

výrobně technický
měsíčník
pro obor stávir

stavivo

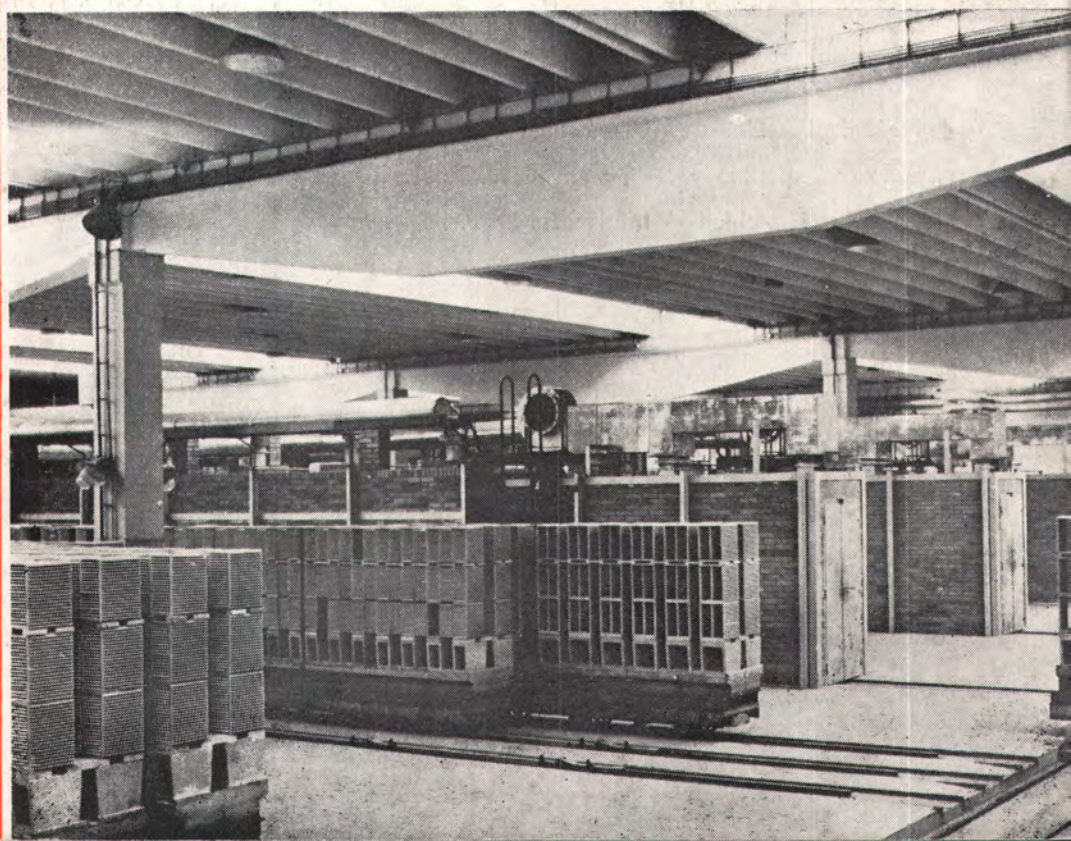
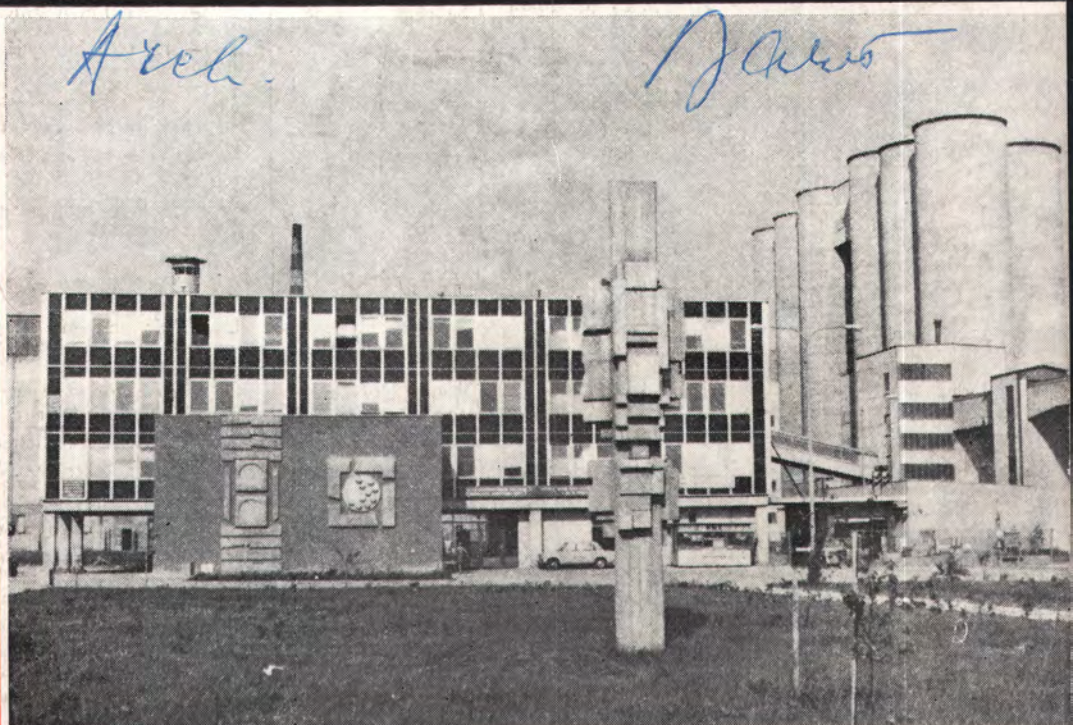
SNTL

svazek 58 / 1980 | 6

obsah

- A. Jech:**
Energetická náročnost
železobetonových stavebních dílců
a montovaných staveb — možné
oblasti úspor — str. 219
- M. Polášek:**
Architektúra a pracovné prostredie
závodov priemyslu stavebných hmôt
v ČSSR — 224
- J. Švancar:**
Nový typ stavoznaku pro zásobníky
sypkých substrátů — 228
- K. Komloš:**
Možnosti použitia kovového odpadu
ako vláknovej výstuže do betónu — 231
- T. Keyzlar, J. Vokurka:**
Zařízení a postup
pro stanovení vznětlivosti
vláknitých tepelně izolačních hmot
s organickým pojivem — 234
- A. Vaněk:**
Volba strojů pro skrývkové práce
a nakládku v kamenolomech
a šterkovnách — 239
- R. A. Bareš:**
Nenasycené polyestery
a jejich vlastnosti — 243
- J. Stuna:**
Některá opatření pro usnadnění
výrobních kontrolních zkoušek
betonu a betonové směsi — 249
- D. Novotný, O. Turek:**
Vývoj nových drtičů a třidičů
v Přerovských strojárnách — 251
- A. Tužek:**
K výpalu vápna v rotačních
pecích — 256
- Normalizace — 262

CENA Kčs 6



STROS

SEDLČANSKÉ STROJÍRNY národní podnik

výrobce prvků lehkých stavebních konstrukcí FEAL, zpracoval pro investorské, projektové a montážní organizace další technické katalogy. V současné době jsou k dispozici:

- Kat. č. 32 Střešní pláště COVERVAR Z (průmyslový střešní plášt) — cena 96 Kčs
- Kat. č. 31-05 Napojení světlíků na COVERVAR — cena 55 Kčs
- Kat. č. 56 Kamenný obklad (montovaný suchý obklad pro vnější i vnitřní použití) — cena 263 Kčs
- Kat. č. 57 Zasklená fasádní stěna (velkoplošné prosklení) — cena 134 Kčs
- Kat. č. 59-01 Vertikální slunolamy — cena 110 Kčs
- Kat. č. 59-02 Horizontální slunolamy (doplňkové fasádní prvky) — cena 76 Kčs
- Kat. č. 71 Kovové příčky (vnitřní montované stěny) — cena 137 Kčs
- Kat. č. 71-01 Příčkové dveře tl. 40 (dveře do kovových příček) — cena 79 Kčs
- Kat. č. 73 Sádrokartonové příčky (příčky pro montáž akustických a protipožárních stěn a obkladů) — cena 136 Kčs
- Sborník Statika (statické výpočty hliníkových nosných prvků) — cena 202 Kčs
- Směrnice pro projektování ocelové konstrukce (pro navrhování OK systému FEAL) — cena 235 Kčs
- Fasádní plášt SIDALVAR — cena dosud nestanovena
- Lamelové podhledy — cena dosud nestanovena
- Destičkový podhled — informační list

**Objednávky přijímají
SEDLČANSKÉ STROJÍRNY, n.p.
úsek vývoje a projekce LP FEAL
Praha 4, U družstva Klid**

Závodní pobočka ČSVTS při Výskumnom a vývojovom ústave mechanizácie a automatizácie tehliarskej výroby (VÚMAT) uspořádá pod záštitou generálního ředitele Čs. cihlářských závodů v Brně cihlářskou konferenci RASCON 80 na téma

ŘÍDICÍ A AUTOMATIZAČNÍ SYSTÉMY V PRŮMYSLU HRUBÉ KERAMIKY

Cílem konference, která se bude konat ve dnech 14. a 15. 10. 1980 v hotelu Patria — Štrbské Pleso, bude seznámit účastníky s novými poznatky z oblastí

- mechanizace prací spojených s manipulací s polotovary a hotovými výrobky
- řízení technologických procesů, včetně využití výpočetní techniky
- měření provozních parametrů a zkoušení výrobků
- racionálního využívání energií
- keramické prefabrikace.

Bližší informace o této akci podá Emil Findl, VÚMAT, 010 04 Žilina — Bánová, telef. 347 41-3 a 341 53-7.

USA. Výzkumnými pracemi na univerzitě v Arlingtonu ve státě Texas bylo prokázáno, že přísadou skleněných vláken typu E, která prakticky neobsahují alkálie, lze zabránit tvorbě trhlin v betonech použitých pro stavbu základů a betonových vozovek. Ve zveřejněné zprávě se uvádí, že skleněná vlákna po roce nevykazují žádné zhoršení vlastností, ani ztráty pevností. Podle názoru odborníků fy PPG Industries, Fiberglass Division, provádějící marketing, může toto řešení být efektivnější variantou ve srovnání s aplikací drahých alkalizodných vláken (možná také vlivem klimatických podmínek).

(Silikatechnik, 1979, č. 7)

NSR. Komplexním výzkumem žárovzdorného betonu vyztuženého ocelovými vlákny, který je určen pro konstrukce v prostředí zvýšených teplot, bylo zjištěno, že tento beton má vysoké pevnosť v ohybu, v tlaku a v rázu, odolnost vůči vibracím a dostatečnou vaznost. Při aplikaci betonu do teplot 400 °C lze použít obyčejných ocelových vláken, při teplotách 400 až 800 °C se doporučují vlákna z oxidované oceli. Optimální množství vláken činí 4 až 6 %, vztaženo na suchou betonovou směs.

(RŽ Silikatyje materialy, 1979, č. 23)

TURECKO. Cementářský průmysl zaznamenal v poslední době prudký rozvoj. Zatímco v roce 1950 bylo v provozu celkem 5 cementáren celkové kapacity 395 000 t cementu a spotřeba cementu činila 25 kg na obyvatele, v současné době je v zemi 35 cementáren a roční produkce cementu se zvýšila na 18 mil. t. Největší společností, zahrnující více než 14 cementáren a zabezpečující asi 35 až 47 % celkové výroby, je Turkish Cement Industries Corporation. V období 1968 až 1978 se výroba cementu zvýšila z 5,0 mil. t na 15,3 mil. t; tomu odpovídá nárůst spotřeby ze 151 na 328 kg na obyvatele. Výhledové tendence počítají s nárůstem spotřeby cementu na 23 mil. t v roce 1983 (tj. 471 kg na obyvatele) a v následujícím pětiletí na více než 34 mil. t (tj. asi 630 kg na obyvatele).

(Zement—Kalk—Gips, 1978, č. 12; World Cement Technology, 1979, č. 8)

Nenasycené polyestery a jejich vlastnosti

Ing. Richard A. BAREŠ, CSc., Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV, Praha

Jedním z rozšířených druhů kompozitních strukturních systémů poslední doby jsou konstrukční materiály na bázi nenasyčených polyesterových pryskyřic, určené převážně pro podlahy lehkých, středních a těžkých provozů.

Polyesterové pryskyřice slouží buď jako základní součást materiálu, když samy nebo mírně plněné fibrilárním či jemnozrnným granulárním plnivem vytvářejí podlahový systém, nebo se jich využívá jako pojiva (matricu) granulárních směsí (plniv) k vytvoření značně únosných podlah. V prvním případě mluvíme o laminovaných podlahovinách (laminovaných stěrkách), používá-li se plniva fibrilárního, nebo o podlahové stěrce, používá-li se plniva granulárního, popř. o lící podlahovině, je-li podíl plniva nulový nebo velmi nízký. Ve druhém případě mluvíme o plastbetonech nebo plastmaltách (v závislosti na tloušťce vrstvy a tím velikosti největšího zrna plniva).

Z hlediska strukturní mechaniky jde v prvním případě o plněná pojiva, ve druhém případě o pojená plniva. Oba systémy se od sebe liší nejen složením a vzhledem, ale zejména silně odlišným mechanickým, fyzikálním i chemickým chováním.

Materiály na bázi polyesterových pryskyřic se značně rozšířily zejména vzhledem k relativní láci používané polyesterové pryskyřice (nenasyčených polyesterů) i s ohledem na velmi dobré vlastnosti i vzhled výsledného produktu. V posledních dvaceti letech nalezy tyto materiály své pevné místo v moderním stavebnictví a lze jmenovat celou řadu velmi úspěšných aplikací v různých odvětvích průmyslu i v hospodářských, sociálních a zdravotních zařízeních. Jak však už bývá téměř pravidlem při vzniku nového materiálu, dochází i zde k aplikacím polyesterových systémů často bez znalosti jejich specifických vlastností, bez řádných znalostí technologie jejich výroby a ošetření, bez znalosti jejich životnosti v různých podmínkách využívání (prostředí), s výsledkem menších či větších neúspěchů nebo i úplných havárií. Nejčastější chybou bývá přenášení znalostí a zkušeností z aplikací tradičních materiálů podobným způsobem zpracovaných (cementové potěry, stěrky, betonové mazaniny, asfaltobetonové koberce atd.) na nové materiály odlišných specifik, dále neporozumění mechanickým a přetvárným vlastnostem strukturních systémů s výrazně odlišnými pevnými fázemi vůbec a polyesterových pryskyřic zvlášť.

V sérii článků si všimneme vlastností nenasyčených polyesterů, některých poruch systémů z nich připravených a příčin těchto poruch a budou uvedeny hlavní zásady správného návrhu, provádění a užití těchto systémů.

Nenasycené polyestery

Historie

Na základě studií T. F. Bradleye, E. J. Kropa a W. B. Johnstona o souvislosti mezi tzv. vysycháním a příčným stěháním pryskyřic s nenasyčenými vazbami v hlavním řetězci lze od roku 1937 sledovat samostatnou historii tohoto druhu polyesterů v rámci hlavního směru vývoje, vtyčeného W. H. Carothersem. Téhož roku se stal nejdůležitějším krokem k praktickému využití těchto materiálů objev C. Ellise — možnost značného zvýšení stupně příčného zesílení přítomností nenasyčených monomerů. Rozvoj výroby začal v USA během druhé světové války se zvyšováním požadavků na vlastnosti lících pryskyřic pro elektronické účely. Poznatky o vyztužujícím účinku skleněných vláken (US Rubber Co. v roce 1942) vedly k dalším důležitým aplikacím v leteckém průmyslu (např. pro kryty radarových antén). Vysoká cena skleněných vláken a některé technologické potíže však vyústily v omezení výroby skelných laminátů po válce, a to ve prospěch odlévacích aplikací. Polyesterové formovací směsi, vyztužené skleněnými vlákny, vznikly v USA okolo roku 1942, podobné směsi obsahující přírodní vlákna vznikly ve Velké Británii v roce 1947. Teprve po roce 1948 pokroky v systému vytvrzování pryskyřic a v povrchové úpravě skla umožnily opětné zvýšení výroby skelných laminátů, které pak od roku 1950 na trhu dominují mezi aplikacemi polyesterů.

Vedle skelných laminátů rozšířilo se postupně využití nenasyčených polyesterů pro výrobu plastbetonů i stěrek prováděných na místě; v posledních letech, s rozšiřováním sortimentu vhodných pryskyřic pro tzv. polní podmínky využití, pak vývoj směřuje spíše k tovární výrobě polyesterových dílců.

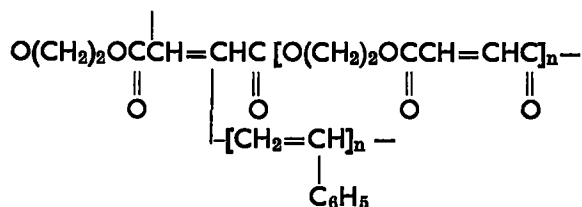
Struktura

Polyestery tohoto druhu mohou být připraveny z různých výchozích látek, vždy však mají v nevytvrzeném stavu lineární strukturu s nenasyčenými dvojnými vazbami v hlavním řetězci. Opakovanou funkční jednotkou je



kde R nebo častěji R' obsahují —CH=CH— skupinu, schopnou vytvářet při kopolymeraci s vinylovým monomerem prostorovou síť. Jednoduchým příkladem je

polyester získaný kondenzací glykolu¹⁾ a maleinové kyseliny²⁾ s etylénem, tuhnoucí kopolymerací se styrénem^{3,4)}:



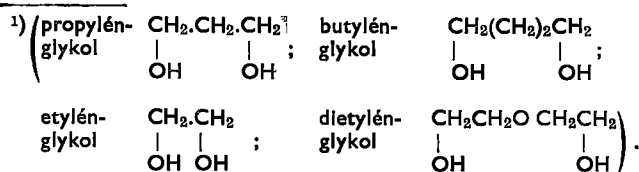
Molekulová hmotnost nenasycených polyesterů je 7000 až 40 000, viskozita se pohybuje od 0,15 do 4 (nebo více) Pa.s, měrná hmotnost od 1,1 do 1,15 g.cm⁻³. Jsou rozpustné v ketonech, ve styrénu, v akrylových, vinylových a allylových esterech, jež jsou obvykle užívány jako ředící monomerní systém.

Přídavkem volných radikálových iniciátorů (např. benzoylperoxid, metyletylketonperoxid) do směsi polyesterové pryskyřice a reaktivního monomeru vyvolá se polymerace a vytvoření přičně zesílené struktury. Při normální teplotě se reakce urychluje urychlovači (např.

TABULKA 1

Obvykle používané vytvrzovací systémy

System	A	B
Tvrdidlo	ketonperoxid, např. metyletylketonperoxid 50% nebo cyklohexanonperoxid 2 až 4 %, min. 2 %	acylperoxid, např. benzoylperoxid 50% 2 až 4 %, min. 2 % nebo benzoylperoxid prášek 7 až 10 %, min. 7 %
Urychlovač	kobalt, např. kobalto-koátový roztok 0,5 až 1 %, min. 0,5 %	amin, např. 10% roztok dietylenanilinu nebo dimetylanilinu nebo (při nízkých teplotách) dimetyl-p-toluidinu 1 až 2 %, min. 1 %
Výhody systému	min. zbarvení vytvrzovacím systémem, citlivost ke vzdušné inhibici, málo citlivé k působení světla, dobré protvrzení	dlouhá skladovatelnost peroxidu v pryskyřici (1 až 4 dny), zvlášť rychlé tvrdnutí na začátku, nepatrná citlivost k vlhkosti a teplotním vlivům
Nevýhody systému	pomalou tvrdnoucí, citlivost k vlhkosti (plniv a pigmentů) a teplotám pod 18 °C, krátká skladovací schopnost peroxidu v pryskyřici (14 až 18 hodin)	probarvení vytvrzeného polymeru, zbarvení působením světla, citlivost k vzdušné inhibici



Ke zvýšení pevnosti a chemické odolnosti se někdy namísto glykolů zavádějí vícesytné alkoholy, které však zvyšují viskozitu a snižují kompatibilitu s ředícím reaktivním monomerním.

²⁾ Z nenasycených kyselin je kromě maleinové $\text{H}-\text{C}(\text{COOH})=\text{CH}-\text{COOH}$

nejčastěji používána fumarová $\text{HOOC}-\text{C}(\text{COOH})=\text{C}(\text{COOH})-\text{H}$;

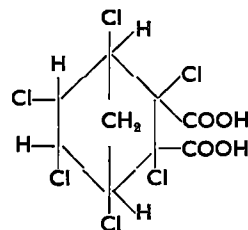
dražší kyseliny s větší molekulární hmotností změkčují

(ítakonová $\text{CH}_2=\text{C}(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{COOH}$, mesakonová $\text{HOOC}-\text{C}(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{COOH}$).

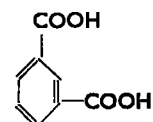
³⁾ Často se přidává některá nasycená kyselina k dosažení větší rozpustnosti polyesteru v reaktivním monomeru a k získání větší ohebnosti vytvrzené pryskyřice. Pro polyester vytvrzující na tuhý konečný výrobek se obvykle používá ftalová kyselina



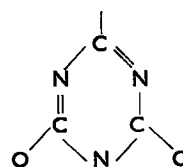
a její izomery; změkčené a houževnaté výrobky se získají vytvrzením kyselinami s rovinnými řetězci [jantarová $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$, adipová $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$, azelainová $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$, sebacinová $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$]. Pro pravu nebořlavých polyesterů se používá hexachloroendometylen-tetrahydroftalová kyselina



Dobrá odolnost vůči vodní absorpci se získá přídavkem nasycených aromatických kyselin (např. ftalové) a alifatických kyselin s dlouhými řetězci (např. sebacinové). Z nenasycených kyselin dává lepší odolnost maleinová než fumarová nebo ítakonová kyselina. Z hlediska tepelné odolnosti přináší nejlepší výsledky izoftalová kyselina

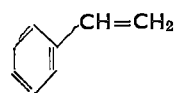


ještě lepší jsou jen polyesterové pryskyřice modifikované silikony nebo pryskyřice vytvrzené triallylkyanurátem



Izofthalová nebo fumarová kyselina přináší lepší chemickou odolnost (než ftalová nebo maleinová kyselina). Pryskyřice obsahující metylmetakrylát jako reaktivní monomer vykazují dobrou odolnost povětrnosti. Na chemickou odolnost má značný vliv také alkoholová složka polyesteru. Bisfenol A [2,2-bis(4-hydroxyfenyl)propan] a 1,3-cyklohexadiol dává zvětšenou odolnost kyselinám, triallylkyanurát je obecně nejlepší.

⁴⁾ Běžné výrobky obsahují 20 až 50 % monomerního styrénu



kobaltnaftenát, dimetylanilin⁵⁾). Během polymerace nevzniká žádná prchavá látka, a proto během výroby není třeba aplikovat tlak. Obvykle používané vytvrzovací systémy jsou uvedeny v tabulce 1⁶⁾.

Reakce vytvrzování je exotermní a množství vzniklého tepla je asi 230 J.g⁻¹ ve dvou hodinách (proti cementu s 293 J.g⁻¹ v 70 hodinách). Objemové polymerační smrštění činí 5 až 8 %.

Obecné vlastnosti

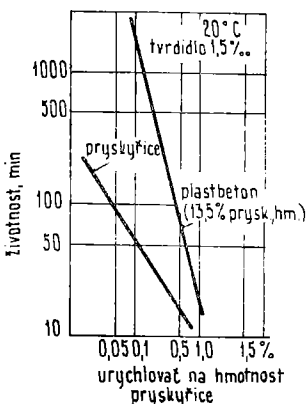
Vytvrzené pryskyřice jsou nerozpustné, netavitelné, křehké až poddajné. Ke zlepšení vlastností se plní minerálními mikropřímky (např. vápencem, břidlicí), nebo se vyztužují skleněnými nebo jinými (např. azbestovými, konopnými) vlákny. Používá se jich i jako pojiva minerálního plniva, přičemž za pojivo se považuje pryskyřice spolu s mikropřímky. Měrná hmotnost vytvrzené pryskyřice je 1,27 g.cm⁻³, se skleněnými vlákny 1,6 až 2,0 g.cm⁻³.

Jaká je životnost směsi čisté pryskyřice a pojeného plniva (s obsahem 13,5 hmotn. % pryskyřice) v závislosti na obsahu urychlovače, je ukázáno na obr. 1 (pryskyřice tetrahydroftalátového typu, viskozita 0,1 až 0,2 Pa.s, katalyzáční systém metyletylketonperoxid-kobalt [1]). Reakci urychluje zvýšená teplota. Např. u předchozího systému je při 30 °C životnost již 3 × kratší.

Nadměrné ředění styrenem vyžaduje doplňkové teplotní ošetření ke zpolymerování zbytkového obsahu monomeru.

Vývoj pevnosti polyesterem pojeného plniva (plastbetonu) s obsahem asi 13 % hmotn. pryskyřice při normální a zvýšené (15 h 70 °C po 24 h při 20 °C) teplotě dobře charakterizuje obr. 2 [4]. Rychlost nárůstu pevnosti může být často důležitější než její hodnota. Z tohoto hlediska je polyester na předním místě mezi plastickými hmotami tvrdnoucími za normální teploty: za hodinu dosáhne běžný systém stejné pevnosti, jako epoxidový za den (a s obyčejným cementem za týden). Existují však systémy, které dosáhnou 90 % své konečné pevnosti asi ve 2 minutách (hodící se ale v důsledku vysoké exotermie jen pro malé objemy, jako zálivky ocelových kotev v betonu nebo hornině apod.). Vysoká rychlost tvrdnutí umožňuje mnoho údržbových prací, které lze provést např. přes víkend nebo dovolenou (průmyslové podlahy, schody apod.), nebo s minimálním omezením provozu (oprava vytluků na betonových vozovkách apod.).

Podle některých autorů je důležité přidávat k dosažení vysokého stupně prostorového zesílení tzv. síťující sílanové činidlo, např. v případě polyesteru ftalátového typu γ-metakryloxypropyltrimetoxisilan v množství asi 1 %

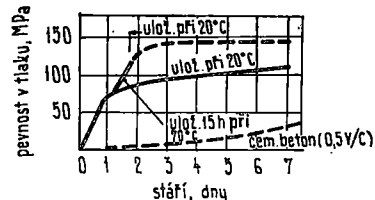


Obr. 1. Životnost polyesterové pryskyřice a plastbetonu v závislosti na množství urychlovače

hmotn. k pryskyřici. Zlepší se soudržnost pryskyřice s plnivem a zvýší se mez, za kterou počnou vznikat mikrotrhliny při zatížení (a tím i životnost, únavová a trvalá pevnost) [4].

Organické peroxidy jsou velmi hořlavé, proto je nutné pečlivě zachovávat při přípravě směsi bezpečnostní opatření. Styrenové páry mohou být toxické; o toxicitě styrenu nejsou však dosud jednotné názory. Většina států se kloní k mínění, že nejde o látku karcinogenní, nevylučují se však nepříznivá působení z hlediska genetického, i když rovněž nebyla jednoznačně prokázána. Proto i hodnoty nejvyšší přípustných koncentrací (NPK) se v různých státech značně liší.

Obr. 2. Vývoj pevnosti polyesterového plastbetonu při různých teplotách ve srovnání s cementovým betonem



V ČSSR platí dosud Metodický pokyn hlavního hygienika ČSSR [6]⁷⁾, podle kterého nejvyšší přípustná průměrná celosměnová pracovní koncentrace styrenu je 200 mg.m⁻³; krátkodobě může dosáhnout až 1000 mg.m⁻³, přičemž ale nesmí být přestoupena předepsaná NPK v průměru za celou směnu⁸⁾. Trvale může dosáhnout obsah styrenu v průmyslových provozech nejvýše 20 mg.m⁻³.

Čichový práh styrenu je opět udáván různými autory různě, v mezích 0,02 mg.m⁻³ až 20 mg.m⁻³. Poslední hodnota však již dráždí sliznice.

Pro komunální prostředí u nás není NPK stanoven, avšak podle doporučení referenční laboratoře č. 17 Institutu hygieny a epidemiologie je navrhováno 0,015 mg.m⁻³ po celých 24 hodin, tj. ani krátkodobě nesmí dosáhnout vyšší hodnoty, i kdyby byl zachován průměr. V SSSR je předepsána tato hodnota NPK jen 0,003 mg.m⁻³. I nižší úrovně styrenových par jsou nepříjemné a znehodnocují stravu.

Podle připravované Základní směrnice o hygienických požadavcích na plasty určené pro styk s požívatiny (ministerstvo zdravotnictví ČR ve Sběru hygienických předpisů) se nepřipouští více než 0,4 % hmotn. styrenu v materiálu vyskytující se v potravinářských provozech, a ne více než 0,1 % hmotn. styrenu v materiálu, který přichází s potravinami přímo (krátkodobě, tj. do 48 h) do styku. Nejvyšší přípustná trvalá koncentrace styrenu v ovzduší v potravinářském průmyslu (a přirozeně i potravinářských skladech) nesmí přitom přestoupit 0,32 mg.m⁻³.

Polyesterů nelze proto užívat v potravinářském prů-

⁵⁾ Reakci kobaltnaftenátu (za přítomnosti vlhkosti) je přisuzována občas pozorovaná změna barvy polyesterových materiálů.

⁶⁾ Podrobnější údaje o vzniku, složení, struktuře atd. nenasycených polyesterů lze nalézt v [3] a [7].

⁷⁾ V letošním roce má vyjít předpis ministerstva zdravotnictví ČR — Směrnice o hygienických požadavcích na pracovní prostředí, který uvedené metodický pokyn nahradí.

⁸⁾ V různých zemích platí tyto hodnoty NPK pracovního prostředí (v mg.m⁻³): USA — 426, NSR — 420, Finsko — 420, Itálie — 200, Japonsko — 200, SSSR — 5, RSR — 200, MLR — 50, PLR — 50, BLR — 5.

TABULKA 2

Krátkodobé vlastnosti obvyklých typů polyesterových pryskyřic

Výrobek	Modul pružnosti (Youngův), MPa.10 ⁻²	Pevnost				Mezní přetvoření v tahu, %
		v tahu, MPa	v ohybu, MPa	v tlaku, MPa	řízová vrubová (IZOD), mm.mm ⁻¹	
Tuhá litá neplněná pryskyřice	35	70	110	150	16	<2
Měkčená litá neplněná pryskyřice	5,5	10	neměřitelné			<65
Běžný laminát, 50–60 % skla, tkanina	250	350	500	250	870	<2
Běžný laminát, 30 % skla, rohož ze sekacných vláken	100	150	200	150	650	—
Vysokopevnostní laminát, 70 % skla, rovnoběžné prameny	400	850	1000	500	3800 ¹⁾	—

1) neutrubová

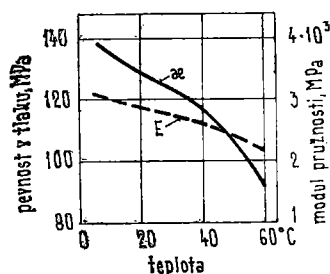
myslu za provozu; pokud jsou z nich předvyrobena prvky, jsou po dokonalém vytvrzení většinou hygienicky nezávadné.

Na světovém trhu jsou polyesterové pryskyřice poměrně levné; cena polyesterového plastbetonu (v roce 1976 v Anglii) byla asi 500 L.t⁻¹ (epoxidový plastbeton asi 800 L.t⁻¹, cementový beton 5 L.t⁻¹). U nás je cena polyesterového plastbetonu asi 4500,— Kčs.t⁻¹ (epoxidový plastbeton asi 9500,— Kčs.t⁻¹, cementový beton ~ 120,— Kčs.t⁻¹).

Mechanické vlastnosti

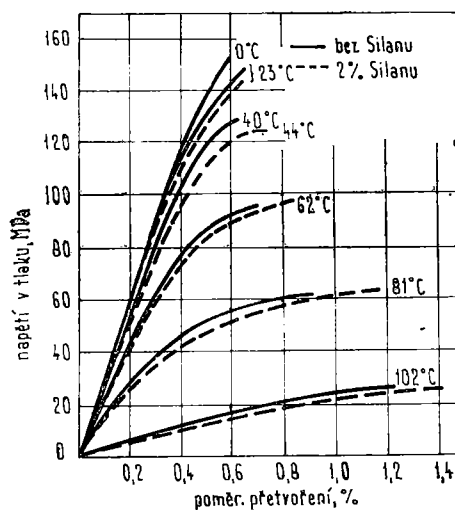
a) Krátkodobé vlastnosti obvyklých typů polyesterových pryskyřic (s tolerancí ± 20 %) jsou uvedeny v tabulce 2. Své dobré vlastnosti si mohou udržet řadu let, pokud jsou dobře příčně zesíťeny. Proces stárnutí je silně ovlivňován složením, typem a množstvím plniva nebo výztuže a zejména stupněm vytvrzení. S rostoucí teplotou mechanické vlastnosti klesají (obr. 3) [9] a výrazně se mění i pracovní diagram, jak ukazuje obr. 4 pro pojené plnivo (plastbeton) s obsahem asi 13 % hmotn. pryskyřice [5].

Veškeré plnivo přidávané do směsí musí být absolutně suché (přesušené na mín. 120 °C po dobu alespoň 30 min).



Obr. 3. Vliv teploty na pevnost a modul pružnosti polyesterové pryskyřice

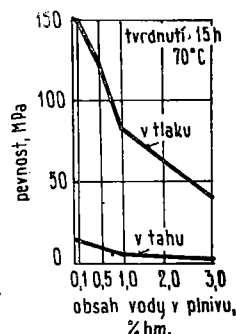
I malé množství vody účinně inhibuje polymerační reakci a mechanické vlastnosti i trvanlivost takových systémů se značně zhoršují, jak např. ukazuje obr. 5 [8] pro pojené plnivo s obsahem pryskyřice asi 22 % hmotn. při vytvrzování ve zvýšené teplotě 70 °C. Při vytvrzování za normální teploty takový systém s obsahem vody nad 1 % neztvrdne vůbec.



Obr. 4. Vliv teploty na pracovní diagram polyesterové pryskyřice

U polyesterových skelných laminátů, zvláště s vlákny z A-skla (alkalického), způsobí ponoření do vody zejména v prvních měsících rychlé a značné zhoršení mechanických vlastností. Vlákna z E-skla (bezalkalického) jsou sice méně ovlivněna, ale i u nich je nezbytná reaktivní povrchová úprava (např. vinyltrichlorsilanem) ke zlepšení tzv. mokré pevnosti⁹⁾. Po třech měsících uložení ve vodě je např. podle [10] zbylá pevnost v ohybu polyesterového laminátu (při 25 °C) u A-skla 40 %, u E-skla 70 %, hmotnostní zvětšení činí po roce 1,1 %. Pevnost laminátů se počne zhoršovat již při zvýšené relativní vlhkosti nad ~ 50 %.

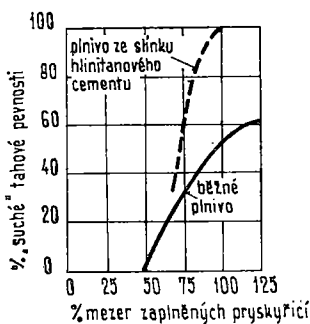
Rovněž u polyesterových pryskyřic plněných minerálními plnivy nebo u pojených plniv (např. plastbetonů) dochází ke ztrátě pevnosti při uložení systému ve vlhku



Obr. 5. Vliv obsahu vody v plnivu na tvrdnutí polyesterového plastbetonu

⁹⁾ Kromě kovalentních vazeb přispívají k adhezi pryskyřice k jiným materiálům (tj. také k plnivu, vláknům) vodíkové vazby. Ty jsou přerušeny nasáknutím vody do kontaktní spáry (např. skrz cementový beton). Po vyschnutí mohou být vodíkové vazby obnoveny, pokud během jejich přerušování nedošlo k přetvoření (posuvu) nebo zaplnění stykové spáry jiným materiálem. Opakované nasákávání a vysychání může vést ke vzniku velkých napětí na styčných plochách, jež mohou být příčinou i vnitřních mikroporuch.

Vlhkost proniká pryskyřicí a atakuje především rozhraní pryskyřice-plnivo. Na obr. 6 je ukázán účinek dvoutýdenního ponoření do vody na pevnost v tahu polyesterového plastbetonu s různým obsahem pryskyřice (a tedy různým obsahem prázdných pórů). I u dobře zaplněného systému se sníží pevnost o 45 %, s rostoucím obsahem nezaplňných mezer (pórů) je snížení ještě markantnější.



Obr. 6. Pevnost polyesterového plastbetonu ponořeného do vody

Pro poloviční zaplnění mezer plniva pojivem je pevnost nulová. Situace se zlepšila s plnivem z cementového slínku, který pro zaplněný systém neukazuje žádné snížení pevnosti. Příznivý vliv má zřejmě nejen velmi drsný povrch plniva (velký měrný povrch), ale i skutečnost, že cementový slínek reaguje s jistým množstvím vody, která pronikne pryskyřicí. Snížení pevnosti závisí též na druhu pryskyřice: tuhé pryskyřice vykazují menší zmenšení než změkčené.

Přes náchylnost nevytvrzené polyesterové pryskyřice ke zmýdelnění v alkalickém prostředí a k inhibici polymerace vlhkostí podařilo se úspěšně vyřešit modifikací cementových betonů přidávkou pryskyřice do čerstvé směsi. Pod názvem Estercrete prodává se v Anglii pojivo, jež je směsí asi 40 % cementu se 60 % polyester-styrénové pryskyřice. Princip spočívá v použití oxidačně redukčních tvrdidel na bázi persulfát-bisulfát. Po dodání vody do směsi portlandský cement hydratuje, což aktivuje přítomné redox-katalyzátory a umožní vytvrzení i organické fáze. Normální pevnosti betonu v tlaku se dosáhne již po 24 hodinách, smrštění je podstatně menší než u polyesterového plastbetonu. Malta (beton) s pojivem Estercrete se používá pro podlahové vrstvy v průmyslových provozech (odolné agresivním činidlům a obrusu) i pro povrchy silnic, jako tmel pro lepení betonových a eternitových trub a pro opravy poškozeného betonu (zvýšená soudržnost) v pozemních a silničních stavbách. Lze použít i na vlhký podklad.

Tvrdoost stoupá s obsahem styrenu a je u tuhých pryskyřic 70 až 115 (Rockwell M) a u změkčených 40 až 90 (Shore A).

Obrusnost polyesterového plastbetonu je asi 5x menší než lisovaného cementového betonu.

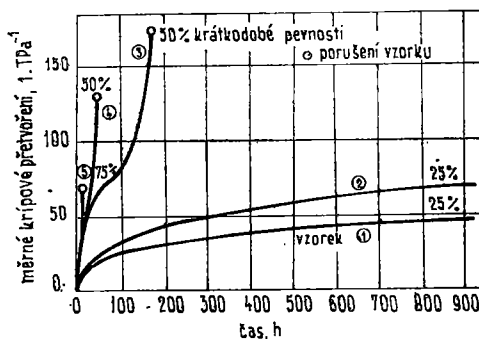
b) Dlouhodobé vlastnosti se od krátkodobých silně liší, v důsledku velkého krípu a únavy může být u dlouhodobě namáhaných laminátů povoleno jen malé procento krátkodobých mezních zatížení. To platí zejména ve vlhkém prostředí, kde bezpečná úroveň dlouhodobého (v letech) napětí může být menší než 25 % krátkodobé pevnosti. Jak se mění trvalá pevnost a kríp u pojeného plniva (plastbetonu) s obsahem pryskyřice 17 % hmotn., ukazuje podle [5] obr. 7¹⁰). Kríповé přetvoření dosahuje po 100 dnech asi devítinásobku krípu cementového betonu.

Kríp polyesterových systémů závisí silně nejen na množství, ale i na druhu plniva. Podle [6] kríp roste rychle s rostoucím obsahem jemných částic v plnivu.

Rovněž vliv teploty na kríp je rozhodující, jak ukazuje např. obr. 8¹⁰) [6] pro pojené plnivo s množstvím pryskyřice 19 % hmotn.

Teplotní vlastnosti

Měrné teplo $\sim 2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Vodivost ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) $\sim 0,20$ (lité, neplněné) až $0,25$ až $0,42$ (lamináty). Součinitel teplotní roztažnosti ($10^{-4}.\text{K}^{-1}$): $0,5$ až $1,0$ (lité, neplněné) až $0,15$ až $0,3$ (lamináty).

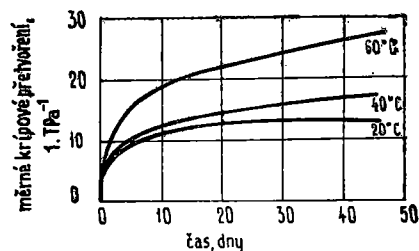


Obr. 7. Kríp polyesterového plastbetonu; 1 TPa = 1 MPa.10⁶

Při nízkých teplotách plněné pryskyřice (skelné lamináty) zvyšují své pevnosti (při -180°C o 50 až 100 % proti 25°C). Tepelná odolnost vytvrzených polyesterů je přibližně dána teplotou rozkladu, tj. 80 až 130°C u neplněných a 100 až 250°C u laminátů s 50 % skla nebo mikroplniva.

Elektrické vlastnosti

Jsou ovlivněny obsahem plniva a vodní absorbcí. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.



Obr. 8. Vliv teploty na kríp polyesterového plastbetonu

Chemická odolnost

Vodní absorbce je silně závislá na druhu pryskyřice (změkčené jsou méně odolné než tuhé).

Propustnost vodní páry filmem tloušťky 1 mm při 25°C ($10^{-12} \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$): neplněné pryskyřice $\sim 3,1$, plněné asi 20 % křemenného mikroplniva $\sim 2,7$. Zvýšením teploty na 50°C vzrostou hodnoty o 60 až 120 %.

¹⁰) Měrné kríповé přetvoření vyjadřuje kríповé přetvoření odpovídající jednotkovému napětí.

TABULKA 3

Elektrické vlastnosti — průměrné hodnoty

Výrobek	Objemový odpor, $\Omega \cdot \text{cm}$	Dielektrická pevnost, $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$	Dielektrická konstanta při 1 MHz	Součinitel výkonu při 1 MHz
Nepříněná tuhá pryskyřice	10^{15}	18	3,5	0,02
Nepříněná změkčená pryskyřice	—	12	5	0,04
Skelný laminát (50 až 60 % skla)	10^{14}	24	5	0,015

Propustnost skelných laminátů je závislá především na druhu povrchové úpravy skla.

Chemická odolnost závisí značně na složení polyesteru a obecně je nižší než u epoxidů. Vytvrzené pryskyřice (běžného typu, tj. z etylenglykolu a ftalové nebo maleinové kyseliny) při teplotách do 50 °C jsou relativně netečné k alifatickým uhlovodíkům (benzín, minerální oleje), nepolárním chlorovaným uhlovodíkům (tetrachlormetanu, tetrachloretylénu), alkoholům, neoxidujícím kyselinám (nízké a střední koncentrace), roztokům solí, organickým

TABULKA 4

Vliv agresivního prostředí

Prostředí	Zbýlá pevnost v ohybu po 1 roce uložení, %
Kyselina sírová 10%	60
Kyselina dusičná 10%	50
Kyselina solná 10%	40
Hydroxid sodný 10%	30
Aceton	55
Benzen	60

NIGÉRIE. Za spoluúčasti sousedního Beninu bude vybudována cementárna roční kapacity 0,5 mil. t, jejíž dodávku „na klíč“ v objemu 565 mil. DK bude zajišťovat dánská fa F. L. Smidth. Hlavními agregáty závodu budou surovinový mlýn Tirax rozměrů 4,6 × 8,25 m × 4,4 m se sušicí komorou, suchá rotační pec s výměníkem tepla rozměrů \varnothing 4,55 × 68 m, výkonu 1600 t, vytápěná olejem, a cementový mlýn Unidan rozměrů \varnothing 3,8 × 12,0 m.

(TIZ Fachberichte, 1979, č. 11)

kyselinám. Bobtnají nebo rozkládají se polárními chlorovanými uhlovodíky (chloroform, trichloretylén), ketony, fenoly, anilinem, estery (etylacetát), alkáliemi (způsobují hydrolyzu), oxidujícími kyselinami. Tříleté zkoušky ukázaly [2], že polyesterový plastbeton bez porušení (nanejvýš se změnou barvy) snáší živočišné tuky, pivo, naftu, řezný olej, mléčné kyseliny, moč. Kyselina octová způsobila podle těchto zkoušek desintegraci, kyselina sírová mírné porušení a bělení.

Skleněná vlákna jako výztuž polyesterů se značně liší v chemické odolnosti. A-sklo se doporučuje pro kyselé prostředí, E-sklo pro alkalické prostředí.

Ponořením do agresivních kapalin (podobně jako do čisté vody) dochází ke značnému snížení mechanických vlastností, jak je ukázáno v tabulce 4 pro laminát s pryskyřicí zvláště formulovanou pro chemické namáhání.

(Lektoroval Ing. Ivo Augusta, DrSc.)

St 47 — březen 1980

LITERATURA

- [1] Algot A.: Artificial slates with a resin mortar base, *Polymers in Concrete*, The Construction Press Ltd., Lancaster 1976. — [2] Browne R. D., Adams M., French E. L.: Experience in the use of polymer concrete in the building and construction industry, *Polymers in Concrete*, Publication SP-40, ACI-Detroit, 1973. — [3] Čermák V., Hájek Z., Mleziva J.: Vytvrzování nenasycených polyesterových pryskyřic I., Vytvrzování čistých pryskyřic iniciačním systémem peroxid-kobaltnaftenát, *Plasty a kaučuk*, 11, 1974, č. 6, str. 165—168. [4] Kobayashi K., Ito T.: Several physical properties of resin concrete, *Polymers in Concrete*, Publication SP-40, ACI-Detroit, 1973. — [5] Lott J., Naus D., Howdyshe P.: Polymer Concrete-Reinforced concrete composite beams, *Polymers in Concrete*, Publication SP-40, ACI-Detroit, 1973. — [6] O posuzování znečištění ovzduší škodlivými plyny a parami a o postupu při povolování výjimek z NPK uvedených v tabulce 3A hygienického předpisu č. 5, sv. 3 Sbírkou hygienických předpisů 1958, *Metodický pokyn hl. hygienika ČSSR*, č. j. HE-343.1—24. 6. 1963. — [7] Mleziva J. a kol.: Polyester, *SNL, Praha 1978*, II. vyd. — [8] Ohama Y.: Mix proportions and properties of polyester resin concretes, *Polymers in Concrete*, Publication SP-40, ACI-Detroit, 1973. — [9] Okada K., Koyanagi W., Yonezawa T.: Thermo-dependent properties of polyester resin concrete, *Polymers in Concrete*, Publication SP-40, ACI-Detroit, 1973. — [10] Roff W. J., Scott J. R.: *Fibres, films, plastics and rubbers*, Butterworths, London 1971.

MEXIKO. Fa Krupp-Polysius AG, Beckum, NSR, dodává strojné technologické zařízení pro rozšíření cementárny Orizaba s kapacitou 1700 t slínku za 24 h na 4100 t. Součástí dodávek zařízení, jejichž montáž má být zahájena počátkem roku 1980 a ukončena v polovině roku 1981, jsou surovinový mlýn výkonu 165 t.h⁻¹, rotační pec s výměníkem tepla Dopol a systémem předkalcinace Prepol AT a cementový mlýn výkonu 135 t.h⁻¹.

(Zement—Kalk—Gips, 1979, č. 12)