

Akademie výtvarných umění v Praze
Studijní program Výtvarná umění
Ateliér Restaurování sochařských děl / škola Jana Kracíka

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Restaurování Madony Raspenavské
Restaurování sv. Augustina ze Zaječova
Restaurování Muže s holí
Teoretická práce: technologie injektáže křemičitých materiálů

Restoring of Madona Raspenavska
Restoring of St. Augustin from Zaječov
Restoring of Man with stick
Theoretical assignment: Injection technology of silicas materials

Vypracoval: Vojtěch Verner
Vedoucí diplomové práce: MgA Jan Kracík
Oponenti diplomové práce: Mgr Daniel Talavera akad. soch. rest
Doc. Petr Kuthan akad. soch. rest.
MgA David Janouch

Akademický rok 2018/2019

Restaurování Madony raspenavské

Restaurování dřevěné polychromované sochy z první poloviny 15. století bylo mým nejzávažnějším a nejnáročnějším diplomovým úkolem. Byl proveden restaurátorský průzkum. Socha byla velice vážně poškozena, a to jak z hlediska statického, tak z estetického, a hlavně byla zcela nevhodná z hlediska účelu, tedy pro uctívání Panny Marie v kostele. Nejnovější vrstva byla necitlivá a neestetická jak barevností, tak plasticitou. Pod touto vrstvou se nacházelo několik lokálních tvarových i barevných úprav, pod nimiž se dochovala jedna relativně celistvá úprava datovaná do druhé poloviny devatenáctého století. Původně bylo zamýšleno sejmut nevhodné doplňky na tuto jedinou kompletnější vrstvu. Nejdříve jsem zajistil statiku sochy, tedy odstranil nevhodnou konstrukci a nahradil ji estetičtější a bezpečnější prvkem, dřevěný materiál jsem později napustil konsolidantem a zpevnil. Po sejmutí na cílenou vrstvu bylo zřejmé, že ani ta není vhodná pro presentaci a tak bylo po kontrolním dnu rozhodnuto upravit a ztenčit její mohutný křídový základ a na základě analogií a zbytcích originální vrstvy vystavět novou, původní úpravě podobnou avšak citlivě provedenou polychromii a zlacení. Odstranil jsem tedy nevhodné doplněné části (vršek hlavy Madony, pravá noha a ruka Ježíška a části soklu) a ztenčil jsem mohutnou vrstvu křídý či v případě jemných detailů jsem ji odstranil zcela. Chybějící části sochy jsem domodeloval v pomocné modelační hmotě a poté převedl do dřevěného materiálu, technologie byly založeny na snadné odstranitelnosti a použití historických materiálů, klišu a křídý. Poškozená místa jsem vyplnil tmelem a křídovou vrstvu dle potřeby doplnil. Nejdůležitější bylo hledání míry barevného doplnění. Proto byly vytvořeny zkoušky barevného doplnění na odlitku sochy. Po dalším kontrolním dni bylo rozhodnuto, jakou z cest retuše se dát. Analogie pro tvarovou i barevnou rekonstrukci byly hledány v plastikách ze stejné doby. V průběhu prací jsem vypracovával restaurátorskou zprávu s fotodokumentací a vším potřebným dle zákona.

Restaurování sv. Augustina ze Zaječova

Socha sv. Augustina byla vážně poškozena, modelace na mnoha místech byla silně smytá a ve spodní oblasti sochy velké části zcela chyběly. Nejvíce utrpěla modelace tváře a ruky dítěte. Dřevěná originální berla byla v havarijním stavu, ornamentální zakončení z větší částí též chybělo. Nejdříve jsem provedl průzkum, odebral vzorky do laboratoře a bylo zjištěno, že zbytky polychromní úpravy jsou převážně nepůvodní. Nejprve bylo třeba provést konsolidaci kamenného materiálu sochy. Poté jsem sochu čistil laserem od černých krust. Následovalo zpevnění původních fragmentů polychromie, a poté jsem sejmul nevhodnou pozdější úpravu, která byla esteticky nevyhovující a naopak snižovala čitelnost skulptury. V nepohledových oblastech jsem ponechal fragmenty této vrstvy. Součástí této etapy bylo odstraňování korozních produktů částečně vpitých do kamene na mitře a sponě pláště. Následně jsem zpevnil trhlinu v zadní části sochy vložím dvou čepů a přilepil jsem odlomenou ručičku s fragmentem mušle. Poté následovala plastická retuš probarveným minerálním tmelem. Když tmely vyžrály, bylo možné provést jejich barevnou retuš. Písmo v knize jsem zvýraznil černou lazurní barvou. Vypracoval jsem restaurátorskou zprávu.

Originální fragmenty berly byly bezpečně uloženy do dřevěné krabice. Nyní budu berlu rekonstruovat a vytvořím kompletně novou.

Restaurování Muže s holí

Socha byla v havarijním, až dožilém stavu. Statika díla byla silně narušena, a to nejen z důvodu chybějící třetiny nohou a soklu, ale hlavně byla roztrhána a degradována kvůli nevhodnému použití materiálů a jejich následné korozi. Vnitřní kovová armatura byla zrezlá, minerální materiál byl zkřehlý. Nejprve byl proveden průzkum a poté jsem sochu očistil od nečistot. Pak jsem s pomocí odborného asistenta vyrobil nosnou konstrukci pro postavení sochy. Ta byla vlepena do nově zhotovených otvorů v hmotě sochy a přivařena k původní již odřezané armatuře. Poté, když socha již sama stála, bylo možné aplikovat inhibitor koroze. Po jeho vyzrání jsem sochu lokálně konsolidoval a trhliny v hmotě prolepil a vyplnil. Následně byla doplněna konstrukce o další potřebné kovové prvky a byly přilepeny volné fragmenty sochy. Poté jsem v hlíně domodeloval chybějící nohy, které bylo třeba posléze zaformovat a vydusat z vhodné minerální směsi. Formu jsem po vytvrdnutí materiálu odstranil a nadsazený výdusek dále opracovával sekáním, broušením a pískováním. Dále bylo třeba doplnit větší chybějící části rukávu, rukou a hůl. Tyto části jsem doplňoval tmelením na jádro. Menší defekty jsem tmelil také minerálním tmelem. Po vyzrání pojiv tmelů a výdusku jsem sochu barevně retušoval. Nakonec jsem vypracoval restaurátorskou zprávu

Teoretická práce: technologie injektáže křemičitých materiálů

Záměrem této práce bylo porovnat používané i nové technologie založené na různých principech. Na základě konzultací byly vybrány tyto materiální báze: Přírodní hydraulické vápno, Umělé hydraulické vápno, nanovápno, vápenná směs s dalšími aditivami a organokřemičitan. Z běžně používaných materiálů byl vybrán Ledan D1, Aqua Bárta: Vapo-injekt, Tassulo: Fenix B, Remmers: KSE Modulo systém a byla vyzkoušena nová technologie na nanovápenné bázi IBZ Salzchemie: Injection mortar Classic. Nejprve jsem připravil testovací vzorky. Nařezal jsem kamenné bločky, následně je rozlomil aby co nejlépe simulovaly reálnou trhlinu. Poté jsem aplikoval injektážní materiály dle návodů v technických listech a po zkoušce na zkušební vzorku. Po jejich vyzrání byly vzorky podrobeny testu nasákavosti a byly testovány v klimatické komoře. Tato teoretická práce byla částečně spjata s restaurováním Muže s holí. Nakonec jsem vypracoval zprávu o výsledcích výzkumu.

Teoretická diplomová práce

Technologie injektáže pro křemičité materiály

Vypracoval:

Vojtěch Verner

Vedoucí diplomové práce:

MgA. Jan Kracík
vedoucí pedagog RSŠ AVU

Konzultant:

MgA. Eva Míčková
odborný asistent RSŠ AVU

RESTAURÁTORSKÁ SOCHAŘSKÁ ŠKOLA
AKADEMIE VÝTVARNÝCH UMĚNÍ v PRAZE

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem vypracoval svou diplomovou práci samostatně a použil jsem pouze literaturu a prameny uvedené v příloženém seznamu

Teoretická práce je chráněna §13 odst. 1/2; §14 odst. 1/2 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském. Žádná část této práce, včetně fotodokumentace a příloh, nesmí být publikována, množena, vyjímána a šířena žádným způsobem bez písemného svolení autora

V Praze dne

Vojtěch Verner

Poděkování

Děkuji mé drahé manželce za veškerou její pomoc a podporu, kterou mi poskytla. A děkuji mým spolužákům-přátelům za jejich cenné rady a všechny druhy pomoci, které mi byli schopni dát.

Abstrakt

Tato práce se zabývá technologií injektáže křemičitých materiálů. Smyslem injektáže je trhliny slepit, vyplnit ale nezamezit paropropustnosti, aby nedocházelo k dalším poškozením. Je zaměřená na materiálové báze - běžně používané produkty i nové materiály, aby bylo možné ověřit, nebo vylepšit tuto restaurátorskou techniku. Bylo vybráno pět materiálových bází které byly aplikovány na uměle vytvořené trhliny a po vyzrání materiálů byly provedeny zkoušky výdrže, pevnosti a propustnosti vody v materiálu.

1 Obsah

2	Úvod	8
3	Uvedení do problematiky	8
3.1	Záměr.....	8
3.2	Vymezení tématu.....	8
3.3	Vymezení pojmů	8
3.3.1	křemičitý materiál.....	8
3.3.2	Injektáž materiálu	8
4	Výběr materiálů.....	8
4.1	Výběr křemičitého materiálu	9
4.2	Výběr Injektážního materiálu	9
4.2.1	Kritéria výběru	9
4.2.2	Vybrané technologie.....	9
	Organokřemičitá báze: Remmers – Modulo systém	9
	Injektážní komerční přípravek pro injektáž: Ledan – TB1 (D1)	10
	Nanovápenná technologie: IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“	10
	Vápenná báze s hydraulickými přísadami: Aqua-Bárta – VAPO injekt	10
	Čistě injektážní hydraulické vápno: Tassullo – Fenix NHL5	10
5	Praktická část.....	11
5.1	Příprava zkušebních tělísek	11
5.2	Aplikace injektážních materiálů	12
	Remmers-Modulosystem.....	12
	Ledan TB1.....	14
	IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“	16
	VAPO-Injekt	18
	Fenix-B.....	20
5.3	Metody průzkumu	22
5.3.1	Testovací klimatická komora Binder MKF 720 (Binder GmbH).....	22
5.3.2	Zkouška pevnosti materiálů v lomu.....	22
5.3.3	Zkouška vodopropustnosti.....	22
6	Vyhodnocení praktické části	23
6.1	Testovací klimatická komora	23
6.2	Vyhodnocení vodopropustnosti.....	24
6.2.1	Remmers- modulo systém	25
6.2.2	Ledan TB1	25
6.2.3	IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“	26
6.2.4	VAPO-injekt.....	26

6.2.5	Fenix B	26
7	Závěr.....	26

2 Úvod

Tato teoretická práce se bude zabývat problematikou injektáže trhlin a prasklin v křemičitých materiálech, ze kterých byly v českých zemích sochy tvořeny pravděpodobně nejčastěji. Buď ve formě pískovce až arkózy nebo v pozdějších časech z umělých kamenů často tvořených z pískových směsí. Jedná se o jedno z mých diplomových zadání, které je v souvislosti s mou jinou diplomantskou prací – restaurovat figuru z křemičitého materiálu (minerální kompozit), převážně z křemičitých komponentů (směs písků). Zaměření teoretické práce vychází z potřeby řešit tuto problematiku nejen pro tuto konkrétní památku, ale její výsledky budou pro vykonávání kvalitní profesionální praxe velmi přínosné, a to i pro širší restaurátorskou obec.

3 Uvedení do problematiky

3.1 Záměr

Záměrem je za pomoci několika výzkumných metod vybrat nejvhodnější technologii pro injektáž trhlin v křemičitém materiálu. Pro výzkum není důležitý mechanismus poškození, ale jeho cílem je propojit dvě úplně, případně částečně odlomené části kamene které je třeba kvalitně a pevně propojit a vyplnit maximálně mezeru mezi nimi, aby byly staticky zajištěny, nemohly se dále rozšiřovat a aby do materiálu nezatékala voda. Kvalitní vyplnění takových prostor je nutné také pro zamezení vniknutí živých organismů, ať už tvorů nebo rostlin. Ty mohou sochu poškozovat různými mechanismy, jak fyzikálně (zvětšování trhliny, odrolování, trhání), tak chemicky (naleptávání). Dále bude řešena trvanlivost a teoreticky i vhodnost použití vybraných materiálů na určité druhy křemičitého materiálu z hlediska jejich pojivové báze a struktury a nakonec i jejich estetické vzezření.

3.2 Vymezení tématu

Téma se bude zabývat hlavně pískovci s okrajovým přesahem do umělého kamene s křemičitými pojivy. Výzkum bude zjednodušen na jeden kamenný materiál střední hrubosti. Co se týče konsolidačních prostředků, byly vybrány produkty komerčně dostupné, použitelné a zároveň co nejvyšší kvality. Porovnání těchto produktů je důležité zvláště kvůli jejich pojivovým rozličnostem.

3.3 Vymezení pojmů

3.3.1 křemičitý materiál

Křemičtým materiálem je míněn kámen(pískovec) či minerální kompozit(umělý kámen) který je převážně plněný křemičitými komponenty. U přírodního kamene se podle složení tmelů dělí na křemičité (tmelem je oxid křemičitý), vápenaté (kalcit), železité (oxid železa), kaolinitické či jílovité. Umělé křemičité kameny bývají většinou pojeny buď cementem, hydraulickým vápnem, vápnem nebo jejich kombinací.

3.3.2 Injektáž materiálu

Injektáž je vpravování materiálu do trhliny či dutiny pomocí injekční stříkačky, kapačky, nebo podobného aplikačního systému. Cílem je propojit odlomené strany trhliny a co nejvíce je vyplnit.

4 Výběr materiálů

4.1 Výběr křemičitého materiálu

Vzhledem k častému použití byl vybrán kámen z lomu Božanov v severovýchodních Čechách. Materiál je středně hrubého zrna a je i z vhodného ložiska, tedy s optimální pevností a štípatelností. Uvažovalo se i o Hořickém pískovci, ale ten byl měkčí, než byly požadavky výzkumu.

4.2 Výběr Injektážního materiálu

4.2.1 Kritéria výběru

Výběr injektážních materiálů je závislý na jejich požadovaných vlastnostech. Hlavní požadavky jsou: dostatečná tvrdost, paropropustnost, schopnost vázat se k materiálu (slepit oddělené části), zatékavost, odolnost vůči cyklickému zamrznání vody a celkově času a vhodná roztažnost při zahřívání.

Byla vybrána škála materiálů s různými typy pojiv a v případě hydraulických vápen je jedno přírodní-Tasullo a druhé je namíchané z čistých materiálů-Vapo-injekt. Výrobky firmy Remmers jsou založené na organokřemičité bázi, Ledan na bázi vápenné a CaLoXil je na nanovápenné bázi. Tato škála byla vybrána tak, aby bylo možné zjistit jejich vlastnosti v porovnání mezi sebou, a to jak mezi ozkoušenými materiály, tak mezi materiály méně známými. Některé z těchto materiálů jsou již používány, ale často spíše jen v interieru.

V potaz byly brány i jiné materiály jako například Paraloid, epoxidové pryskyřice apod. Tyto sice kvalitně materiál prolepi, ale byly v tomto případě zavrženy, protože byla vyžadována paropropustnost a tvrdost obdobná kamennému materiálům.

4.2.2 Vybrané technologie

Organokřemičitá báze: Remmers – Modulo systém

Vlastnosti: materiál je na bázi organokřemičitanů. Principem tvrdnutí je vytvoření propojující mřížky a napojení se na křemičité složky v kamenném materiálu. Vytvrdnutí konsolidantu probíhá při reakci se vzdušnou vlhkostí při optimální teplotě. Výrobce uvádí 3 týdny do plného vytvrdnutí. Nosičem je líc.

Technologie: aplikace konsolidantu je prováděna injekční stříkačkou. Je důležité přizpůsobit aplikaci Modulo systému typu a stavu kamenného materiálu (šířka a hloubka trhliny, savost a pevnost materiálu atd.). V případě potřeby je možné aplikovat celou řadu konsolidačních přípravků podle hustoty vzestupně. Nejprve je použita nejnižší hustota KSE 100, poté KSE 300, pak KSE 300 E, následně KSE 500. Nakonec je použit prostředek KSE 500 STE, a injektáž je zakončena vyplněním trhliny přípravkem KSE 500 STE které je plněné směsí minerálních plniv füllstoff A, füllstoff B a mikrokuliček v předepsaném poměru. Plnění KSE 500 STE směsí plniv musí být upraveno vzhledem k vlastnostem kamenného materiálu a poškození. Po částečném vytvrdnutí je možné přebytečný materiál odstranit kartáčem. Pokud není materiál po vytvrdnutí dostatečně pevný, je možné jej dodatečně dozpevnit dle potřeby.

Dále je možné, pokud jsou trhliny velmi tenké a injektáž spíše povrchová, plnit ji pigmenty a napodobit tak barevnost materiálu. Pro to je ale třeba provést zkoušky, protože některé pigmenty mají nevhodné vlastnosti pro kvalitní tuhnutí. Dále je možné používat různá plniva s různou hrubostí pro vyplnění větších mezer a dále je pak upravovat. Další možnosti využití jsou popsány v technickém listu.

Injektážní komerční přípravek pro injektáž: **Ledan – TB1 (D1)**

Vlastnosti: Původně byl tento materiál vytvořen pro injektáž odtržených freskových vrstev omítky, avšak zkušenost ukázala, že je použitelný i pro injektáž kamenných materiálů. Složení je výrobním tajemstvím, ale výrobce udává, že pojiva jsou maltovinová na bázi speciálního hydraulického, chemicky stabilního pojiva s mimořádně nízkým podílem rozpustných solí, křemičitých přísad, břídlíce, nejjemnější pucolány, ztekucovačů a porozivních činitelů. Tvrdnutí je udáváno na 48 hodin. Nosičem je voda

Technologie: Materiál je předpřipravená suchá směs, kterou je třeba nejprve smísit s vodou ve vhodném aplikačním poměru vzhledem k trhlině. Po důkladném promíchání je třeba připravenou hmotu přesát, znovu promíchat a ihned aplikovat. Pro předzpevnění povrchu je možné materiál naředit. Přebytky je možné odstranit očištěním vodou.

Nanovápenná technologie: **IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“**

Vlastnosti: Materiál je na vápenné bázi a jedná se o uměle vytvořený materiál který se skládá z propojených molekul vápna které jsou upraveny tak, aby vytvrdly rychleji a kvalitněji než klasický vápenný materiál. Pro kvalitní propojení obou stran je možné nejprve materiál prosytit vápennou vodou, která podpoří vápenné pojivové složky v kamenném materiálu a na které se pak bude nanomateriál lépe navazovat. Materiál vytvrdne podle výrobce do týdne. Nosičem je voda

Technologie: Injektážní směs je dodávána v tekuté podobě, kterou je třeba řádně promíchat, doředit dle potřeby a aplikovat. Je velmi silně zásaditý a při práci je třeba nosit chemické rukavice.

Vápenná báze s hydraulickými přísadami: **Aqua-Bárta – VAPO injekt**

Vlastnosti: Prostředek je na vápenné bázi s hydraulickými vlastnostmi a je přímo určen pro injektáž omítek a kamene. Výrobce uvádí že se materiál skládá z hydrátu vápenatého, latentního hydraulického páleného jílu, vápencové moučky. Nosičem je voda.

Technologie: Nejprve je třeba povrch trhliny navlhčit buď vodou, vápennou vodou, nebo silně naředěnou injektážní směsí. Suchý injektážní materiál se naředí 3:1 s vodou a poté je možné jej aplikovat případně jej dále ředit. Případně je možné materiál použít pro drobnější tmely. Po aplikaci je možné očistit zbytky vodou. Zpracovatelnost materiálu je cca 4 hodiny, pro kvalitní tvrdnutí je nutné materiál dalších 48 hodin udržovat vlhký.

Čisté injektážní hydraulické vápno: **Tassullo – Fenix NHL5**

Vlastnosti: Tento produkt je injektážním vápnem vyrobeným v Itálii. Jedná se o přírodní hydraulické vápno s optimálními vlastnostmi. Tento materiál se dle výrobce liší od ostatních hydraulických vápen tím, že neobsahuje některé nežádoucí složky, které jinak portlandský cement obsahuje.

Technologie: Aplikace injektážního materiálu je podobná jako u předchozího materiálu. Tedy smíchání suché směsi, nejlépe přesáté, s dostatečným množstvím vody.

5 Praktická část

5.1 Příprava zkušebních tělísek

Pro ozkoušení injektážních materiálů v klimatické komoře byl vybrán pískovec ze zdrojů RSŠ AVU. Vybraný materiál byl středně jemnozrnný, jak bylo požadováno. Nejprve byly na pile naformátovány kamenné bločky, které byly následně naříznuty a rozlomeny. Vzhledem k tomu že vzorky jsou vytvořeny za cílem nejvěrnějšího napodobení trhliny bylo třeba vytvořit lom který bude podobný opravdovému lomu, kdy lepené plochy nebudou hladké po řezání, ale roztržené a struktura bude hrubá, přesto však budou k sobě těsně doléhat.

Pro vytvoření kónické trhliny byly vzorky na jedné delší ploše pevně stlačeny k sobě a na druhé delší straně byla malým klínkem vytvořena štěrbina o velikosti jednoho milimetru. Rohy vzorku byly slepeny tavnou pistolí, čímž bylo dosaženo slepení obou částí s požadovanou naměřenou trhlinou. Před aplikací materiálů byla trhlina z boků a ze spodní strany vyplněna modelínou, která zajistila, že injektované materiály nevytekly ven. Po vytvrdnutí materiálů byla modelína i tavné lepidlo odstraněny.



Příprava vzorků

5.2 Aplikace injektážních materiálů

Remmers-Modulosystem

Příprava této injektážní směsi je z vybraných materiálů nejkomplikovanější. Nejprve je nutné namíchat si směs Füllstoff A a B a to v poměru 64gr (A) ku 40gr (B). Zároveň je potřeba přidat 26gr celoskleněných mikrokuliček velikosti $<50\mu\text{m}$ (firma Kremer). Poté je nutné namíchat tekutou část směsi: 29ml KSE 500 STE a 71ml KSE 300 E. Sypká plniva jsem s pojivem smíchal až těsně před aplikací a důkladně jsem směs homogenizoval. Následně jsem povrch trhliny předvlhlil přípravkem KSE 100 a výše popsanou směs jsem aplikoval. Smrštění tohoto materiálu je znatelné a bylo třeba jej několikrát doplnit, než byla trhlina zcela zaplněna a materiál se nepropadal.

Výrobce udává, že je možné materiál plnit pigmenty až 5gr do výše popsané směsi. To má za následek horší zatékavost, proto jsem od varianty probarveného materiálu upustil. V praxi je možné trhliny injektovat nejprve neprobarvenou směsí a nakonec zakrýt bílý materiál probarvenou směsí.

Práce s tímto materiálem je značně nepohodlná. Plastové injekční stříkačky se rychle zasekávají a injektáž je čím dál více namáhavá a nepřesná. Materiál je třeba často míchat nebo třepat v injekční stříkačce. Zatékavost se zdála být optimální, její optické hodnocení dopadlo pozitivně, u jednoho vzorku z pěti neprotekl materiál zcela až na konec vzorku, ale pouze do tří čtvrtin.

Po zavednutí materiálu je možné jej rezným kartáčem vykartáčovat z míst, na kterých není materiál žádoucí. Pro to je ale třeba zhotovit zkoušky, vždy se jedná o jiný časový úsek.



Aplikace injektážního materiálu



Materiál po čtyřech týdnech zrání

Ledan TB1

Výrobce uvádí smíchat suchou směs s vodou v poměru 5:4. Směs byla řádně promíchána a poté přesáta přes jemné sítko. Vzhledem k tomu, že výrobek byl přímo vyroben pro injektáž materiálů bez předvlhčení, tak jsem jej také tak aplikoval. Na zkušebním vzorku protekl zcela skrz, ale na ostatních zkušebních těliscích se zdálo, že zatekl pouze do dvou třetin trhliny, a to na všech pěti. Domnívám se, že pokud je to možné, bylo by vhodné trhlínu lehce předvlhčit vodou, aby se dosáhlo zatečení do nejjemnějších trhlinek. Při aplikaci bylo třeba materiál často ve stříkačce protřepávat, sedimenty částic bylo možné pozorovat jak v kelímku s namíchanou směsí, tak ve stříkačce při práci.

Aplikace byla velmi snadná, očištění od přeteklého materiálu jednoduché. Smršťování materiálu bylo při tuhnutí velmi malé. Zátékavost nebyla dokonalá, na většině vzorků materiál dotekl o něco více než do dvou třetin. Barevnost je krémově bílá s drobnými černými tečkami.



Aplikace injektážního materiálu



Materiál po čtyřech týdnech zrání

IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“

Materiál jsem nejprve řádně promíchal a trhliny navlhčil vodou. Originální hustou směs jsem musel ještě doředit, protože neprotékala dostatečně skrz zkušebním tělískem. Nejprve jsem aplikoval trochu ředěné směsi v poměru 1:1 s vodou, kterou jsem trhlinu nevyplňoval ale jen „propláchl“. Poté jsem trhlinu plnil v ředění 1,5:3,5 Voda:Classic a to nadvakrát, protože hodně sesychala a nakonec jsem přidával hustou originální směs 5x-6x.

Nevýhodou je velké smrštění materiálu. Sice se zdá, že velmi dobře zatéká, ale je nutné jej aplikovat mnohokrát. Aplikace je velmi snadná, dobře se omývá, dokud je čerstvé. Na většině vzorků materiál trhlinu vyplnil téměř kompletně. Barevnost je bílá se žlutavým odstínem.



Aplikace injektážního materiálu



Materiál po čtyřech týdnech zrání

VAPO-Injekt

Podle technického listu jsem sypkou směs smíchal s vodou v poměru 3:1. Tato směs byla velmi hustá a bylo třeba ji naředit. Při zkoušce zkušebním vzorkem proteklo až ředění 2:3 VAPO:Voda. To bylo použito jen při prvním injektování a následně bylo použito ředění 1:1 a nakonec originální ředění. Toto ředění bylo přidáváno postupně, jak materiál sesychal do trhliny. Materiál bylo třeba často míchat. Zatékavost materiálu bych hodnotil pozitivně, v průměru dotekl materiál do čtyř pětiny hloubky trhliny. Na dvou vzorcích trhlínu téměř kompletně zaplnil. Barevnost je bílá s okrovým odstínem. Vzorky byly ponechány ve vlhkosti a kroupeny 48 hodin pro kvalitní vytvrdnutí materiálu.



Aplikace injektážního materiálu



Materiál po čtyřech týdnech zrání

Fenix-B

Sypkou směs jsem nejprve přesal přes síto, abych rozmělnil drobné hrudky. Následně jsem ji smíchal v poměru 3:1 (280-350gr vody na 1000gr směsi). Tato směs byla příliš hustá a na předvlhčeném zkušebním vzorku bylo vyzkoušeno, že neprotéká dostatečně hluboko. Proto byla směs postupně doředěna až na 1:2 Fenix-B:Voda, kdy protekla zkušebním vzorkem. Při tomto ředění bylo viditelné, že částice jsou jednoznačně největší z testovaných materiálů. Proto bylo nejprve aplikováno ředění 1:2 jen lehce a následně bylo použito ředění 3:5. Kvůli silnému zředění bylo třeba materiál postupně přidávat (6x-7x), jak sesychal směrem do trhliny, dokud nebyla zcela zaplněna.

Zatékavost hodnotím jako ne příliš dobrou, a to ani při aplikaci, ani při optickém zhodnocení zatékavosti. Patrně není schopen vyplnit nejjemnější trhliny a dotekl často jen téměř do dvou třetin, někdy ani do poloviny. Dále si nejsem jist, jestli se nemohlo jednat o špatnou várku materiálu, právě kvůli velikosti částic a jemným hrudkám v sypké směsi. Případné odstranění výtoků je možné po zavadnutí kartáčem. Barevnost po vytvrdnutí je světle hnědá s odstínem umbry.



Aplikace injektážního materiálu



Materiál po čtyřech týdnech zrání

5.3 Metody průzkumu

5.3.1 Testovací klimatická komora Binder MKF 720 (Binder GmbH)

Vzorky byly vystaveny klimatickým podmínkám, které tento přístroj uměle stimuluje a namáhá vzorky procesy mrznoucích a zahřívacích cyklů v průběhu času. Při každém provedení cyklů jsou vzorky dvakrát zmrazeny (-8) a zahřáty. Komora není vybavena vlhčením vzorků a je tedy nutné je před každým novým cyklem znovu navlhčit.

Nastavení zmrazovacího cyklu bylo provedeno podle ČSN EN 12371 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení mrazuvzdornosti.

5.3.2 Zkouška pevnosti materiálů v lomu

Pro vyzkoušení pevnosti materiálů byla navržena zkouška v laboratoři ZKK.sro v Hořicích. Vzhledem k tomu, že tento výzkum musí dělat specializované pracoviště s drahým technickým vybavením a pro objektivní testování musí být vyrobeno větší množství vzorků, jsem já společně s MgA Ondřejem Sklenářem, asistentem RSS, zažádali o grant ve výběrovém řízení výzkumné grantové soutěže AVU. Z požadované částky nám byly nabídnuty dvě třetiny, které nedokázaly tento výzkum financovat. Proto nebyla tato část teoretické práce provedena.

5.3.3 Zkouška vodopropustnosti

Dostatečná paropropustnost byla základním požadavkem injektážního materiálu. Proto byla zvolena zkouška, která ukáže, jestli a jak materiál propouští vlhkost díky kapilární vztlakovosti. Vzorky byly do jedné třetiny ponořeny největší plochou do vody. Byla pozorována vztlakovost vody v jednotlivých vzorcích v závislosti na čase.

6 Vyhodnocení praktické části

6.1 Testovací klimatická komora

Všechny vzorky byly podrobeny 14 zmrazením, kdy byly nasyceny vodou (ponorem) a podchlazeny na minus 8°C. V průběhu jednoho naprogramovaného cyklu byly vzorky zmrazeny a rozmrazeny dvakrát. Po dvou zmrazeních bylo třeba vzorky opětovně namočit. Konsolidační materiály postupně degradovaly a bylo možné pozorovat určité časové i kvalitativní rozdíly. Destruované vzorky byly ponechávány společně s nedestruovanými až do 10 zmrazení, kdy už dva typy materiálů byly kompletně zničeny. Poté výzkum probíhal již pouze na třech materiálech.

První vzorek Remmers - Modulo systému se rozlomil ještě před vložením vzorků do komory, patrně vlivem otřesů při přípravě zkušebních tělísek.

Jednotlivé cykly a jejich postupné výsledky:

Zkratky: Remmers-R, Ledan-L, Nanovápno – N, VAPOinjekt-V, Fenix-B-F

Cyklus (dvě mražení)	destruované vzorky	celkem zničeno vzorků
1	1xN	1xN, 1xR
2	2xN, 2xR, 4xF	3xN, 4xF, 3xR
3	2xN, 1xF	5xN, 5xF, 3xR
4	1xV	5xN, 5xF, 3xR, 1xV
5	X	5xN, 5xF, 3xR, 1xV
6	X	5xN, 5xF, 3xR, 1xV
7	X	5xN, 5xF, 3xR, 1xV



Tělíska po testech v komoře zleva – Remmers, Ledan, Nanovápno, VAPOinjekt, Tassulo-B

6.2 Vyhodnocení vodopropustnosti

Vzorky byly naloženy do ploché nádrže která byla napuštěna vodou tak, aby vzorky byly ponořeny svou největší plochou do jedné třetiny do vody. Nasákavost byla pozorována a dokumentována.

Určité rozdíly byly jasně viditelné po jedné a půl hodině.

Nejvíce propustným se jevilo VAPOinjekt, kdy všechny vzorky téměř kompletně navlhly bez problémů. Následoval Fenix-B. Nanovápený přípravek a přípravek Remmers navlhaly později a jeden vzorek v tuto dobu ještě nejevil známky propuštění vody k horní straně, Nejhůře nasákavým materiálem se jevil Ledan, kdy dva vzorky stále zůstávaly na vrchní straně téměř suché.

Do dvou a půl hodiny byly všechny vzorky již kompletně provlhčeny.



Vzorky před namáčením zleva: Remmers, Ledan, Nanovápeno, VAPOinjekt, Tassulo-B



Namočené vzorky po jedné a půl hodině vsakování

6.2.1 Remmers- modulo systém

Příprava materiálu, jeho aplikace a podmínky pro kvalitní vytvrzení jsou jednoznačně nejkomplikovanější ze zkoumaných technologií a vyžaduje určitou zkušenost s materiálem a přesnost. Nepříjemná je práce s injekční stříkačkou kdy již při krátkém užívání se stříkačka zadrhává. Dále čištění případných výtoků je nutné lihem a nikoli vodou, jak je tomu u ostatních vyzkoušených materiálů. Výsledky průzkumu namáčení byly pozitivní. Co se týče testování v klimatické komoře, tak ačkoliv byla polovina vzorků destruována, považuji je za použitelný a kvalitní materiál. Po vytvrzení je pevný a savý, tedy snadno paropropustný a lepivost hodnotím také jako dobrou. To, že se rozlomily dva vzorky, přičítám obtížnosti aplikace této technologie, která vyžaduje dodržení maximálního možného času pro jeho zrání. Vzorky zrály 4 týdny, výrobce uvádí tři až šest týdnů. Čtyři týdny jsem považoval za dostatečné, protože vzorky měly optimální prostředí pro vytvrzení-vzdušnou vlhkost, dostatečné teplo a proudění vzduchu. Zatékavost materiálu je dostatečná, díky lihu a velikosti částic dosahuje nejmenších trhlin.

Materiál hodnotím jako kvalitní a použitelný v praxi v exteriéru.

6.2.2 Ledan TB1

Velmi snadno aplikovatelná předpřipravená směs u které bych mohl jen podotknout, že při aplikaci je opravdu vhodné trhlínu předvlhčit, ať už vodou nebo lihem, dovolí-li to situace. Pro dostatečné vytvrzení materiálu není potřeba žádná péče po aplikaci, což hodnotím jako výhodu. Výsledky namáčení byly patrně nejhorší ze všech zkušebních materiálů, ale rozdíl nebyl velký, proto považuji paropropustnost za dostatečnou. Lepivost materiálu hodnotím jako dostatečnou, po vytvrzení je pevný a savý. V klimatické komoře nejvíce známky poškození ani po čtrnácti zmrazovacích cyklech. Žádné z tělísek se nerozlomilo, hodnotím materiál výborně.

Materiál hodnotím jako velice kvalitní k použití v praxi v exteriéru.

6.2.3 IBZ salzchemie – CaLoXil Injection grout „Classic“

Aplikace materiálu není náročná ale pro dostatečnou zatékavost materiálu je třeba jej značně naředit, aby zatekl do požadované hloubky trhliny. Nevýhodou ředění je velké smrštění materiálu, jež může způsobit roztržení lepené trhliny. Aplikace musela probíhat postupně a zdlouhavě, aby byla trhlina dostatečně zaplněna. Po vytvrdnutí je materiál značně tvrdý a nasákavý. Nasákavost vody hodnotím kladně, i když ne nejlépe. V klimatické komoře velmi trpěly a po již po šestém zmrazení byly všechny vzorky destruovány.

Do exteriéru je tedy tento materiál nevhodný, ačkoli do interiéru by jeho použití bylo možné.

6.2.4 VAPO-injekt

Materiál je snadno aplikovatelný, ačkoli je nutné jej značně ředit, aby zatekl do požadovaných tenkých trhlinek. Po ředění hodnotím zatékavost jako velmi dobrou. Sesychání materiálu při aplikaci je patrné, avšak nikoli markantní. Nevýhodou je potřeba materiál udržovat ve vlhku po 48 hodin, což může být v některých případech omezující. Nasákavost materiálu byla nejlepší. V klimatické komoře došlo k roztržení jednoho vzorku po osmi zmrazeních. Ze statistického hlediska je to zanedbatelné a hodnotím tento materiál velmi dobře.

Materiál je kvalitní ve všech směrech hodnotím jej jako velmi dobře použitelný v praxi v exteriéru.

6.2.5 Fenix B

Při injektování materiálu bylo třeba jej velmi naředit a již na zkušebním tělísku bylo dobře pozorovatelné, že spodní stranou vzorku protékají po silném ředění s vodou velké částice materiálu. Proto bylo jisté, že při požadavku hloubkové zatékavosti do nejjemnějších trhlinek bude materiál nedostačující. Po vytvrdnutí je nutné materiál vlhčit poměrně dlouhou dobu, což může být omezující. Dále tvrdost materiálu se jevila jako nedostatečná ještě po týdnu tvrdnutí. Při zkoušce nasákavosti jsem materiál hodnotil pozitivně. V klimatické komoře čtyři vzorky nevydržely čtvrté přemrznutí a byly roztrženy. Pátý vzorek praskl při dalším cyklu.

Materiál je do exteriéru nepoužitelný. Do interiéru ale je možné jej použít, spíš bych jej ale doporučil pouze k vyplnění trhlín, nikoli k jejich slepení.

7 Závěr

Výsledkem výkumu je zjištění, že nejlépe splnily požadavky dva materiály. Ledan TB1 a VAPOinjekt se jevily velice vyrovnaně, ačkoli každý z těchto materiálů má určité výhody, než ten druhý. Jejich využití v exteriéru je možné a jejich kvality více než dostačující. Dalším materiálem který je pro injektování křemičitých materiálů do exteriéru též vhodný ale jeho aplikace je náročnější je Modulo-systém od firmy Remmers. Jeho výhodou je naopak oproti vodným systémům velmi kvalitní zatékavost a kompatibilita s konsolidačními přípravky stejné firmy na totožné bázi. Naopak jako nepoužitelné materiály do exteriéru považují nanovápenný materiál a Fenix B, které se neosvědčily při zkouškách v klimatické komoře. Jejich vlastnosti jsou nicméně využitelné v interiéru.