

---

**Znalecký posudek  
o příčinách poruch plastbetonových podlah**

**44 stran**

**9. 6. 1981**

---

Ing. CSc. Richard A. B a r e š  
c/o Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
Československé akademie věd  
Vyšehradská 49, 128 49 P r a h a 2

### Z n a l e c k ý   p o s u d e k

o příčinách poruch plestbetonových podlah v plírně propen-  
butanu Opetovice

Oj. 288/214/81

Praha, 9.6. 1981

Dne 20. 11. 1980 požádal me zástupce OPP Říčany, Jiráskova 1519, Ing. Josef Motyčka o podání znaleckého posudku o příčinách poruch plestbetonových podlah v plírně propen-butanu Opetovice. Žádost byla podložena písemnou objednávkou č. 003708 ze dne 13. 2. 1981 tohoto znění:

"Objednávka odborného posudku znalce

Objednáváme u Vás odborný posudek na reklamované deformace plestbetonové podlahy na akci Východočeské plynárny Hradec Králové, závod Pardubice, plírně propen-butanu Opetovice. Další podrobnosti sdělí ved. prev. ing. Josef Motyčka.

Tento znalecký posudek potřebujeme k řízení o náhradě škody."

Dne 13. 2. 1981 přidal mi Ing. Ketyčka tyto podklady:

- zápis ze 17. 10. 1980 v kp. Východočeské plynárny ve věci reklamacce podleh plynárny Opotovice
- zpráva č. 4/10 np. Pozemní stavby Pardubice, podniková zkušebna a laboratoř Úrad ze Bery o ověření technického stavu objektu plynárny Opotovice
- expertisa /či znalecký posudek/ Doc. Ing. Jiřího Tomše ČSe, o poruchách kvality plastbetonu na staveništi plynárny Opotovice.

Protože pojivo plastbetonu bylo dodáno np. Bervy a Isky Praha, požádal jsem prostřednictvím zástupce ČPP Řitany tento podnik o předání technologického reglamentu a technických podmínek tohoto pojiva. Podle sdělení Ir. Otto Absolona, ved. odboru hlavního technologa np. Bervy a Isky, tlumočnicko Ing. J. Ketyčkou, žádné schválené podmínky nebo předpis pro přípravu pojiva nemá. Požádal jsem proto dne 9. 4. 1981 np. Bervy a Isky přímo o zapůjčení výrobního reglamentu a technických podmínek pro tzv. "pojivo pro plastbetony" a "pojivo pro kmeničky". Současně jsem požádal o další technické podklady, které vedly k návrhu těchto pojiv /osmi přetvoření, modul pružnosti, creepové a relaxační charakteristiky, velikost zmrštění, povnosti atd./ - viz příloha 1.

V odpovědi np. Bervy a Isky, kterou jsem obdržel po řadě urgencí 5.5.81, je uvedeno:

K Vašemu dopisu ze dne 9.4.81 a 6.5.81 Vám sdělují, že požadované technické parametry pro "pojivo pro plastbetony" a "pojivo pro kmeničky" nebyly v našem podniku stanoveny. Z toho důvodu Vám nemůžeme poskytnout podrobnější informace.

Prohlídku na místě jsem provedl dne 17. 3. 1981 se přítomností zástupce subdodavatele podlahovin Řířany Ing. Mo-tyčky, zástupce dodavatele stavby a současně zástupce investora kp. Východočeské plynárny, závod 11, s. stav. Fuksy.

Stavební deník nebyl veden. Dokumentace stavby není rovněž k dispozici, dílenské deníky subdodavatele mi byly předloženy dne 9. 4. 1981.

#### Použitá literatura:

R. A. Boreš : znalecký posudek čj. Z 44/154/77

J. Mleziva a kol.: Polyesterý, SNTL, 1978

R. A. Boreš : Polyesterové pláňné systémy, ÚTAM-ČSAV,  
1978/HS10/78

Technologické podmínky pro podlahovinu Betoplast np. Armabeton, 1978

Technické podmínky pro podlahovinu Betoplast np. Armabeton, 1977

#### N á l o z

Předmětný objekt je přízemní budova s ocelovou nosnou konstrukcí. Sestává z vlastní plinárny o ploše 18 x 9 m /162 m<sup>2</sup>/ a manipulačních ramp na třech stranách půdorysu, zastřešených převislou střechou.

Jednotlivé rampy, označené čísly (viz zpráva 4/1B) mají rozměry:

1 . . . 24 x 3 m /72 m<sup>2</sup>/

2 . . . 26 x 3 m /78 m<sup>2</sup>/

3 . . . přední rampa, na které nebyl plastbeton proveden.

Podlaha haly je uložena na podkladním betonu, vybetonovaném přímo na násypu, údajně s izolací proti zemní vlhkosti. Tloušťka betonové desky není známa, projekt na celou budovu není, beton byl starý cca 11 let, po celou dobu sloužil přímo jako podlahovina v provozu plnárny a před pokládáním podlahoviny nebyl nijak upraven.

Konstrukce ramp nezávislá na konstrukci budovy je tvořena dvěma válcovými I profily v podélném směru, podepřenými 4 sloupy ve vzdálenosti 6 m, na nichž spočívají ve vzájemné vzdálenosti 200 cm ocelové profily I č. 14. Na horních přírubách těchto nosníků je uložen profilevaný košický plech /s vnějším rozměrem žebírek 6 x 8 cm, do náhož byla vybetonována nosná deska v tloušťce, jež nebyla udána, s výstuží 4-5 Ø 8/m. K vyrovnaní povrchu nosné betonové desky ramp byla později, po určité době provozu plnárny, nenesena vrstva cementového potěru /tzv. vyrovnávací beton/ v tloušťce 2,5-3 cm. Na tento cementový potěr byla provedena subpodsvatelem podlahovina s polyesterového plastbetonu v celkové tloušťce 2-2,5 cm s povrchovou polyesterovou úpravou s tloušťce 1-7 mm.

Časovou návaznost jednotlivých prací nelze zpětně zjištit, protože stavební deník nebyl veden. Podle dílenského deníku byla podlahovina provedena v období 19. 6. - 26. 6. 1980.

V době provádění plastbetonové podlahoviny byla podle údaje Československé meteorologické společnosti ČSAV Praha v oblasti Pardubic průměrná teplota vzduchu  $15^{\circ}\text{C}$  a průměrná relativní vlhkost 79 % RV; minimální průměrná hodnota teploty v jednotlivých dnech byla  $13,5^{\circ}\text{C}$ , maximální hodnota vlhkosti 88%. Absolutně nejmenší teplota byla zaznamenána 24.6.80 v 7 hod. ráno ( $12,2^{\circ}\text{C}$ ), absolutně největší vlhkost byla naměřena 23.6.80 v 21,0 hod. (100% RV). V tomto období byla srážková činnost průměrná, 1 den deštivý, 2 dny s přeháňkami.

Podle výpovědi zúčastněných stran byla plocha ramp již před prováděním plastbetonové podlahoviny chráněna dodatečně vybudovanými přístřešky před přímými účinky povětrnosti.

Podle údaje zástupce investora s. Fuchse objevily se za cca 1 týden až 10 dnů po zhotovení podlahoviny na některých místech trhliny, orientované převážně kolmo k delšímu rozměru ramp a probíhající celou podlahovinou a cementovým potěrem. U trhlín se pak pošla podlahovina miskovitě zdvihat, částečně i s cementovým potěrem. Pokračujícím provozem došlo ke vzniku dalších trhlín a poruchám u zdvižených částí a k rozvoji i podélných a šikmých trhlín.

V dosud provedených zápisech a zprávách o poruše jsou názory na příčiny poruch rozdílné a vyplývají převážně z jednostranných nebo povrchních rozborů. Některé pasáže těchto materiálů jsou dále citovány.

Zápis ze 17.10.1980:

- 1/ ...na cementový potěr byla po vyztužení, tj. cca po 60ti dnech provedena plastbetonová podlahovina...
- 2/ Popraskání plastbetonové podlahoviny bylo způsobeno oddělením o vsutím cementového potěru od základní, původní betonové podlahy. Spojení plastbetonové podlahoviny s cementovým

betonem je dokonalé. Základní chyba je ve špatné adhezi cementového potěru k podkladnímu betonu...

Zpráva č. 4/1B ze 7. 1. 1981

Průměrná pevnost cementového potěru /podle zkoušek neautorizované zkušebny/ je 15, 8MPa, tedy menší než požadovaných 17MPa. Podle těchto zkoušek je pevnost cementového potěru na rampě 1 vyšší, než na rampě 2 a 3.

Za hlavní příčiny poruch /bez důkazů/ je uvedeno:

- /3/ - nebylo provedeno žádné promíšení pryskyřice s plnivem
- /4/ - povrchová vrstva podlahoviny má tloušťku až 8mm
- /5/ - nebyly dodrženy váhové poměry složek při míšení plastbetonu
- /6/ - nebyl dodržen předepsaný typ pryskyřice
- /7/ - nebyla provedena nebo byla provedena nekvalitně penetrace cementového potěru
- /8/ - podkladní potěr byl převzat bez připomínek.
- /9/ - Důsledkem těchto technologických a materiálových disproporcí byl vznik styrenového šoku plastbetonu, který se projevil značnou povrchovou kontrakcí s vizuálními jevy uvedenými v popisu stavu povrchu ramp. Vnitřní pnutí vyvolané kontrakcí způsobilo rozdílování vrstvy plastbetonu i vyrovnávacího potěru s charakteristické vychýlení směrem nahoru.

Expertise - znalecký posudek z 5. 2. 81:

Posudek této stavební poruchy vypracoval znalec pro obor chemie, odvětví technologie makromolekulárních látek.

- /10/ Předmetem posudku je "zjištění příčiny poruchy plastbetonu projevující se popraskáním v celé tloušťce a tím ztrátou soudržnosti k podkladnímu betonu"
- /11/ ...plastbetonová podlahovina byla provedena během měsíce září 1980, na besí pojivo pro kameníky 132-99-0002 výrobce Barvy a laky np. Praha.

- /12/ ... v krátkém období po dohotovení plastbetonu, konkrétně od jednoho týdne, docházelo k samovolnému popraskání podlahoviny, tedy k poškození /odfouknutí/ od podkladu s prasknutím.
- /13/ ... podkladní beton v hlavní hale byl původní, tj. od roku 1971
- /14/ ... podkladní beton na rampách byl dokončen v květnu 1980
- /15/ ... popraskání v hale i na rampách je totožné ...
- /16/ ... popraskání se jeví jako makroskopické trhliny v nosné vrstvě plastbetonu změněné tloušťky 20 mm a zasahují až do následné vrstvy, která má tloušťku do 1 mm.
- /17/ ... šířka trhliny se pohybuje v rozmezí 1-4 mm.
- /18/ ... plastbeton se uvolňuje od podkladního betonu v celé své vrstvě, lom není drobný, hmota je kompaktní, soudržná
- /19/ ... Prakticky se užívá 1-4% peroxidu + 0,01-0,1% urychlovače
- /20/ ... Proto tyto hmoty jsou označovány jako trojsložkové
- /21/ ... se používá ChS Polyester 200, který je v plastbetonu nepostřehatelný, protože zabraňuje nadměrné smržitelnosti povlaku, zvláště tehdy, nebylo-li použito dilatačních spár.
- /22/ ... ChS polyester 200 neobsahuje žádné reaktivní dvojné vazby a proto příznivě ovlivňuje flexibilitu plastbetonu. Také použitý peroxid může ovlivnit rozsah smrštění, neboť způsobuje exotermii při vytvrzování
- /23/ ... V tom případě ke zhoršení vlastností plastbetonu může dojít i jeho relativně větší tloušťkou, ze které je horší odvod tepla.
- /24/ ... Vytvrzovaná polyesterová pryskyřice je proti působení normální vody dobře odolná, méně již proti vodním parám, zvláště jsou-li uzavřeny pod vytvrzeným povlakem. Vliv povětrnostních podmínek není tak nepříznivý jako u epoxidových pryskyřic.
- /25/ ... Chemická odolnost po neplnění pryskyřice pískem nebo jiným obdobným anorganickým materiálem, tedy odolnost plastbetonu, stoupá v závislosti na poměru jejich poměru pojivo:plnivo. Plnicí substráty musí být suché, jinak je zabráněno vytvrzovací reakci.



- /26/ ... Vlhkost přítomná v písku inhibuje polymerační a kopolymerační reakci styrenu s pryskyřicí; styren se chemicky nezasazuje a naleptává pryskyřice ve spodních vrstvách.
- /27/ ... Řádně vytvrzené plastbetony mají charakter tvrdé houbovité až křehké hmoty jako normální beton ...
- /28/ ... Z toho důvodu je nutné, aby křemenný písek měl vysokou pevnost.
- /29/ ... Čas nutný k úplnému vytvrzení pryskyřice v plastbetonu nezávisí na poměrech pojivo:plnivo, nýbrž na poměru pojivo:iniciátoru /peroxidu/ a urychlovači. Má se volit takový poměr, který zaručuje dobré zpracování směsi po smíchání všech složek ... Časový průběh vytvrzování je při stálých podmínkách stejný.
- /30/ ... pryskyřice nemůže vytvořit v plastbetonu 1:5 až 1:10 souvislou vrstvu.
- /31/ ... Z toho důvodu se na celkovém smrštění plastbetonu uplatňuje hlavně smrštění pryskyřičných obalů kolem zrněk a jen v malé míře kontrakce vlastní pryskyřice uzavřené v dutinkách. Podstatná část smrštění nastává v prvním a v několika málo dnech po vytvrzení ...
- /32/ ... Tepelná roztažnost plastbetonů 1:10 až 1:5 je dva až třikrát vyšší než u normálního betonu.
- /33/ ... Plastbeton s drobnějším plnivem dosahuje vždy vyšší pevnostní hodnoty ...
- /34/ ... Doporučuje se používat tříděný suchý písek o zrnitosti 0,1-1,0 mm a 1-3 mm velikosti.
- /35/ ... účelem penetrace je zpevnění podkladního betonu a zajištění lepší fyzikálně-chemické adheze...
- /36/ ... obsah vlhkosti v betonu nelze zpětně zjistit žádnou metodou
- /37/ zjištěný poměr pojiva k plnivu 1:5,3 zahrnující i povrchovou vrstvu ... odpovídá běžné praxi a pro prostředí skledu by byl vyhovující.
- /38/ ... Jedná se o směs dvou typů polyesterových pryskyřic GHS-105 a GHS-115, které však nesplňují požadavky na plastbetony ... při jejich použití vzniká větší kontrakce vytvrzené hmoty ...

- /39/ ... Smrštění se muselo zákonitě projevit v krátké době ze tří důvodů:  
a/ použitím pojiva s obsahem velmi reaktivních typů  
b/ použitím pojiva bez zvláčňující složky ChS P-200  
c/ relativně tlustou vrstvou plastbetonu.
- /40/ ... Snížená flexibilita plastbetonové hmoty byla prokázána pevnostně tahovou zkouškou.
- /41/ ... Průměrná hodnota extrahovatelného podílu zjištěná na 7 vzorcích byla 12,8%... To tedy napovídá, že stupeň vytvrzení byl nižší, převážně ovlivněn větším dávkováním iniciátoru.
- /42/ ... Správné dávkování iniciátoru lze zjišťovat pouze nepřímou metodou, tj. v tomto případě extrakcí, neboť peroxid se reakcí rozloží...
- /43/ ... Předávkování peroxidu vždy zhoršuje vlastnosti hmoty nežli při dávkování menšího množství.
- /44/ ... Pevnost v tleku a tahu byla provedena na vzorku 4x4x16 cm odfrézováním z většího vzorku plastbetonu.
- /45/ ... zjištěné hodnoty jsou poněkud nižší, nežli by odpovídalo poměru pojiva : písku = 1:5 .
- /46/ ... Příčinou vady je především nevhodná pryskyřice.
- /47/ ... Druhotnou příčinou je snížení pevnosti vlivem mírného předávkování iniciátoru.
- /48/ ... Na vadě se mohla do určité míry podílet také vlhkost podkladního betonu, popř. neúplná penetrace.
- /49/ ... Vada nemá příčinu v podkladním betonu, pokud se týká jeho vlastní pevnosti; beton byl v hale i na rampách karbonisován a vykazoval pevnost nejméně 15MPa.

Vlastní rozbor plastbetonu, resp. jeho pojiva nebyly provedeny a za směrodatnou hodnotu extrahovatelného podílu jako jedné z charakteristik vytvrzeného pojiva je považována hodnota zjištěná analýzou Tomšen. Analýzy ke zjištění stupně polymerace, obsahu iniciátoru a urychlovače, případně styrenu ve směsi, stejně jako rozbor případných rozkladných produktů, jsou tak časově i finančně ná-

ročné, že jejich provedení není v poměru ke vzniklé akodě adekvátní. K alkalické hydrolyse vlivem zabudované vlhkosti zřejmě nedošlo, a její průkaz je proto zbytečný. Průkaz oxidace nebyl rovněž prováděn a bylo použito přiměřeně výsledků podrobné analýsy uvedené ve znaleckém posudku Z 44/154/77 na základě podobnosti vstupních parametrů a vzniklých poruch.

Jako hrubě orientační mohou sloužit i zkoušky pevnosti cementového potěru provedené np. Pozemní stavby.

Uvedený přehled různých tvrzení, které z valné části nejsou v předložených materiálech prokázány, je uveden též proto, že podkladem za nezbytné v posudku k některým bodům zaujmout stanovisko.

Poruchy jsou dokumentovány na dalších obrázcích.

Z podlahoviny a podkladního betonu bylo odebráno celkem 8 vzorků, po dvou z rampy 1 x 2 a čtyři z haly.

Jednotlivé vzorky lze charakterisovat takto:

Vzorek 1 - střed haly: hrubozrný bezbarvý plastbeton s monofrakčním pojivem o tloušťce 14-16 mm; vyrovnávací vrstva z čisté pryskyřice o tloušťce cca 3 mm; povrchová vrstva žlutá, cca 1 mm. Penetrace provedena, pronikla do hloubky cca 1 mm. Odděluje se od betonové podlahy s penetrovanou vrstvičkou. Povrch betonu zřetelně špinavý.

Vzorek 6 - okraj haly u rampy 2: jemnozrný, bezbarvý plastbeton s povrchovou vrstvou cca 1 mm, vyrovnávací vrstva z čisté pryskyřice o minimální tloušťce charakteru nátěru. Beton podlahy jemnozrný, pórovitý, rozpadavý, s pevností nepřesahující 10 MPa.



**Obr. 1** Pohled na rampu s oddělenou podlahovinou a podkladním cementovým potěrem od konstrukčního betonu



**Obr. 2** Detail porušené podlahoviny, oddělené od konstrukčního betonu spolu a podkladním cementovým potěrem



Obr. 3 Detail porušenej podlahoviny, oddelené od konstrukčného betonu spolu s podkladným cementovým petčrem



Obr. 4 Detail porušenej podlahoviny, oddelené od konstrukčného betonu spolu s podkladným cementovým petčrem



Obr. 5 Trhlinami porušená podlahovina rampy s konvexním vydatím okrajů.



Obr. 6 Trhlinami porušená podlahovina v hale svědčící o snížené pevnosti nosné vrstvy plastbetonu a průniku vlhkosti a podkladního betonu.



Obr. 7: Trblins povrchové vrstvy podlahoviny pokračuje v plastbetonu i podkladním betonu (hala)

Vzorek 7,8 - střed haly: pouze podkladní beton.

Vzorek 4 - rampa 1, u vnějšího okraje, na úrovni zadní obvodové zdi haly: jemnozrný, dobře granulovaný, pevný plastbeton o tloušťce cca 20 mm; penetrace provedena, pronikla do hloubky max. 1 mm; spojovací vrstva o tloušťce 1-2 mm provedena, vyrovnávací vrstva z čisté pryskyřice cca 1 mm, povrchová vrstva žlutá cca 3 mm. Od betonu lze oddělit s penetrovanou povrchovou vrstvičkou betonu, která nebyla zřejmě před penetrací odstraněna. Spontánně se rozděluje horizontální spárou v plastbetonu, cca 4 mm nad spodním povrchem, podložka se odděluje od konstrukčního betonu i s touto vrstvou plastbetonu.

Vzorek 5 - rampa 1 v sousedství haly, přibližně uprostřed šířky rampy: jemnozrný, dobře granulovaný, pevný plastbeton o tl. cca 22 mm; penetrace a spojovací vrstva provedena stejně jako u vzorku 4; vyrovnávací vrstva 1-2 mm, povrchová vrstva cca 3 mm. Lze oddělit od podložky s povrchovou vrstvičkou betonu; beton podložky porézní, s velkým vodním součinitelem, špatně zpracovaný.

Vzorek 2-rampa 2 v těsném sousedství haly: jemnozrný, dobře granulovaný, pevný plastbeton, tl. cca 13 mm, vyrovnávací vrstva 0 - 3 mm, povrchová vrstva cca 2 mm; penetrace a spojovací vrstva charakteru nátěru provedena, lze oddělit s povrchovou vrstvičkou betonu, místy lipí beton podložky na plastbetonu dokonale /ne lze oddělit/; beton pórovitý, rozpěšavý, s minimální pevností.

Vzorek 3 - rampa 2 uprostřed šířky, u předního okraje: jemnozrný, dobře granulovaný, pevný plastbeton, tl. cca 23 mm, penetrace a spojovací vrstva o tl. cca 1 mm provedeny, dokonale lipí na betonové



podložce; vyrovnávací vrstva z čisté pryskyřice cca 0,5 mm, povrchová vrstva pod 1 mm. Beton podložky se odděluje od konstrukčního betonu snadno.

Byla stanovena vlhkost jednotlivých vzorků k orientační představě o vlhkosti podkladního betonu. Protože zejména na rampách byl plastbeton pevně spojen s vyrovnávacím betonem, byly hodnoceny vzorky plastbetonu spolu s betonem. Nasákavost plastbetonu samotného je zanedbatelná a zjištěnou vlhkost obsahuje proto převážně beton. Přesnou hodnotu však nelze stanovit; v další tabulce jsou proto uvedeny jednak zjištěné vlhkosti na celých vzorcích, jednak odhadnuté hodnoty vlhkosti betonu /podle odhadu podílu hmotnosti plastbetonu a betonu ve vzorku/.

Vzorek	Vlhkost celého vzorku	Vlhkost betonu
1 /hala/	0,52%	beton nebyl odebrán
6 /hala/	10,3%	11,1% /přesně/
4 /rampa 1/	1,44%	2,8% /odhad/
5 /rampa 1/	3,69%	6,6% /odhad/
2 /rampa 1/	4,08%	8,2% /odhad/
3 /rampa 2/	5,16%	8,0% /odhad/
7 /hala pod trhlinou/	5,05%	5,05% /přesně/
8 /hala pod trhlinou/	4,99%	4,99% /přesně/

## P o s u d e k

### 1. Skladba konstrukce

#### A) Rampa

U rampy, která je vystavena působení atmosférických podmínek, zejména změně teploty a relativní vlhkosti ovzduší, je ve zvýšené míře nezbytná dobrá spolupráce všech vrstev systému. To vyžaduje jednak dobrou chemickou i fyzikální kompatibilitu vrstev, jednak shodnost dilatačních celků všech vrstev. Jestliže např. v základní vrstvě - nosné betonové desce se vytvoří v důsledku hydratačního smrštění, změny teploty nebo napětí od zatížení tzv. dilatační trhliny, /která se střídavě otvírá a zavírá/, je nezbytné jí respektovat ve všech následných vrstvách, tedy cementovém potěru i plastbetonu. Totéž platí pro plastbetonovou podlahovinu, vytvořila-li by se taková trhlina o šířce větší než 0,2 mm /např. v důsledku hydratačního smrštění/ pouze v cementovém potěru.

Pokud se tato zásada nedodrží, nezbytně musí vzniknout dřívě nebo později s ohledem na relativně nízké mezni tahové přetvoření plastbetonu, samovolná trhlina i v následné, původně bezesparé vrstvě. Navíc při takovém samovolném vzniku trhliny, kopírující trhlina ve spodní vrstvě, dojde v důsledku značně zvýšených horizontálních smykových namáhání většinou i k horizontálnímu oddělení vrstev v okolí trhliny. Pokud ještě v systému existuje větší průměrná napjatost /např. v důsledku polymeračního smrštění

a zvláště při vertikálně nehomogenním uspořádání podlahové vrstvy/, může dojít po vzniku tekové trhliny i ke sdivhání okrajů vlivem kompozitního působení systému.

V daném případě lze mít zato, že zejména v cementovém potěru, vzhledem k jeho malé tloušťce, relativně velkému vodnímu součiniteli a minimální soudržnosti s podkladním betonem, byly před pokládáním plastbetonu smršťovací trhliny přítomny /i když to zpětně nelze přímo dokázat/.

Na rampách jsou skladovány vozíky s naplňnými plynovými bombami. Do jednoho pole /mezi sloupky/ se umísťuje 16 vozíků o hmotnosti 4 800 kg, tj. celkové zatížení v jednom poli je 12,8 t. Pole jsou zatěžována nerovnoměrně, takže může nastat případ, že některé pole je zatíženo zcela, zatímco druhé je téměř bez zatížení. Ocelové průvlaky jsou připojeny k přírubám sloupů z Ič. 20 přes nevěřený styčnickový plech na svých čelích prostřednictvím 6-ti šroubů  $\varnothing$  12. Betonová deska je uvažována v tloušťce 6 cm nad horním povrchem prolamovaných plechů.

#### Průvlaky:

Zatížení - $(12,8/2) \cdot 6$ . . . . .	1,07 t/m
vl. tíha - průvlek . . . . .	0,036 "
nosníky 1,77.0,0144.3/6 . . . . .	0,012 "
bet. deska $\frac{0,08 \cdot 0,06}{0,22} + 0,06/ \cdot 2,4 \cdot 1,77$	0,347 "
podložka /vyr. beton/ 0,03.2,4.1,77 . . . . .	0,127 "
plastbeton 0,025.2,1.1,77 - v v v v . . . . .	0,092
Celkem	1,684 t/m

S ohledem na částečné vetknutí

$$M = 1/10 \cdot 1,684 \cdot 6^2 = 6,06 \text{ tm}$$

$$\sigma = 606000/354 = 1712 \text{ kg/cm}^2 > 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Průhyb: } y = 0,00620 \frac{1684 \cdot 6^4 \cdot 8}{4250 \cdot 10} = 2,55 \text{ cm}$$

Průhyb pouze vlivem užitečného zatížení

$$y = 0,00620 \frac{1070 \cdot 6^4 \cdot 8}{4250 \cdot 10} = 1,62 \text{ cm}$$

Nosníky: Zatížení - užité 12,8 · 2,0/6 · 3,55 . . . . .	1,20 t/m
stálé - vl. tíže . . . . .	0,014 "
bet. deska, podložka, plastbeton . . . . .	<u>0,019 "</u>
Celkem	0,653 t/m

$$M_1 = 1/2 \cdot 0,6^2 \cdot 0,653 = 0,117 \text{ tm}$$

$$M_2 = 1/8 \cdot 2,35^2 \cdot 1,853 - 0,117 = 1,162 \text{ tm}$$

$$\sigma = 116200/81,9 = 1419 \approx 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Průhyb: } y = 0,0012 \frac{653 \cdot 2,35^4}{573} + 0,00620 \frac{1200 \cdot 2,35^4}{573} = 0,042 + 0,396 = 0,438 \text{ cm}$$

Průhyb pouze vlivem užitečného zatížení 0,396 cm.

Nad nosníky na ose sloupů (nebo v její blízkosti) vzhledem k malému stupni vetknutí průvlků do sloupů bude křivost betonové desky podstatně vyšší, než uprostřed průvlků. Křivost /pouze od

působení užitečného zatížení/ na první podpěře pravoúhelníku za předpokladu úplné spojitosti a pružného chování je

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1,07 \cdot 10 \cdot 3,6 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 4,25 \cdot 10^3} = 5,39 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$$

Tomu odpovídající poměrné přetvoření horních vláken stejně se deformující spojitě vrstvy podlahy /beton + plastbeton/ je

$$\epsilon = 5,39 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 55,5/24 = 0,0015 = 0,15 \%$$

Za předpokladu prostého nosníku bylo by rozvětvení nad podporou

$$\Delta l = 55,5 \cdot 300 \cdot 0,0000468/2 = 0,390 \text{ cm, což rozděleno na polo-} \\ \text{viční vzdálenost nosníků 100 cm dává poměrnou deformaci} \\ 0,390/100 = 0,00390 = 0,39\%$$

Pravdivá hodnota bude někde mezi oběma uvedenými, pro celší úvahy je uvažován průměr, tj. 0,27%.

Mezní přetvoření cementového betonu je zhruba 0,006%, mezní přetvoření plastbetonu /podle druhu pojiva/ 0,07-0,1%, mezní přetvoření polyesterové krycí vrstvy /podle druhu pryskyřice/ 2-10%. Ve všech případech je vznikající přetvoření od zatížení větší, než mezní přetvoření použitých materiálů /kromě povrchové vrstvy/ a muselo u nich tedy dojít ke vzniku trhlin. Ke vzniku trhliny v povrchové vrstvě, nebo horizontálnímu oddělení vrstev po vzniku trhliny v podkladních vrstvách musí již pak dojít bezprostředně. Aby v konstrukci vznikající přetvoření od zatížení byl schopen materiál přenést, musel by mít modul

přetvárnosti při porušení nižší než 3500 MPa, což nelze dosáhnout ani u cementového betonu, ani u plastbetonů a běžných modifikací polyesterových pryskyřic, vyhovujících i ostatním požadavkům provozu /tvrdost, odolnost obrusu, pevnost, odolnost vodě atd./.

Velké teplotní změny, kterým je rampa vystavena, vyžaduje dále jednak co nejdokonalější soudržnost jednotlivých vrstev, jednak co nejbližší hodnoty součinitele teplotní roztažnosti. Při rozdílných součinitelích teplotní roztažnosti pak rozhoduje vzájemný poměr modulů pružnosti /krátko i dlouhodobých/ obou sousedních vrstev, poměr tahových pevností, poměr mezních přetvoření a poměr viskoelastických vlastností. Vrstva s větším součinitelem teplotní roztažnosti by měla mít menší modul pružnosti, vyšší pevnost a vyšší schopnost creepu /nebo relaxace napětí/.

V daném případě cementový potěr v důsledku zřejmě většího vodního součinitele, drobnějšího pláve a zřejmě většího obsahu cementu než nosná deska bude mít součinitel teplotní roztažnosti vyšší, pevnost nižší, modul pružnosti přibližně stejný, creep vyšší a mezní přetvoření nižší a tak horním požadavkům na rozhraní nosného betonu a cementového potěru je vyhověno nedostatečně. Plastbetonová vrstva bude mít součinitel teplotní roztažnosti vyšší, stejně jako pevnost, mezní přetvoření a creep, a nižší modul pružnosti proti cementovému potěru a horním požadavkům na rozhraní cementového potěru a plastbetonu je kvalitativně vyhověno. Povrchová vrstva podlahoviny bude mít značně vyš-

ší součinitel teplotní roztažnosti /s také polymerační smrštění/, nižší modul pružnosti, vyšší pevnost a vyšší mezní přetvoření i creep než vrstva plastbetonu. Kvalitativně je požadavek na rozhraní plastbetonu a povrchové vrstvy sice splněn, avšak kvantitativně se srovnání příslušných hodnot fyzikálních veličin a vznikajících napětí je požadavek splněn jen ve speciálních případech /pro speciální druhy pojiva a při malé tloušťce této vrstvy/.

Vznik poruchy trhlinou od vlivu změny atmosférických podmínek /nebo hydratačního či polymeračního smrštění /je dále závislý na dokonalosti spojení se sousední vrstvou, jejich relativních vlastnostech, tedy na možnosti přenosu vznikajících napětí do celé sestavy. Protože spojení plastbetonové vrstvy a povrchovou vrstvou podlehoviny je dokonalé /dané i kohezními vazbami/, nebezpečí vzniku trhliny v povrchové vrstvě samé nebo oddělení od neporušené vrstvy plastbetonu je téměř vyloučené. Spojení plastbetonové vrstvy s cementovým potěrem je dáno jednak adhesí, jednak smykovou pevností zakotvených provazců polymeru do pórů potěru, je-li dobře provedena penetrace. Jinými slovy může být spojení plastbetonu s cementovým potěrem velmi dobré. Nebylo-li ale odstraněna před penetrací z cementového potěru vrstvička vytvořená vždy na povrchu betonu z lehkých podílů cementu a štěrku, případně na povrchu usazené nečistoty, dosáhne se penetrací pouze dobrého spojení této vrstvičky s plastbetonem.

Slabým místem celého systému z tohoto hlediska zůstává spojení starého betonu s cementovým potěrem /dané jen slabou adhesí/, pří-

padně zmíněné vrstvičky cementového potěru s jeho jádrem /soudržnost je zde prakticky nulová/.

Vrstva plešbetonu s povrchovou vrstvou podlahoviny je prakticky voče a paronepropustná. Rovněž ze spodu je systém uzavřen zcela nepropustnou /až na spáry/ vrstvou z ocelového plechu. Pokud by tedy v celém systému před pokládáním plešbetonu bylo nadměrné množství vlhkosti /nad technickou rovnovážnou vlhkost/, mohlo by dojít při vzniku negativního teplotního spádu /povrch chladnější než spodek systému/ k difuzi a transportu vlhkosti k hornímu povrchu, pod nepropustnou podlahovinu, hromadění této vlhkosti v kontaktní zóně s nepříznivému fyzikálnímu /rozklínovacímu/, stejně jako chemickému /hydrolyzačnímu/ působení na plešbetonovou vrstvu. Neštěstí v daném případě může dojít k negativnímu teplotnímu spádu u ramp jen s výjimkou, a když, tak jen po omezenou dobu, a tak vliv případné uzavřené vlhkosti v systému jeho životnost neovlivní. Proto zde nelze, ani částečně, přičíst vznik poruch vlivu uzavřené vlhkosti s výhradou, že vlhkosti je v systému uzavřeno tolik, že může dojít za chladného období k mechanickému rozrušení betonu zmrzlou vodou v jeho pórech. Zjistěné hodnoty uzavřené vlhkosti uvedené v nálezu jsou však natolik nízké, že ani k tomuto jevu nemohlo dojít.

Z předchozího plyne, že vznik trhlin na rampách je zákonitý: je způsoben jednak poměrnou měkkostí konstrukce /včetně přetěžování některých prvků/, jednak nevhodnou skladbou celého stropního systému. Žádná obdobná dostupná podlahovina při stejné koncepci



celého systému by nemohla bez poruch obstát. Skutečně zjištěné poruchy - hlavní trhliny v oblasti negativní křivosti /v blízkosti podpor/ a oddělení cementové podložky od nového betonu uvedený výklad jednoznačně potvrzují. Méně vhodné složení použité polyesterové pryskyfice může celý proces urychlit. Nepříznivě mohly situaci ovlivnit poměrně nízké teploty a zejména vysoká relativní vlhkost ovzduší, jež byla po celou dobu provádění vyšší, než povolená hodnota podle technických podmínek pro Betoplast (60% KV). Dochází k retardaci vytvrzování plastbetonu, tedy pomalému nárůstu nebo i zastavení růstu jeho pevnosti.

### B. Hala

V ČSSR běžně používané polyesterové pryskyfice nejsou odolné alkalické hydrolyse a při použití styrenu jsou vždy náchylné k oxidaci, a to tím více, čím jsou více měkčené.

Bylo již zmíněno, že velmi nepříznivě může působit na polyesterovou podlahovinu vlhkost přítomná v podložce. V hale je podkladový beton uložen na násypu a stejně nedostatečně izolován od zemí vlhkosti vodotěsnou izolační vrstvou. Tato zemní vlhkost může proniknout betonem až k nepropustné podlahovině a zde se koncentrovat, jsou-li vhodné teplotní podmínky. Dlouhodobě přítomná vlhkost spolu s přítomnými alkalickými ionty vyplavenými z cementového betonu může způsobit hydrolyzu polyesterové pryskyfice v plastbetonu /nejdříve v jeho spodních vrstvách/, jež jsou prováděny smáknutím plastbetonu a ztrátou vnitřní koheze.

K poruchám polyesterové podlahoviny na podkladě, který není oddělen vodo- a paronepropustnou zábranou od podlahy, a není tedy

zele zabráněno pronikání vlhkosti od podkladu k podlahovině, dojde náležitě dříve či později vždy. Proto není povoleno podle EP ap. Arsbeton pro Betoplast polyesterovou podlahovinu na tekové podklady provádět.

Analogie s jinými obdobnými případy porušení plastbetonové podlahoviny /viz znal. posudek Z 44/154/77/ budí podezření, že zde došlo k oxidaci vzdušným kyslíkem ještě ne zcela zpolymerované pryskyfice, provázené rovněž snížením plastbetonu a ztrátou vnitřní koheze. K tekové oxidaci může dojít např. při příliš dlouhé době tuhnutí. Příčinou pomalého vytvrzování může být nedostatek iniciátoru, urychlovače nebo naopak přítomnost vody nebo vlhkosti ve formě par jako retardátoru. Ke stejnému jevu může dojít i v případě, že ve směsi je přítomno nadměrné množství styrenu, který je často nevhodně vázán ke zlepšení zpracovatelnosti jak výrobcem pryskyfice, tak plastbetonu; zdali se tak v daném případě stalo či nikoliv, nelze zpětně zjistit.

Při částečné oxidaci styrenu se tento nezabudovává do sítě vznikajícího polyesterového duroplastu; přitom peroxid styrenu, jako meziprodukt oxidace, může být i polymerní povahy a jeho vznik může vyvolat dojem tuhnutí nosné vrstvy, ovšem se relativně delší čas a pouze přechodně. Oxidaci podporuje, jestliže plastbeton nebyl dostatečně dobře zpracován /zhuštěn/, nebo bylo-li použito nevhodné granulometrie plniva /např. monofrakční systém s velkou nezerovitostí/. Množství kyslíku obsaženého v směsi při přípravě plastbetonu /kyslík okluďovaný na zrnkách písku, rozpouštěný ve vo-

dě, dodaný do směsi při mechanickém promíchávání směsi/ prováděpodobně dostačuje k tomu, aby tento kyslík při povlelu a nedostatečně probíhající polymeraci napadl látky, schopné oxidace /zejména dosud nepolymerovaný styren/. Oxidaci nesvědčuje vysoká vlhkost při provádění, i zjištění, že betonová podložka je porézní, a 5 až více než 10% vlhkosti a oxidace mohla pokračovat i po zakrytí povrchu tvrdou povrchovou vrstvou. Nižší nedopolymerované látky v polyesteru jsou navíc schopny působením organických rozpouštědel /tedy i styrenu, benzaldehydu atd./ měknout a zvětšovat svůj objem, čímž se vytváří značné tlaky, schopné poškodit strukturu plastbetonu i povrch podlahy.

Vnější projevem v takových případech bývá - zejména při namáhání povrchové vrstvy většími teplotními změnami - poprštění povrchové vrstvy a horizontální rozdělení buď samotné povrchové vrstvy od plastbetonu, nebo částí povrchové vrstvy a částí tloušťky plastbetonu od další plastbetonové části chemicky porušené.

Oprávněná domněnka o oxidaci pryskyřice vede k podezření, že systém nebyl správně /ve správných proporcích a správným způsobem/ míšen a zpracováván a jeho tvrdnutí probíhalo neúspěšně pomalu. K tomu mohla přispět i poměrně nízká teplota a vysoká relativní vlhkost prostředí při provádění podlahoviny.

### Podložka - cementový potěr

Na starý beton byl na respách proveden cementový potěr /vyrovnávací beton/ v tloušťce do max. 3 cm. V takové tloušťce vrstvy nelze počítat s dlouhou konstrukční životností; obvykle dojde brzo po dohotovení k odtrhávání této vrstvy od podkladu, k trhlinkování nebo jinému porušování. Provedení cementového potěru či vyrovnávacího betonu na starý beton v takové tloušťce /zejména v exteriérových podmínkách/ nejen že odporuje zkušenostem fenešlné praxe, ale přímo odporuje i ustanovení technických podmínek np. /rasbeton pro podlahovinu s polyesterového plastbetonu, kde se výslovně stanoví nejmenší tloušťka betonové podložky 5 cm.

Poruchy systému skutečně prokázaly, že soudržnost cementového potěru k nosnému betonu byla nedostatečná. Navíc, jak již zmíněno v předchozím bodě, složení a konzistence směsi, daná zpracovatelností v tak malé tloušťce do vyžadované rovinnosti pro podložku plastbetonu, přináší nezbytně sebou poměrně nízké pevnosti, velké smrštění s velkou pravděpodobností vzniku poruch /trhlinek/. Proto také podle ČSN 744505 největší délka betonové vrstvy bez dilatace je 9 m.

Částečně to prokazují i zkoušky pevnosti betonu této vrstvy, provedené v podnikové laboratoři np. Pozemní stavby. I když nelze tyto zkoušky brát za průkazné, když nebyly provedeny úředně autorizovanoukušebnou, a i když připustíme použití soudnítlale

0,95 /jehož volba přináší zřejmě příznivější výsledky než jsou ve skutečnosti/ při vyhodnocování pevnosti podle tvrdosti zjištěné Schmidtovým sklerometrem, je zjištěná průměrná pevnost 15,5MPa /min. 13,5MPa/ menší než požadovaných 17 MPa pro podložku plastbetonu. Podle subjektivního názoru znalce jsou skutečné pevnosti daleko nižší, beton je drobivý, pórovitý, s pevností pod 10MPa.

Z uvedeného lze mít za prokázané, že podložka plastbetonu je nevyhovující z těchto důvodů:

- nedostatečné tloušťky
- nedostatečné pevnosti
- nedostatečné soudržnosti s nosným betonem.

Kromě toho je nanejvýš pravděpodobné, že, jak již bylo zdůrazněno dříve, byly ještě před pokládáním plastbetonu v potěru trhliny, nebo byl oddělen od nosného betonu. Tuto domněnku, i když je oprávněná, nelze dnes prokázat.

Podložku plastbetonu v hale tvoří starý beton, který po dlouhou dobu sloužil jako podlaha v provozní prostora. Beton je dostatečně pevný, avšak před pokládáním podlahovinny nebyl očištěn od různých nečistot, zanesených do povrchové vrstvy betonu dlouhým provozem. Proto také soudržnost s každou další, nově pokládanou vrstvou musí být značně snížena nebo zcela likvidována.

Plastbeton s povrchovou vrstvou

Plastbetonová podlahovina byla vyrobena na základě technologického předpisu no. Armabeton pro podlahovinu Betoplast. OPF Řířeny vlastní schváleny technologický předpis nemají. Proti uvedenému technologickému předpisu byl postup výroby upraven takto:

- namísto směsi pryskyřice ChS 104 a ChS 200 v hm. poměru 9:1 bylo použito pojivo np. Barvy a laky, označované jako "Pojivo pro kamenický průmysl 132-99-0002", určeného k výrobě plastbetonových, většinou deskových prefabrikátů. Toto pojivo je složeno ze

77 hm. dílů	ChS P 105
19 " "	ChS P 115
5 " "	styrenu.

- nebyla provedena vyrovnávací vrstva a její přebroušení před nanesením povrchové vrstvy, nebo byla nahrazena vrstvou ze samotné /neplněné/ polyesterové pryskyřice.

- povrchová vrstva byla na některých místech provedena s ohledem na předchozí bod ve větší tloušťce, než předepsaných 1-1,5 mm.

Obvykle dodávané pojivo pro plastbetonové podlahoviny od np. Barvy a laky má naprotitomu složení

86 hm. dílů	ChS P 105
9 " "	ChS P 200
5 " "	styrenu.

Podle údaje výrobce podlahoviny bylo, na základě jeho objednávky na "pojivo pro plastbetony", np. Barvy a leky dodáno jako rovnocenné náhrada "pojivo pro kameníky". K ústní reklamaci závažný dodávky byl odběratel ujistěn, že rozdíl ve složení jsou zanedbatelné takže lze tyto pryskyřice bez obav zaměnit.

Předepsané množství iniciátoru je 4% hm. D 7001 /totožné s ChS FVI/ a 0,6% hm. D 7300 /2% kobaltu/.

Podle posudku doc. Tomše je extrahovatelný podíl a vytvrzeného plastbetonu v průměru 12,8% hm. Zda je tato hodnota normální, nebo vyšší, bylo by možno objektivně stanovit pouze ze srovnání se vzorkem připraveným laboratorně ze stejných surovin a za stejných podmínek prostředí po celou dobu tvrdnutí. Prof. Kleziva /VŠCHT Pardubice/ ve své knize Polyestery, SNTL, 1978 uvádí na str. 404: "I při stokrátovém zreagování polyesterových dvojných vazeb nescházíme u univerzálních typů polyesterových pryskyřic značný extrakt. Je to zřejmě podíl ftalátového, prakticky nasyceného polyesteru, který se nemůže zabudovat do prostorové sítě. Menší extrakt je u pryskyřic isoftalátových /ChS P 141/ nebo chemicky odolných /ChS P 220, 221/. Na str. 403 též publikace uvádí pak příklad hodnot chloroformového extraktu při tvrdnutí 30 dnů při 20°C /s 1% resp. 2% hm. iniciátoru P VI a s 0,5% hm. urychlovače U 1/10/:

ChS P 104 - 13,2 resp. 13,3%

ChS P 116 - 11,3 resp. 11,7%

Ze srovnání s těmito hodnotami lze považovat zjištěný extrakt za nevybočující z průměru. Může svědčit i o tom, že použitá pryskyřice obsahuje dostatečné množství změkčujícího ftalátového, prakticky nasyceného polyesteru.

#### A. Rampy

Plastbeton na rampách je podle subjektivních pozorování všech zúčastněných tvrdý, nedrolivý, pevný, tedy dobře vytvršený /což podmiňuje i dobré smísení s správné poměry složek/. Údaje v posudku doc. Tomše o pevnosti plastbetonu zjištěné zkouškou na vzorcích nikoliv odebraných z podlahoviny /i když je nejasné, jak mohly být vzorky 40x40x160 mm vyřezány z vrstvy o tloušťce 20 mm, jak byla zkouška uspořádána, tj. na které straně byla povrchová vrstva, kolik břemen atd./ nevybočují z obvykle docahovaných hodnot. Stanovení, zda jsou pevnosti větší či menší bylo by možno objektivně učinit jedině na základě srovnání s laboratorně vyrobenými vzorky ze stejného materiálu, stejným způsobem, tvrdnoucích za stejných podmínek a stejně starých. Protože pevnost plastbetonu jako strukturního systému ovlivňuje celá řada činitelů, nelze vyvodit bez takového srovnání a bližšího /neř. podrobného chemického/ rozboru žádný konečný závěr o vlivu pouze některého činitele. Veškeré takové úvahy by sůstávaly jen na úrovni povrchní, sofistické diskuse.

Penetrace podle údaje výrobce podlahoviny byla provedena



acetonovým roztokem téže pryskyfice jako bylo použito pro podlahovinu. Mikroskopické ohledání vzorků potvrzuje, že penetrace byla skutečně provedena a že penetrační roztok pronikl do hloubky cca 0,2-1 mm. Z odebraných vzorků je dále patrné, že před pokládáním plastbetonu byla na povrch penetrovaného povrchu betonu nanesena slabá vrstva samotné pryskyfice, jak je doporučeno v technologickém předpisu np. Armabeton. Taková vrstva jednak zajišťuje lepší smočení penetrovaného betonu a tím lepší spojení s vlastním plastbetonem na pojivo chdiším, jednak po nanesení povrchové vrstvy napomáhá k vytvoření systému vertikálně méně nesymetrického a tím k omezení nepříznivého tzv. kompozitního působení systému /ohybání/.

Horní povrchová vrstva podlahoviny má tloušťku podle odebraných vzorků cca 1 - 2 mm, s výjimkou výhodnější části zadní rampy, kde byla zjištěna tloušťka až 7 mm. Posledně uvedená tloušťka je nadměrná, podstatně větší než je předepsána technologickým předpisem np. Armabeton 1-1,5 mm/ a pro napjatost systému nepříznivá /stejně jako použití vyrovnávací vrstvy se samotnou pryskyfice/ jak pro své velké polymerační smrštění, tak pro svůj velký součinitel teplotní roztažnosti, tím velkou hodnotu akumulovaných napětí a nepříznivý účinek zejména z hlediska kompozitního působení systému. Při výskytu jakéhokoli porušení celistvosti podlahoviny /trhliny nad dilatací, pobrazení atd./ tato zvýšená tloušťka povrchové vrstvy má velmi negativní vliv na další rozvoj poruchy. Granulometrické složení plniva rovněž

vrstvy plastbetonu je vyhovující, jsou zastoupeny správnými průměry v přijatelném poměru.

Z uvedeného lze sít se prokázat, že na rampách plastbetonová vrstva, povrchová vrstva, penetrace i styková vrstva byly provedeny, že byly míšeny ve správném poměru a dostatečně účinně a byly správně vytvrzeny.

Nedostatkem je neprovedení tmelicí vrstvy a její přebroušení a nahrazení této vrstvy vrstvou ze samotné pryskyřice a dále neděrná tloušťka povrchové vrstvy v některých místech. Pro exteriérové podmínky je vhodnější vůbec povrchovou vrstvu na plastbeton neaplikovat.

## B. Hala

Na rozdíl od ramp byl v hale pro výrobu nosné vrstvy použít hrubší, převážně monofrakční křemičitý písek. Zesílení na oxidaci pojiva svědčí o tom, že vytvrzení probíhalo pomalu, např. použitím nevhodného /neúčinného/ iniciátoru nebo jeho poddávkování, či poddávkováním urychlovače, s ohledem na vnější podmínky. Důvodem poddávkování může být např. i dodávka jiného iniciátoru, než je pro pojivo předepsán bez upozornění na změnu jeho dávkování /záměně P IV za PVI apod./ . Oxidaci mohlo podpořit též špatné zpracování plastbetonu, nedostatečné vysušení plniva a další technologické vlivy. U plastbetonu uvedeného oxidací se rovněž rychleji a výrazněji

může uplatnit hydrolysa pojiva při dostatečném přísunu vlhkosti z podkladu k podlahovině. Hydrolysa i oxidace probíhá rychleji v místech s vyšší teplotou, tedy u různých tepelných zdrojů.

Z uvedeného lze mít za prokázané, že v hale nebyl plešbeton proveden dokonale a nebylo zabráněno pronikání vlhkosti od podkladu k podlahovině. Obě důvody společně jsou příčinou vznikajících poruch plešbetonu a jeho povrchové vrstvy.

#### Použité materiály pro podlahovinu

Pro přípravu podlahoviny bylo použito jiné pojivo, než obvykle dodavatel podlahoviny používá a než je obsaženo v technologickém předpisu, který použil. Jde nyní o to posoudit, jak mohla tato změna ovlivnit vlastnosti podlahoviny, případně přispět ke vzniku poruch.

Obecně platí pro polyestery tyto zásady:

- čím je pryskyřice reaktivnější, tím je hustěji zesíťována, je pevnější, odolnější, ale také křehčí
- čím je větší číslo kyselosti, tím je pryskyřice reaktivnější a po vytvrzení má větší tvrdost, tvarovou stálost se teplem a pevnost

- čím je pryskyřice více nasycená, jinými slovy čím je méně dvojných vazeb, schopných zabudování do prostorové sítě, tím je polymer ohebnější, ale také měkčí, méně pevný, méně tvrdý a méně chemicky odolný.

V další tabulce jsou srovnány některé vlastnosti použitých pryskyřic a pryskyřic podle technologického předpisu jednak podle materiálových listů výrobce Spolku pro chemickou a hutní výrobu Ústí nad Labem, jednak podle charakteristik, uvedených ve shora zmíněné publikaci str. 414-418.

Pryskyřice	číslo kyselosti mgKOH/g	míselnost se styrenem %	obsah styrenu % sušiny %	Charakteristika
ChS P 104	max 30	nejm. 35	33±1,5 67±1,5	universální středně reaktivní třalový typ pro skelné lamináty
ChS P 105	20 - 30	nejm. 55	30±1,5 70±1,5	nižereaktivní měkčí typ pro nátěrové hmoty
ChS P 115	max. 30	nejm. 80	34±1,5 66±1,5	výšereaktivní tvrdší propylenglykolový typ pro nátěrové hmoty a lamináty s větší tepelnou odolností
ChS P 200	max. 35		30±1,5 70±1,5	změkčující pryskyřice na bázi kyseliny adipové

Některé mechanické vlastnosti dvou základních pryskyřic ChS P 104 a ChS P 105 jsou v další tabulce

Pryskyfice	teb. pevnost MPa	ohyb. pevnost MPa	tisk. pevnost MPa	ráz. houčev- natost Jon <sup>-2</sup>	Young. modul MPa	tvrdost Brinell pro 10 sec MPa
ChS P 104	40-60	70-90	135-195	0,2-0,4	3600	90 - 110
ChS P 105	25-35	65-75	100	0,2-0,3	3000	50 - 74

Z uvedených tabulek vyplývá jak podle čísla kyselosti, tak popisu podle prof. Wlezivy i podle mechanických vlastností, že pryskyfice ChS P 105 je značně měkčí než pryskyfice ChS P 104 /i když výrobce jí řadí mezi tzv. tvrdé typy/. Podle údajů v těchto tabulkách lze očekávat, že směs 90% ChS P 104 a 10% ChS P 200 nebude výrazně měkčí /ještě vůbec/, než použitá směs 76% ChS P 105, 19% ChS P 115 a 5% styrenu a její použití pro výrobu plastbetonů lze proto podle názoru znalce považovat za vyhovující. Toto tvrzení je však pouze odhadem, podloženým rozбором vlastností jednotlivých pryskyfic a objektivní srovnání by mohlo být provedeno pouze na základě laboratorního zjištění mechanických vlastností obou směsí. Toto laboratorní srovnání bude provedeno z časových důvodů znalcem až později a nemůže být zahrnuto do tohoto posudku.

Podle vyjádření np. Barvy a laků neexistuje pro výrobu obou pojiv ani technologický reglement, ani technické podmínky. Výrobce nemá k dispozici ani objektivní hodnoty mechanických a fyzikálních vlastností obou pojiv, které by mohly použití pojiv blíže specifikovat /modul pružnosti, modul přetvárnosti, mezní přetvoření, pevnost, creep, relaxační charakteristiky, smrštění, součinitel teplotní roztažnosti atd./.

Pro polymeraci doporučuje výrobce pryskyfice /Spolek/ pro pryskyfici ChS P 105 použít 10% hm. d. P-katalysátoru IV a 0,1-0,5 hm.d.

P-urychlovače 1/40. Pro prykyfici ChS P 115 doporučuje výrobce 3% P-katalysatoru V a 1% P-urychlovače 1/10. Výrobce pojiva np. Barvy a leky dodává k polymeraci P-katalysator VI a urychlovač se 2% kobaltu; doporučená množství podle něj jsou:

P-katalysator VI max 4%, urychlovač 0,6% .

Protože bylo v robcem podlehoviny zjištěno na přednátné stavbě (podle sdělení Ing. Motyčky) pomalé vytvrzení materiálu při obvyklých dávkách iniciátoru(2-3%), bylo množství iniciátoru zvýšeno až na povolené maximum 4%. Z tohoto důvodu byla i část podlehoviny provedená na respě i stržena a nahražena novou, při níž bylo použito většího množství iniciátoru. V hale, kde se prováděl plastbeton nejdříve, byl ponechán přesto, že pomalá polymerace byla pozorována, nebyly však přitom zjištěny žádné zjevné prasky.

Jak bylo prokázáno autorem tohoto posudku /viz soubor zpráv ÚTAM " Makromolekulární hmoty jako konstrukční materiál v inženýrském stavitelství", je vhodné při výrobě plastbetonů zvýšit k dosažení jejich dokonalého vytvrzení množ-

ství udávané výrobcem pro čistou pryskyřici cca o 20%, tedy v daném případě horní mez množství iniciátoru P VI by bylo ve shodě s údajem výrobce (Spolek) 3,6% na pojivo.

Zhoršení kvality plastbetonu zvýšeným množstvím iniciátoru nepřichází proto v daném případě v úvahu. Ostatně, jak uvádí prof. Mlexiva v již zmíněné publikaci na str. 407, se stoupajícím množstvím peroxidu se pouze zmenšuje relativní molekulová hmotnost síťujících řetězců a konverze monomeru, což v takovém strukturním systému jako je plastbeton má jen malý vliv na konečné mechanické vlastnosti /pevnost pojiva zejména není rozhodujícím činitelem/. Škodlivý účinek však může mít naopak nedostatek iniciátoru.

Prof. Mlexiva na str. 404 uvádí taxativně možné nedostatky při vytvrzování, jak jsou dále uvedeny. Přebytek iniciátoru není v tomto výřtu uveden.

Příčiny nedotvrzení /podle prof. Mlexivy, str. 404/:

1. nedostatečný obsah peroxidu nebo urychlovače
2. velký obsah inhibitoru v pryskyřici
3. příliš malý obsah aktivního kyslíku v peroxidu
4. použitý iniciátor obsahuje zbytky fenolu, inhibujícího polymeraci
5. příliš velký obsah urychlovače
6. příliš nízká teplota vytvrzování
7. vlhkost, která značně zpomaluje vytvrzování /vlhkost působí spíše jako retardér než inhibitor/

8. vzdušný kyslík při vytvrzování v tenkých vrstvách ruší kopolymeraci
9. příliš velký obsah styrenu
10. nevodné /např. alkalické/ plnivo, inhibující vytvrzování.

V daném případě použité pryskyřice mají proti obvykle používaným jednu důležitou výhodu: větší mísitelnost se styrenem. Styren je totiž relativně špatně rozpouštědlo a proto jsou polyesterové molekuly shluknuty v aglomeráty velké až 100  $\mu$ m. Po vytvrzení se pak stíhají hustě zesítěné oblasti a řídké zesítěným /interpartikulárním/ materiálem a vlivem změny obsahu styrenu v jednotlivých částech se značně mění i mechanické vlastnosti. V méně hustě zesítěných, interpartikulárních oblastech je polymer náchylnější ke vzniku trhlin. Čím lépe je polyester se styrenem mísitelný, tím toto nebezpečí je menší a stejnorodost vlastností je lepší. Nejvýznamnější se uplatní tato okolnost u povrchové vrstvy podlahoviny, která je tvořena prakticky jen pojivem.

Část nereagovaného styrenu i nerozloženého peroxidu zůstávají vždy u systémů vytvrzovaných při obyčejné teplotě delší dobu ve hmotě pryskyřice. Není proto udivující a na závadu, jestli po destrukci podlahoviny obě tyto složky jsou v materiálech cítit.

Z uvedeného lze vyvodit, že použité směs pryskyřic v pojivu 0002 np. Barvy a laku je použitelná i pro přípravu plastbetonů ve formě bezesparé podlahoviny.



Nedostatečné množství iniciátoru a případně urychlovače pro plastibeton haly může být vážnou příčinou jeho poruchy. Skutečně použitá zvýšení množství iniciátoru a urychlovače pro zhotovení ramp leží v příslušném intervalu a nemůže mít vliv na vzniklé poruchy podlahoviny.

#### Některé poznámky k předchozím vyjádřením a posudkům

Jak již bylo řečeno, pro vyjasnění problému je nezbytné vyrovnat se i s různými tvrzeními, názory a názory předchozích pozorovatelů. Řada otázek byla již vysvětlena nebo dotknuta v předchozích kapitolách, některé další otázky jsou stručně zmíněny dále.

Body 2,3,5,6,7 nejsou ničím prokázány a není třeba se jimi zabývat. Bod 9 - k tzv. styrenovému šoku může za jistých podmínek dojít v případě, že styren přítomný v pryskyřici se nezasazuje do struktury polymeru. Takovým případem je např. epoxidová pryskyřice ředěná styrenem. V polyesterové pryskyřici však je styren jako síťující činidlo podmínkou prostorové polymerace, do struktury polymerních řetězců je tedy chemicky svázan a ke zmíněnému jevu nemůže dojít /pokud není v systému enormní přebytek styrenu/. Proto nemůže dojít ani k pozdější náhlé nadměrné kontrakci nebo nadměrnému zvýšení vnitřní napjatosti atd.

Znalec doc. Tomáš posuzoval problém především z hlediska své profese technologa makromolekulárních látek a snažil se nalést

příčiny v nedostatecích makromolekulárního pojiva. Jeho závěry mají jistě své opodstatnění při posuzování pojiva samotného ať již ve formě solidu, nebo tenkého, např. nátěrového filmu. U strukturálních systémů typu plastbetonu nebo plněného pojiva však okolnosti, ovlivňující samotné pojivo /až na hrubé chyby/ hrají obvykle minoritní úlohu a jsou převáženy vlivy strukturálními; takové systémy mají zcela odlišné chování než čisté makromolekulární hmoty a pro jejich přípravu platí zcela odlišné zákony, i když v nich jednou fázově a geometricky spojitou fází je syntetická pryskyřice. Dalšími základními faktory jsou interakční vlivy mezi jednotlivými částmi konstrukční soustavy a konečné chování celé konstrukční soustavy jako celku.

Navíc podle konzultace s. doc. Tomšem mi nebyly sděleny některé podklady dostatečně přesné a vzorek podlahoviny, který posuzoval, nebyl odebrán z objektu, ale ze skládky, kam výrobce podlahoviny deponoval nesprávně provedené a stržené části podlahoviny.

Přesto <sup>že</sup> větší část posudku se přímo netýká vyšetření příčin poruch na předmětné stavbě, považuje autor za vhodné doplnit nebo upřesnit některé tam uvedené úvahy nebo doporučení, které by snad mohly vést k mylnému výkladu, s důsledkem pravděpodobného vzniku poruch ve stavební praxi i při jiných aplikacích polyesterového plastbetonu.

Bod 19 - Potřebné množství urychlovače je podle výrobce 0,1-1%, podle prof. Mlezivy 1-2% /podle obsahu Co/. S ohledem na velkou teplotní kapacitu plniva se doporučuje u plastbetonů zvýšení výrobcem udané hodnoty pro čistou pryskyřici o 10-20%.

Bod 21 - přítomnost ChS Polyesteru 200 nesníží podstatně smrštění plastbetonu: působí jako změkčovač a tím přináší hmotě zvýšené viskoelastické chování. Vytvoření dilatací v plastbetonu na nedilatované podložce situaci vyvolanou polymeračním smrštěním a teplotními dilatacemi vždy zhorší; dilatace je třeba naopak provést v plastbetonu vždy, je-li dilatace /nebo trhliny/ v podložce. Pak jsou nezbytná taková opatření, která okraj plastbetonu do podkladu pevně zaskotvují.

Bod 23 - u plastbetonu se "větší tloušťka" může být považována tloušťka nad 20 cm. V tloušťce 2 cm s ohledem na velkou teplotní kapacitu plniva má exothermie zanedbatelný vliv na průběh polymerace.

Bod 24 - Vliv povětrnostních podmínek je podle řady našich i zahraničních zkoušek daleko nepříznivější u polyesterových než u epoxidových pryskyřic. Proto se polyesterové plastbetony nedoporučují pro exteriérové aplikace /viz techn. podmínky pro Metoplast/, a když, tak pouze bez povrchové neplněné vrstvy, s maximálním množstvím plniva ve směsi.

Bod 25 - Chemická odolnost plastbetonu je závislá výhradně na chemické odolnosti pryskyřice za předpokladu, že plnivo samo agresivnímu působení odolává.

Bod 26 - Vlhkost přítomná v písku pouze retarduje polymeraci /viz /2/ nebo /3/ /. V systému vždy zůstává bez škodlivých účinků jisté množství styrenu a peroxidu nezpolymerováno / /2/, str. 307 /.

Bod 30 - Pryskyřice vytváří v systému 1:5-1:10 hmotn. rázově i geometricky spojitou infrastrukturu

Bod 31 - Největší vliv na smrštění má smrštění pryskyřice v pórech

Bod 32 - tepelná roztažnost plastbetonů 1:5-1:10 je o 80-40% větší, než u betonu

Bod 33 - Plastbeton s drobnějším plnivem při stejné mezerovitosti a stejném relativním množství pojiva dosahuje vždy nižších pevností než s hrubším

Bod 34 - Doporučuje se používat písek skládaný ze složek s pítržkou.

### Z á v ě r

Provedené rozbory a analýsa problému prokázaly, že příčin poruchy plastbetonové podlahoviny je několik, konkrétně v pořadí podle důležitosti /příspěvku k poruše/:

#### V případě ramp:

- podložka nedostatečně tlustá, na poměrně "měkké" konstrukci, s nedostatečnou přilnavostí ke konstrukčnímu betonu, s nede-

státní pevností a nepochybně s řadou směřovacími trhlin, které se mohou při zatěžování /provozu, teplotou/ otvírat

- měkká konstrukce ramp, jejíž důsledkem může být jednak vznik trhlin příčných i podélných v konstrukčním betonu k podložce /neř. pod sloupy/, jednak značné deformace /průhyby/, které při nedokonalosti podložky a jejich styku s konstrukčním betonem a plastbetonem mohou vést ke smykovému porušení styků i kopírování trhlin betonu plastbetonem
- nevhodnost polyesterového plastbetonu s polyesterovou povrchovou nepropustnou vrstvou do exteriéru v důsledku malé odolnosti UV záření
- na některých místech nadměrná tl. útku povrchové nebo povrchové a tzv. vyrovnávací vrstvy
- poměrně nízké teploty a vysoká relativní vlhkost prostředí při provádění
- působení vlhkosti v podkladu ať již primární nebo sekundární /nanesené do konstrukce po vzniku prvních poruch/, jež urychluje rozvoj poruch
- nejisté složení použitého pojiva pro něž chybí u jeho výrobce technické podmínky, menší množství iniciátoru v relaci k nízkým teplotám prostředí při provádění.

V případě ramp tedy vznik poruch souvisí s nevhodným návrhem konstrukce a uspořádání podkladních vrstev a nebyly shledány tak závažné chyby v přípravě nebo složení plastbetonu nebo jeho povrchové vrstvy, které by samy mohly poruchy způsobit.

### V případě haly

- pronikání vlhkosti od podkladu k podlahovině, vznik hydrolysy polyesterové pryskyřice provázené ztrátou pevnosti plastbetonu a jeho soudržnosti k podložce a následný vznik trhlin v povrchové vrstvě
- oxidace polyesterové pryskyřice vyvolané pomalým průběhem polymerace plastbetonu v důsledku poddávkování (nebo zhoršené kvality) iniciátoru příp. urychlovače ve vztahu k okolní teplotě a vlhkosti nebo retardace vlhkostí přítomnou v nevhodně granulovaném plnivu, nebo neakónalým míšením a zpracováním plastbetonu a podpora oxidačního procesu přítomnou vlhkostí podkladu; vnějším odrazem popsanych chemických procesů je vznik trhlin v jisté části tloušťky plastbetonu a v povrchové vrstvě, u nich nebyly zjištěny technologické závady
- nejisté složení použitého pojiva, pro něž chybí u jeho výrobce technické podmínky.

V případě haly je tedy vznik poruch důsledkem jednak nevhodné podl. žky, umožňující pronikání vlhkosti od podkladu, jednak chyb technologie provádění podlahoviny.

### N á p r a v a p o r u c h

#### A. Rampy

Po odstranění podlahoviny i cementového potěru s důkladným očištěním /vysaštěním/ povrchu doporučuje se osadit a pevně do kon.

strukčního betonu zakotvit obvodové úhelníky k vytvoření nezávislých polí 6 x šířka rampy. Doporučuje se provést plastbeton podle technologických podmínek np. Armabeton /včetně použitých materiálů/ a zejména dbát na to, aby povrchová vrstva byla co nejalebší. To vyžaduje ovšem dokonalé rovinnosti podlahoviny před jejím nanášením, což lze zajistit pouze vytselením a přebroušením podle technologického předpisu. Pokud by bylo nezbytné zachování současné výškové úrovně, lze použít tlustší vrstvy plastbetonu, nebo provést položení nové vrstvy cementového potěru do čerstvého epoxidového tmele /např. Retenol 2 s tvrdidlem Resenil PV konc./ k zajištění dokonalé soudržnosti s novým betonem.

Průvlaky by měly být zesíleny tak, aby jejich namáhání /s tím i deformace/ odpovídalo pro dané zatížení požadavkům čsl. norem pro navrhování. Pokud taková rekonstrukce nebude provedena, je třeba zajistit, aby zatížení na rampě nepřekračovalo povolenou hodnotu podle únosnosti stávající konstrukce.

### B. Hala

Část, kde se objevily poruchy, je třeba odstranit až na podkladní beton. Po očištění betonu se provede epoxidová penetrace, epoxidová spojovací vrstva /např. Retenol 2 s Resenilem PV konc. nebo aminoamidovým tvrdidlem/ a do čerstvého tmele /nezetvrdlého/ se uloží plastbetonem epoxidové nebo polyesterové bázi. Povrchová vrstva by neměla překročit maximální přípustné hodnoty podle tech

nologického předpisu a je doporučené u okrajů podle-  
hovinu zakotvit buď do předem osazených úhelníků, nebo so-  
silením okrajů vytvořením plešbetonového žebra o výšce cca  
5 cm s pozvolným přechodem do běžné tloušťky podlahoviny.



*Richard Boreš*  
Richard A. Boreš

Znalecká doložka:

Znalecký posudek jsem podal jako znalec jmenovaný rozhodnutím  
ministra spravedlnosti ze dne 11. 10. 1967 č. 121/108/67 pro  
základní obor stavebnictví, pro odvětví stav. a stavební  
práce a stavební inženýrské a stavební inženýrské.

Znalecký úkon je zapsán pod číselným označením ..... znaleckého  
úkonu.

Znalečné a náhradu nákladů (nákladů) účtuji podle přílohy  
likvidace na základě dokladů čis. ....





Ing. OSc. Richard A. B a r e š  
o/o Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
Československá akademie věd  
Vyšehradská 49, 128 49 P r a h a 2

BARVY a LAKY ap.

Českomoravská 29, P r a h a 9

Praha, 9. 4. 1981

Válení soudruzi,

pro podání znaleckého posudku o příčině poruch polyesterových podlahovin potřebuji některé podrobnější údaje o jejich výrobcích: "pojiva pro plastbetony" a "pojiva pro kameniky".

Žádám Vás proto o zapůjčení výrobního reglamentu na obě pojiva a o technické podmínky a další informace, na jejichž podkladě jste nepochybně technické podmínky sestavovali. Jde mi zejména o -

- modul pružnosti
- creepové resp. relaxační charakteristiky
- modul přetvárnosti (při porušení)
- mezni přetvoření v tahu a tlaku
- revnosti
- velikost polymeračního smrštění
- součinitel teplotní roztažnosti
- příp. strukturální a jiné charakteristiky, jako je stupeň nasátí, prům. délka molekul atd.
- stejnorodost výsledků,

a to opět pro obě pojiva.

Vškeré zapůjčené materiály a neoficiální (nepublikované) informace budou sloužit pouze pro služební účely a nebudou dále nijak rozšiřovány.

Kromě toho bych rád znal, jaké informace poskytuje zákazníkům při případném nedostatku některého z pojiv o jejich změnitelnosti.

Děkuji za spolupráci a brzkou odpověď a zůstávám s pozdravem

R. A. B a r e š