

Stavro, 1982

## Epoxidy ve stavebnictví

Richard A. Bares

Epoxidové pryskyřice nalézají dnes ve stavebnictví (stejně jako v jiných průmyslových odvětvích) široké uplatnění. Pomocí nich lze řešit řadu technických problémů dříve nezvládnutelných. Epoxidové pryskyřice se používají k ochraně betonových, kovových i jiných konstrukcí před korozivními vlivy, ke spojování konstrukčních částí předvyrobených i na místě prováděných (betonovaných), ke kotvení různých prvků, ale i k přípravě nových materiálů (např. plastbeton nebo laminát), z nichž se vytvářejí samostatné stavební části.

Náhrada nebo obnova částí budov se stává stále nákladnější s růstem cen materiálů a práce. Proto rostoucí pozornost je zaměřena na vývoj technologií, zajišťujících opravy a rekonstrukce stávajících, více či méně porušených částí stavby z různých materiálů; pokud takové úpravy jsou účinné, reprezentují ekonomické řešení a často představují jedinou alternativu. Mezi materiály, které jsou nejčastěji užívány a nejdříve akceptovány jsou epoxidové pryskyřice. Buď samy nebo v kombinaci s jinými obvyklými konstrukčními materiály, umožňují epoxidy opravy, kde bylo dříve možno počítat jen s náhradou. Ačkoli epoxidy samy jsou drahé, celková cena rekonstrukce je poměrně nízká, srovná-li se s kvalitou oprav dosažitelnou s jinými materiály. A stává se prakticky nevýznamná, když je srovnána s cenou nové konstrukce.

Všeobecně zkušenosti s epoxidovými pryskyřicemi jsou vynikající, i když došlo k některým poruchám vlivem chybné aplikace nebo nedostatku znalostí o pryskyřici a tvrdidle. Je nesporné, že užití epoxidových pryskyřic by mohlo být rozšířeno úspěšně na daleko větší pole aplikací, jestliže by bylo k dispozici více informací o jejich fyzikálních a inženýrských vlastnostech; zejména by

se epoxidy staly výborným nástrojem v rukách kompetentních odborníků pro opravy a rekonstrukce všeho druhu.

Základní předpoklady úspěšné aplikace epoxidů (ostatně stejně jako jiných hmot) jsou dostatečná znalost vlastností určitých druhů pryskyřic (mechanických, reaktivity, creepu, chování za tepla, soudržnosti atd.) a pracovního postupu, stejně tak jako hluboké porozumění chování celého systému (mechanismu přetváření i porušování) a vlivu různých parametrů a proměnných na jeho výsledné vlastnosti. Z nich záseďní a přední místo zaujímá příprava podkladu a povrchů, s nimiž epoxidy přijdou do styku, vůbec.

V dalším jsou uvedeny hlavní informace k porozumění složení a mechanismu tvrdnutí epoxidových pryskyřic a některých kompozitních systémů s nimi a popsány zásady postupů pro různá konkrétní použití, se zvláštní pozorností na systémy s granulárním plnivem. Systémy s vláknitým splnivem nebo výztuží vyžadují zvláštního pojednání. Podrobnější údaje lze nalézt např. v / 1 /.

### 1. Složky směsi

#### P R Y S K Y Ř I C E

Epoxidové pryskyřice patří do třídy termosetických syntetických pryskyřic; charakter pryskyřice závisí na povaze reakce, která byla použita při její výrobě. Všechny epoxidové pryskyřice mají více než jednu vysoce aktivní epoxidovou skupinu atomů v každé molekule; k příčnému zesílení molekul dochází přes tyto epoxidové skupiny v přítomnosti tvrdidla. Rychlost reakce a adhesivní účinnost pryskyřice je ovlivněna typem tvrdidla a dalšími atomovými skupinami přítomnými v molekule pryskyřice.

Pryskyřice obsahující větší množství epoxidových skupin jsou tekutější než ty, jejichž molekuly obsahují těžší atomové skupiny, ale jsou také mnohem dražší ve výrobě. Podle velikosti a složitosti

ti molekuly existují epoxidové pryskyřice od olejovitých te-  
kutin (alifatické epoxidy), přes lehce až těžce tekuté druhy  
(tekuté, tzv. lehké aromatické epoxidy) až k tuhým pryskyřicím  
s vysokým bodem tání a největší a nejsložitější molekulou (tu-  
hé, tzv. těžké aromatické epoxidy).

Alifatické epoxidy jsou obchodně užívány zřídka. Tuhé aro-  
matické epoxidy jsou relativně levné a široce užívané, ale mo-  
hou být užity jen ve formě roztoku nebo lisovaného prášku. Me-  
zi těmito extrémy jsou tekuté aromatické epoxidy, které jsou  
pro stavebnictví nejužitečnější; mají konsistenci od lehce zber-  
vených sirupů, které mohou být míšeny, lity nebo stříkány, do ma-  
teriálů podobných karamelu, které musí být ředěny, aby je bylo  
možno uspokojivě použít. Pro práce ve stavebnictví se dává před-  
nost tekutějším z těchto aromatických epoxidů, a pro některé  
aplikace může být nezbytné ještě je lehce ředit, např. pro ná-  
těry porézních ploch nebo pro zaplnění jemných trhlin.

Cenné vlastnosti epoxidových pryskyřic jsou zejména:

- bezvadná adheze k čistým povrchům většiny materiálů, výjimku  
tvoří několik nepolárních termoplastů,
- chemická odolnost olejům, mnoha kyselinám, alkaliím a rozpus-  
tidlům,
- odolnost vodě a vlhkosti,
- vysoká pevnost a houževnatost,
- dobrá životnost,
- nízké smrštění (speciální formulace až pouze 0,001%),
- rychlé vytvrzování; větší část jejich konečné pevnosti je do-  
sežena v několika hodinách. Speciální formulace umožní vytvr-  
zování i v několika minutách,
- velká mnohostretnost a možnost přípravy různých druhů podle  
podmínek použití.

Z nevýhod epoxidů zaslouží jmenovat:

- relativně nízká odolnost teple a malá odolnost ohně (jako všechny organické materiály),
- bez specifických formulací nelze používat na vlhké povrchy,
- některé formulace nejsou vhodné pro aplikace za pokojové teploty.

Základní pryskyřice a tvrdidla jsou vždy výrobcem navrženy nebo modifikovány pro určitý specifický účel; je proto na nejvyšší důležité, aby určitý epoxidový systém byl použit v praxi pouze pro ten účel, pro který byl zamýšlen a aby uživatel striktně splnil výrobcovy instrukce pro použití, příp. aby práce byly prováděny specializovaným (a odborně vysoce fundovaným) dodavatelem.

Zásadně je třeba se zcela vyhnout, nebo omezit jen na míru nezbytně nutnou, ředění epoxidových pryskyřic nereaktivními rozpouštědly, které způsobí vždy vznik nežádoucích pórů. Vhodná ředidla jsou uvedena v tab. 1.

Tabulka 1

Rozpouštědla pro nevytvrzené nebo částečně vytvrzené epoxidové pryskyřice

<u>Chemická skupina</u>	<u>příklad</u>
Ketony	metyletylketon (MEK) metylisobutylketon
Aromatické uhlovodíky	xylen
Estery	etylacetát
Etheralkoholy	metyl
Chlorované uhlovodíky	trichloretylen, metylenchlorid

Pozn.: Často dává lepší výsledky směs rozpouštědel, např. stejný díl metyletylketonu a xylenu.

## TVRDI D L A

Užitý typ tvrdidla je velmi důležitý pro vlastnosti vytvrzené pryskyřice. Velký počet tvrdidel reaguje pouze při vyšší teplotě a proto tekové druhy nejsou vhodné pro užití na stavbě. S tvrdidly vytvrzujícími ze normálních teplot začne proces vytvrzování v okamžiku, kdy tvrdidlo je smíšeno s pryskyřicí; rychlost vytvrzování se s časem zvyšuje, částečně v důsledku vzniku reakčního tepla, částečně proto, že příčné vazby molekul se progresivně urychlují.

Tvrdidlem lze řídit ohebnost a houževnatost pryskyřice. Plně vytvrzené pryskyřice jsou křehké; volbou "neúčinného" tvrdidla může být plnému vytvrzení zabráněno a pryskyřice zůstane ohebná. Žádaný stupeň ohebnosti může být také dosažen užitím reaktivních přísad.

Některé z nejčastěji užívaných tvrdidel působí dráždivě na pokožku a jejich výpary nesmí být vdechovány; obecně jsou tato tvrdidla také hygroskopická a jejich užití musí být omezeno na práce na suchý povrch (beton) při slušném počasí. Další faktory, které by měly být uvažovány při volbě tvrdidla pro některé účely, jsou jeho viskozita, doba gelování ("pot life"), doba vytvrdnutí ("set life") a berevná stabilita.

Je třeba zdůraznit, že je nutná značná opatrnost a znalost podmínek při výběru tvrdidla pro praktické užití; výběr tvrdidla je nejlépe ponechat na výrobci pryskyřice (pro často se vyskytující obtížnost komunikace mezi stavečem a chemikem je k tomu nezbytné, aby staveř poskytl výrobci vyčerpávající detaily o prostředí, do kterého pryskyřice má být použita.) Ačkoli jsou kontinuálně nalézány nové způsoby vytvrzování epoxidů, následující poznámky o tvrdidlech slouží jako vodítko o základních vlastnostech některých z vytvrzovacích systémů.

a) Alifstické aminy (např. diethylentriamin a triethylen-  
tetramin)

Nejrozšířenější tvrdidla - levná, velmi tekutá a lehce  
mísitelná, poskytující rychlé vytvrzení při pokojové teplo-  
tě a dobrou barevnou stabilitu. Jsou ale také vysoce toxická  
a hygroskopická a poměr pryskyřice/tvrdidlo je nevhodný pro  
užití na stavbě (cca 10 dílů tvrdidla na 100 dílů pryskyřice).

b) Hydroxydy - alifatické aminy

Zlepšená verze a), méně toxická a méně hygroskopická a způ-  
sobující rychlejší vytvrnutí. Někdy se kombinují s Bispheno-  
lem A, což vede ke zkrácení vytvrzovací doby a zlepšení pev-  
nosti, ovšem za cenu zkrácení doby zgelování a zvětšení vis-  
kozity. Obvykle se užívá cca 20 dílů na 100 dílů pryskyřice.

c) Akrylonitril - aminové adukty

Další zlepšená verze a) s nižší toxicitou, ale s delší  
dobou vytvrzování. Dávkování obvykle jako v b).

d) Tekuté aromatické aminy

Normálně se používají jen při vyšších teplotách, ale ve  
spojení s urychlovačem mohou být použity i při pokojové teplotě.  
Nejsou ani toxické, ani hygroskopická.

e) Fenolické terciární aminy

Teto jsou katalysátory, které v protikladu k a) až d) se ne-  
zapojují do molekulárních řetězců, ale způsobují, že molekuly  
pryskyřice se spojují jedna s druhou. Již v malých množstvích  
(4-10 dílů na 100 dílů pryskyřice) zajistí pevné a úplné vytvr-  
zení, ale proti a) - d) jejich působení závisí do značné míry na  
druhu pryskyřice.

f) Urychlovače pro reaktivní tvrdidla

Vytvrzovací proces s tvrdidly a) - d) může být urychlen

užitím urychlovačů jako je např. Bisphenol A a triphenylfosforitan.

#### g) Polyamidová tvrdidla

Působí jako tvrdidla a mohou přinést výslednému materiálu ohebnost v závislosti na přidaném množství (obvykle 50 - 150 dílů na 100 dílů pryskyřice). Jsou pouze lehce dráždivé, ale mají nevýhodu ve vysoké viskozitě a dlouhé vytvrzovací době.

#### h) Polysulfidy

Reagují s pryskyřicí v přítomnosti alifatických nebo aromatických aminových tvrdidel a zajišťují větší ohebnost; nejsou to tvrdidla. Tři díly polysulfidu na jeden díl pryskyřice redukuje modul pružnosti pryskyřice cca na polovinu. Hodí se výborně pro spojování čerstvého betonu k zetvrdlému nebo k jiným materiálům.

#### P L N I V A

Jako plnivo se obvykle používá suchý a tříděný přírodní písek. Povahe písku není důležitá za předpokladu, že jeho pevnost je vysoká a že má vhodně tvarovaná zrna; vhodná je většina betonářských písků.

Zrnitost písku závisí spíše na druhu aplikace: opravy v tenkých vrstvách nebo malých plochách vyžadují jemný písek, aby se dosáhlo dobrého povrchu; písek se zrnitostí 0,15-0,6 mm v množství 5-6 dílů (hm.) na 1 díl (hm.) pryskyřičného pojiva dává směs (meltu) vhodnou k tomuto účelu. U tlustších vrstev mělo by být maximální zrno příslušně zvětšeno. S ohledem na ekonomii co do nezbytného množství pojiva je nevhodné užití monofrakčních písků; nejúčinnější výsledky v tomto směru poskytují směsi složené ze 3-4 frakcí s přetržitou křivkou zrnitosti.

Kutného (nepropustného) materiálu lze dosáhnout ještě s 10 i více díly (hm.) plniva na 1 díl (hm.) pojiva.

Mohou být užite i jiná plniva, obyčejně přinášející materiálu specifické vlastnosti. Ke zlepšení tixotropie může být přimíšeno plnivo s velmi jednými částicemi; v každém případě do směsi plniva je třeba přidat mikroplnivo s velikostí částic 5-50-100 $\mu$  v množství 5 - 8% celkového množství plniva.

## PIGMENTY

Pigmenty mohou být užity jako (namísto) mikroplniva tam, kde je žádána barevnost výrobku. Ne všechna tvrdidla však poskytují polymer barevně stálý a často může mít tendenci v čase tmavnout. Obyčejně je potřebné nejdříve přidat kysličník titaničitý ( $TiO_2$ ) aby se dosáhlo neprůhlednosti a zastřela se barva pryskyřice; barvy betonu lze dosáhnout přidáním lempové černě a žlutého kysličníku železitého.

## 2. Vlastnosti vytvrzených epoxidových pryskyřic

Vlastnosti epoxidových pryskyřic jsou důležité zejména ve vztahu k vlastnostem materiálů, s nimiž jsou ve spojení. Proto, přestože výhodné vlastnosti epoxidů jsou nesporné, je třeba zachovat jistou opatrnost, zejména co do kompetibility přetvoření<sup>\*)</sup>.

### Pevnost v sduržnosti

Zkoušky (např. (2) jednoznačně ukázaly, že smyková pevnost epoxidového spoje zatvrdělého betonu s obdobných stavebních mate-

<sup>\*)</sup> Autogenní smrštění, které nastává během tvrdnutí epoxidů, způsobí jisté přetvoření v místě styku s jiným materiálem, na nějž byl aplikován a při kombinaci s teplotním přetvořením může vést i k delaminaci. Při styku s betonem, dojde-li k porušení, nastává oddělení obvykle ve vzdálenosti  $\sim 1 - 6$ mm od styčné spáry.



riálů (kamene, keramiky) je vždy vyšší než pevnost základního materiálu. Je mnoho důvodů, proč epoxidy mají dobrou soudržnost k většině stavebních hmot, např.:

- mohou být připraveny v tekuté formě bez obsahu odpařivých ředidel
- mají dobrou soudržnost ke všem minerálním složkám, jež se v běžných stavebních materiálech vyskytují
- nevznikají žádné odpadní produkty při vytvrzování
- vytvrzovací smrštění je nízké
- dlouhodobá dimensionální stabilita je dobrá
- tahová a tlaková pevnost je vysoká
- odolnost vůči působení počasí, vlhkosti, kyselinám, alkáliím a většině ostatních faktorů okolního prostředí je dobrá.

Tabulka 2 podává kvalitativní přehled např. o soudržnosti různých materiálů (včetně způsobu jejich povrchové úpravy) přilepených epoxidem k betonu

Tabulka 2

Kvalitativní přehled o soudržnosti různých materiálů přilepených epoxidem k betonu

Materiál	Kvalita adheze	Způsob mechanické úpravy povrchu	Chemické leptání	Způsob odmaštění
Akrylát	slabá	opískování nebo obroušení	ne	detergent
Hliník	velmi dobrá	-"	ano	deterg. nebo rozpouštědlo
Litina	velmi dobrá	-"	ne	-"
Keremika	velmi dobrá	-"	ne	-"
Měď a slitiny	dobrá	-"	ano	-"
Sklo	velmi dobrá	-"	ne	-"
Skel. laminát	velmi dobrá	-"	ne	-"
Olovo	velmi dobrá	-"	ne	-"
Magnesium a slitiny	velmi dobrá	-"	ano	-"

Materiál	Kvalita adheze	Způsob mechanické úpravy povrchu	Chemické leptání	Způsob odmaštění
Nikl	dobrá	opískování nebo obroušení	ano	deterg. nebo rozpouštědlo
Melaminový laminát	velmi dobrá	-"-	ne	-"-
Polyester	dobrá	-"-	ne	-"-
Polystyren	špatná	-"-	ne	detergent
Polyetylen	špatná	žádný	ano	žádný
Polypropylen	špatná	žádný	ano	žádný
PVC	špatná	opísk. nebo obroušení	ne	deterg. nebo rozpouštědlo
Přez přírodní	velmi dobrá	žádný	ano	žádný
Přez syntet.	velmi dobrá	žádný	ano	žádný
Ocel	velmi dobrá	opísk. nebo obroušení	ano	deterg. nebo rozpouštědlo
Ocel nerez	dobrá	-"-	ano	-"-
Dřevo	velmi dobrá	žádný	ne	žádný
Zinek	dobrá	-"-	ano	deterg. nebo rozpouštědlo

Pevnosti, mezní přetvoření, modul pružnosti

Neměkčená neplněná pryskyřice má tlakovou pevnost 140,0 - 280,0 MPa, pro měkčené pryskyřice se snižuje až na 20,0 MPa, obvykle 35,0 - 84,0 MPa.

Tahová pevnost se obvykle pohybuje v mezích 3,5 - 35,0 MPa, ohybová pevnost v mezích 10,0 - 35,0 MPa. Mezní přetvoření pro obvyklé typy činí 0,2 - 50% (mezní přetvoření betonu ~ 0,01%, tahová pevnost 2,0 - 5,0 MPa, ohybová pevnost 3,5-7,0 MPa, tlaková pevnost 20,0 - 70,0 MPa).

Vlastnosti vytvrzené epoxidové malty ve složení 1:7 hmotnostně (pojivo - plnivo), s obvyklou pryskyřicí, jsou v tabulce 3:

Tabulka 3 Vlastnosti epoxidové malty

tlaková pevnost	přes 70,0 MPa
ohybová pevnost	přes 20,0 MPa
tahová pevnost	přes 7,0 MPa
modul pružnosti	přes 20 000 MPa
součinitel teplotní roztažnosti	menší než $20 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Účinek teploty

Vlastnosti vytvrzených epoxidových pryskyřic obvykle zůstávají až do  $70^\circ\text{C}$  bez velkých změn. Při vyšších teplotách se vlastnosti podstatně mění, nad  $300^\circ\text{C}$  se rozpadá a obvykle se odpařuje, přičemž výpary mohou být toxické.

Odolnost chemickému působení

Epoxidy jsou relativně odolné chemickému působení různých činidel. Chemickou odolnost ve srovnání s cementovým betonem ukazuje na několika příkladech tabulka 4:

Tab. 4 Srovnání chemické odolnosti epoxidu a cementového betonu

	epoxy	beton
střídání vlhka a sucha	výborná	výborná
chloridové a rozmrazující sole	výborná	uspokojivá
chlorovodíková kyselina (15% HCl)	výborná	špatná
mastné kyseliny (v roztoku)	dobrá	špatná
roztoky cukru	výborná	uspokojivá
benzin, olej	výborná	výborná
detergenty	výborná	výborná
alkalie	výborná	dobrá
sulfáty	výborná	špatná

V tabulce 5 je uveden seznam některých činidel, kterým většina epoxidových pryskyřic dobře odolává (při  $25^\circ\text{C}$ ), v tabulce 6

prostředí, do kterých aplikace epoxidů je nevhodná. Odolnost epoxidů agresivním činidlům je funkcí teploty; např. absorpce kyselin může být při 70°C až 100 x větší než při 25°C.

Tabulka 5

Prostředí, kterým odolává většina epoxidových pryskyřic

kyselina octová <10%	síran kobaltnatý
mandlový olej	síran měďnatý
chlorid hlinitý	odmrazovací soli
síran hlinitý	etylglykol (standiol)
čpakové výpery	chlorid železitý
kyselý síran amonný	síran železitý
chlorid amonný (salmiak)	chlorid železnatý
kyanid amonný	síran železnatý
fluorid amonný	formaldehyd
dusičnan (ledek) amonný	kyselina mravenčí <10%
síran amonný	glukosa
sírník amonný	glycerin
sířičitan amonný	kyselina huminová <10%
fosforečnan amonný	kyselina chlorovodíková <10%
sírnatan (thiosíran) amonný	kyselina chlorovodíková 10-30%
živočišné tuky a oleje	kyselina fluorovodíková <10%
benzen	jod
butylacetrát	kyselina mléčná < 5%
kyselý sířičitan vápenatý	dusičnan olovnatý
chlorid vápenatý	chlorid hořečnatý
síran vápenatý	dusičnan hořečnatý
kyselina uhličitá	síran hořečnatý

síran manganový (manganitý)	hydroxid sodný <40%
síran nikelný	dušičnan sodný
kyselina dusičná <10%	dušitan sodný
parafin	fosforečnan sodný
kyselina chloristá <10%	síran sodný
benzín (kromě letec.pohon.hmot)	sířičitan sodný
kyselina fosforečná <10%	cukr
síran hlinitodraselný	sulfitový (sířičitanový) louh
kyanid draselný	kyselina sírová <10%
dvojjchroman draselný	kyselina sírová 10-30%
hydroxid draselný <0,5%	kyselina siřičitá
persíran draselný	tannin
síran draselný	trísíselná březka
mořská voda	toluen
kyselý síran sodný	rostlinný olej
bromid sodný	chlorid zinečnatý
kyanid sodný	síran zinečnatý
dvojjchroman sodný	

#### Tabulka 6

Přehled některých chemikálií, kterým vytvrzená epoxidová pryskyřice neodolává

Kyselina octová >10%	chromovací roztoky
kyselina octová ležová	kyselina chromová
acetan	kreosot
letecké pohonné hmoty	kresol (metylfenol)
sírouhlík	dinitrofenol (hydroxydinitro-
tetrachlorid uhličitý	benzen)
plynný chlor	kyselina mravenčí >10%

kyselina huminová >10%	kyselina chlórístá >10%
kyselina chlorovodíková >30%	fenol
kyselina fluorovodíková >10%	kyselina fosforečná >10%
kyselina mléčná >5%	chlornan sodný
metyletylketon	kyselina sírová >30%
kyselina dusičná >10%	

### Elektrické vlastnosti

Epoxidy jsou výborné izolátory. Zvýšenou vodivost lze dosáhnout jen speciálními opatřeními.

### Odolnost obrusu

Epoxidové pryskyřice mohou být formulovány tak, aby dobře odolávaly i obrusu, avšak před aplikací a výběrem vhodného epoxidu je třeba podrobně znát podmínky aplikace: např. bude-li povrch suchý nebo mokvý, teplý nebo studený, půjde-li o obrus pneumatikami, ocelovými koly, pískem atd.

### Poddatnost

Některé speciální epoxidové pryskyřice mohou být značně deformovány a opět vráceny do svého původního tvaru, pokud není překročena mez jejich pružnosti.

### Modul pružnosti

Modul pružnosti závisí na druhu užitého tvrdidla a stupni zesílení (druhu pryskyřice, modifikací). Ve spojení s plnivem závisí na poměru pryskyřice k plnivu a mění se od cca 30 000 MPa (křehká pryskyřice s agregovaným plnivem) k cca 12 000 MPa pro systémy obsahující cca 35% polysulfidové pryže.

### Creep a relaxace

Epoxidy značně creepují a také relaxují, a je třeba při každé aplikaci uvážit jak výhody, tak nevýhody tohoto chování.

### Teplotní roztažnost

Hlavní rozdíl mezi epoxidovými směsami a běžnými (anorganickými) stavivými leží v jejich součiniteli teplotní roztažnosti. Při změně teploty je např. celý systém, složený z vrstvy běžného staviva a epoxidové vrstvy, namáhán tzv. kompozitním působením (obr. 1) kromě značného smykového namáhání kontaktu, vyvolaného vyšším modulem pružnosti vrstvy z běžného staviva.

S větším plněním rychle součinitel teplotní roztažnosti epoxidového kompozitu klesá, jak ukazuje obr. 2.

### Exotermie během tvrdnutí

Během tvrdnutí epoxidů vzniká reakční teplo; růst teploty je závislý na formulaci epoxidové směsi a na vytvrzovaném množství (hmotě). Aby se vzrůst teploty udržel na minimu, je třeba použít tak velké množství plniva, jak je to s ohledem na zamýšlenou aplikaci možné a při míšení a dopravě udržovat co největší povrchovou plochu vzhledem k objemu.

### Napětí od tvrdnutí a stárnutí

Tato napětí vznikají v epoxidech vždy, mohou být ale účinně redukována vhodným průběhem vytvrzování a vhodnou formulací systému, umožňujícím i dostatečnou relaxaci.

### Termosetické vlastnosti

Epoxidové pryskyřice jsou termosetické, tj. během procesu vytvrzování vznikají chemické změny a nemohou být již teplem znovu zkapalněny. Při teplotách nad teplotou vytvrzování však snižují své mechanické vlastnosti, "měknou".

### Volba druhu epoxidu

Epoxidové pryskyřice vynikají výbornou soudržností k betonu i jiným stavebním materiálům ze všech podmínek, ze sucha i vlhka

a mohou být užitečné pro celou řadu aplikací. K zajištění nejlepšího výsledku za každých podmínek užití měly by být vlastnosti epoxidového pryskyřičného systému voleny (šity na míru) vždy tak, aby zajistily splnění požadavků každé aplikace. Je nepravděpodobné, že stavební výrobce se setká pouze s čistou pryskyřicí a tvrdidlem; obvykle obchodně dodávané pryskyřice obsahují různá změkčovačla, ředidla, zpomalovače, plniva apod., aby bylo dosaženo optimálních výsledků pro jistý, výrobcem pryskyřice zamýšlený účel. Je proto nezbytné při volbě jisté pryskyřice dbát především doporučení výrobce pro užití. Libovolně zaměňovat jednotlivé druhy nelze; takový postup vede obvykle k neúspěchu aplikace.

### 3. Některé aplikace epoxidových pryskyřic

Epoxidové pryskyřice mohou být užity pro různé typy aplikací, někdy samotné jako nátěr nebo lepidlo, někdy s plnivem jako stěrka, plastmalta nebo plastbeton, jak je dále sumarizováno.

#### Protikluzná (protismyková) povrchová úprava

Je-li povrch betonu vybroušen působením delšího provozu a stane se kluzký, je možno provést povrchovou úpravu nátěrem epoxidovou pryskyřicí se zásypem vhodným abrasivem. Je však důležitá volba pryskyřice s vhodnou ohebností a adhezí; jestliže abrasivo nadrží dostatečně na epoxidu a odkryje se pryskyřice, kluznost povrchu se opět rychle zvýší, příp. i na hodnotu vyšší než původní obroušený beton.

Doporučený postup sestává z pečlivého vyčištění betonového povrchu před aplikací směsi pryskyřice a tvrdidla v množství ca  $1 \text{ kg/m}^2$ ; obvykle se pryskyřice na povrch betonu vyleje a potom rozetře pryžovou stěrkou. Povrch betonu ovšem musí být suchý. Pak se rozprostře abrasivo (písek, štěrčík) a zaválcuje do pryskyřice.



Pro doporučené množství nátěru  $0,7 \text{ kg/m}^2$  neměla by velikost zrn posypového materiálu převýšit 0,3 mm. Je-li žádán větší rozměr zrn, musí být zvětšeno množství pryskyřice použité pro rozetření, např. na  $1,0 \text{ kg/m}^2$  pro zrna 0,6 mm,  $1,4 \text{ kg/m}^2$  pro zrna 1,2 mm a  $1,6 \text{ kg/m}^2$  pro 1,6 mm.

### Opravy otlučených (odrobených) nebo šupinovatých ploch epoxidovou maltou

Epoxidové pryskyřice se výhodně používají k různým opravám lokalisovaných porušení např. otlučených rohů, vytlučených nebo šupinovatých ploch, děr, velkých trhlin apod.

Plocha, která má být opevněna, musí být obnažena (mejlíkem nebo mechanickým kladivem) až ke zdravému betonu a pak pečlivě očištěna od prachu. Zdrží-li se oprava, měl by být povrch vyčištěn metylalkoholem bezprostředně před aplikací pryskyřičné malty. Povrch se pak nejdříve opatří základním nátěrem (primerem) z neplněné pryskyřice (s tvrdidlem); základní nátěr má být dobře zakartáčován do povrchu (nikoliv stříkán). Základní nátěr má být nenesen v takovém množství, aby vznikl viditelný film po celém povrchu; nepřináší však žádnou výhodu provádět ho příliš tlustý.

Malta pro opravné práce je míšena obvykle v poměru 1 : 6 hm - 1 : 10 hm. (pryskyřice : písek), a obvykle je přidáváno barvivo (pigment). Malta musí být dobře zhutněna na základní nátěr, který nesmí být vytvrzen. Nejlepších výsledků se dosáhne, pokládá-li se malta na zgelovatělý povrch základního nátěru. Vrstvy malty jednotlivě zhutňované by neměly přesáhnout 2,5 cm; dobré zhutnění malty je nezbytné. Pro opravy velkých ploch by mělo být použito bednění a často může zajistit vhodnou úpravu povrchu ruční ocelový plošný vibrátor za předpokladu, že zařízení je průběžně čištěno vhodným rozpouštědlem, příp. je přiměřeně vyhříváno.

Plochy potřebující opravu nemají nejčastěji jasně definované

okraje, proto rozhodnout kde ukončit vysprávkou je obtížné. Totéž platí rovněž o hloubce. Je proto namístě odstranit okraje porušeného betonu raději dál a hlouběji, aby byla jistota, že oprava se provádí až ke zdravému betonu. Okraje porušených ploch se často zužují k nulové hloubce. V takových případech je vhodné pilou naříznout za koncem porušeného místa beton a v řezu načrtnuté oblasti odstranit beton do jisté hloubky, závisající na druhu (zrnitosti) použitého vysprávkového materiálu. Tato úprava je však dražší, než nepředvídané odsekání betonu do jisté hloubky (např. pneumatickými kledivy), které také dobře vyhovuje.

#### Oprava trhlin pryskyřicí

Užití pryskyřice k vyplnění trhlin a tím slepení potrhanych (popraskaných) prvků na místě je atraktivní možností úplného zmonolitnění konstrukce. Je možno bezpečně zaplňovat trhliny již od šířky 0,1 mm s použitím např. obyčejného ručního mazacího lisu. Nejprve se osadí plnicí terče (průchodky či "maznice") do otvorů, vyvrtaných v trhlíně a pryskyřice se pak injektuje těmito terči. Injektáž je pomalá a úspěch zajistí jen trpělivá a pečlivá práce.

Před opravou je vždy nutné určit příčiny trhlin; jde-li o konstrukční defekt, je třeba ho před opravou odstranit, aby se zabránilo opakovaní vzniku trhlin.

Trhliny před opravou by měly být čisté od prachu, drtě a jiných nečistot, a je-li to zapotřebí, rozšířeny odsekáním špatného materiálu v jejich okolí. Pro trhliny od 0,05 do 0,1 mm je třeba použít speciálního injektážního zařízení, s větším tletem, než je možno vyvodit ručním lisem. Trhliny až do šířky ~ 6 mm lze vyplňovat samotnou pryskyřicí, širší trhliny epoxidovou maltou. Injektáž se provádí od nejspodnějšího místa a pokračuje se k další průcho-

ce, až je epoxidová pryskyřice touto průchodkou vytlačována. Pro injektáž se používají speciálně formulované epoxidy, zásadně neředěné jakýmkoli rozpustidly. Po vytvrdnutí epoxidu dojde ke slepení oddělených částí betonu, znovuvytvoření strukturní integrity a zabránění průniku vlhkosti či jiných medií k výztuži. Injektáž epoxidovými pryskyřicemi (speciálních druhů) lze aplikovat i proti hydraulickému tlaku, nebo ke znovuslepení delaminovaných betonových desek nebo vrstev.

### Epoxidová penetrace

I částečně porušený beton (stejně jako nový, nebo epoxidem opravený) nebo jiné porézní materiály na různých plochách mohou být chráněny penetračním nátěrem. Obvykle nátěr obsahuje 15-20% epoxidové pryskyřice; po nanesení na povrch nejlépe štětkováním (ale nevylučuje se ani stříkání nebo valečkování) nátěr penetruje do pórové struktury podkladu, vytvoří účinnou podpovrchovou bariéru, která inhibuje migraci vlhkosti a penetrací korozivních chemikálií. Penetrační nátěr nevytváří membránu na povrchu, takže jednak nedojde ke změně vzhledu povrchu jednak se nemění (nezhorší) jeho protikluzné vlastnosti.

### Epoxidové povrchy

Pro ochranu a opravu povrchů vystavených obrusu a opotřebení lze použít epoxidové pryskyřice v různé formě: od nátěrů ve formě tenkých filmů tloušťky 0,05-0,08 mm, silných nátěrů nebo samorozlévacích podlahovin, přes stěrky až k plastmaltám nebo plastbetonům. Vysoká odolnost obrusu je předurčuje k silně namáhaným provozům (obchodní domy, garáže, výrobní provozy atd.). Epoxidové povrchy mohou prodloužit životnost betonových ploch, zabránit porušování a jsou-li aplikovány na epoxidové vysprávky, zajistit trvanlivou opravu.

Při užití epoxidu ve formě nátěrů nebo stěrek je nezbytné, aby pryskyřičný systém byl navržen tak, že nedojde k nadměrným napětím od smrštění a teplotních změn mezi povrchem a betonem, aby se zabránilo delaminaci povrchu vlivem ztráty soudržnosti nebo porušením betonu.

#### Epoxidy v kombinaci s tradičními materiály

V případech, kde je zapotřebí rozsáhlé nahrazení starých povrchů nebo změna výškové úrovně, lze užit epoxidová lepidla v kombinaci s novým betonem. Užití vhodného epoxidového lepidla jako spojovací vrstvy mezi starým a novým betonem (příp. jiným podkladem) zajistí pevnost celého souvrství na úrovni monolitického betonu. K této aplikaci je nezbytné, k zabezpečení úspěchu, použít speciálních epoxidů a tvrdidel; na nanesený povlak epoxidové pryskyřice se bezprostředně, nejpozději do zgelovatění, nanáší čerstvý beton. Epoxidová lepidla zajistí soudržnost mnohonásobně vyšší než dokáže beton sám, ale také vytvářejí nepropustnou membránu, která účinně zastaví migraci vlhkosti z nově umístěného betonu do starého (případně naopak). Nepropustná bariéra vodním parám v tomto místě (stejně jako u všech z epoxidových pryskyřic vytvořených ploch) není však vždy žádoucí; může uzavřít vlhkost a při teplotním spádu, podporujícím migraci vlhkosti k této bariéře, může dojít i k mechanickým poruchám (např. i působením mrazu).

Použití epoxidových přísad do cementového betonu se příliš neosvědčilo, i když při použití speciálních druhů pryskyřice, tvrdidel a urychlovačů podle některých autorů lze dosáhnout významného zlepšení původních vlastností betonu. S ohledem na rozdílné výsledky pokusů, které jsou od dobrých až k výslovně špatným, použití epoxidů jako přísady do betonu se zatím pro praktické užívání nedoporučuje.

Epoxidovou vrstvu lze použít i jako spojovací mezi starým betonem a novým asfaltobetonovým povrchem. Epoxidová vrstva může sama zabránit pronikání vlhkosti nebo agresivních činidel do betonu; ke zvýšení soudržnosti s asfaltobetonem je vhodné opatřit povrch čerstvé epoxidové vrstvy posypem vhodných minerálních částic např. štěrčiku (jako při vytváření protismykových povrchů).

#### Epoxidy pro kotvení a usazování strojů

Epoxidových pryskyřic s ohledem na jejich vysokou soudržnost lze použít výhodně (ať již ve formě čistých pryskyřic nebo melt) pro lože nově usazovaných strojů, fréz a rovněž k zakotvení šroubů, sloupů atd. Tento postup je zvláště výhodný při rekonstrukcích (změnách) provozu, neboť nevyžaduje prakticky žádné bourání.

#### Epoxidy pro lepení

Vysoké soudržnosti epoxidových pryskyřic k většině materiálů lze využít výhodně ke slepování různých materiálů k betonu i mezi sebou. Tyto spoje mohou přenášet za normální teploty vysoká tlaková, tahová a smyková namáhání a je možno je využít i pro zpevnění nebo rekonstrukci nosných prvků.

#### Literatura

- /1/ Baroš, R. A., Epoxidy pro konstrukce a rekonstrukce, stavební ročenka 1980, SNTL, Praha, 1980
- /2/ Base, G.D., Shear tests on very thin epoxy resin joints between precast concrete units, Technical Report TRA/366, Dec. 1962, Cement and Concrete Association, London



Устройство системы отопления и вентиляции



Устройство системы отопления



Устройство системы отопления

рис. 1.

Устройство системы отопления и вентиляции



Устройство системы отопления

Устройство системы отопления