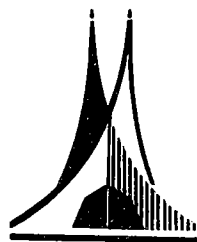


**Vybrané práce
Ústavu teoretické
a aplikované
mechaniky ČSAV
z období
1981 až 1985**



ACADEMIA PRAHA

Richard A. Bareš

Aplikace kompositu při rekonstrukci Pražského hradu

1. Úvod

Při rekonstrukci historických staveb se často setkáváme s problémem nahradit různé pískovcové části narušené nebo zničené dlouhodobým působením agresivních atmosférických vlivů nebo jinými zásahy. Zachování strukturní a barevné jednotnosti opravy s původním kamenem lze v některých případech dosáhnout použitím epoxidového plastbetonu /1/.

Při celkové rekonstrukci Lobkovicova paláce na Pražském hradě bylo rozhodnuto opravit pískovcové ostění oken, zejména vyplnění polo-drážky na vnější straně ostění po původně ven otvíraných okenních křídlech, a další pískovcové prvky epoxidovým plastbetonem. Důvodem byla vedle snížení pracnosti proti klasickému způsobu oprav /výměny prvků/ i skutečnost, že stejný ani podobný pískovec nebyl k dispozici.

2. Optimalizace návrhu kompositu

Použití uvedené metody vyžaduje nejen citlivou volbu plniva /často z rozmělněného původního pískovce/, pojiva /druhu, množství/, přísad /barviva/, zpracování a ošetření určujících především vzhled, ale i pečlivé posouzení fyzikálních a chemických aspektů spolupůsobení původního a nového materiálu za pracovních podmínek k zajištění dlouhé životnosti. Zanedbání některého hlediska spolupráce obou chemicky velmi odlišných materiálů vede obvykle, dříve či později, k poruchám a znehodnocení opravy.

Ponecháme stranou otázky spojené s volbou plniva zajišťující obdobnou povrchovou strukturu plastbetonu jako původní pískovec, s volbou
Ing. Richard A. Bareš, DrSc., vedoucí vědecký pracovník ČSAV.

bou pojiva a barviva určujícími vhodnost barevného odstínu /včetně shodnosti jeho změny se stářím/ a se zpracováním, jež jsou /nebo by měly být/ rutinní záležitostí restaurátora. Zaměříme se na problémy fyzikální povahy ovlivňující zejména životnost opravy.

Téměř každý pískovec, tvořený nejčastěji křemičitým plnivem a anorganickým pojivem, je kompozitem III. typu, jehož charakteristickým strukturním znakem vedle agregovaného plniva je spojitá pórovitost/2/. Póry jsou podle podmínek vnějšího prostředí zaplněny tekutou fází ve formě plynné nebo kapalné. Difúze tekuté fáze pískovcem je možná a závisí pouze na velikosti difúzního odporu, který se pohybuje v mezích $0,008 - 0,01 \cdot 10^{-9}$ s.

Vnitřní napětí od polymeračního smrštění plastbetonu, teplotních a vlhkostních změn obou materiálů /s odlišnými součiniteli teplotní a vlhkostní roztažnosti/ v kontaktní spáře vyžaduje dostatečnou pevnost v soudržnosti, kterou může zajistit pouze transponenční pryskyřičná vrstva s vysokým difúzním odporem.

Je zřejmé, že požadované vlastnosti styku vyvolávají rozpor: bude-li zajištěna dobrá adheze pískovce a plastbetonu, vytvoří se na kontaktu difúzní bariéra, která může v některých případech být příčinou poruch. Bude-li naproti tomu zachována difúzní propustnost kontaktu, nezajistí se dostatečná soudržnost potřebná při některých stavech namáhání a opět může dojít k poruchám. Řešení je zřejmě možné pouze případ od případu, podle podmínek okolního prostředí a rozměrového a prostorového uspořádání opravované části vzhledem k podkladu, optimalizací systému na základě rozboru jednotlivých fyzikálních veličin.

Jednou z cest vedoucích k optimalizaci systému může být sledování průběhu pevností /plastbetonu, styku/ a v systému indukovaných napětí v závislosti na poměru pojiva a plniva plastbetonu /obr. 1/. Tahová pevnost plastbetonu má s klesajícím množstvím pojiva v systému průběh podle křivky A /3/, pevnost spoje průběh křivky B (za předpokladu adekvátní penetrace pískovce a následného provádění jednotlivých operací před zatvrdnutím pryskyřice v předchozí operaci). Změnu difúzní propustnosti /spojitou pórovitost/ plastbetonu vyznačuje křivka C a změnu součinitele teplotní roztažnosti plastbetonu křivka D. Vynesením křivky E určující napětí indukované změnami teploty nebo vlhkosti /v součtu k napětím od polymeračního smrštění/, popř. mechanickým namáháním v systému ve stejném grafu se získá představa /nejméně globální/ o vhodném složení plastbetonu /bez spojovací vrstvy/. Pokud nevyhoví určený plastbetonový systém, např. z hlediska vzhledového /pro nadměrný obsah pojiva/, nezbude než použít systému se spojovací pryskyřičnou

vrstvou, dovolí-li to ovšem difúzní podmínky systému. V opačném případě nelze epoxidového plastbetonu použít pro nadměrné nebezpečí poruchy. Např. v obrázku 1 indukovaná napětí se pohybují v mezích daných křivkami E /vyšrafovaná oblast/.

Jakmile některá z těchto křivek protne křivku B znázorňující pevnost spoje, je systém nevhodný a může dojít k porušení. Lze použít pouze systém nalevo od průsečíku, s vyšším obsahem pojiva, než je kritická hodnota. Průsečík zároveň udává na křivce C hodnotu difúzního odporu systému, který musí zůstat pod hodnotou difúzního odporu základního materiálu /pískovce/. Protože pevnost spoje závisí též na tom, zda /a do jakého stupně/ je materiál nasycen vlhkostí, závisí na stupni nasycení i kritická hodnota složení.

Protože všechny údaje /křivky/ jsou statistickou funkcí řady proměnných, může uvedený rozbor dát pouze informativní výsledky a před skutečnou aplikaci zvoleného systému by se měl vždy ověřit alespoň zkrácenými zkouškami, jak je uvedeno na konkrétním příkladu dále.

3. Experimentální ověření chování kompozitu

Dlouhodobá životnost navržené úpravy se ověřovala experimentálním vyšetřováním, modelujícím tříleté účinky střídání teplot a vlhkosti /přímé oslunění a prudký déšť, 60 cyklů/ a účinku nízkých teplot /mrazu, 75 cyklů/ na vrstvy vyrobené navrženou technologií.

V průběhu cyklování se mikroskopicky sledovala změna kontaktní spáry a dále objektivně /fotograficky/ hodnotila změna barvy a povrchové struktury. Pevnost styčné spáry se vyšetřovala na vzorcích podle obrázku 2 při kombinaci namáhání čistým tahem a smykem. Oprávněnost použitého způsobu zkoušení, zejména pokud jde o rozdělení napětí v kontaktní spáře /s ohledem na možnost ovlivnění koncovými efekty/ byla vyšetřena na modelovém vzorku fotoelasticimetricky s použitím reflexních fólií.

4. Závěry

Při opravě pískovcových prvků epoxidovým plastbetonem je třeba odlišovat dva základní případy:

a/ opravy nebo úpravy, kde novým materiálem /plastbetonem/ se uzavírá celý vnější povrch částí, kde může docházet k výrazné difúzi vlh-

kosti /např. z půdy, vnitřní stěny bazénu apod./, a opravy malého rozsahu;

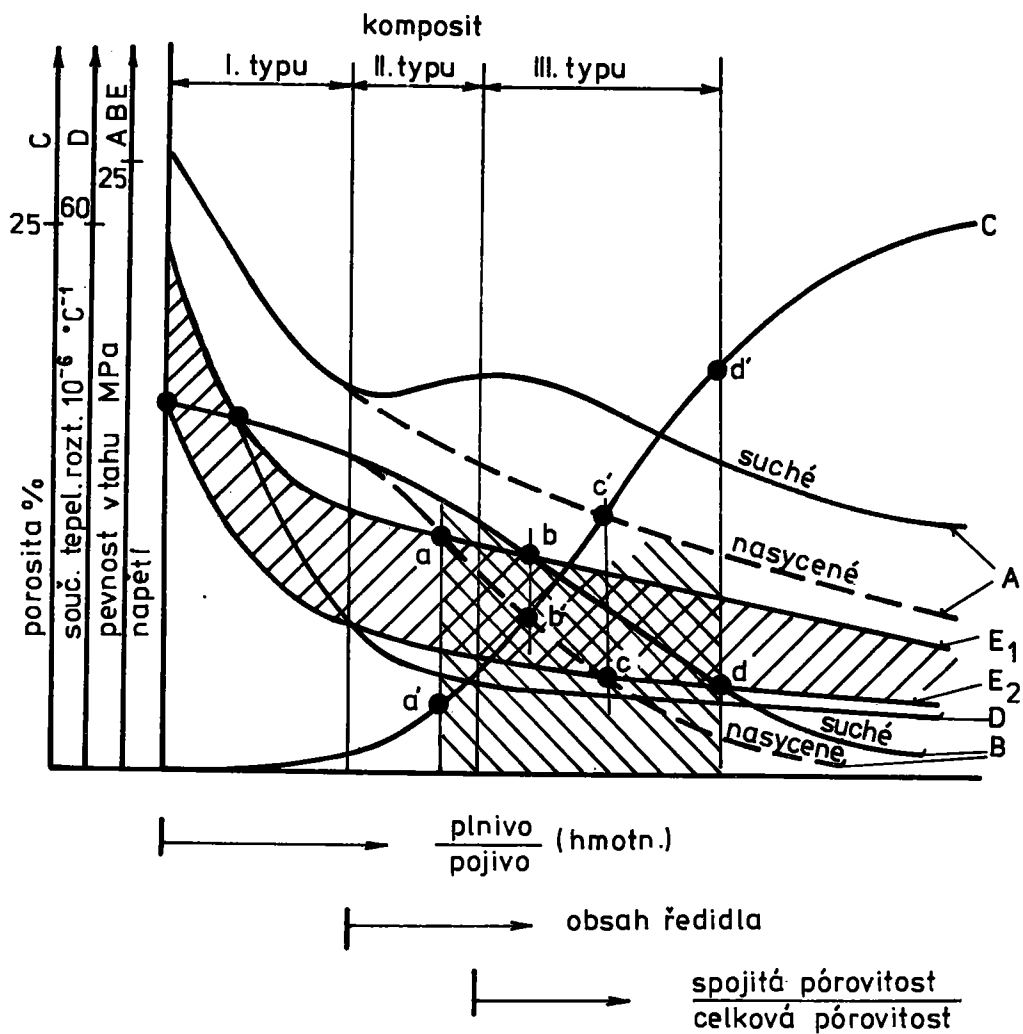
b/ opravy nebo úpravy, kde se novým materiálem neuzavírá celý vnější povrch a k difúzi /komunikaci/ vlhkosti může docházet v dostatečné míře neupravenými částmi nebo kde nehrozí nebezpečí významnější difúze vodních par základním materiálem a její koncentrace vlivem nepříznivého teplotního spádu u kontaktu.

Pro první případ je vhodné dát přednost systému s otevřenou pórovitostí /přes kontakt i v plastbetonu/ a zajistit dostatečnou soudržnost, především pečlivostí v přípravě podkladu, povrchové spáry a promyšleným složením plastbetonové směsi. Ve druhém případě vyhovuje lépe řešení, které zajistí maximální pevnost spoje i za cenu vytvoření vodonepropustné nebo paronepropustné membrány na styku. Na pórovitosti vlastního plastbetonu pak v podstatě nezáleží a obsah pojiva určují spíše estetická hlediska. Účinnost spojení se zde zajistí speciální "spojovací" vrstvou ze samotné nebo mírně plněné pryskyřice.

Negativní výsledky zkoušek životnosti úprav provedených v daném případě Lobkovicova paláce prvním způsobem /s malým difúzním odporem/ vedly k použití druhého způsobu rekonstrukce se spojovací vrstvou. U oprav nehrozí výrazné provlhčení rubové strany opravovaných prvků a navíc, pokud se tak stane, zůstává větší část povrchu prvků na lící straně otevřená pro difúzi vodních par. Proto je malá pravděpodobnost kondenzace většího množství vlhkosti /i kdyby nepříznivé teplotní a vlhkostní podmínky okolního prostředí nastaly/ na styčné spáře, pokud tato bude paronepropustná, a převýšení pevnosti spoje vzniklými napětími.

Důležité pro opravu je zajistit dokonalou přípravu /očištění,nejlépe opískování/ podkladu a následnost jednotlivých kroků /penetrace , spojovací vrstva, plastbeton/ do zgelovaného /nikoliv zatvrdlého/ stavu předchozí úpravy. Pro penetraci a spojovací vrstvu lze s výhodou použít měkčené epoxidové pryskyřice, pro plastbeton pouze neměkčenou pryskyřici. Obsah ředidla pro penetraci /xylenového typu, např.ve směsi xylenu a butylalkoholu/ by neměl převýšit 40 až 50 % pryskyřice. Spojovací vrstva nanesená na zgelovanou penetraci má mít tloušťku asi 1 mm a je třeba dbát, aby nedošlo k jejímu setření při ukládání plastbetonu. Zpracování plastbetonu lze nejlépe zajistit vysokofrekvenční vibrací /~200 Hz/ malými příložnými vibrátory.

K zajištění nenasákavosti vody do pískovce i plastbetonu /pokud je připraven jako porézni/ je vhodné opatřit povrch hydrofobním nátěrem. Namísto siloxanových nátěrů obvykle užívaných se lépe osvědčily



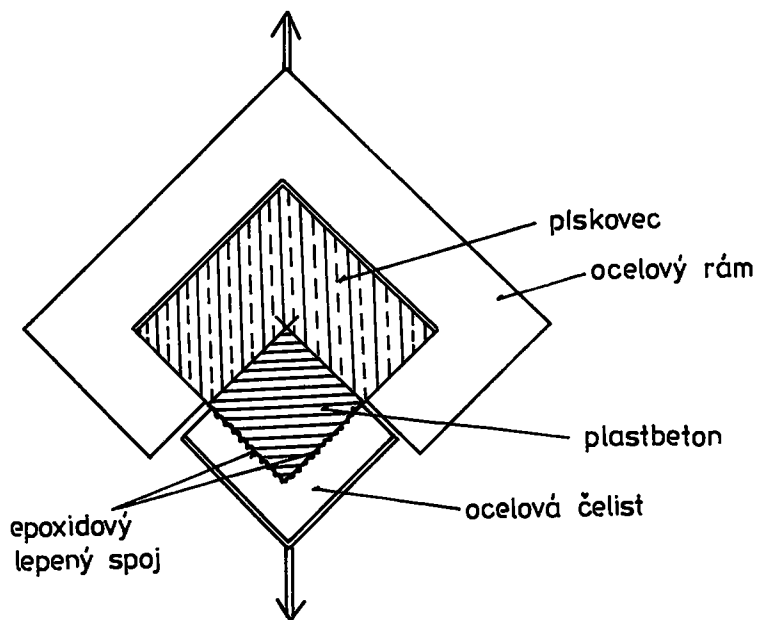
Obr. 1. Průběh tahové pevnosti, součinitele teplotní roztažnosti a pórovitosti epoxidového plastbetonu, pevnost styku s pískovcem a indukované napětí od teplotních změn a polymeračního smrštění v kontaktní spáře v závislosti na složení plastbetonu. Křivky E_1 a E_2 vyznačují indukované napětí pro dva různé systémy pojiva a různé teplotní rozsahy. Body a, b, popř. c, d /pro mokré nebo suché podmínky/ určují minimální množství pojiva, zajišťující dostatečnou pevnost styku. Body a', b', popř. c', d' na křivce C určují odpovídající porozitu /difuzivitu/.

co do dlouhodobosti hydrofobizačního účinku některé silanové nebo směsné silano-siloxanové nátěry. Vhodnost speciálního druhu je třeba na místě ověřit před aplikací.

Opravy pískovcových prvků epoxidovým PC podle uvedených zásad skýtají na základě extrapolace experimentálních výsledků vesměs spolehlivou záruku dlouhodobé životnosti.

Literatura

1. Bareš, R.A.: Technology and Performance of Epoxy PC Repairs of Historical Sandstone Building Elements, Polymer in Concrete, Proceedings of IV. International Congress IC PIC 84, Darmstadt 1984, s. 463 - 467.
2. Bareš, R.A.: Classification of Composite Materials and Plastics Composites, Plastics in Material and Structural Engineering, Proceedings, Elsevier, Amsterdam 1982, s. 345 - 358.
3. Bareš, R., Navrátil, J., Berka, L., Javornický, J.: Practical Application of Synthetic Constructive Material as a Result of Exact Definition of Material Properties, Les Congrès et colloques de l'Université de Liège, Vol. 32, Université de Liège 1965, s.465 - 477.



Obr. 2. Schéma zkoušky pevnosti styčné spáry.

Рихард Вареш

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТОВ В РЕКОНСТРУКЦИИ ПРАЖСКОГО КРЕМЛЯ

В процессе реконструкции палаты Лобковиц в Праге были восстановлены подлинные оконные рамы из песчаника и другие предметы из того же материала эпоксидным полимербетоном.

Состав полимербетона выбирался осторожно, чтобы получить не только подобную структуру, цвет и вид, но также физические свойства /прочность, модуль Э, паропроницаемость, тепловое расширение, долговечность взаимодействия нового и подлинного материала и т.п./.

Атмосферные тесты старения были подвергнуты замораживанию и таянию, температурным ударам, изменениям влажности, ультрафиолетовому излучению и т.п., и кроме внешних изменений были проверены изменения прочности при растяжении и сдвиге контактного слоя между полимербетоном и песчаником.

Richard A. Bareš

APPLICATION OF COMPOSITES TO THE RECONSTRUCTION OF PRAGUE CASTLE

During the reconstruction of the Lobkowitz Palace in the area of Prague Castle the original sandstone window surrounds as well as other sandstone parts /fillets, etc./ were repaired by an epoxy polymer concrete /PC/.

The PC mix was carefully formulated in order to obtain not only similar structure, colour and texture, but also physical properties /strength, modulus of elasticity, vapour permeability, thermal expansibility, long-term cooperation of the new and the original materials, etc./.

Accelerated weathering tests were performed, modelling numerous freezing and thawing cycles, temperature shocks, moisture changes, UV radiation, etc.. The changes of the tensile as well as shear strengths of the PC/sandstone contact joint were continuously investigated beside external changes.