Společnost pro technologie ochrany památek – STOP

NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV

Moderní materiály ve stavbách minulého století I

odborný seminář/webinář

6. říjen 2022

Přednášková aula domu ABF,
Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství,

Václavské nám. 833/31, Praha 1

Odborní garanti semináře
Ing. arch. Ondřej Šefců, prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

Organizační garant semináře
Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, z.s., Na Březince 1368/5, 150 00 Praha 5
Ing. Monika Najmanová, tel.: 730 850 950, e-mail: seminare@pamatky-stop.cz
www.pamatky-stop.cz

Mediální partner
Internetový portál PROPAMATKY; www.propamatky.cz

Sborník přednášek
Redakce a korektury: Ing. Robert Gill, PhDr. Milena Gillová
Grafická úprava a DTP: Studio Cellula

Obsah

Úvodem 4
Ing. arch. Ondřej Šefců
místopředseda výboru společnosti STOP

Rekonstrukce bývalého hotelu Intercontinental – nová výzva v obnově a konverzi 6
Ing. arch. Marek Tichý
TaK Architects s.r.o.

Plasty ve stavebnictví a jejich degradace 17
Ing. Ivana Kopecká
Národní technické muzeum v Praze

Degradace a konzervace uměleckých děl z polyesterových pryskyřic 26
Mgr. Karel Rapouch
Technické muzeum v Brně

Restaurování uměleckých děl z polymerů. Dílo Housenka (Perestrojky) od Kurta Gebauera 35
Mgr. et Mgr. art. Jan Kyncl, Ph.D.
restaurátor historických děl sochařských a moderního umění

Azbest ve stavbách a co s ním? 43
prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
FAST VUT Brno, Ústav chemie

Použití hliníku v architektuře 53
Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.
SVÚOM s.r.o., Praha

Úvodem

Ing. arch. Ondřej Šefců
místopředseda výboru společnosti STOP

Celé 20. století a zejména pak jeho druhá polovina byly ve znamení mnoha objevů, nových materiálů, zlepšováků a často zásadních změn provádění staveb. Místo poměrně zdlouhavého zdění se začalo stavět nejprve z bloků, posléze z panelů, nosné stěny nahradil les železobetonových pilířů a fasády se náhle obešly bez omítek, protože se objevily lehké panely, stěny ze skla, keramiky a dalších materiálů. Podobný proces poznamenal i všechny materiály interiérů, inženýrské instalace, posléze i nábytek, textilie a v neposlední řadě i výtvarná či umělecká díla.

Užití zcela nových materiálů, obvykle na bázi polymerů či nových konstrukčních principů, bylo zcela logické, výstavbu objektů či výrobu nábytku to často zásadně urychlilo a zlevnilo. Dnes jsme v situaci, že bychom se bez řady „nových“ materiálů či postupů prostě neobešli.

Na druhou stranu jsme mohli zaznamenat už od 60. či 70. let minulého století, že některé nové a zpočátku oslavované materiály a postupy přinesly postupně rozčarování, a tím i určitou skepsi k novým postupům.

Obor památkové péče, který je z principu konzervativní, mnoho let razil a razí zásadu, používat přednostně materiály a postupy, které byly užity při výstavbě historických staveb. Uplatňování této zásady je v zásadě správné a logické, ale v praxi není vždy snadno uplatnitelné. Důsledné aplikaci toho „původního“ mnohdy brání nedostatek či nemožnost sehnat originální materiál (třeba druh kamene), neznalost provádění „původních“ technologií, značnou roli hraje pochopitelně mnohdy i značný cenový rozdíl mezi starším či původním a soudobým (typickým příkladem je souboj mez klasickým dřevěným oknem a jeho plastovou náhražkou).

Ještě dramatičtější situace nastává v posledních letech, kdy se stále více staveb zbudovaných ve 2. polovině 20. století stává kulturními památkami a postupy jejich obnovy či restaurování jsou zcela jiné než u klasických zděných staveb. A jsou nejen jiné, ale často nevyzkoušené, velmi drahé, v krajním případě neproveditelné. Tvrdým oříškem je např. obnova či restaurování hliníkových výplní, obecně všech plastových dílů, ale i hloubkově zkorodovaných železobetonů včetně předpínaných konstrukcí atp. Paralelně s tím se tato problematika objevuje i u mobiliárních předmětů a pochopitelně i u uměleckých děl.

Speciálním problémem jsou materiály, které jsou zcela neopravitelné (jde o mnoho plastů či kompozitů na jejich bázi), případně materiály, které jsou natolik zdravotně závadné, že jejich zachování ve stavbě je neslučitelné se současnými hygienickými předpisy (výrobky na bázi azbestu).

Tato situace jistě není bezvýchodná, jsou již vyvinuty nebo se vyvíjejí postupy, jak tyto problémy řešit. Je však pravda, že tyto zkušenosti jsou rozptýlené, ne vždy jasně popsané, o mnohém kolují fámy, nepravdy či přímo nesmysly.

Zejména u staveb z období tzv. normalizace (70. a 80. léta 20. století) je třeba poměrně vážně počítat s tím, že stavby byly realizovány mnohdy nedůsledně, jejich provedení zdaleka nemusí odpovídat projektu, mohou chybět části konstrukcí nebo je zde často přítomný řemeslnický „šlendrián“.

Jedna z cest, jak se vyvarovat chyb a najít správné řešení je důsledná mezioborová osvěta. To je jeden z hlavních důvodů, proč společnost STOP pořádá tento seminář.

Pohled na probíhající rekonstrukci objektu Elektrických podniků v březnu 2019 ve fázi odstrojení budovy. Tato, ve své době jedna z nejmodernějších budov předválečného Československa, byla zbudována v letech 1927 až 1935 podle projektu Adolfa Benše a Josefa Kříže. V rámci obnovy této významné památky moderní architektury bylo nutno přikročit k některým náročnějším zákrokům u neopravitelných nebo vadně provedených částí. Velkým oříškem byl proslulý obklad fasády světlými obkladačkami, které byly po více než 80leté expozici v pražském ovzduší prakticky neopravitelné, podobně závažným problémem byly nedostatečné tepelněizolační vlastnosti funkcionalistického průčelí. Oba tyto problémy se podařilo vyřešit díky kreativnímu přístupu projektanta i orgánů památkové péče. (Foto Ondřej Šefců)

Rekonstrukce bývalého hotelu Intercontinental – nová výzva v obnově a konverzi

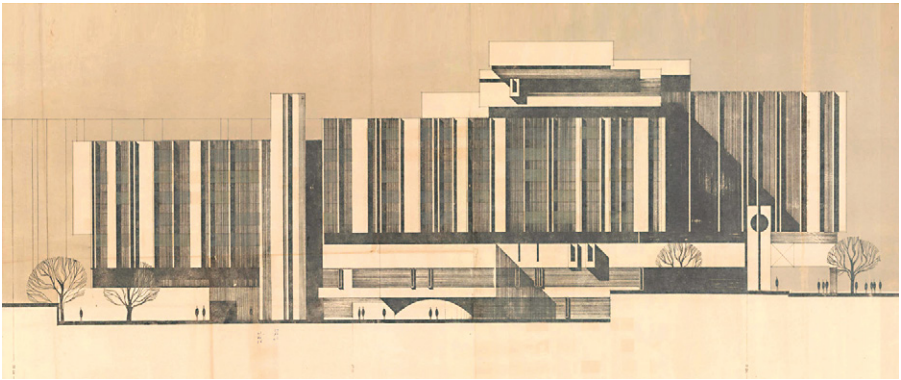
Ing. arch. Marek Tichý
TaK Architects s.r.o.

Výstavba mezinárodního hotelového komplexu Intercontinental na volném, nezastavěném konci ulice Pařížská se měla na konci šedesátých let minulého století stát pilotním projektem československé architektury, výstavní skříní naší kultury, užitného umění a řemesla. Na místo, které nebylo v souvislosti s okolnostmi druhé světové války dotvořené v duchu koncepce asanační přestavby Starého Města a bylo dlouhá desetiletí opuštěné, zčásti zaplněné jen torzem obytného vypáleného bloku v sousedství volné parcely původně určené pro výstavbu České univerzity, byl po dohodě československé vlády a amerického investora situován velkorysý objekt.

Obr. 1: Pohled na bývalý hotel Intercontinental od severu.

Jeho projektem byly pověřeny osvědčené týmy projektových ateliérů Praha pod vedením Karla Filsaka. Vedle něj je mezi hlavní autory možné počítat třeba Jana Šrámka nebo Františka Cubra, výčet spoluautorů je ale mnohem bohatší. Podstatné je zdůraznit, že

kromě architektů se na tvorbě projektu podílela i řada výtvarných umělců. V duchu uvolnění poměrů na konci šedesátých let i následné normalizace se zde uplatnily osobnosti, jejichž tvorba byla veřejnosti známá, i ty, jejichž zapojení nebylo do té doby žádoucí. Vznikl tak možná poslední, v pravém slova smyslu generační projekt, „gesamtkunstwerk“, který odrážel nejen kvalitu české architektury a užitného umění, ale v širším slova smyslu vzepětí české kultury šedesátých a sedmdesátých let. Ta se zejména díky nové vlně československého filmu, ale i díky řadě tvůrců z dalších odvětví po dlouhých desetiletích opět dostala do povědomí světové veřejnosti.



Obr. 2: Návrh hotelu, atelier Epsilon, pohled ze severu.

Obr. 3: Návrh interiéru velkého sálu se stropem z pohledového betonu a autorskými svítidly R. Roubíčka, arch. J. Šrámek.

Stavba i její detaily jsou stejně univerzální jako autentické, stejně mezinárodní, odrážející trendy brutalistní architektury jako kontextuální, vycházející z dobré znalosti prostředí Prahy a její historické architektury. Dvojici výrazně horizontálních skupin podlaží s veřejnou a komerční funkcí na úrovni parteru a střech propojuje hmota ubytovací části s výrazným asymetrickým členěním vertikálními pásy. Ty ve své podstatě odrážejí logiku pražské činžovní architektury založené na střídání okenních a meziokenních travé. Na tehdy moderní stavbě se tradiční motiv ukazuje v podobě nepravidelného střídání prvků z betonu, skla rámovaného hliníkovými profily a keramiky, výrazně graficky zpracované.

Materiál pro výstavbu a architekturu hotelu

Zastavme se u několika základních materiálů, jejich povahy, stavu před rekonstrukcí a způsobu obnovy. V duchu koncepce celé architektury jsou to ty, které tvoří nosnou konstrukci, výplně i povrchové úpravy současně, v četných kombinacích, v exteriéru i interiéru v celém rozsahu této měřítkem mimořádné stavby. Jedná se o **beton** coby základní stavební materiál, monolitický i prefabrikovaný, prezentovaný v podobě výrazně mohutné konstrukce a vytrčených linií, „žiletek“ i plochých partií s lineární grafikou na fasádách, **sklo** v nadrozměrných tabulích společenských pater, v sestavách s jemnými kovovými rámy v podlažích ubytovacích i jako umělecký artefakt v podobě tavenic zabudovaných do skeletu coby luceren i autorských lustrů, **hliník** jako významná část stavebnice lehkých obvodových plášťů, a konečně **keramika**, která vtiskla fasádám budovy punc výjimečnosti. Pomineme-li umělecká díla, až na malé výjimky byly při výstavbě užívány prvky a materiály z produkce socialistického stavebnictví. Ty se zde ale často ukazovaly v nových variacích a obměnách, jejich aplikace byly mnohdy natolik průlomové, že byly na řadě jiných novějších objektů dlouhá desetiletí kopírovány.

Obr. 4a, b: Fasáda před rekonstrukcí a po odstrojení na železobetonové jádro.

Dříve než si popíšeme jednotlivé materiály a jejich specifika je kromě výše uvedeného akcentu na výjimečnost stavby důležité zmínit jinou podstatnou skutečnost, se kterou se u objektů z období vrcholícího socialismu setkáváme velice často. Tak jak se architekti byli nuceni vypořádat s realitou, že navrhovat se dalo jen s použitím dostupné výroby a na tomto poli byli často nuceni improvizovat, tak se průměrná výstavba potýkala s nedostatky stavebního řemesla, nedůsledností při provádění a často též improvizací, která se ale na rozdíl od tvorby nedá označit za cosi zaznamenáníhodného. Za několik desetiletí práce naší kanceláře jsme měli možnost pozorovat stavby prakticky všech historických období, s jistotou lze ale prohlásit, že právě kvalitou a úrovní zpracování jsou ty ze sedmdesátých a osmdesátých let minulého století v průměru nejslabší. Často jakoby opravdu byly plánovány s životností tabulkových padesáti let, bez ohledu na ekonomiku jejich provozu, nároky na opravy a údržbu, které byly navíc ve většině případů vlivem společenských okolností zanedbávány.

S nedostatky a neschopností realizovat velké stavební dílo se kupodivu setkáváme také na objektu bývalého hotelu Intercontinental, jedné z největších a nejvýznamnějších státních stavebních zakázek své doby. Počínaje zásadními defekty železobetonového skeletu, způsobené většinou špatně provedeným nebo chybějícím armováním a nedůsledným zpracováním betonových směsí, konče geometrickou nepřesností, která se na desítky procent vzdaluje od tolerancí stavebních norem. Jedna z hlavních hmot objektu je od svislé roviny nakloněna o neuvěřitelných 19 cm, odchylky v rovinnosti podlah jsou na jednom podlaží téměř 10 cm. A tak bychom mohli pokračovat. Vady stavby, které dle provedené diagnostiky vznikaly již v době její výstavby, nebyly za celých padesát sanovány, naopak stavba dále trpěla neodbornými zásahy a nedostatečnou údržbou. Deklinometry, které hned po obnažení nosných konstrukcí a zjištění havarijního stavu nařídili statici umístit, a navazující přesné geodetické měření naštěstí ukázaly, že dnes nedochází k dalším posunům, stavba je ale neuvěřitelně křivá, špatně provedená a poškozená. To byl výchozí stav záchranných prací i důrazné upozornění na úskalí, s kterým je třeba u rekonstrukcí staveb z této doby počítat.

Beton

Diagnostika stavu betonových konstrukcí byla svěřena Kloknerovu ústavu ČVUT. Zaměřovala se především na následující parametry:

- pevnost betonu v tlaku (ověřováno nedestruktivními zkouškami),
- pevnost betonu v tahu,
- hloubka a rozsah karbonatace betonu,
- obsah chloridových iontů,
- korozní stav výztuže, tloušťka krycích vrstev.

Díky rozsáhlému posudku z roku 2010, který byl v průběhu projekční přípravy dále prohlubován, bylo možné posoudit nejen stav, ale i progresi poruch v čase a tedy adekvátně stanovit míru požadovaného zásahu. Podstatným destruktivním jevem byla v případě stavby karbonatace betonu. Jedná se o dlouhodobý proces, ve kterém hraje rozhodující roli vzdušný CO_2. Primární riziko karbonatace nespočívá ve snižování konečné pevnosti betonu (tak jako je tomu například u dříve užívaných hlinitanových cementů), ale v tom, že zkarbonatovaný pórovitý roztok betonu ztrácí svoji alkalitu a tím přestává pasivovat výztuž a chránit ji před korozí. V kombinaci se smáčením povrchu dešťovou kyselou vodou je poškozování betonu i výztuže dále urychlováno. Vizuálně bylo tyto jevy na objektu možné snadno pozorovat na množství trhlin, opadávání krycích vrstev betonu, obnažení výztuže, laboratorně pak na grafech karbonatace, koroze a chemickém obrazu betonových směsí. Porovnání rozsahu koroze a výskytu kyselých iontů ve směsi v roce 2010 a o deset let později, kdy byly práce na rekonstrukci zahájeny, vedlo k závěru, že betonové „žiletky“ je třeba bez odkladu snést a nahradit, monolity sanovat, a to i v rozsahu později provedených vysprávek, které bylo třeba sejmout. Ze statického pohledu to vyžadovalo zpracovat prostorový model celé stavby a vybavit ho údaji z odebraných vzorků. Následně navrhnout postupy oprav. V principu se jednalo o aplikaci uhlíkových lamel a tkanin, spínání trnováním nebo protézováním ocelovými prvky. Byla vypracována metodika provádění oprav pro typické poruchy, které byly roztříděny

do asi dvaceti skupin. Podle takto zpracovaného návodu pak byly defekty zachyceny prostorovým skenem, opraveny a provedené sanace zanášeny zpětně do prostorového statického modelu. S jeho pomocí byla průběžně hodnocena nejen mechanická odolnost a posílení jednotlivých míst, ale i prostorová tuhost celé stavby. Zpracovaná databáze současně slouží jako podrobná dokumentace pro další provoz a správu.

Obr. 5a–c: Poruchy monolitu, prefa panelů („žiletek“). Zcela vpravo detail silné koroze výztuže s tvorbou korozních zplodin a oslabením průřezu (žebírková výztuž).

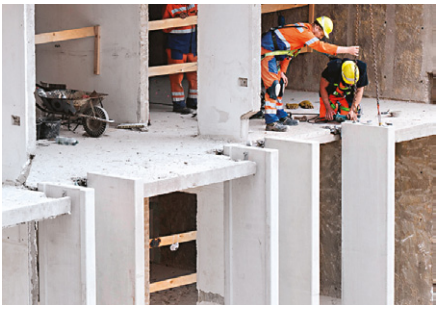
Konečný počet zdokumentovaných poruch překročil neuvěřitelných patnáct tisíc pozic. Ani to ale nestačilo k úplné nápravě. V několika případech se celé části stavby ukázaly jako neopravitelné a bylo rozhodnuto o jejich snesení a náhradě. To se týkalo především rozsáhlých stropů nad hlavním kongresovým sálem a přilehlou kuchyní. V případě velkého sálu se jednalo o signifikantní partie díla, v kterých se pohledový beton výrazně uplatňoval v interiéru navrženém Janem Šrámkem. Právě z tohoto důvodu je nově zbudovaný strop, de facto mostní konstrukce s rozponem téměř dvacet pět metrů z předpjatého betonu, geometricky přesnou kopií stropu Šrámkova. Současně je navržena tak, aby umožnila realizaci intenzivní střešní zahrady, výstavbu střešní konferenční nástavby a její propojení se sousedními částmi hotelu.

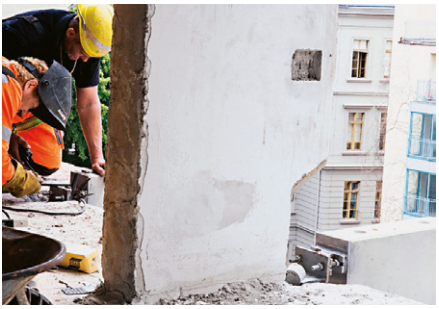
Obr. 6a, b: Rekonstrukce stropní partie velkého sálu z předpjatého pohledového betonu.

Z pohledu vizuálního byla úloha neméně složitá. Bylo totiž třeba vyvinout celou řadu postupů při aplikaci povrchových úprav u starých, více nebo méně poškozených betonů, a betonů nových tak, aby výsledný efekt navrátil pohledovým betonům shodný tón, byla zachována jejich živost, otisky dřevěných prken bednění, nepravidelnost textury a snad i zmíněná nedokonalost provedení, která je pro stavbu charakteristická. Po úvodních pokusech použít krycí nátěry bylo evidentní, že jedinou možností je důsledné odmytí, očištění všech povrchů a téměř restaurátorské obnovování jednotlivých partií. Podle stavu to byla lazura, více a méně ředěný sanační pačok, stěrka, a to hladká nebo v textuře původního povrchu. O aplikaci konkrétního postupu pro konkrétní místo bylo rozhodnuto vždy za přítomnosti architekta a technologa, vyznění a vhodnost postupů se hodnotily s odstupem několika měsíců, často bylo rozhodnuto o požadavku změny postupu nebo opravy již provedeného místa. Celý proces tak trval více než dva roky. Výsledek je pro diváka z odstupu téměř neviditelný a ukazuje stavbu v původní síle a výrazu její brutalistní architektury.

Obr. 7: Zkouška lazurního nátěru na historickém monolitu, vzorek č. 32.

Obr. 8: Sanovaný povrch historického monolitu na vertikále severní technologické věže.





Obr. 9a, b: Přesná montáž nových prefa panelů („žiletek“) na zámky s přerušenými tepelnými mosty.

Jak již bylo uvedeno, zcela nově byly vyrobeny a montovány prefa panely vystupující před fasádu v podobě svislých lišt – „žiletek“. Jejich tvar byl na straně přiléhající k výplni upraven, do vytvořené mělké kapsy byl nově vložen izolant, aby se zabránilo nežádoucím přestupům tepla a kondenzaci. Současně byl zcela nově navržen a realizován kotevní

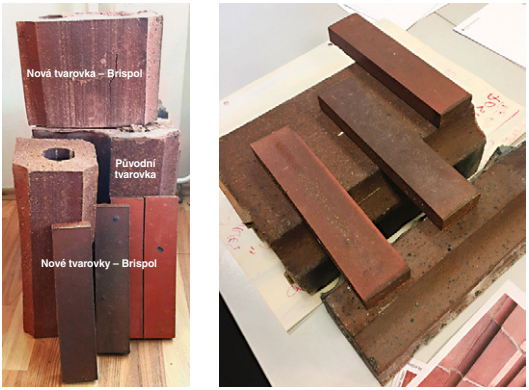
systém, ten je nyní řešen jako izolační nosník s přerušeným tepelným mostem. Vizuálně nejsou technické úpravy vůbec patrné, z hlediska stavební fyziky a zejména životnosti a energetické náročnosti objektu jsou však zásadní. Zcela na okraj je možné uvést, že panely se tak jako před padesáti lety vyráběly v pražské Prefě Průmyslová.

Keramika

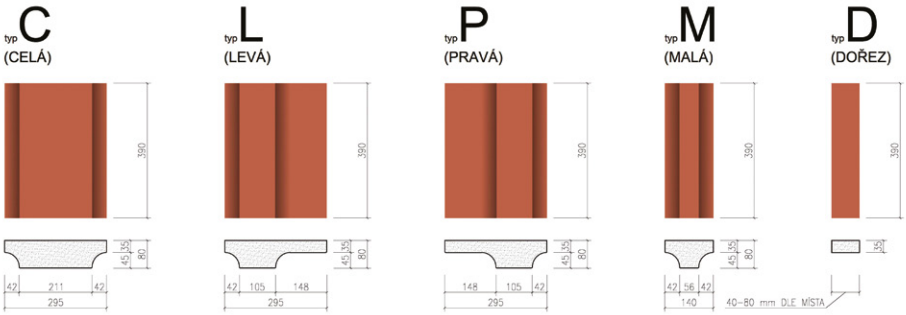
Vedle betonu je výrazným prvkem fasád keramika. Právě ta budově vtiskla detail, kterým ji odlišila od výstavby své doby, nepochybně i proto, že prací na této části zakázky byl pověřen český výtvarník, později v zahraničí působící a oceňovaný sochař Zbyněk Sekal. Tvarovky běžně vyráběné pro stavbu upravili keramici někdejšího podniku Západočeské keramické závody, n. p., který se specializoval především na technickou keramiku, převážně kameninové kanalizační roury. Jeden ze závodu podniku v Břasech tehdy disponoval jílovou surovinou vhodnou pro keramiku s vysokou plasticitou po výpalu, proto byla výroba obkladů zadána právě zde. V komorových pecích se keramika vypalovala uhlím a tzv. generátorovým plynem, který si keramička sama vyráběla. To vedlo k tomu, že výsledná barva keramického vypáleného střepu byla velice rozdílná, počínala na světlých pískovcových tónech a končila na temně červených odstínech. Výsledný lesk byl keramice dodán díky solené glazuře nanášené na povrch keramických, kameninových fasádních tvarovek. Není zcela jisté, jestli byly tvarovky běžným stavebním sortimentem, jen technologicky upraveným pro výstavbu mezinárodního hotelu, který byl významnou státní zakázkou, a nebo pro ni byly dokonce vyvinuty. Jisté ale je, že díky fenomenálnímu způsobu jejich uplatnění na fasádách exponované stavby se staly vyhledávaným stavebním prvkem, který pak keramičky produkovaly až do devadesátých let minulého století. Tou dobou již byla výroba z důvodu vyčerpání ložisek jílu a velké ekologické zátěže přemístěna do Chlumčan. S populární pohledovou keramikou typu Intercontinental se v té době setkáváme například na budově Transgas (1972–1977), budově velvyslanectví v Berlíně (1977), na hotelu Praha (1984–1988) i mnoha drobnějších stavbách, mezi které lze počítat třeba vilu Jana Kodeše (1973).

Není třeba zdůrazňovat, že ani stav keramických obkladů nebyl před zahájením rekonstrukce dobrý. Keramické pásy fasád v době před rekonstrukcí po padesáti letech expozice byly stejně jako betony na konci životnosti. Keramika vyzdívaná přímo na kontakt železobetonových konstrukcí nebo vestavovaná mezi betonové prefa panely trpěla kondenzací, vlivem opakovaných mrazových cyklů se postupem let rozpadala. Její zachování na místě proto nebylo i vzhledem k urgentní potřebě sanovat staticky poškozený železobeton až na výjimky možné. Tím začala mnoho měsíců trvající cesta hledání partnera pro výrobu, od počátku bylo současně požadavkem, aby výsledný produkt byl nejen přesnou tvarovou kopií, ale odpovídal i svou barvou, texturou střepu a mírně lesklým povrchem solné glazury. Cílem přitom bylo nejen pregnantně replikovat, ale i vylepšit mechanické vlastnosti, zejména odstranit vnitřní pnutí materiálu, které bylo příčinou defektů v minulosti. K tomu bylo třeba specializované výroby, týmu technologů, stovek zkušebních vzorků a desítky samostatných testovacích výpalů. To vše se podařilo najít a realizovat v cihlářských závodech v Kadani. Výsledek je neuvěřitelný, jak je vidět ze srovnávacích fotografií včetně autentické barevnosti dosažené díky nestejnoměrné teplotě výpalu v různých částech pecí.

Samostatnou úlohou pak bylo vytvořit kladečské plány a domyslet způsob vyzdívek na širokou spáru. Podrobný rozbor prokázal, že všechny segmenty jsou složeny ze šesti tvarů (pět základních tvarovek a jeden poloviční formát), avšak zcela autenticky řazených. Proto bylo třeba přistoupit ke klasické, zdlouhavé, pracné, ale tradičně osvědčené metodě fotogrammetrického přepisu. Ten byl pro zedníky následně převeden do kladečských listů pro každý pás, v kterých byly pozice každé tvarovky a tvaru pracovně označených písmeny nezaměnitelné. Při kladení byl současně dozorován nahodilý výběr z několika přistavených palet, aby bylo dosaženo charakteristické proměnlivé barevnosti přírodní keramiky. Kladení tvarovek, jejich kotvení i spárování bylo prováděno zednicky, i v tom byl postup obnovy konzistentní s dobou vzniku objektu. Stejně jako u nově instalovaných prefa dílců i v případě nových keramických vyzdívek byl do souvrství obvodového pláště doplňován celoplošně izolant, opět zejména s ohledem na tepelnou ochranou objektu, především vyloučení defektů souvisejících s výskytem kondenzačních pásem, jeho energetickou náročností a životností.



Obr. 10a, b: Keramické fasádní tvarovky původní a nové, hledání textury a barvy materiálu.

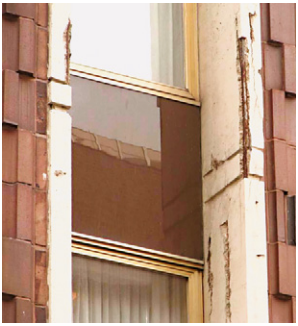


Obr. 11: Typologie a geometrie keramických fasádních tvarovek jako podklad pro novou výrobu.

V duchu tradičního postupu při obnově historických objektů bylo několik keramických pásů zachovaných in situ, a to tam, kde to bylo technicky smysluplně řešitelné. Většinou na místech, kde nebylo třeba zásadně sanovat nebo nahrazovat přilehlou část monolitu a současně bylo možné dodatečnými opatřeními na vnitřní straně posunout hranice kondenzačního pásma. Původní zachovaná keramika byla restaurována na místě, injektována v místech defektů, přespárována a opatřena hydrofobizačními nátěry.

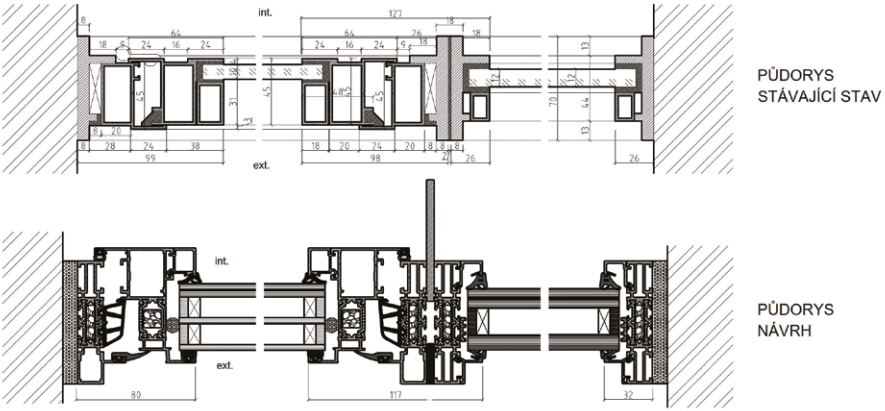
Lehký obvodový plášť

Poslední částí obvodových plášťů a předmětem úvah o rekonstrukci byl lehký obvodový plášť. Ve své době charakteristický prvek, který nacházíme v architektuře daného období v celé republice. Jeho základ tvořily hliníkové rámy vystrojené okenní výplní, v místech parapetů a nadpraží pak panely sendvičovými s lícem z lakovaného skla. Zatímco partie okenních rámů byly velice pravděpodobně vyvinuty pro hotel Intercontinental, měly autentický detail nadokenní členěné římsy a vykazovaly se celkově značnou subtilitou, parapetní části byly běžným produktem lehké prefabrikace, a to se všemi nedostatky. Vlivem dotvarování objektu v čase, špatně vyřešené připojovací spáry sestav a poměrně značné křehkosti došlo postupem času k rozpraskání skel a jejich postupnému odpadávání, v době před rekonstrukcí tak byla většina fasád již zcela obnažena až na izolační desky. Ty byly, opět v intencích tehdejší výroby, provedeny z azbestových vláken. To vše vedlo k jednoznačnému požadavku na náhradu, vzhledem k výskytu azbestu navíc provázenou speciální technikou odstrojení a likvidace.



Obr. 12a, b: Lehký obvodový plášť. Vpravo izolační desky z azbestových vláken v jádru sendviče obnažené po opadání skleněných desek.

Návrh a výroba nových panelů nebyly vůbec banální. Je sice pravda, že s hliníkovými profily se dnes ve výstavbě běžně setkáváme, ale současně se jejich profilace značně změnila zejména kvůli požadavkům na tepelnou techniku, mechanickou odolnost a trvanlivost. Dílensky nelze hliník zpracovávat, jedná se jednoznačně o výrobu sériovou. Jedinou možností, jak dosáhnout požadované profilace a obnovy vizuálního zpracování, je zaměřit se na základní hliníkové profily, nikoliv na skládané v sortimentu dodavatelů oken a fasádního zasklení. Z těch je možné po dlouhém hledání a skládání sestavit i atypický profil. Jak se ukázalo, bylo tak možné obnovit i citlivý detail nadokenní římsy, nebo chceme-li moderní suprafenestry. Hledání odpovídající barvy u lakovaného skla, vlastní skloviny oken nebo návrh velkoformátového zasklení ve společenských podlažích je již snazší. To, co byl v sedmdesátých letech minulého století atyp, je dnes poměrně běžné. Zastavme se snad jen u řešení připojovací spáry, pro kterou byla s výhodou použita expanzní páska z polyuretanové pěny. Ta se ukázala jako mimořádně praktická, zejména proto, že dokázala elegantně vykrýt velké nerovnosti na styku původních křivých a přesně vyrobených nových prvků.



Obr. 13: Lehký obvodový plášť – profilace hliníkových partií, prototyp č. 18 zvolený jako podklad pro výrobu.

Foto realizace krátce před dokončením fasád

Závěr

Rekonstrukce bývalého hotelu Intercontinental je ve fázi dokončování první etapy rekonstrukce zahrnující statiku objektu, obvodové a střešní pláště. Je svého druhu jistě jednou z největších oprav stavby daného období, průlomovou z hlediska důsledného hledání autentické formy rekonstrukce v kontextu současných potřeb, energetických i provozních nároků. Přináší řadu otázek a úkolů pro architekty i techniky, současně poskytuje díky nadstandardní finanční podpoře řadu řešení, návodů a námětů na obnovu moderní architektury. Tento příspěvek věnovaný zejména vybraným materiálům není jistě posledním slovem, práce pokračují a přinesou nejspíš mnoho dalších informací pro odbornou i laickou veřejnost.

Plasty ve stavebnictví a jejich degradace

Ing. Ivana Kopecká
Národní technické muzeum v Praze

S prvními syntetickými polymery se setkáváme už na konci 19. století. Ty nejstarší vznikaly jako levnější a dostupnější náhrada luxusních přírodních materiálů (hedvábí, slonoviny a želvoviny), které byly stále žádanější, avšak stále méně dostupné. Polymery byly ceněné pro své užitné vlastnosti a ve srovnání s výrobky z přírodních materiálů i pro svou nízkou cenu. Původně se vyráběly jako levné náhražky, od nichž nikdo velkou trvanlivost neočekával, ani nežádal. Ty nejstarší také neobsahovaly žádné stabilizační přísady, UV absorbéry apod. V průběhu doby vzniklo a stále vzniká mnoho nových polymerů (viz tab. 1). V současné době se vyrábí ohromná škála polymerních materiálů, které jsou většinou modifikované pro konkrétní použití a obsahují řadu přísad, které zvyšují jejich odolnost proti působení okolního prostředí.

Příčiny a způsoby degradace polymerů

Průběh degradace polymerů je poněkud záludný. V časném stadiu stárnutí, ještě před vznikem viditelných projevů degradace, dochází uvnitř polymeru k malým fyzikálně-chemickým změnám, které jsou nevratné a pro další stabilitu materiálu mají zásadní význam. Materiál se dlouho jeví ve zdánlivě dobré kondici. Degradace začne být viditelná náhle, až po určité („indukční“) době. Ta se pro různé materiály liší, např. pro acetáty celulózy – filmové podložky je indukční doba cca 40 let (za předpokladu uložení v běžných podmínkách neregulovaného vnitřního prostředí).

Degradace polymerních materiálů je proces ovlivňovaný jak vnitřními faktory (chemické složení, způsob zpracování materiálu, technologie výroby předmětu), tak vnějšími faktory (agresivita prostředí, mechanické namáhání, způsob a míra používání předmětu). V běžném atmosférickém prostředí k degradaci polymerů přispívají hlavně teplota, kyslík a ozon, světlo a UV záření, vlhkost a atmosférické polutanty. V některých případech je nezanedbatelný i vliv mikroorganismů.

Příčiny degradace syntetických polymerů tedy mohou být různé, ale většinou zde působí více faktorů současně a často se jedná o synergický efekt. Nejrychleji stárnou zejména nejstarší materiály, které neobsahují žádné ochranné přísady jako antioxidanty, UV absorbéry a stabilizátory. U některých materiálů může být příčinou degradace už povaha samotného materiálu – příkladem je nitrocelulóza, jejíž rozpad je nevyhnutelný a lze jej pouze do jisté míry zpomalit.

V průběhu stárnutí se v první řadě mění chemické složení polymerů. Dlouhé polymerní řetězce se štěpí na kratší fragmenty, anebo naopak vytvářejí trojrozměrnou síť (olejopryskyřičné laky), časem se ztrácí přídavné látky (těkají změkčovadla, stabilizátory, spotřebovávají se antioxidanty), působením vody nebo organických rozpouštědel mohou některé polymery bobtnat, nebo naopak ztrátou vázané vlhkosti křehnou a nenávratně se rozpadají (např. kaseinformaldehyd). V důsledku chemických změn se mění i fyzikální vlastnosti a vzhled předmětu, který se nakonec může rozpadnout až na fragmenty.

Projevem degradace polymerů může být:

- **Křehnutí** – ztrátou změkčovadel (změkčovadla běžně tvoří 30–50 % hmoty měkčeného polymeru).
- **Výkvěty na povrchu** – depozice degradačních produktů nebo „vypocování“ přídavných látek na povrch; tzv. „voskování“ – štěpení polymerních řetězců v povrchové vrstvě.
- **Trhlinky v povrchové vrstvě** – fyzikální změny amorfních polymerů (např. plexiskla) v důsledku hydrolytického štěpení, nebo projev degradace kaučuku v důsledku působení ozonu (tzv. „sloní kůže“).
- **Deformace** – v důsledku sorpce a desorpce vody plnivy; v důsledku bobtnání působením organických rozpouštědel; tvarovou pamětí polymerů v souvislosti s jejich výrobní technologií.
- **Odlupování, uvolňování částic plniva nebo výztuže** u laminovaných materiálů.

Polymery jako součásti budov

Polymerní materiály se stále více uplatňují v řadě oblastí stavebnictví. Stavební průmysl v současnosti spotřebovává více než 20 % celosvětové produkce polymerů. Často se jedná o recyklované materiály, ale také vzniká řada velmi sofistikovaných, tzv. „taylor made“ polymerů, které vynikají konkrétními užitnými vlastnostmi (např. pevností, lehkostí, odolností vůči chemikáliím, …), pro něž jsou v některých odvětvích stavebnictví velmi žádané ať již samotné, nebo jako součást kompozitních materiálů. Je evidentní, že v tomto případě se již nejedná o levné náhražky, naopak cena těchto materiálů bývá dosti vysoká.

Vnímání polymerních materiálů se v průběhu času změnilo. V řadě případů jsou přijímány jako plnohodnotná varianta ke klasickým materiálům, v některých případech dokonce jako jediná možnost (např. PVC trubky pro odvod vody do kanalizace). U běžných polymerů vnímáme jejich výhody (např. jednoduchou údržbu a dobré izolační vlastnosti u plastových oken), ale málokdy posuzujeme jejich životnost, která je ve srovnání s klasickými materiály (dřevo, kov) stále nízká a spolu s ohledem na cenu práce nakonec tyto stavební prvky zdražuje.

V procesu obnovy historických budov se s největší pravděpodobností neuplatní moderní konstrukční materiály, jako např. plastbeton, ale existuje řada materiálů na bázi syntetických polymerů, které se i v tomto případě používají, dále materiály, které by bez důsledného památkového dozoru použity být mohly, a také řada takových, které jsou už od počátku součástí budov relativně moderních, ale v současné době už památkově chráněných.

Krytiny

Hlavně na drobných lidových stavbách často dosluhuje břidlice, někdy i eternit. Nejlevnější (a lehčí) náhražkou jsou asfaltové šindele (bonnské, kanadské, …), které se však esteticky nepodobají ani eternitu, ani břidlici; stárnou poměrně rychle a velmi nepěkně. (První fází je „plešatění“, kdy se z povrchu odrolí kamínky).

Pro eternit existují v současné době esteticky víceméně plnohodnotné náhrady (vláknocementové desky bez azbestu). Pokud jsou však vlákna celulózová a desky nemají hydrofobní povrchovou vrstvu, vlákna sorbují vlhkost, bobtnají, anebo se srážejí, což poměrně brzy způsobuje praskání desek. Náhražky břidlice jsou vždy problematické. Přírodní břidlice je drahý a relativně těžký materiál – zatěžuje historický krov i kapsu investora. Její náhražky na trhu jsou většinou kompozitní materiály. V lepším případě obsahují mletou přírodní břidlici, která je pojena polymerem – směsí PE a PP. Existují i celoplastové náhražky břidlice na bázi recyklovaného PVC. I když všechny výše zmíněné krytiny jsou černé, plněné sazemi, nepochybně obsahují i stabilizační přísady a do určité míry jsou tedy proti působení UV chráněny, stejně degradují. Je jen otázkou času, kdy se degradace projeví. Nejdříve se projeví estetické změny (u tmavých polymerů většinou světlý povrch), později nastávají i změny mechanické (snížení pevnosti, vznik drobných trhlinek, …). Samostatnou kapitolou jsou plastové náhražky břidlice vyráběné z polyolefinů (polypropylenu a polyetylenu). Co se odolnosti materiálu týče, bude obdobná jako u výše zmíněných krytin, estetická stránka těchto výrobků je však natolik specifická, že jakékoli použití na historickou budovu vylučuje. Pro úplnost: existují i střešní tašky z plexiskla (MMA) k prosvětlení střechy. Časem zestárnou, poškrábou se, zmatní a zkřehnou. Oproti taškám skleněným, které se také vyrábějí, nemají snad žádnou výhodnější vlastnost.

Výhodou všech těchto náhražkových materiálů je nízká cena a malá váha, nevýhodou je většinou vzhled odlišný od originálu, barevné změny, které působením UV časem vznikají, změny mechanických vlastností v čase a vysoká hořlavost. Záruky na materiál se u většiny těchto krytin pohybují od 5 do 15 let, výjimečně 20 let. Jeden z výrobců uvádí záruku 22 let, ovšem za předpokladu, že teplota nepřekročí 60 °C, což v létě na šedočerné ploše střechy splnit nelze.

Izolace

Pro tepelnou izolaci staveb se kromě minerální vaty běžně používají desky z pěnového polystyrenu, z tvrdé polyuretanové nebo polyisokyanurátové (PIR) pěny, anebo v současnosti nejefektivnější izolační desky z fenolické pěny. Tyto materiály jsou poměrně odolné, většinou jsou to desky nebo bloky potažené hliníkovou fólií a ve stavbě jsou omítkou chráněné před klimatickými vlivy i před UV. Pokud je izolace řemeslně dobře provedená, funguje i po desítkách let. V oblasti památkově chráněných budov však mají tyto izolace minimální využití. Naprosto vyloučené jsou pak stříkané polyuretanové pěny pro izolaci historických krovů.

Další oblastí použití polymerů ve stavebnictví jsou hydroizolační fólie. Izolace proti zemní vlhkosti jsou většinou na bázi PVC. V zemi nejsou vystaveny světlu, ani vysokým teplotám.

Degradují tedy minimálně a fungují po desítky let. Naopak životnost střešních izolačních fólií (většinou rovněž na bázi PVC) je daleko menší – obvykle se udává maximálně 20 let. Zlepšení by mohl přinést recyklovaný polyvinylbutyral, který má extrémní odolnost proti světlu a UV záření a nyní se z něj nově vyrábějí i střešní hydroizolační fólie.

Plastová okna

Používání plastových oken je v současné době velmi rozšířené. Okenní profily jsou kompozitní výrobky, velmi složité výlisky z plastu v kombinaci s kovem. Na trhu je řada výrobků, lišících se profilem i materiálem, a tedy i kvalitou a cenou. Všechny jsou na bázi PVC. Ty nejlevnější obsahují běžná změkčovadla, dražší jsou vnitřně měkčeny přídavkem 10–20 % chlorovaného polyetylenu nebo elastomerních akrylátů; pro větší odolnost UV a pro okna s barevnými povrchy se používá PVC koextrudovaný s MMA. Ze složení okenního profilu se logicky odvíjí i jeho životnost. Nejrychleji stárne PVC s obsahem klasických změkčovadel, která postupně těkají, ale i dražší výrobky (vnitřně měkčené kopolymerací s PE) ve srovnání s klasickými materiály, jakými je např. dřevo nebo kov, stárnou rychle. U těch nejkvalitnějších udává výrobce životnost 50 let. Polymer začne časem na povrchu „křídovat“ a současně se začínají měnit jeho mechanické vlastnosti – křehne a rozpadá se. V tom okamžiku začíná jeho kompletní destrukce. Kromě kování nelze plastová okna opravovat – natírat a vykytovat jako okna dřevěná, a s ohledem na složitou strukturu profilu kov–plast není možné je ani recyklovat. Nejen že jsou pro historické budovy nevyhovující z estetického hlediska, ale jako nerecyklovatelné jsou i neekologické.

Plastová potrubí

Plastové okapy a svody jsou rovněž na bázi PVC. Životnost je tedy obdobná jako životnost jiných výrobků z PVC. V současné době existují různé, technologicky velmi propracované systémy plastových okapů a svodů v široké škále barev. Jejich pořizovací cena je často stejná, nebo i vyšší než cena klasických klempířských výrobků, ale cena jejich instalace i údržby je ve srovnání s klasickými okapy zanedbatelná a estetický dojem je natolik dobrý, že občas zmate i nepřizpůsobivého sběrače mědi.

Pro úplnost je třeba zmínit i běžné používání tlakových hadic z vysokohustotního polyetylenu (HDPE) a trubek z polypropylenu (PP, PPR) pro *rozvody vody* a trubek z houževnatého PVC pro *rozvody odpadu*.

Podlahové krytiny

Kromě klasických materiálů pro podlahy, jakými jsou dřevo, korek, kámen a keramika, se v minulosti (cca do 60. let minulého století) běžně používal tzv. xylolit (licí hmota nebo desky). I když se nejedná o polymer, lze jej považovat za moderní, syntetický materiál. Je to hmota, která vzniká smícháním kysličníku hořečnatého a roztoku chloridu hořečnatého, jemných pilin a minerálních pigmentů. Ačkoli nesnáší dobře vlhko a horko a vyžaduje poměrně pracnou a stálou údržbu (voskování), používala se převážně na podlahy kuchyní. Opravování xylolitu je obtížné a pro funkční prostory v podstatě nemá smysl.

V současné době jsou často používané krytiny, které svým povrchem sice klasické materiály imitují, ale jejichž základním materiálem je měkčené PVC (tzv. vinyl). Může se jednat o laminátové plovoucí podlahy nebo o měkké krytiny ve formě vícevrstvé fólie. V historických budovách a v kultivovaných interiérech se obvykle nevyskytují. Samozřejmě že životností ani esteticky nemohou klasickým materiálům konkurovat, jsou však levné, lehce aplikovatelné, vyžadují minimální údržbu a v případě potřeby jsou relativně snadno odstranitelné.

Nábytek vnitřní i venkovní

Už od 30. let minulého století se některé syntetické materiály používaly pro výrobu různých úchytek a doplňků nábytku. Jednalo se o nitrocelulózu nebo acetát celulózy, které měly imitovat rohovinu nebo želvovinu, později bakelit nebo kaseinformaldehyd (galalit), který někdy imitoval perleť. Celulóza i její deriváty časem degradují za vzniku kyseliny dusičné nebo octové. Degradaci těchto materiálů za normálních podmínek zastavit nelze, jediným řešením je vytvoření kopie těchto doplňků z jiných, trvanlivějších syntetických pryskyřic (např. z polyesterové pryskyřice).

Přibližně od poloviny minulého století se polymerní materiály stávaly pro výrobu nábytku stále důležitější. Často se používaly ve formě kompozitů – dřevotřísky pojené různými syntetickými pryskyřicemi, na odolné povrchy (např. pracovní desky kuchyňského nábytku) se používaly fenolické papírové lamináty (tzv. umakart) nebo lamináty na bázi močovino-formaldehydových pryskyřic. Tyto lamináty jsou velmi trvanlivé, a pokud neutrpí nějaké mechanické poškození, přetrvávají v dobré kondici desítky let, stejně jako předměty z bakelitu.

Syntetické polymery se od poloviny minulého století běžně používaly také pro výrobu čalouněného nábytku. Polyuretanové pěny (molitan) na polstrování a syntetické textilie (hlavně různé typy viskózy) na potahy nábytku a na závěsy. Pěnový polyuretan degraduje poměrně rychle, nevratně a velmi nepěkně. Měkne a rozpadá se za vzniku kyselých degradačních produktů. Je to spotřební materiál pro výrobky, od nichž se dlouhá životnost neočekává. Rozhodně není vhodný pro opravy cenného historického nábytku.

Už v roce 1950 vzniklo první sklolaminátové křeslo. Laminátový nábytek se vyrábí stále (např. sedadla v tramvajích) a je téměř nezničitelný. Lisovaný sedací nábytek z plastů se vyrábí v široké škále materiálů i cen, od drahých designových kousků z karbonu a z polykarbonátu, které jsou velmi trvanlivé a mají vynikající užitné vlastnosti, až po levná zahradní křesílka z recyklovaných materiálů – převážně z PVC, která se po několika sezonách na slunci prostě rozpadnou.

Povrchové úpravy nábytku

Nejstarší nátěry a politury na dřevo byly na bázi přírodních terpenických pryskyřic a oleje (fermeže). Za moderní prostředky už považujeme nitrocelulózové nátěry (přelom 19. a 20. století) i nátěry na bázi fenolických, modifikovaných fenolických, alkydových a modifikovaných přírodních pryskyřic, které byly běžné už v první polovině minulého století. Později k nim přibyly nátěrové hmoty na bázi vinylacetátu, akrylových pryskyřic,

epoxidů a polyuretanů (a samozřejmě i jejich kopolymerů). Nitrolaky byly pro vysoký lesk velmi oblíbené, ale časem žloutnou a ve spojení s některými kovy vytvářejí kyselý gel, který přispívá ke korozi kovu. Při renovaci povrchů natřených nitrolakem je proto lepší volit jiný materiál. Velmi dlouho byly (a dosud jsou) pro nábytkovou tvorbu a pro dřevěná obložení používány alkydové laky. Pro obnovu historických alkydových nátěrů v současné době existuje dobrá alternativa – alkydový lak obdobných parametrů jako kvalitní alkydové laky z 30. a 40. let minulého století, vyvinutý speciálně pro obnovu vily Tugendhat (https://www.synpo.cz/restauratorstvi).

Moderní výtvarná díla

Samostatnou kapitolou jsou pak moderní výtvarná díla z polymerních materiálů, pořízená investory do veřejných budov s vidinou reprezentace a současně „trvalé hodnoty“. Ve srovnání s díly z klasických materiálů stárnou daleko rychleji a ve zkracujících se intervalech vyžadují velmi nákladné restaurování. Příkladem může být Panamarenkův létající stroj „Umbilly I“, dílo, které v r. 1976 zakoupila Technická univerzita v Eindhovenu. Model fantastického létajícího stroje byl vytvořen z lehkých plastů a z různých kovových součástek, které pocházely většinou z bicyklů. Nejdříve byl umístěn ve vstupní hale univerzity, kde v nevhodných a nestálých podmínkách dosti trpěl. Již v roce 1988 bylo nutné dílo nákladně restaurovat. Cena restaurování Umbilly v očích studentů i pedagogů značně zkompromitovala. Od té doby se dílo stěhuje po různých lokacích v areálu univerzity a je stále častěji a nákladněji restaurováno. K zachování uměleckých děl z polymerních materiálů lze přispět citlivou preventivní konzervací – úpravou parametrů prostředí, v němž jsou uchovávána, ale proces jejich degradace zastavit nelze. Čím dál častěji také stojíme před otázkou, zda je vůbec možné je restaurovat nebo konzervovat, a jestliže ano, tak jak a jaký proces ještě může být označen jako konzervace nebo restaurování.

Obr. 1: Antoine Pevsner, Hlava ženy, 1923, Hirshhorn Museum and Sculpture Garden, Smithsonian Institution, Washington, D.C. Postup degradace trojrozměrného uměleckého předmětu z nitrocelulózy od svého vzniku do 60. let 20. století. Převzato z: Sid Perkins, Long Live Plastics, Science News, November 8, 2008, s. 34.

Tab. 1: Data počátků průmyslové výroby polymerů

Doba	Polymer	Typ výrobku
do r. 1800	1493 – objev přírodního kaučuku Evropany (při druhé Kolumbově objevné cestě do Jižní Ameriky)	
	1736 – první vzorky přírodního kaučuku v Evropě (přivezl je Charles Maria de la Condamine)	
	1791 – impregnace tkanin kaučukovými roztoky (patent S. Peala)	
1811	první evropská továrna na zpracování kaučuku – Vídeň	pogumovaný textil
1839	vulkanizace přírodního kaučuku	nepromokavé látky, balony, hračky
1846	nitrát celulózy CN	střelná bavlna
1851	ebonit (kaučuk, plněný sírou)	šperky, střenky nožů, **doplňky nábytku**
1855	„Bois Durci“ (krev + dřevěný prach)	plakety, hřebeny, izolace
1860	gutaperča	**elektrická izolace**
1869	nitrát celulózy CN	kulečníkové koule, brýlové obroučky, **doplňky nábytku**
1873	první americká továrna na zpracování CN plastů (N. Jersey)	**umělá slonovina, želvovina**, bižuterie, kulečníkové koule, brýlové obroučky, límečky
1885	zvláknění nitrátu celulózy CN	průmyslová výroba **umělého hedvábí**
1889	nitrát celulózy – fólie CN	fotonegativy, filmy
1890	první továrna na výrobu pneumatik v Birminghamu v Anglii	pneumatiky pro jízdní kola a vozy tažené koňmi
1891	regenerovaná celulóza	**měďnaté hedvábí**
1892	vlákna xantogenátu celulózy	**viskóza**
1894	zvláknění acetátu celulózy	**umělé hedvábí**
1895		pneumatika pro automobily
1908	acetát celulózy – fólie	„bezpečné“ podložky filmů, negativy
1909	fenolformaldehydové licí hmoty (Bakelit)	**elektrická izolace, vypínače**, rádia, telefony, drobné přístroje a domácí náčiní, **kompozitní materiály (laminace, dřevotřísky)**
1912	celofán (regenerovaná celulóza)	obalové fólie
1919	kaseinformaldehyd (Galalit)	knoflíky, **rukojeti příborů** a nářadí
1922	acetát celulózy – odlévací materiál	
1925	polyvinylchlorid – PVC	**elektrická izolace**, nepromokavé vrstvy, **podlahové krytiny, tapety**, hračky, obalový materiál, gramodesky, **izolační fólie**
1926	alkydové pryskyřice	**nátěry, kompozitní materiály (laminace)**
1929	močovinoformaldehydové hmoty	radiopřijímače, **izolace**, kuchyňské náčiní, **kompozitní materiály (laminace, dřevotřísky)**

Doba	Polymer	Typ výrobku
1929	zpracování přírodního latexu na pěnovou pryž	
1933	methylmetakrylát – MMA	zasklení, **bezpečnostní skla**, reflektory
1935	ethylcelulóza	**nátěry**
1936	akrylové polymery a kopolymery	**široké spektrum výrobků (pryskyřice, nátěry, …)**
1936	polyvinylacetát	**nátěrové hmoty**
1937	polystyren PS	nádoby, kelímky, výlisky
1937	polyacetaly	nátěry, lepidla, **fólie do netříštivých skel, střešní hydroizolační fólie (2022)**
1937	polyvinylidenchlorid	**bariérové fólie, elektroizolace**
1938	polyamidová vlákna (nylon66) PAD	punčochy, textil, lana, padákové hedvábí, izolace
1939	melamin-formaldehydové pryskyřice	kuchyňské náčiní, **kompozitní materiály (laminace, dřevotřísky)**
1942	nízkohustotní polyetylen PE (LDPE, VLDPE)	elektrická izolace, obalový materiál
1943	polysiloxany	hydrofobizační přísady, oleje, silikonový kaučuk, těsnění, formy, chirurgické implantáty
1944	polytetrafluoretylen PTFE (Teflon)	el. a tepelná izolace, ochranné povrchy
1945	propionát celulózy	fólie, vlákna, brýlové obroučky
1947	epoxidové pryskyřice	**nátěry,** lepidla, **kompozitní materiály (laminace, plněné epoxidy)**
1947	polyesterová vlákna PES	**textilie tkané i netkané**
1948	kopolymer akrylonitril-butadien-styren ABS	hračky, stavebnice LEGO, **opláštění pro elektroniku**
1949	pěnový (lehčený) polystyren	**tepelné izolace**, obaly
1954	vysokohustotní PE (HDPE)	**elektrická izolace, tlakové hadice**
1954	polyuretany PUR	široká škála výrobků – desky, bloky, lité výrobky
1955	chlorovaný polyetylen CM a chlorsulfonovaný CSM	velmi odolné povětrnosti, vysoké teplotě a hoření, olejům a chemikáliím. Aplikace v motorovém prostoru, hadice, opláštění vodičů, **střešní fólie**
1955	polyetylen PPE	elektrická izolace, obalový materiál, **konstrukční plast**
	polykarbonát PC	**zasklení**, CD, DVD, **nábytek**
1961	polyvinylidenfluorid	**tuhý a odolný konstrukční plast – desky, tyče, trubky**
1964	polyfenylenoxid	mikrovlnná izolace, **nádrže na horkou vodu**
1967	syntetický kaučuk (kopolymer butadien styren)	výroba radiálních pneumatik

Doba	Polymer	Typ výrobku
1970	polybutylentereftalát PBT	přesné součásti drobných (kuchyňských) přístrojů, hodin, kluzná ložiska, větrací mřížky automobilů, zásuvky pro elektroinstalace, …
1970	paraamid typ PAD (Kevlar K)	ochranné nehořlavé oděvy, neprůstřelné vesty, součást namáhaných konstrukčních kompozitů; často kombinace s CF
1971	uhlíková vlákna CF nebo CFRP (carbon fibre; carbon-fiber-reinforced polymer)	lana, kompozitní materiály (nárazníky, lodě, vyztužené textilie, rohože, sportovní náčiní), nábytek
1973	polyfenylensulfid PPS	vlákna i lisované hmoty; materiál odolný vysokým teplotám i chemikáliím; filtry, sterilizovatelné náčiní, vysoušeče vlasů, vlákna součásti kompozitů
1973	polybutylentereftalát PET	láhve
1989	kopolymer ethylen/chlorsulfonovaný ethylen (ECSM)	snížená hořlavost, vysoká odolnost proti olejům – aplikace v motorovém prostoru
1992	polyetylen nové generace PE 100RC (crack resistent)	potrubí – velmi odolný plast
1994	polyetylennaftalát PEN (modifikovaný PES)	extrémně pevná vlákna
1999	zpěnovatelný polyetylentereftalát PET	

Pozn.: V pravém sloupci jsou zdůrazněny polymery užívané jako stavební materiály nebo běžné součásti základního vybavení budov.

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory MK ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní technické muzeum (DKRVO, MK000023299).

Použitá literatura

1. Feller R. L.: Aspects of chemical research in conservation: the deterioration process; JAIC Vol. 33 No. 02, 1994.
2. Bridson J. A.: Plastics Materials, Butterworth Heinemann 1999 (7th edition), ISBN 0 7506 4132 0.
3. Doležel Břetislav: Odolnost plastů a pryží; SNTL 1991; v edici Makromolekulární látky sv. 32.
4. Ducháček Vratislav: Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití; VŠCHT v Praze 2006, ISBN 80-7080-617-6.
5. Kaner Jake, Ioras Florin, Ratnasingam Jega: Performance and Stability of Historic Casein Formaldehyde; e-plastory, 2017, Nr. 4; ISSN 2190-9598; http://www.e-plastory.com/index.php/e-plastory/article/view/Kaner/35
6. Prokopová Irena: Makromolekulární chemie; VŠCHT v Praze 2007; ISBN 978-80-7080-662-3.
7. Shashoua Yvonne: Conservation of Plastics; vyd. Elsevier 2008; ISBN 978-0-7506-6-495-0.
8. Williams Gareth, Assistant Curator: Plastic, Pop and Mass-produced Design in the V&A's Collections; Conservation Journal, October 1996, Issue 21; www.vam.ac.uk/conservation-journal/issue-21
9. Kopecká Ivana: Identifikace materiálu sbírkových předmětů ze syntetických polymerů. Fórum pro konzervátory-restaurátory, 2021, roč. XI, ISSN (Print) 1805-0050, ISBN 978-80-87896-98-3, s. 68-75.
10. Kopecká Ivana, Svobodová Eva: Otázky možné konzervace a restaurování polymerních materiálů. Zprávy památkové péče, roč. 80, č. 1 (2020), s. 106–112.
11. Beerkens Lydia: Ready for také off – again: Panamarenko's „Umbilly 1" (1976); Art d'aujourd'hui – patrimoine de demain (Conservation et restauration des oeuvres contemporaines); p. 57–73; 13es journées de la SFIIC, Paris, 24–26 juin 2009, ISBN 2-905430-16-8.

Degradace a konzervace uměleckých děl z polyesterových pryskyřic

Mgr. Karel Rapouch
Technické muzeum v Brně

Úvod

První objev polyesteru patří švédskému chemikovi Jönsi Jacobu Berzeliovi (1847), který jej připravil reakcí kyseliny vinné s glycerolem. K dalšímu zlomu ve vývoji a prvnímu průmyslovému využití došlo až během 2. světové války, kdy v roce 1942 byla americkou firmou US Rubber Co. objevena nenasycená polyesterová pryskyřice vyztužená skelnými vlákny – sklolaminát. V návaznosti na vojenský průmysl se začaly vyrábět trupy lodí a člunů. Použití sklolaminátu v umělecké tvorbě na sebe nenechalo dlouho čekat a první díla začala vznikat v 60. letech 20. století. V zahraničí se tak můžeme setkat např. s designovými futuristickými domy Futuro House od finského architekta Mattiho Suuronena, jejichž plášť je vyroben z laminátu. Celkem jich bylo vyrobeno do 100 kusů a nachází se po celém světě. Dále lze zmínit plovoucí sochu Sculpture Flottante Otterlo od sochařky Marty Pan, která je vystavena v jezírku muzea Kröller-Müller v Nizozemsku.

V České republice se můžeme setkat s řadou plastik, jako je Rychlost od Jiřího Nováka (1959), Labutě od Františka Mrázka (1965) nebo Hanačka od Zdeňka Hoška (1975). [2, s. 130–131]. V poslední době často využívá laminát současný sochař David Černý, autor řady kontroverzních děl. Asi nejznámějším dílem jsou plastiky 10 miminek na věži žižkovského televizního vysílače, jež byla instalována v roce 2000. Autor vytvořil sérii laminátových skulptur ve formě výlisku stavebnic jako Adam (obr. 1) a Eva, Ježíš Kristus nebo Entropa, která vznikla k příležitosti předsednictví ČR v Radě EU v roce 2009.

Nutno také zmínit sochu Lupiče, jež je dominantou budovy Muzea umění v Olomouci (MUO) a v roce 2020 byl na ní proveden konzervátorsko-restaurátorský zásah v Metodickém centru konzervace Technického muzea v Brně (MCK TMB) (obr. 2). Bližší popis k plastice je uveden v kapitole 4.

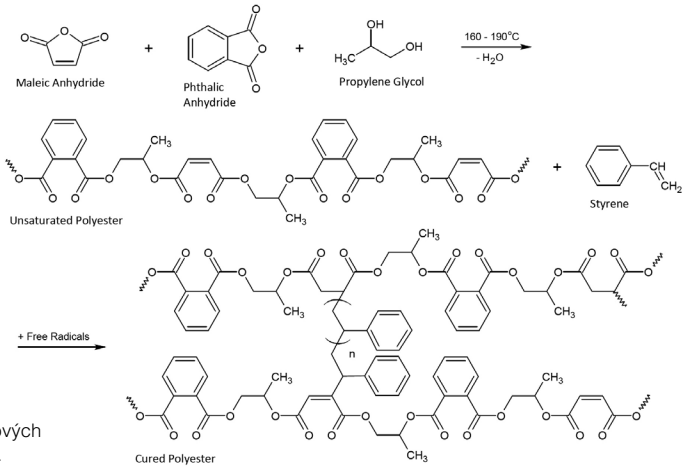
Chemie výroby polyesterových pryskyřic

Polyesterové pryskyřice jsou syntetické polymerní materiály, jež vznikají sesíťováním nenasycených polyesterů. Ty se připravují esterifikací dikarboxylových kyselin (kyseliny maleinová, ftalová, fumarová nebo maleinanhydrid) a diolů (ethylenglykol, propylenglykol) (obr. 3). Výsledný produkt reakce má oproti jiným polymerům nízkou molární molekulovou hmotnost. Druhým krokem výroby je sesíťování nenasycených polyesterů s vinylovým monomerem

Obr. 1: Plastika Adama (D. Černý, 1993).
(Foto © Technické muzeum v Brně)

Obr. 2: Plastika Lupiče na římse MUO (D. Černý, 2017).
(Foto © Technické muzeum v Brně)

(nejčastěji styren, dnes se již kvůli jeho zdravotní závadnosti používají jiné deriváty – např. vinyltoluen nebo vinylacetát). Pro urychlení reakce, která probíhá radikálovým mechanismem, je třeba přidat aktivátor reakce (zpravidla organický peroxid). Polyesterové pryskyřice se dodávají ve formě dvoukomponentní směsi, z níž jedna složka obsahuje nenasycený polyester se síťovacím činidlem a druhá aktivátor, které se před aplikací smísí v daném poměru.



Obr. 3: Schéma výroby nenasycených polyesterových pryskyřic (převzato z [4]).

Nenasycené polyesterové pryskyřice se v praxi často používají jako kompozitní materiál vyztužený např. skleněnými vlákny. Takto vzniká známý sklolaminát. Skleněná vlákna jednak zvyšují mechanickou pevnost materiálu a také omezují smrštění pryskyřice po sesíťování.

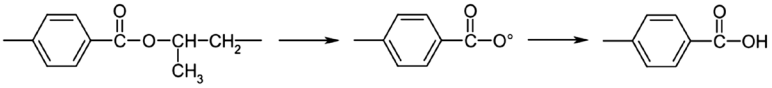
Z laminátu se vyrábí předměty, u nichž je vyžadována vysoká pevnost při nízké hmotnosti, jako jsou trupy lodí, speciální kapotáže závodních automobilů, lité podlahy (plastbeton – laminát plněný pískem, kamínky) a také umělecká díla. Ve stavebnictví se používá jako tmel s vysokou pevností např. pro kotvení šroubovic do betonu – tzv. chemická kotva, nebo jako náhrada železné výztuže do betonu.

Degradace polyesterových pryskyřic

Nenasycené polyesterové pryskyřice jsou povětrnostním podmínkám celkem odolné, na jejich degradaci má však významný vliv UV záření, což činí problém u všech soch nebo stavebních prvků v exteriéru. Mechanicky jsou pryskyřice poškozovány namáháním při nesprávně zvolené konstrukci nebo praskáním při vniknutí vody do pórů materiálu vlivem osmotického tlaku nebo zamrznutí v zimním období. Degradaci také podporuje zvýšená teplota a alkalické látky reagující se skleněnou výztuží. Mechanismus degradace lze tedy rozdělit na tři skupiny: fotooxidace, termodegradace a alkalická hydrolýza.

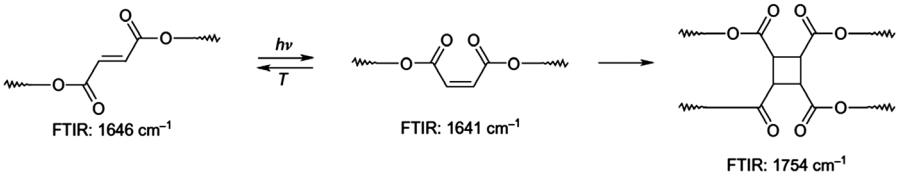
Fotooxidace

Pod pojmem fotooxidace se rozumí oxidační reakce polymeru vlivem působení energie fotonů z UV části viditelného spektra záření (tj. s vlnovou délku menší než 380 nm). Degradační reakce probíhají radikálovým mechanismem, kdy dochází k přerušení esterových vazeb (obr. 4). Fotooxidace se projevuje žloutnutím materiálu.



Obr. 4 Fotolytické štěpení polyesteru (převzato z [5, s. 26]).

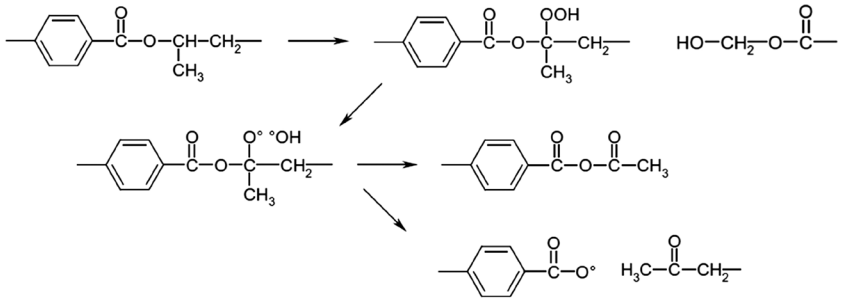
Deesterifikaci polyesteru lze pak sledovat v infračerveném spektru jako posun karbonylového pásu z hodnot 1725–1750 cm^{-1} k nižším vlnočtům (1680–1725 cm^{-1}). Při fotooxidaci může docházet k dimerizaci jednotek, což se projeví ve FTIR spektru též nárůstem pásu při cca 1750 cm^{-1} (obr. 5).



Obr. 5: Dimerizace polyesteru (převzato z [5, s. 26]).

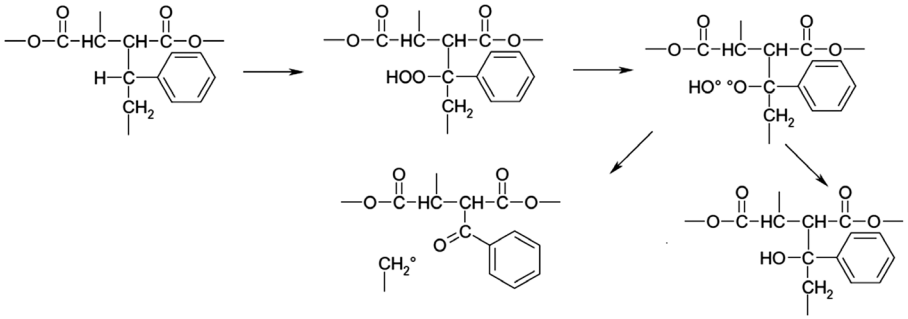
Termodegradace

Zvýšená teplota obecně zvyšuje rychlost při degradačních procesech. Dle van't Hoffova pravidla nárůst teploty o 10 °C zvýší rychlost chemické reakce 2×. Dle hodnoty teploty probíhají pak odlišné degradační procesy. Pokud bude T < 150 °C, pak dochází ke vzniku hydroperoxidů a následnému štěpení a vzniku anhydridů a dalších produktů (obr. 6). Ve FTIR spektru lze sledovat nárůst pásu v oblasti vazby O-H.



Obr. 6: Termodegradace polyesteru při T < 150 °C (upraveno dle [5, s. 21]).

Při teplotě vyšší (nad 200 °C) dochází k napadání styrenových můstků a přerušení vazeb mezi polymerními řetězci (dle obr. 7). Tato reakce nastává i při fotooxidaci.



Obr. 7: Termodegradace polyesteru při T > 150 °C (upraveno dle [5, s. 27]).

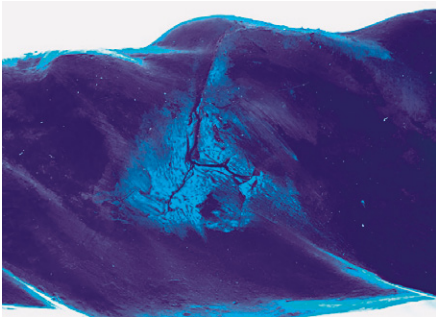
Alkalická hydrolýza

Hydrolýza nastává u laminátů vyztužených skelnými vlákny, kdy alkalické látky napadají právě výztuž a naleptávají ji. Tím dochází ke snížení pevnosti kompozice v důsledku vzniku pórů ve struktuře. Materiálu škodí i kyselé látky (zejm. HCl), jež narušují rozhraní mezi pryskyřicí a výztuží, nedochází však k takovému poškození jako v případě alkálií.

Případová studie: konzervování-restaurování a revize stavu plastiky Lupiče od D. Černého

V roce 2020 se na Metodické centrum konzervace Technického muzea v Brně obrátili kurátoři z Muzea umění v Olomouci se žádostí o restaurování plastiky Lupiče od autora Davida Černého. Plastika byla odhalena 19. 5. 2017. Jde o sochu s kinematickým mechanismem (obr. 2), která symbolizuje lupiče, který odnáší v batohu z muzea plastiku Karla Nepraše a přitom se zasekne na římse a nemůže dále. Díky počítačově řízené motorizaci plastika ručkuje po římse a k tomu lamentuje hlasem Davida Kollera (mechanismus se spouští každou hodinu). Předloha sochy byla vybroušena ze sklolaminátu pomocí robotů na základě počítačového 3D modelu. Uvnitř sochy je ukryta ocelová konstrukce pohybového mechanismu. Povrch plastiky byl patinován, aby napodoboval vzhled bronzové sochy. V rámci průzkumu byl zhodnocen fyzický stav díla, v jehož rámci byly na povrchu nalezeny drobné praskliny. Největším poškozením byla prasklina na paži levé ruky, která byla dlouhá a členitá (obr. 8). V minulosti byla již opravena, což potvrdila fluorescence v UV světle v místě poškození (obr. 9). Hodnocení vnitřní kovové konstrukce nebylo předmětem zásahu. [1]

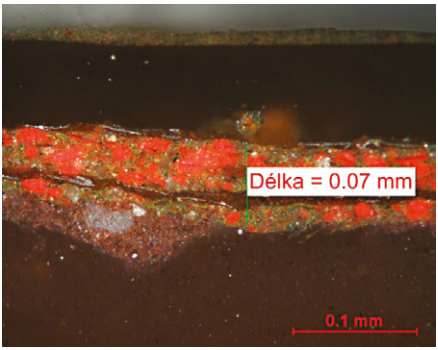
Obr. 8: Plastika Lupiče – trhlina na levé paži. (Foto © Technické muzeum v Brně)



Obr. 9: Plastika Lupiče – trhlina na levé paži v UV světle. (Foto © Technické muzeum v Brně)

Materiálový průzkum

Na předmětu byl proveden průzkum jak samotné pryskyřice, tak lakové vrstvy. Jejich materiálové složení bylo zjištěno pomocí FTIR spektroskopie. V obou případech se jedná o polyesterovou pryskyřici, vzorek laminátu navíc obsahoval aluminosilikáty, které mohly pocházet buď z plniva, nebo skelné výztuže. Sled barevných vrstev byl sledován z nábrusu pod mikroskopem (obr. 10), na kterém byly odhaleny dvě barevné vrstvy – zlatá a hnědá. Zlatá vrstva je velmi tenká a nerovnoměrná a je překryta hnědou



Obr. 10: Stratigrafický nábrus barevných vrstev.

vrstvou o tloušťce zhruba 70 μm. Pro přibližné určení pigmentů ve vrstvách jak samotného laminátu, tak barevných vrstvách byla provedena analýza pomocí rentgen-fluorescenčního spektrometru (XRF). Ve všech výsledcích byl významný podíl železa kolem 50 hm. %. Podle červenohnědého odstínu laminátu a tmavé vrchní vrstvy tak budou zřejmě v materiálu obsaženy oxidy železa. Dále byl přítomen v koncentraci 30 % titan – může jít o titanovou nebo barytovou bělobu, jelikož se píky titanu a barytu překrývají a použitým přístrojem je nelze odlišit. V případě hnědé lakové vrstvy byla zjištěna rtuť v koncentraci jednotek procent, což dokazuje použití rumělky (HgS) jako pigmentu. Ve zlaté vrstvě bylo přítomno železo ve vyšší koncentraci, zlatým pigmentem byl tedy nejspíše pyrit (FeS_2).

Konzervátorsko-restaurátorský zásah

Cílem konzervátorsko-restaurátorského zásahu bylo očištění předmětu, opravy trhlin a aplikace ochranného laku pro zvýšení odolnosti proti povětrnostním podmínkám (plastika měla být opětovně instalována na římsu muzea). Po konzultaci s kurátory Muzea umění v Olomouci bylo rozhodnuto, že bude na konzervaci povrchu použit kvalitní bezbarvý polyuretanový lak s matným povrchem pro zachování autentického vzhledu umělé patiny.

V první fázi zásahu byly z povrchu za pomoci vysavače a štětce odstraněny prachové nečistoty. Pak následovala oprava trhlin, která vyžadovala obroušení lomových ploch a úpravu do tvaru V pro lepší zatečení a spojení pomocí použité pryskyřice. Jako tmel byla použita nenasycená polyesterová pryskyřice Polipol 3401-TA-LSE-H30 vyztužená jemnou skelnou tkaninou o plošné hmotnosti 110 $g \cdot m^{-2}$ (obr. 11). Povrch byl pak přebroušen do původního tvaru (obr. 12).

Obr. 11: Trhlina při zalévání, použití skelné tkaniny. (Foto © Technické muzeum v Brně)

Obr. 12: Trhlina po zalití a obroušení. (Foto © Technické muzeum v Brně)

Po opravě trhliny na ruce následovala její barevná retuš. Zde bylo nejdříve nutné zjistit, jakým způsobem autor vzhled patinovaného bronzu utvářel. Průzkumem bylo zjištěno, že na výrobek byla nejdříve nanesena vrstva zlaté a na ni hnědé pryskyřice (dle průzkumu šlo též o polyesterovou pryskyřici). Hnědá vrstva byla následně místy probroušena, aby z povrchu vystoupla zlatá podkladní vrstva (obr. 13).

Po dohodě se zadavatelem bylo rozhodnuto, že vzhledem k expozici plastiky v exteriéru bude povrch chráněn kvalitním bezbarvým lakem. Byl tedy vybrán bezbarvý matný polyuretanový lak Telpur C 100 aplikovaný štětcem ve 3 vrstvách. Díky matnému povrchu nebyl narušen původní vzhled plastiky. Byl také upraven režim spouštění lupiče, a to pouze 1x denně, aby bylo minimalizované mechanické namáhání. Přes zimu je vypnutý a zabalený do overalu z Tyveku, aby byl chráněn před sněhem a zamrznutím vody.

Obr. 13: Levá ruka po barevné retuši.
(Foto © Technické muzeum v Brně)

Obr. 14: Plastika Lupiče
po konzervátorsko-restaurátorském zásahu.
(Foto © Technické muzeum v Brně)

Revize stavu plastiky Lupiče

Vzhledem k expozici Lupiče v exteriéru, kdy na něj působí povětrnostní podmínky (déšť, vítr, sluneční svit), byla po dvou letech od konzervátorsko-restaurátorského zásahu provedena vizuální kontrola stavu předmětu. Na základě fotodokumentace nebylo shledáno, že by na povrchu vznikaly větší praskliny materiálu. Opravená levá ruka byla také stabilní a bez porušení (obr. 15 a 16). Bezbarvý lak na povrchu nepraskal, ani se neodlupoval. Stavu předmětu zřejmě pomohl i upravený režim provozu předmětu, kterým bylo sníženo mechanické namáhání.

Obr. 15: Pohled na Lupiče z římsy MUO.
(Foto © Technické muzeum v Brně)

Obr. 16: Detail levé paže Lupiče.
(Foto © Technické muzeum v Brně)

Diskuze a závěr

Objev polyesterových pryskyřic otevřel průmyslu a umění nové možnosti aplikace jako náhrada klasických materiálů, jejichž nespornou výhodou je nižší hmotnost. Na druhou stranu jde však o materiály citlivější na degradaci zejména při vystavení v exteriéru. Největší poškození způsobuje UV světlo ze slunečního záření, se kterým souvisí i tepelné namáhání materiálu. Při porušení povrchové vrstvy pak dochází k zatečení dešťové vody, která působením osmotického tlaku může vytvářet praskliny. První projev degradace vlivem UV světla je žloutnutí materiálu. K významnému poškození dochází při porušení ochranné, tzv. gelcoatové vrstvy, která uzavírá povrch. Ochranu povrchu lze zvýšit pomocí kvalitních bezbarvých laků. Využít lze například dvousložkové polyuretanové nátěry, které jsou odolné vůči povětrnostním podmínkám a dle vzhledu povrchu zvolit lesklý nebo matný lak. Otázkou v tomto případě je pak reverzibilita zásahu, která vyžaduje diskuzi konzervátora-restaurátora s kurátory, vlastníky nebo autory díla. Důležitým faktorem pro životnost předmětu je také způsob technického návrhu z hlediska působení napětí, tlaku nebo ohybu při jeho provozu. Důkazem je socha Lupiče, u které došlo k vytvoření velké praskliny na levé ruce. Ta byla v rámci konzervátorsko-restaurátorského zásahu opravena a stabilizována. Po dvou letech od provedeného zásahu nejsou zatím patrné žádné znaky postupující degradace.

Příspěvek „Degradace a konzervace uměleckých děl z polyesterových pryskyřic“ vznikl na základě institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Technického muzea v Brně poskytované Ministerstvem kultury ČR. Poděkování patří také Mgr. Heleně Zápalkové, Ph.D., z Muzea umění Olomouc za spolupráci na přípravě článku.

Použité zdroje

1. Rapouch, K. Konzervování-restaurování pohyblivé sochy Lupiče od Davida Černého, In: *Kapitoly z konzervace a restaurování plastů II*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2021. ISBN 978-80-87896-95-2.
2. Knotek, V. Červinka, J. Křenková, Z. Průzkum a restaurování soch z polyesterového sklolaminátu umístěných v exteriéru, In: *Koroze a ochrana materiálu* 63 (3) s. 130–137, 2019. [online] dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/75222/Clanek_Cervinka_KOM10.2478_kom-2019-0017_kom.pdf?sequence=1&isAllowed=y Citováno: 18. 7. 2022.
3. Knotek, V. Červinka, J. Křenková, Z. Říhová, V. *Metodika preventivní ochrany a průzkumu laminátových soch v exteriéru*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická a Univerzita Pardubice, 2019. [online] dostupné z: https://sochyamesta.cz/sites/default/files/vystupy/Metodika_Pruzkum_laminatovych_soch_CER.pdf Citováno: 20. 7. 2022.
4. *Unsaturated polyester* [online] dostupné z: http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Unsaturated%20Polyester%20type.html Citováno 21. 7. 2022.
5. Richaud, E. Verdu, J. *Aging behaviour and modelling studies of unsaturated polyester resin and unsaturated polyester resin-based blends*, 2019. [online] dostupné z: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02568819/document Citováno: 25. 7. 2022.
6. Penczek, P. Czub, P. Pielichowski, J. Unsaturated Polyester Resins: Chemistry and Technology. In: *Crosslinking in Materials Science*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
7. Zhao, Q. Jian, Z. Li, X. Ye, Z.. Sufrace degradation of unsaturated polyester resin in Xe artificial weathering environment. In: *Materials and Design* 31, s. 4457-4460, 2010. [online] dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/248465464_Surface_degradation_of_unsaturated_polyester_resin_in_Xe_artificial_weathering_environment Citováno: 20. 7. 2022.
8. Shokrieh, M. M. Bayat, A. Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites. In: *Journal of Composite Materials*, 41 (20), 2007. [online] dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/249354181_Effects_of_Ultraviolet_Radiation_on_Mechanical_Properties_of_GlassPolyester_Composites Citováno: 20. 7. 2022.
9. Gorelov. B. M. Gorb, A. M. Polovina, O. I. Wacke, S. Czapla, Z. Kostrzewa, M. Ingram, A. Filler's impact on structure and physical properties in polyester resin-oxide nanocomposites, In: *Adsorption Science and Technology* 36, 2018, s. 549–570.
10. Kučerová, I. Mechanismy koroze polymerů. In: *Koroze a degradace polymerů* [online] dostupné z: https://docplayer.cz/7019844-3-1-mechanizmy-koroze-polymeru.html Citováno: 20. 7. 2022.
11. Kučerová, I. Faktory způsobující korozi a degradaci polymerů. In: *Koroze a degradace polymerů* [online] dostupné z: https://docplayer.cz/8226249-3-2-faktory-zpusobujici-korozi-a-degradaci-polymeru.html Citováno: 20. 7. 2022.
12. David Černý představil sochu Lupiče, kterou zhotovil robot (tisková zpráva z 19. 5. 2017) [online] dostupné z: http://muo.cz/david-cerny-predstavil-sochu-lupice-kterou-zhotovil-robot--1742/ Citováno: 13. 7. 2022.
13. Hawkins, W. L. *Polymer Degradation and Stabilization*. Springer-Verlag, 1984. ISBN: 978-3-540-12851-9.

Restaurování uměleckých děl z polymerů. Dílo Housenka (Perestrojky) od Kurta Gebauera

Mgr. et Mgr. art. Jan Kyncl, Ph.D.
restaurátor historických děl sochařských a moderního umění

Otázka restaurování polymerů uměleckých výtvarných děl je záležitostí ve světě známou od devadesátých let minulého století. Respektive již v roce 1969 napsal Paul F. Bruins v knize „Polyurethane Technology (Polymer Engineering & Technology S.)“, že bude nutné zjistit a prozkoumat, zda znalosti o polymerech jsou dostatečné. Jako důvod uvedl ochranu uměleckých děl zhotovených právě z polymerů. [1] Potřeba restaurování moderního a současného umění vycházela ze stavu samotných uměleckých děl, která se nacházela v galeriích po celém světě, a to s ohledem na stav hmot, resp. materiálů, z kterých byla zhotovena, tedy z polymerů. Díky celé řadě expertů ve světových galeriích vznikla v minulosti pracovní skupina složená z odborníků – kurátorů sbírek, historiků umění, filozofů, restaurátorů, přírodovědců, umělců, vedoucích muzeí či galerií a dalších profesí. Tato skupina mnoho let pracovala na vytvoření komplexního postupu péče, ochrany a restaurování moderního umění z nestabilních materiálů, který nyní dává návod, jak přistupovat k péči uměleckých děl a orientovat se v dané problematice.

V roce 1986 vznikla ve Spojeném království The Plastics Historical Society (PHS) sídlící v Londýně. Cílem této společnosti bylo podporovat studium historických plastů a moderních polymerů. V roce 1993 vznikla společnost The Historical Plastics Research Scientists Group (HPRSG), která si vytkla za cíl zkoumat plasty v muzejních sbírkách, hledat způsob, jak o ně pečovat, a popsat možnosti jejich ochrany i konzervace. V témže roce vznikl v Nizozemsku výbor sestavený z odborníků z šesti muzeí moderního umění. Odborné skupiny začaly zkoumat způsob ochrany moderního umění z mnoha aspektů a spolupracovaly s dalšími specialisty. Skupiny byly tvořeny jak teoretiky, tak praktiky, a to včetně umělců. Výsledkem jejich úsilí byl „Model registrace údajů a dat včetně konzervačních zákroků“ a „Model registrace stavu pro sledování následné změny na díle“, přičemž oba modely byly navzájem propojeny. V roce 1997 byl uskutečněn další zásadní krok – Nizozemský institut pro kulturní dědictví zorganizoval sympozium nazvané „MODERN ART: WHO CARES?“ a druhé se konalo hned následující rok, tentokrát pod vedením Getty Center v Los Angeles s názvem „MORALITY, IMMORALITY?“ Po usilovné práci zainteresovaných odborníků byl v roce 1999 vydán dokument „MODERN ART: WHO CARES?“ [2], který shrnoval pravidla pro ochranu a péči moderního a současného umění ve sbírkách.

Obr. 1: Kurt Gebauer, Housenka (Perestrojky), 1987. Snímek v denním světle.

Autor díla dlouhou dobu působil jako pedagog na VŠUP, je připomínán jako člen *Volného seskupení 12/15 Pozdě, ale přece* a zakládající člen *Nové skupiny* a skupiny *Vlastenci – přátelé Penklubu.*

V domácím prostředí, tedy v České republice, se bohužel doposud nepodařilo tuto problematiku dostat na úroveň povšechné informovanosti. Několik úspěšných zákroků při restaurování moderního a současného umění však bylo přece jen zrealizováno a dává naději, že se situace na domácí scéně zlepší. Příkladem jsou díla z Galerie moderního umění v Hradci Králové a z Národní galerie.

Při restaurování děl bylo postupováno metodicky podle zkušeností získaných ze zahraničí. Práce prvotně probíhala na půdě Akademie výtvarných umění v Praze v rámci doktorandského studia J. Kyncla na téma „Restaurátorské přístupy při restaurování výtvarných děl sochařských zhotovených z alternativních materiálů v ČR“ [3], dále pak na půdě NG v Praze a v domácích ateliérech.

Dílo **Housenka (Perestrojky)** vzniklo podle slov autora jako reakce na přicházející politické změny, jejichž iniciátorem byl M. Gorbačov v SSSR. Barva evokující duhu měla symbolizovat naději, housenka se zuby pak obavy, že naději změny sežerou následné události, stejně jako tomu bylo v minulosti, kdy reakcí na Pražské jaro byla okupace vojsky Varšavské smlouvy a normalizační proces. Dílo je umístěno ve sbírkách Galerie moderního umění v Hradci Králové.

Cíl práce byl zaměřen na výzkum, stanovení použitých materiálů, zjištění rozsahu poškození, navržení metody restaurování a určení materiálů, z nichž bude dílo restaurováno. Následně pak probíhal samotný proces restaurování.

Popis díla

Sklolaminátová skořepina, dvojitě zalomený tubus – komolý kužel vysoký 139 cm s otvorem v horní části. Otvor je osazen vymodelovanými plochými ostrými zuby. Dílo je barevně pojednáno svislými pruhy evokujícími duhu. Barva byla při vzniku díla nanesena na gázu a následně pokryta několikanásobnou vrstvou pryskyřice společně se sklolaminátovou rohoží. Lokálně pak byla barva nanesena i na dokončené dílo a povrch byl zafixován lakem.

Stav díla před zákrokem

Dílo bylo znečištěno prachem, lak na povrchu díla zdegradoval a způsobil změnu barev, ty ztmavly a krycí lak vytvořil šedý povlak. V horní části, pravděpodobně po pádu, byla prasklina dlouhá 250 mm, procházející skrz skořepinu, částečně chyběla i pryskyřice. Obě strany kolem praskliny navíc nebyly výškově v jedné rovině. Na mnoha dalších místech lokálně chyběla hmota a byly zde i praskliny menšího charakteru. Další povrchové defekty tvořily odřeniny, škrábance a oděrky. Také zde byly původní defekty vzniklé při laminaci díla – malé vzduchové kaverny a otevřené, prasklé kaverny. Rovněž pod povrchem krycího laku byly lokálně zřetelně viditelné praskliny – „rozbíhající se paprsky“. Zuby ve vrcholu lemující otvor byly popraskané a místy chyběla hmota. Každý zub byl modelován individuálně, ve tvaru i materiálu se prolínal odstín slonové bílé a průhledné pryskyřice. Z mladších, autorských oprav byly monitorovány druhotné tmely a barevné retuše, tmely však měly jiný charakter (byly s plnivem) a doplňky byly vizuálně i barevně odlišné. Plocha nesla lokálně stopy po broušení a retuších. Opravovaná místa byla hladká a postrádala strukturu gázy (chybělo jemné kanelování). Kovový prstenec s dutou tyčí ve spodní části housenky nebyl plně ukotven ke skeletu díla, kovová konstrukce s trubkou byla pokryta rzí a provizorně svázána drátem.

Restaurátorský výzkum

Výzkum byl rozdělen na část historicko-badatelskou, na ověření informací vědeckými metodami, na laboratorní výzkum materiálů, zjištění způsobu čištění, možnosti lepení, tmelení, retušování a konečné konzervace.

Historický výzkum zjistil, že se jedná o vrstvenou pryskyřici na skelné rohoži, podložené barevně pojednaným trikotýnem – gázou. V době vzniku díla existovaly na trhu laminovací pryskyřice na bázi epoxidu nebo polyesteru. Epoxidové pryskyřice se ale pro laminování používaly málo, neboť práce s nimi byla složitější. Technologie zpracování a způsob laminování ovšem byly stejné. Pryskyřice se kladla na model – „kopyto“ – nebo do formy a vznikající předmět byl proložen skelnou textilií či skelnou rohoží. Mohla být i přibarvována pigmenty nebo pigmentovými pastami určenými pro aplikaci v nenasycených polyesterech. Na vytvrzení se používal katalyzátor a urychlovač. Po dokončení se předmět brousil, tmelil, případně barevně upravoval a nakonec byl pokryt lakem. V 80. letech vyráběl Spolek pro chemickou a hutní výrobu v Ústí nad Labem polyesterovou pryskyřici pod označením ChS-Polyester s číselným označením 001–099. Samozhášivé typy měly označení 100–150. Nejpoužívanější na laminování býval typ ChS – Polyester 104, žlutá sirupovitá kapalina, a typ ChS – polyester 111, čirá bezbarvá až slabě nažloutlá kapalina. Jako katalyzátor sloužil P-V methylcyklohexanol-peroxid a jako urychlovač P-I roztok naftalenu kobalnatého v toluenu. Na případné opravy byl nejčastěji používán polyesterový tmel Vitresin nebo např. i opravný tmel na auta Eprosin. Pro zvýšení pevnosti konstrukce byly užívány skelné textilie nebo skelné rohože, přičemž se jednalo o výrobky firmy Skloplast, n. p., Trnava. Vlákna rohoží byla pojena pryskyřicemi rozpustnými ve styrenu obsaženém v polyesterových pryskyřicích.

Vlastnosti polyesterových laminátů vyráběných v 80. letech minulého století:
Hustota – 1,75 g·cm^{-3}, pevnost v tahu – 250 MPa, pevnost v ohybu – 170 MPa, rázovitá houževnatost – 150 kJ·m^{-2}, modul pružnosti v tahu E – 35 000 MPa [4].

Obr. 2: Poškození skořepiny, hlavní prasklina.

Obr. 3: Sekundární historické doplňky skořepiny.

Obr. 4: Zšedlý krycí lak.

Laboratorní výzkum

Zjištění užitých materiálů – Spektroskopie

Cílem této vědecké metody bylo určit: a) použité pigmenty, b) materiál použitý na skořepinu housenky, c) materiál použitý na vyhotovení zubů, d) použitá zpevňující vlákna, e) šedou povrchovou vrstvu.

Čištění povrchu díla

Na zkoušky čištění byly použity: č. 1 – dimethylketon (aceton), č. 2 – technický benzin, č. 3 – šelakové ředidlo – denaturovaný bezvodý ethylalkohol (KREMER 70800), č. 4 – ethanol 60%, č. 5 – detergent, dodecylsíran sodný (zkr. NaDS), 5% roztok, č. 6 – SYNDET 100% mýdlo bez alkalických složek, pH 5,5. Cílem bylo zjistit optimální prostředky na čištění povrchu skořepiny, odstranění prachu, šedého povlaku a navrácení původního barevného odstínu.

Test lepidel na lepení prasklin a tmelení chybějící hmoty

Lepidla byla vytipována podle vlastností udávaných výrobcem. Lepidla byla prvotně testována na změnu barvy z pohledu budoucí barevné odchylky ΔE. Cílem bylo určit lepidlo pro budoucí lepený spoj poškozeného díla, na tmelení i na laminaci. Materiál musel splňovat potřebné fyzické i mechanické vlastnosti.

Obr. 5: Sondy čištění.

Testování lepidel z pohledu barevné odchylky ΔE
Lepidla byla nanesena na laboratorní sklíčka a měřena spektrometrem CM – 700 KONICA MINOLTA. Tytéž vzorky byly vloženy do komory Q-SUN XENON TEST CHAMBER s cílem zjistit změnu jejich barevnosti. Vzorky byly ponechány v komoře po dobu 624 hodin při teplotě 60 °C a intenzitě záření 340 nm.

Tab. 1: Výsledky hodnocení barevné odchylky ΔE a pořadí

Vzorek číslo	Název materiálu	Hodnocení ΔE	Pořadí
1	Paraloid B72 roztok v toluenu/xylenu (polymer ethylmetakrylátu)	0,88	**4.**
2	AKEMI, Marmorkitt 1000 L - Special (polyesterová pryskyřice)	0,69	**1.**
3	Araldite 2028-1 Adhesive, dvoukomponentní polyurethan	0,81	**2.**
4	HAVELpol 5 (polyester)	0,85	**3.**

Z tabulky vyplývá, že barevně nejstabilnější je lepidlo AKEMI, Marmorkitt 1000 L – Special, polyesterová pryskyřice. (Testování vzorků proběhlo v laboratoři AVU v Praze)

Testování mechanických vlastností
Testování proběhlo v laboratořích VŠCHT v Praze přístrojem INSTRON – SYSTEM ID NUMBER 3365J5571. Vzorky byly rozříznuty, slepeny a následně testovány na potřebném zařízení.

Tab. 2: Výsledky testování vzorků lepidel v ohybu

Vzorek číslo	Název materiálu	Hodnoty v MPa (střední hodnota)
2	AKEMI, Marmorkitt 1000 L – Special (polyesterová pryskyřice)	34,4
4	HAVELpol 5 (polyester)	37,0

Tab. 3: Výsledky testování vzorků lepidel v tahu

Vzorek číslo	Název materiálu	Hodnoty v MPa (střední hodnota)
2	AKEMI, Marmorkitt 1000 L – Special (polyesterová pryskyřice)	10,67
4	HAVELpol 5 (polyester)	15,92

Z výsledku testu vyplývá: oba materiály jsou svými mechanickými vlastnostmi velmi podobné a je možné oba použít na restaurování. Na lepení prasklin je vhodnější AKEMI pryskyřice, na laminování HAVELpol 5, polyester. Další testovaná lepidla pro práci nevyhověla z důvodu delšího vytvrzování.

Testy barevných retuší pro povrchové scelení

Testovány byly: a) olejové barvy Mánes, b) akvarelové barvy Schmincke, c) Paraloid B72 roztok v toluenu/xylenu, 5% roztok s přidáním pigmentu, prodávaný pod obchodním označením Zeleň chromoxid tupý (Kremer 44200), d) akrylové barvy Lascaux, e) akrylátová disperze Sokrat 2802A s přidáním pigmentu Zeleň chromoxid tupý (Kremer 44200), f) akrylátová disperze Plextol L 3851 s přidáním pigmentu Zeleň chromoxid tupý (Kremer 44200). Cílem testu bylo najít optimální barvu na retuše, která bude mít podobné optické vlastnosti i shodné odstíny barev a bude stálobarevná. Nejlépe vyhověly akvarelové barvy Schmincke.

Obr. 6: Testy barevné retuše.

Finální povrchové ošetření

S ohledem na negativní zkušenost s nitrolakem bylo od tohoto laku upuštěno. Pro povrchové ošetření byl jako nejvhodnější vytipován reverzibilní materiál Paraloid B72 roztok v toluenu/xylenu na 5% koncentraci, protože materiál při této koncentraci dosahuje hedvábného matu.

Vyhodnocení restaurátorského výzkumu a stanovení koncepce zásahu

Čištění

Na základě výzkumu byl stanoven následující postup: 1. čištění: dodecylsíran sodný (natrium-dodecyl-sulfát, zkr. NaDS), 5% roztok, na omytí od prachu a nečistot. 2. čištění: šelakové ředidlo – denaturovaný bezvodý ethylalkohol (Kremer 70800), na odstranění ztmavlého laku. 3. čištění: prostředek v kombinaci 33 % dimethylketon (aceton) a 66 % šelakové ředidlo (denaturovaný bezvodý ethylalkohol KREMER 70800), na sejmutí degradovaného, šedého a bílého nitrolaku.

Zpevnění a konzervace kovové konstrukce

Na svaření konstrukce byl použit elektrický oblouk. Na povrchové ošetření byl určen antikorozní přípravek, odrezovač DRUCHEMA Praha, dále syntetická antikorozní barva SYNOREX Primer S2000, C0840.

Lepení a rentoaláž

Na rentoaláž části skořepiny byl určen výrobek HAVELpol 5, polyesterová pryskyřice a skelná rohož 225 g/m2 – netkaná textilie. Na lepení prasklin, doplnění hmoty skořepiny a doplnění zubů bylo použito lepidlo AKEMI, Marmorkitt 1000 L – Special. Lokálně byl do pryskyřice přidán pigment v příslušném barevném odstínu od firmy Kremer a tixotropní plnivo pro zahuštění a modelaci.

Retuše tmelů a lepených ploch
Akvarelové reverzibilní barvy Schmincke.

Konzervace skořepiny
Paraloid B72 roztok v toluenu/xylenu, 5% koncentrace.

Fotodokumentace průběhu prací

Obr. 7: Lepení a tmelení skořepiny.

Obr. 8: Restaurovaná skořepina po zákroku.

Obr. 9: Rentoaláž jádra.

Obr. 10: Očištěné, slepené a doplněné zuby.

Obr. 11: Povrch skořepiny očištěný od šedého povlaku laku.

Na závěr je možné konstatovat, že výsledek splnil očekávání jak ze strany GMU v Hradci Králové, tak samotného autora, který se v průběhu prací podílel na přínosných konzultacích. Byly dodrženy všechny postupy a zásady stanovené pro práci při restaurování výtvarných děl moderního a současného umění vytvořených z polymerů, a to včetně etických, výtvarných, ekonomických i legislativních hledisek. Vlastníkovi byl doporučen způsob péče a uchování díla v depozitáři.

Stav po restaurování

Obr. 12: Detail díla po restaurování.

Obr. 14: Stav po restaurování.

Obr. 13: Stav po restaurování.

Poznámky

1. Paul F. BRUINS, *Polyurethane Technology (Polymer Engineering & Technology S.)*, Interscience Publishers 1969, s. 289.
2. *Modern Art: Who Cares?* The Foundation for the Conservation of Modern Art and the Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam, 1999, s. 445. Editors Ijsbrand Hummelen & Dionne Sillé, text editor Marjan Zijlmans, ISBN 90 729005 45 8.
3. Jan KYNCL, Restaurátorské přístupy při restaurování výtvarných děl sochařských zhotovených z alternativních materiálů v ČR, disertační práce, AVU v Praze, 2020, s. 238.
4. Miroslav SCHÄTZ, Moderní materiály ve výtvarné praxi, Praha 1982, s. 190.

Azbest ve stavbách a co s ním?

prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
FAST VUT Brno, Ústav chemie

Úvod

Azbest je označení pro skupinu křemičitých hořečnatých, železito-hořečnatých a hořečnato-vápenatých vláknitých minerálů, vyznačujících se odolností vůči vysokým teplotám. Azbestová vlákna se používala již před více než 2000 lety. Tepelná odolnost azbestu vedla k jeho využití pro ohnivzdorné textilie, různé těsnicí pásky a šňůry, používal se v brzdovém obložení. Největší využití našel azbest ve stavebnictví, kde se stal vhodnou vláknitou výztuží cementových materiálů. Vyráběly se z něj např. desky uplatněné jako střešní krytina, lehké příčky, obvodové pláště dočasných staveb, obklady na fasády, podhledy apod. Azbestocement našel uplatnění také v odpadních a klimatizačních rourách, požárních uzávěrech jednotlivých podlaží v šachtách pro vedení vodního potrubí, protipožárních nástřicích na ocelové konstrukce a izolaci kotlů.

Rozsáhlé používání azbestu bylo dáno jeho vlastnostmi, jako je např. vysoká pevnost v tahu, chemická a tepelná stabilita, vysoká flexibilita, nízká elektrická vodivost a nízká cena.

Používání azbestu se datuje do doby před 4500 lety, kdy obyvatelé u jezera Juojärvi ve východním Finsku zpevňovali hliněné hrnce a kuchyňské náčiní azbestovým minerálem antofylitem. Athanasius v Alexandrii v Egyptě kolem roku 318 n. l. psal „o látce, jakou je údajně indický azbest, která nemá strach ze spálení, ale spíše se projevuje bezmocností ohně tím, že se ukazuje jako nespalitelná. Pokud by někdo pochyboval o pravdivosti toho, stačilo by se zabalit do dané látky a pak se dotknout ohně.“ Bohatí Peršané udivovali hosty tím, že čistili hadřík používaný jako ubrousek tak, že ho vystavovali ohni. Karel Veliký, první císař Svaté říše římské (800–814), měl ubrus vyrobený z azbestu.

Někteří archeologové se domnívají, že starověcí lidé vyráběli z azbestu rubáše, ve kterých pálili těla svých králů, aby zachovali pouze jejich popel a zabránili smíchání popela s těmi ze dřeva nebo jiných hořlavých materiálů běžně používaných na pohřebních hranicích. Starověcí lidé používali azbest k výrobě věčných knotů pro hrobové lampy. Slavným příkladem je zlatá lampa asbest lychnis, kterou sochař Callimachus vyrobil pro Erechtheion. V nedávných stoletích se k tomuto účelu skutečně používal azbest [1]. Lidé používají azbest po tisíce let k vytvoření pružných předmětů, které odolávají ohni.

Ve 20. století se začalo vyrábět spotřební a průmyslové zboží obsahující azbest ve velkém měřítku.

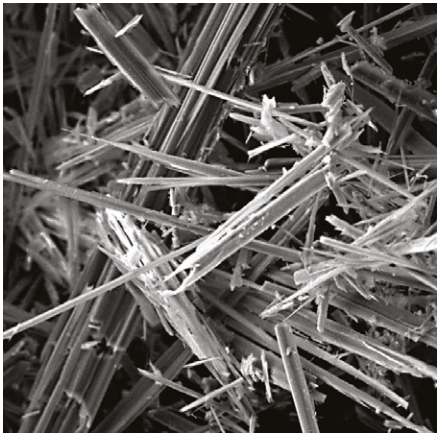
Škodlivost azbestu popsal již v prvním století našeho letopočtu římský historik Plinius. Lidé, kteří měli na sobě oblečení s azbestovými vlákny, onemocněli a zemřeli.

V roce 1898 v britské firmě zabývající se zpracováním azbestu projevili inspektoři obavy ze škodlivých účinků azbestového prachu. Azbestová vlákna mikrometrických rozměrů obsažená ve vzduchu se při dýchání dostávají do plic, kde se zabodávají do plicních sklípků a postupem času může poškození plic přejít ke vzniku nádorů [23].

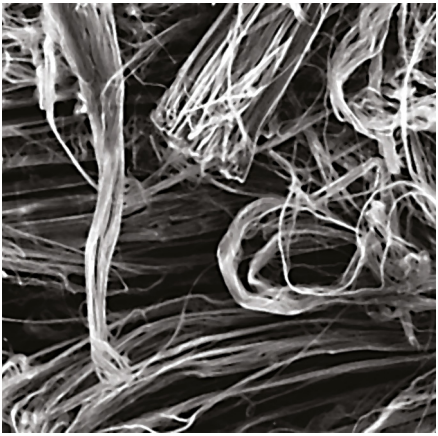
Ve Spojených státech amerických byla v roce 1918 zveřejněna studie ukazující na předčasnou smrt v průmyslu zpracovávajícím azbest, v roce 1926 získal dělník pracující s azbestem od Massachusettského úřadu pro průmyslové nehody odškodnění za nemoci související s azbestem. Ve 2. polovině 20. století byl azbest postupně zakázán ve více než 70 zemích, v mnoha dalších zemích žádný zákaz nebo omezení pro používání azbestu nemají. V České republice se azbest vyskytuje pouze jako doprovodný minerál některých rud. Významná naleziště azbestu jsou v Austrálii, USA, Indii a jižní Africe. Světová produkce obnášela v roce 2007 cca 2,3 miliony tun a podílelo se na ní Rusko 45 %, Čína 15 % a Kazachstán 15 % [1]. Podle materiálů (Based on USGS, 2021) se v roce 2020 významnou měrou na produkci azbestu podílely Rusko z 62 %, Kazachstán z 16 %, Čína z 16 %, Brazílie z 5 %, Zimbabwe z 1 % [2].

Druhy a charakteristika azbestů

Pod pojmem „azbest“ (česky „osinek“) se označuje soubor různých křemičitých vláknitých minerálů spadajících do dvou skupin: amfibolů (amozit $[Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2]$, krokydolit $[NaFe^{2+}{}_3Fe^{3+}{}_2Si_8O_{22}(OH)_2]$, obr. 1 [2]) a serpentinů (chryzotil $[Mg_3Si_2O_5(OH)_4]_n$, obr. 2 [3]). Anthofylit, tremolit, aktinolit se vyskytují jen ve velmi malém množství a nemají průmyslové využití.



Obr. 1: Vzhled krokydolitových vláken.



Obr. 2: Vzhled chryzotilových vláken.

Azbesty spadající do amfibolové skupiny tvoří hladká vlákna se špičatými konci, ze zdravotního hlediska jsou nebezpečnější než vlákna chryzotilová, která jsou zvlněná, ohebná a mají tendenci tvořit shluky.

Azbest se vyznačuje žáruvzdorností, je špatným vodičem tepla, amfibolový azbest se taví při teplotě okolo 1100 °C, serpentinový azbest při teplotách okolo 1500 °C. Azbest je pevný, tvořen je ohebnými spřádatelnými vlákny, je poměrně chemicky stálý, odolný biokorozi, působení kyselin a zásad. Krokydolit má modrou barvu, chryzotil světle zelenou barvu a amozit je šedý. Serpentinový azbest má vlákna spirálová, amfibolová vlákna jsou rovná. Vzhled krokydolitu [5] a chryzotilu [6] je na obr. 3 a 4.

Obr. 3: Krokydolit.

Obr. 4: Chryzotil.

Zdravotní rizika

V přírodě se azbest nachází ve shlucích nebo svazcích vláken dlouhých až několik centimetrů, které se při výrobě materiálů musí rozdružit a dále upravit. Při tomto procesu, také při opracování výrobků s obsahem azbestu a rozpadem zkorodovaných výrobků vznikají respirabilní vlákna, která jsou zdravotním rizikem. Respirabilní vlákna jsou definována jako dlouhé přímé částice o délce L > 5 μm, tloušťce D < 3 μm a poměru délka/tloušťka L : D > 3 : 1 [20]. Tato vlákna jsou lehká, snadno se rozptylují v ovzduší a mohou být tak vdechována do dýchacích cest. Pevná jehlicovitá vlákna se zabodávají do plic a způsobují tak řadu onemocnění, která obvykle vedou k předčasné smrti. Onemocnění se zpravidla projeví až mnoho let po expozici azbestem.

Z hlediska zdravotních rizik je nejméně rizikový chryzotil, jenž se používá v naprosté většině v současnosti dosud užívaných předmětů obsahujících azbest. Amfiboly jsou mnohem nebezpečnější. Pro srovnání, k vyvolání těch samých problémů, co dokáže způsobit chryzotil, postačí vdechnutí 100krát menšího množství amozitu. Krokydolit má oproti chryzotilu dokonce 500krát vyšší potenciál vyvolat rakovinu. Všechny druhy azbestu jsou karcinogeny kategorie 1, to znamená, že je známo, že způsobují zhoubné nádory u lidí [7].

Azbestová vlákna rozptýlená ve vzduchu jsou vdechována do plic, kde mohou způsobit některou z nemocí:

- **azbestóza** představuje zjizvení plic, ztěžuje dýchání a může vyvolat zhoubný nádor;
- **hyalinóza pleury (pohrudnice)** způsobuje vznik difuzní fibrózní nebo částečně zvápenatělé ztluštělé oblasti vystupující z pleury, nevede ke vzniku zhoubných nádorů a obvykle nezhoršuje funkci plic;
- **maligní mezoteliom** představuje primární pleurální tumor pocházející z buněk mezotelu, prognosticky je nejzávažnější ze všech onemocnění způsobených azbestem, má dlouhou latenci (20 až 40 let), často metastázuje do lymfatických uzlin;
- **rakovina plic**, která se ve spojení s expozicí azbestu vyskytuje nejdříve po uplynutí asi 10 let od počáteční expozice a uvádí se, že po uplynutí 20 až 30 let riziko jejího výskytu klesá;
- **rakovina hrtanu nebo gastrointestinálního traktu** [8, 9].

Legislativní předpisy vztahující se k nakládání s výrobky s azbestem

Z dat o spotřebě azbestu v 27 evropských zemí vyplývá, že jeho spotřeba rychle rostla mezi lety 1950 a 1980 a následně začala klesat poté, co byly v 90. letech zavedeny prostřednictvím evropských směrnic zákazy jeho používání. Úplný zákaz používání výrobků obsahujících azbest a jejich uvádění na trh, těžby azbestu a výroby a zpracování výrobků s azbestem (směrnice Evropské komise 1999/77/ES a 2003/18/ES) vstoupil v platnost v roce 2005, resp. 2006 [9].

V ČR je zákaz práce s azbestem upraven zákonem č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci).

V ČR platí pro všechny druhy azbestu jednotný přípustný expoziční limit 0,1 vlákna/cm^3, stanovený v nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci.

Zákon č. 541/2020 Sb., § 85, uvádí pravidla nakládání s odpady obsahujícími azbest. Každý musí zajistit, aby při nakládání s odpadem obsahujícím azbest nebyla z odpadu do ovzduší uvolňována azbestová vlákna nebo azbestový prach a aby nedošlo k rozlití kapalin obsahujících azbestová vlákna. Při nakládání s odpadem obsahujícím azbest je nutné splnit technické požadavky stanovené vyhláškou ministerstva a požadavky jiných právních předpisů, tj. zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, § 40 a § 41.

Požadavky na nakládání se stavebními odpady s obsahem azbestu jsou stanoveny ve vyhlášce č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, kde § 42 uvádí, že vybourané stavební a demoliční odpady obsahující azbest musí být neprodleně po vzniku zabaleny do neprodyšných obalů nebo uloženy do utěsněných nádob či kontejnerů a označeny a předány do zařízení pro nakládání s odpady, které je určeno k jejich sběru nebo odstranění.

Ve vyhlášce č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů, jsou odpady s obsahem azbestu uvedeny v pěti kategoriích:

06 07 01* Odpady obsahující azbest z elektrolýzy
06 13 04* Odpady ze zpracování azbestu
10 13 09* Odpady z výroby azbestocementu obsahující azbest
10 13 10* Odpady z výroby azbestocementu neuvedené pod číslem 10 13 09
15 01 11* Kovové obaly obsahující nebezpečnou výplňovou hmotu (např. azbest) včetně prázdných tlakových nádob
16 01 11* Brzdové destičky obsahující azbest
16 02 12* Vyřazená zařízení obsahující volný azbest
17 06 01* Izolační materiál s obsahem azbestu
17 06 05* Stavební materiály obsahující azbest

Všechny uvedené odpady spadají do kategorie nebezpečných odpadů a je povinnost s nimi nakládat dle platné legislativy.

Průzkum výskytu materiálů s obsahem azbestu

Ve vyhlášce č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, Příloha č. 15, odd. B2, písm. h), je s účinností od 1. 1. 2007 uvedena zákonná povinnost tento průzkum provádět. Tato vyhláška bude od 1. 7. 2023 zrušena v souvislosti s vydáním nového stavebního zákona č. 283/2021 Sb., který řeší pouze podmínky pro odstraňování staveb s materiály s obsahem azbestu (§159, 247 a 248), neřeší povinnost průzkumu výskytu azbestu při rekonstrukcích staveb. Nové navazující předpisy k tomuto zákonu se ale připravují. Oproti některým členským zemím EU není u nás v právním řádu zakotven ani postup při provádění tohoto průzkumu. Průzkum výskytu materiálů s obsahem azbestu a zakreslení do projektové dokumentace je dle literatury [19], zpracované pro ČKAIT, nezbytný z toho důvodu, aby při stavebních pracích bylo zamezeno příp. poškozování zdraví dotčených osob v bezprostřední blízkosti těchto prací. Neméně důležitým faktorem je i postup prací při nakládání s odpady, viz výše uvedené legislativní nástroje. Cílem průzkumu může být také stanovení naléhavosti sanace částí stavby s nalezenými azbestovými materiály (viz dále).

Jak se zjišťuje přítomnost azbestu v materiálu a v ovzduší

Pouhým okem nelze jednoznačně určit přítomnost azbestu v materiálu. Na rozdíl od laika je odborník schopen materiál s podezřením na obsah azbestu identifikovat, ale k potvrzení či vyloučení přítomnosti azbestu musí provést komplexní průzkum přítomnosti azbestu, zahrnující následující činnosti [10, 19]:

- prostudování stavební a další související technické dokumentace;
- podrobnou vizuální prohlídku celého objektu (porovnání technické dokumentace se skutečností);
- konzultaci s pracovníky správy objektu;
- identifikaci podezřelých materiálů a výběr vhodných míst pro odběr vzorků;
- odběry vzorků z podezřelých materiálů;
- měření/monitoring – odběry vzorků „ze vzduchu“.

Analýzy vzorků (materiálů, měření) provádí akreditované laboratoře specializované na problematiku azbestu. Odběry i analýzy vzorků by měly provádět laboratoře akreditované podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Důkaz azbestu

Identifikaci azbestu lze provádět několika analytickými metodami:

- XRD analýzou,
- infračervenou spektroskopií,
- Ramanovou spektroskopií,
- elektronovou skenovací mikroskopií v kombinaci s RTG fluorescenční analýzou,
- optickou polarizační mikroskopií.

Separace vláken z tuhého vzorku se provádí pomocí separační jehly, skalpelu a pinzety. K separaci vláken ze vzduchu se používají membránové filtry, přes které je nucenou cirkulací (pomocí pumpy) vháněn okolní vzduch a na jejich povrchu se zachycují tuhé částice, včetně vláken. Separovaná vlákna se pak pro identifikaci upraví specifickým způsobem, vhodným pro danou metodu [10, 11, 12, 13, 14].

V ČR není jednotný metodický předpis na identifikaci azbestových vláken. Laboratoře nabízející analýzy k identifikaci azbestu využívají jednu nebo více z výše uvedených metod. Některé laboratoře mají metody pro stanovení azbestu v ovzduší či v materiálech akreditovány podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Použití azbestu

Azbest díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem a vláknitému charakteru našel uplatnění v mnoha výrobcích, zejména pro stavebnictví, ale také v automobilovém průmyslu, v protipožárních opatřeních a v dalších oborech. Největší objem azbestu byl zpracován ve stavebnictví při výrobě azbestocementových výrobků, které byly v různých formách a kombinacích dále využívány pro výrobu nových stavebních prvků.

Pro výrobu azbestocementu se používala směs 8 až 15 % azbestu, 85 až 92 % cementu, pro barevné výrobky se přidávalo 3 až 5 % barevných pigmentů. U lehčených protipožárních desek byl obsah azbestu až 50 %. Azbest se nejprve v záměsové vodě rozvláknil, po přídavku cementu se směs dokonale zhomogenizovala. Směs se dále zpracovávala na speciálních zařízeních do tvaru rour nebo desek. Vytvrzování probíhalo na vzduchu, máčením ve vodě, propařováním nebo autoklávováním. Po vytvrzení se výrobky dále opracovávaly broušením, leštěním, vrtáním děr, natíráním apod. Azbestocement má díky azbestovým vláknům výborné mechanické vlastnosti, je nepropustný pro vodu, i při značné nasákavosti je dostatečně mrazuvzdorný a v běžných prostředích trvanlivý. Pevnost v tahu za ohybu je největší ve směru kolmo na vlákna a dosahuje 30 N/mm², pevnost lisovaných desek je vyšší než desek nelisovaných, modul pružnosti je 25 až 30 000 N/mm². Pórovitost je 25 %, u nelisovaných výrobků až 40 %, nasákavost 12 až 20 %, u nelisovaných výrobků 22 až 28 %. Teplotní odolnost dlouhodobě 400 až 450 °C,

krátkodobě 600 °C. Mrazuvzdornost azbestocementu vyhovuje požadavkům na vybrané vlastnosti i po více než 100 zmrazovacích cyklech. Trvanlivost je závislá na okolních podmínkách, degradace se odvíjí od přítomnosti agresivních látek, které napadají cementový tmel [15].

Přehled vybraných výrobků s azbestem

Od 30. let minulého století se azbest začal používat na výrobu střešních krytin (Eternit). K rozvoji používání azbestu došlo koncem 60. let minulého století. V letech 1975–1990 bylo dovezeno do tehdejší ČSSR až 50 tisíc tun čistého azbestu ročně. Azbest byl zabudován v podobě různorodých stavebních hmot v mnoha stavbách [16].

Výrobky z azbestu lze rozdělit do dvou skupin:
- výrobky použité ve stavebnictví, kde se spotřeboval největší podíl azbestových vláken,
- výrobky v jiných odvětvích (požární ochrana, strojírenství, automobilový průmysl).

Od 70. let, kdy se ve stavebnictví rozvíjela prefabrikace, nacházely deskové výrobky s azbestem stále větší uplatnění. Používaly se na podhledy, příčky, do sendvičových prvků apod. Roury našly uplatnění např. v kanalizaci, vodovodních přípojkách, klimatizaci apod. Z dalších aplikací lze jmenovat podlahové krytiny, textilie pro zakrytí míst s vysokou teplotou nebo nebezpečím vzniku požáru, azbestová vata pro tepelné izolace, desky v akumulačních kamnech, těsnění pro příruby (Klingerit), desky do rozvodných krabic a další. Pro zvýšení protipožární odolnosti některých konstrukcí, zejména kovových, někdy i betonových, byly používány nástřikové hmoty s vysokým obsahem (až 90 %) azbestových vláken. Výroba všech výrobků s použitím azbestových vláken byla v ČR ukončena nejpozději v roce 2000.

Přehled vybraných stavebních materiálů, konstrukčních prvků a konstrukcí s obsahem azbestu, které byly v Československu v minulosti vyráběny [16]:
- Stříkaná omítka Pyrotherm
- Protipožární nástřik Limpet
- Eternit – střešní krytina – šablony
- Vlnitá střešní krytina typu A a B (podle velikosti „vlny“)
- Hřebenáče, tvarovky a střešní větrací prvky
- Izolační šňůra
- Netkané textilie NETAS
- Izolační deska ID a IDK
- Květinové truhlíky a zahradní doplňky
- Tlakové a kanalizační roury a tvarovky
- Interiérové protipožární desky (Dupronit A, B, C, Ezalit A, B, C)
- Desky exteriérové a podstřešní (Dekalit, Lignát, Cembalit, Cemboplat, Unicel)
- Desky Pyral
- Asfaltové pásy – např. Aralebit, Bitagit, Cufolbit, Arabit-S, Plastbit
- Obvodové pláště – Bios, OD–011–A, CHANOS, BDP, Isodid
- Stross fasáda, SidalvarFeal VAR M3
- Konstrukční systémy – Omega, Inpako, MDU 85, Monti, Stamo, TL 40/70

Od poloviny 70. let, kdy se začaly informace o škodlivosti azbestu brát vážně, začalo se s výzkumem a od 80. let i s výrobou azbestocementových a protipožárních výrobků s částečnou nebo úplnou náhradou azbestu celulózovými nebo organickými vlákny [17].

Zvláštní pozornost je třeba věnovat stavbám opláštěným tzv. boletickými panely z 60. a 70. let minulého století (odhaduje se na cca 3000 staveb – školy, školky, tělocvičny, administrativní a správní objekty). Jedná se o sendvičový prvek mající kostru z ocelového rámu vyplněného pěnovým polystyrenem a minerální izolací. Exteriér je tvořen tvrzeným sklem v různých barvách (bílé, hnědé, modré) a lakovaným nebo smaltovaným plechem či eloxovaným hliníkem. Interiérový plášť může obsahovat dřevotřísku, azbestocementovou desku nebo umakart [18]. Vzhledem k rozšířenosti používání boletických panelů byl navržen postup jejich sanace. Za předpokladu, že nejsou v havarijním stavu, lze po odstranění vnějších vrstev pláště zapouzdřit desky s obsahem azbestu nástřikem použitím technologie HVLP – High Volume Low Pressure (vysoký objem při nízkém tlaku do 0,7 barů), která umožňuje maximální přenosovou účinnost a minimální spotřebu materiálu. Po zaschnutí nástřiku se doplní minerální izolace a provede se opláštění deskami CETRIS s mezerou 40 mm (větraná mezera). Navržené nové řešení minimalizuje bezpečnostní rizika plynoucí z činností spojených s demontáží, manipulací, transportem a uložením materiálů obsahujících respirabilní azbestová vlákna a přináší zhruba třetinové úspory.

Ohodnocení naléhavosti sanace azbestových materiálů

Nutnost okamžitého odstranění materiálu obsahujícího azbest v případě jeho nalezení ve stavbě není v našich právních předpisech nikde zakotvena, v legislativě jsou uvedena pouze pravidla pro nakládání s odpadem s obsahem azbestu. Při hodnocení naléhavosti odstranění výrobků s obsahem azbestu je nutno přihlédnout k tomu, zda nalezený materiál zabudovaný v konstrukci a při užívání objektu může ohrozit zdraví osob v tomto objektu. Je možno postupovat podle některého z předpisů užívaných v zemích Evropské unie.

Hodnocení podle německých předpisů, užívané i v České republice, kategorizuje tři stupně naléhavosti odstranění materiálů s azbestem [19]:

- Stupeň naléhavosti 1 – sanace je nutná bez odkladu. V tomto případě je třeba neprodleně přijmout předběžná opatření ke zmenšení koncentrace azbestových vláken v prostoru a pokud možno urychleně tento prostor sanovat. S konečnou sanací se musí začít nejpozději do 3 let.
- Stupeň naléhavosti 2 – azbestové produkty se musí v časovém úseku, nejvýše do dvou let, znovu ohodnotit a znovu posoudit, zda nenastalo zhoršení. Pak je třeba je přeřadit do stupně naléhavosti číslo 1, nebo je možno počkat a tyto sanace provést až při rozsáhlejší úpravě stavby.
- Stupeň naléhavosti 3 – vyžaduje se dlouhodobé sledování, tzn., že majitel stavby ví, kde se vyskytuje azbest, který je v klidovém stavu. V současné době nekontaminuje ovzduší a není nutné jej řešit, ale v případě zásahu do stavby si musí být majitel vědom, že stavba obsahuje azbestové materiály a v kterých místech jsou; potom je nutné řešit jejich odstranění v projektové dokumentaci.

U pevně zafixovaných azbestových vláken v materiálu není třeba podléhat panice, jak se to často děje. Na druhé straně u materiálů, které jsou porézní, nesoudržné či rozpadavé nesmí být problematika výskytu azbestu podceňována a musí být naléhavě řešena. Vždy je třeba provést kvalifikované posouzení stavu materiálu s azbestem a určit stupeň naléhavosti jeho odstranění. Navržená sanace boletických panelů je důkazem, že lze po zapouzdření azbestocementu výrobky nadále bezpečně používat.

Stavby s azbestem a památková péče

V ČR je řada historických staveb obsahujících materiál s azbestem, který byl použit při opravách v druhé polovině 20. století. Příkladem může být Španělský sál Pražského hradu, kde se při průzkumných pracích našel materiál s obsahem azbestu, který musel být odstraněn [21]. V Janáčkově divadle v Brně našli stavbaři desky s azbestem v rozvodech a strojovnách vzduchotechniky a protipožárních klapkách, také se nalezly azbestocementové izolační panely. Zatímco na Pražském hradě byly materiály s obsahem azbestu zjištěny již při stavebním průzkumu pro přípravu projektu, v Janáčkově divadle k tomu došlo až při probíhající opravě [22]. Z uvedeného vyplývá, že z pohledu možné přítomnosti azbestu je nutno při diagnostice objektu zohlednit i dobu předchozích oprav, zejména v 60. až 80. letech minulého století, kdy byly výrobky obsahující azbest hojně používány.

Co říci závěrem?

Skupina minerálů shrnutých pod společný název azbest představuje přírodní vlákna na bázi křemičitanů, která mají výborné chemické a fyzikální vlastnosti. Odolávají kyselému i zásaditému prostředí, jsou kompatibilní s cementovou či jinou silikátovou matricí, jsou odolná vůči vysokým teplotám. S cementem tvoří materiály vyznačující se vysokými pevnostmi v tahu za ohybu, mrazuvzdorností a odolností vůči koroznímu prostředí, v závislosti na odolnosti cementového tmelu.

Nezpochybnitelné je jejich zdravotní riziko spočívající v možnosti vzniku a uvolňování respirabilních vláken způsobujících vážná onemocnění. Naše legislativa nepředepisuje jednoznačné okamžité odstranění všech materiálů s obsahem azbestu. Vždy je nutno kvalifikované posouzení míry rizika ohrožení zdraví v okolí těchto materiálů.

V současné době je prováděn výzkum zaměřený na možnost dalšího využití stávajících výrobků či konstrukcí (např. boletické panely) obsahujících materiály s obsahem azbestu, např. formou enkapsulace (zapouzdření) těchto materiálů, aby se riziko uvolňování respirabilních vláken eliminovalo.

Na jedné straně azbestová vlákna mají vynikající technické vlastnosti, na druhé straně představují vážné zdravotní riziko. V tomto případě je nutno upřednostnit eliminaci zdravotního rizika a ve většině případů materiály s azbestovými vlákny dle platné legislativy ze stavebních objektů odstranit.

Použitá literatura

1. http://www.englishgratis.com/elingue/elingue/en/wikimag/serie11/07.htm [citace 14. 9. 2022].
2. Thives, L. P., Ghisi, E., Thives, J. J., jr., Vieira, A. S. Is asbestos still a problem in the world? A current review. Journal of Environmental Management, 319, 2022, 115716. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115716
3. https://twu.edu/health-safety/safety-programs/asbestos-safety/ [citace 2. 8. 2022].
4. Belluso, E., Cavallo, A., Halterman, D. Crystal habit of mineral fibres. In: Ed. A. F. Gualtieri, EMU Notes in Mineralogy: Mineral fibres: Crystal chemistry, chemical-physical properties, biological interaction and toxicity 2017, Vol. 18, Chapter 3, 65–110, 2017.
5. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Krokydolith_-_Mineralogisches_Museum_Bonn _%287385%29.jpg
6. https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Chrysotile
7. https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Azbest&veaction=edit&section=2 [citace 2. 8. 2022]
8. Smolková, P. Vybraná onemocnění dýchacích cest způsobená inhalací anorganických prachů. Disertační práce. Olomouc: LF UP v Olomouci, 2015. Dostupné z: https://theses.cz/id/ko1di0/17149708 [citace 18. 8. 2022].
9. Brückner, B. et al. Praktická příručka o osvědčených postupech pro prevenci a minimalizaci rizik azbestu při práci (potenciálně) zahrnující kontakt s azbestem: pro zaměstnavatele, zaměstnance a inspektory práce. 1. vydání. Praha: Státní zdravotní ústav a Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2007, 156 stran. ISBN 978-80-7071-282-5.
10. http://www.azbestbezpecne.cz/cs/o-azbestu/jak-zjistit-jeho-pritomnost/
11. Stanovení azbestu [online]. https://www.alsglobal.cz/premiove-analyzy/azbest [citace 22. 8. 2022]
12. Jak se provádí identifikace azbestu? [online]. https://www.enviweb.cz/93267 [citace 22. 8. 2022]
13. Lach, K., Mička, V., Ježo, E. Využití skenovacího elektronového mikroskopu s energiově-disperzním mikroanalyzátorem (SEM-EDX) k identifikaci azbestových vláken. Prezentace na semináři Azbest a jak na něj, Hradec Králové, 5. června 2012. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/seminare/2012-06-05#hlavni [citace 22. 8. 2022].
14. Zholobenko, V., Rutten, F., Zholobenko, A., Holmes, A. In situ spectroscopic identification of the six types of asbestos. Journal of Hazardous Materials, 403, 2021, 123951. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123951
15. Fraňo, V. a kol. Stavebné látky. Bratislava: Alfa, 1984, 307 stran.
16. TZB-info, odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov (online). Azbest (azbestové materiály) aplikované ve stavebnictví – obecný přehled. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/8828-azbest-azbestove-materialy-aplikovane-ve-stavebnictvi-obecny-prehled [citace 22. 8. 2022].
17. Rovnaník, E. Nové typy anorganických deskových materiálů s vláknitou výztuží. Disertační práce. Brno: Fakulta stavební VUT v Brně, 1986.
18. Petráš, V. Nové možnosti sanací Boletických panelů. Disertační práce. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2019. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/handle/10084/138561 [citace 23. 8. 2022].
19. Balvín, P. Stavebně technický průzkum výskytu azbestu (MP 1.1.4). Praha: ČKAIT, 2020. Dostupné z: https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-1-4/#2-1 [citace 23. 8. 2022].
20. http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2012/hodnoceni_mineralnich_azbestovych_vlaken.pdf [citace 25. 8. 2022].
21. https://www.lidovky.cz/domov/podivejte-se-jak-se-meni-spanelsky-sal-zmizelo-skoro-150-tun-materialu-ktery-obsahoval-jedovaty-azbe.A200813_193717_ln_domov_rkj [citace 25. 8. 2022].
22. https://operaplus.cz/janackove-divadle-nasli-pri-rekonstrukci-azbest-zavreno-bude-neco-dele-opravy-se-prodrazi/ [citace 25. 8. 2022].
23. https://cs.wikipedia.org/wiki/Azbest [citace 24. 8. 2022].

Použití hliníku v architektuře

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.
SVÚOM s.r.o., Praha

Úvod

Přestože hliník patří mezi prvky nejvíce rozšířené v zemské kůře, byla jeho průmyslová výroba a následně i aplikace technologicky zvládnuté až v roce 1920. Komerčně byl hliník vyráběn od r. 1886, ale jeho cena byla velmi vysoká, takže se uplatnil pouze na výjimečné objekty – špička Washingtonova památníku, socha Erose na Piccadilly Circus v Londýně (obr. 1a) apod. Hliníkové plechy byly použity v r. 1897 na střechu kostela San Gioacchino v Římě, a stále plní svou funkci (obr. 1b).

Obr. 1a: Socha Erose v Londýně.

Obr. 1b: Kostel San Gioacchino v Římě.

Obr. 2a, b: Použiti hliníku.

Hliník získal velkou oblibu v období secese, kdy byl používán pro řadu tvarově složitých dekorativních prvků. První budovou, ve které byl hliník použit jako konstrukční i dekorativní materiál, byl Empire State Building v New Yorku, 1931 (obr. 2a, b).

Ve stavebnictví se používají hliníkové plechy pro opláštění fasád a lisované hliníkové profily pro okna a dveře. Ve velkém rozsahu se začal aplikovat v 60. letech minulého století. První stavbou v tehdejším Československu, kde byl pro opláštění fasád hliníkový plech použit, je obchodní dům Kotva v Praze (obr. 3). Postupně se rozšířilo jeho uplatnění i pro dekorativní prvky v interiéru. V současné době to je cca 25 % z celkové produkce.

Obr. 3: Obchodní dům Kotva.

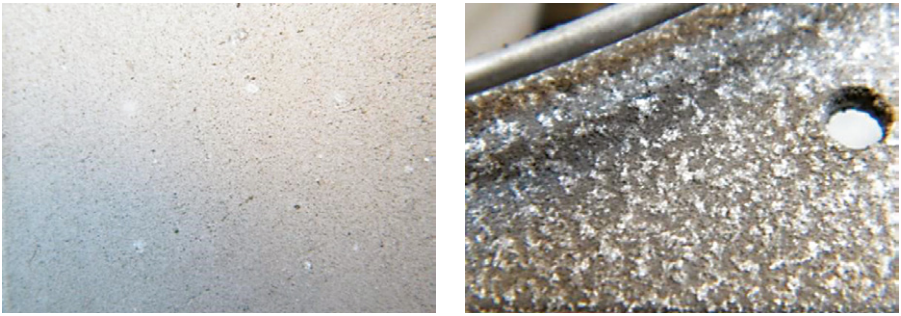
Vlastnosti hliníku

Tento materiál má celou řadu vlastností, které jsou velmi dobře využitelné ve stavebnictví a architektuře. Je lehký, dobře tvářitelný – lze vyrábět plechy i profily. Má relativně vysokou korozní odolnost, a zároveň jej lze různě povrchově upravovat – anodická oxidace (elox), barvení, aplikace nátěrů.

Hliníkové materiály jsou různé slitiny, kdy legující prvky ovlivňují některé jejich vlastnosti. Nejvýznamnější vliv na vlastnosti materiálu včetně korozní odolnosti má měď.

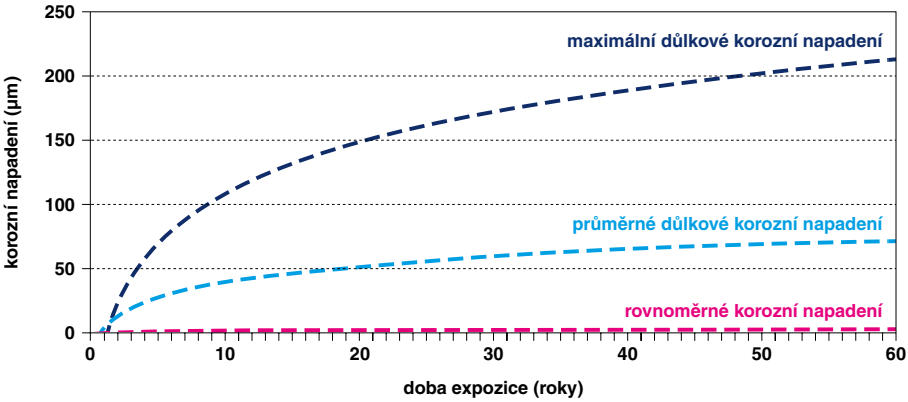
Minimální životnost hliníkových prvků se předpokládá 80 let. Závisí na podmínkách, kterým je hliník vystaven. Přestože se uvádí, že hliník nekoroduje, dochází i u tohoto materiálu ke koroznímu napadení. Pokud je působení korozního prostředí rovnoměrné, vzniká rovnoměrné korozní napadeni, jehož korozní rychlosti jsou velmi nízké, protože se na povrchu hliníku vytváří velmi tenká vrstva oxidu hlinitého Al_2O_3 s tloušťkou několika nanometrů, která zajišťuje pasivitu povrchu. S dobou expozice tloušťka vrstvy narůstá (obr. 4a). V letech 1950 až 1995, kdy byla v ČR v důsledku vysokého znečistění ovzduší oxidem siřičitým vysoká agresivita atmosférického prostředí, byla korozní rychlost hliníku cca 0,5 $\mu m \cdot r^{-1}$, ale v současné době klesla na cca 0,05 $\mu m \cdot r^{-1}$.

V případě dlouhodobého působení vysoké vlhkosti nebo časté kondenzace vznikají objemné bílé vrstvy amorfních korozních produktů hliníku. Jedním z takovýchto prostředí jsou např. vnitřní povrchy okenních rámů (obr. 4b).



Obr. 4a, b: Korozní vrstvy na hliníku.

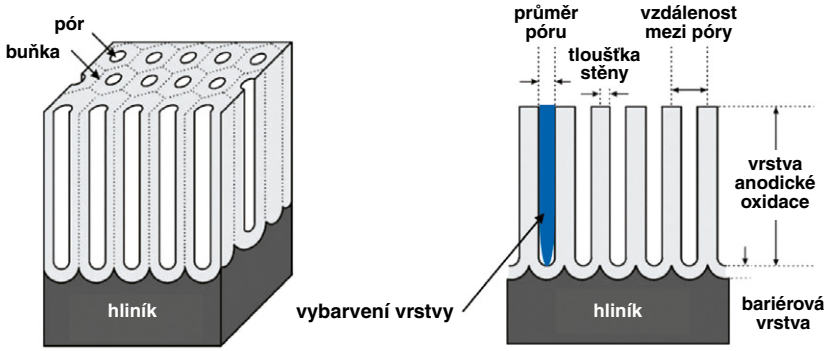
U hliníkových materiálů je velkým rizikem vznik lokálních forem korozního napadení, jako je důlková koroze, štěrbinová koroze, korozní praskání, galvanická koroze, nitková koroze, mezikrystalová koroze atd. K lokálním formám korozního napadení obvykle dochází v místech porušení pasivity povrchu. Rychlost důlkového korozního napadení je v ČR cca 15 $\mu m \cdot r^{-1}$, ale s dobou expozice se zpomaluje (obr. 5). Rychlost maximálního důlkového napadení je cca 40 $\mu m \cdot r^{-1}$. Po 52 letech expozice byla u střechy kostela San Gioacchino maximální hloubka důlkového napadení jen 50 µm. Obvykle se růst důlkového napadeni zastaví při hloubce důlku cca 200 µm, ale místa důlku jsou pak místy iniciace korozního praskání. V neposlední řadě je hliník zcela recyklovatelný materiál.



Obr. 5: Rychlosti korozního napadení hliníku.

Povrchové úpravy hliníku

Běžnou povrchovou úpravou hliníku, která zvýší jeho korozní odolnost a spolu s následným vybarvením může ovlivnit jeho estetické působení, je anodická oxidace. Technologickým procesem vznikají vrstvy Al_2O_3, podobně jako při atmosférické korozi, ale tloušťka těchto vrstev je mnohem vyšší, od 5 až do 75 µm. Pro architektonické aplikace se obvykle doporučuje vrstva s minimální tloušťkou 20 µm. Porézní vrstva je tvořena hexagonálními buňkami, v jejichž středu je pór (obr. 6).



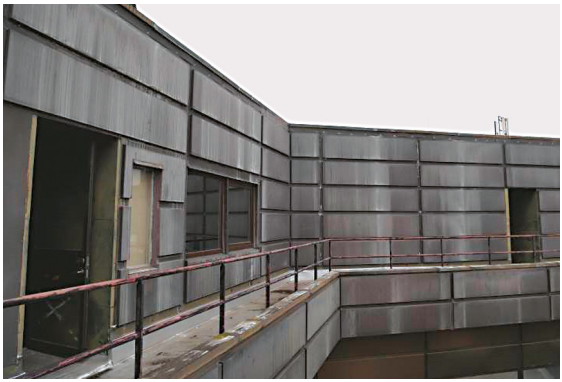
Obr. 6: Schéma vrstvy anodické oxidace s následným vybarvením.

Barevný vzhled získá oxidická vrstva následným vybarvením, kdy je organické barvivo nebo barvivo na bázi kovových solí vpraveno do pórů vrstvy a utěsněno. Sytější odstíny vyžadují vyšší koncentraci barviva a vyšší tloušťku vrstvy, např. černá barva vyžaduje tloušťku vrstvy minimálně 10 µm.

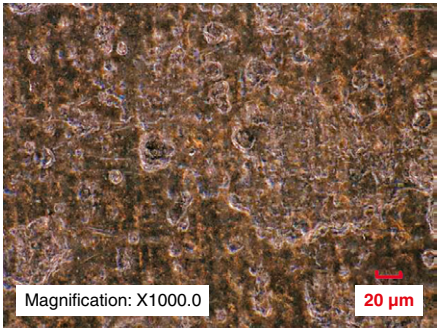
I u architektonických prvků lze na hliníku použít nátěrové povlaky, které zvýší protikorozní ochranu materiálu a mohou mu dodat velmi specifické estetické vlastnosti. Obvykle se jedná o PES nebo PVDF povlaky s tloušťkou cca 75 µm, které jsou nanášeny na plechy v kontinuálních linkách, vytvrzovány vypálením a mají velmi vysokou odolnost. Ovšem v případě poškození se velmi obtížně opravují.

Příkladová studie hodnoceni dlouhodobě exponovaného hliníkového plechu

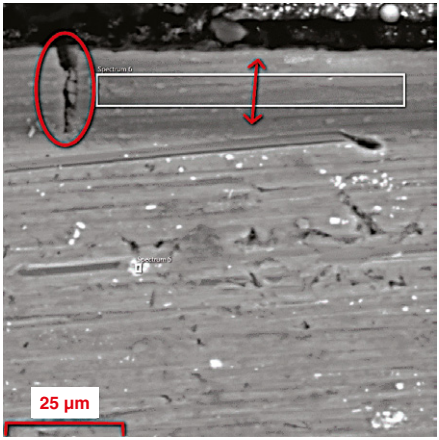
Hliníkový plech o tloušťce 1,5 mm s povrchovou úpravou anodické oxidace s následným vybarvením po expozici cca 45 let na fasádě OD Kotva byl detailně hodnocen (obr. 7). Orientačně byla změřena tloušťka vrstvy anodické oxidace – cca 20 µm, což je obvyklá hodnota. Vnější povrch plechu ale vykazuje velmi intenzivní nerovnoměrné napadení této vrstvy s hloubkou důlků 10 až 20 µm (obr. 8, 9). Tloušťka vrstvy anodické oxidace byla potvrzena na příčném výbrusu (obr. 10), na kterém je patrná i trhlina vedoucí přes celou vrstvu povlaku.



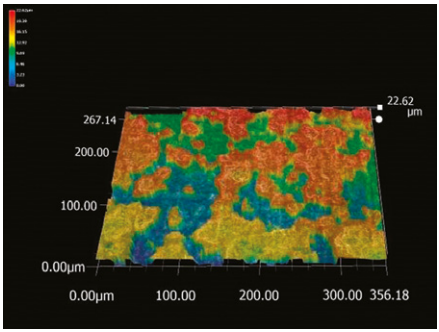
Obr. 7a, b: Fasáda OD Kotva – odběr vzorku.



Obr. 8: Detail povrchu plechu.



Obr. 10: Příčný řez vrstvou.



Obr. 9: Napadení vnějšího povrchu plechu – znázornění hloubky důlků (od nejmenší znázorněné modře přes zelenou, žlutou až po největší hloubku tmavě červenou).

Na detailních snímcích vnějšího povrchu plechu byla patrná i částečná ztráta zbarvení povlaku. V důlcích, kde došlo k odkorodování vrstvy anodické oxidace, není barvivo dostatečně kotveno a došlo k jeho úbytku. Oprava této povrchové úpravy původní technologií není možná.

Případová studie hliníkových plastik

Museum Kampa v Praze vlastní několik plastik sochaře Vladimíra Janouška vytvořených v 70.–90. letech 20. století, kde je základním materiálem hliníkový plech (obr. 11). Plastiky byly dlouhodobě uloženy v depozitáři. Plastiky byly hodnoceny v r. 2019.

Obr. 11a, b, c: Plastiky V. Janouška.

Hliníkové plechy byly jemně broušené, na povrchu byly patrné stopy po nástrojích. U některých plechů byl použit nátěr, většinou v černém odstínu, nikoliv jako protikorozní ochrana, ale jako estetický záměr modelace plastik. Tloušťky povlaků jsou velmi nízké, cca 10–20 µm. Na površích hliníkových plechů plastik se ojediněle vyskytují drobné body objemných bílých korozních produktů hliníku, pod kterými může vznikat důlkové napadení, a i četné body již iniciovaného důlkového napadení (obr. 12).

Obr. 12a, b: Příklady korozního napadení plastik.

Vzhledem k tomu, že jsou jednotlivé díly plastik spojeny různými šrouby a nýty, které jsou obvykle z uhlíkové oceli bez povrchové úpravy, je riziko vzniku galvanického korozního napadení hliníku v prostředí s vyšší vlhkostí ovzduší. V takovém případě okolo místa styku hliníkového plechu s jiným materiálem vzniká na hliníku důlkové napadení.

Závěr

Hliník je velmi dobrým materiálem pro architekturu s celou řadou výhodných vlastností včetně vysoké životnosti. Rizikové jsou všechny formy lokálního poškození. Jen v případě jeho poškození, ať už jen povrchové úpravy nebo materiálu samotného, jsou opravy téměř nemožné.

Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, z. s.

V roce 1994 se zformovala skupina několika odborníků, jejichž profese souvisely s obnovou a ochranou památkových objektů. Shodli se na tom, že chybí pravidelný kontakt památkářů, technologů konzervace památek, projektantů a pracovníků organizací, kteří obnovu stavebních památek provádějí. To často vedlo k chybné komunikaci mezi uvedenými skupinami, k podceňování či naopak přeceňování jednotlivých profesí, k nerespektování přírodovědných zákonů nebo umělecko-historických pravidel. Na základě jednání bylo rozhodnuto o založení Společnosti pro technologie ochrany památek – STOP jako nezávislého sdružení fyzických a právnických osob, jehož cílem je hledat společná umělecko-historická a technologická řešení problémů péče o památky. V r. 2014 bylo sdružení transformováno na spolek. Od února 2021 je společnost STOP členem Rady vědeckých společností ČR.

Od roku 1996 organizuje společnost osvětové a vzdělávací akce – semináře a odborná pracovní setkání (doplněná o experimenty, ukázky historických technologií), workshopy, exkurze a odborné kurzy. Hlavní aktivitou jsou semináře a odborná setkání, kde na vybraná témata přednášejí odborníci různých profesí. Program má většinou ustálené schéma: téma a jeho teoretické základy, vyjádření památkářů, technologické hledisko, informace o konkrétních praktických zkušenostech. Na seminářích je věnován také prostor diskuzím i polemikám mezi zastánci různých názorů na danou problematiku.

Společnost vydává vlastní odborné publikace na témata dotýkající se ochrany památek: např. sborníky ze seminářů, odborných setkání a workshopů, odborné monografie. Od r. 1997 vychází Ročenka STOP a od r. 1999 periodikum Zpravodaj STOP.

STOP nabízí organizacím, školám, výzkumným ústavům, památkovým institucím, projekčním kancelářím a výrobním či dodavatelským firmám možnost uzavřít na základě dohodnutých podmínek smlouvu o přidruženém členství. Přidružení členové získávají aktuální informace o všech aktivitách společnosti. STOP svým členům poskytuje informační servis, který obsahuje publikační výstupy společnosti – sborníky seminářů, Zpravodaj STOP, texty kurzů apod. Podle dohody jsou jim poskytovány slevy na pořádané akce.

Další údaje o společnosti, aktuální informace o připravovaných akcích a publikacích jsou uvedeny na webových stránkách www.pamatky-stop.cz.

Zpravodaje STOP

Každé číslo Zpravodaje je věnováno komplexnímu pohledu na určité téma. Kompletní seznam Zpravodajů je na www.pamatky-stop.cz.

Materiály pro památkovou péči
Omítky pro obnovu historických staveb (1998), Fasádní nátěrové hmoty a jejich odstraňování (1999), Odstraňování graffiti a ochrana proti nim (1999), Vápno z pohledu památkářů a technologů (2000), Kamenná, pálená a dřevěná dlažba (2001), Sádra (2006), Opuka (2007) a Kovy (2008), Umělý kámen (2010), Lepidla v památkové péči (2010), Pórovitá a slinutá keramika (2010, 2011), Románský cement (2011), Nanomateriály v památkové péči (2012), Sanační omítky a ochrana povrchů zasoleného zdiva (2014), Stárnutí fasádních nátěrů – výsledky dlouhodobého experimentu (2015).

Technologie obnovy a restaurování památek
Bioznečištění nových fasád (2002), Zeleň na památkách (2002), Povodně (2002, 2003), Biopoškození stavebních materiálů (2003), Otázky kolem aplikace sanačních omítek na historických objektech (2005), Podterénní úpravy zdiva stavebních památek (2006), Péče o sbírkové předměty (2006), Barevnost kamene historických objektů (2007), Péče o fotografický materiál (2008), Péče o textilie (2008), Nástěnné malby (2009), Revitalizace zřícenin českých (2009) a moravských (2009) hradů, Štěrkové a mlatové cesty (2013), Vitráže – Vitraje – Restaurování (2013), Hygiena vnitřního prostředí památkových budov (2013), Kámen v památkové péči (2014), Vnímání a identifikace barev (2015), Restaurování voskových předmětů (2016), Okna historických budov (2016), Sanace budov proti nadměrné vlhkosti (2017), Práce s barvami v památkové péči (2017), Údržba stavebních památek (2018), Torzální architektura (2019), Postupy, které se v památkové péči (ne) osvědčily (2019), Dřevo a opravy historických budov I, II (2020, 2021), Obnova fasád z tvrdých omítek (2020).

Obnova konkrétních objektů a restaurování uměleckých děl
Braunův Betlém u Kuksu (2000), Skalní reliéfy V. Levého (2001), Vízmburk (2001), Sloup N. Trojice v Olomouci (2001), Porta coeli (2002), Rumburská Loreta (2003), Katedrála sv. Petra a Pavla v Brně (2003), Nostický palác (2004), Zámecký skleník v Lednici (2004), Kaple sv. Martina, sv. Erharda a sv. Uršuly (2005), Areál kláštera františkánů v Kadani (2005), Areál kostela sv. Jana Nepomuckého ve Žďáru n. S. (2006), Refektář jezuitské koleje v Kutné Hoře (2007), Kostel P. Marie Na Náměti (2007), Staronová synagoga (2009), Restaurování ostatků sv. Reparáta (2011), Restaurování Filozofického sálu Strahovské knihovny (2011), Moderní architektura 2. pol. 20. století (2012), Obnova zámku Skalička (2012).

Poznámky

Sborník přednášek z odborného semináře/webináře
Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, z.s.
© STOP 2022