

# MONOLITICKÉ VYZDÍVKY SE ZKRÁCENÝM PRVNÍM OHŘEVEM

Ing. Vojtěch Kavan

DITHERM a.s. Praha

Ing. Milan Henek, CSc., Ing. Vlastimil Kocman

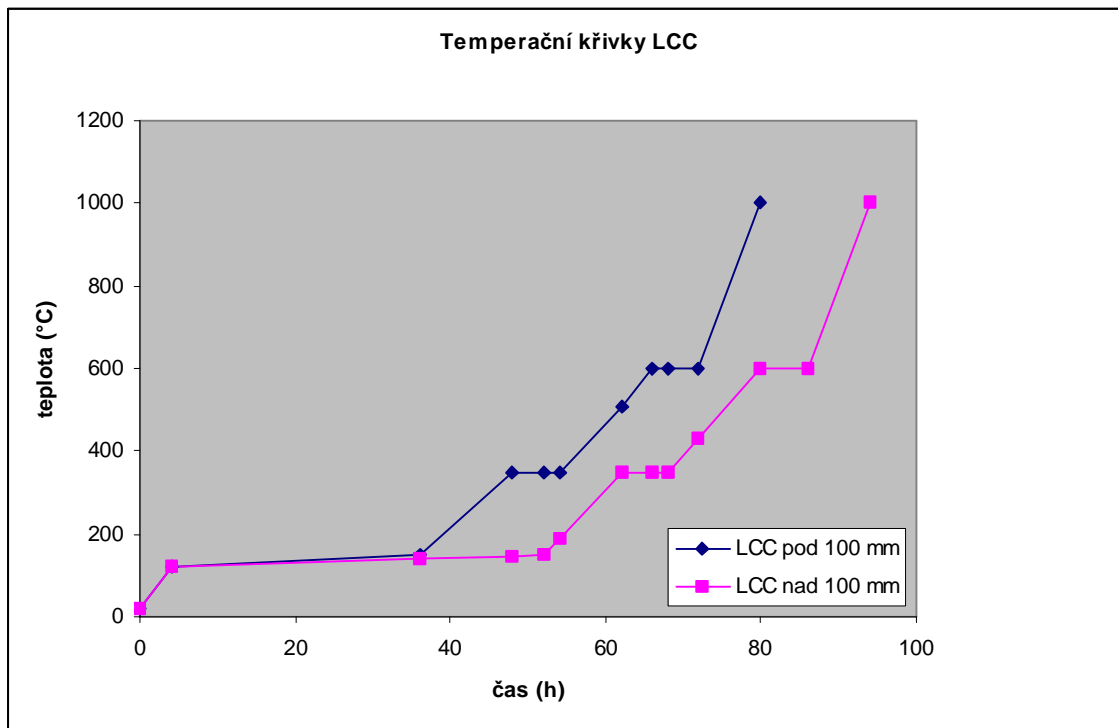
Průmyslová keramika, spol. s r.o., Rájec-Jestřebí

## 1. ÚVOD

Všechny hydraulicky vázané žárobetony potřebují ke zpracování a instalaci vodné prostředí. Voda je nezbytná k dokonalému zhutnění žárobetonové směsi a také k vytvoření vlastní hydraulické vazby. Při uvádění nainstalované vyzdívky do trvalého provozu na vysoké teploty je nutné zajistit bezpečný únik vodní páry tak, aby nedošlo k destrukci vyzdívky. Vlastní temperace je tím komplikovanější, čím hmotnější a objemnější je vyzdívka a dodržení předepsaných křivek prvního ohřevu je často časově i finančně náročnou záležitostí.

## 2. PROBLEMATIKA VYSOUŠENÍ

Voda se v zatvrdlém žárobetonovém střepe vyskytuje ve dvou formách, volné a vázané. Volná voda smáčí povrch částic čímž způsobuje tekutost směsi a tím umožňuje její instalaci. Vázaná voda vstupuje do chemických reakcí a jako krystalická se podílí na vzniku hydraulické vazby. U běžných žárobetonů převažuje podíl vody vázané, což je dáno vysokým obsahem cementu. U nízkocementových ztekucených žárobetonů převažuje naopak voda volná [1]. Obě uvedené formy vody se musí při prvním ohřevu bezpečně odstranit. Ohřev se děje podle předepsaných teplotních křivek, které zohledňují množství záměsové vody a teplotu při které se uvolňuje, buď odpařováním nebo rozkladem krystalických modifikací. Dále se musí brát zřetel na typ žárobetonu a jeho pórovitost, tloušťku vyzdívky, její skladbu, prostorové možnosti odvodu vodní páry apod. Na *obr. 1* jsou uvedeny temperační křivky nízkocementového žárobetonu při různých tloušťkách vyzdívky.



Obr. 1 Temperační křivky pro LCC-žárobetonovou vyzdívku v různých tloušťkách

Uvedené dlouhé časy potřebné pro vytvrzení a následnou temperaci vyzdívek často komplikují nejen rozhodování o provedení opravy, ale i vlastní náběh tepelných zařízení do provozu, jak vyplývá z následujících poznámek:

- zákazník z ekonomických a technologických důvodů většinou trvá na co nejkratší odstávce tepelného zařízení, aby měl co nejmenší výpadek ve výrobě;
- dále se často požaduje v průběhu opravy její zkrácení a rychlejší náběh do provozu, který neodpovídá ani požadovanému času pro vytvrzování ani temperačním křivkám;
- u některých typů instalací je nutné čekat na vytvrzení předchozí části, což se většinou kombinuje se špatnou dostupností k vyzdívkám;
- zákazník má snahu o úspory energie a proto často nutí dodavatelskou firmu ke zkracování temperace;
- vysoušení a temperace vyžadují kvalifikovanou a zodpovědnou obsluhu;

### **3. ŽÁROBETONY S CHEMICKOU VAZBOU**

Vzhledem k popsáním skutečnostem jsou hledány prostředky, jak se daným problémům vyhnout a celý proces prvního ohřevu vyzdívky zkrátit. Například se používají přísady organických mikrovláken, která po změknutí vytvářejí mikrokanálky pro odvod páry. Do vyzdívek se někdy vytvářejí vpichy, v plášti agregátů na studené straně se vyvrtávají otvory, opět pro usnadnění úniku páry. Tyto způsoby se používají vždy operativně podle typu a konstrukce agregátu a vyzdívek.

Jedním ze systémovějších řešení je nahrazení hydraulické vazby žárobetonů vazbou chemickou. Mnoho let jsou s úspěchem používány žárovzdorné hmoty s chemickými pojivy [2] pro horké opravy vyzdívek. Uvedené hmoty lze aplikovat na horké povrchy vyzdívek, aniž by docházelo k jejich destrukci, odprýskávání apod.

#### **3.1. Žárobetonové směsi s chemickou vazbou**

Společností Průmyslová keramika bylo v posledních létech připraveno a uvedeno do výroby několik druhů chemicky vázaných žárobetonů. Žárobetony jsou dodávány v suchém stavu, před instalací se rozmíchávají s dodávaným tekutým fosfátovým pojivem. Lze je zpracovávat běžnými instalačními metodami, nejlépe vibrací, ale i dusáním a omazáváním. Základní řada uvedených výrobků je uvedena v následující *tabulce 1*.

Zmíněné chemicky vázané žárovzdorné směsi vycházejí z vazebného systému, který je tvořen tekutým fosfátovým pojivem (základ tvoří kyselina ortofosforečná  $H_3PO_4$ ), akcelerátorem tuhnutí a mikroplnivý. Po smíchání suchých směsi s tekutým pojivem dochází k exotermické reakci, materiál poměrně rychle tuhne. Čím je větší objem a tloušťka vyzdívky, tím se tuhnutí urychluje. Vlastní exotermická reakce je asi po 4 hodinách ukončena a poté lze hned přistoupit k prvnímu ohřevu.

Tabulka 1 Žárovbetony s chemickou vazbou

		UNIBET 1300	UNIBET 1400	UNIBET 1500	UNIBET 1550-B	UNIBET 1650-K
Klasifikační teplota	°C	1300	1400	1500	1550	1650
Materiálová báze		Šamot	šamot	nízkožel.šam.	bauxit	Korund
Rozd. kapalina REFRAFIX PX	kg/100 kg	15	15	13	10-11	9-10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	41	47	45	83	96
SiO <sub>2</sub>	%	48	46	46	11	0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,5	1,2	1,0	1,1	0,5
Objemová hmotnost 110°C	kg.m <sup>-3</sup>	2140	2150	2170	2800	2900
800°C	kg.m <sup>-3</sup>	2070	2080	2100	2770	2820
KT (1500)°C	kg.m <sup>-3</sup>	2080	2060	2120	2730	2860
Pevnost v tlaku 110°C	MPa	60	65	70	90	60
800°C	MPa	45	40	45	65	55
KT (1500)°C	MPa	70	60	100	100	55
Zdánlivá pórovitost 800°C	%	18	17	16	14	17
KT (1500)°C	%	15	17	12	12	19
Trvalé délkové změny 800°C	%	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2
KT (1500)°C	%	±0,5	±0,9	-0,7	-0,6	0,8

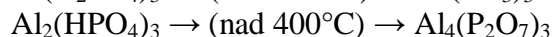
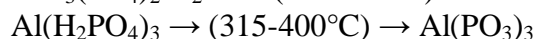
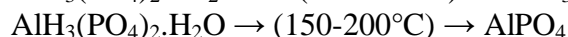
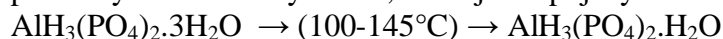
### 3.2. Mechanismus umožňující rychlý první ohřev

Možnost velmi rychlého bezpečného vysoušení vychází z použitého vazebného systému a spočívá v následujících skutečnostech:

1) Zatvrdlý žárobetonový střepek obsahuje velmi málo volné vody. Je to dáno použitím fosfátového pojiva na bázi kyseliny ortofosforečné. Tím se eliminuje pro vysoušení nejnebezpečnější teplotní oblast, která souvisí s teplotou varu vody. S ohledem na teplotní spád ve vyzdívce jsou nutné dlouhé prodlevy při nárůstu teplot v rozmezí 120-150°C, měřeno v okolí vysoušené vyzdívky.

2) Mnohem větší podíl vázané vody je oproti hydraulickým žárobetonům uvolňován v širokém spektru teplot. Zatímco hydratované minerály po zatvrdnutí vazby z hlinitanového cementu uvolňují vázanou vodu hlavně kolem 350 °C, odchod vody z chemicky vázaného matrixu se děje v několika etapách. V zatvrdlém střepeku zůstává část nezreagované kyseliny ortofosforečné H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Tato se při ohřevu na cca 260 °C přeměňuje na kyselinu pyrofosforečnou H<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, kterýžto pochod je doprovázen uvolněním části vázané vody. K další přeměně dochází při teplotě cca 530 °C, kdy vzniká kyselina metafosforečná HPO<sub>3</sub> a tento proces je doprovázen dalším uvolněním části vázané vody.

3) Část přidané kyseliny fosforečné začne po rozmíchání reagovat s akcelerátorem tuhnutí a přítomnými mikroplnivými. V literatuře je popsána tvorba různých fosforečných solí [3]. Tvorba příslušné sloučeniny je odvislá od skladby matrixu, tj. přítomnosti toho kterého reaktivního mikroplniva. Vzniklé hydratované soli se s růstem teploty rozkládají a přeměňují, přičemž uvolňují chemicky vázanou vodu. Děje se tak při odlišných teplotách než při přeměnách fosforečných kyselin. Následně jsou uvedeny teploty přeměn některých možných přítomných fosforečných solí, které jsou spojeny s uvolňováním vody.



Uvádí se, že dehydratace fosforečnanů je ukončena mezi 500 až 800 °C.

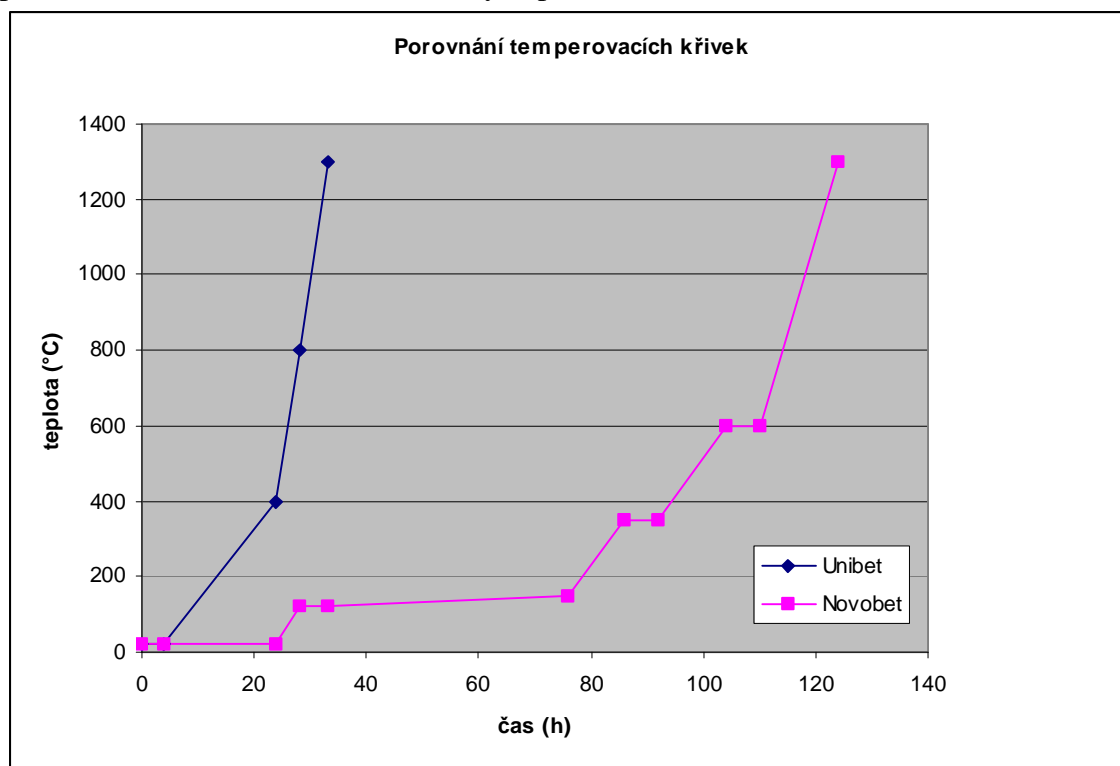
4) Hlavní příčinou, která umožňuje rychlý první ohřev chemicky vázaných žárobetonů je tedy minimalizace obsahu volné vody v zatvrdlém žárobetonovém střepe a uvolňování vázané vody po částech při různých teplotách.

5) S ohledem na tloušťku, objem, tvar a umístění vyzdívky lze konstatovat, že u chemicky vázaných žárobetonů popsaného typu lze zkrátit první ohřev oproti hydraulicky vázaným žárobetonům na polovinu až čtvrtinu. Toto zkrácení již mnohdy odpovídá běžnému technologickému náběhu teploty v agregátu po odstávce, čímž se nemusí brát zřetel na temperační křivky prvního ohřevu.

### 3.3. Výhody použití chemicky vázaných žárobetonů

Aplikace chemicky vázaných žárobetonů popsaného typu přináší několik významných přínosů.

1) Výrazné zkrácení prvního ohřevu (vysoušení) žárobetonové vyzdívky. Na následujícím obrázku je porovnání prvního ohřevu vyzdívky pecního vozu ohřívací pece v kovárně u běžného LCC žárobetonu a chemicky vázaného žárobetonu. Množství zabudované směsi 25 tun, tloušťka žárobetonové vrstvy 250 mm. Jedná se o reálnou dobu prvního ohřevu, mnohonásobně v daných podmínkách ověřenou.



Obr.2 Porovnání reálných teplotních křivek prvního ohřevu horní žárobetonové vrstvy pecního vozu ohřívací pece, hmotnost žárobetonu 25 tun, tloušťka žárobetonové vrstvy 250 mm, UNIBET= chemicky vázaný žárobeton, NOVOBET= hydraulický LCC žárobeton

2) Jak bylo popsáno výše, tuhnutí chemicky vázaných žárobetonů je provázáno vývinem tepla, který urychluje celý vytvrzovací proces. Ve výsledku je pak možné po krátké době provádět na stavbě odstranění a přemístění bednění, což vede k urychlení instalace vyzdivek a tím zkrácení doby odstávky agregátu. Při výrobě tvarovek do forem pak zase zvýšit jejich denní obrátkovost.

3) Právě exotermická reakce při tuhnutí žárobetonu a používání tekutého pojiva na bázi kyseliny ortofosforečné umožňuje instalovat vyzdívky i za velmi nízkých teplot. Jednak roztoky kyseliny fosforečné zůstávají za mírných mrazů tekuté a hlavně díky vývinu tepla dojde k zatuhnutí vyzdívky i za nízkých okolních teplot.

4) Velkou výhodou chemicky vázaných žárobetonů je velmi dobré spojení s podkladní vyzdívkou, ať už novou, nebo s očištěným starým zdivem. Zatímco hydraulicky vázané žárobetony se zpevňují pouze ve svém objemu a nedochází k reakčnímu spojení s podkladem, produkty vázané fosfáty a především kyselinou fosforečnou vytvářejí reakční spojení i do podkladového zdiva. Tento jev pak mnohdy umožňuje provádět opravy poškozeného zdiva přibetonováním, omazáváním aj., aniž by se musela nová vrstva ke staré kotvit.

5) Vzniklé rozpustné fosforečné soli mají při vysoušení tendenci migrovat k povrchu vyzdívky. Zde mohou uzavírat povrchové póry, což v mnohých provozních podmínkách zabraňuje vnikání škodlivých složek do struktury vyzdívky. Tím pádem v některých prostředích vykazují chemicky vázané žárobetony lepší odolnost korozi proti některým látkám.

6) Lepší odolnost změnám teplot než srovnatelné LCC žárobetony

7) Svými fyzikálně- mechanickými vlastnostmi se přibližují více obdobným LCC žárobetonům, než běžným hutným žárobetonům (RC), jak je uvedeno v *tabulce 2*.

8) Zkrácení doby vytvrzování umožňuje zahájit temperaci již po posledním odbednění, což znamená významnou úsporu času.

*Tabulka 2 Porovnání různých druhů žárobetonů na šamotové bázi se obdobnou klasifikační teplotou*

		ŽÁROBET 1300	UNIBET 1300	NOVOBET 1300	
Typ žárobetonu		RC	CBC	LCC	
Klasifikační teplota	°C	1300	1300	1300	
Materiálová báze		šamot	šamot	Šamot	
Rozd.kapalina voda (REFRAFIX PX)	kg/100 kg	9,5-11,5	(15)	7,2-7,8	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	38	41	42	
SiO <sub>2</sub>	%	47	48	48	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,8	2,5	3,0	
CaO	%	8		2,9	
Objemová hmotnost	110°C	kg.m <sup>-3</sup>	2150	2140	2250
	800°C	kg.m <sup>-3</sup>	2050	2070	2210
	1300°C	kg.m <sup>-3</sup>	2000	2080	2210
Pevnost v tlaku	110°C	MPa	50	60	65
	800°C	MPa	40	45	70
	1300°C	MPa	20	70	60
Zdánlivá pórovitost	800°C	%	21	18	17
	1300°C	%	25	15	16
Trvalé délkové změny	800°C	%	-0,	-0,2	-0,3
	1300°C	%	±0,6	±0,5	-0,5

#### 4. PRAKTICKÉ PŘÍKLADY POUŽITÍ CHEMICKY VÁZANÝCH ŽÁROBETONŮ

1. Vyzdívka pecního vozu ohřívací pece – tato ověřená instalace je z hlediska množství použitého materiálu největší. Zpracuje se cca 25 t materiálu a najíždění do provozu je možné od zahájení instalace za 36 hodin. Na teplotě 600°C je pec za dalších 15 hodin a je možno vůz osadit podkladními prvky a naložit vsázkou.
2. Vyzdívka „špalet“ (boční stěny vstupního portálu ) pece- tato část ohřívacích pecí je velmi choulostivá. Při opravách se využívá velmi krátké doby tvrdnutí žárobetonu a tím možnosti rychlého přesazování bednění. Oprava, včetně najetí do provozu je dokončena mnohem rychleji než při zdění a instalaci klasických žárobetonů.
3. Vyzdívka hořáků (oprava) – oprava vyzdívek hořákových kamenů se provádí většinou ve formě dusací hmoty. Po uplynutí 2 hodin po opravě je možno najet pec na provozní teplotu.
4. Výroba hořákových tvarovek- hořákové tvarovky je možno vyrábět až při zjištění nutnosti jejich výměny. Než se pec odstaví a zchladne je možno potřebný počet vyrobit. Po nasazení se tyto kameny ohřívají pomocí hořáků, kde výměna nebyla provedena anebo střídavým zapínáním a vypínáním při současném zvyšování teploty v peci.
5. Opravy pecních vozů – rychlé opravy pecních vozů byly realizovány hned při nejvyšší možné teplotě bez vyhasnutí pece (vůz je vytažen ven). Nájezd na provozní teplotu je možno realizovat okamžitě.
6. Výroba hradítek a jiných tvarovek – těchto žárobetonů bylo použito při potřebě několika kusů složitých tvarovek nebo u již nevyráběných tvarovek. Pokud je zajištěna výroba formy je to nejefektivnější řešení.
7. Vyzdívka pecních vozů – dusací hmota. Tento systém byl použit u jednoho pecního vozu. Doba instalace byla delší než při vibrování, ale bylo možno použít po dokončení instalace najetí pece na plný výkon –cca 100°C /hod.
8. Vyplňování krabic – na vyplňování krabic, ucpávání různých prostupů a dotěšňování vyzdívek je možno tyto betony využít bez hrozby destrukce uvolňovanou párou.
9. Použití v EOP na horní hranu vyzdívky- v EOP nebyla možnost temperance. Proto se na uzavření vyzdívky bočních stěn nad stěnovými hořáky využily výše jmenované vlastnosti chemicky vázaného žárobetonu a pomocí systému kotev, konzol a žárobetonu se vyzdívka uzavřela tak, by byly hořáky chráněny proti poškození vsázkou.
10. Použití na vyzdívku pecního vozu s elektrickým ohřevem – tato poměrně složitá vyzdívka byla nainstalována na dvou pecních vozech. Rychlost instalace byla srovnatelná s vyzdíváním ze speciálních tvarovek.
11. Vyzdívka stěn ohřívací pece – využívá se zvláště rychlého vytvrzení a netečnosti vůči temperaci.
12. Použití při instalaci nové vyzdívky při GO – vyzdívky ze žárobetonů byly vždy nejslabším článkem nových vyzdívek pecí. Tam, kde se použil žárobeton musel se vždy náběh nové vyzdívky pece řídit podle nejcitlivější části na ohřev a to byly většinou žárobetonu. Při použití chemicky vázaných žárobetonů již toto neplatí a dá se říct, že tato část vyzdívky patří k nejodolnějším částem z hlediska prvního ohřevu.
13. Použití při výrobě nového víka VOD – žárobeton s chemickou vazbou byl použit jako vazba mezi žárobetonovými segmenty, ze kterých je víko sestaveno. Na různé dosahy při instalaci bylo použito různého obsahu záměsového pojiva. Temperance byla

provedena na teplotu cca 100°C hořákem umístěným pod víkem. Pak bylo víko nasazeno na pánev s ocelí přehřátou do 1700°C. V jednom případě nebylo víko temperováno vůbec a přesto nedošlo k viditelné destrukci.

14. Vyzdívka pánví – v současné době probíhá zkouška vyzdívky slévárenské pánve ze speciální směsi chemicky vázaných betonů. Použití těchto betonů výrazně snižuje riziko destrukce vyzdívky při prvním nasazení pánve. Zároveň bylo dosaženo velmi nízkého obsahu oxidu křemičitého v materiálu vyzdívky, což může pomoci při identifikaci zdrojů exogenních vměstků.
15. Rychlé opravy poškozených částí vyzdívek v chladiči a hlavě cementářské pece.
16. Oprava (doplnění) poškozených částí zdiva vrat koksárenské baterie. Zde se právě uplatňuje dobrá přilnavost k původnímu žárobetonu.
17. Masivní vyzdívka (cca 3t) mazutových hořáků elektrárenského kotle. Po instalaci nebylo možno provést klasickou temperaci vyzdívky.

## 5. ZÁVĚR

Použití chemicky vázaných žárobetonů přineslo v praxi velmi pozitivní výsledky. Jedná se zvláště o zvýšení rychlosti prováděných montáží díky rychlému tvrdnutí směsi, úspory energie díky zrychleným náběhům na provozní teplotu a možnosti zahájení temperace vyzdívek již po 4 hodinách po poslední instalaci betonu.

Díky těmto skutečnostem dochází k rozšiřování aplikací těchto hmot s tím, že ve spolupráci výrobce a jeho odběratelů probíhá vývoj na dalším vylepšení užitných vlastností chemicky vázaných žárobetonů.

## 6. LITERATURA

- [1] Rusek, J.; Ševčík, F.; Veselovský, P.: Příspěvek k vysoušení žárobetonových vyzdívek, Sborník konference o žárobetonech, Praha 1992
- [2] Petzold, A.; Ulbricht, J.: Feuerbeton. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1994, str. 36-46
- [3] Hlaváč, J.: Základy technologie silikátů, SNTL, Praha 1981