšem i řada dalších faktů, které je možné až dnes, po uplynutí více než šesti let, kdy se možná na rizika celého záměru téměř zapomnělo, zodpovědně hodnotit a z výsledků vyvodit objektivní zkušenosti.

Kaple nacházející se v masivní Velké věži byla po dobu cca deseti let do r. 1999 prázdná, probíhaly zde stavební i povrchové restaurátorské práce, připravovala se generální oprava vitráže v gotických oknech, kapli procházeli pracovníci a proudil vzduch.

O tom, že by po návratu do kaple byly restaurované desky vystaveny teplotně-vlhkostnímu šoku a působení neupraveného vzduchu a dříve či později budou opět poškozeny, nebylo pochyb. Stejně tak se dalo očekávat pokračující plíživé poškození výzdoby stěn a zclacení stropu v kapli, ovlivněné počasím a roční dobou.

Vzdor hmotě zdí Velké věže, nebylo jasné, jak spolupůsobí prostor nad tenkou zclacenou klenbou na její stav uvnitř, zda ji pro obavu z kondenzace vlhkosti tepelně izolovat atd., atp. Pro příznivé působení hmoty Velké věže vyhlazující vnitřní teplotu svědčily tehdy čerstvé doklady díky monitoringu teplot a vlhkosti vzduchu, který v řadě hradních prostor nechali začátkem roku 1998 prozíravě instalovat pracovníci ÚPPSČ spolu se správou hradu.

Pro odborné zpracování a technické využití této tepelné setrvačnosti během roku však nebyl ještě čas.

O skutečné roli vlhkosti venkovního vzduchu vycházejí pouze z primárních měřených hodnot teploty a vlhkosti, se však bez speciálního zpracování dat nedalo usuzovat. O množství a účincích jeho průniku do kaple se také objektivně nic nevědělo. Kromě uvolněných okenních vitráží zde spolupůsobily proměnlivý a reverzující komínový tah schodiště věže a netěsné dveře kaple, její předsíně a hlavních dveří věže, objevovaly se projevy vlhkosti v přízemním lapidáriu a jarní kondenzace vody na dlažbě v nástupní chodbě věže a i stav stěn celého schodiště budil obavy.

Odezvu venkovní teploty v prostoru kaple ovlivňoval zmíněný komínový účinek schodiště Velké věže, netěsné dveře a vitráže oken, vítr, počasí a roční doby. Stavební odborníci i památkáři přispěli k obavám z průniku venkovního vzduchu poukazem na trhliny zdí. V západní zdi, ve výklenku severozápadního okna, u severozápadního koutu a možná i jinde chyběly údaje o hloubce, do níž se dostala malta a omítka při Mockerově opravě hradu koncem 19. a začátkem 20. století. To bylo tím nebezpečnější, že takto vyspravené trhliny ústily k rubu desek s podezřením na přívod parazitního vzduchu, je-li v kapli podtlak.

Zde je třeba poukázat na skutečnost, jejíž škodlivé důsledky si od Mockerovy restaurace hradu snad nikdo neuvedomil, že výztužné obvodové rámy deskových obrazů, které lícují těsně do mříže Mockerových ukládacích roštů, bránily přístupu vnitřního vzduchu za desky. Theodorikovy obrazy tedy „žily po celá desetiletí dvojím mikroklimatickým životem“, kdy se jejich rub nacházel v nežádoucím styku s teplotně i vlhkostně a s časovým posunem odlišnou stěnou kaple – se všemi hrozivými důsledky. To dnes může u některých obrazů vysvětlit původ jejich tehdejších deformací (například obraz Ukřižování) i mechanických defektů malby na deskách. Při té příležitosti raději nekomentujeme názor, „že si desky v minulosti na své prostředí zvykly“, který jeden z autorů této části příspěvku také zaslechl.

Nade vším stál přízrak „klimatizace vzduchu“ a jím vyvolaná představa, že interiér kaple by byl vybaven (pravděpodobně viditelným) strojním zařízením a vnučena mu nejistá hodnota stálé teploty a relativní vlhkosti.

V dalším rozhodování zvláštní komise památkářů, restaurátorské komise, spolupracujících restaurátorů a ostatních zúčastněných odborníků hrála

roli také nejistota, zda a jaká teplota a vlhkost vzduchu bude ta „správná“, která ochrání desky, zlacení klenby, osazení kamenů a další výzdobu kaple dlouhodobě před poškozením umělým zásahem do mikroklimatu interiéru kaple. Je třeba říci, že tehdy nikdo nepochyboval o mezinárodně přijímaných doporučeních teploty a vlhkosti vzduchu v muzeích, galeriích, historicky cenných sbírkách a interiérech (např. studie ICCROM, 1960) nebo o jině doporučených, ve skutečnosti však pouze tradovaných hodnotách (ICOM, 18 °C, 50 ± 5 % RH, jinde např. 20 °C, 50 až 60 % RH), o nichž je dnes možno říci, že nevyjadřovaly nic jiného, než „naději, že v takto vytápěném a větraném prostoru bude vlivem ovzduší jakýkoli materiál nejméně poškozen“, aniž se uvažovalo o kolísání této teploty a vlhkosti. První odvážná kritika, že především jde dilem o hodnoty prospívající zájmům výrobců klimatizace, dílem o hodnoty iluzorní a postrádající racionálního zdůvodnění [2] a další kritické práce [3], jež po ní následovaly, nabídky (především nízkonákladové a vlastnosti budov využívající) cesty náhrady klimatizace, neuvedly však dostatečně pádné argumenty pro nebezpečí, jež představují teploty snížené do intervalu <0; 8> °C v oboru běžných měrných vlhkostí venku. I to zřejmě bylo příčinou, že se u nás, pravděpodobně bez vážné odezvy, pouze čekalo na výsledky výzkumu, který by stanovil důvěryhodné hodnoty.

Obavy a nedůvěra zde byly jistě oprávněné vzhledem k materiálové různorodosti výzdoby kaple (desková malba, zlacené omítky, nástěnné malby) a též k nutnosti nenarušit historický charakter interiéru kaple technickým zařízením. Potřeba radikálního řešení mikroklimatu však pravděpodobně a podstatně přispěla k tomu, že v tomto úkolu mohla být tolerována i dobře uvážená nová cesta vedoucí k opuštění tradice tam, kde k ní nebyla důvěra.

2. K PRŮBĚHU REALIZACE

To, že technické zařízení nesmí viditelně porušit zachování historické autenticity interiéru kaple a jeho ukrytí včetně čidel a kabeláže bylo podmínkou, přesto průběh řešení záměru v r. 1999 byl velmi rychlý. Na konci prázdnin 1999 byly zahájeny práce na studii principiálního řešení ochrany obrazů. Studie kromě návrhu pracovních parametrů jednotky pro úpravu vzduchu obsahovala varianty umístění jednotky a po diskusích, za významného přispění správy hradu, bylo z cca šesti předběžných variant rozhodnuto o umístění jednotky do krůvku nad schodištěm a o nekonvenčním přivedení i odvodu vzduchu gotickým oknem nad vchodem do kaple.

Studie byla před koncem roku 1999 odevzdána k zpracování do projektu. Návrh i projekt, který sledoval mj. i nízké pořizovací a provozní náklady, samozřejmě při splnění nároků celé výzdoby kaple na mikroklimatickou ochranu, byl hotov v dubnu r. 2000 a předán, po získání závazného stanoviska památkové péče, vybraným dodavatelům k zpracování prováděcích projektů a k dodání jednotky.

Stalo se tak po neuvěřitelně krátkém období intenzivní práce a připomínka této skutečnosti je jistě namístě. Výsledkem byla kompletní dodávka a montáž jednotky s automatickou regulací pro speciální úpravu teploty a vlhkosti a filtraci vzduchu v listopadu a její uvedení do ověřovacího provozu v prosinci r. 2000, při probíhajících dokončovacích restaurátorských pracích na okenních vitrážích a detailech jinde v kapli.

Z dosavadního popisu počtu různých problémů a z přístupů k jejich vyřešení je jisté patrný přínos nutné účasti odborníků z širokého spektra oborů.

Návrh, projekt i jednotka sama se na rozdíl od klimatizačního zařízení lišila především počtem a kvalitativními znaky odlišností, vycházejícími zejména z algoritmů automatické regulace s roční teplotní křivkou a udržováním kompromisní teplotně-vlhkostní rovnováhy mezi výzdobou a vzduchem v kapli, s preferencí ochrany Theodorikových desek. Jako hlavní činitel po-

škození obrazů se sice jeví vlhkost vzduchu. Nebezpečným činitelem je prach, avšak účinnou filtrací vzduchu se na to pamatovalo [1].

Automatická regulace byla již v lednu 2000 nastavena, díky informacím z monitoringu hradu, na časový program cca tříměsíčního postupného a řízeného vzájemného přizpůsobení stavu upravovaného vzduchu a stavu zlacení vychladlé kaple cíleného na přizpůsobení mikroklimatu v kapli pro přijetí zabalených Theodorikových obrazů ke konci 1. čtvrtletí r. 2000. Po tomto programu následoval další časový program řízeného a sledovaného cca 2 až 3 měsíčního přizpůsobení obrazů přivezených v příslušných obalech z klimatizovaného prostoru Anežského kláštera (z předpokládaného nekolísajícího stavu 21 °C, 60 % r.v.). To již byl sledován teplotně-vlhkostní přechod postupně rozbalovaných obrazů na požadovaný stav kaple. Byl řízen algoritmem automatické regulace jednotky tak, aby na konci doby přizpůsobení panovala v kapli teplota odpovídající roční teplotní křivce a k ní podle příslušné závislosti (1) relativní vlhkost vzduchu a deskové obrazy dosáhly rovnovážné vlhkosti v daném nastaveném rozmezí ukazatele u jejich měrné vlhkosti. V květnu a počátkem června r. 2000 pak byly z ochranných obalů obrazy Mistra Theodorika definitivně osvobozeny.

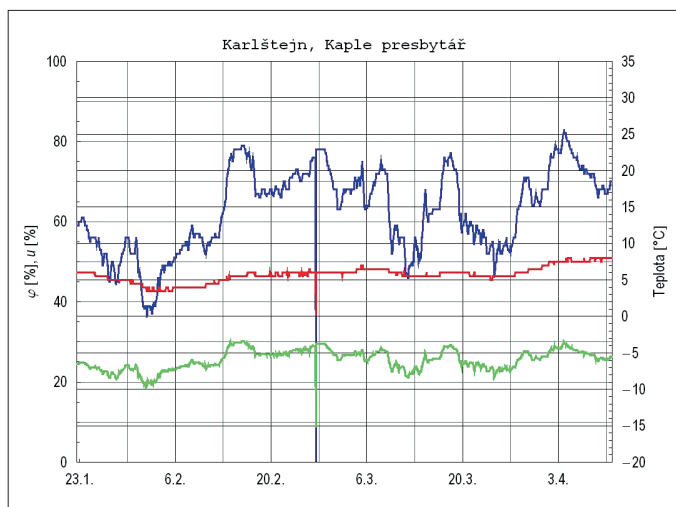
Jak byly obaly obrazů pod dohledem na chod úpravy vzduchu pomalu a postupně otvírány přístupu upraveného vzduchu z kaple, tak byly postupně umísťovány do dřevěných, kdysi arch. Mockerem instalovaných ukládacích nástěnných roštů. V jejich vybraných polích byla již připravena čidla systému automatické regulace jednotky k monitoringu teploty a vlhkosti za obrazy, k jejichž rubu byl uvolněn přístup vzduchu navrtanými 16mm otvory v trámciích ukládacího roštu a cca třímilimetrovým odsazením vnějších lišt mezi obrazy od roštů. Průběžná trvalá měření teploty a vlhkosti čidly umístěnými za deskami prokazují správnost tohoto opatření.

Účinný režim trvalé mírné cirkulace vzduchu v kapli zmenšuje teplotní rozdíly v prostoru kaple na 1 až 3 K mezi vrcholem klenby a pásmem pobytu a mírný přetlak způsobený přidávaným podílem upraveného čerstvého vzduchu a garantovaný využitím zjištěné, náhodně vyhovující a neupravované netěsnosti vstupních dveří kaple, brání přístupu parazitního vzduchu z okolí. Provozní pokus ukázal, že původně projektované přenosné cirkulační ventilátorky se ukázaly přebytné a k dobrému promíšení vzduchu v kapli stačilo proudění od hlavního ventilátoru jednotky.

3. DNEŠNÍ POHLED NA NOVÉ ŘEŠENÍ KAPLE SV. KŘÍŽE

Pro mikroklima kaple potřebný jednoznačný klíč pro vztah „teplota-vlhkost“, poskytující přiměřené jistoty v ochraně alespoň nejcennější části sbírky, tj. deskových obrazů, byl nalezen v sorpční rovnováze mezi teplotou a vlhkostí desek a na ni působícím okolním vlhkým vzduchem [1]. Při ní nemůže dojít k podstatným vlhkostním deformacím dřevěných desek a vlhkostním a teplotním dilatačním pnutím tenkých vrstev z odlišných materiálů (podklady, barvy) vůči povrchu desek. S ohledem na tepelnou kapacitu Velké věže bylo v [1] přijato řešení, které se ukázalo jako šťastné, s vlhkostí závislou na programované roční teplotní křivce kaple, sledující průběh průměrných venkovních teplot. Tento přístup k vlhkosti vyplnil postrádanou mezeru v kritických pracích [2], [3], je v souladu s dalším výzkumem [4] zejména adsorpce v anorganických materiálech a poskytuje nyní odpověď i na dosud nevyjasněné otázky chování materiálů v oblasti vysoké relativní vlhkosti při snížených teplotách.

Sorpční izotermu dřeva, tj. experimentálně zjištěné křivky závislosti jeho měrné vlhkosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu byly vzaty jako ukazatele, podle nichž lze teplotně-vlhkostní rovnováhu zajistit v širokém rozmezí teplot vzduchu, pokud se teplotě přizpůsobí jeho vlhkost nebo naopak. Rovnovážný vztah vzduchu a dřeva a různých organických materiálů vyjadřovaný sorpčními izotermami byl ověřován kritickým průzkumem,



Obr. 1 Prázdná kaple,

Přes stabilní teplotu (červená) velké kolísání relativní vlhkosti (modrá) vyvolává značné kolísání ukazatele u vlhkosti dřeva (zelená) a jeho vysokou hodnotu.

aby byla mj. omezena rizika ve spolehlivosti těchto obtížně zjišťovaných experimentálních křivek. Při něm byla nalezena značná tolerance ostatních materiálů výzdoby kaple k stavu vzduchu, vyhovujícímu (teplotou a vlhkostí) ochraně preferovaných deskových obrazů, což nyní potvrdilo naději, že mikroklimatická ochrana celé kaple spočívá na vhodných předpokladech.

V důsledku nejistoty o vlastnostech starého a pravděpodobně nejednotnými konzervačními postupy upravovaného dřeva desek byla v řešení [1] užita „teplotní rodina“ sorpčních izoterm kompromisem pro několik druhů dřeva a dřevní hmoty s blízkými průběhy. Průzkum také ukázal blízký sklon sorpčních izoterm pro kůh, škrob a podobné látky, které mohly být použity v podkladech malby a jiné výzdoby, takže mikroklima preferované pro desky vyhoví i pro zlacení stropu, zbytky nástěnných maleb a dekoru lišt kolem obrazů. V případě zvolených parametrů úpravy vzduchu se tedy jedná o kompromis, vhodný pro ochranu výzdoby celé kaple.

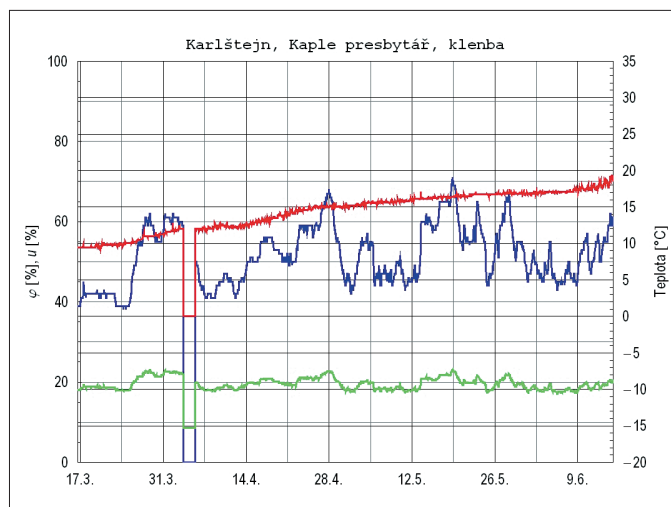
V řešení [1] byl ukazatel u měrné vlhkosti vzat jako hlavní kritérium průběhu funkce jednotky a vychází pro posouzení vlivu ovzduší kaple na stav obrazů. Charakter průběhu teploty ročních dob, s podmínkou respektovat vlivy okolí a přetlakem přiváděného upraveného vzduchu a s již zmíněnou podmínkou, že vzduch musí být s výzdobou trvale v teplotně-vlhkostní rovnováze, tj. nesmí se podstatně měnit především ukazatel u obsahu vlhkosti v dřevěných deskách, jakožto dominantní ukazatel stálosti jejich rozměrů a tvaru, vyžadoval oddělit kapli jak od změn povětrnosti venku, tak od vlivu schodiště působícího jako komín dopravující vzduch střídavě oběma směry kolem vchodu do kaple.

Podmínka sorpční rovnováhy je kvalitativně vyjádřena pravidlem „nižší teplota-nižší relativní vlhkost vzduchu a naopak“, kvantitativně v programu automatické regulace aproximačním vztahem

$$\phi_{\%} = (0,115 \cdot u - 0,99) \cdot (T_{\circ C} + 26,4) \quad (1)$$

Volitelná hodnota ukazatele u měrné vlhkosti desek požadovaná v [1] v rozmezí 17,5 až 21,5 splňuje fyzikální zákonitost sorpční rovnováhy předpokládané pro dřevo a dodržení nastavené požadované hodnoty $u = 20 \pm 5 \%$ vyžaduje při změnách teploty T_i v kapli podle roční teplotní křivky a podle vztahu (1) měnit, jak již bylo řečeno, i relativní vlhkost vzduchu ϕ_i . V průběhu sledovaných šesti let však měněna nebyla.

Řešení [1] zajistilo, že se upravený vzduch dostal i k rubu obrazů, a tak byl eliminován vliv vlhkosti stěn i případný vliv průniku parazitního vzduchu neviditelnou spárou (maskovanou vrstvou omítky z Mockerovy opravy)



Obr. 2 Dvojčidlo 80 mm pod klenbou presbytáře kaple

Teplota (červená) od února stoupá podle naprogramované roční křivky. Značné kolísání relativní vlhkosti vzduchu (modrá), jednotka zvládá a udržuje ukazatel u vlhkosti dřeva (zelená) v regulaci nastavených mezích.

a stav za vybranými obrazy je kontrolován čidly teploty a vlhkosti vzduchu. Přívod čerstvého vzduchu zajistil v prostoru kaple měřením sledovaný přetlak, nedovolující průnik vzduchu z jejího okolí všudypřítomnými netěsnostmi.

Již při řešení studie diskutovaný negativní vliv zimních teplot nad klenbou kaple (a obava z kondenzace vlhkosti na zlaceném stropu) se nijak neprojevil.

To vše bylo v masivu Velké věže možno spolehlivě zaručit pouze automatickou regulací, nutnou k vyloučení vlivů z okolí pronikajícího vzduchu, tepelné složky sluneční radiace, konvekčního tepla a popř. chladu, zejména však vlivu lidského činitele, tj. neřízeného topení, temperování s vysoušením resp. vlhčením, větrání okny nebo dveřmi a jiných zásahů v interiéru.

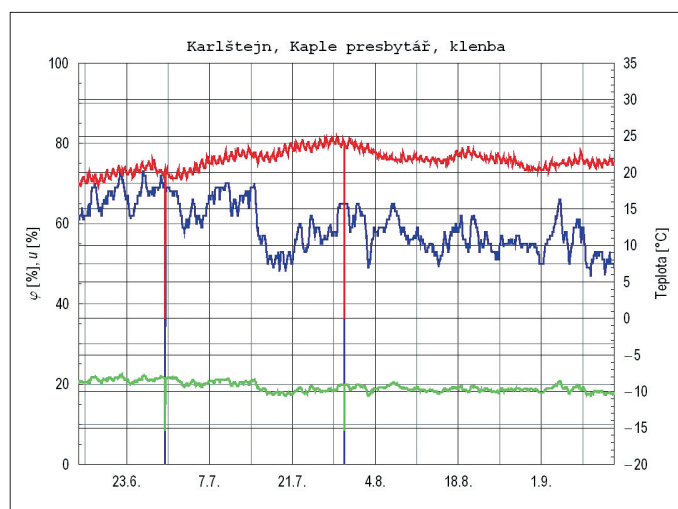
Toto ani poučená osoba, ani čidla s regulací individuálních přenosných přístrojů nemohla zajistit. Zde je třeba mít na paměti i schopnost moderních systémů měření a automatické regulace za příznivých pořizovacích nákladů omezit další, dosud opomíjený jev, a to kolísání stavu vzduchu venku a vnitřní odchylky od sorpční teplotně-vlhkostní rovnováhy.

Představu, jak by byl stav příznivé rovnováhy porušován u obrazů ponechaných přirozenému mikroklimatu kaple zachycenému ještě před realizací telemetrickým monitoringem Hanwell, vzdor pozitivnímu vlivu tepelné setrvačnosti Velké věže, demonstruje graf v obr. 1 ukazatele u^* vlhkosti dřevěných desek. Ten byl dodatečně, především pro názornost tohoto příspěvku, vypočten, podle (recipročního $k(1)$) aproximačního vztahu

$$u^* = \left(0,99 + \frac{\phi_{\%}}{T_{\circ C} + 26,4} \right) \cdot 0,115^{-1} \quad (2)$$

Z obr. 1 je patrná vysoká vlhkost vzduchu v kapli nejen v chladném a jarním přechodném období, ale i na počátku léta, patrná ze srovnání hodnot u^* s požadovaným pásmem $u = 20 \pm 5 \%$. To při nízké teplotě znamená i nebezpečí rozvoje mikroorganismů, které s jistotou nezastaví ani vrcholné léto a suchý vzduch ve vyhřátém interiéru na podzim. S tím související vysoušení vlhké kaple vede k deformacím a k poškození deskových obrazů, podkladu zlacení klenby i ostatních povrchů omítek jejich přeschnutím.

Naproti tomu průběh ukazatele u rovnovážné vlhkosti vzduchu, získaný zpracováním dat z doby provozu jednotky pro úpravu vzduchu ilustruje v přehledných a názorných záznamech v obr. 2 až 4 účinek a stabilitu prostředí Kaple, jež až dosud nevedlo k indikaci poškození její výzdoby.



Obr. 3 Dvojčidlo 800 mm pod klenbou presbytáře kaple

Teplota (červená) kolísá zřejmě vlivem počasí kolem roční teplotní křivky, která je na vrcholu. Teplota však překračuje požadované maximum této křivky buď vlivem přetíženího chlazení, nebo konvekci teplého vzduchu ke stropu. Vzdor kolísání relativní vlhkosti (modrá) však jednotka v první třetině záznamu udržuje požadovanou hodnotu u (zelená), zbytek záznamu s poněkud nižším u odpovídá zanedbatelnému vysoušení desek vlivem vysoké teploty.

4. ZÁVĚR

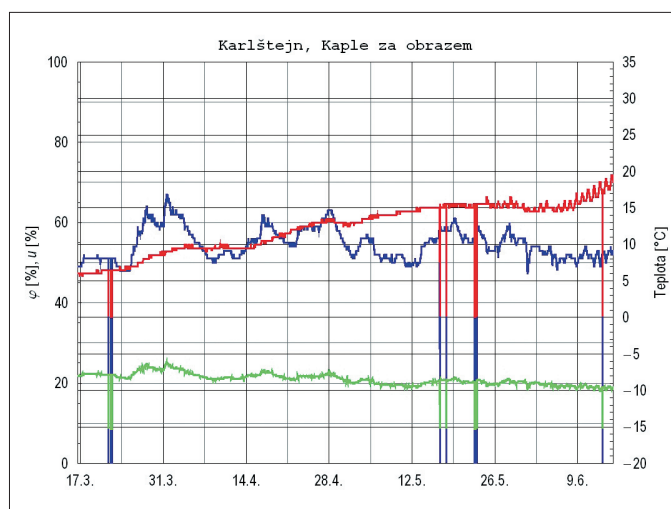
Chod jednotky a parametry stavu vzduchu v kapli byly po instalaci obrazů za jedno roční období podrobně počítačem zpracovány a nebyly shledány nepřijatelné odchylky od nastavené požadované hodnoty ukazatele u . Pokud byly malé odchylky zjištěny, trvaly relativně krátkou dobu. To, po jak dlouhé době by se mohly projevit na stavu výzdoby, zůstává na pokračujícím systematickém sledování, jehož přínosem je, že k eventuálnímu defektu existuje objektivní měření stavu fyzikálně definovaného okolí.

Parametry vzduchu v kapli jsou i nadále průběžně sledovány jak na monitoringu Hanwell, tak, v širším rozsahu (cca 14 čidel a dvojčidel), na vlastním monitoringu jednotky, data jsou archivována a k dispozici pro eventuelní výzkum, pokud by se ho ukázala potřeba.

Výkon jednotky a znalost fyziologické produkce tepla a vlhkosti lidského organismu poskytly podklad k doporučení povoleného počtu návštěvníků, který by neměl stav výzdoby ohrozit a výpočtové podklady uvedené již ve studii pro návrh výkonu jednotky, dovolují i speciální výpočtový odhad přípustného počtu a doby při mimořádném shromáždění více osob i odhad doby zotavení ovzduší kaple po takovém zatížení. Měření skýtá možnost také kontrolovat popřípadě získat zkušenosti s opatrným mokřím úklidem podlah, jako efektivním prostředkem v boji s jemným prachem. Ten cenné povrchy neméně vážně ohrožuje, neboť jeho afinitu např. k jemným prasklinám povrchu malby podporují nevládnuté elektrostatické síly.

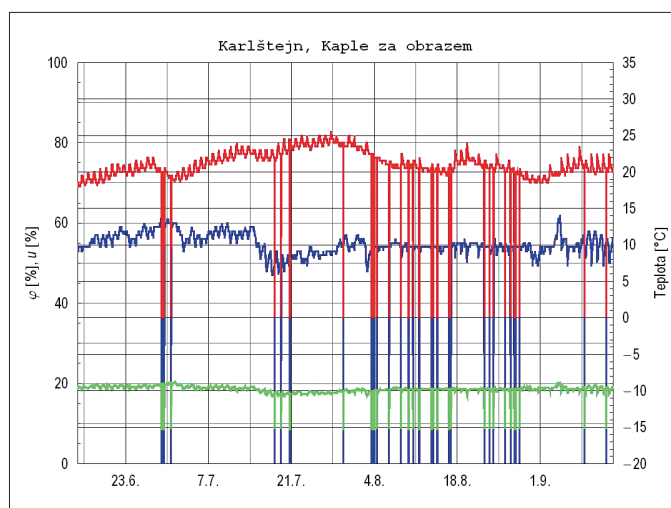
Odborné hodnocení stavu výzdoby kaple Sv. Kříže restaurátory a restaurátorskou komisí bylo po instalaci obrazů od počátku komplikováno dřívějšími defekty, které mohly pocházet z doby, kdy byly deskové obrazy vystaveny v prostorech Anežského kláštera a defekty zlacení pocházejícími z předešlých let a z cca desetiletého období oprav kaple.

V současnosti, podle poznatků restaurátorů dohlížejících průběžně na stav výzdoby kaple a sdělení Národního památkového ústavu, Územního odborného pracoviště Středních Čech není od instalace obrazů konstatován vznik nebo pokračování poškození obrazů ani ostatních částí výzdoby prokazatelně ukazujících na vliv úpravy vzduchu a chod jednotky.



Obr. 4 Dvojčidlo umístěné za obrazem v severozápadním výklenku okna

Roční teplotní křivka stoupá analogicky jako u klenby v obr. 2, kolísání relativní vlhkosti vzduchu (modrá) vyvolává kolísání ukazatele u vlhkosti rubu desky. Není patrný časový posun modré a zelené křivky, což svědčí o účinném průniku upraveného vzduchu z kaple za obraz. Z porovnání s modrou křivkou v obr. 2 je patrný útlum vlhkosti pronikající k rubu obrazu. Teplota na rubu desky vlivem tepelné kapacity stěny reaguje pomaleji na vzestup teploty pod klenbou.



Obr. 5 Dvojčidlo umístěné za obrazem v severozápadním výklenku okna

Vrchol roční teplotní křivky pod klenbou ve třetí dekádě července 2006 se shoduje s vrcholem teploty za obrazem. Rozdíly průměrovaných teplot z denního kolísání (cca 1,5 K) mezi klenbou a rubem obrazu činí cca 2 K. Ukazatel u v první třetině záznamu je analogicky s průběhem v obr. 3 vyšší. Ve zbývajících třetinách je patrný stabilizující účinek zdi, jejíž stav podle záznamu nepodléhá nestacionárnímu vývoji, což je důsledkem velmi malých denních změn naprogramované roční teplotní křivky.

Období vzpomenuých šesti let poskytují i důvod pro kritický pohled na dva problémy jednotky pro úpravu vzduchu.

Týká se především vlhčení vzduchu, řešené tehdy s ohledem na nízké pořizovací i provozní náklady, avšak s očekáváním zlepšení finanční situace s možností je v budoucnu zdokonalit, k čemuž ovšem nedošlo. Jednotka by měla být, místo stávající donášky destilované vody pro vlhčení vzduchu do strojovny, doplněna automatizovaným přívodem a doplňováním. Současný stav je, zvláště v mrazích, pro obsluhu velmi nepohodlný.

Druhým problémem jsou opět finanční prostředky, které by měly být vynaloženy na komplexní kontrolu funkce jednotky. Jedná se o využití k jednotce náležejících a v kapli instalovaných čidel teploty a vlhkosti v místech, považovaných za důležitá pro stav obrazů i výzdoby, zejména za obrazy.

K takovému využití, přes jeho význam pro kapli i pro obecné a objektivní poznání za šest let nedošlo. Není zanedbatelné, že některé z měřených a dosud archivovaných provozních parametrů by mohly po vhodném zpracování a interpretaci indikovat stav utěsnění trhlín zdí a vypovědět např. i o statické velké věže, indikovat změnu těsnosti resp. přetlaku kaple a působení komínového účinku Velké věže násobeného výkyvy počasí. V neposlední míře – v souvislosti s výskytem extrémních a dlouhotrvajících letních teplot v posledních letech – je také žádoucí ověřit dostatečnost výkonu jednotky a jít popřípadě k potřebné úpravě algoritmu regulace. Určitý systém využití takových informací by konečně měl být nastartován. Posledním důvodem je – sice zatím zcela okrajová – otázka, jak řešit stav, kdy si opotřebená jednotka vyžádá její likvidaci a zdokonalenou náhradu. Jednou k tomu jistě dojde a provozní data pak budou neocenitelná.

Zcela na závěr je milou povinností autorů poděkovat za přispění k úspěchu náročné akce alespoň těm, jejichž podíl je jim znám. Odborným přínosem ke koncepci řešení přispěli prof. Ing. P. Zítek, DrSc. (ČVUT-FSI), Ing. J. Kyncl (ČVUT-FEL) a autor projektu jednotky doc. Ing. K. Papež, CSc. (ČVUT-SF), jímž je autor studie a spoluautor příspěvku zavázán díkem. Za odborné předběžné konzultace, vysoce odborné zpracování prováděcích projektů a obětavý dohled při instalaci, seřízení, uvedení do režimu přizpůsobení kaple a do trvalého provozu se servisem zaslouží poděkování Ing. L. Klazar (PZP-Komplet, s.r.o.) se spolupracovníky za vývoj, dodání a seřízení strojní a chladicí části jednotky, Ing. O. Sládek (Kybertec, s.r.o.) se svými spolupracovníky za originální systém měření se zpracováním dat

a automatickou regulaci jednotky a v neposlední řadě Dr. Ing. M. Martinásková (ČVUT FSI), za zpracování rozsáhlého souboru provozních dat a kritérií svědčících o správné funkci jednotky a její regulace. Nelze ani opomenout, zatím touto formou nevyjádřený dík pánům ak.mal. J. Brodskému a J. Barešovi, pracujícím jako restaurátoři maleb na schodišti Velké věže. V stejné míře jistě přijmou dodatečný dík ak.mal. J. Culek, restaurátor kaple v NPÚ ÚOP Středních Čech a p. M. Tomek, zúčastněný na restaurátorských pracích v kapli, ti všichni za cenné postřehy a zkušenosti z jejich prací na hradě, sdělené při setkáních s autorem.

Spojení na autory: Ing. Miloslav Němeček, DrSc. em. prof. FEL ČVUT, Praha, tel. 233 331 458, Ing. Petr Bednář, NPÚ ÚOPSC, Praha, tel. 606 733 237.

Použité zdroje:

- [1] Němeček, M., Papež, K.: Úprava vzduchu v historických objektech. Vytápění větrání instalace, 10, č. 4, 2001, s. 150-158.
- [2] Holmberg, J.: Relative Humidity in Historic Houses, Museums and Museum Storage Rooms, a Literature Study, 1st Swedish Contribution to the EURO-CARE Research Project EU 1383 PREVENT, Technical University of Vienna, Vienna 1996
- [3] Boody, F. P., Grosseschmidt, H., Kippes, W., Kotterer, M., (Editors): Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering. Wissenschaftliche Reihe Schönbrenn, Bd. 9, 2004.
- [4] Zítek, P., Němeček, M.: Řízení mikroklimatu v interiéru historického objektu k prevenci poškození uměleckých památek. Grant GAČR č. 101-03-1365. ■

* Čištění vody a vzduchu fotokatalytickým účinkem oxidu titaničitého

Solární výzkum německého výzkumného centra *Deutsches Luft- und Raumfahrt Zentrum* (DLR) v Kolíně nad Rýnem využívá fotokatalytických účinků titandioxidu TiO_2 při působení slunečního záření k čištění a detoxikaci vody a vzduchu. Fenomen TiO_2 byl objeven před více než 10 lety v Japonsku, kde společnost Toto Frontier Research je vlastníkem více než 800 patentů po celém světě, založených na využití tohoto jevu.

Při čištění vody je suspenze TiO_2 rozptýlena ve vodě, která je následně vystavena slunečnímu záření. Při působení ultrafialového záření vlnových délek pod 380 nm dochází ke vzniku vysoce reaktivních hydroxylových radikálů, které oxidují organické látky na oxid uhličitý a vodu. Voda se suspenzí prochází trubkami ze speciálního skla Schott, umístěnými v ohnisku parabolických zrcadel slunečních kolektorů. Dosavadním nedostatkem této technologie byl problém recyklace TiO_2 , která byla nyní úspěšně vyřešena. Pilotní provoz vznikl v rámci EU projektu SOLARDETOX® a vyústil v komerční závod Hidrocen v Arganda del Rey u Madridu, kde plochou kolektoru 100 m² detoxikuje 3 m³/den kyanidových odpadních vod z metalurgické výroby.

Pro čištění vzduchu je fotokatalytický proces s využitím slunečního záření ve stadiu ověřování. Uvnitř slunečního reaktoru je TiO_2 dopovaný platinou nanášen na nosném substrátu sepiolitové keramiky se strukturou čtvercové voštiny. Vzduch prochází transparentním reaktorem, v němž dochází účinkem UV části slunečního záření k fotokatalytické oxidaci organických látek. První zkoušky s čistým UV zářením ukázaly, že výsledky jsou přenositelné na sluneční záření. Proces je schopen rozkládat těkavé organické látky včetně chlorovaných uhlovodíků, jako je např. trichlorethylen. Výhodou je, že proces probíhá při normální teplotě, protože adsorpce polutantů na povrchu katalyzátoru, jehož účinnost je dlouhodobá, roste s klesající teplotou a nevyžaduje použití dalších chemických látek.

Pramen: Tisková zpráva Inst. f. Techn. Thermodynamik – Solarforschung DLR, Köln, k veletrhu Hannover Messe 2006 (AB)

* Zvlhčovače vzduchu Finestfog

Předností vysokotlakých zvlhčovačů Finestfog německé firmy *Air Systeme* z bavorského Ayingu je, že bezhlučně rozprašují tlakovou vodu bez použití tlakového vzduchu nebo ventilátorů. Vytváří jemný aerosol, jenž se v okolí bez problémů odpařuje.

Podle požadavku zákazníka nebo podle okolností používají měkkou vodu z veřejné sítě, změkčenou vodu, destilovanou vodu nebo vodu upravenou reverzní osmózou. Základem systému je hydraulické vysokotlaké čerpadlo, ovládací systém, rozvody a trysky. Čerpadla od firmy Speck v mosazném nebo nerezovém provedení s filtrem částic nad 5 µm dodávají vodu o tlaku 8 MPa pro výkon zvlhčování 50 až 900 l.h⁻¹. Ovládací systém je nabízen ve třech variantách: Economy, Standard a Exklusiv s nejvyšším komfortem regulace i více zón. Na rozvody jsou užity vysokotlaké hadice a trubky DN 1/4 " z nerezavějící oceli. Trysky průměru 100, 150 a 200 µm mají výkon zvlhčování 1, resp. 1,5 a 2 l.h⁻¹. Pro vysokou životnost jsou trysky zhotoveny z hodnotnější nerezavějící oceli 1.4401 než rozvody z běžné nerezavějící oceli 1.4301 (Cr18Ni10). Montují se přímo na trubky jako pevné nebo jako otočné vybavené kloubem.

Nejčastějšími zákazníky jsou tiskárny, grafické závody, knihárny, výrobci kartonáže, obalů, kancelářských a školních potřeb, elektrotechniky a vдуchotechniky.

Pramen: Tisková zpráva Air Systeme GmbH, Aying, k veletrhu Hannover Messe 2006 (AB)

* Rekordní účast na veletrhu AHR EXPO v Chicagu

Stoupající požadavky kladené na energeticky účinné budovy a jejich techniku bylo možno konstatovat i na nejdůležitějším veletrhu v USA pro vytápění, větrání, klimatizaci, chlazení, měřicí a regulační techniku AHR EXPO v lednu 2005 v Chicagu.

Veletrhu se zúčastnilo 1980 vystavovatelů, z toho 352 z 39 zemí. Návštěvnost byla vysoká – podle amerického způsobu počítání veletrh navštívilo 36 891 „pravých“ návštěvníků a 20 782 osob kategorie „stánkový personál“. Při registraci bylo zaznamenáno přes 5000 zahraničních návštěvníků ze 110 zemí.

Účinnou pomůckou pro zájemce nabízely tzv. „Product Locators“, kde si návštěvník v PC zadal hledaný výrobek a dostal výtisk všech vystavovatelů hledaného výrobku.

(Pozn. redakce: Z ČR vystavoval Příhoda Hlinsko).

CCI 4/2006

(Ku)