FORUM / 2023 / ROČ. XIII / Č. 2

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2023 / Vol. XIII / No. 2
Peer-reviewed open access journal
https://www.doi.org/10.61574/fkr.2023.2.138

Chief editor: Ing. Alena Selucká
Editors: Mgr. Pavla Stöhrová, Mgr. Jana Fricová

Editorial Board:
Ing. Ivo Štěpánek (Head of Editorial Board)
doc. Dr. Ing. Michal Ďurovič
akad. mal. Igor Fogaš
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. akad. soch. Petr Kuthan
prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.
Ing. Radka Šefců
Mgr. Pavla Stöhrová (Secretary)

Open acces since 2019 available for free
on https://mck.technicalmuseum.cz/casopis-fkr/
The journal is indexed and abstracted in EBSCO.

Published by:
Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic

Contact for communication:
fricova@tmbrno.cz / stohrova@tmbrno.cz / selucka@tmbrno.cz

© Technické muzeum v Brně, 2023
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

PREVENTIVNÍ KONZERVACE V PODMÍNKÁCH TECHNICKÉ PAMÁTKY VODNÍ MLÝN VE SLUPI

Alena Selucká • Karel Rapouch • Petr Vaníček • Martin Hrdlička

Technické muzeum v Brně, Metodické centrum konzervace

Ing. Alena Selucká vede Metodické centrum konzervace TMB. Zaměřuje se na průzkum a ošetření kovových artefaktů, testování a zavádění konzervačních postupů a prostředků v muzejní praxi. Věnuje se rovněž hodnocení a regulaci mikroklimatickým parametrům uchovávání sbírek. (selucka@tmbrno.cz)

Předmětem studie je komplexní zhodnocení podmínek vnitřního prostředí technické památky Vodní mlýn ve Slupi z hlediska kritérií preventivní konzervace. Zohledněny jsou zásady udržování dobré stavební kondice objektu vůči působení vody, okolní vegetace a dalších biotických faktorů. Shrnuty jsou zkušenosti s aplikací mírné elektroosmózy pro snížení vlhkosti zdiva a odsunu vodorozpustných solí, průzkumem a ošetřením dřeva napadeného dřevokaznými houbami a hmyzem; okrajově je zmíněn též i problém degradace protipožárních nátěrů. Pozornost je dále věnována vyhodnocení dlouhodobého měření relativní vlhkosti a teploty vzduchu na základě stanovení tzv. historického klimatu a prověřených fluktuací mikroklimatických parametrů. Uvedené výsledky jsou komentovány v návaznosti na regulaci vlhkého vzduchu jednoduchými režimovými opatřeními s využitím přirozeného větrání.
Klíčová slova: technická památka, preventivní konzervace, mikroklimatické parametry prostředí, historické klima, větrání

PREVENTIVE CONSERVATION IN THE ENVIRONMENT OF A TECHNICAL MONUMENT – THE WATER MILL IN SLUP
The subject of the study is a comprehensive assessment of the conditions of the internal environment of the technical monument, the Water Mill in Slup, in terms of preventive conservation criteria. The principles of maintaining good structural condition of the building against the effects of water, surrounding vegetation and other biotic factors are taken into account. Experience with the application of mild electroosmosis to reduce the humidity in masonry and the removal of water-soluble salts, the survey and treatment of wood infected by wood-decaying fungi and insects are summarised; the problem of degradation of fire-resistant coatings is marginally mentioned, too. Attention is also paid to the evaluation of long-term measurements of relative humidity and air temperature based on the determination of the so-called historical climate and proofed fluctuations of microclimatic parameters. These results are commented upon in relation to the control of humid air by simple regime measures using natural ventilation.
Keywords: technical monument, preventive conservation, microclimatic environmental parameters, historical climate, ventilation

SPECIFIKA TECHNICKÝCH PAMÁTEK

Technické muzeum v Brně (TMB) má ve své správě šest technických památek, které se nacházejí jednak v Jihomoravském kraji – Vodní mlýn ve Slupi, Areál čs. opevnění v Šatově, Barokní kovárna v Těšanech a Stará huť v Adamově; ve Zlínském kraji je to Větrný mlýn v Kuželově; na Vysočině stojí Šlakhamr v Hamrech nad Sázavou (obr. 1). Všechny památky jsou zpřístupněny veřejnosti od dubna do října a pravidelně se zde pořádá řada akcí, jako jsou kovářské dny nebo historické tavby a s tím související aktivity a programy pro děti a jejich rodiče. Téměř všechny uvedené objekty (kromě areálu čs. opevnění v Šatově) jsou v režimu kulturní nebo národní kulturní památky a jsou chráněny zákonem o Státní památkové péči č. 20/1987 ve znění pozdějších předpisů.[1] Národní památkový ústav řadí mezi technické a průmyslové památky doklady vědy, výroby a techniky, tedy objekty a zařízení související s těžbou, výrobou, dopravou a skladováním. V současné době je to více než 2500 technických objektů a zařízení chráněných jako nemovitá, či movitá kulturní památka, národní kulturní památka nebo jako součást památkové rezervace, památkové zóny či případně krajinné památkové zóny. Mezi těmito objekty mají statut národní kulturní památky objekty jako Karlův most, Důl Hlubina, vysoké pece a koksovna Vítkovických železáren v Ostravě, železniční vůz Slovenská strela a v této společnosti je rovněž Vodní mlýn ve Slupi, Větrný mlýn v Kuželově a Stará huť u Adamova.

Obr. 1 Lokace vybraných technických památek ve správě Technického muzea v Brně / Location of technical monuments administered by the Technical Museum in Brno

Obr. 2 a 3 Vodní mlýn ve Slupi, pohled na průčelí mlýna a náhon se čtyřmi vodními koly, 2022. Foto Eva Řezáčová © Technické muzeum v Brně / Water Mill in Slup, view of the front of the mill and the race with four water wheels, 2022. Photo Eva Řezáčová © Technical museum in Brno

Památkový zákon ukládá povinnost vlastníkům či správcům pečovat o památky, uchovávat je v dobrém stavu, chránit je před poškozením a užívat je v souladu s jejich památkovou hodnotou a technickým stavem. Postup údržby musí být přizpůsoben danému objektu a vycházet z konkrétního stavu a podmínek, kterým je vystaven. V prvé řadě musí být zajištěna stabilita stavby, požární bezpečnost, ochrana zdraví a bezpečnost při užívání. Zvláště technické a průmyslové památky vyžadují zvýšené nároky na bezpečnost, jelikož prezentují technologie i mnohdy funkční zařízení, které se prezentují návštěvníkům. V případě Technického muzea v Brně, jsou objekty vybaveny i sbírkovými předměty, které jsou vystaveny ve zpřístupněných expozicích dokládajících způsob původního užívání objektů či danou řemeslnou nebo technickou tradici. Na sbírkové předměty se potom vztahuje Zákon o ochraně muzejních sbírek č. 120/2000 Sb., který rovněž stanovuje požadavky na režim zajišťující jejich ochranu a trvalé uchování.[2]

Jeden z důležitých nástrojů uplatňování zákonných norem péče o památky a muzejní sbírky je preventivní konzervace, která se zaměřuje zejména na sledování a regulaci parametrů prostředí.[3] To samozřejmě bezprostředně souvisí s charakterem uvedených staveb. Technické a průmyslové památky jsou památky zvláštního druhu, které mají svá specifická hodnotová kritéria, vyžadují také zvláštní přístupy při jejich obnově i údržbě. Je jasné, že v těchto historických objektech nemůžeme dodržovat přísně stanovené nároky na tzv. ideální muzejní klima,[4] které stále někteří muzejní pracovníci dogmaticky uplatňují i na méně citlivé kategorie sbírkových předmětů a v místech, kde je jejich dosažení holou utopií. V historických objektech daného typu jde preventivní konzervace ruku v ruce s režimovými opatřeními údržby, která, pokud mají být účelná a smysluplná, musí být prováděna pravidelně a systematicky [Červenák – Vácha, 2015]. Cílem je potom vytváření podmínek prostředí, při kterých jsou eliminována zejména hlavní rizika poškozování, jako je oheň, zatečení vody, působení okolní vegetace, nepřípustné výkyvy hodnot relativní vlhkosti a teploty vzduchu uvnitř interiéru, které vedou k rozvoji plísní a dalších biologických škůdců, enormní koroze materiálů apod. Celkovou snahou je nalezení rovnováhy mezi možným řešením regulace parametrů v památkově chráněných stavbách a konzervátorských standardů na dlouhodobé uchovávání sbírek muzejní povahy. Příkladem uplatňování preventivní konzervace v podmínkách národní technické památky Vodní mlýn ve Slupi (obr. 2 a 3) je rozveden v následujících kapitolách.

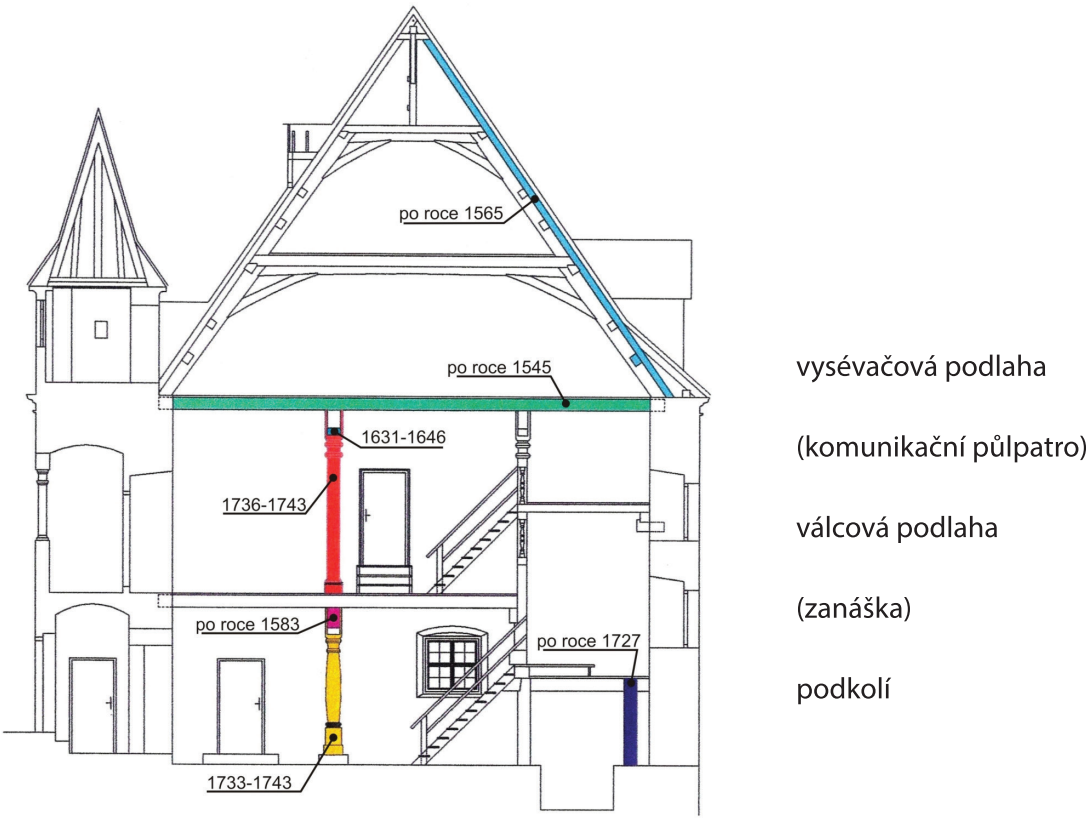
VODNÍ MLÝN VE SLUPI, OKRES ZNOJMO

Od roku 1995 je objekt mlýna registrován jako národní kulturní památka (číslo ÚSKP: 17009/7-673) s následující charakteristikou: „Pozdně renesanční vrchnostenská vodohospodářská stavba z přelomu 16. a 17. století. Významná technická a historická památka v obci s muzejním využitím."

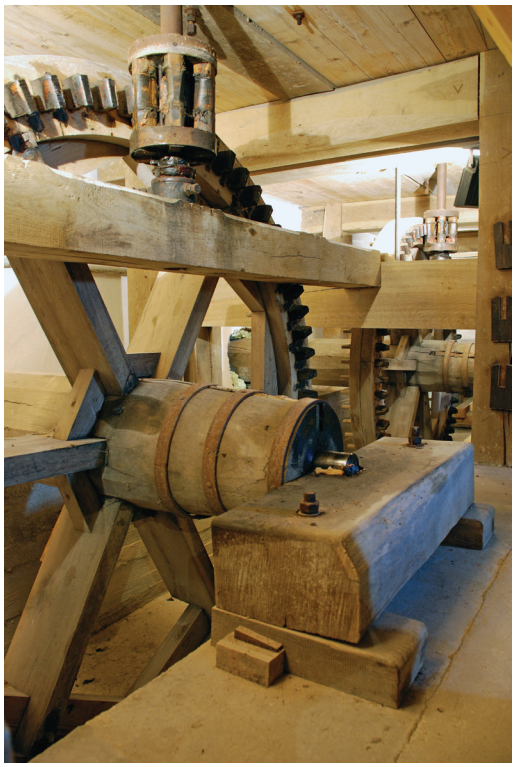
Historie vodního mlýna ve Slupi je spojena s krhovicko-jaroslavickým náhonem, o kterém první zmínka pochází z listiny již z roku 1302 (pravděpodobně historie mlýna sahá rovněž do období gotiky). Mlýn patřil majitelům panství Jaroslavice, z nichž jej nejdéle spravovala hrabata z Althanu, za nich došlo k pozdně renesanční přestavbě mlýna, která se dochovala dodnes – pro ni je charakteristické dvouramenné arkádové vstupní schodiště a výrazné střešní vikýře. Pozdější úpravy se týkaly zejména vnitřního zařízení. Po vzniku ČSR byl mlýn dokonce poháněn Kaplanovou turbínou, která nahradila mlýnská kola. Činnost mlýna byla později ukončena v 50. letech a mlýn postupně chátral. V roce 1970 se chátrající stavba stala majetkem státu. Záchranou objektu a celkovou renovací bylo pověřeno Technické muzeum v Brně. Po náročných plánovacích a přípravných pracích byla v letech 1977–1978 zajištěna statika budovy, opravena střecha, obnoveny podlahy jednotlivých pater mlýnice. Následně byla mlýnice osazována a vybavována mlecími stroji a zařízeními. Mlýn je od kompletní rekonstrukce v 80. letech 20. století zpřístupněn veřejnosti a je neustále zvelebován, udržován a v posledních letech je též spojen se Slavnostmi chleba – folklórními slavnostmi s ukázkami pečení chleba, které se každoročně pořádají ve spolupráci s místní obcí.

Budova mlýna zaujímá plochu zhruba 45 × 12 m^2. Hlavní a největší část mlýna je mlýnice (zabírající přibližně 2/3 budovy, je rozdělena na tři podlaží, dvě půl patra a dvě půdní patra), která je vystavěná ze dřeva a prochází celou výškou budovy, včetně dvou střešních pater. K ní z jedné strany přiléhá zděná místnost tzv. šalanda, která sloužila jako ubytovací místnost pro tovaryše a pomocné dělníky. Leží na opačném konci v západní části budovy v prvním patře nad podloubím. Vpravo se pak (v obytných prostorách mlýna) nachází expozice vztahující se k oboru mlynářství. Vnitřní prostory mlýnice jsou rozložené do níže uvedených tří pater (obr. 4):

- první nadzemní podlaží (1. NP) tzv. *podkolí*, které je ale částečně i pod úrovní terénu – jsou zde hřídele vodních kol, palečnicové převody a první základní rozvody (obr. 5); součástí je rovněž první půlpatro označované jako zanáška, na níž jsou umístěny mlecí části obyčejného složení, uměleckého složení a jáhelky,
- druhé nadzemní podlaží (2. NP) se nazývá *válcová podlaha* (obr. 6), protože v této úrovni jsou umístěny válcové stolice, které slouží k mletí obilí,
- třetí nadzemní podlaží (3. NP) a zároveň první půdní podlaží se jmenuje *vysévačová podlaha*, protože právě zde jsou mlýnská zařízení, ve kterých se produkty mletí přesívaly a třídily. Nad tím jsou půdní prostory.



Obr. 4 *Vodní mlýn ve Slupi, příčný řez budovou s označením dendrochronologického datování dřevěných prvků dle Kolář, T., 2007 / Fig. 4 Water Mill in Slup, cross-section through the building with dendrochronological dating of wooden elements according to Kolář, T., 2007*



Obr. 5 a 6 *Interiér mlýna: 1. NP podkolí (vlevo) a 2. NP válcová podlaha (vpravo). Foto Eva Řezáčová © Technické muzeum v Brně / Interior of the mill: 1st floor – the machinery floor (left) and 2nd floor – the stone floor (right). Photo Eva Řezáčová © Technical museum in Brno*

Žádné z dřevěných pater není samostatně uzavřené, přičemž v tomto popsaném členitém a různorodém prostoru vzniká přirozený komínový tah, který za určitých podmínek příznivě působí na odvádění případné vlhkosti a zajištění proudění vzduchu. Na druhou stranu je zřejmé, že v tomto typu objektu nelze lpět na dodržování muzejních mikroklimatických standardů. Zajištění účinné preventivní konzervace vychází zejména z pravidelné údržby objektu a nastavení reálných režimových opatření, díky čemuž je možné dosáhnout dobré kondice stavby i vystavovaných sbírkových předmětů.

PRAVIDELNÁ ÚDRŽBA STAVU OBJEKTU

Zabránění pronikání vody a vlhkosti

Jak uvádějí kolegové památkáři, kteří mají bohaté zkušenosti s provozováním historických objektů, velká část poškození staveb souvisí s působením vody [Šefců, 2021]. Dostává se do stavby nejen špatně provedenou střechou, ale také vzlínáním ze základové zeminy, odpařováním z vlhkého zdiva, omítky, kondenzuje v místech tepelných mostů – nadměrná vlhkost vede ke vzniku plísní, které ohrožují lidské zdraví, ale způsobují i rozklad organických materiálů. V případě mlýna je samozřejmě voda v jeho bezprostředním kontaktu. Zajištění dobré kondice objektu a potažmo i příznivých mikroklimatických podmínek v interiéru se odvíjí od pravidelných prohlídek stavby a sledování zejména změn na fasádě a konstrukčních prvcích. Pozornost je třeba věnovat v prvé řadě stavu střešní krytiny. Celá budova mlýna je krytá podélnou sedlovou střechou zakrytou pálenou taškou typu „bobrovka“, která je u nás tradičním, velmi rozšířeným materiálem. Její výhodou je, že ji lze průběžně vyměňovat za tašky podobných rozměrů. Zavedené jsou prohlídky zejména po silném dešti či větru, sezónně před zimou a po zimě. Sleduje se celistvost krytiny a riziková místa. Slabým místem jsou u všech staveb okapní žlaby, do kterých se splavují nečistoty ze střechy, po čase může dojít k poškození odvodnění a pronikání vody na fasádu. Důležité je též monitorovat prostor krovu – nejlépe při/po dešti a sledovat vlhká místa, (znakem změn jsou tmavá zavlhlá místa na trámech, charakteristický zápach, voda na podlaze). V interiérech sledovat případně trhliny na zdivu – zejména mezi stěnami a stropem a sledovat jejich pohyb tj. šíření v čase.

Důležitá jsou i další pravidelná režimová opatření – udržování bezprostředního okolí stavby zahrnující odhazování sněhu, odvádění dešťové vody okapy a svody, pokud možno okamžitá oprava zjištěných závad. Zdivo je dále poškozováno vymýváním vodorozpustných solí, které krystalizují a svými tlaky ohrožují a poškozují stavební konstrukci, což se projevilo i na zděném plášti mlýna (obr. 7).

V roce 2005 byla tato situace řešena ve spolupráci s Ateliérem Ing. Michaela Balíka, CSc.[5], který realizoval rozsáhlejší stavebnětechnický průzkum omítek a zdiva, přičemž bylo potvrzeno, že zdivo vykazuje vysoký obsah vodorozpustných solí – dusičnanů a síranů. Síranové anionty se vyluhují vlivem vody a vlhkosti z omítek, zdicí malty a cihelného střepu. Navržena byla sanační úprava na základě systému mírné elektroosmózy a aplikací sanačních omítek.

Metoda mírné elektroosmózy[6] zajistila snížení vlhkosti zdiva v celé výšce a zároveň i odsun solí. Řešení spočívá v zabudování kladných a záporných elektrod – anodou je kovová síťka zaomítnutá v omítce – zvnějšku, katody jsou tvořeny speciálními tyčemi uloženými v bezpečné hloubce do vývrtů v terénu, v podlahách přízemí objektu. Tato metoda žádným způsobem nezasahuje do zdiva, je tedy šetrná a nemá vedlejší účinky. Používá k vybudování elektrického pole střídavého napětí (max. 6 V), jehož průměrná pracovní velikost se blíží cca 2,8 V. Permanentně se tak vytváří umělé elektromagnetické pole, které zabraňuje zpětnému vzlínání vlhkosti do konstrukce objektu. Součástí opatření snížení vlhkosti ve zdivu byly rovněž sanační omítky na vytipovaných plochách – aplikovány byly čistě vápenné sanační hmoty do výšky cca 120 cm. Uvedené řešení výrazně zlepšilo celkovou kondici stavby a funguje bez potíží již osm let (viz obr. 2 a 3 – stav vnějšího pláště v roce 2022).

Nejvíce vodou namáhané prvky jsou však vodní kola a hřídele, které nesou paleční kolo umístěné na druhé straně návodní zdi v podkolí.

Obr. 7 Poškozené omítky a zdivo vnějšího pláště objektu v blízkosti náhonu vlivem působení vody a krystalizace solí, 2005. Foto Eva Řezáčová © Technické muzeum v Brně / Damaged plaster and masonry of the outer shell of the building near the race due to water and salt crystallization, 2005. Photo Eva Řezáčová © Technical museum in Brno

Všechny tyto části jsou v častém styku s vodou. Stanovení poruch dřevěných prvků se provádělo ve spolupráci s Fakultou lesnickou a dřevařskou Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity měřením rychlosti šíření zvuku dřevem přístrojem Arborsonic.[7] Princip této metody je založen na tom, že se snížením tuhosti dřeva dochází také ke snížení rychlosti šíření zvuku ve dřevě. Na základě této teorie lze posuzovat, do jaké míry je dřevěný prvek zeslaben. Vyhodnocení měření bylo předmětem diplomové práce [Kolář, 2007], v rámci které byla prokázána snížená tuhost dřeva u dvou hřídelí, u nichž bylo doporučeno je výhledově vyměnit za nové. V roce 2008–2009 byla zajištěna kompletní renovace vodních kol, která musela být opakovaně obnovena v letech 2019–2020. Jejich funkčnost nadále podléhá pravidelné kontrole.[8] V této souvislosti je nutné podotknout, že to, co nejvíce nyní ohrožuje dřevěné prvky v náhonu, je chráněný živočich – bobr. Tento hlodavec systematicky okusuje nové lopatky kol. Momentálně se zvažují možnosti účinné ochrany na bázi doporučených nátěrů – repelentů. Problémem může být i namrzání ledu na kolech a stavidlu, které by mohlo vést k zacpání toku/jalového odtoku, zvednutí hladiny a následnému zatopení interiéru. Obdobně hrozí zacpání jalového odtoku materiálem při vysoké vodě, nečištění česlí apod.

Omezení působení biologických činitelů

Součástí režimových opatření údržby je rovněž průběžná kontrola vzrostlé zeleně, která na jedné straně přispívá příznivě jako ochrana proti dešti, slunci i jako regulace vlhkosti, na druhou stranu může ale porušovat zdivo kořenovým systémem a narušovat tak statiku stavby. V blízkosti mlýna se nenachází vzrostlé stromy, které by fyzicky ohrožovaly konstrukci stavby, a běžná údržba se soustřeďuje pouze na odstraňování náletové zeleně v blízkosti objektu.

Ve vlhkém stínu se daří řasám, mechům a lišejníkům, které mohou být nebezpečné zejména pro porézní typy kamene. Vytváří zelené závoje, zabarvené skvrny a způsobují rozpouštění vápenatého pojiva, celkové mechanické porušení povrchu vedoucí až k odlupování vnějších vrstev [Novotný, 2015]. Zároveň i přispívají k udržování vlhkosti ve zdivu. V exteriéru je však jejich odstraňování neustále se opakujícím procesem. Jejich chemická likvidace a ošetření napadených míst je jen dočasné. Pro následné čištění lze použít vodní páru či jiné tradiční mechanické postupy (špachtle, kartáče). Kamenné sochy můžeme preventivně přikrývat paropropustnými obaly (geotextiliemi), ale u většiny stavebních prvků toto zajistit nelze. Na vnějších stavebních prvcích mlýna se nevyskytují rozsáhlejší nálety těchto mikroorganizmů a zatím ponecháváme tento stav bez zásahu (obr. 8).

Obr. 8 *Vodní mlýn ve Slupi, kamenné prvky průčelí mlýna pokryté lišejníky. Foto Eva Řezáčová © Technické muzeum v Brně* *Water Mill in Slup, stone elements in the front facade of the mill covered with lichens. Photo Eva Řezáčová © Technical museum in Brno*

Obr. 9 *Násypný koš a lub obyčejného mlecího složení zařízení mlýna (2. NP) ve spodní části napadené dřevokazným hmyzem. Foto archiv © Technické muzeum v Brně / Grain mill with hopper (2nd floor), the bottom part infested with wood-boring insects. Photo archive © Technical museum in Brno*

Celá vnitřní konstrukce mlýna je zhotovena převážně ze dřeva (krovy, podlahy, sloupové podpory, mlýnské zařízení, nábytek). Dřevo je organický materiál, který je trvale vystaven biotickým degradačním procesům – tj. zejména působením dřevokazného hmyzu a dřevokazným houbám. Biodegradace probíhá nejrychleji při obsahu vlhkosti ve dřevě 20–30 % [Naswettrová, 2021]. Z toho vyplývá, že hlavně nové konstrukce či vysprávky – dřevěné plomby by vždy měly být ošetřeny biocidním chemickým prostředkem, který zabrání vylétnutí dospělých jedinců a pokračování destrukce dřeva. Nelze však počítat plně s tím, že by běžný nátěr nebo postřik zabránil likvidaci živých larev v hmotě dřeva – zejména u silnějších trámů. Důležitý je proto pravidelný monitoring a vizuální (popřípadě čichová či sluchová) kontrola – sledování požerků, výletových otvorů, zvýšené vlhkosti v objektu apod.). V případě zjištěného rozsáhlého aktivního napadení hmyzem nezbývá než aplikovat účinnější dostupnou sanační metodu využívající například tepelnou energii (horký vzduch nebo mikrovlnné záření) popřípadě tlakovou injektáž. V celém objektu mlýna byla v roce 2007 v rámci výše uvedeného stavebně technického průzkumu dřevěných konstrukcí měřena vlhkost ve dřevě pomocí dielektrického vlhkoměru. Naměřené hodnoty vlhkosti dřeva se pohybovaly v rozmezí 13–15 %, při teplotě prostředí 14 °C a relativní vlhkosti vzduchu 64 %. Na základě tohoto průzkumu (doplněného i dalšími smyslovými a přístrojovými metodami – viz výše šíření impulzních vln dřevem) bylo konstatováno, že při těchto hodnotách nejsou vytvořeny podmínky, v nichž by se objevoval výskyt biotických činitelů, a že v případě krovů a stropních trámů nadměrných dimenzí se jedná o povrchové starší poškození a není nutné provádět sanační opatření. Potřeba je ale zajistit neustálý monitoring v intervalu každých šest měsíců a průběžné větrání. Od toho se odvíjí i nastavený režim prohlídek konzervátorů, a to vždy před zahájením návštěvnické sezóny na začátku jara a po jejím skončení před zazimováním objektu. Nicméně objekt tohoto typu neustále podléhá riziku biologických degradačních činitelů, se kterými je nutné počítat. V zásadě se jedná o nekonečný proces pravidelných kontrol a ošetření. Tímto způsobem byly v loňském roce zaznamenány u části dřevěných mlýnských zařízení požerky charakteristické pro působení červotoče. V zasažených místech byla aplikována injektáž insekticidem typu Lignofix, čímž se podařilo lokalizovat napadení (obr. 9).

I když se v objektu průběžně větrá, v období, kdy byl mlýn zavřený veřejnosti v letním období v roce 2019 během covidové pandemie, byl zaznamenán zvýšený výskyt plísní na plochách dřevěných sloupů v přízemí objektu – v částí podkolí (obr. 10).

Stanovení kontaminace povrchu mikroskopickými vláknitými houbami ze stěrů odebraných ze zasažených míst byla provedena v Textilním zkušebním ústavu v Brně.[9] Z měření vyplynulo, že kontaminace mikroorganizmy na površích byla detekována pouze v případě vzorků označených jako „bílé skvrny“, koncentrace kolonií tvořících jednotek (CFU) byla však velmi malá. U vzorků označených jako „černé skvrny“ nebyla kontaminace plísněmi potvrzena. V tomto případě se jedná o degradovaný protipožární nátěr, kterým byly zhruba před deseti lety opatřeny vybrané dřevěné konstrukční prvky (obr. 11).

Obr. 10 a 11 *Znaky napadení plísněmi – bílé skvrny na dřevěných plochách (vlevo) a degradovaný protipožární nátěr – černé skvrny (vpravo). Foto archiv © Technické muzeum v Brně / Signs of mould infestation – white stains on wooden surfaces (left) and degraded fire protection paint – black stains (right). Photo archive © Technical museum in Brno*

Vyšší koncentrace CFU pak byla zjištěna měřením spadem ze vzduchu,[10] kdy byla zjištěna průměrná koncentrace 37 CFU/m^3, ta je však hluboko pod limitem dle Vyhlášky 6/2003,[11] která udává limitní koncentraci pro pobytové prostory 500 CFU/m^3.
Povrchy s viditelným výskytem plísní byly ošetřeny fungicidním přípravkem a do prostoru podkolí byly zakoupeny čističky vzduchu s UV lampami. Zařízení funguje tak, že UV záření není emitováno vně zařízení, ale vzduch se čistí uvnitř čističky a ventilátorem je rozháněn do okolního prostoru. Tato opatření pomohla zlepšit hygienu vnitřního prostředí zejména během návštěvnických prohlídek.

Ochrana proti ohni

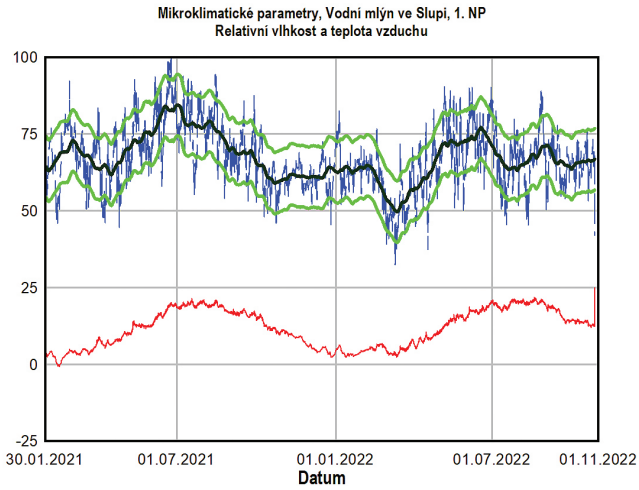
I když pro památkově chráněné objekty jsou možné určité výjimky oproti běžným stavbám, nedotknutelná jsou bezpečnostní kritéria tj.: mechanická odolnost a stabilita objektu, požární bezpečnost, ochrana zdraví osob a bezpečnost při užívání. Požární bezpečnost je v případě tohoto objektu, obsahujícího značnou část dřevěných prvků, velmi podstatná. Objekt je vybaven elektrickou požární signalizací – detektory kouře, přičemž signalizace je každý měsíc kontrolovaná na základě falešného požáru a zápisem do provozní knihy.
Části dřevěné konstrukce (sloupy, trámy) mlýna jsou opatřeny protipožárními nátěry – retardéry hoření. Bohužel časem dochází k jejich degradaci – jejich živostnost se uvádí zhruba 10 let. Pozorovány jsou uvedené barvené skvrny v povrchové vrstvě nátěrového systému (viz obr. 11), které opticky pozměňují povrch dřeva. Známý je též další negativní důsledek reakcí retardérů hoření na bázi amonných solí s vnější vrstvou dřeva a jeho rozvolňování. Tento problém s narušováním struktury dřeva není zatím uspokojivě vyřešen, a proto se od těchto retardérů v případě ochrany památkových objektů mnohdy odstupuje [Kučerová, 2010]. I když k rozvolňování dřeva není na dřevěných konstrukcích mlýna zatím dokladováno, aplikace nových nátěrů by si jistě vyžádala mechanické odstranění degradovaných vrstev a tím pádem poškození a úbytek originálního povrchu. Obnova protipožárních nátěrů je tedy v současné době předmětem diskuze v naší instituci a nedospěli jsme zatím k jednoznačnému rozhodnutí.

Monitoring mikroklimatických parametrů prostředí

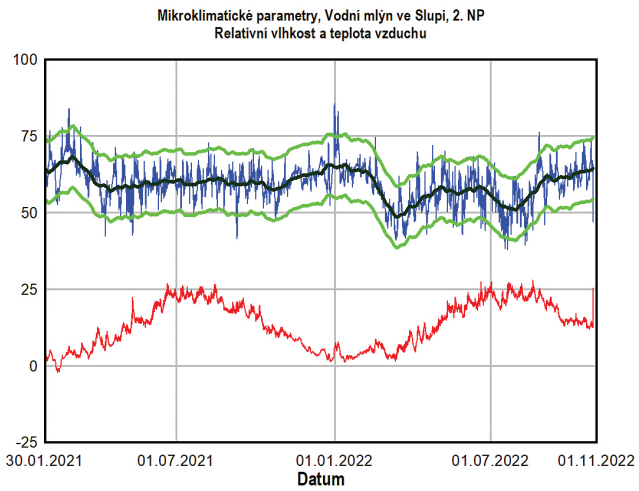
Sledování mikroklimatických faktorů prostředí – zejména relativní vlhkosti a teploty vzduchu je těžištěm účinných opatření pro zajištění optimálních podmínek pro dlouhodobé uchovávání předmětů kulturního dědictví a základem preventivní konzervace. Nastavování přípustných hodnot mikroklimatických parametrů je součástí různých doporučených standardů, přičemž za nejracionálnější z nich se považuje standard ASHRAE, 2011,[12] klasifikující pět kategorií muzejního prostředí (AA, A, B, C, D) dle stavebního charakteru objektů. U historické budovy, jakou je vodní mlýn (nevytápěná budova se sezónním využitím) je jasné, že nelze lpět na dosažení tzv. ideálního muzejního klimatu s minimálními fluktuacemi mikroklimatických parametrů. Odpovídajícími kategoriemi jsou zde dle uvedeného standardu stupně muzejního prostředí C nebo D s upozorněním na možná rizika poškozování schraňovaných předmětů:

- C: prevence mezních limitů, udržování relativní vlhkosti vzduchu v rozmezí 25–75 %, teplota pokud možno pod 25 °C, zřídka přes 30 °C,
- D: prevence vysoké vlhkosti, relativní vlhkost vzduchu pod 75 %.

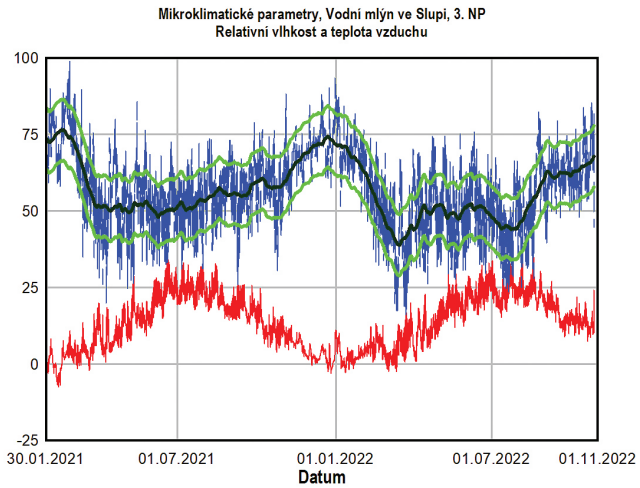
V daném případě je tedy racionálnější se zaměřit na analýzu a regulaci mezních hodnot RV a T než na striktní dodržování jedné ideální hodnoty (postup je označován jako kontrolovaná fluktuace – „proofed fluctuation“). Tento princip je též v souladu s určením tzv. historického klimatu, které je definováno jako „klimatické podmínky prostředí, ve kterém byly objekty kulturního dědictví vždy drženy, nebo v něm byly ponechány delší dobu (minimálně po dobu jednoho roku) a jsou v něm aklimatizovány.“[13] Pokud bylo prokázáno, že historické mikroklima není pro dané materiály škodlivé, pak tato norma doporučuje ponechávat předměty v daném prostředí, na které byly po dlouhou dobu aklimatizovány. Součástí stanovení historického klimatu je vyhodnocení sezónního cyklu a vymezení přípustných krátkodobých výkyvů relativní vlhkosti vzduchu (RV) vůči této sezónní hodnotě.[14]
Sezónní cyklus se měří na základě středního měsíčního klouzavého průměru (moving average – MA), který je aritmetickým průměrem všech hodnot RV měřených ve třiceti po sobě jdoucích dnech. To znamená, že pro roční záznam musí monitoring probíhat min. po dobu 13 měsíců, protože pro výpočet dat je nutné připočítat 15 dnů na začátku a 15 dnů na konci měření. Přičemž krátkodobé výkyvy jsou odečítány jako rozdíl mezi aktuálně naměřenou hodnotou RV a danou hodnotou MA. Horní a spodní limit přijatelného rozmezí odpovídá dle uvedené ČSN EN 7. a 93. percentilu výkyvů RV, zaznamenaných ve sledovaném období (tímto způsobem se vyloučí nejvyšší a nejrizikovější výkyvy) [Cammuffo, 2014]. Popřípadě tato norma též připouští kolísání RV v rozmezí max. ± 10 %. Závislost hodnot středního měsíčního klouzavého průměru v čase zvýrazňuje dlouhodobé trendy prostředí a odlišuje krátkodobé výkyvy [Selucká – Jakubec, 2014].
Uvedeným způsobem byla zpracována data RV a teploty vzduchu z dataloggerů umístěných ve třech patrech mlýnice,[15] viz grafy 1–3 v období od 30. 1. 2021 do 1. 11. 2022. Hodnoty RV (modrá křivka) jsou statisticky vyhodnoceny měsíčním klouzavým průměrem MA (tučná černá křivka),[16] který zdůrazňuje sezónní cyklus. Vůči této střední hodnotě je vymezeno „bezpečné pásmo“ krátkodobých fluktuací ± 10 % (zelené křivky). Hodnoty teploty jsou ponechány v běžném časovém záznamu (červená křivka) a pohybují se cca od 0 do 25 °C. Nestabilnější podmínky prostředí poskytuje 2. NP (válcová podlaha). viz graf č. 2. RV celoročně osciluje kolem 60 % a ojediněle překračuje horní mez 75 %, ale neklesá pod spodní hranici 40 %. V přízemí (podkolí) je dle očekávání relativní vlhkost vyšší (graf č. 1). RV se rovněž pohybuje kolem střední hodnoty 60 %, ale krátkodobé výkyvy mají mnohem větší rozptyl a v létě (v červnu a červenci) přesahují rizikovou horní mez 75 %. Tento trend ukazuje samozřejmě na bezprostřední kontakt s vodním náhonem, ale i na potřebu upravit systém větrání v daném období. Třetí patro tj. vysévačová podlaha (graf 3) je více prohřívaná a RV zde má opačný trend – v letním období klesá až pod rizikovou spodní mez 30 % a v zimě se dostává k hornímu limitu 75 %. Celkově tento prostor vykazuje největší rozptyl krátkodobých fluktuací hodnot teploty i RV.



Graf 1 *Relativní vlhkost a teplota vzduchu, Vodní mlýn ve Slupi, podkolí 1. NP: rizikový je sezónní nárůst RV nad 75 % v období kolem 1. 7. 2021 i 2022 / Relative humidity and air temperature, Water Mill in Slup, 1st floor (machinery floor): there is a high-risk seasonal increase of RH above 75% in the period around 1 July 2021 and 2022*



Graf 2 *Relativní vlhkost a teplota vzduchu, Vodní mlýn ve Slupi, válcová podlaha 2. NP / Relative humidity and air temperature, Water Mill in Slup, 2nd floor (stone floor)*



Graf 3 *Relativní vlhkost a teplota vzduchu, Vodní mlýn ve Slupi, vysévačová podlaha, 3. NP / Relative humidity and air temperature, Water Mill in Slup, 3rd floor (hopper floor)*

Diskuze k výsledkům monitoringu mikroklimatických parametrů

Naměřená data RV a teploty ukazují míru nestability vnitřních prostor a sezónní rizikovost vysoké vlhkosti spojené s nebezpečím rozvoje plísní a dalších degradačních mechanismů (nárůst vlhkosti ve dřevě a zvýšenou aktivitu dřevokazného hmyzu, korozi kovů atd.). Zpracování dat pomocí MA – měsíčního klouzavého průměru zvýraznilo sezónní cykly a odlišilo jednotlivé zóny uvnitř objektu. Nicméně stanovení přípustných krátkodobých fluktuací ± 10 % od hodnoty MA dle uvedené ČSN EN 15757:2010 nelze v případě 1. NP a 3. NP považovat za bezpečné pásmo, jelikož je potřeba zároveň zohlednit požadavek udržet RV pod 75 %. Je proto nutné soustředit se na regulaci RV zejména v letní sezóně a odvést vyšší vlhkost ze spodního patra. V zásadě jediným možným řešením jsou v daném objektu jednoduchá opatření na principu větrání a ventilace resp. cirkulací vzduchu mezi místy, kde vzduch vlhkost přijímá a kde ji do suššího prostředí předává [Černý – Němeček, 2011, s. 29; Červenák, 2021].

Obecně platí, že pro snížení vlhkosti interiéru je vhodné větrat, pokud je venkovní měrná vlhkost nižší než uvnitř budovy. Tyto podmínky je však obtížné v praxi běžně zajistit, jelikož to vyžaduje permanentní měření venkovní měrné vlhkosti a k tomu přizpůsobit režimová opatření. Řešením je zavedení systému tzv. adaptivního větrání tj. instalace zařízení, které je schopné na základě monitorovaných dat samo vyhodnotit stav aktuálních podmínek a obsluze dát pokyn k otevření, nebo zavření výplní otvorů [Lyszac, 2019]. V budově mlýna však můžeme spoléhat zatím jen na nízkonákladová řešení přirozeným větráním. V této souvislosti je rovněž z grafů možné usuzovat to, že zde, v prostorách s chladnějším vzduchem než venku, dochází i k obrácenému komínovému efektu. V létě vniká nahoře do budovy teplejší venkovní vzduch (3. NP), uvnitř se ochlazuje a dole z budovy vychází (1. NP) [Černý – Němeček, 2011, s. 35]. Stejně tak v jarním období je nutné obezřetně vpouštět venkovní teplejší vzduch do vychladlého interiéru, jelikož to vede ke zvýšení relativní vlhkosti.

Na druhou stranu z analýzy dat vyplývá, že více jak dvě třetiny času (70 %) během roku není nutné hodnotu relativní vlhkosti snižovat. Případy, kdy dochází k navyšování vlhkosti na horní přípustnou mez RV 75 % lze snižovat jednoduchým větráním. Na tyto situace je potřeba se zaměřit v rámci režimových opatření využívání větracích okének, otevírání oken a dveří v predikované příznivé denní a roční době. Zároveň data poskytují exaktnější informace o vhodných mikroklimatických podmínkách pro provádění konzervátorsko-restaurátorských zásahů (například impregnace dřeva, promazávání transmisí a dalších pohyblivých mechanismů) za použití různých konzervačních prostředků vyžadujících specifické podmínky aplikace [Hrdlička, 2013, s. 75].

ZÁVĚR

Realizace postupů preventivní konzervace v podmínkách technické památky – historické vodohospodářské stavby jako je Vodní mlýn ve Slupi vyžaduje komplexní přístup zahrnující systém pravidelných kontrol stavu objektu, vnitřního vybavení a vystavených exponátů. Častým problémem v obdobných stavbách je vysoká relativní vlhkost vzduchu, což v kombinaci s masivními zdmi vytváří optimální podmínky pro kondenzaci vlhkosti a tvorbě plísní uvnitř interiéru. Prioritou pro snížení hodnoty vzdušné vlhkosti by mělo být zejména odstranění konstrukčních vad a udržování celkové dobré stavební kondice i okolí budovy. V tomto ohledu je rovněž důležitý monitoring působení biologických škůdců, tj. sledování charakteristických změn povrchu, zápachu či zvukových projevů. Pro nastavení obecných doporučovaných mikroklimatických standardů lze vycházet z normy ASHRAE a její kategorie C a D pro historické interiéry. Uvnitř objektu se nenacházejí zvláště citlivé materiály a většina dřevěných konstrukcí je ze silnějšího masivu odolnějšího vůči větším změnám teploty a relativní vlhkosti. Úprava vnitřního prostředí může být v daném historickém objektu zajištěna pouze pomocí jednoduchých ekonomicky nenáročných opatření. V tomto smyslu je možné se spolehnout zejména na všeobecně známé větrání. Nicméně i tento rozšířený způsob regulace mikroklimatických parametrů musí být správně načasovaný. Za účelem stanovení strategie přirozeného větrání je užitečné zpracovat dlouhodobé záznamy teploty a RV pomocí ČSN EN 15757, která zavádí pojem tzv. historického klimatu. Vyhodnocení střídání sezónního cyklu mikroklimatických parametrů a stanovení jejich přípustných fluktuací je základem účinných opatření preventivní ochrany obdobných památek.

Článek „Preventivní konzervace v podmínkách technické památky Vodní mlýn ve Slupi“ vznikl na základě institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Technického muzea v Brně poskytované Ministerstvem kultury ČR v roce 2023.

POZNÁMKY

[1] Zákon o státní památkové péči č. 20/1987 Sb. a související prováděcí Vyhláška č. 66/1988.

[2] Zákon o ochraně sbírek muzejní povahy a o změně některých dalších zákonů č. 122/2000 Sb. a prováděcí Vyhláška č. 275/2000, § 1.

[3] Etický kodex muzeí ICOM uvádí, že: „Preventivní konzervace je důležitým prvkem muzejní strategie a ochrany sbírek. Muzejní pracovníci zodpovídají za vytvoření a dlouhodobé zajištění ochranného prostředí pro sbírky, které jsou jim svěřené, ať už uložené v depozitářích, vystavené nebo právě transportované."

[4] Za ideální muzejní klima jsou obecně považovány stabilní hodnoty teploty 20 ±2 C° a RV 50 ±5 %.

[5] Technická zpráva: Budova mlýna ve Slupi – Průzkum, analýza současného stavu z hlediska vlhkosti a návrh snížení vlhkosti zdiva v úrovni projektu, 08/2005, archiv Technického muzea v Brně.

[6] Aplikován byl systém SABEMA.

[7] Přístrojová metoda Arborsonic pro určení poruch dřevěných prvků pomocí šíření impulsních vln.

[8] Tesařské práce prováděla firma Kudrna.

[9] Stěry pomocí sterilních odběrových tampónů zajistil Mgr. Karel Rapouch z TMB a předal k analýze do Textilního zkušebního ústavu, s. p., viz Zkušební laboratoř – protokol o zkouškách, AZL 20/0753 ze dne 21. 7. 2020. p.

[10] Obsah spor plísní ve vzduchu byl zjištěn expozicí misky s agarem v prostoru po dobu 20 min a následným vyhodnocením v mikrobiologické laboratoři TZÚ v Brně.

[11] Vyhláška 6/2003, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

[12] ASHRAE. *Museums, libraries and archives.* ASHRAE Handb. Heating, Vent. Air Cond. Appl. SI edition, 2011, p. 23.1–23.23. Výklad této normy je dostatečně objasněn v rámci Metodiky uchovávání předmětů kulturní hodnoty, Technické muzeum v Brně, 2017, https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika_WEB_final.pdf

[13] ČSN EN 15757: Ochrana kulturního dědictví – Požadavky na teplotu a relativní vlhkost prostředí s cílem zamezit mechanickému poškozování organických hygroskopických materiálů, k němuž dochází v důsledku klimatu, 2011.

[14] Obdobně lze zpracovat i hodnoty teploty, nicméně pro organické hygroskopické materiály, jako je dřevo, se považuje za rozhodující vliv relativní vlhkosti vzduchu.

[15] Dataloggery COMET S3120 (přesnost měření T/RV: ±0,4 °C/±2,5 %), perioda ukládání dat do paměti 60 min.

[16] Pro statistické zpracování dat RV měsíčním klouzavým průměrem - MA byl využit program Dplot – Graph Software for Scientists and Engineers, https://www.dplot.com/index.htm

LITERATURA

- ASHRAE. *Museums, libraries and archives*. ASHRAE Handb. Heating, Vent. Air Cond. Appl. SI edition, 2011, p. 23.1–23.23. Výklad této normy je dostatečně objasněn v rámci Metodiky uchovávání předmětů kulturní hodnoty, Technické muzeum v Brně, 2017. Dostupné z: https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika_WEB_final.pdf
- CAMMUFFO, D. *Microclimate for Cultural heritage. Conservation, Restoration and Maitanance of Indoor and Outdoor Monuments.* Elsevier. 2014. ISBN 978-0-444-63296-8. s. 103–108.
- ČERNÝ, M. – NĚMEČEK, M. *Mikroklima v historických interiérech*, Národní památkový ústav, Praha, ISBN 978-80-87104-82-6, 2011, s. 29.
- ČERVENÁK, J. – VÁCHA, Z. Regulace podmínek pro uchování předmětů kulturní povahy v historických objektech. In: *Zprávy památkové péče*. Národní památkový ústav. Roč. 75, č. 5. 2015. ISSN 1210-5538. s. 457–464. Dostupné z: https://zpp.npu.cz/pdfs/zpp/2015/05/09.pdf
- ČERVENÁK, J. Udržování vnitřního prostředí v památkových objektech. In: *Údržba památkových objektů*. Odborný webinář, Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, 2021, s. 57–62.
- *ČSN EN 15757: Ochrana kulturního dědictví – Požadavky na teplotu a relativní vlhkost prostředí s cílem zamezit mechanickému poškozování organických hygroskopických materiálů, k němuž dochází v důsledku klimatu, 2011.*
- HRDLIČKA, M. *Vodní mlýn ve Slupi – vztah prostředí a materiálů*, magisterská práce, Masarykova univerzita, Filosofická fakulta, Katedra archeologie a muzeologie, 2013.
- JAROŠ, J., 1991. *Vodní mlýn ve Slupi*. Technické muzeum v Brně, 8 s.
- KUČEROVÁ I. Koroze historických krovů retardéry hoření na bázi amonných solí. In: *Porušení dřeva historických konstrukcí.* Společnost pro technologii ochrany památek. STOP, Praha, 2010.
- KOLÁŘ, T. *Dendrochronologické datování a stavebně technický průzkum mlýna ve Slupi*, diplomová práce, Fakulta lesnická a dřevařská, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007.
- LYSCZAS, M. *Využití adaptivního větrání pro úpravu tepelně vlhkostní složky*, disertační práce, ČVUT, 2019. Dostupné z: file:///C:/Users/selucka/Downloads/F1-D-2020-Lysczas-Michala-lysczas_disertacni%20prace.pdf
- SELUCKÁ, A. a kol. *Metodiky uchovávání předmětů kulturní hodnoty*, Technické muzeum v Brně, 2017. Dostupné z: https://mck.technicalmuseum.cz/wp-content/uploads/2017/12/Metodika_WEB_final.pdf
- KLOIBER, M. – KOVÁŘ, T. – MERTA, O. – RYBNÍČEK, M. Dendrochronologické datování stavebních prvků vodního mlýna ve Slupi, In: *Archeologia Technica 19*, Technické muzeum v Brně, 2018, s. 125–142. Dostupné z: http://archeologiatechnica.cz/sites/default/files/2019-01/at19-14.pdf
- NASWETTROVÁ, A. Poruchy dřevěných prvků krovových a stropních konstrukcí a jejich údržba, In: *Údržba památkových objektů*, odborný webinář, Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, 2021, s. 31–40.
- NOVOTNÝ, J., a kol. *Metodika: Dlouhodobá péče o sochařská díla a díla uměleckých řemesel z kamene v krajině*, 2015, str. 18–20. Dostupné z: https://invenio.nusl.cz/record/203539/files/cert-met--03-text.pdf
- SELUCKÁ, A. – JAKUBEC, P. Současné standardy mikroklimatu v muzejní praxi. In: *Fórum pro konzervátory-restaurátory*. 2014. Technické muzeum v Brně. ISNN 1805-0050, ISBN 978-80-87896-08-2, s. 71–76.
- ŠEFCŮ, O. Pohled památkáře na údržbu ve vazbě na typické poruchy historických staveb. In*: Údržba památkových objektů*, odborný webinář, Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, 2021, s. 6–13.
- Technická zpráva: Budova mlýna ve Slupi – Průzkum, analýza současného stavu z hlediska vlhkosti a návrh snížení vlhkosti zdiva v úrovni projektu, 08/2005, archiv Technického muzea v Brně.
- Zákon o ochraně sbírek muzejní povahy a o změně některých dalších zákonů č. 122/2000 Sb. a prováděcí Vyhláška č. 275/2000, *§ 1.*
- Zákon o státní památkové péči č. 20/1987 Sb. a související prováděcí Vyhláška č. 66/1988