

PRŮBĚŽNÁ ZPRÁVA ZA ROK 2025 (PROJEKT DH23P03OVV038)

I. PŘEHLED ZMĚN V POPISOVANÉM OBDOBÍ

V průběhu roku 2025 byl schválen Dodatek č. 1 ke smlouvě 38/2023/OVV mezi Poskytovatelem (MKČR) a příjemci podpory (ČVUT a VŠCHT), č. j.: MK 55571/2025 OVV. Dodatek upravuje znění následujících částí Smlouvy:

- Článek 4 Zprávy o řešení projektu a výkazy o skutečném čerpání účelové podpory, odst. 7 b) a c) a 8
- Příloha č. 3 Smlouvy – Všeobecné podmínky, část C – Úhrada nákladů, Článek 18 – Způsobilé a uznané náklady, písm. e) Doplnkové (režijní) náklady nebo výdaje, odst. 9 písm. b) a c) a 10.

II. PRŮBĚH ŘEŠENÍ V DANÉM ROCE, ZHODNOCENÍ PLNĚNÍ CÍLŮ, POSTUPU ŘEŠENÍ A VÝSLEDKŮ

V uplynulém roce se všichni členové konsorcia příjemců věnovali dílčím úkolům, které vyplývají ze schváleného harmonogramu řešení projektu. Národní archiv a Ústav organické technologie VŠCHT Praha se zabývaly jednak popisem a vysvětlením příčin studovaného typu degradace voskových pečeti, jednak srovnáním pracovních vlastností různých konzervačních roztoků, použitelných pro zamýšlený účel. Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze dokončil vývoj zařízení pro měření ohybových vlastností konsolidovaných vzorků s možností simultánní analýzy jejich vnitřní struktury.

Řešení dílčích úkolů v roce 2025:

- Dílčí úkol 2: Studium příčin degradačních změn včelího vosku (pokračování prací)
- Dílčí úkol 3: Vypracování metody hodnocení úspěšnosti konsolidace 1/ sledování pronikání konsolidantu do pórů materiálu (dokončení prací)
- Dílčí úkol 4: Vypracování metody hodnocení úspěšnosti konsolidace 2/ sledování konsolidačního efektu (dokončení prací)
- Dílčí úkol 5: Vyhodnocení účinnosti tradičních metod konsolidace a vyvinutí metod nových (zahájení prací)

Dílčí úkol 2: Studium příčin degradačních změn včelího vosku

Detailní popis charakteristických změn chemického složení u degradovaných pečetních vosků a možnosti jejich vysvětlení

V tomto roce byly popsány a vyhodnoceny rozdíly chemického složení 9 párů vzorků historických degradovaných a dobře dochovaných vosků, které pocházely z týchž pečeti.

Kromě toho bylo zkoumáno také složení vzorků včelího vosku extrahovaného z historických pergamenových závěsů pečeti a z jejich textilních ochranných obalů.

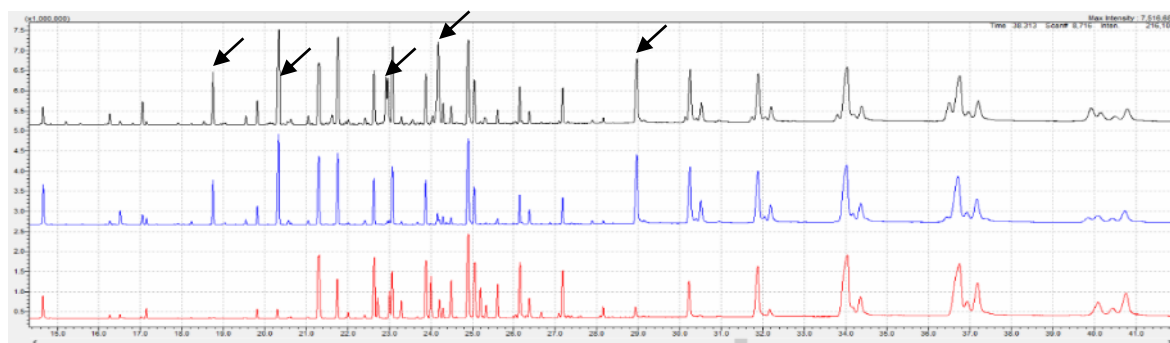
Cílem bylo posouzení možnosti zobecnění, upřesnění, a pokud možno také vysvětlení předběžných výsledků, získaných v předchozích letech. Použitou analytickou technikou byla plynová chromatografie s hmotnostní detekcí. Vzorky byly analyzovány jak v nativním stavu, tak po trimethylsilylaci. Jako vnitřní standard byl použit tetratriakontan.

V rámci snahy o vysvětlení zaznamenaných změn byla dále pomocí mikroextrakce pevnou fází (SPME) sledována sublimace složek včelího vosku. Vzorky 100 mg historického včelího vosku byly uzavřeny v nádobách o objemu 10 ml. Po uplynutí dvou měsíců při teplotě 30 °C byl sledován obsah *n*-alkanů v atmosféře. Srovnávací vzorky byly připraveny stejným způsobem, ovšem bez vzorku vosku.

Výsledky

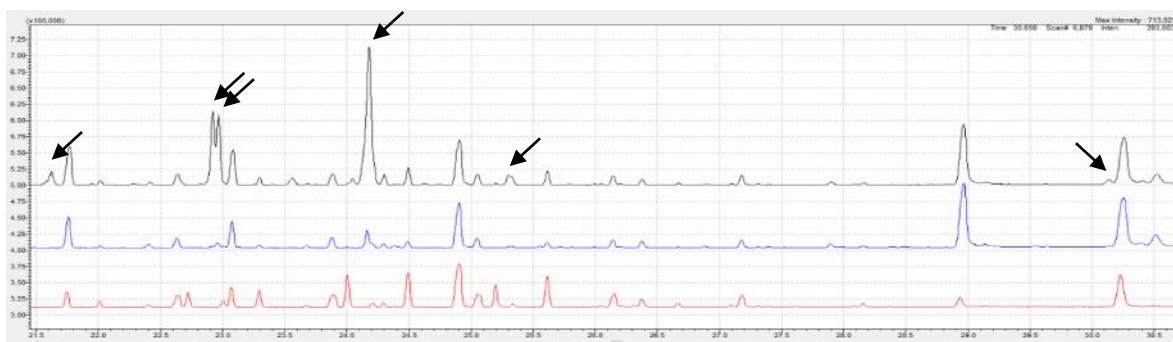
Trendy změn chemického složení byly tytéž u všech dvojic vzorků historických degradovaných a dobře dochovaných vosků. Analýza párů vzorků z téže pečeti do značné míry umožňuje zohlednit přirozenou variabilitu zastoupení některých složek ve včelím vosku různého původu. S vysokou mírou pravděpodobnosti je tedy možné výsledky považovat za obecně platné.

Srovnání typických TIC chromatogramů novodobého, dobře dochovaného historického a degradovaného včelího vosku svědčí o hloubce degradačních změn, kterým včelí vosk za určitých podmínek podléhá. Dobře patrný je úbytek nenasycených sloučenin, nízkomolekulárních *n*-alkanů s délkou řetězce < 31 atomů uhlíku a částečná hydrolýza voskových esterů s délkou řetězce 40–42 atomů uhlíku (Obr. 1).



Obr. 1 Srovnání TIC chromatogramů trimethylsilylovaných vzorků vosku. Označeny jsou píky *n*-alkanů C25 a C27, *n*-alkenů C31 a C33 a esterů C40. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části téže pečeti.

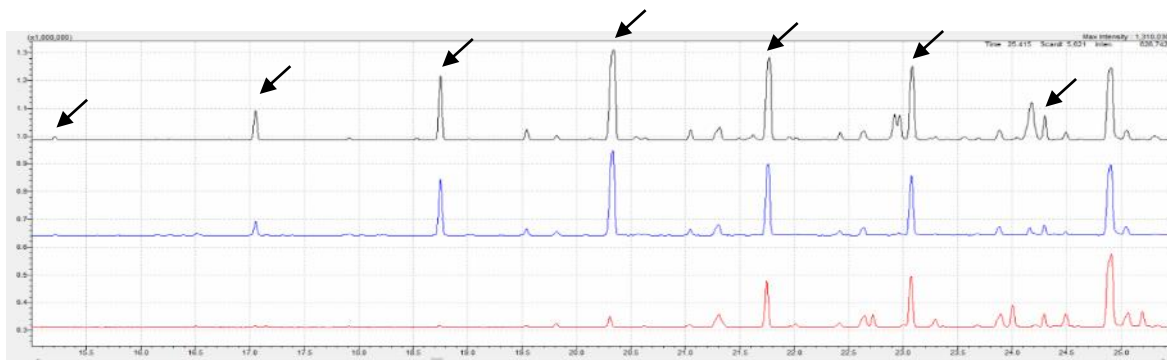
Detailní pohled na změny jednotlivých složek včelího vosku poskytují extrahované chromatogramy pro různé poměry *m/z*. Z chromatogramu *m/z* = 97 je patrné vymizení nenasycených sloučenin z historických včelích vosků. Jde v první řadě o lineární alkeny, dieny a nenasycené estery (oleáty) (Obr. 2).



Obr. 2 Detaily extrahovaných chromatogramů m/z : 97. Označené píky odpovídají n -alkenům C29:1, 2 x C31:1, C33:1 a C35:1 a oleátům C42. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části těže pečeti.

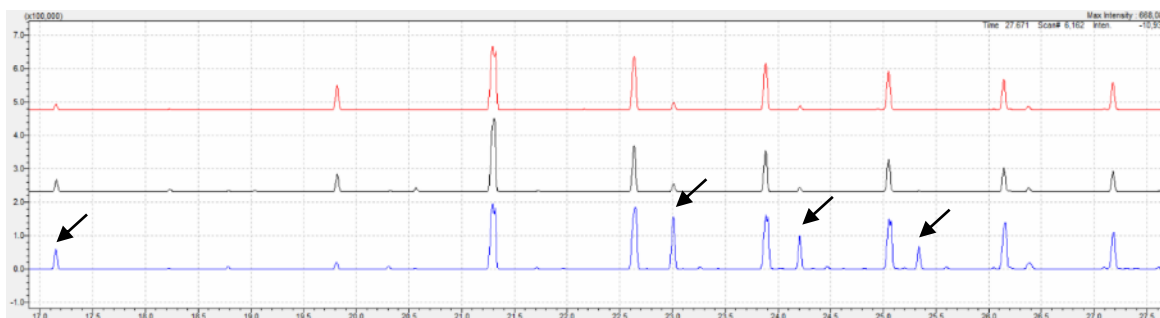
Úbytek těchto látek je možné přičíst oxidaci, jak bylo potvrzeno dodatečnými testy, nepřítomnost oxidačních produktů potom relativně vysokému tlaku jejich nasycených par. Úbytek nenasycených sloučenin má rozhodující vliv na zvýšení tvrdosti a křehkosti materiálu, jak bylo prokázáno dříve.

Na chromatogramu m/z = 57 je dále patrná změna distribuce n -alkanů v degradovaném včelím vosku ve srovnání s novodobým, ale i dobře dochovaným historickým voskem (Obr. 3). Jde především o uhlovodíky s délkou řetězce < 31 atomů uhlíku. Výsledky SPME analýzy prokázaly, že tyto sloučeniny mají dostatečný tlak nasycených par na to, aby mohly v průběhu dlouhodobého přirozeného stárnutí ve významném množství sublimovat z materiálu. V literatuře se řadí mezi SVOCs (semi-volatile organic compounds).



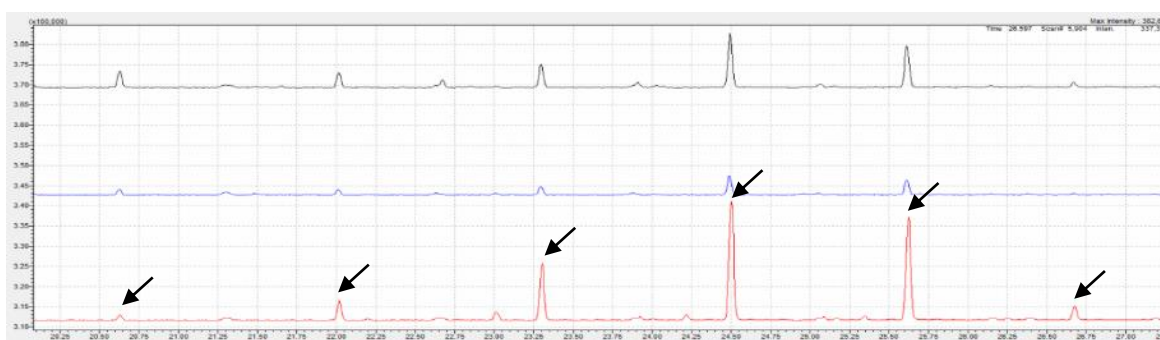
Obr. 3 Detaily extrahovaných chromatogramů m/z : 57. Označené píky odpovídají n -alkanům C21–C33. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části těže pečeti.

Ze srovnání chromatogramů m/z = 117 vyplývá systematické zvýšení podílu volných hydroxykyselin a karboxylových kyselin s délkou řetězce > 24 atomů uhlíku v degradovaných voscích (Obr. 4). Tyto změny je možné považovat za důsledek částečné hydrolýzy voskových esterů.



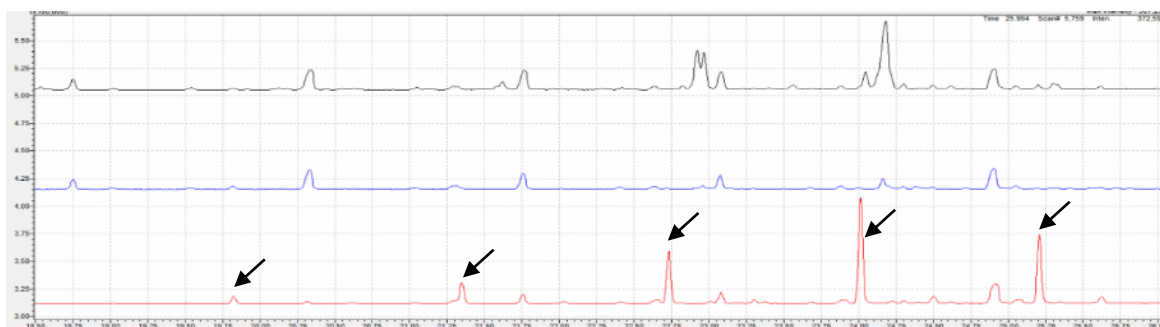
Obr. 4 Detaily extrahovaných chromatogramů m/z : 117. Označené píky odpovídají hydroxykyselinám C16, 24, 26 a 28, respektive jejich TMS derivátům. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části těžce pečeti.

Stejným způsobem je možné vysvětlit i zvětšení podílu volných alkoholů C24, C26, C28, C30, C32 a C34 v degradovaném včelím vosku (Obr. 5).



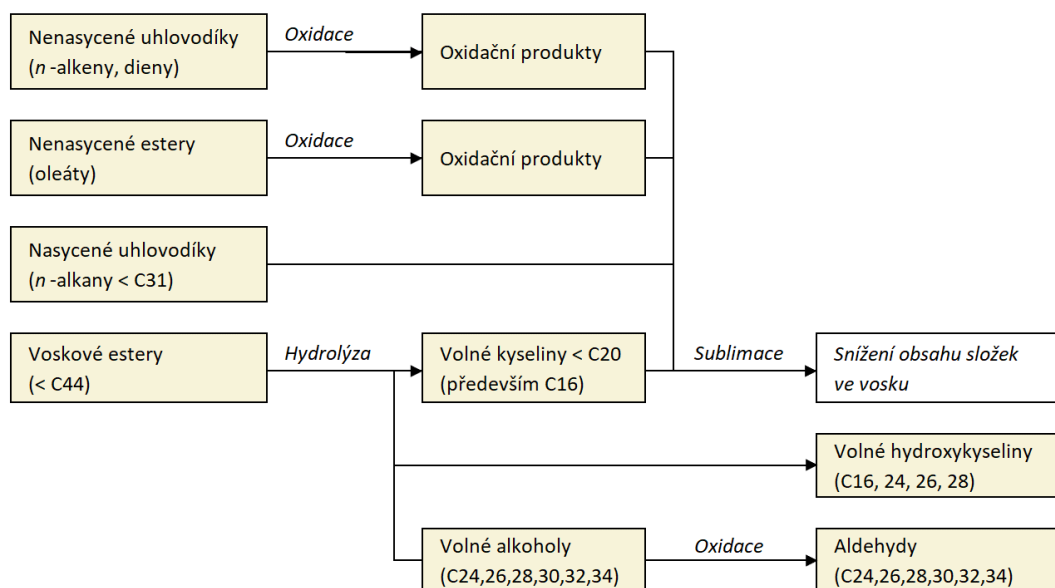
Obr. 5 Detaily extrahovaných chromatogramů m/z : 103. Označené píky odpovídají volným alkoholům C24, C26, C28, C30, C32 a C34, respektive jejich TMS derivátům. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části těžce pečeti.

V degradovaných voscích byl potvrzen systematický výskyt aldehydů s délkou řetězce 24, 26, 28, 30, 32 a 34 atomů uhlíku (Obr. 6). Distribuce těchto délek se nápadně podobá distribuci volných alkoholů. Vyšší aldehydy se v novodobém včelím vosku ani v běžných historických voscích ve větším množství nevyskytují, jedná se podle všeho o produkty částečné oxidace volných alkoholů.



Obr. 6 Detaily extrahovaných chromatogramů m/z : 82. Označené píky odpovídají volným aldehydům C24, C26, C28, C30 a C32. Černá = novodobý vosk, modrá = historický dobře dochovaný vosk, červená = historický vosk z degradované části těžce pečeti.

Tab. 1 Přehled základních degradačních procesů včelího vosku



Uvedené změny shrnuje stručně tabulka 1. Zatímco běžně je u historických včelích vosků zaznamenán pouze částečný úbytek nenasycených sloučenin, u sledovaného typu poškození významně spolupůsobí i ostatní degradační mechanismy. Největší změny chemického složení byly pozorovány u vzorků včelího vosku extrahovaného z pergamenových závěsů pečeti a textilních obalů.

Zbývá nicméně vysvětlit, z jaké příčiny se rychlost a rozsah uvedených degradačních změn významně liší nejen u různých pečeti, ale často dokonce u různých částí téže pečeti. Touto problematikou se zabývá následující oddíl.

Popis pórovité struktury degradovaných pečeti a vliv zpracování suroviny na její charakter

V minulém roce bylo zjištěno, že přinejmenším některé historické degradované včelí vosky obsahují košilky včelích larev, a že tyto košilky mohou přispívat k vrstevnatému štěpení materiálu. V tomto roce byla provedena řada navazujících experimentů, jejichž cílem bylo jednak posoudit, zda je možné tato pozorování zobecnit, jednak odhadnout relativní význam obsahu košilek pro degradaci pečeti.

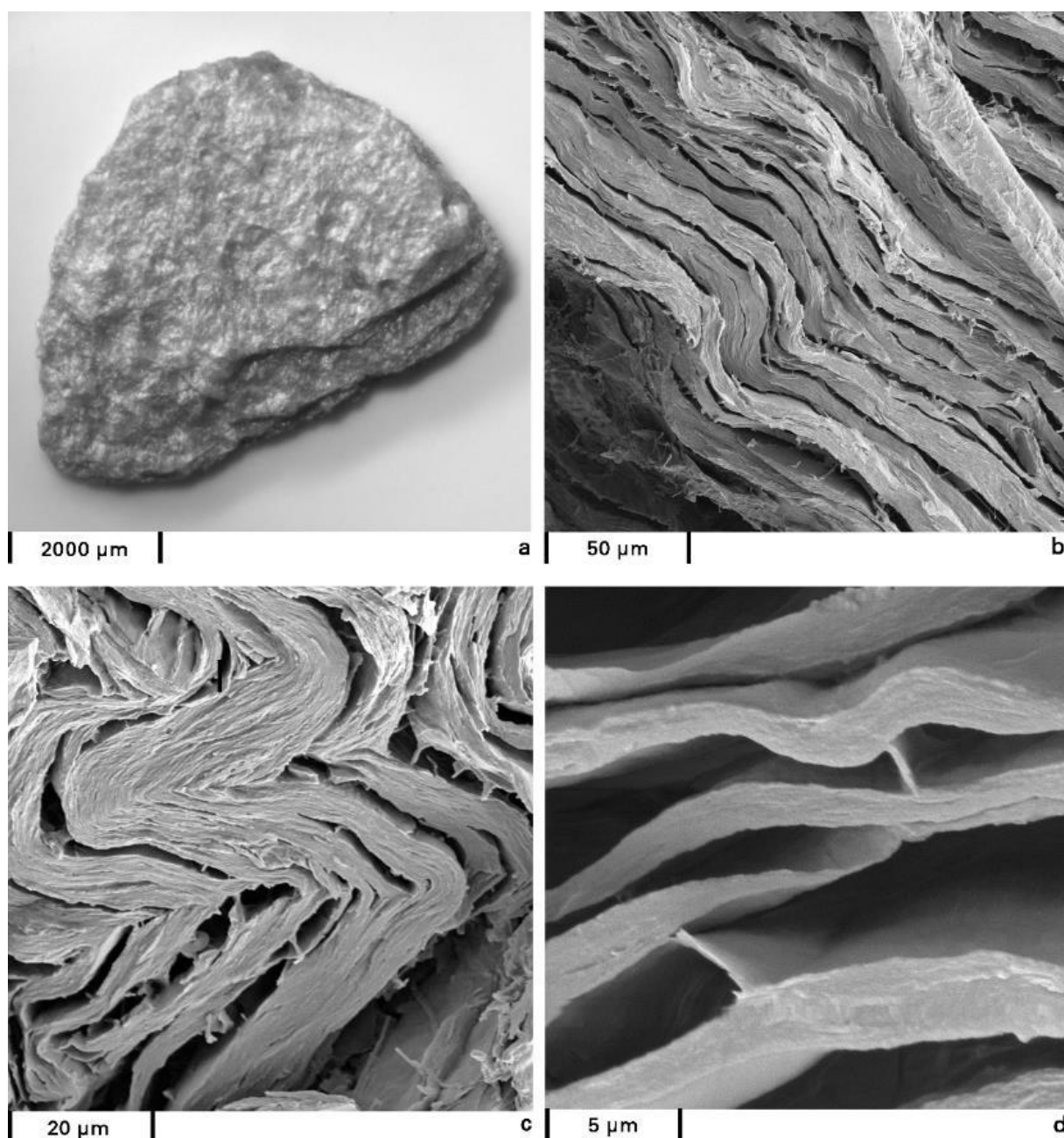
Pro analýzy bylo vybráno 14 degradovaných historických vosků a 14 dobře dochovaných historických vzorků. Srovnávací vzorky byly připraveny hnětením novodobých souší plodových plástů, které byly součástí včelích úlů po 1–3 roky. Mikrostruktura materiálů byla z důvodu potřeby vysokého rozlišení analyzována pomocí skenovací elektronové mikroskopie, hmotnost podílu nerozpustného v chloroformu a vodě, tedy především košilek včelích larev, byla stanovena gravimetricky.

Výsledky

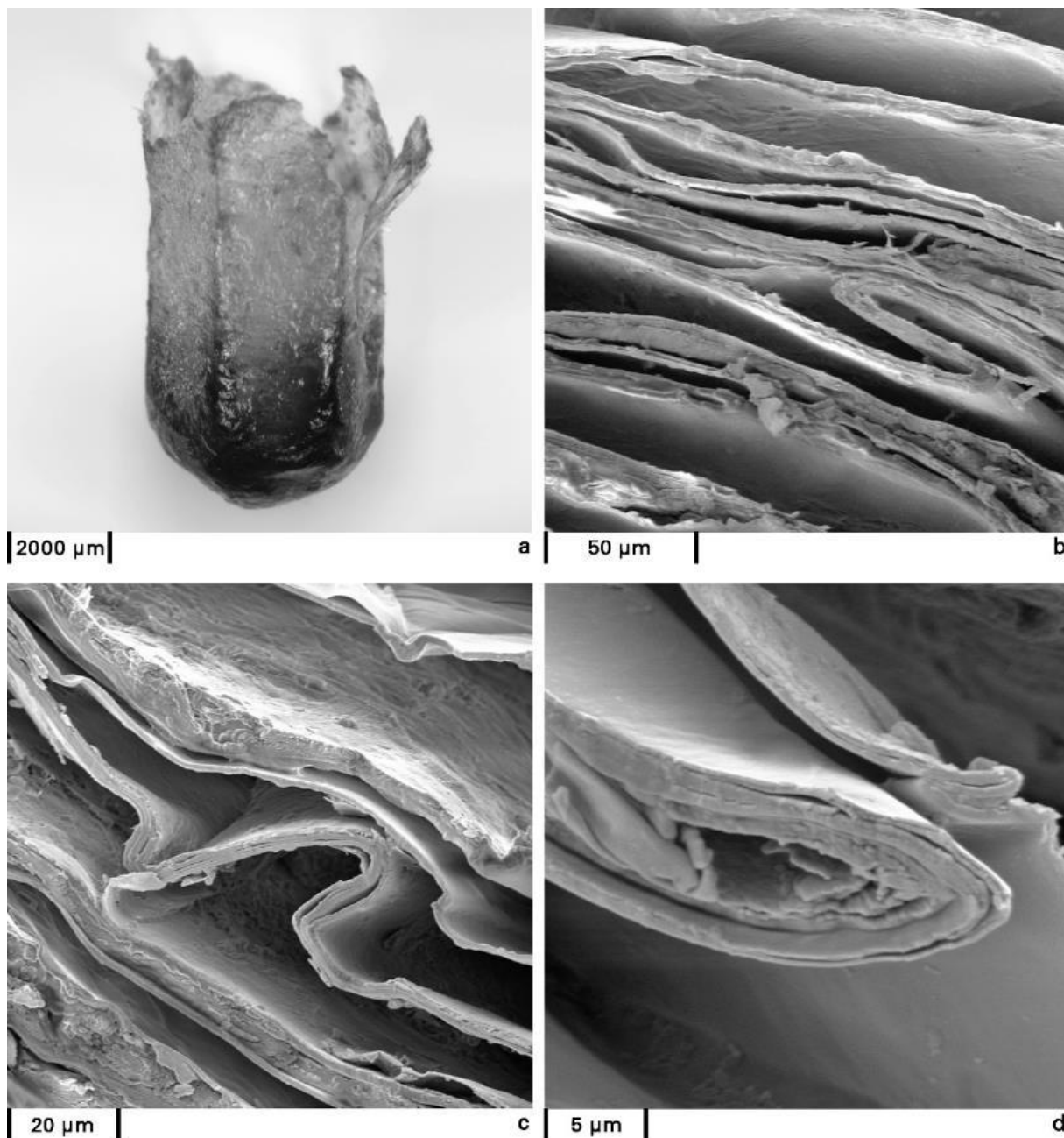
Bylo potvrzeno, že pórovitá struktura historických degradovaných pečeti může být velmi jemná. Tloušťka vrstev materiálu, které jsou navzájem odděleny štěrbinovými póry, se pohybuje v širokých mezích, v mnoha případech však dosahuje pouze jednotek mikrometrů

(Obr. 7). Vrstvy bývají deformované v důsledku mechanického namáhání materiálu při jeho zpracování. Protilehlé stěny pórů bývají hladké a často k sobě důsledně nepřiléhají. V některých případech jsou na jejich povrchu patrná vlákna včelího hedvábí. V některých případech byly pozorovány tenké lamely, které se od stěny pórů oddělují v tupém úhlu. K takovému typu poškození mohlo dojít například oddálením, případně vzájemným posunem vrstev materiálu, opět v důsledku jeho mechanického namáhání.

Podobné znaky bylo možné pozorovat i u hnětených novodobých souší plodových plástů, které obsahovaly vysoký obsah košilek. To vedlo k vyslovení hypotézy, že i v případě historických vosků košilky larev k vrstevnatému štěpení významně přispívají (Obr. 8).



Obr. 7 Snímky fragmentu degradované historické voskové pečeti. a: snímek v dopadajícím světle; b–d: Detailní snímky pořízené SEM.



Obr. 8 a: Souvrství košilek včelích larev vyjmuté z buňky souše plodového plástu; snímek v dopadajícím světle; b–d: SEM snímky mikrostruktury souše novodobého plodového plástu po hnětení a stlačení na cca 10 % původní tloušťky materiálu.

Předpoklad, že pro degradované historické vosky je charakteristický vyšší obsah košilek včelích larev, byl dále ověřen izolací a stanovením hmotnostního podílu nerozpustných složek ve vzorcích historických pečetních vosků. Během extrakce rozpustných složek vzorků bylo možné pozorovat množství velmi jemných kokonů, vznášejících se na fázovém rozhraní chloroform/voda. Vzorky degradovaných vosků obsahovaly průměrně $2,2 \pm 0,9$ % nerozpustného podílu, což je vzhledem k nízké hustotě košilek poměrně vysoké číslo. Takový obsah košilek je typický pro souše zemlové barvy. Průměrný obsah nerozpustného podílu ve srovnávacích historických voscích, u kterých tento typ poškození nebyl vizuálně patrný,

dosahoval pouze $0,5 \pm 0,1$ %. Statistická analýza prokázala významný rozdíl mezi oběma hodnotami ($p = 0,007$). Studovaný typ degradace pečeti je tedy možné pozitivně korelovat s obsahem nerozpustných nečistot, obsažených v pečetní látce.

Shrnutí dosavadních výsledků dílčího úkolu 2

Na základě provedených analýz je možné navrhnout následující vysvětlení příčin sledovaného typu poškození pečeti:

- Předpoklady pro vznik poškození vznikly již při výběru a zpracování suroviny.
- Košilky larev přispívají k vrstevnatému štěpení materiálu a zvětšení povrchu materiálu.
- Zvětšení povrchu materiálu vede k významnému urychlení běžných degradačních procesů, kterým včelí vosk podléhá. Tyto procesy zahrnují úbytek nenasycených a nízkomolekulárních nasycených složek, částečnou hydrolýzu voskových esterů a oxidaci některých složek vosku, například volných alkoholů. Důsledkem je jednak další zvětšení pórovitosti materiálu, jednak zvýšení jeho tvrdosti, křehkosti, a tedy náchylnosti k mechanickému poškození.

Je pozoruhodné, že podobné změny chemického složení včelího vosku byly v odborné literatuře popsány i v jiných kontextech. Jedná se například o některé vzorky včelího vosku, které byly izolovány ze střepů pórovité neolitické keramiky nebo degradovaný včelí vosk použitý pro impregnaci papíru historických Korejských dokumentů. Ve všech uvedených případech je za hlavní předpoklad degradace možné považovat velký povrch materiálu. To odpovídá i zjištění, že k největším změnám chemického složení došlo u vzorků extrahovaných z pergamenových závěsů pečeti.

Tento závěr má důležité praktické důsledky. V první řadě svědčí o tom, že proces degradace včelího vosku stále probíhá a pravděpodobně se dokonce urychluje v důsledku postupně se zvětšujícího povrchu materiálu. Konzervační opatření by se proto měla kromě konsolidace zaměřit také na uzavření povrchu pečeti, respektive na omezení sublimace a pokud možno i oxidace složek vosku. Velký smysl naopak pravděpodobně nemá napouštění pečeti dezinfekčními roztoky. Tyto závěry byly vzaty v úvahu v další práci.

Dílčí úkol 3: Vypracování metody hodnocení úspěšnosti konsolidace 1

Sledování pronikání konsolidantu do pórů materiálu

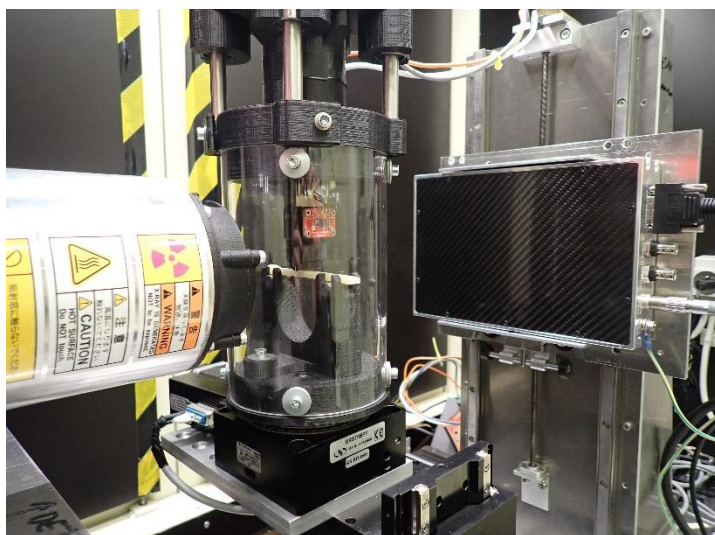
Cíle dílčího úkolu 3 byly splněny již v minulém roce řešení projektu a vypracovaná metoda bude dále využita v rámci řešení dílčího úkolu 5.

Dílčí úkol 4: Vypracování metody hodnocení úspěšnosti konsolidace 2

Cíle dílčího úkolu 4 byly z velké části splněny již v minulém roce řešení projektu. V roce 2025 byl finalizován vývoj konstrukce zkušebního přístroje pro měření ohybových vlastností voskových zkušebních těles.

Návrh zkušebního přístroje v uplynulých letech prošel řadou konstrukčních iterací, které byly doprovázeny intenzivním testováním jednotlivých komponent i celého systému. V roce 2025 byla dokončena finální verze zařízení, která je v rámci projektu evidována pod označením Gfunk LVV-01. Tento přístroj je určen pro testování mechanických vlastností voskových vzorků metodou tříbodového ohybu, přičemž umožňuje současně CT snímání vzorku během zatěžování. Tato kombinace poskytuje unikátní možnost sledovat vznik a vývoj strukturálních defektů v reálném čase.

Konstrukce zařízení je navržena v souladu s normou ČSN EN ISO 178, která specifikuje metodu měření mechanických vlastností plastů při ohybovém zatížení. Gfunk LVV-01 je plně kompatibilní s RTG mikro-CT systémem ÚTEF ČVUT, což umožňuje bezproblémovou integraci do stávajícího experimentálního prostředí (Obr. 9). Přístroj je primárně optimalizován pro testování voskových materiálů, avšak jeho konstrukce umožňuje aplikaci i na jiné vzorky, a to až do maximální zatěžovací síly 50 N.



Obr. 9 Gfunk LVV-01 určený pro měření ohybových vlastností voskových zkušebních těles umístěný v radiografickém systému ÚTEF.

Řízení celého testovacího procesu probíhá prostřednictvím programovacího jazyka Python, což zajišťuje flexibilitu při nastavování experimentálních parametrů a automatizaci měření. Po dosažení teplotní stability vzorku je provedena ohybová zkouška, během níž jsou zaznamenávány napětově-deformační charakteristiky a průběh zlomení vzorku, včetně 4D CT záznamu vývoje defektů v čase.

Podrobný technický popis konstrukce zařízení je uveden v příloze č. 3 a je rovněž dostupný na webových stránkách projektu.

Přístroj LVV-01 byl v letošním roce využit k měření mechanických vlastností konsolidovaných modelových trámců vyrobených z hydrogenovaného včelího vosku. V rámci experimentální kampaně bylo testováno dvanáct různých kombinací rozpouštědel a

konsolidantů, přičemž každá kombinace byla připravena ve třech opakováních, což zajišťuje statistickou validitu výsledků.

Každý vzorek prošel dvěma fázemi CT snímání – nejprve byl zaznamenán jeho počáteční stav před zatížením, následně byl proveden tříbodový ohybový test se záznamem potřebné síly, po kterém následovalo druhé CT snímání dokumentující stav po deformaci. Tímto způsobem bylo možné detailně sledovat vývoj vnitřních defektů a změn ve struktuře materiálu v průběhu mechanického zatěžování.

Celkem bylo v rámci této série experimentů získáno a vyhodnoceno 72 tomografických datových sad, které poskytují komplexní pohled na chování voskových kompozitů při mechanickém namáhání. Výsledky těchto měření, včetně analýzy napětově-deformačních křivek a CT záznamů defektů, jsou podrobně diskutovány v následující části „*Dílčí úkol 5*“ této periodické zprávy.

Dílčí úkol 5: Vyhodnocení účinnosti tradičních metod konsolidace a vyvinutí metod nových

Navržení metody konzervace degradovaných pečetí za použití konzervačních roztoků zahrnuje především výběr vhodného rozpouštědla, konzervační látky, určení její vhodné koncentrace a způsobu aplikace. V tomto roce byla hlavní pozornost věnována relativnímu srovnání konsolidační schopnosti vybraných konzervačních roztoků. Šlo o roztoky jak přírodních, tak syntetických pryskyřic a polymerů. Některé jsou v konzervátorské praxi běžně používané, jiné byly v tomto kontextu testovány nově:

- Aquazol 500 (poly(2-ethyl-2-oxazolin))/ethanol (12,5 %)
- Aquazol 500 (poly(2-ethyl-2-oxazolin))/aceton (23 %)
- Butvar B-76 (polyvinylbutyral)/ethanol (8 %)
- Butvar B-76 (polyvinylbutyral)/dimethylkarbonát (7,5 %)
- Butvar B-76 (polyvinylbutyral)/aceton (11 %)
- Laropal A81 (močovinoformaldehydová pryskyřice)/ethanol (58 %)
- Laropal A81 (močovinoformaldehydová pryskyřice)/dimethylkarbonát (57 %)
- Laropal A81 (močovinoformaldehydová pryskyřice)/aceton (66 %)
- Paraloid B72 (akrylátový kopolymer)/dimethylkarbonát (28 %)
- Paraloid B72 (akrylátový kopolymer)/aceton (39 %)
- Polyethylenglykol (PEG) 6000/ethanol (15 %)
- Propolis/ethanol (2 %)
- Propolis/ethanol (43 %)
- Konzervační roztok podle Bacílka (2 % propolisu, 1 % n-hexanu, 1 % fenoxxyethanolu, 1 % glycerolu a 95 % ethanolu)
- Konzervační roztok podle L.W. Karlsson (1,2 % jantarové pryskyřice, 49 % ethanolu, 49 % glycerolu a 0,8 % methylenové modři)

Koncentrace konzervačních látek byla volena tak, aby kinematická viskozita roztoků byla stejná ($\nu = 120 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Výjimkou byly tradičně používané konzervační roztoky, které byly připraveny podle publikovaných receptur. Srovnávacími vzorky byla jednak zkušební tělesa nekonzervovaná, jednak tělesa vystavená působení samotných rozpouštědel.

Měření ohybových vlastností konzervovaných modelových vzorků

Konsolidační schopnost roztoků byla porovnávána na základě ohybových vlastností modelových vzorků. Jednalo se o trámce hydrogenovaného včelího vosku, jejichž střední část měla lamelární strukturu, simulující šterbinové póry. Tato střední část byla napuštěna konzervačními roztoky. Po 2 měsících vysychání byly ohybové vlastnosti těles měřeny pomocí přístroje zkonstruovaného v rámci dílčího úkolu 4. Podrobnější popis přípravy zkušebních těles je uveden ve zprávě z minulého roku.

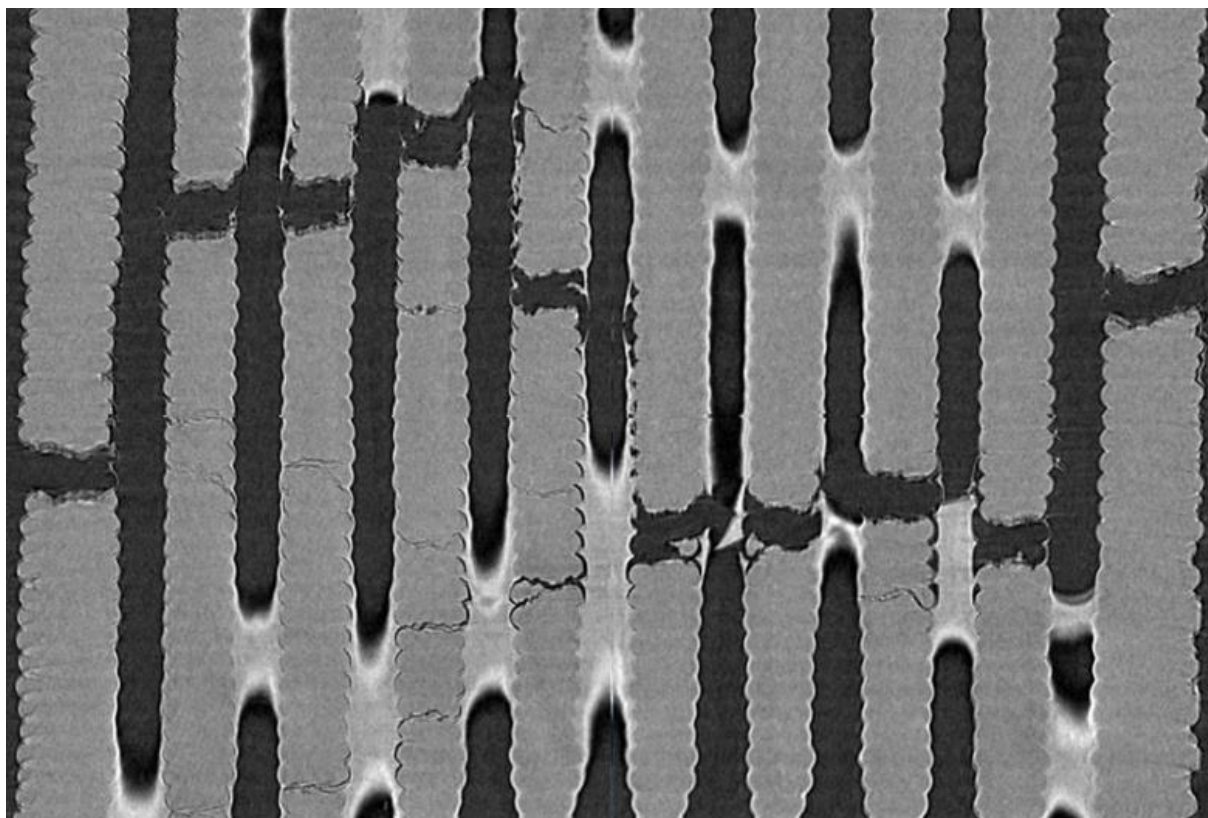
Při ohybové zkoušce a současném radiografickém zobrazení byly sledovány následující vlastnosti zkušebních těles: maximální síla potřebná k přerušení při ohybové zkoušce ve smyslu ČSN ISO 178, smluvní průhyb tělesa při následném poklesu maximální síly na 30 %, úplnost a způsob přerušení tělesa, adheze a koheze konzervační látky.

Mezi konsolidační schopností porovnávaných konzervačních roztoků byly zaznamenány podstatné rozdíly (Obr. 11). Aplikace některých roztoků (například 43% propolis v ethanolu nebo Laropalu A81) vedla paradoxně ke zhoršení vlastností zkušebních těles ve srovnání s nekonzervovanými vzorky. Příčinou bylo pravděpodobně pomalé vysychání rozpouštědla a narušení voskových lamel v důsledku jeho dlouhodobého působení. V těchto případech nedošlo k úplnému odpaření rozpouštědla ani po uvedených dvou měsících.

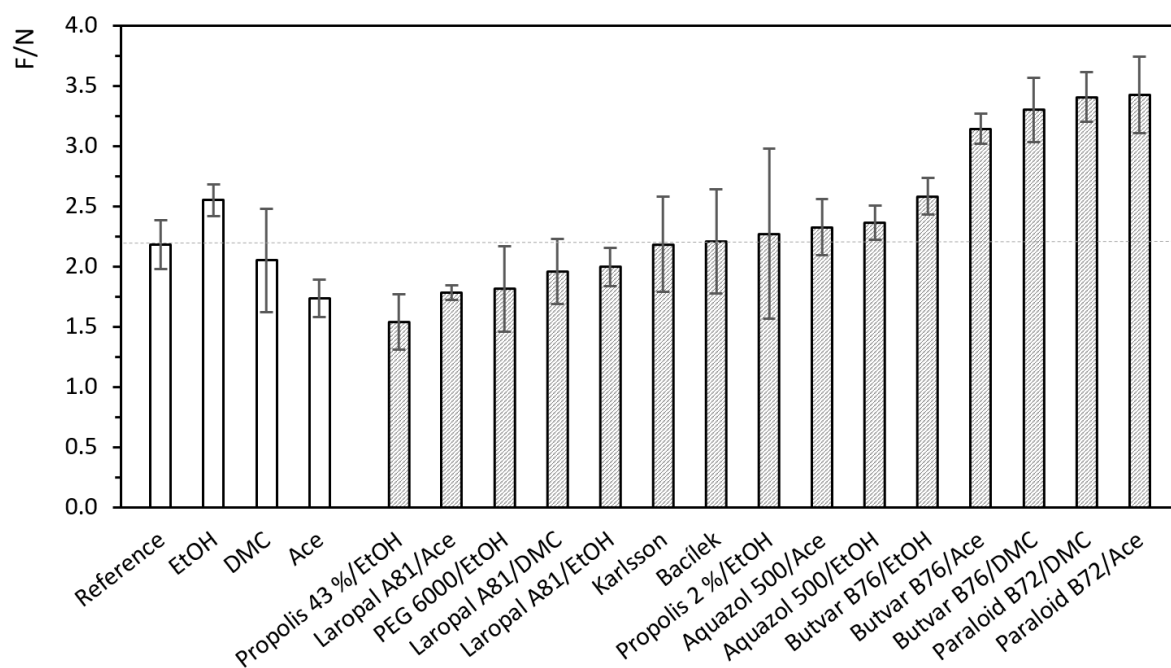
Jednoznačně pozitivní efekt měla naproti tomu aplikace roztoků Paraloidu B-72 a Butvaru B-76. Výhodou Paraloidu B-72 byla vyšší koheze i adheze ke včelímu vosku, určitou nevýhodou jeho ovšem relativní křehkost. Při ohybové zkoušce dochází přednostně ke koheznímu selhání polymeru.

Vrstva Butvaru B-76 byla naproti tomu pružná, v případě tohoto polymeru dochází přednostně k selhání adheze ke včelímu vosku. Zkušební tělesa byla neúplně přerušena, lamely vosku byly často přerušeny na více místech, což předpokládá absorbování většího množství energie (Obr. 10). Při zlomení tělesa je polymer schopen do jisté míry převzít strukturní funkci vosku. Tyto příznivé vlastnosti se projevují na velkých hodnotách smluvního průhybu vzorků při ohybové zkoušce (Obr. 12).

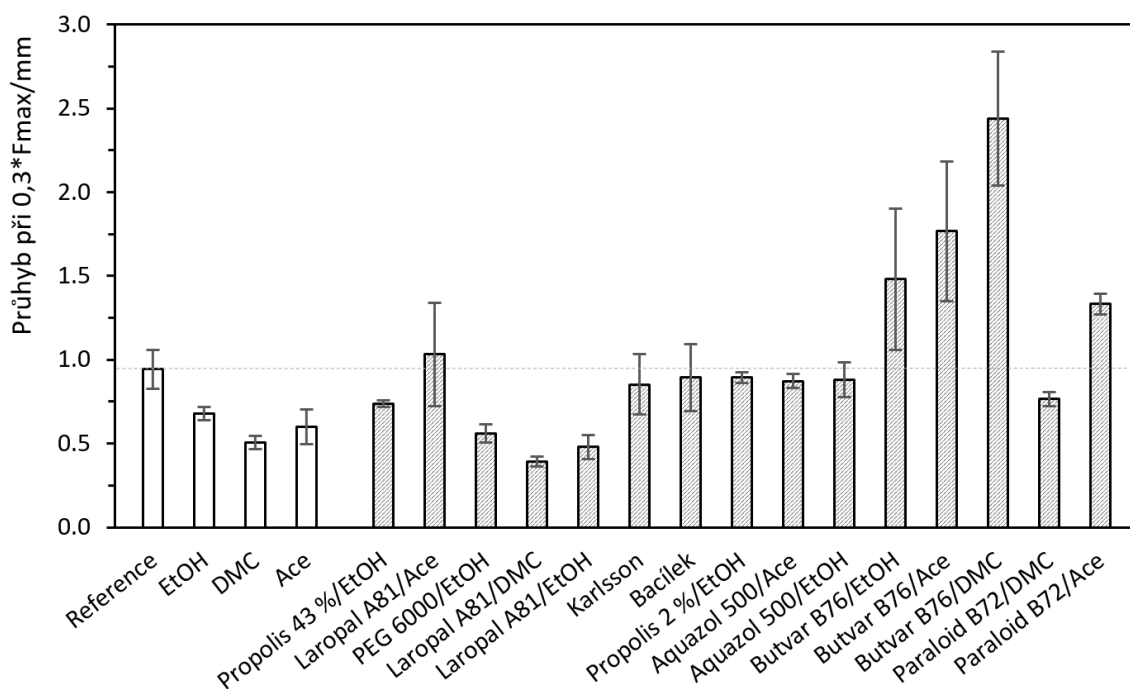
Efekt tradičně používaných konzervačních roztoků (propolis, jantarová pryskyřice) byl spíše nevýrazný. Zde je však třeba připomenout, že se jednalo pouze o relativní srovnání jednotlivých konzervačních látek za daných podmínek (typ vzorků, koncentrace konzervační látky). Vyhodnocení praktické účinnosti vybraných metod v reálných podmínkách bude provedeno až později za použití reálných vzorků.



Obr. 10 Detail přerušení zkušebního voskového tělesa konsolidovaného roztokem Butvaru B-76 v dimethylkarbonátu po měření pevnosti v ohybu.



Obr. 11 Maximální síla potřebná pro přerušení zkušebních těles. Chybové úsečky odpovídají směrodatné odchylce třech měření.

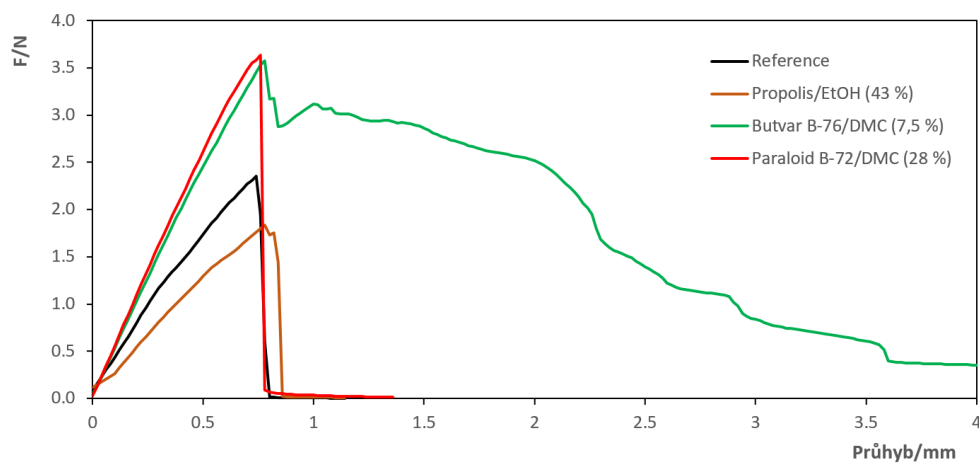


Obr. 12 Hodnoty smluvního průhybu odpovídající poklesu deformační síly na 30 %. Chybové úsečky odpovídají směrodatné odchylce třech měření.

Shrnutí výsledků dílčího úkolu 5

Jako nejperspektivnější se předběžně jeví roztok Butvaru B-76 v dimethylkarbonátu. Tento prostředek má jednak i při použití relativně zředěného roztoku dostatečné konsolidační schopnosti, jednak omezuje riziko křehkého lomu materiálu (Obr. 13). Použití dimethylkarbonátu jako rozpouštědla prakticky eliminuje riziko vzniku bílých zákalů, běžných u ethanolových roztoků, a poněkud zlepšuje adhezi polymeru ke včelímu vosku.

Kromě tohoto konzervačního roztoku byl k dalšímu testování vybrán z důvodu velkého rozšíření v restaurátorské praxi i konzervační roztok na bázi propolisu podle Bacílka.



Obr. 13 Závislost síly potřebné k deformaci zkušebních těles na jejich průhybu pro vybrané konzervační roztoky. Reference = nekonsolidované těleso.

Uplatněné výsledky

Hlavním plánovaným výsledkem za rok 2025 bude uplatnění výsledku G_{funk} L VV-01 (Zkušební přístroj pro simultánní měření pevnosti v ohybu a analýzu vnitřní struktury metodou 4D rentgenové mikro-tomografie). Kromě toho se počítá s uplatněním následujících dvou publikovaných článků J_{imp} a J_{ost}, které měly být podle plánu připraveny do roku 2026:

- Bílková, L., Bartl, B., Zapletal, M. Resistance of Beeswax to Organic Solvents from a Conservator's Perspective. *Studies in Conservation*, 2025, 70 (1), 26–36. doi: 10.1080/00393630.2024.2350275.
- Bartl, B., Bílková, L., Veselý, M. Košilky včelích larev v historických voskových pečetích. *Fórum pro konzervátory-restaurátory*, 2025, XV (1), 11–14. doi: 10.61574/FKR.2025.1.011.

III. PŘEHLED PLÁNOVANÝCH CÍLŮ NA DALŠÍ ROK

Dílčí úkol 2 (dokončení)

- Popis pórovité struktury degradovaných pečetí a vliv zpracování suroviny na její charakter (praktické testy zpracování surovin, využití rentgenové mikro-tomografie).
- Detailní popis charakteristických změn chemického složení u degradovaných pečetních vosků a možnosti jejich vysvětlení (GC-MS analýzy, oxidační stárnutí modelových vzorků).

V roce 2026 bude dále studován vliv přítomnosti košilek včelích larev na degradaci včelího vosku. Košilky totiž nepůsobí pouze mechanicky, ale obsahují také zvýšené množství nenasyčených sloučenin a kovů. Jsou také silně hygroskopické. Je tedy možné, že se na degradaci včelího vosku podílí více způsoby.

Dílčí úkol 5 (pokračování)

- Výběr konsolidantů pro detailní testování na základě rešerše.
- Výběr vhodného rozpouštědla a určení vhodné koncentrace konsolidantu.
- Určení vhodné metody aplikace konsolidantů.

V roce 2026 bude pozornost věnována především bariérovým schopnostem vybraných konzervačních roztoků a jejich schopností pronikat do pórovité struktury reálných vzorků. To mimo jiné napomůže upřesnění jejich vhodné pracovní koncentrace.

Plánované výsledky: 3 x J_{ost}; dva články nicméně budou uplatněny již v tomto roce.

IV. NÁVRH NA UPŘESNĚNÍ ŘEŠENÍ PROJEKTU PRO DALŠÍ ETAPU ŘEŠENÍ

Změny pro rok 2026 nejsou v této zprávě navrhovány.

V. ČERPÁNÍ UZNANÝCH NÁKLADŮ A ÚČELOVÉ PODPORY

Národní archiv

V uplynulém období nedošlo k žádným změnám plánu čerpání schválených prostředků. Část prostředků, které by nebylo možné vyčerpat do konce roku 2025, bude převedena do Nároků z nespotřebovaných výdajů k 1. lednu 2026 a následně zapojena do čerpání k původnímu účelu.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Čerpání účelové podpory probíhalo dle schváleného rozpočtu. Případně nespotřebované prostředky budou převedeny do fondu účelově určených prostředků pro rok 2026.

České vysoké učení technické v Praze

Čerpání účelové podpory probíhá dle harmonogramu prací v souladu se schváleným rozpočtem. Případné nedočerpané prostředky z kapitoly provozní náklady – materiál - C2 budou využity v roce 2026 pomocí přesunu do fondu účelově určených prostředků (FÚUP).

VI. ZÁVĚR

Práce na jednotlivých etapách probíhá v souladu se schváleným harmonogramem.

V rámci dílčího úkolu 2 byl formulován obecný popis degradačních procesů včelího vosku a navrženo vysvětlení příčin sledovaného typu poškození pečeti. Upozorněno bylo na praktické důsledky těchto poznatků. Část výsledků výzkumu byla publikována v odborné literatuře.

V rámci dílčího úkolu 4 byla finalizována konstrukce zkušebního zařízení pro měření ohybových vlastností. Výsledkem této etapy je funkční vzorek, připravený k uplatnění v tomto roce. Zařízení je využíváno zejména při řešení dílčího úkolu 5.

Práce na dílčím úkolu 5 zahrnovaly porovnání konsolidačních schopností různých roztoků konzervačních látek. Praktickým výstupem bylo předběžné zúžení jejich výběru, práce v této oblasti budou nicméně pokračovat i v roce následujícím.

Průběh řešení projektu je možné sledovat na webové stránce projektu:

<https://www.nacr.cz/vyzkum-publikace-akce/vyzkum/projekty/metody-konsolidace-krehkych-porovitych-voskovych-peceti>

VII. PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - Výsledky projektu

Příloha č. 2 - Specifikace místa a účelu konání tuzemských a zahraničních cest na rok 2026

Příloha č. 3 – Technická specifikace Gfunk – LVV-01 - Zkušební přístroj pro simultánní měření pevnosti v ohybu a analýzu vnitřní struktury metodou 4D rentgenové mikro-tomografie

V Praze dne 19. listopadu 2025

Statutární zástupce Příjemce-koordinátora

PhDr. Ing. Milan Vojáček, Ph.D.

ředitel Národního archivu