

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS
AND COMPONENTS

VÝZKUM A VÝVOJ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ S VYŠŠÍ REZISTENCÍ VŮČI PŮSOBENÍ VYŠŠÍCH TEPLOT

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS WITH HIGHER RESISTANCE TO
HIGH TEMPERATURES

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

OBOR

3911V006 FYZIKÁLNÍ A STAVEBNĚ MATERIÁLOVÉ
INŽENÝRSTVÍ

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JAROSLAV VÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Klíčová slova:

Cementový kompozit, rozptýlená výztuž, vysoké teploty, teplotní zatížení, teplotní křivka, explozivní odprýskávání, trhлина.

Key words:

Cementitious composites, fiber reinforcement, high temperatures, thermal load, the curves of temperature-time exposure, explosive spalling, crack.

Název pracoviště:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 DOPORUČENÝ VÝBĚR JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK CEMENTOVÉHO KOMPOZITU.....	6
2.1 Pojivo	6
2.2 Plnivo	6
2.3 Příměsi	7
2.4 Rozptýlená výztuž.....	7
2.4.1 Polypropylenová vlákna.....	7
2.4.2 Ocelová vlákna.....	7
3 CÍL PRÁCE	7
4 METODICKÉ POSTUPY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	8
4.1 Etapa I – Výběr vhodného kameniva, sestavení testování odolnosti	8
4.2 Etapa II – Výběr vhodných vláken a ověření jejich účinnosti	9
4.2.1 Etapa II – část A.....	9
4.2.2 Etapa II – část B.....	10
4.3 Etapa III – Vývoj betonu s cementovou maticí s vyšší odolností vůči vysokým teplotám	11
4.3.1 Etapa III – část A	11
4.3.2 Etapa III – část B	11
4.3.3 Etapa III – část C	12
4.4 Etapa IV – Zatížení přímým plamenem	13
5 SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH SMĚSÍ	14
6 VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH ETAP	15
6.1 Celkové shrnutí etapy I	15
6.2 Celkové shrnutí etapy II – část A	16
6.3 Celkové shrnutí etapy II – část B	17
6.4 Celkové shrnutí etapy III – část A	18
6.5 Celkové shrnutí etapy III – část B.....	19
6.6 Celkové shrnutí etapy III – část C.....	19
6.7 Celkové shrnutí etapy IV	20
7 ZÁVĚR.....	21
8 POUŽITÁ LITERATURA	23
9 CURRICULUM VITAE	24
ABSTRACT	28

1 ÚVOD

Problém odolnosti betonových konstrukcí vůči vysokým teplotám se stal aktuální zejména v souvislosti se stále častějšími nehodami, především nákladních automobilů, v silničních tunelech s následkem požáru. Již samotný objem paliva nákladního automobilu je zdrojem velké energie. Situace je o to závažnější, pokud automobil přepravuje hořlavé látky, a to nejen palivo, chemikálie, ale i látky zpracovávané v potravinářském průmyslu, jako tuky a oleje. Statistiky udávají intenzitu požáru od 5 MW (požár 1 – 2 osobních automobilů) až do 200 MW (požár nákladního automobilu přepravujícího kyslík nebo benzín). Následkem požáru dochází k intenzivnímu teplotnímu zatížení tunelového ostění, které je převážně betonové, kde teploty výrazně převyšují 1 000 °C. Vnitřní část tunelového betonového ostění je při vzniklém požáru vystavena teplotnímu zatížení v různé intenzitě v závislosti na vzdálenosti od vzniklého požáru. Následkem teplotního zatížení dochází vlivem expanze vodní páry v betonu k popraskání betonového povrchu a k odprýskání povrchových vrstev betonu (explosivní odprýskávání, tzv. „explosive spalling“) a tím znehodnocení betonové konstrukce.

V současné době je navíc zřejmé, na základě vyhodnocení skutečných požárů, které probíhaly v otevřených prostorách, že je nutné uvažovat o řešení odolnosti konstrukcí vůči vysokým teplotám nejenom u konstrukcí silničních a železničních tunelů, ale i na pozemních komunikacích z betonového krytu, ve výškových budovách betonové konstrukce, nebo v případě zahraničních oblastí na konstrukcích betonových vrtných plošin.

Co se týče požárního hlediska, má beton řadu výhodných vlastností. Je nehořlavý a má nízkou tepelnou vodivost. Avšak betonové konstrukce, které nejsou navrhovány s odolností proti požáru, vykazují po ohřevu výrazné poškození. Především se jedná o explosivní odprýskávání způsobené kombinací vzrůstajícího tlaku ve vnitřních pórech a vnitřních tlakových napětí vznikajících roztažností materiálů od rostoucí teploty. Následkem je oslabení průřezu dané železobetonové konstrukce a vystavení ocelové výztuže teplotám, které jsou vyšší než kritická hodnota.

Možných opatření na zabránění nebo zmírnění následků teplotního zatížení betonů je ve světě známo a používáno jen několik. Způsoby ochrany lze rozdělit na dva systémy, aktivní a pasivní. Aktivní systémy mají zajistit co možná největší pokles působících teplot, aby bylo omezeno působení vysokých teplot na povrchy betonových konstrukcí. Jsou to tedy nejrůznější sestavy rozstřikovačů vody a jiných hasících médií. Nevýhodou těchto systémů je do jisté míry omezená funkčnost a případný možný vznik toxické mlhoviny. Pasivní systémy již přímo odolávají působícím vysokým teplotám a ohni. Jedná se především o systémy tepelných bariér. Nejčastěji to jsou tepelně odolné nátěry, izolační obkladové panely, nebo stříkané malty, které jsou nejrůzněji modifikovány s cílem zvýšení odolnosti vůči vysokým teplotám. Mezi pasivní systémy ochrany betonových konstrukcí vůči vysokým teplotám se řadí vlastní návrh tepelně odolného betonu a tedy i použití syntetických vláken přímo do betonové konstrukce. Jednou z výhod tohoto způsobu ochrany je snadná aplikace syntetických vláken do čerstvé směsi již při výstavbě betonové konstrukce, čímž odpadají dlouhé časové prodlevy při instalaci aktivních systémů tepelné ochrany, příp. systémů tepelných bariér po odbednění betonových konstrukcí.

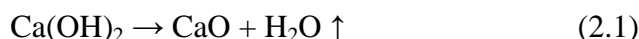
2 DOPORUČENÝ VÝBĚR JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK CEMENTOVÉHO KOMPOZITU

2.1 POJIVO

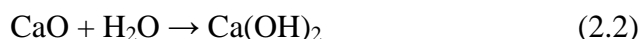
Jako nejméně vhodné pojivo do betonů, vzhledem k odolnosti vůči vysokým teplotám, je hodnocen čistý portlandský cement. U portlandských cementů dochází v průběhu zahřívání ztrátou vody k jejich smrštění, které značně roste do teploty 500 °C. [7]

Pokud máme ovlivnit odolnost betonu vůči vysokým teplotám pojivovou složkou, je nutné použít směsných cementů s co možná nejnižším obsahem portlandského slinku, tedy s příměsemi popílku, strusky, mikromletého vápence. Smyslem je dosáhnout ve ztvrdlém betonu co nejnižšího množství portlanditu – Ca(OH)_2 , který vzniká v průběhu hydratace cementu.

Portlandit se při teplotách přibližně 500 °C rozkládá dle následující rovnice:



Během hašení v případě požáru je na povrch konstrukce stříkáno množství vody, díky níž probíhá rozpínavá reakce (hašení vápna), která porušuje beton:



Důsledkem je zvýšení objemu cementového tmelu, což způsobuje rozrušení cementové matrice. Betony s pucolánovými látkami nebo se struskou vykazují lepší odolnost proti vysokým teplotám, než betony s čistým portlandským cementem, protože v nich vzniká méně portlanditu.

2.2 PLNIVO

Přírodní kamenivo nesmí při vyšší teplotě měnit své mechanické vlastnosti a nesmí se vlivem vysoké teploty smršťovat. Dle odborných příspěvků [2] [3] lze do návrhu složení betonu, který má být odolný vůči účinkům vysokých teplot, zahrnout vápencové kamenivo. V ČR je však vápencové kamenivo jen výjimečně používáno pro přípravu betonů, protože se uplatňuje spíše pro výrobu pojiv, odsířování v tepelných elektrárnách atd.

Příznivé chování betonů s vápenatým kamenivem ve vysokých teplotách, včetně expozice v ohni, je vysvětlováno vyšším množstvím tepla, které se spotřebuje při endotermickém rozkladu na oxid uhličitý při teplotě asi 800 °C. U betonů s křemičitým kamenivem dochází k podstatnému poklesu pevnosti okolo teploty 570 °C, kde dochází k přeměně křemene z modifikace β na modifikaci α , která má nižší hustotu. Tato modifikační přeměna při 573 °C je provázena zvýšením objemu o cca 0,84 %. V betonu tak v průběhu požáru (především mezi teplotami 450 – 650 °C) dochází ke vzniku mnoha trhlin a prasklin, které snižují pevnost v tlaku o více než 80 %. [2]

Lehké betony s expandovaným jílem vykazují lepší tepelně izolační vlastnosti než betony s běžným kamenivem. Díky těmto tepelným vlastnostem je v betonu ocelová vyztuž lépe chráněna. Toto je klíčovým problémem při posuzování požární odolnosti konstrukce: ocel, spíše než beton, je materiál, který ztrácí všechny své mechanické vlastnosti a kolabuje při nižších teplotách (okolo 450 °C). Jednou z nejdůležitějších vlastností betonu je chránit vyztuž před teplotou vyšší než 450 °C. Z tohoto pohledu se tedy nejlépe chová kamenivo z expandovaného jílu a nejhůře křemičité kamenivo. [2]

Zdá se také, že vliv na soudržnost kameniva s cementovou pastou při teplotních dilatacích může mít jeho tvarový index a textura. Dá se předpokládat, že k menším poruchám v oblasti tranzitní zóny dojde u kameniv s hrubším povrchem a hranatějším tvarem než u hladkých a zaoblených kameniv. [3]

2.3 PŘÍMĚSI

Co se týče otázky používání příměsí jako mikroplniva do teplotně odolných betonů tak obecně platí, že je dobré je co nejvíce omezit. Důvodem je ztuhnutí cementové matrice betonu a „utěsnění“ pórové struktury betonu, ke kterému obecně dochází při přimíchání jemných příměsí do betonové směsi. Jinou otázkou je náhrada části portlandského cementu aktivními příměsemi za účelem snížení množství portlandského slinku, který vykazuje nízkou odolnost vůči vysokým teplotám.

2.4 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ

Jednou z možností, jak zvýšit odolnost betonových konstrukcí vůči vysokým teplotám, je použití rozptýlené výztuže. Nejčastěji používanými vlákny z hlediska teplotní odolnosti jsou polypropylenová vlákna (PP), která jsou často doplněna o vlákna ocelová, jež napomáhají zpevnit vnitřní strukturu betonu. Pro zvýšení odolnosti betonu vůči vysokým teplotám mohou být také použita další polymerní nebo přírodní vlákna, která se v žáru rozkládají (polyvinylalkoholová, polyethylenová, celulózová, jutová).

2.4.1 Polypropylenová vlákna

Aplikací polypropylenových vláken do betonu lze destruktivní účinky expandované vodní páry zmírnit, především u betonů s hutnější strukturou (HPC, HSC, SCC). Teplota tání polypropylenu je okolo 160 °C. Při těchto teplotách dojde k vyprcháání polypropylenových vláken z betonu, čímž se v betonu vytvoří malé kapilární dutinky. Vznikne otevřená kapilárně pórová struktura betonu, kudy může, při vyšších teplotách, expandovaná vodní pára unikat bez toho, aby výrazně poškodila mikrostrukturu betonu. Tímto opatřením se zamezí vzniku trhlinek ve struktuře betonu a odprýskání povrchových vrstev betonu.

Bylo prokázáno, že výhodnější jsou vlákna s větším štíhlostním poměrem, tedy vlákna tenčí a delší. Struktura betonu je tak více propojená a expandovaná pára tak má snadnější možnost úniku bez porušení betonu. [7]

2.4.2 Ocelová vlákna

Aplikací speciálních žáruvzdorných ocelových vláken lze omezit odprýskávání betonových vrstev (především vysokohodnotných betonů), ovšem ne v takové míře jako při použití polypropylenových vláken. Ocelová vlákna v průběhu zahřívání fungují na jiném principu než polypropylenová. Pokud tlak vodních par v betonu dosáhne takové meze, že překročí pevnost v tahu betonu, dojde k odtržení betonových vrstev. Aplikací ocelových vláken je pevnost v tahu a duktilita betonu zvýšena [1], čímž dojde k omezení nebo i zabránění explozivního odprýskávání tak, že ocelová vlákna rozprostřená v betonu částečně nebo zcela přenesou tahové síly vyvolené tlakem vodních par v betonu.

3 CÍL PRÁCE

V první části disertační práce jsou shrnuty rešeršní údaje problematiky betonové a železobetonové konstrukce při zatížení vysokými teplotami a požárem. Úvodem byly nastíněny důvody nutnosti řešení dané problematiky včetně statistických dat požárů ve světě a v Evropě. Po vysvětlení základních pojmů a názvosloví byly zpracovány relevantní údaje z normových podkladů ohledně návrhu stavebních konstrukcí a zkoušení stavebních materiálů vystavených vysokým teplotám, příp. přímému ohni se zaměřením na betonové a železobetonové konstrukce.

Následně jsou ukázány jednotlivé teplotní křivky požární odolnosti i s rovnicemi pro jejich návrh a jsou nastíněny metody diagnostiky a sanace železobetonových konstrukcí po požáru. V hlavní části rešerší týkající se působení vysokých teplot na beton byly zpracovány následující body:

- Vliv vysokých teplot a ohně na běžné cementové betony a speciální betony (změny betonové struktury a mikrostruktury, fyzikálně – mechanických vlastností)
- Explosivní odprýskávání (mechanismus explozivního odprýskávání)
- Vliv vysokých teplot na jednotlivé složky betonu (cementový kámen, kamenivo – změny mikrostruktury a fyzikálně – chemické změny)
- Vliv vysokých teplot na ocelovou výztuž (změny fyzikálně – mechanických vlastností)
- Doporučený výběr jednotlivých složek betonu (pojivo, plnivo, příměsi, rozptýlená výztuž)

Cílem experimentálních prací byl vývoj kompozitního materiálu s cementovou maticí se zajištěním co možná největší odolnosti vůči působení vysokých teplot, resp. přímému ohni. Vlastní experimentální práce byly rozděleny do čtyř etap řešení. Součástí vývoje kompozitního materiálu byl výběr vhodného plniva (etapa I), což bylo ověřeno testováním pomocí běžných zkoušek kameniva. Na toto testování byla sestavena operativní metodika testování odolnosti kameniva vůči působení vysokých teplot. V etapě II byl proveden výběr vhodné rozptýlené výztuže pro návrh tepelně odolného betonu. V navazujících etapách III a IV byly s využitím získaných poznatků z předešlých etap vyrobeny vzorky cementových betonů, které byly teplotně zatěžovány. Při návrhu jednotlivých směsí se také vycházelo z rešeršních poznatků, jež byly zpracovány v první části disertační práce. Na vyrobených vzorcích jednotlivých směsí referenčních a teplotně zatížených (referenční – srovnávací, bez zatížení vysokými teplotami; teplotně zatížené – různé teplotní křivky, různé intenzity zatížení) byly sledovány vybrané vlastnosti (fyzikálně – mechanické, změny makroskopie, změny mikrostruktury).

4 METODICKÉ POSTUPY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

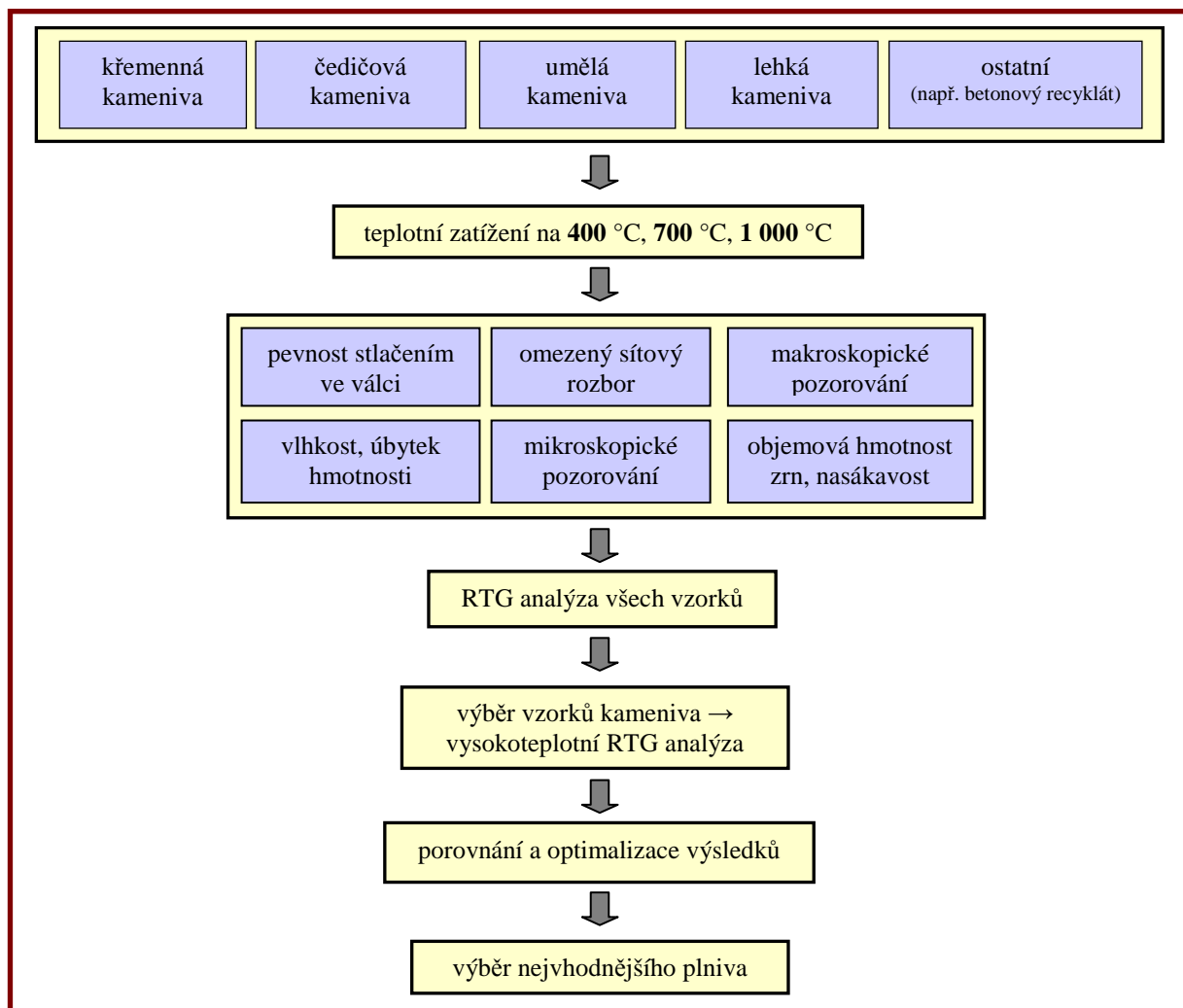
4.1 ETAPA I – VÝBĚR VHODNÉHO KAMENIVA, SESTAVENÍ TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI

Pro výběr vhodného hrubého plniva do tepelně odolných kompozitních materiálů byla navržena operativní metodika jeho testování tepelné odolnosti. Soubor vzorků dostupných druhů kameniv byl podroben teplotnímu zatížení na různé teplotní stupně a následnému testování, s cílem vyhodnotit kamenivo nejlépe odolné vůči vysokým teplotám. Teplotní zatížení jednotlivých vzorků kameniv bylo provedeno v laboratorní peci, když vzorek kameniva byl uložen vždy ve stejné žáruvzdorné nádobě. Zatěžovací režimy byly zvoleny na hodnoty 400 °C, 700 °C a 1 000 °C s izotermickou výdrží 60 min a nárůstem teplot 10 °C/min. Vybrané teplotní režimy byly voleny s ohledem na očekávané mineralogické přeměny v mikrostruktuře kameniv. Po samovolném ochlazení na běžnou laboratorní teplotu ± 20 °C byly vzorky kameniv podrobeny souboru zkoušek a dosažené výsledky byly vzájemně porovnávány s cílem vyhodnotit nejvhodnější kamenivo do tepelně odolné směsi. Srovnávací – referenční vzorek kameniva byl vždy vysušen v laboratorní sušárně při teplotě 100 ± 5 °C. Na základě komparace výsledků jednotlivých zkoušek byla provedena korekce sestavené metodiky pro testování odolnosti kameniva vůči vysokým teplotám.

Po zahřátí a následném ochlazení byl ze všech vzorků kameniva odebrán reprezentativní vzorek na provedení rentgenové difrakční analýzy. Na základě zjištěných výsledků, byly navíc odebrány vzorky ze třech kameniv, na kterých byla provedena vysokoteplotní rentgenová difrakční analýza v teplotní komoře při aktuálních teplotách 100 °C, 400 °C, 700 °C, 1 000 °C a také při laboratorní

teplotě ± 20 °C před zahříváním a po zahřívání. Měření probíhalo vždy na jednom vzorku, který byl kontinuálně teplotně zatěžován a při daných teplotách byl získán aktuální rentgenogram.

Metodický postup Etapy I – Výběr vhodného kameniva, sestavení odolnosti je zobrazen na následujícím schématu.

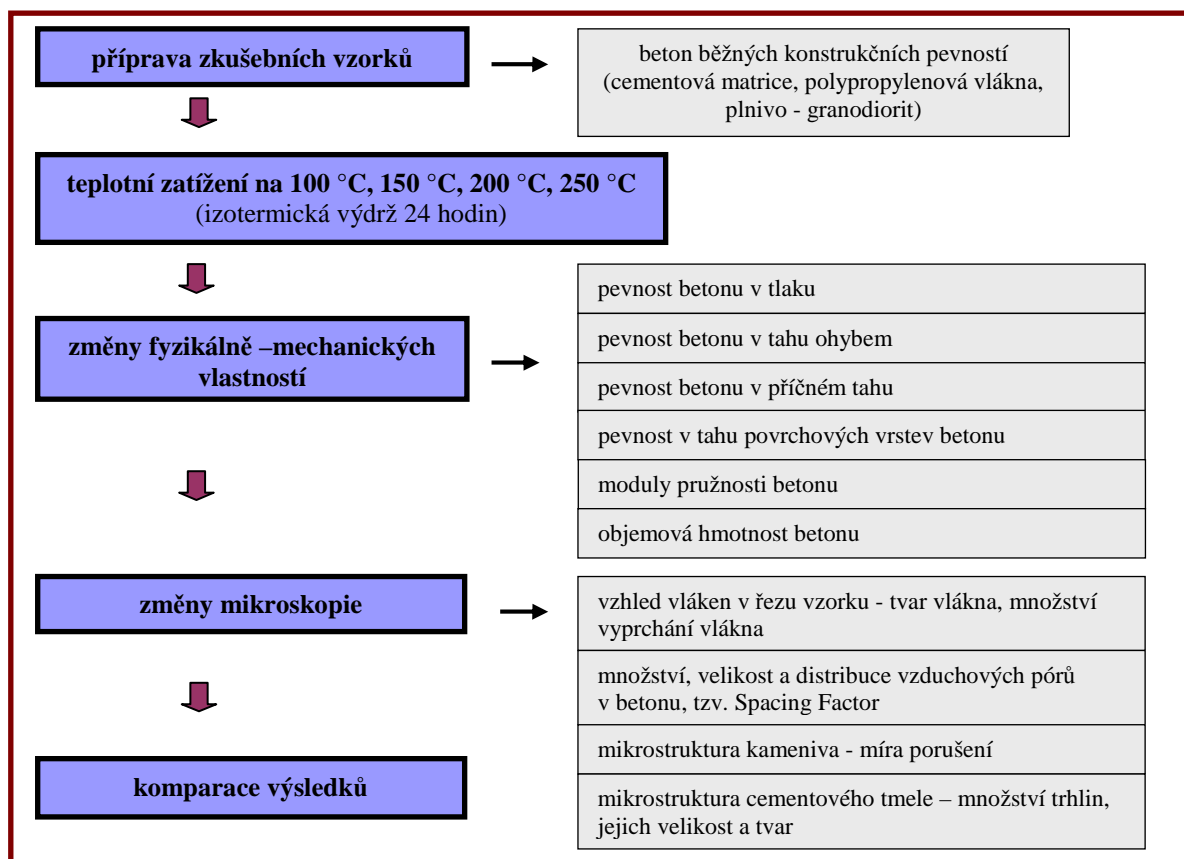


4.2 ETAPA II – VÝBĚR VHODNÝCH VLÁKEN A OVĚŘENÍ JEJICH ÚČINNOSTI

4.2.1 Etapa II – část A

Pro výběr vhodných vláken a ověření jejich účinnosti byly vyrobeny zkušební vzorky z cementového betonu s polypropylenovou rozptýlenou výztuží doporučenou pro zvýšení odolnosti betonů vůči explozivnímu odprýskávání. Tyto vzorky po 28 dnech zrání ve vodě byly podrobeny teplotnímu zatížení v laboratorní sušárně ve čtyřech teplotních stupních (100 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C) s náběhem na maximální teplotu, který byl dán aktuální výkonností zařízení, izotermickou výdrží 24 hodin a samovolným ochlazením na běžnou laboratorní teplotu ± 20 °C. Po tomto teplotním zatížení byly na vzorcích sledovány změny fyzikálně – mechanických vlastností a mikrostruktury a bylo provedeno srovnání s nezatěžovanými vzorky betonu. Cílem části A druhé etapy bylo primárně ověřit chování polypropylenových vláken při zatížení vysokými teplotami. Sekundárně byla ověřena teorie o tzv. „kvazizpevnění“ betonu, ke kterému dochází při zahřátí betonových vzorků na teploty maximálně do 300 °C [27] [28].

Metodický postup etapy II – Výběr vhodných vláken a ověření jejich účinnosti – část A je znázorněn na následujícím schématu.

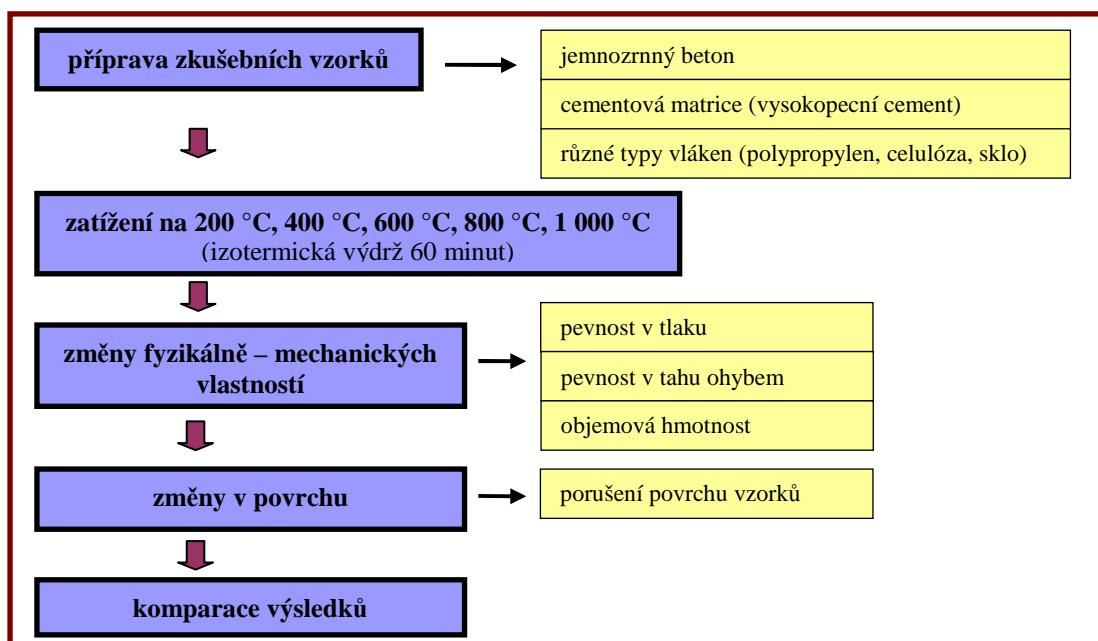


4.2.2 Etapa II – část B

V části B etapy II výběru vhodných vláken a ověření jejich účinnosti byla na základě rešeršních poznatků a doporučení navržena směs s cementovým pojivem a jemnozrnným plnivem. Navržená základní – referenční směs byla modifikovaná přidávkem třech typů rozptýlené vláknové výztuže. Po odformování byly všechny zkušební vzorky uloženy ve vlhkém prostředí. Tyto byly dále podrobeny zjišťování základních fyzikálně – mechanických vlastností (objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku) a to po 7 a 28 dnech od namíchání, před a po teplotním zatěžování na teploty 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C a 1 000 °C. Po zatěžování byla navíc provedena detailní fotodokumentace povrchů se zaměřením na sledování vzniklých trhlin a velikosti jejich rozevření.

Teplotní zatěžování bylo provedeno v laboratorní peci, u které lze nastavit řízený průběh ohřívání i ochlazování. Vzorky se ohřívaly s teplotním gradientem 10 °C/min až na požadovanou teplotu s následnou izotermickou výdrží 60 min na požadované teplotě. Poté byly vzorky řízeně ochlazovány o teplotní gradient 20 °C/min až do dosažení běžné laboratorní teploty ± 20 °C.

Metodický postup etapy II – Výběr vhodných vláken a ověření jejich účinnosti – část B je znázorněn na následujícím schématu.



4.3 ETAPA III – VÝVOJ BETONU S CEMENTOVOU MATRICÍ S VYŠŠÍ ODOLNOSTÍ VŮČI VYSOKÝM TEPLOTÁM

Vývoj betonu s cementovou matricí s vyšší odolností vůči vysokým teplotám byl rozdělen do třech dílčích částí (část A, část B, část C), během nichž byly vyrobeny série vzorků cementových kompozitních materiálů o různém složení pro testování teplotní odolnosti. U jednotlivých směsí byly měněny typy rozptýlené výztuže, vlhkosti zkušebních vzorků, složení cementové matrice (různé druhy cementu) s důrazem na ovlivnění její hutnosti a pórovitosti (množství cementu, použití provzdušňovací přísady) a typ kameniva včetně lehkých kameniv. Vyrobené zkušební vzorky byly teplotně zatěžovány na různé intenzity s izotermickými výdržemi za postupného nárůstu na danou teplotu a také podle předem daných teplotních křivek. Teplotní zatěžování bylo provedeno v laboratorní peci, u které lze nastavit řízený průběh ohřívání i ochlazování. Na zatížených vzorcích cementových kompozitních materiálů byly provedeny zkoušky se zaměřením na fyzikálně – mechanické vlastnosti a změny v povrchu betonových vzorků.

4.3.1 Etapa III – část A

V rámci této části etapy byly teplotně zatěžovány série zkušebních vzorků, které se lišily v použitém kamenivu (čedičové kamenivo, lehké kamenivo Liapor) v kombinaci se čtyřmi druhy cementu. Zkušební vzorky ve tvaru trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm byly zatěžovány na teploty 200 °C, 400 °C, 660 °C a 800 °C s nárůstem 10 °C/min a teplotní výdrží po dobu 30 minut. Na zkušebních vzorcích byla provedena diagnostika před a po teplotním zatížení, kdy byly provedeny následující zkoušky: objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, zjištění procentuálního porušení povrchu, měření rychlosti šíření vln pomocí ultrazvuku.

4.3.2 Etapa III – část B

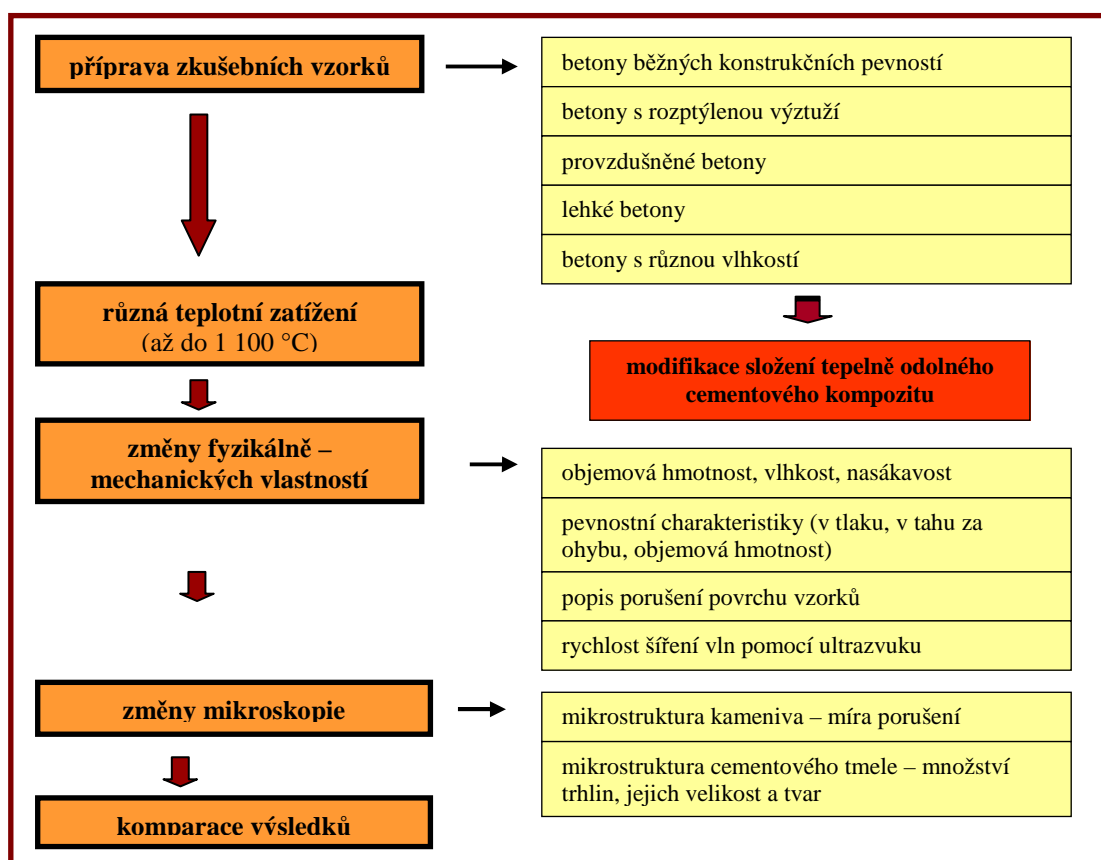
V rámci této části etapy byly teplotně zatěžovány série zkušebních vzorků, které se lišily v použité rozptýlené výztuži (polypropylenová, nízkouhlíková ocelová) a ve způsobu uložení vzorků (vlhko, voda). Polovina vzorků byla uložena do vlhkého prostředí (vlhkost vyšší než 80 %, teplota ± 20 °C) a druhá polovina do vodního uložení na dobu 28 dní. Zkušební vzorky ve tvaru

trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm byly zatěžovány na teploty 400 °C a 660 °C s nárůstem 10 °C/min a teplotní výdrží po dobu 60 minut. Poté byly vzorky vytaženy z pece a ponechány v běžném laboratorním prostředí až do vychladnutí. Na zkušebních vzorcích byla provedena diagnostika před a po teplotním zatížení, kdy byly provedeny následující zkoušky: objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, měření rychlosti šíření vln pomocí ultrazvuku, nasákavost.

4.3.3 Etapa III – část C

V rámci této části etapy byly teplotně zatěžovány zkušební vzorky tvaru krychle o rozměrech 100 × 100 × 100 mm ze čtyř odlišných receptur, kdy cílem bylo především ověřit chování betonových vzorků při strmém teplotním gradientu. Vzorky byly teplotně zatěžovány v laboratorní peci dle normové teplotní křivky (ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky [5]), kde křivka teplotního zatěžování je dána určitými teplotami v určitém čase v průběhu 360 min. První série vzorků byla zatížena na maximální teplotu 945 °C, druhá série vzorků byla zatížena na maximální teplotu 1 110 °C. Po ohřátí byly vzorky samovolně ochlazeny na běžnou laboratorní teplotu ± 20 °C. Po vizuální prohlídce vzorků byly zjištěny objemová hmotnost a pevnost v tlaku, které byly porovnány s hodnotami před teplotním zatížením.

Metodický postup Etapy III – Vývoj betonu s cementovou matricí s odolností vůči vysokým teplotám je souhrnně (bez rozdělení na etapy) ukázán na následujícím schématu.

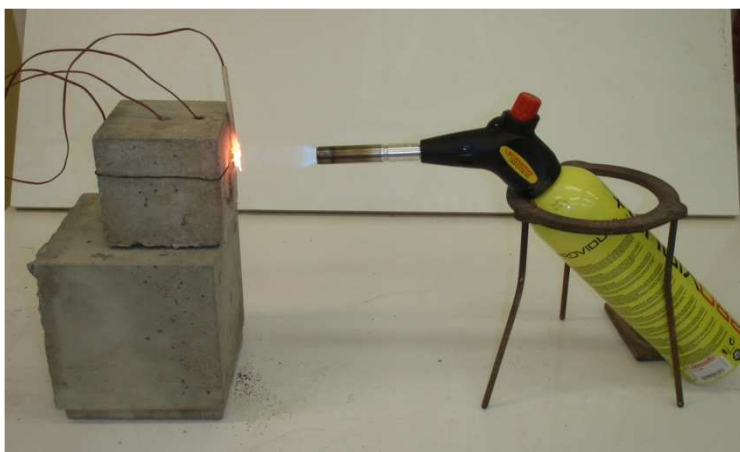


4.4 ETAPA IV – ZATÍŽENÍ PŘÍMÝM PLAMENEM

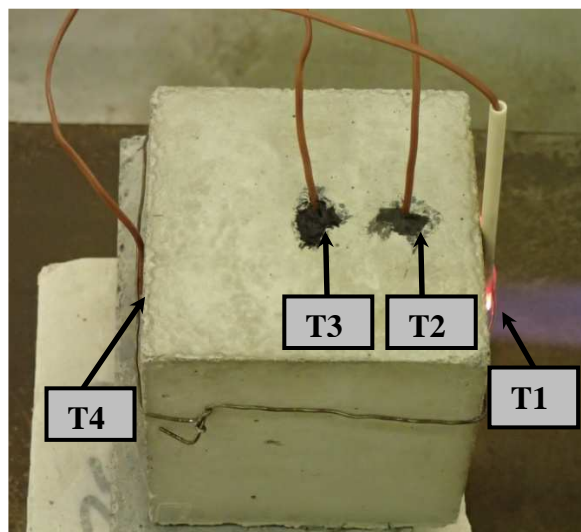
V poslední etapě byly vzorky různých receptur zatíženy přímým plamenem. Byly vybrány receptury směsí, které se lišily druhem kameniva, pojivem a různou rozptýlenou výztuží. Od každé receptury byly přímým plamenem zatěžovány vždy dvě skupiny vzorků, které se lišily různou vlhkostí, která byla dosažena uložením ve vlhkém prostředí a ve vodě. Vzorky uložené ve vodě byly vždy před zatěžováním vytaženy z vody a ponechány po dobu 24 hodin v běžném laboratorním prostředí pro ustálení vlhkosti. Další vzorky zatěžovaných receptur byly vždy paralelně se zatížením přímým plamenem vloženy do sušárny pro stanovení aktuální vlhkosti.

Zatěžování přímým plamenem probíhalo pomocí plynového hořáku, který dokáže vyvinout teplotu plamene až 1 300 °C. Průběh působících teplot plamene se reguloval tak, aby se výsledná křivka co nejvíce přiblížila uhlovodíkové křivce, doba působení byla snížena na 60 minut. Průběh teplot ve vzorku byl snímán pomocí čtyř termočlánků, které byly umístěné na exponovaném povrchu, ve vzorku v různé hloubce od zahřívajícího povrchu a na protější straně k exponovanému. Ukázka zatěžovací soustavy s rozmístěním termočlánků je na následujících obrázcích Obr. č. 1 a Obr. č. 2.

V průběhu zatěžování byly vzorky vizuálně sledovány a zaznamenávaly se probíhající změny. Před zatěžováním a v časových etapách po 10 minutách byl fotograficky zdokumentován exponovaný povrch. Rozložení teplot ve vzorku bylo také v průběhu zatěžování dokumentováno pomocí termografické kamery.



Obr. č. 1: Sestava zatěžování přímým plamenem



Obr. č. 2: Detail umístění jednotlivých termočlánků ve vzorku

5 SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH SMĚSÍ

Tab. č. 1: Receptury směsí s hrubým kamenivem Olbramovice a jemnozrnných směsí

složka [kg/m ³] / směs	II	II a	II b	II c	II d	III m	III n	III o	IV
CEM I 42,5 R – Mokrá	350	-				390	340	380	360
CEM III/B 32,5 N-SV – Holcim	-	586				-			-
kamenivo 0 – 4 mm Žabčice	894	-				820	950	860	930
kamenivo 0 – 4 mm Náklo	-	1 758				-			-
kamenivo 4 – 8 mm Olbramovice	-	-				405	950	860	200
kamenivo 8 – 16 mm Olbramovice	928	-				460	-	-	510
voda (z vodovodního řádu)	194	293				182	153	209	174
plastifikátor ChrysoPlast 760	-	-				3,1	-	-	-
plastifikátor ChrysoPlast 460	-	-				-	1,36	1,52	-
plastifikátor ChrysoFluid Optima 206	2,3	-				-			5,5
provzdušňovací přísada Chryso Air A	-	-				1,1	-	-	-
popílek Dětmarovice	-	-				-			90
polypropylenová vlákna Fibrin 615	2,0	-	2,0	-	-	-			-
polypropylenová vlákna Fibrin 315	-	-				-	-	1,0	-
skleněná vlákna Cem-FIL 60/3	-	-	-	2,0	-	-			-
celulózová vlákna UltraFibre 500	-	-	-	-	2,0	-			-
vodní součinitel w	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,47	0,45	0,55	0,48
konzistence (sednutí kužele) [mm]	150	-	-	-	-	160	130	180	250
obsah vzduchu v čerstvém betonu [%]	11,4	-	-	-	-	7,5	3,1	5,5	1,8
OH čerstvého betonu [kg/m ³]	2180	2270	2090	2250	2230	2310	2390	2330	2360

OH = objemová hmotnost

Tab. č. 2: Receptury navržených směsí s hrubým kamenivem čedič Bílčice nebo Liapor

složka [kg/m ³] / směs	III a	III b	III c	III d	III e	III f	III g	III h	III i	III j	III k	III l	
CEM I 42,5 R – Mokrá	350	-	-	-	375	-	-	-	-				
CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R – Mokrá	-	350	-	-	-	375	-	-	-				
CEM II/B-S 32,5 R – Holcim	-	-	350	-	-	-	375	-	-				
CEM III/B 32,5 N-SV – Holcim	-	-	-	350	-	-	-	375	350				
kamenivo 0 – 4 mm Bílčice	1 070				500				1 070				
kamenivo 4 – 8 mm Bílčice	1 050				-				1 070				
kamenivo Liapor 1 – 4/500 [m ³]	-				0,24				-				
kamenivo Liapor 4 – 8/600 [m ³]	-				0,40				-				
superplastifikátor Mapefluid N200	6,3				4,5				3,5				
voda (z vodovodního řádu)	175				125				175				
polypropylenová vlákna Fibrin 315	-				-				-	1	2	-	
ocelová vlákna CAR25CDM	-				-				-	-	-	50	
vodní součinitel w	0,50				0,33				0,50				
konzistence (sednutí kužele) [mm]	150	120	160	160	170	130	170	160	130	30	10	80	
obsah vzduchu v čerstvém betonu [%]	-				-				-				
OH čerstvého betonu [kg/m ³]	2570	2560	2580	2580	1720	1700	1710	1720	2560	2550	2500	2610	

OH = objemová hmotnost

6 VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH ETAP

6.1 CELKOVÉ SHRUTÍ ETAPY I

Cílem této etapy bylo vybrat nejvhodnější kamenivo do teplotně odolných cementových kompozitů na základě několika zkoušek. Pomocí těchto zkoušek byla sestavena testovací metodika pro hodnocení teplotní odolnosti kameniva.

Tab. č. 3: Přehled testovaných kameniv včetně jejich charakteristik

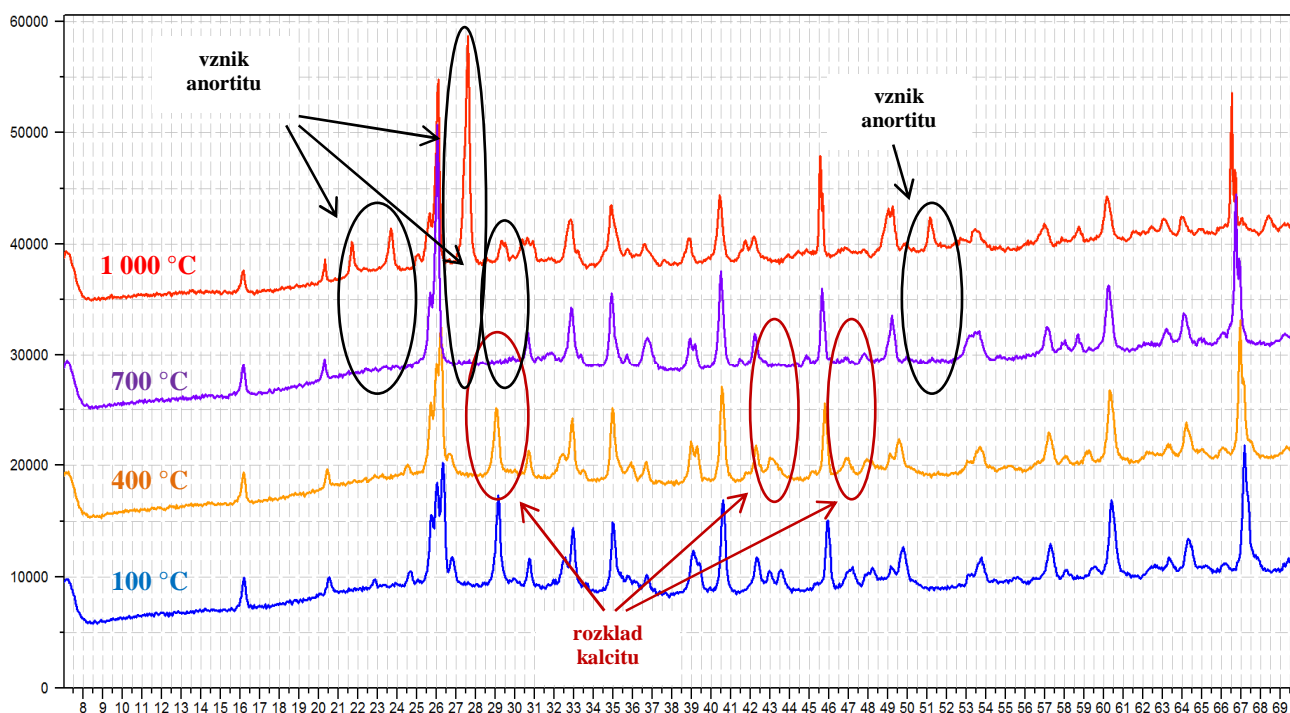
původ kameniva – lokalita	značení vzorku	frakce [mm]	hornina/materiál
přírodní drcené kamenivo – Olbramovice	Olbramovice	8 – 16	biotický granodiorit
přírodní drcené kamenivo – Lomnička	Lomnička	8 – 16	svratecká ortorula
přírodní drcené kamenivo – Bílčice	Bílčice	8 – 16	čedič (bazalt)
přírodní těžené kamenivo – Náklo	Náklo	1 – 16	štěrkopísek – kvartér
betonový recyklát	recyklát	1 – 16	beton
průmyslově sbalkovaný popílek	sbalky	8 – 16	popílek + cement
průmyslové lehké kamenivo – Lias Vintířov	Liapor	4 – 8	vypálený cypřišový jíł

Zkouška, která dostatečně vypovídá o stabilitě kameniva při vysokých teplotách je pevnost stlačením ve válci. Při porovnání výsledků této zkoušky lze zjistit, že absolutně nejvyšších hodnot je dosahováno u těženého kameniva Náklo a to ve všech teplotních stupních zatížení. Následuje čedičové kamenivo Bílčice. Toto je však porovnání absolutních hodnot pevností.

Podstatně důležitější je procentuální porovnání pevností vztažených ke vzorkům nezatíženým – referenčním (= 100 %). Největší poklesy pevností zaznamenaly ve všech teplotních stupních kameniva Olbramovice, Lomnička a betonový recyklát (400 °C – pokles o 22 – 36 %, 700 °C – pokles o 40 – 62 %, 1 000 °C – pokles o 74 – 83 %). Z přírodních kameniv je na tom těžené kamenivo Náklo lépe (400 °C – pokles o 28 %, 700 °C – pokles o 44 %, 1 000 °C – pokles o 47 %), ale nejmenší poklesy pevnosti z přírodních kameniv dosáhlo čedičové kamenivo Bílčice (400 °C – pokles o 15 %, 700 °C – pokles o 7 %, 1 000 °C – pokles o 27 %).

U dvou vzorků umělého kameniva došlo k mnohem menším poklesům pevnosti, resp. k nárůstu. U lehkého kameniva Liapor došlo ve všech teplotních stupních k mírnému nárůstu pevnosti (400 °C – o 11 %, 700 °C – o 12,7 %, 1 000 °C – o 13,5 %). U sbalkovaného popílku došlo k výraznému nárůstu pevnosti po teplotě 1 000 °C – nárůst o 55 %. Nárůst pevností u těchto umělých kameniv lze u teplot 400 °C a 700 °C odůvodnit ztrátou vody bez poškození mikrostruktury zrn a tím pádem zpevněním materiálu. Při 1 000 °C již pravděpodobně došlo k částečnému zpevnění struktury materiálu slinováním.

Po shrnutí výsledků provedených rentgenových analýz jednotlivých vzorků kameniva se jednoznačně jako teplotně nejstabilnější jeví kamenivo *Liapor* (na rentgenogramech nebyly zaznamenány žádné změny). Nejvíce změn bylo zaznamenáno u *sbalkovaného popílku* (rozklad kalcitu, vznik anortitu) a to jak na rentgenogramech po zahřátí a následném ochlazení, tak na vysokoteplotních rentgenogramech při aktuálních teplotách (v teplotní komoře). Vznik anortitu však svědčí o částečném slinování materiálu, což je změna spíše pozitivní, protože tak dochází ke zpevnění struktury.



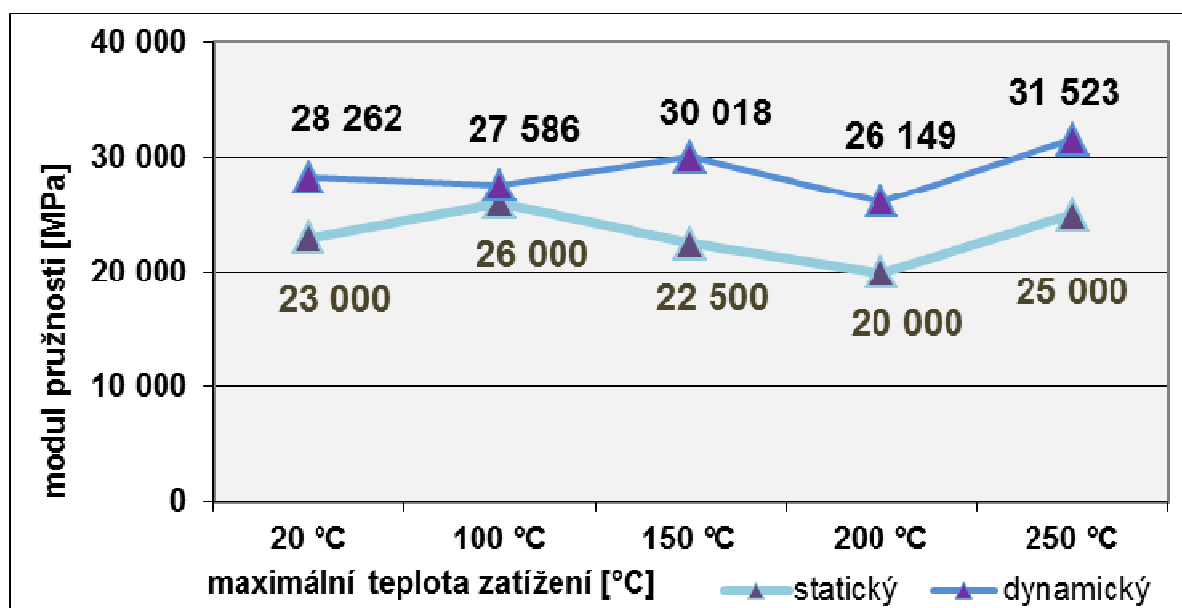
Graf č. 1: Souhrnně zpracované rentgenogramy sbalkovaného popílku při aktuálních teplotách 100 °C, 400 °C, 700 °C a 1 000 °C (jeden vzorek zahříváný kontinuálně – vysokoteplotní rentgenová difrakční analýza)

Ze souboru přírodních kameniv dosáhlo, v závislosti na teplotním zatěžování, jednoznačně nejstabilnějších výsledků *čedičové kamenivo Bílčice*. S nejhorší stabilitou po teplotním zatížení se projevila kameniva Lomnička a Olbramovice. Co se týče umělých kameniv (Liapor, sbalkovaný popílek), obstála v průběhu testování tepelné odolnosti obě kameniva velmi dobře. Přece jenom větší potenciál však naznačuje *sbalkovaný popílek*, především z důvodu výrazného nárůstu pevnosti stlačením ve válci po 1 000 °C.

6.2 CELKOVÉ SHRUTÍ ETAPY II – ČÁST A

Z první části, kde byly sledovány fyzikálně – mechanické vlastnosti lze udělat následující závěry. Na pevnost v tlaku, statický a dynamický modul pružnosti betonu mají teploty v rozmezí 20 °C – 250 °C obdobný vliv. Nejprve dochází k mírnému nárůstu hodnot, následuje mírný pokles a po 250 °C dochází opět k nárůstu. Zjištěný vývoj koresponduje s poznatky popsány v teoretické části práce, při teplotách okolo 100 °C dochází ke zpevnění struktury cementové matrice z důvodu ztráty vlhkosti – vysušení. Při teplotách 200 °C – 300 °C nastává jev „kvazizpevnění“, který se projevuje zejména u mladých betonů, kdy dochází k urychlení hydratačních procesů [27] [28] (v disertační práci popsáno v kapitole 2.8.1.1). Mírné snížení pevnostně – dynamických charakteristik při 200 °C je způsobeno snížením hutnosti cementového tmele v důsledku vyhoření vláken. Pevnost v tahu ohybem a pevnost v tahu povrchových vrstev betonu mají sestupnou tendenci v závislosti na zvyšující se teplotě.

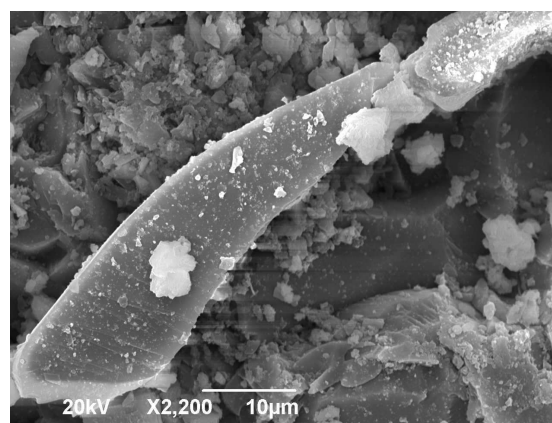
Ostatními zkouškami a pozorováním (vizuální pozorování, mikroskopické pozorování, stanovení množství, velikosti a distribuce vzduchových pórů v betonu) bylo potvrzeno postupné vyhořívání polypropylenových vláken z cementové matrice se zvyšující se teplotou.



Graf č. 2: Porovnání statického a dynamického modulu pružnosti po stupních teplotního zatížení vzorků Etapy II – část A



Obr. č. 3: Fotodokumentace z optického mikroskopu – vlákna po 100 °C bez poškození



Obr. č. 4: Fotodokumentace z elektronového scanovacího mikroskopu – vzhled vlákna po 150 °C s rozsáhlejší deformací

6.3 CELKOVÉ SHRUTÍ ETAPY II – ČÁST B

Na základě výsledků fyzikálně – mechanických vlastností lze konstatovat, že nejlépe vysokým teplotám odolala směs s přírodními mikrovlákný UltraFibre 500 (II d) a naopak nejméně odolala směs s polypropylenovými vlákny Fibrin 615 (II b). Tuto skutečnost si lze vysvětlit tím, že přírodní mikrovlákná UltraFibre 500 mají z použitých vláken v této etapě největší průměr a jsou zároveň nejkratší. Při jejich vyhoření byla tedy hutnost cementové matrice oslabena mnohem méně, než u vláken Fibrin, která jsou asi třikrát delší a mají asi třikrát menší průměr vlákna. Jejich počet v cementové matrici musí být zákonitě několikanásobně vyšší, čímž při vyhoření sníží hutnost cementové matrice mnohem více.

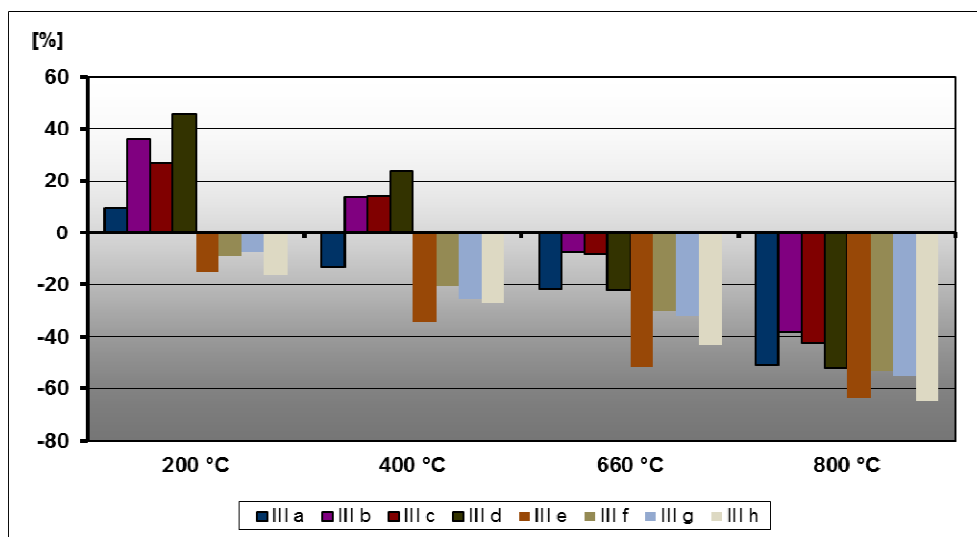
Očekávaný pozitivní vliv rozptýlené výztuže oproti směsi bez vláken se v této etapě experimentálních prací neprojevil. Z toho plyne závěr, že rozptýlená výztuž, v podobě jemných mikrovláken, nedokáže zabránit ani omezit defektům, ke kterým dochází v cementové matrici, při všesměrném působení vysokých teplot na betonový vzorek.

**Tab. č. 4: Přehled změn fyzikálně – mechanických vlastností po teplotním zatížení vzorků
Etapy II – část B**

označení směsi	teplotní zatížení [°C]	pevnost v tahu za ohybu [MPa]			pevnost v tlaku [MPa]		
		před teplotním zatížením	po teplotním zatížení	změna [%]	před teplotním zatížením	po teplotním zatížení	změna [%]
II a	200	5,7	5,4	- 5,3	26,8	26,2	- 2,2
	400		3,9	- 31,6		25,6	- 4,5
	600		1,6	- 71,9		15,3	- 42,9
	800		1,2	- 78,9		10,3	- 61,6
	1 000		0,6	- 89,5		5,0	- 81,3
II b	200	6,3	5,3	- 15,9	27,1	23,9	- 11,8
	400		4,7	- 25,4		22,4	- 17,3
	600		1,8	- 71,4		14,9	- 45,0
	800		1,3	- 79,4		10,6	- 60,9
	1 000		0,6	- 90,5		3,4	- 87,5
II c	200	6,5	6,2	- 4,6	34,5	34,0	- 1,4
	400		4,4	- 32,3		28,9	- 16,2
	600		3,2	- 50,8		23,7	- 31,3
	800		1,4	- 78,5		14,4	- 58,3
	1 000		0,5	- 92,3		6,3	- 81,7
II d	200	6,6	6,4	- 3,0	33,3	33,0	- 0,9
	400		4,0	- 39,4		28,8	- 13,5
	600		2,9	- 56,1		25,1	- 24,6
	800		1,1	- 83,3		17,0	- 48,9
	1 000		0,5	- 92,4		6,1	- 81,7

6.4 CELKOVÉ SHRUTÍ ETAPY III – ČÁST A

Smyslem experimentálních prací této etapy bylo ověřit chování jednotlivých směsí s různými druhy cementů a kameniva, při zatížení vysokými teplotami. Ze souboru výsledků fyzikálně – mechanických vlastností, rychlosti šíření impulsů, porušení povrchu vzorků jsem dospěl k jednoznačným závěrům. Vzorky s použitím portlandských směsných cementů (III b, III c, III f, III g) byly po zatížení vysokými teplotami, co se týče sledovaných parametrů, nejstabilnější. Při hodnocení vlivu použitého druhu kameniva na odolnost vůči vysokým teplotám je zřejmé, že vzorky s čedičovým kamenivem (III a, III b, III c, III d) byly v tomto ohledu více stabilní.

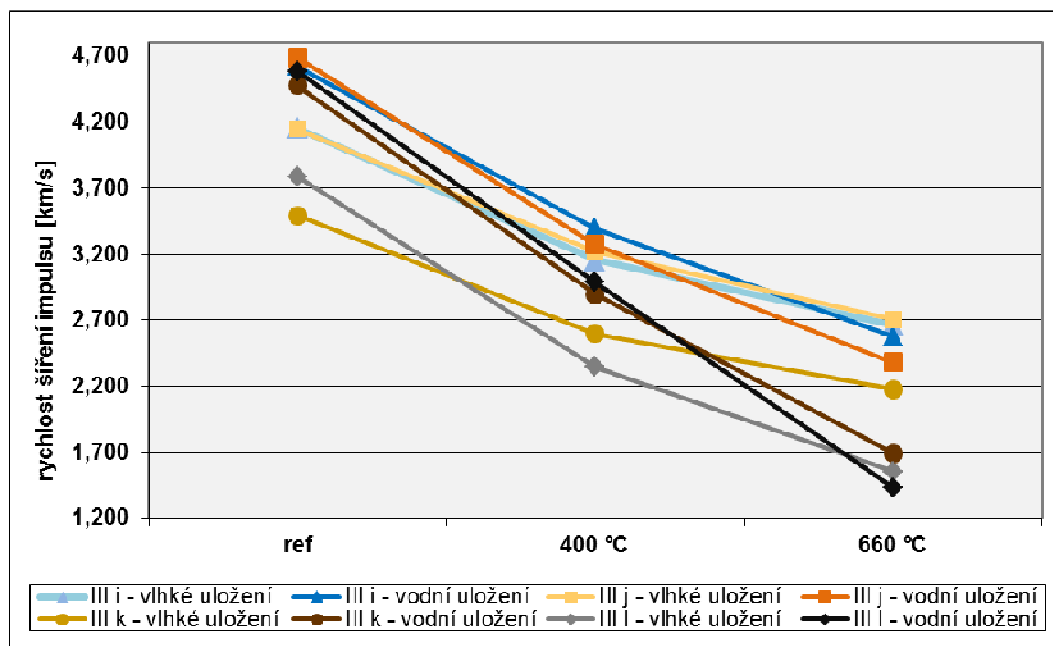


Graf č. 3: Procentuální porovnání poklesu pevnosti v tlaku po stupních teplotního zatížení vzorků Etapy III – část A

6.5 CELKOVÉ SHRNU TÍ ETAPY III – ČÁST B

Výsledky této etapy řešení měly napomoci především k odhalení vlivu uložení vzorků v průběhu zrání, resp. vlivu vlhkosti vzorků při teplotním zatěžování. Předpokládal jsem, že u vzorků z vodního uložení budou zaznamenány větší defekty vzorků, resp. větší poklesy pevnostních charakteristik, než u vzorků z vlhkého uložení, protože vlhkost (větší množství vlhkosti ve vzorku z vodního uložení) při zahřívání betonových vzorků způsobuje defekty ve struktuře betonu. Tento předpoklad se projevil u pevnosti v tahu za ohybu a u rychlosti šíření impulsů. Po 660 °C došlo k poklesu rychlosti šíření impulsů u vzorků z vlhkého prostředí o 35 – 60 %, u vzorků z vodního uložení o 45 – 70 %. U zjišťování pevnosti v tlaku se tento předpoklad nepotvrdil, u nasákavosti (stanovená po teplotním zatížení v porovnání s nezatěžovanými vzorky) byly výsledky oproti předpokladu opačné. Z naměřených hodnot nasákavosti lze vyčíst, že vzorky z vlhkého uložení dosahují přibližně o ½ vyšších hodnot nasákavosti než vzorky, které byly uloženy ve vodě.

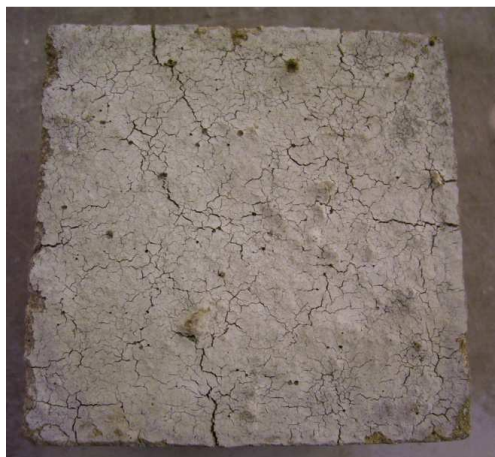
Vysvětlení je možné hledat ve velikosti použitých vzorků. Dá se předpokládat, že u vzorků větších rozměrů by se pravděpodobně vliv uložení vzorků, resp. vlhkost vzorků, projevil daleko výrazněji.



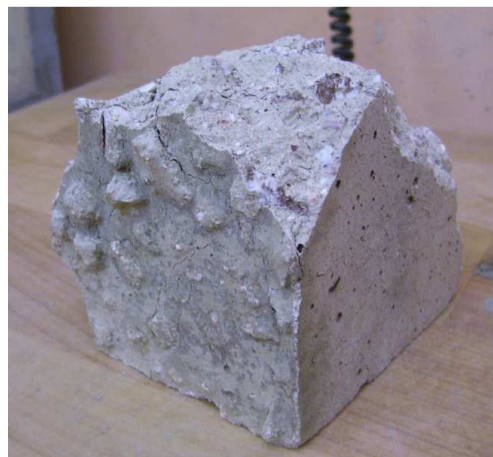
Graf č. 4: Grafický přehled rychlosti šíření impulsu po teplotním zatížení vzorků Etapy III – část B

6.6 CELKOVÉ SHRNU TÍ ETAPY III – ČÁST C

Při první sérii zahřívání (na maximální teplotu 945 °C) odolaly bez rozpadu oba betony (s vlákny – III o, i bez vláken III n) i když rozdíl v množství záměsové vody byl 40 kg/m³ (rozdíl ve vodním součiniteli 0,1). Pokles pevnosti v tlaku byl u obou vzorků obdobný, okolo 80 %, bez rozdílu přítomnosti vláken. Při druhé sérii zahřívání došlo k destrukci vzorku bez vláken (III m), zatímco vzorek s vlákny (II) zůstal kompaktní. Dle způsobu porušení vzorku (celková destrukce) je zřejmé, že k destrukci vzorku došlo v důsledku expanze přehřáté vodní páry, čímž došlo k roztrhání vzorku. Přestože druhý vzorek z téhož zatěžovacího cyklu měl mírně odlišné složení (množství záměsové vody však téměř stejné – rozdíl 12 kg/m³), lze udělat závěr, že k rozpadu tohoto tělesa nedošlo pouze z důvodu přítomnosti vláken.



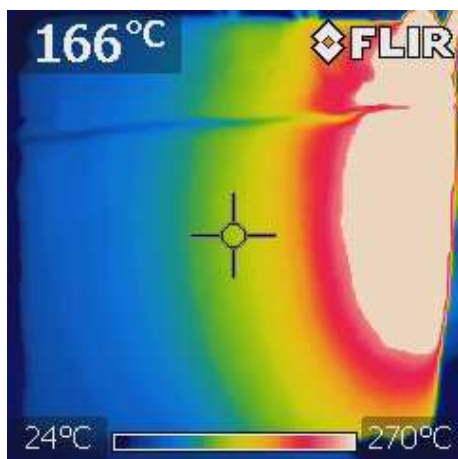
Obr. č. 5: Detail výrazně porušeného povrchu vzorku směsi II (vlákna Fibrin 615) po teplotním zatížení až do teploty 1 110 °C – povrch vzorku je protkán sítí trhlin



Obr. č. 6: Detail vzorku směsi III m (bez vláken) po teplotním zatížení až do teploty 1 110 °C – destrukce vzorku

6.7 CELKOVÉ SHRNU TÍ ETAPY IV

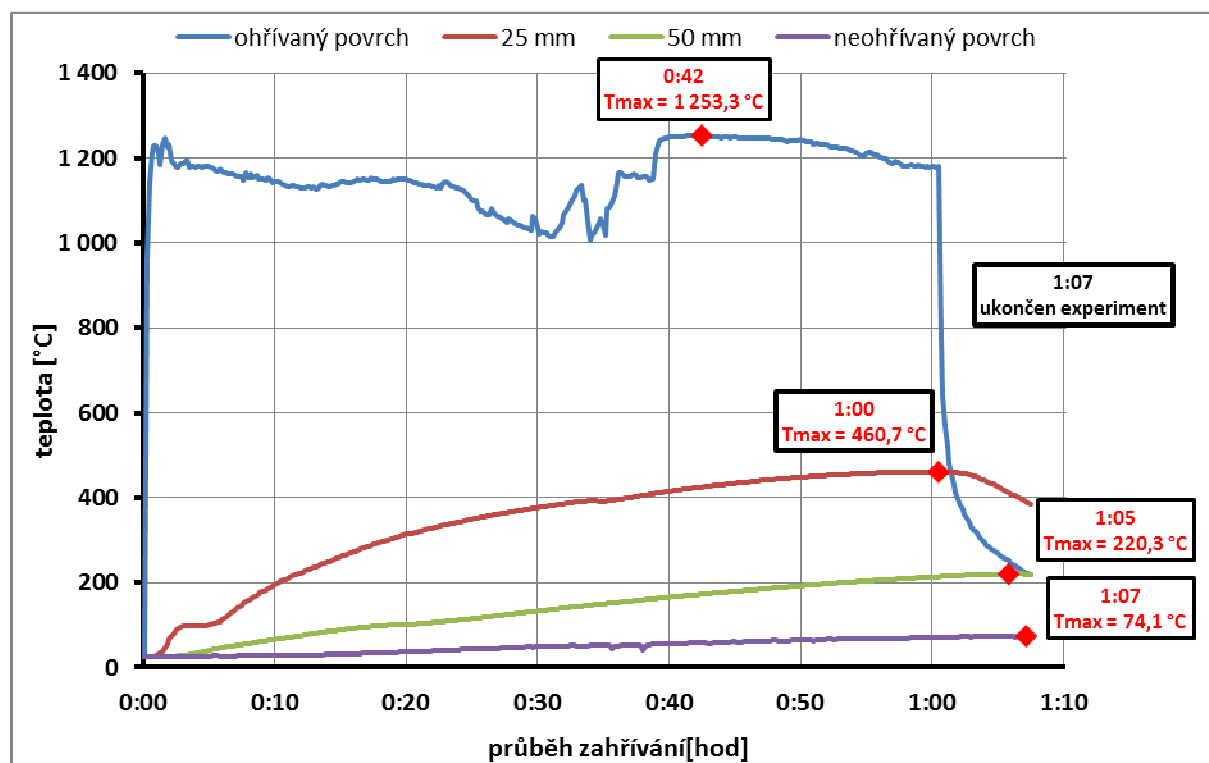
Výsledky této etapy měly přispět k poznání o chování betonové konstrukce zatížené přímým plamenem – požárem. Ukázalo se, že kritická hranice vlhkosti, kdy může nastat explozivní odprýsknutí, je kolem 5 %. Toto však platí pro betony bez vláken a bez příměsí. Jak se v experimentu potvrdilo, u betonu s hutnou strukturou (IV – beton s příměsí) došlo k odprýsknutí již při vlhkosti 4,2 % (vlhké uložení). U betonů s vyšší vlhkostí (cca 5 % a více) je výskyt odprýsknutí, pokud není použita rozptýlená výztuž, značně pravděpodobný. Bylo potvrzeno, že použití jemné polypropylenové rozptýlené výztuže zabraňuje jevu explozivního odprýskávání betonu z důvodu „otevření“ struktury cementové matrice jejich vyhořením. Vzorek s jemnou ocelovou rozptýlenou výztuží také nezaznamenal odprýsknutí z exponovaného povrchu. Příznivý účinek těchto vláken však nespočívá v „otevření“ struktury vzorku pro přehřátou vodní páru. Efekt těchto vláken je takový, že ve struktuře betonu pomohou přenést napětí způsobená nahromaděnou přehřátou párou a nedojde tak k odtrhnutí vrstvy betonu. Přehřátá pára potom unikne drobnými trhlinami v povrchu. Dá se tedy předpokládat, že u těchto vzorků, bude rozsah mikrotrhlin ve vnitřní struktuře betonu daleko většího rozsahu. Při studiu poruch odprýsknutých povrchů se také výrazně projevila výborná tepelná stabilita čedičového kameniva.



Obr. č. 7: Záznam termografické kamery po zkoušce, vzorek IV – vodní uložení



Obr. č. 8: Detail exponovaného povrchu po zkoušce, vzorek IV – vodní uložení (vlhkost 4,4 %, maximální teplota 1 279 °C)



Graf č. 5: Záznam průběhu teplot ve vzorku receptury II (CEM I 42,5 R Mokrý, hrubé kamenivo Olbramovice) – vlhké uložení

7 ZÁVĚR

Ve čtyřech etapách experimentálních prací bylo provedeno množství testů a zkoušek s cílem co nejvíce postihnout řešenou problematiku. Pokusím se zde shrnout nejpodstatnější získané poznatky, ke kterým jsem dospěl. Především bych chtěl poznamenat, že při zkoušení tepelné odolnosti je zásadní rozdíl mezi všesměrným zahříváním vzorků (v peci) a lokálním zahříváním (plamenem). Zkušební vzorky se při těchto dvou odlišných postupech zatěžování chovaly odlišně. Při všesměrném zahřívání v peci lze velice dobře odzkoušet stabilitu kameniva při vysokých teplotách, stejně jako difference v chování vzorků připravených z různých druhů cementů. U vzorků zahříváných přímým plamenem se potvrzuje příznivý vliv přítomnosti rozptýlené výztuže stejně dobře jako vliv různé vlhkosti na porušení vzorků.

Na základě výsledků testování stability plniva do betonu lze z přírodních kameniv doporučit do tepelně odolných cementových kompozitů čedičové kamenivo, které se projevilo jako nejstabilnější. Naopak nejhorší stabilitu projevila kameniva dominantně obsahující granodiorit a ortorulu. Co se týče umělých kameniv (Liapor, sbalkovaný popílek), obstála v průběhu testování tepelné odolnosti obě kameniva velmi dobře. Přece jenom větší potenciál však naznačuje sbalkovaný popílek, především z důvodu výrazného nárůstu pevnosti stlačením ve válci při zvyšující se teplotě. Chování betonu s tímto kamenivem (sbalkovaný popílek) při působení vysokých teplot je třeba ještě ověřit. Tímto směrem by se mohl ubírat další výzkum ohledně tepelně odolných cementových kompozitů.

Vzorky s použitím portlandských směsných cementů byly po zatížení vysokými teplotami nejstabilnější. Na základě tohoto zjištění lze portlandské směsné cementy doporučit do betonů, které mohou být vystaveny vysokým teplotám. Naopak čistě portlandské cementy jsou pro toto použití nevhodné.

Při zatížení přímým plamenem se ukázalo, že kritická hranice vlhkosti, kdy může nastat explozivní odprýsknutí, je v oblasti okolo 5 %. Toto však platí pro betony bez vláken a bez příměsí. Jak se v experimentu potvrdilo, u vzorku s hutnou strukturou (směs IV – s příměsí), došlo k odprýsknutí již při vlhkosti 4,2 %. U betonů s vyšší vlhkostí, nebo s hutnou strukturou, je výskyt odprýsknutí, pokud není použita rozptýlená výztuž, značně pravděpodobný.

Na poli vědeckém je přínosem sestavená metodika testování odolnosti kameniva proti vysokým teplotám, která není v českých technických normách řešena. Metodika byla sestavena z několika běžných zkoušek kameniva. Za podstatné zkoušky v metodice testování tepelné odolnosti kameniva považují stanovení pevnosti stlačením ve válci, omezený síťový rozbor a pozorování makroskopické i mikroskopické před a po teplotním zatížení.

Pozorování vzhledu vláken, jejich deformací a míry jejich úbytku v důsledku působení teplot bylo možno efektivně realizovat pomocí optické mikroskopie a elektronové rastrovací mikroskopie.

Pro hodnocení míry degradace betonu vystaveného účinkům vysokých teplot se jako perspektivní a vypovídající ukázalo využití ultrazvukové impulsové metody, především pro identifikaci vnitřních defektů – trhlin. Tato metoda je využitelná k racionalizaci experimentálních prací, které jsou zaměřeny na optimalizaci složení betonů, které mají odolávat vysokým teplotám.

Experimentálně bylo potvrzeno, že použití jemné polypropylenové rozptýlené výztuže zabraňuje jevu explozivního odprýskávání betonu, z důvodu „otevření“ struktury cementové matrice jejich vyhořením. Příznivý účinek speciální jemné ocelové nízkouhlíkové rozptýlené výztuže nespočívá v „otevření“ struktury vzorku pro přehřátou vodní páru. Efekt těchto vláken je takový, že vlákna ve struktuře betonu pomohou přenést napětí způsobená nahromaděnou přehřátou párou a nedojde tak k odprýsknutí vrstvy betonu. Přehřátá pára potom unikne drobnými trhlinami v povrchu. Experimentálně bylo ověřeno, že výskyt trhlin na exponovaném povrchu vzorků s ocelovou nízkouhlíkovou rozptýlenou výztuží byl vyšší, než u vzorků s polypropylenovou rozptýlenou výztuží, avšak bez explozivního odprýsknutí. Lze předpokládat, že u vzorků s ocelovou nízkouhlíkovou rozptýlenou výztuží, bude rozsah mikrotrhlin ve vnitřní struktuře většího rozsahu než u vzorků s polypropylenovou rozptýlenou výztuží.

Optimalizace složení tepelně odolného kompozitního materiálu bude mít z ekonomického hlediska význam z pohledu předejití poškození betonové konstrukce účinky vysokých teplot a požáru. Pokud bude již primárně samotným návrhem použitého materiálu zajištěná dobrá odolnost vůči vysokým teplotám a ohni, sníží se tím ekonomické nároky na sekundární ochranné prvky, např. v případě tunelového ostění. Navíc pokud bude použitím vhodného složení betonu předejito výraznému poškození konstrukce po účinku vysokých teplot, bude tím snížena doba odstávky a sanace dané konstrukce, což bude mít jistě také ekonomické výhody.

Ekologická stopa této práce se může projevit na základě doporučení pro použití pojiva a plniva do tepelně odolných kompozitů. Co se týče volby pojiva, jsou jednoznačně doporučeny portlandské směsné cementy namísto čistých portlandských cementů, což bude mít výrazný ekologický efekt v podobě snížení emisí CO₂. Jako jedno z tepelně stabilních plniv je na základě provedeného testování tepelné odolnosti kameniva doporučeno sbalkované popílkové kamenivo, které je primárně tvořeno popílkem z klasického způsobu spalování pojené malým množstvím cementu. Používání tohoto kameniva do betonů, které mají odolávat vysokým teplotám, by mělo značný ekologický přínos ve zpracování odpadu z elektrárenského průmyslu – popílku.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SIČÁKOVÁ, A. a kolektiv, *New generation cement concretes – Ideas, Design, Technology and Applications*, 1. vydání Košice, červen 2008, 156 s, ISBN 978-80-553-0040-5.
- [2] COLLEPARDI, M., *Moderní beton*, Betonové stavitelství, Praha, 2009, p. 0-342, ISBN 978-80-87093-75-7.
- [3] XING, Z., BEAUCOUR, A.L., HEBERT, R., NOUMOWE, A., LEDESERT, B., *Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature*, Cement and Concrete Research, Volume 41, Issue 4, p. 392-402, April 2011.
- [4] ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 44 s.
- [5] ČSN EN 1363-1, *Zkoušení požární odolnosti – Základní požadavky*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 48 s.
- [6] ČSN EN 1992-1-2 (73 1201), *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla; Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, Praha: Český normalizační institut, 2006, 92 s.
- [7] HAGER, I., *Behavior of high performance concretes at high temperature – evolution of mechanical properties*, PhD thesis (in french), Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, november 2004, 182 p.
- [8] HAGER, I., PIMIENTA, P., *Impact of the polypropylene fibers on the mechanical properties of HPC concrete*, Proceedings of Sixth Rilem Symposium on Fibre Reinforced Concrete (FRC), BEFIB 2004, 20-22 septembre 2004, Varenna, Italy.
- [9] ČSN EN 1367-5, *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 5: Stanovení odolnosti vůči tepelnému šoku*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 20 s.
- [10] ČSN EN 1097-2, *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 32 s.
- [11] ČSN EN 1097-6, *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 40 s.
- [12] ČSN EN 12 390-3, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 20 s.
- [13] ČSN EN 196-1, *Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti*, Praha: Český normalizační institut, 2005, 28 s.
- [14] ČSN EN 12 390-5, *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 12 s.
- [15] ČSN EN 12 390-7, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 12 s.
- [16] ČSN EN 12 390-6, *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 12 s.
- [17] ČSN 73 1318, *Stanovení pevnosti betonu v tahu*, Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 12s.
- [18] ČSN ISO 6784, *Beton, Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*, Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992, 8 s.
- [19] ČSN 73 1371, *Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 12 s.

- [20] ČSN EN 12504-4, *Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*, Praha: Český normalizační institut, 2005, 16 s.
- [21] ČSN 73 1316, *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlávanosti betonu*, Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989, 8 s.
- [22] ČSN EN 480-11, *Příspěvky do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody, Část 11: Stanovení charakteristiky vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu*, Praha: Český normalizační institut, 2006, 24 s.
- [23] GREGEROVÁ, M., *PVE Dlouhé Stráně – oprava AB pláště horní nádrže petrograficko - mineralogicko - geochemické posouzení*, 2004, MS nepublikovaná zpráva, MU Brno.
- [24] ČSN EN 12 350-2, *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 12 s.
- [25] ČSN EN 12 350-6, *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 12 s.
- [26] ČSN EN 12 350-7, *Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 20 s.
- [27] ZHANG, B., BICANIC, N., PEARCE, J.CH., DAVID, P.V., *Relationship between brittleness and moisture loss of concrete exposed to high temperatures*, Cement and Concrete Research, 32(3), p. 363-371, 2002.
- [28] WITTMANN, F.H., *Hydraulic cement pastes*, p. 96-117, University of Sheffield, Wessham Springs, 1976.
- [29] *interní materiály kamenolomu Olbramovice – protokoly zkoušek kameniva.*
- [30] *interní materiály šterkovny Náklo – protokoly zkoušek kameniva.*
- [31] *interní materiály kamenolomu ROSA, s.r.o. – protokoly zkoušek kameniva.*
- [32] www.webmineral.com.

9 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení	Jaroslav Válek
Datum a místo narození	31. 5. 1984
Stav	ženatý
Trvalé bydliště	Štěpánovice 130, 666 02, Předklášteří

Dosažené vzdělání:

2007 – nyní	Vysoké učení technické v Brně , Fakulta stavební <i>Typ studia:</i> doktorský (nyní kombinované) <i>Studijní program:</i> Stavební inženýrství <i>Studijní obor:</i> Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství
2002 – 2007	Vysoké učení technické v Brně , Fakulta stavební <i>Typ studia:</i> magisterský <i>Studijní program:</i> Stavební inženýrství <i>Studijní obor:</i> Stavebně materiálové inženýrství
1995 – 2002	Gymnázium Tišnov
1994 – 1995	ZŠ náměstí 28. října v Tišnově
1990 – 1994	ZŠ Předklášteří

Pracovní zkušenosti:

- 2007 – nyní **STAVEXIS, s.r.o.** - znalecký ústav
Pozice: technický pracovník v oboru stavebnictví a ekonomiky
- 2007 – nyní **Vysoké učení technické v Brně**, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Pozice: technik pro výzkum a vývoj
- 2000 – 2007 **Jiří Uhlíř** – betonové podlahy
Pozice: technický pracovník

Publikační činnost:

- [1] HELA, R.; BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J. *Vliv rozptýlené výztuže na provzdušnění betonu*. In Sborník příspěvků z Konference Podlahy 2007. 1. Praha, ČVUT Praha. 2007. p. 42 - 47. ISBN 978-80-254-0144-6.
- [2] VÁLEK, J. *Tepelné zatížení tunelového ostění*. In CONSTRUMAT 2008, Conference about structural materials. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. 2008. p. 74 - 75. ISBN 978-80-214-3660-2.
- [3] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L.; HELA, R. *Vliv ocelových vláken na provzdušnění drátkobetonu*. In 7. konference Technologie betonu, Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí. Ing. Vlastimil Šrůma, CSc., MBA; Zuzana Šrůmová. Praha, ČBS Servis, s.r.o. 2008. p. 175 - 180. ISBN 978-80-87158-09-8.
- [4] VÁLEK, J. *Provzdušněný drátkobeton přídatkem ocelové rozptýlené výztuže*. In Sborník anotací-10.Odborná konference doktorského studia Juniorstav 2008. MLOK. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2008. p. 320 - 326. ISBN 978-80-86433-45-5.
- [5] HELA, R.; BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J. *Kompozitní materiál s alkalicky aktivovanou maticí s odolností vůči působení vyšších teplot a vybraných agresivních vlivů*. In IDEAS 09. CIDEAS. Ostrava, VŠB - TECHNICKÁ UNIVERSITA OSTRAVA. 2009. p. 403 - 404. ISBN 978-80-248-2091-0.
- [6] BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; VÁLEK, J. *Diagnostika vlastností betonu v procesu rozpojování technologií vodního paprsku*. In Vodní paprsek 2009, výzkum, vývoj, aplikace Water Jet 2009, Research, Development, Applications. Ostrava, Ústav geoniky AV ČR. 2009. p. 7 - 18. ISBN 978-80-86407-81-4.
- [7] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L.; HELA, R. *Study of properties fiber concrete of heatloading*. In 5th International Conference Fibre Concrete 2009, Technology, Design, Application. Praha, CTu v Praze. 2009. p. 247 - 251. ISBN 978-80-01-04381-3.
- [8] VÁLEK, J. *Alkali-activated matrix applied in concrete for obtaining resistance to higher temperatures*. In Ecology and new building materials and products. Brno, Institute of Building Materials, JSC. 2009. p. 345 - 348. ISBN 978-80-254-4447-4.
- [9] VÁLEK, J. *Vlastnosti vláknobetonu po různých stupních teplotního zatížení*. In sborník XII mezinárodní vědecké konference. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2009. p. 199 - 202. ISBN 978-80-7204-629-4.
- [10] VÁLEK, J. *Návrh betonu s alkalicky aktivovanou maticí pro zajištění odolnosti vůči působení vyšších teplot*. In Sborník anotací-11.Odborná konference doktorského studia Juniorstav 2009. Brno, VUT FAST. 2009. p. 299 - 305. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [11] HELA, R.; BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; HERKA, P. *Sledovanie vplyvu rozptýlenej výstuže na vybrané vlastnosti betónu*. In Stavební Ročenka 2009. Jaga Media, s.r.o. Bratislava, 2008, Jaga Group, s.r.o. 2009. p. 92 - 97. ISBN 978-80-8076-068-7.
- [12] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L. *Provzdušněný drátkobeton přídatkem ocelové rozptýlené výztuže*. Konstrukce. 2009. 8.(2/2009). p. VI (3 p.). ISSN 1213-8762.
- [13] VÁLEK, J. *Porovnání vlastností alkalicky aktivovaných materiálů s běžnými cementovými betony po zatížení vysokými teplotami*. In sborník příspěvků Konference s mezinárodní účastí 17. BETONÁŘSKÉ DNY. Hradec Králové, ČBS Servis, s.r.o. 2010. p. 464 - 467. ISBN 978-80-87158-28-9.

- [14] VÁLEK, J. *Výroba kompozitní desky z alkalicky aktivované matrice*. In Sborník anotací-12.Odborná konference doktorského studia Juniorstav 2010, VUT FAST. 2010. p. 301 - 307. ISBN 978-80-214-4042-5.
- [15] BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; VÁLEK, J. *Properties of fibre concrete after various degrees of heatloading*. In Concrete under Severe Conditions, Enviroment and loading. Pedro Castro-Borges, Eric I. Moreno, Koji Sakai, Odd E. Gjorv, Nekumar Banthia. London, UK, Taylor&francis Group. 2010. p. 561 - 567. ISBN 978-0-415-59316-8.
- [16] VÁLEK, J.; STAVINOHA, R. *Návrh alkalicky aktivovaného materiálu odolného vůči vybraným agresivním vlivům*. In CONSTRUMAT 2010, Conference about structural materials. Šveda, Lederová, Struhárová, Kerestúr. Bratislava, Slovak technical University in Bratislava. 2010. p. 164 - 172. ISBN 978-80-227-3297-0.
- [17] STAVINOHA, R.; VÁLEK, J. *Vliv metakaolinu na vlastnosti lehkých betonů*. In Construmat 2010. Slovenská technická univerzita v Bratislavě. Bratislava, Slovenská technická univerzita v Bratislavě. 2010. p. 148 - 158. ISBN 978-80-227-3297-0.
- [18] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; HELA, R.; DORAZILOVÁ, I.; HORÁK, O.; SEDLÁK, P. *Vlastnosti betonů s GREEN cementy*. In *Konference s mezinárodní účastí 18. Betonářské Dny 2011*. Ing. Vlastimil Šrůma, CSc., MBA, Ing. Hana Šrůmová, MBA. Hradec Králové, ČBS Servis, s.r.o. 2011. p. 285 - 290. ISBN 978-80-87158-30-2.
- [19] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L.; DORAZILOVÁ, I.; HELA, R.; SEDLÁK, P. *Ověřování vlastností betonů s cementy s nižší ekologickou náročností (green cement) v chemicky agresivních prostředích*. In *8. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY, sborník příspěvků*. kolektiv autorů. Skalský Dvůr, SEKURKONs.r.o. 2011. p. 54-61. ISBN 978-80-86604-54-1.
- [20] BODNÁROVÁ, L.; WOLF, I.; HELA, R.; VÁLEK, J. *Užití vysokorychlostního vodního paprsku pro ošetření povrchu betonu - hodnocení vlastností betonů otryskaných vysokorychlostním vodním paprskem*. In *Vodní paprsek 2011 - výzkum, vývoj, aplikace*. Ing. Libor Sitek, Ph.D., Ing. Michal Zelenák. Ostrava, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i. 2011. p. 25 - 37. ISBN 978-80-86407-23-4.
- [21] VÁLEK, J.; HELA, R.; BODNÁROVÁ, L.; STAVINOHA, R. *Lightweight concrete with alkali-activated matrix based on metakaoline and micronized limestone*. In *NON-TRADITIONAL CEMENT & CONCRETE IV*. Vlastimil Bílek and Zbyněk Keršner. Brno, Brno University of Techology. 2011. p. 6 - 17. ISBN 978-80-214-4301-3.
- [22] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L.; HELA, R. *Properties of new types of Portland-limestone cement and Portland-composite cement (green cement) and verification of their applicability for concrete production*. In *MATBUD 2011 - ZAGADNIENIA MATERIALOWE W INZYNIERII LADOWEJ*. Krakow, Dział Poligrafii Politechniki Krakowskiej. 2011. p. 138 - 148. ISBN 978-83-7242-607-9.
- [23] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J. *Možnosti využití FRP kompozitů ve stavebnictví*. In *CONSTRUMAT 2011 Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Jozef Junák, Nadežda Številová, Adriana Eštoková, Alena Sičáková. Košická Belá, Technická univerzita v Košiciach - Stavebná fakulta. 2011. p. 76 - 81. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [24] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L. *Ověření odolnosti betonů z vápencových cementů vůči agresivním prostředím*. In *CONSTRUMAT 2011 Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Jozef Junák, Nadežda Številová, Adriana Eštoková, Alena Sičáková. KOŠICKÁ BELÁ, TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH. 2011. p. 181 - 186. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [25] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; HELA, R.; JAROLÍM, T.; DORAZILOVÁ, I. *Ověřování vlastností betonů s portlandskými cementy s vápencem a s portlandskými směsnými cementy*. In *Konference s mezinárodní účastí 19. Betonářské Dny 2012*. Vlastnil Šrůma. 2012. p. 602 - 609. ISBN 978-80-87158-32-6.
- [26] BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; MACHÁŇOVÁ, P.; VÁLEK, J.; LUKÁŠ, J.; SITEK, L. *Vysokopevnostní kompozitní prvky z profilů s vláknovou výztuží a polymerní matricí a betonem*. In *sborník příspěvků 9. konference se zahraniční účastí Speciální betony 2012*. kolektiv autorů. Brno, Sekurkon s.r.o. 2012. p. 144 - 149. ISBN 978-80-86604-58-9.
- [27] DORAZILOVÁ, I.; BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J. *Možnosti použití green cementů v závislosti na dosažených fyzikálně-mechanických vlastnostech*. In *Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky 2012*. Telč. 2012. p. 10 - 13. ISBN 978-80-87397-11-4.

- [28] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; HELA, R.; SITEK, L.; FOLDYNA, J. Effect of high temperatures on cement composite materials in concrete structures. In *4. Tradiční mezinárodní geomechanické a geofyzikální kolokvium (GEKO 2012)*. Petr Koníček & Kamil Souček. Ostrava, OFTIS Ostrava. 2012. p. 29 - 30. ISBN 978-80-86407-22-7.
- [29] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L. Alkalicky aktivovaná matrice s mikroplnivem a fibrilární složkou. In *Odborný seminář METAKAOLIN 2012, Sborník příspěvků*. Pavel Rovnaník, Pavla Rovnaníková. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2012. p. 74 - 81. ISBN 978-80-214-4438-6.
- [30] DORAZILOVÁ, I.; BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; VÁLEK, J.; JAROLÍM, T. Portland-limestone cement and portland-composite cement (Green cement") - properties and applicability for concrete production. In *18. Internationale Baustofftagung IBAUSIL*. Dr.-Ing.H.-B. Fischer, Dr.-Ing.K.-A. Bode, C. Beuthan. Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde. 2012. p. 1125 - 1131. ISBN 978-3-00-034075-8.
- [31] VÁLEK, J.; BODNÁROVÁ, L. Možnosti využití průmyslových odpadů pro výrobu alkalicky aktivovaných materiálů. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*. 2012. 2012(1). p. 130 - 135. ISSN 1335-0285.
- [32] BODNÁROVÁ, L.; WOLF, I.; HELA, R.; VÁLEK, J. High-speed water jet (HSWJ) for concrete surface treatment - evaluation of concrete surface properties after blasting using HSWJ technology. *TEHNIČKI VJESNIK - TECHNICAL GAZETTE*. 2012. 19.(2). p. 361 - 366. ISSN 1330-3651.
- [33] BODNÁROVÁ, L.; HORÁK, D.; VÁLEK, J.; HELA, R.; SITEK, L. Study of behavior of concrete and cement based composite materials exposed to high temperatures. In *Vodní paprsek 2013 - výzkum, vývoj, aplikace. Sborník přednášek konference o technologii vodního paprsku*. Sitek Libor, Klichová Dagmar. 2013. p. 7 - 15. ISBN 978-80-86407-43-2.
- [34] BODNÁROVÁ, L.; KLICH, J.; SITEK, L.; ZELENÁK, M.; HLAVÁČEK, P.; FOLDYNA, J.; VÁLEK, J. Účinky vodního paprsku na tepelně ovlivněných betonech – laboratorní zkoušky. *Sanace betonových konstrukcí*. 2013. 2013(1). p. 142 - 150. ISSN 1211-3700.
- [35] BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; BROŽOVSKÝ, J.; JAROLÍM, T.; VÁLEK, J.; DORAZILOVÁ, I. Výsledky sledování reologických a vybraných fyzikálně-mechanických vlastností cementových past a ztvrdlých betonů s portlandskými cementy s vápencem a s portlandskými směsnými vápencovými cementy. *Konstrukce*. 2013. 5(10). p. 48 - 51. ISSN 1213-8762.
- [36] BODNÁROVÁ, L.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; VÁLEK, J. Methods for Determination of the Quality of Concretes with Respect to Their High Temperature Behaviour. *Procedia Engineering*. 2013. 2013(65). p. 260 - 265. ISSN 1877-7058.
- [37] NOVOSAD, P.; HELA, R.; VÁLEK, J.; PŘIKRYL, J.; HOLÁK, M. Photo-catalytic Active Surface of Direct Finish Concrete on a Real Model of Self-supporting Porch. *Procedia Engineering*. 2013. 2013(65). p. 20 - 24. ISSN 1877-7058.
- [38] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; SITEK, L.; FOLDYNA, J. Effect of high temperatures on cement composite materials in concrete structures. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2013. 10(2). p. 173 - 180. ISSN 1214-9705.
- [39] NOVOSAD, P.; VÁLEK, J.; PŘIKRYL, J.; LOUDA, P.; HOLÁK, M.; SVORA, P.; HELA, R. Functional Vibro Pressed Pavement with Ecological Benefits. *Advanced Materials Research*. 2013. 2013(787). p. 328 - 332. ISSN 1022-6680.
- [40] VÁLEK, J.; NOVOSAD, P.; BODNÁROVÁ, L. Alkali-activated matrix based on metakaoline with lightweight aggregate. *Advanced Materials Research*. 2013. 2013(787). p. 250 - 255. ISSN 1022-6680.
- [41] SITEK, L.; BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; ZELENÁK, M.; KLICH, J.; FOLDYNA, J.; NOVOTNÝ, M. Effects of water jet on heat-affected concretes. *Procedia Engineering*. 2013. 2013(57). p. 1036 - 1044. ISSN 1877-7058.
- [42] BODNÁROVÁ, L.; HELA, R.; VÁLEK, J.; JAROLÍM, T.; DORAZILOVÁ, I. Výsledky sledování vlastností betonů s portlandskými cementy s vápencem a s portlandskými směsnými vápencovými cementy. In *11. konference Technologie betonu 2013, Advanced Materials Research*. Jihlava, ČBS Servis, s.r.o. 2013. p. 5 - 12. ISBN 978-80-87158-33-3, ISSN 1022-6680.
- [43] BODNÁROVÁ, L.; VÁLEK, J.; SITEK, L.; FOLDYNA, J. Research of the Processes of High Temperature Influence on Cementitious Concrete. *ADV SCI LETT*. 2013. 19(2). p. 500 - 503. ISSN 1936-6612.

- [44] BODNÁROVÁ, L.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; VÁLEK, J. Development of Concretes with Resistance to High Temperatures in the Czech Republic and Surrounding European Countries. *Advanced Materials Research*. 2013. 651 (2013)(1). p. 120 - 125. ISSN 1022-6680.
- [45] ORSÁKOVÁ, D.; HELA, R.; MASÁROVÁ, A.; NOVOSAD, P.; VÁLEK, J. Mixing of different particle-size fractions of fly ash to increase its activity in cement composites. *Advanced Materials Research*. 2014. 2014(XI). p. 297 - 300. ISSN 1022-6680.
- [46] BODNÁROVÁ, L.; JAROLÍM, T.; VÁLEK, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HELA, R. Selected Properties of Cementitious Composites with Portland Cements and Blended Portland Cements in Extreme Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. 2014(507). p. 443 - 448. ISSN 1660-9336.

ABSTRACT

Concrete has many advantageous properties as regards resistance to fire. It is non-flammable and it has a low thermal conductivity. However, concrete structures, which are not designed for resistance against fire, show significant damage after heating. In particular, the explosive flaking with the consequence of weakening the reinforced concrete cross-section and exposing the steel reinforcement to the temperatures higher than critical temperature of reinforcement.

There are only a few possible measures of preventing or mitigating the effects temperature load used. Ways of protection can be divided into two systems: active and passive. Active systems are designed to ensure the greatest possible reduction of temperatures the concrete is exposed to. Passive systems directly resist to high temperatures and fire. Design of composition of concrete with the aim of higher resistance to exposition to high temperatures belongs among the passive systems.

A part of the work focuses on summary searches of the problems of concrete and reinforced concrete structures exposed to high temperatures and fire. The goal of the work is defining requirements for cement matrix based composite material and its design ensuring the highest possible resistance to high temperatures or direct fire.