



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM A VÝVOJ POLYMER-CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ S DŮRAZEM NA VYSOKÝ OBSAH DRUHOTNÝCH SUROVIN A KOMPENZACI OBJEMOVÝCH ZMĚN

STUDY AND DEVELOPMENT OF POLYMER-CEMENT COMPOSITES WITH EMPHASIS
ON HIGH CONTENT OF SECONDARY RAW MATERIALS AND COMPENSATION OF
VOLUME CHANGES

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

ABRIDGED VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Radek Hermann

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,
MBA, dr. h. c.

BRNO 2023

Klíčová slova:

Polymer-cementová, polymerní, objemové změny, kompenzace objemových změn, druhotná surovina, substituce, cement, obalové sklo, škvára, odpadní perlit, tavený čedič, styren-akrylát

Keywords:

Polymer-cement, polymer, volume changes, volume change compensation, secondary raw material, substitution, cement, container glass, slag, waste perlite, molten basalt, styrene-acrylate

Název pracoviště:

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

Původní, nezkrácená verze disertační práce je uložena na Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, VUT v Brně.

© Ing. Radek Hermann, 2023

OBSAH

ÚVOD.....	5
1 CÍLE PRÁCE.....	6
2 METODIKA PRÁCE	6
2.1 ETAPA I. - Charakterizace expozičního prostředí, návrh metod laboratorního testování a výběr vstupních surovin	7
2.2 ETAPA II. - Sestavení a testování základních surovinových variant, substituce primárních složek druhotnými surovinami	9
2.3 ETAPA III. - Návrh a testování vybraných surovinových variant – vliv polymerních redispergovatelných prášků	10
2.4 ETAPA IV. - Návrh a testování vybraných surovinových variant – vliv přísad pro kompenzaci objemových změn	11
2.5 ETAPA V. - Optimalizace výstupů, pokročilé testování vybraných surovinových variant, zhodnocení výsledků, selekce optimalizovaného řešení	12
2.6 ETAPA VI. - Závislost přídržnosti vyvíjených kompozitů k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům na hydratačních objemových změnách.....	13
3 VÝSLEDKY, HODNOCENÍ A DISKUSE	13
3.1 Sestavení základních surovinových variant	13
3.2 Ověření a Výběr vhodných druhotných a alternativních surovin	15
3.3 Ověření a Výběr vhodných polymerních redispergovatelných prášků	16
3.4 Ověření a Výběr vhodných přísad pro regulaci hydratačních objemových změn	17
3.5 Selekce optimalizovaného řešení.....	19
3.6 Stanovení závislosti přídržnosti kompozitů k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům na jejich hydratačních objemových změnách	21
4 SHRUTÍ.....	22
5 ZÁVĚR.....	25
6 PŘÍNOSY PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI	26
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ V TEZÍCH DISERTAČNÍ PRÁCE	27
8 CURRICULUM VITAE	28
9 ABSTRACT	31

ÚVOD

Předkládaná disertační práce se zabývá problematikou vývoje cementových a polymer-cementových kompozitů a jejich hydratačními objemovými změnami a možnostmi moderace těchto objemových změn. Zároveň zkoumá vlivy přísad pro kompenzaci objemových změn, dále polymerních redispergovatelných prášků, či druhotných surovin pro substituci primárních pojivových a plnivových složek na fyzikálně-mechanické parametry čerstvých, ale také ztvrdlých cementových a polymer-cementových kompozitů.

V dnešní době se lidstvo čím dál více zabývá problematikou ekologie a dopady lidské činnosti na životní prostředí. Toto se týká především uhlíkové stopy, tedy kolik CO₂ vyprodukuje daný materiál, či výrobek při své výrobě, ale také během své celé navrhované doby použitelnosti a zda lze tuto stopu redukovat, či zcela odstranit. Výroba portlandského slínku způsobuje vypouštění nezanedbatelného množství CO₂ do ovzduší.

Jednou z cest, jak snížit ekologické dopady výroby cementu, je snížit spotřebu tohoto materiálu při výrobě stavebních hmot. V tomto směru bylo provedeno velké množství výzkumů a studií s řadou slibných výsledků, které umožňují snížení dávky cementu o desítky procent při zachování fyzikálně-mechanických vlastností. Stále však zůstává neprozkoumána značná část materiálů a především odpadů, které by bylo možno pro výrobu stavebních hmot využít. Jelikož produkce aktuálně využívaných odpadů, které jsou již dnes považovány za druhotné suroviny nedosahuje takové míry, aby byla schopna nasytit celý trh. To celé v souhrnu zvyšuje poptávku a tržní cenu surovin a snižuje ekonomické přínosy, kterých tyto materiály dosahovaly v počátku jejich využívání.

Dalšími směry, kterými se současné stavebnictví, výroba suchých maltových směsí, ale také například výroba vysoce-čerpatelných betonových směsí zabývá je hledání náhrad těžných písků, jichž ve světě ubývá. V současné době existuje celá řada materiálů, které na konci své životnosti nelze zcela recyklovat a které pak mohou být při vhodné předúpravě kandidáty pro využití/substituci primárních plniv ve směších.

Poznatky nabyté v rámci výzkumů lze zkombinovat a aplikovat do vývoje reálných stavebních hmot, mezi něž patří například polymer-cementové kompozity.

Jednou z nedílných součástí při navrhování cementových a polymer-cementových kompozitů s vysokou trvanlivostí a vysokými užitnými vlastnostmi, je kompenzace objemových změn, ke kterým dochází v průběhu hydratace. Tohoto může být docíleno v první řadě úpravou složení receptury vyvíjené hmoty, a to s přihlédnutím na možné redukce množství pojiv, ale také například vhodným využitím příměsí a plniv. V druhé řadě pak také využitím vysoce ztekucujících přísad, což vede k možnosti snížení vodního součinitele, ale existuje také celá řada i komerčně dostupných produktů, které lze k těmto účelům využít.

Výsledkem zkombinování všech výše uvedených aspektů dojde k vytvoření polymer-cementového kompozitu s velmi vysokými užitnými vlastnostmi.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je studium polymer-cementových kompozitů především pro použití k sanaci a reprofilaci betonových konstrukcí a konstrukcí z prvků z hladkých nenasákavých obkladových prvků (keramika, litý čedič apod.). Zároveň se předpokládá, že uvedené polymer-cementové směsi mohou být použity také pro lepení obkladových prvků. Dále je jedním z dílčích cílů ověření vlivu použití polymerních redispergovatelných prášků různého chemického složení na vlastnosti navrhovaných polymer-cementových kompozitů. Především je práce zaměřena na zkoumání jejich vlivu na lepicí schopnosti a přídržnosti k obkladovým prvkům. V rámci výzkumu jsou také ověřeny možnosti kompenzace/eliminace hydratačních objemových změn těchto směsí. Toto je dosaženo optimalizací receptury výsledného kompozitu, ale také využitím přísad pro redukci objemových změn.

Dosažení cíle práce je realizováno vývojem objemově kompenzovaného polymer-cementového kompozitu pro sanaci a reprofilaci betonových konstrukcí a reprofilaci prvků z taveného čediče při velmi vysoké substituci primárních pojiv a plniv druhotnými surovinami, s velmi vysokými užitnými vlastnostmi, mezi které patří vysoké pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu, vysoká přídržnost k podkladu a k prvkům z taveného čediče, velmi nízké hydratační objemové změny a dobrá odolnost proti obrusu, včetně vědeckého zkoumání náležitých souvislostí.

2 METODIKA PRÁCE

V následujících podkapitolách je popsána a znázorněna metodika disertační práce. Metodika se vzhledem k rozsahu skládá ze šesti na sebe navazujících etap. Etapy jsou provázány a sestaveny takovým způsobem, aby na sebe navazovaly, navzájem se propojovaly a prohlubovaly nabyté informací z etap předchozích.

V rámci práce je ověřována možnost velmi vysoké náhrady primárních surovinových složek PCC směsí. Především se jedná o velmi vysokou substituci pojivové složky/cementu, při zachování velmi vysokých užitných vlastností směsí, dále se jedná o maximalizaci využití druhotných surovin jako plnivové složky v těchto směsích. Pro účely substituce pojivové složky, portlandského cementu CEM I 42,5 R Mokrý, je využito vysokoteplotního popílku, odpadního obalového skla, či odpadního perlitu z výroby expandovaného perlitu. Pro substituci plnivové složky, tzn. stavebního písku Provodín, je využito odpadu z výroby obkladových prvků z taveného čediče, odpadního slévárenského písku či elektrárenské škváry.

Dále je ověřován vliv polymerních redispergovatelných prášků na bázi styren-akrylátu a kopolymeru ethylen vinylacetátu na vlastnosti vyvíjeného kompozitu. Především je dbán důraz na ověření vlivu těchto přísad na fyzikálně-mechanické vlastnosti, na průběh hydratace, vliv na mikrostrukturu kompozitu či vznik nových hydratačních produktů. Zároveň je kladen důraz na ověření přídržnosti kompozitů k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při zrání v různých prostředích a také na ověření vlivu hydratačních objemových změn na hodnoty přídržností.

V neposlední řadě je ověřován vliv přísad pro regulaci objemových změn silikátových kompozitů. Mezi testovanými je například neopentyl-glycol, CSA, CAC, či moderní přísada na bázi polyetheru. V rámci práce je sledován vliv typu a dávky přísad na hydratační

objemové změny cementových a polymer-cementových kompozitů metodou kontinuálního hydrostatického vážení a pomocí trámečkové metody při uložení v různých prostředích, simulující vliv těchto přísad na objemové změny v reálných prostředích. Dále je sledován vliv na fyzikálně-mechanické vlastnosti, a to především na vývoj pevností v tlaku a pevností v tahu za ohybu v čase a dále také na hodnoty přídržnosti k obkladovým prvkům v několika prostředích uložení. Zároveň je provedeno ověření vlivu těchto přísad na hydratační proces cementových a polymer-cementových kompozitů a vliv na mikrostrukturu a vznik hydratačních produktů.

Výsledkem práce je suchá směs pro výrobu inovativního polymer-cementového kompozitu s vysokými užitnými vlastnostmi a relativně nízkou ekologickou stopou a ekonomickou zátěží pro výrobce i zákazníky.

Součástí práce je také ověření závislosti přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům vyvíjených kompozitů na hydratačních objemových změnách, které jsou v rámci práce měřeny trámečkovou metodou během prvních 28 dní hydratačního procesu, či metodou kontinuálního hydrostatického vážení během prvních 72 hodin hydratačního procesu.

V následujících odstavcích je popsána detailní metodika řešení jednotlivých etap experimentální části práce.

2.1 ETAPA I. - CHARAKTERIZACE EXPOZIČNÍHO PROSTŘEDÍ, NÁVRH METOD LABORATORNÍHO TESTOVÁNÍ A VÝBĚR VSTUPNÍCH SUROVIN

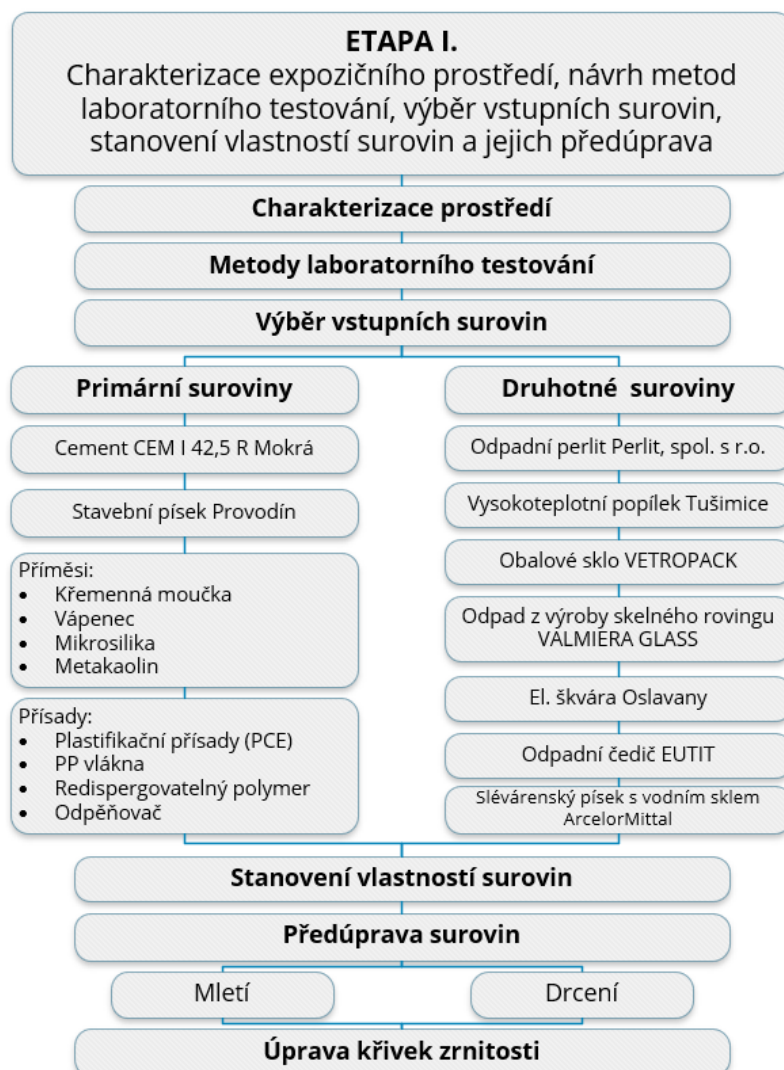
První etapa disertační práce je poměrně rozsáhlá. Etapa je zaměřena na charakterizaci prostředí, kterému může být výsledný polymer-cementový kompozit vystaven. V rámci této části etapy jsou popsány mechanismy působení vybraných prostředí na cementový kompozit. Zároveň jsou popsány chemické procesy probíhající v reakci s cementovými kompozity pro vybrané degradační procesy, mezi které patří například degradace oxidem uhličitým či například degradace chemickým zatížením.

V rámci této etapy je proveden souhrnný návrh metod a laboratorních postupů pro stanovení materiálových vlastností a sledovaných parametrů surovin které budou v rámci této práce použity, a to z ohledu na primární, ale také druhotné suroviny.

V rámci výběru surovin je prováděno testování základních materiálových vlastností, mezi které patří například objemová hmotnost, měrná hmotnost a nasákavost. Zároveň však jsou u jemných a jemně mletých surovin provedena stanovení měrných povrchů pomocí metody Blaine, případně pomocí BET analýzy. Současně jsou pro substituenty plnivové složky provedeny síťové rozборы, pro velikost částic $<0,250$ mm je provedeno také stanovení granulometrických křivek pomocí laserové granulometrie využívající přístroj MasterSizer 2000. V rámci práce jsou využity čtyři suroviny jakožto substituenti pojivové složky a tři substituenti složky plnivové. Jako substituce pojiva je testován odpadní perlit, vysokoteplotní popílek, obalové sklo a skelný odpad z výroby skelného rovingu [1]. Jako substituce plniva bude využita elektrárenské škvára, odpadní tavený čedič a slévárenský písek s obsahem vodního skla [2].

U všech používaných druhotných surovin je provedeno stanovení mineralogického složení pomocí RTG difrakční analýzy a stanovení chemického složení zadáním u externí

společnosti. Dále jsou popsány laboratorní metody a zkoušky základních a pokročilých materiálových vlastností, které jsou testovány na vyrobených zkušebních vzorcích. S ohledem na co největší vědní přínos jsou testovány parametry, které nejsou normově, či jinými technologickými předpisy přisouzeny hmotě o konkrétním použití (sanační hmota, lepidlo, stěrka, zálivka apod.). Mezi základní testované parametry patří stanovení konzistence, objemové hmotnosti v čerstvém a ztvrdlém stavu, a dále stanovení pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku. Mezi pokročilé testované parametry patří sledování objemových změn, dlouhodobé pevnostní charakteristiky, přídržnost k podkladu a další. Schéma první etapy je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1 Etapa I – Charakterizace expozičního prostředí, návrh metod laboratorního testování, výběr vstupních surovin, stanovení vlastností surovin a jejich předúprava

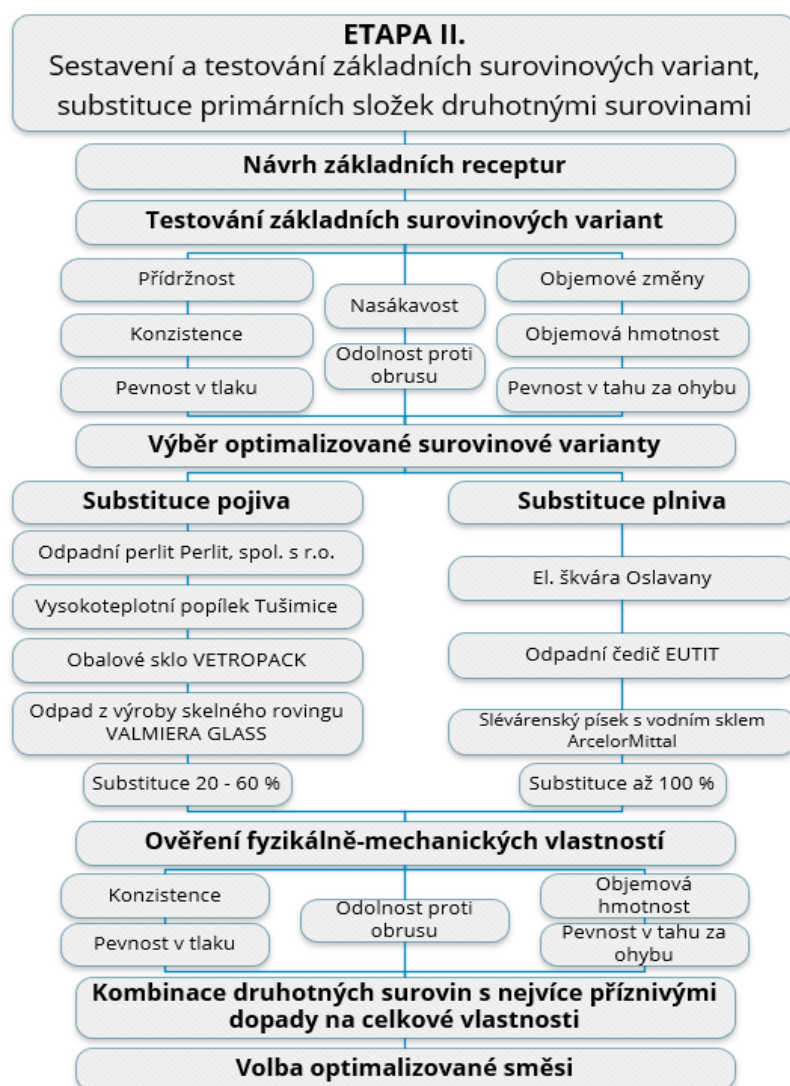
Všechny složky, které jsou používány v rámci výzkumu, budou pouze suchého charakteru, včetně plastifikačních přísad. Toto je dáno skutečností, že výstupem bude kompozit vhodný pro přípravu metodou výroby 1komponentních suchých směsí. Jako primární složky je použito portlandského cementu CEM I 42,5 R a tříděného, sušeného, stavebního písku Provodín. V rámci návrhu referenční směsi je využito příměsí pro zvýšení hutnosti kompozitu a pro zvýšení užitných vlastností směsi. Zároveň je využito plastifikační přísady na bázi kyseliny karboxylové. Z důvodu aplikace všech suchých složek je využito

také odpěňovací přísady, jelikož na rozdíl od plastifikačních přísad tekutých, ty suché standardně neobsahují odpěňovací přísady a mohlo by vlivem míchání docházet k napěňování směsi a snižování jejích užitečných vlastností. Zároveň se v rámci návrhu uvažuje s využitím redispergovatelných polymerních prášků.

V poslední části etapy I. je provedena předúprava druhotných surovin. Ta je realizována mletím pomocí kulového mlýnu, či drcením pomocí čelistového drtiče. Zároveň je provedena také optimalizace křivek zrnitosti substituentů pro dosažení co nejvyšší hutnosti vyvíjené směsi [3].

2.2 ETAPA II. - SESTAVENÍ A TESTOVÁNÍ ZÁKLADNÍCH SUROVINOVÝCH VARIANT, SUBSTITUCE PRIMÁRNÍCH SLOŽEK DRUHOTNÝMI SUROVINAMI

Druhá etapa disertační práce řeší testování základních surovinových variant/receptur, které byly vytvořeny v etapě předchozí. Mezi základní sledované parametry patří stanovení konzistence a objemové hmotnosti v čerstvém stavu, dále stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu v ztvrdlém stavu. Vlastnosti byly testovány po 7, 28 a 90 dnech zrání ve vodním uložení. Schéma etapy je znázorněno na Obr. 2.



Obr. 2 ETAPA II. - Sestavení a testování základních surovinových variant, substituce primárních složek druhotnými surovinami

V další části této etapy je proveden výběr optimalizované varianty základní receptury. A je následně prováděna substituce pojivové složky druhotnými surovinami s náhradou 20-60 hm.% a také substituce složky plnivové, a to až do 100% náhrady druhotnou surovinou, či kombinací druhotných surovin.

Následně jsou ověřeny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti těchto kompozitů, které jsou rozšířeny o stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme a odolnosti proti CHRL. Dále je provedeno vyhodnocení vlastností a parametrů navržených receptur obsahujících substituční složky a je provedena kombinace pojivových a plnivových složek s pozitivním dopadem na celkové vlastnosti hmoty. Zároveň je provedeno u reprezentativních vzorků stanovení RTG difrakční analýzy a vyhodnocení mineralogických změn, ke kterým dochází v případě použití těchto druhotných surovin.

Výstupem této etapy je optimalizovaná směs, vytvořená kombinací druhotných surovin, s velmi vysokými užitnými vlastnostmi.

2.3 ETAPA III. - NÁVRH A TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH SUROVINOVÝCH VARIANT – VLIV POLYMERNÍCH REDISPERGOVATELNÝCH PRÁŠKŮ

V rámci třetí etapy je řešeno studium vlivu moderních redispergovatelných polymerních prášků na vlastnosti čerstvých a ztvrdlých polymer-cementových kompozitů. V první fázi etapy byl proveden průzkum aktuálního trhu a vývoje moderních polymerních přísad a následně proveden výběr několika vhodných kandidátů. Mezi testovanými polymerními redispergovatelnými prášky jsou zahrnuty například přísady na styren-akrylátové bázi, či na bázi kopolymeru ethylen vinyl acetátu. V rámci vývoje jsou využívány komerční prémiové produkty renomovaných výrobců určené především pro stavební lepidla či správkové sanační malty. Cílem je zajistit co nejvyšší přídržnost k hladkým nenasáklým obkladovým prvkům.

Ve druhé fázi této etapy bylo provedeno rozsáhlé testování typů a dávek polymerních přísad se snahou maximalizovat pozitivní vlastnosti přídatku přísad na vlastnosti čerstvých, ale také ztvrdlých polymer-cementových směsí. V rámci testování je kladen důraz především na vliv přísad na přídržnost kompozitu k podkladu, dále na odolnost proti abrazi, což bylo testováno metodou dle Böhme. Zároveň je v etapě ověřeno, zda některé z polymerních přísad nevykazují vliv na hydratační proces cementu a zda nedochází k tvorbě novotvarů, či ke zpomalení, nebo urychlení hydratačního procesu.

Výstupem této etapy je optimalizovaná směs, která je následně použita v etapě V. Schéma Etapy III. je znázorněno na Obr. 3.



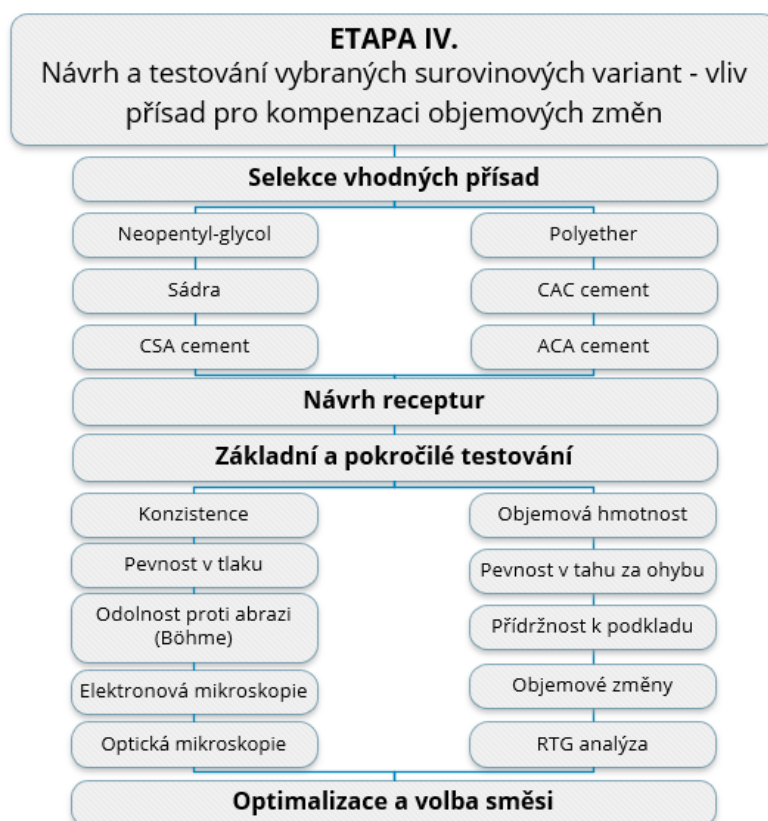
Obr. 3 ETAPA III. Návrh a testování vybraných surovinových variant - vliv polymerních redispergovatelných prášků

2.4 ETAPA IV. - NÁVRH A TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH SUROVINOVÝCH VARIANT – VLIV PŘÍRAD PRO KOMPENZACI OBJEMOVÝCH ZMĚN

V rámci čtvrté etapy byl proveden výběr a testování přísad pro kompenzaci objemových změn. V rámci návrhu je testováno několik druhů a způsobů kompenzace objemových změn. Mezi ně patří využití chemických sloučenin, které fungují jako povrchově aktivní látky a mají vliv na odvod záměsové vody kapilárním systémem cementového tmele, druhým typem přísad pro regulaci objemových změn, které byly využity, jsou látky polymerního charakteru. Všechny známé přísady regulující objemové změny mají vliv na chemické a autogenní smršťování silikátových kompozitů a hydratační proces cementu. Mezi testovanými přísady pro moderaci objemových změn jsou využity například neopentyl-glycol (2,2-dimethylpropane-1,3-diol), polyether, CSA cement, CAC cement a ACA cement. Nevýhodou současných přísad pro kompenzaci objemových změn je možnost zpomalení hydratačního procesu cementových a polymer-cementových kompozitů. Toto bylo v rámci této etapy také zkoumáno.

Ve druhé fázi této etapy bylo provedeno rozsáhlé základní, ale také pokročilé testování různých dávek a typů přísad redukujících objemové změny. V rámci testování je provedeno také stanovení přídržnosti k podkladu a vyhodnoceno, jak objemové změny tento parametr ovlivňují. Zároveň je provedeno ověření vlivu přísad na hydratační proces cementu a případný vliv na mikrostrukturu cementového tmele. Zároveň bylo v rámci etapy provedeno ekonomické a ekologické zhodnocení navržených hmot a použitých

přísad. Výstupem této etapy je optimalizovaná směs, která je následně použita v etapě V. Schéma etapy IV. je znázorněno na Obr. 4.



Obr. 4 ETAPA IV. Návrh a testování vybraných surovinových variant - vliv přísad pro kompenzaci objemových změn

2.5 ETAPA V. - OPTIMALIZACE VÝSTUPŮ, POKROČILÉ TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH SUROVINOVÝCH VARIANT, ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ, SELEKCE OPTIMALIZOVANÉHO ŘEŠENÍ

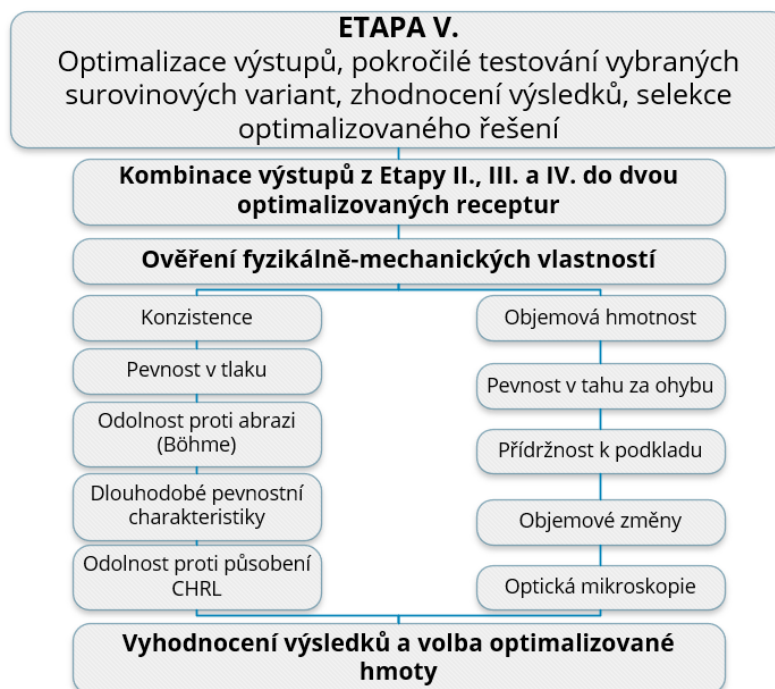
V rámci páté etapy bylo provedeno zhodnocení informací nabytých v rámci výzkumu v předchozích etapách. Na základě získaných informací je provedeno sloučení výsledků z předchozích etap, které měly příznivý dopad na celkové vlastnosti hmoty. Je řešeno využití optimální varianty přísady pro kompenzaci objemových změn a varianty obsahující redispergovatelný polymerní prášek typu a množství, při kterém dochází k nejvíce pozitivnímu zhodnocení vlastností polymer-cementového kompozitu.

Zkušební vzorky připravené dle optimalizovaných receptur jsou zatíženy rozsáhlým testováním základních a pokročilých zkušebních metod a zároveň jsou ověřovány dlouhodobé pevnostní charakteristiky.

V rámci této etapy je ověřován vliv kombinace výše uvedených přísad na hydratační proces. Především je sledován a ověřován vliv synergie pozitivních i negativních dopadů kombinace přísad na hydratační objemové změny, dále na vznik případných novotvarů či změn v průběhu hydratace cementu a zároveň je ověřován vliv dopadu uložení ve vlhkém a vodním uložení na vlastnosti polymer-cementového kompozitu.

Výstupem této etapy je optimalizovaný objemově kompenzovaný polymer-cementový kompozit s vysokými užitnými vlastnostmi a nižším ekologickým a ekonomickým dopadem

než hmota referenční. Zároveň kompozit vykazuje velmi vysokých přídržností k betonu, ale také k nenasákavým hladkým nenasákavým obkladovým materiálům. Schéma závěrečné etapy V. je znázorněno na Obr. 5.



Obr. 5 ETAPA V. Optimalizace receptur, pokročilé testování vybraných surovinových variant, zhodnocení výsledků, selekce optimalizovaného řešení

2.6 ETAPA VI. - ZÁVISLOST PŘÍDRŽNOSTI VYVÍJENÝCH KOMPOZITŮ K HLADKÝM NENASÁKAVÝM OBKLADOVÝM PRVKŮM NA HYDRATAČNÍCH OBJEMOVÝCH ZMĚNÁCH

V rámci poslední etapy řešení disertační práce je sledován vliv objemových hydratačních změn cementových a polymer-cementových kompozitů na jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti. V rámci etapy je sledována především závislost přídržnosti k obkladovým prvkům vzhledem k hydratačním objemovým změnám sledovaných pomocí kontinuálního hydrostatického vážení, ale také trámečkovou metodou ve vodním a vlhkém uložení.

3 VÝSLEDKY, HODNOCENÍ A DISKUSE

V následujících kapitolách jsou uvedeny jednotlivé výsledky, kterých bylo v rámci etap řešení experimentální části práce dosaženo, včetně jejich hodnocení a následné diskuse.

3.1 SESTAVENÍ ZÁKLADNÍCH SUROVINOVÝCH VARIANT

Pro výzkum a vývoj cementových a polymer-cementových kompozitů bylo provedeno sestavení referenční receptury a následně základních surovinových variant obsahujících portlandský cement 42,5 R, křemenný těžký stavební písek (frakce 0-2 mm), mikromletý vápenec, sráženou nehybnou mikrosiliku, metakaolin, suchou odpěňovací a plastifikační přísadu.

Referenční receptura byla sestavena na základě běžného složení cementových a polymer-cementových sanačních malt a lepidel a s ohledem na směrnici American Concrete Institute (ACI) z důvodu, že v době vypracování této práce neexistuje evropská směrnice, či norma obsahující doporučené, či směrné receptury pro návrh kompozitů vyvíjených v této práci.

Na základě stanovení fyzikálně mechanických parametrů a optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání byla zvolena optimalizovaná základní **receptura B**, která byla použita pro řešení dalších etap této práce. Složení referenční receptury a základních receptur je uvedeno v Tab. 1.

Tab. 1 Základní receptury PMCC

Složka	A ref	B	C	D	E	F
OPC 42,5 R	350.0	290.0	320.0	320.0	290.0	350.0
PR 30/31	148.0	148.9	142.0	142.0	142.0	142.0
PR 35	271.0	264.3	252.0	252.0	252.0	252.0
PR 1-2	227.7	233.5	222.7	222.7	222.7	222.7
Mikromletý vápenec	0.0	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Mikrosilika	0.0	30.0	30.0	0.0	30.0	0.0
Metakaolin	0.0	30.0	0.0	30.0	30.0	0.0
Suchý odpěňovač	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Suchý plastifikátor	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Suma	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Porovnání fyzikálně-mechanických parametrů vzorků dle referenční receptury a základních receptur po 28 dnech zrání, které byly použity v rámci optimalizačního výpočtu jsou uvedeny v Tab. 2. Kromě fyzikálně-mechanických parametrů bylo provedeno také stanovení orientační ceny materiálu za 1 kg směsi.

Tab. 2 Rozhodovací matrice A_{ij} pro základní receptury

Ozn. Receptury	Parametr								
	OH	Tlak	Tah	Nasá- kavost	Přídrž- nost	CHRL	Cena	Obj. změny - vlhko	Chem. smrštění (po 72 h)
	D_{ZB} [kg/m ³]	σ_c [MPa]	σ_t [MPa]	NV_{28} [%]	σ_f [MPa]	[g/m ²]	[Kč]	[μ m/m]	[%]
A ref	2300	72	11.4	5.2	0.8	472	2.9	-303.0	-0.15
B	2270	88	15.7	3.3	0.8	309	3.6	-302.0	-0.14
C	2200	78	10.4	3.6	0.6	294	3.6	-348.1	-0.16
D	2250	74	11.5	3.7	0.5	1140	3.4	-460.0	-0.22
E	2200	78	11.8	3.6	0.4	550	3.8	-455.0	-0.24
F	2250	68	11.4	4.8	0.4	573	3.1	-450.0	-0.25

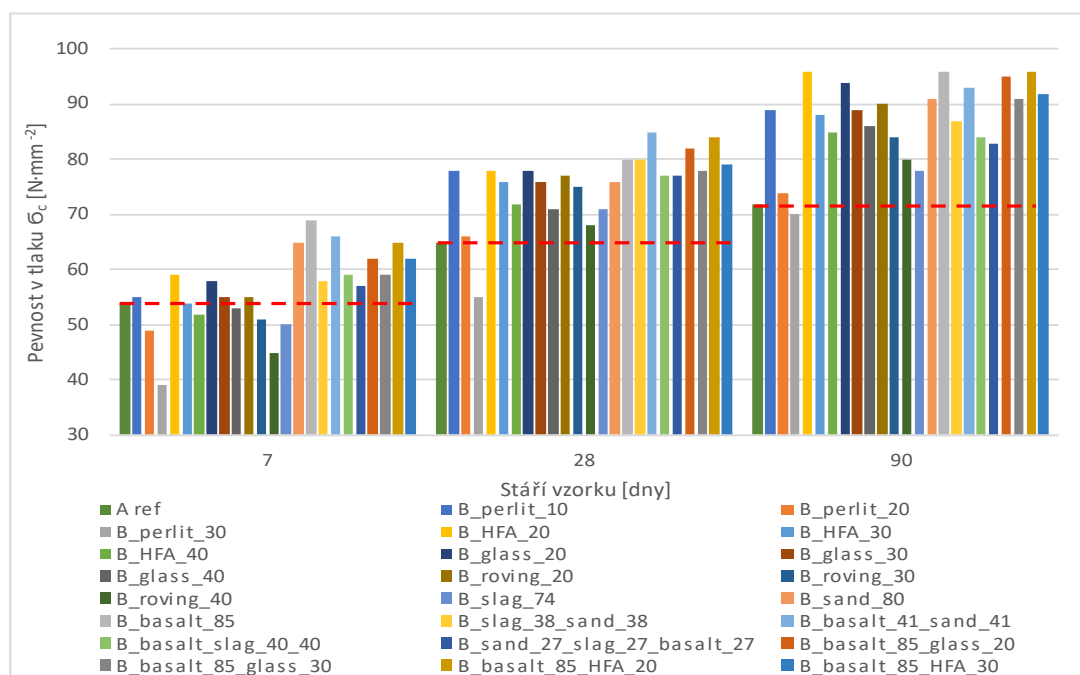
Zvolená **receptura B** obsahovala substituci pojivové složky portlandského cementu nehybněnou sráženou mikrosilikou a metakaolinem ve výši 8,5 hm.%, celková substituce primární pojivové složky byla tedy 17 hm.%.

3.2 OVĚŘENÍ A VÝBĚR VHODNÝCH DRUHOTNÝCH A ALTERNATIVNÍCH SUROVIN

V rámci následující části řešení práce byla zkoumána možnost substituce pojivových a plnivových složek navržené základní **receptury B** druhotnými a alternativními surovinami. Primární pojivová složka (portlandský cement) byla nahrazována odpadem z výroby expandovaného perlitu (dále označení **B_perlit**), vysokoteplotním elektrárenským popílkem (dále označení **B_HFA**), jemně mletým odpadním obalovým sklem (dále označení **B_glass**), či jemně mletým odpadem z výroby skelného rovingu (dále označení **B_roving**). Primární plnivová složka (křemenný těžký stavební písek) byl nahrazován drcenou odpadní elektrárenskou škvárou ze složiště bývalé tepelné elektrárny (**B_slag**), drceným odpadním slévárenským pískem pojeným vodním sklem (dále označení **B_sand**), nebo drceným odpadním kamenivem z výroby obkladových prvků z taveného čediče (dále označení **B_basalt**). Druhotné suroviny použité pro náhradu plnivové složky byly předupraveny pro zajištění plynulé křivky zrnitosti podobné původní křivce zrnitosti referenční receptury **A ref**. Receptury jsou v rámci práce označovány vždy dle dané druhotné suroviny, či přísady, kterou obsahuje a také dle daného množství suroviny. Například rec. **B_basalt_85_glass_30** obsahuje 85 hm% substituci plnivové složky drceným odpadním kamenivem z výroby obkladových prvků z taveného čediče (basalt) a 30 hm.% substituci pojivové složky vysokoteplotním jemně mletým obalovým sklem (glass).

Substituce primárních pojivových a plnivových složek probíhala v maximální možné míře při zachování či zvýšení fyzikálně-mechanických parametrů ztvrdlého cementového kompozitu. Substituce pojivové složky probíhala v dávce až 40 hm.% z hmotnosti portlandského cementu obsaženého v **receptuře B** a substituce složky plnivové probíhala v dávce až 85 hm.% z hmotnosti primární plnivové složky obsažené v **receptuře B**.

V grafu na Obr. 6 je znázorněno grafické srovnání pevnosti v tlaku vzorků dle referenční receptury a dle receptury s obsahem druhotných surovin.

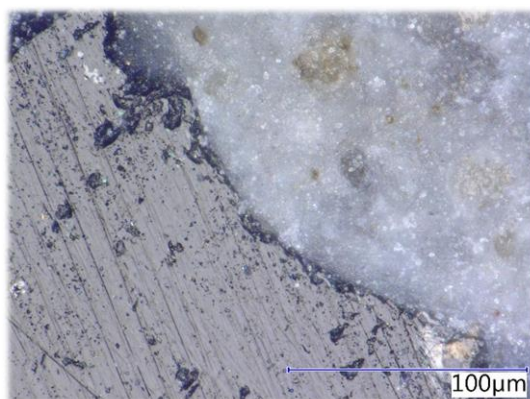


Obr. 6 Pevnost v tlaku vzorků s druhotnými či odpadními surovinami

Z grafu vyplývá, že trend vlivu druhotných surovin na pevnost v tlaku byl stoupající s dobou hydratace. Vzorky s obsahem perlitu (dále označení **B_perlit**), či elektrárenské škváry (dále označení **B_slag**) způsobovaly celkové snížení hodnot fyzikálně-mechanických parametrů hmot oproti základní, či referenční receptuře. Toto bylo dáno především vysokou nasákavostí těchto materiálů a nutnosti výrazného zvýšení záměsové vody při přípravě čerstvých malt.

Dle výsledků stanovení fyzikálně-mechanických parametrů a dle optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání byly zvoleny dvě receptury, které dosahovaly nejvyšších užitných parametrů při maximalizaci substituce pojivových ale také plnivových složek. Zvoleny byly receptury **B_basalt_85_glass_30** a **B_basalt_85_HFA_30**, které obsahovaly 85 hm.% substituci plnivové složky drceným odpadním kamenivem z výroby obkladových prvků z taveného čediče a 30 hm.% substituci pojivové složky vysokoteplotním popílkem, či jemně mletým obalovým sklem.

Na Obr. 7 je zobrazen detail vzorku **B_basalt_85_glass_30** s 85% hm. substitucí plnivové složky odpadem z výroby obkladových prvků z taveného čediče a 30% hm. substitucí portlandského cementu jemně mletým obalovým sklem. Na snímku je viditelný řez zrnem čedičového plniva, tranzitní zóna styku zrna plniva a cementové matrice s patrnými zrny filleru z plniv. Na snímku je viditelná neporušená a velmi hutná struktura kompozitu.



Obr. 7 Detail mikrostruktury vzorku dle receptur *B_basalt_85_glass_30* při zvětšení 1500x

3.3 OVĚŘENÍ A VÝBĚR VHODNÝCH POLYMERNÍCH REDISPERGOVATELNÝCH PRÁŠKŮ

Navazující část práce se zabývala ověřením vlivu polymerních redispergovatelných prášků (RDP) na vlastnosti cementových a polymer-cementových kompozitů. V rámci této části práce byly použity RDP na bázi styren-akrylátu (dále označení **B_SA**), kopolymeru ethylen vinylacetátu (dále označení **B_VAE**), terpolymeru vinylacetátu, vinylchloridu a ethylenu (dále označení **B_VAEVCE**), kopolymeru vinylacetátu, vinylesteru a ethylenu (dále označení **B_VAEVEE**) a hydroxypropyl methyl celulózy (dále označení **B_HMPC**). Dávkování RDP bylo prováděno dle doporučení výrobce v dávce 0,5-2,5 hm.% z množství cementu.

Z výsledků vyplývá, že libovolný přírůstek RDP do cementového kompozitu má za následek ovlivnění fyzikálně-mechanických parametrů, což je detailně popsáno v kapitole 4 Shrnutí.

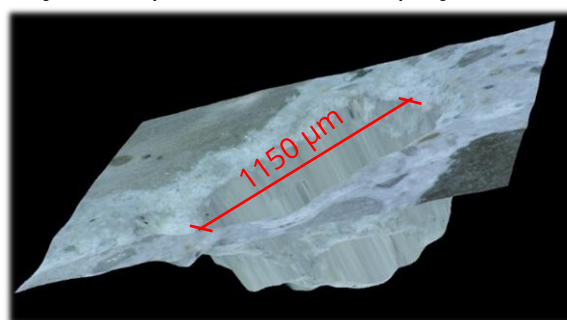
V Tab. 3 jsou uvedeny výsledky, které byly zvoleny jako rozhodné pro provedení optimalizačního výpočtu a výběr optimalizované varianty.

Tab. 3 Rozhodovací matrice A_{ij} pro vzorky s obsahem RDP

Ozn. Receptury	Parametr							
	Tlak	Tah	Nasáka- vost	Přidržnost ve vlhku	CHRL	Odolnost proti obru	Chem. Smrštění po 72 h	Smrštění ve vlhku po 28 dnech
	σ_c [MPa]	σ_t [MPa]	NV ₂₈ [%]	σ_f [MPa]	[g/m ²]	[cm ³ / 50cm ²]	[%]	[·10 ⁻⁶ m/m]
B_SA_1.5	75	12.3	3.1	1.2	428	11.7	-0.36	-809
B_SA_2.5	70	13.0	3.0	1.4	416	12.1	-0.38	-769
B_VAE_1.5	72	12.9	4.7	0.4	329	9.9	-0.41	-762
B_VAE_2.5	69	12.4	5.1	0.4	492	10.5	-0.43	-825
B_VAEVCE_1.5	69	12.2	5.2	0.4	412	11.7	-0.40	-820
B_VAEVCE_2.5	60	11.4	5.1	0.4	510	12.1	-0.41	-820
B_VAEVEE_1.5	70	11.5	4.9	0.4	395	9.9	-0.40	-795
B_VAEVEE_2.5	59	11.3	5.2	0.4	485	10.5	-0.41	-840
B_HPMC_0.5	41	7.3	12.1	0.5	5142	15.8	-0.70	-997
B_HPMC_1.0	19	4.8	12.6	0.3	23007	28.9	-0.85	-1000

Na základě ověření fyzikálně-mechanických parametrů a na základě optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání byla zvolena pro další řešení práce receptura **B_SA_2.5** s obsahem 2,5 hm.% z množství cementu RDP na bázi styren-akrylátu.

Na Obr. 8 je znázorněn jeden z pórů ve struktuře polymer-cementového kompozitu.

Obr. 8 Detail póru ve vzorku dle receptury **B_SA_2.5** při zvětšení 200x

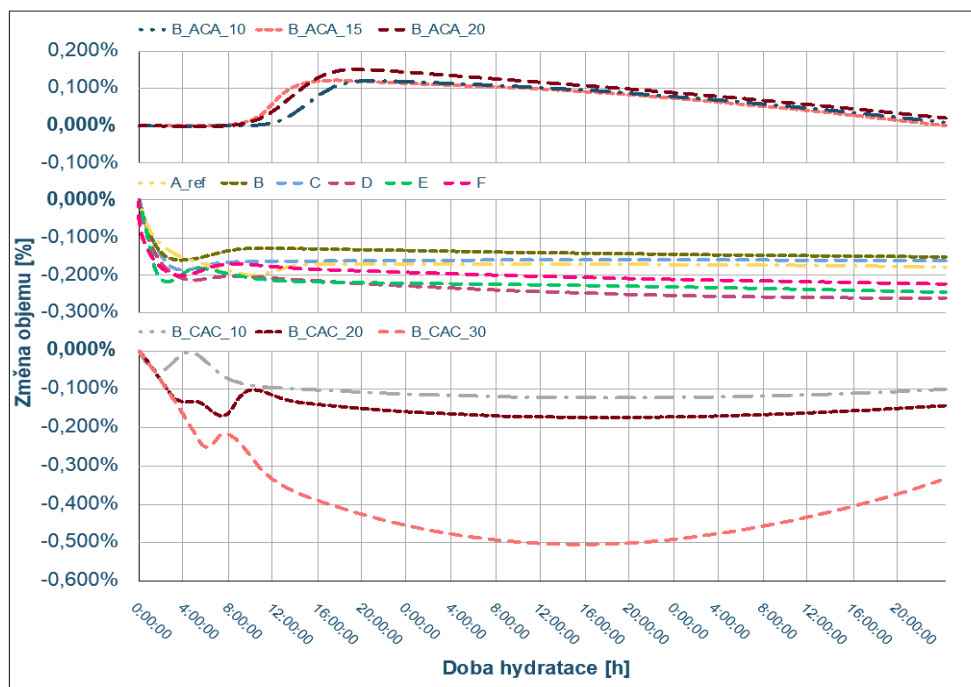
Ve hmotách s obsahem RDP se vyskytovaly póry o velikosti 600-1300 μm . Množství těchto pórů rostlo s množstvím dávky RDP. Toto potvrzuje výsledky výzkumů pod vedením Ru Wang a spol. či Joachima Schulze, kteří ověřovali chování RDP v cementových kompozitech. Z výsledků vyplývá, že jakákoliv dávka RDP vede ve vzorcích k výraznému zvýšení obsahu vzduchu v čerstvé směsi a zároveň k jistému snížení fyzikálně-mechanických vlastností, především pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku [4; 5].

3.4 OVĚŘENÍ A VÝBĚR VHODNÝCH PŘÍRAD PRO REGULACI HYDRATAČNÍCH OBJEMOVÝCH ZMĚN

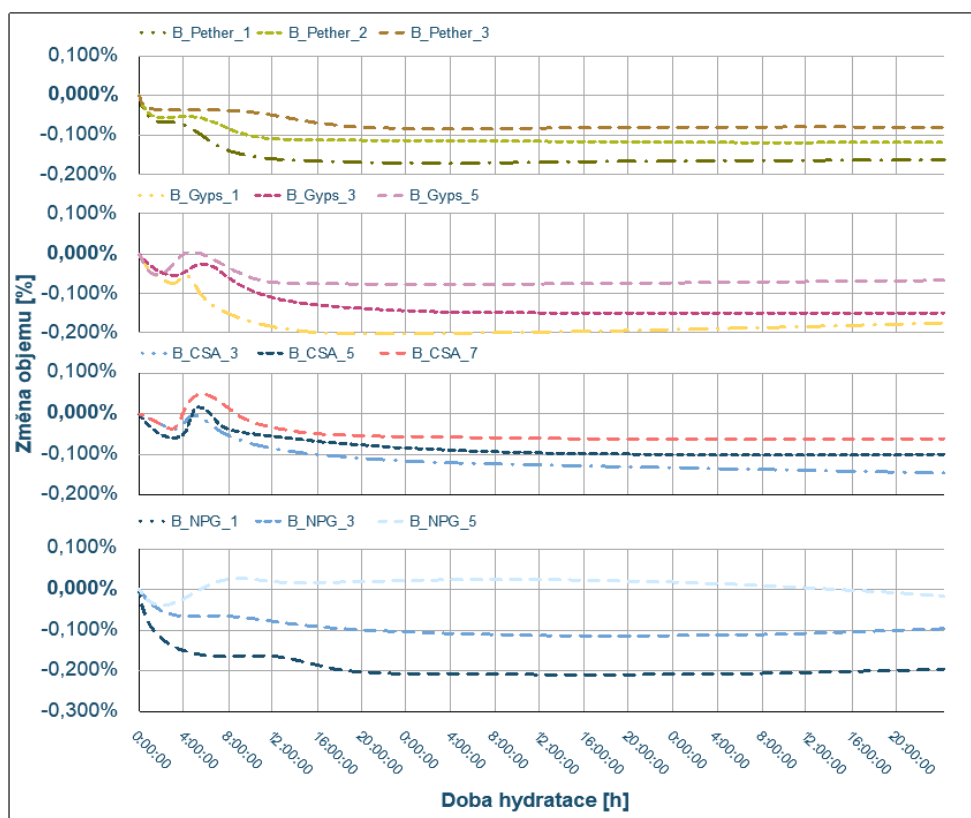
Další část disertační práce byla věnována studiu vlivu přísad pro regulaci hydratačních objemových změn cementových kompozitů. V rámci této části práce byl sledován vliv přísad na bázi neopentylglycolu (2,2-dimethylpropane-1,3-diol) (dále označení **B_NPG**), polyetheru (oxiranmethyl s oxiranovou mono(3,5,5-trimethylhexanoate) skupinou) (označení **B_pether**), sádry (označení **B_gyps**), CAC cementu (označení **B_CAC**), CSA cementu (označení **B_CSA**), či ACA cementu (označení dále **B_ACA**), dávkování přísad bylo

provedeno na základě doporučení výrobce, či dle odborných publikací v rozmezí 1-30 hm.% z množství cementu.

V grafech na Obr. 9 a Obr. 10 jsou znázorněny hodnoty chemického hydratačního smrštění cementových kompozitů během prvních 72 hodin hydratačního procesu stanovené metodou kontinuálního hydrostatického vážení.



Obr. 9 Chemické smrštění metodou kontinuálního hydrostatického vážení během prvních 72 hodin hydratace vzorků s přísadami pro regulaci objemových změn



Obr. 10 Chemické smrštění metodou kontinuálního hydrostatického vážení během prvních 72 hodin hydratace vzorků s přísadami pro regulaci objemových změn

V grafech je znázorněna změna objemu během hydratačního procesu cementových kompozitů. Ty byly v čerstvém stavu po smíchání se záměsovou vodou vakuově zabaleny do PE obalů a zavěšeny pod váhy schopné kontinuálního záznamu hmotnostních změn. Z důvodu zamezení přístupu vzduchu a odchodu vlhkosti ze vzorků se jedná o chemické smrštění cementového kamene kompozitů.

V grafech je patrné chování jednotlivých přísad pro regulaci objemových změn. V případě receptury referenční **A ref** a základních receptur jsou patrné pouze marginální změny v hydratačním procesu. V případě receptury **B_ACA** obsahující ACA cement v množství 10-20 hm.% z dávky portlandského cementu je patrné velmi významné zvětšení objemu, které se projevilo během prvních 20 hodin od zamíchání směsi se záměsovou vodou. Toto je způsobeno reakcí $C_{12}A_7$ s portlandským cementem, kdy dochází k významné tvorbě ettringitu a velmi nízké produkci portlanditu. [6]

V případě přísad s obsahem sádry a CSA cementu, **B_Gyps** a **B_CSA** je patrné zvětšení objemu v období mezi 4 a 8 hodinami od zamíchání z důvodu tvorby ettringitu. V případě sádry reagoval síran vápenatý s portlandským cementem za vzniku ettringitu. V případě CSA cementu reagoval obsažený ye'elimit s portlandským cementem také za vzniku ettringitu. [6; 7]

V případě přísad na bázi polyetheru **B_Pether**, či neopentylglycolu **B_NPG** byl průběh hydratačního procesu podobný referenční receptuře. V případě receptur **P_ether** došlo ke snížení hodnoty chemického smrštění pouze nepatrně a v případě receptur **B_NPG** došlo ke zpomalení hydratačního procesu a ke snížení hydratačního objemového smrštění až do fáze expanze v případě receptury **B_NPG_5** s obsahem 5 hm.% z dávky cementu přísady na bázi NPG.

Na základě ověření fyzikálně-mechanických parametrů a na základě optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání byla zvolena pro další řešení práce receptura **B_ACA_15** s obsahem 15 hm% z dávky cementu přísady pro regulaci objemových změn na bázi ACA cementu.

3.5 SELEKCE OPTIMALIZOVANÉHO ŘEŠENÍ

V této části práce proběhlo propojení výstupů ze všech etap řešení práce.

Kombinací receptur **B_basalt_85_glass_30**, **B_SA_2.5** a **B_ACA_15** vznikla receptura **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** se složením viz následující Tab. 4.

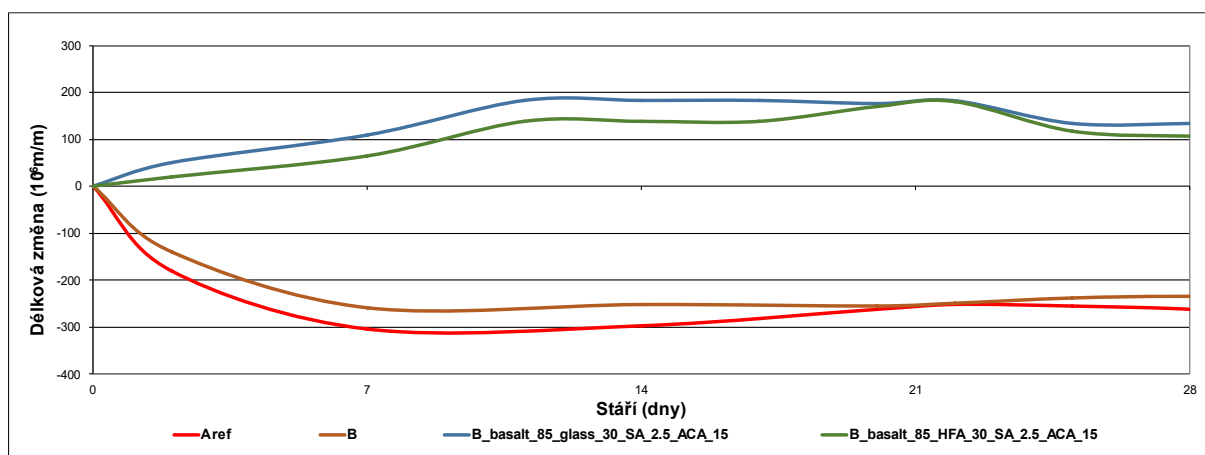
Kombinací receptur **B_basalt_85_HFA_30**, **B_SA_2.5** a **B_ACA_15** vznikla receptura **B_basalt_85_HFA_30_SA_2.5_ACA_15** se složením viz následující Tab. 4.

Ve v následující tabulce jsou uvedeny také ceny jednotlivých receptur za 1 kg směsi. Ceny byly vypočteny z velkoobchodních cen dodaných výrobcí jednotlivých materiálů. Cena předúpravy odpadu z výroby taveného čediče byla stanovena na 500,- Kč bez DPH za tunu. V případě, že by byla referenční směs, **A ref**, upravena pomocí primárních příměsí a přísad pro regulaci objemových změn a RDP, byla by cena této receptury cca 4,70,- Kč bez DPH za kilogram. Výsledná cena upravených receptur je tedy o 25 % nižší.

Tab. 4 Receptury PMCC s kombinací výstupů z předchozích etap

Složka	A ref	B	B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15	B_basalt_85_HFA_30_SA_2.5_ACA_15	A ref + příměsí/přísady
OPC 42.5 R	350.0	290.0	172.5	172.5	254.2
HFA – Vysokoteplotní popílek	0.0	0.0	0.0	87.0	0.0
Glass – Odpadní obalové sklo	0.0	0.0	87.0	0.0	0.0
PR 30/31	148.0	148.9	0.0	0.0	148.0
PR 35	271.0	264.3	0.0	0.0	271.0
PR 1-2	227.7	233.5	0.0	0.0	227.7
Mikrosilika	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Metakaolin	0.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Suchý odpeňovač	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Suchý plastifikátor	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Odpad z výroby taveného čediče	0.0	0.0	548.0	548.0	0.0
Křemenná moučka	0.0	0.0	90.1	90.1	0.0
SA – styren-akrylát	0.0	0.0	8.8	8.8	8.8
ACA – ACA cement	0.0	0.0	30.5	30.5	30.5
Cena/kg	2.90 Kč	3.60 Kč	3.50 Kč	3.50 Kč	4.70 Kč
Cena/ref s přísadami	64 %	80 %	78 %	78 %	100 %

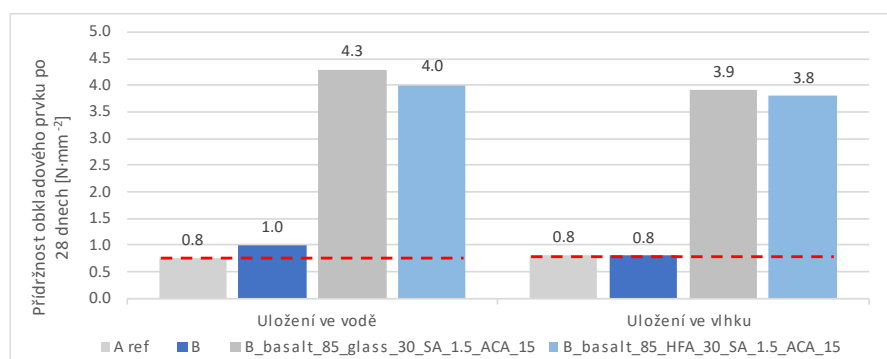
V grafu na Obr. 12 jsou znázorněny objemové změny vzorků s kombinací výstupů z předchozích etap měřené trámečkovou metodou během prvních 28 dní hydratace.



Obr. 96 Objemové změny trámečkovou metodou vzorků s kombinací druhotných surovin, polymerních přísad a přísad pro regulaci objemových změn ve vodním uložení

Z grafu vyplývá, že výsledné hmoty dle receptur **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** a **B_basalt_85_HFA_30_SA_2.5_ACA_15** vykazují expanzi během hydratačního procesu, tato je v důsledku kombinace s druhotnými surovinami a RDP nižší, než v případě pouhé kombinace OPC a ACA.

V následujícím grafu na Obr. 12 jsou uvedeny hodnoty přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům.



Obr. 12 Přidržnost k hladkým nenasákavým obkládovým prvkům vzorků s kombinací druhotných surovin, polymerních přísad a přísad pro regulaci objemových změn

Z grafu vyplývá, že hmoty dle receptur **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** a **B_basalt_85_HFA_30_SA_2.5_ACA_15** vykazují oproti referenční receptuře **A ref** či základní receptuře **B** velmi vysokou přidržnost k hladkým obkládovým prvkům. Došlo také ke zvýšení dalších užitečných parametrů, mezi které patří pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, nasákavost či odolnost proti působení CHRL.

Na základě ověření fyzikálně-mechanických parametrů a na základě optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání byla zvolena jako výstup této práce receptura **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15**. Složení této receptury je uvedeno v Tab. 5 a Tab. 6 v kapitole 4 *Shrnutí*.

3.6 STANOVENÍ ZÁVISLOSTI PŘIDRŽNOSTI KOMPOZITŮ K HLADKÝM NENASÁKAVÝM OBKLADOVÝM PRVKŮM NA JEJICH HYDRATAČNÍCH OBJEMOVÝCH ZMĚNÁCH

Závěrečná část disertační práce byla věnována ověření hypotézy, že existuje přímá závislost mezi hydratačními objemovými změnami cementových a polymer-cementových kompozitů a přidržností k hladkým obkládovým prvkům.

V rámci řešení bylo zjištěno, že existuje závislost mezi hodnotami objemových změn měřených trámečkovou metodou, potažmo metodou kontinuálního hydrostatického vážení a hodnotami přidržnosti k hladkým nenasákavým obkládovým prvkům.

Závislost byla vyjádřena následujícími rovnicemi. Významnost těchto rovnic byla následně informativně statistickými funkcemi ověřena.

$$y = 1.5482e^{0.0024x}$$

Rovnice 1 Závislost přidržnosti hladkých nenasákavých obkládových prvků na smrštění trámečkovou metodou (dále jen **Rovnice 1**)

$$y = -0.953\ln(x_1) - 5.3837$$

Rovnice 2 Závislost přidržnosti hladkých nenasákavých obkládových prvků na chemickém smrštění (dále jen **Rovnice 2**)

Kde:

- y je hodnota přidržnosti k hladkému nenasákavému obkládovému prvku po 28 dnech zrání [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$],
- x je hodnota hydratačních objemových změn stanovená trámečkovou metodou [$\cdot 10^{-6} \text{ m/m}$],
- x_1 je hodnota hydratačních objemových změn stanovená metodou kontinuálního hydrostatického vážení během prvních 72 hodin hydratačního procesu [%].

Z ověření kvality modelů vyplývá, že závislost mezi sledovanými veličinami skutečně existuje. V případě **Rovnice 1** bylo zjištěno, že jsou hodnoty přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům a hodnoty hydratačních objemových změn měřených trámečkovou metodou vzájemně spjaty na 92,8 %. V případě **Rovnice 2** bylo zjištěno, že jsou hodnoty přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům a hodnoty hydratačních objemových změn měřených kontinuálním hydrostatickým vážením vzájemně spjaty na 97,0 %.

Výše uvedené výpočetní vztahy stanoveny rovnicemi neplatí pro vzorky, které obsahují přísadu pro regulaci objemových změn na bázi NPG, či polymerní redispergovatelné prášky (RDP – na bázi SA, VAE, VAVEE, VAEVCE, nebo HPMC). U těchto vzorků dochází ke kombinaci cementových a polymerních vazeb a neodpovídají výše zmíněným závislostem.

Z tohoto vyplývá, že výpočetní vztahy jsou pravděpodobně použitelné také pro další cementové kompozity které neobsahují přísady vytvářející polymerní vazby, jako jsou RDP, či tekuté polymerní přísady, které ovlivňují přídržnost k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům.

4 SHRNUÍ

V disertační práci bylo řešeno studium a vývoj polymer-cementových kompozitů s důrazem na vysoký obsah druhotných surovin a kompenzaci objemových změn. Tohoto bylo dosaženo prostřednictvím několika dílčích cílů a celkem šesti etap řešení.

Náplní první etapy bylo provedení charakterizace expozičního prostředí, do kterého jsou vyvíjené kompozity navrhovány, dále výběr vstupních surovin a návrh metod laboratorního testování, které byly využity v během následujících etap řešení disertační práce.

V rámci druhé až páté etapy probíhal samotný vývoj cementových a polymer-cementových kompozitů, ověření, optimalizace a výběr nejvhodnějších receptur.

V první části druhé etapy bylo nejprve provedeno sestavení referenční receptury – **A ref** a následně úprava jejího složení pomocí primárních příměsí (srážené nehybné mikrosiliky a metakaolinu pro použití v betonu). Z této etapy byla vybrána na základě multikriteriálního párového srovnání základní **receptura B**, která obsahovala substituci pojivové složky metakaolinem v množství 8,5hm.% z dávky cementu a mikrosilikou v množství 8,5hm.% z dávky cementu. Vzhledem k referenční receptuře, **A ref**, dosáhly vzorky dle základní receptury **B**:

- srovnatelných hodnot objemové hmotnosti v čerstvém, ale také ztvrdlém stavu,
- o 37 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech zrání a o 38 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 90 dnech zrání,
- o 20 % vyšší pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání a o 29 % vyšší pevnosti v tlaku po 90 dnech zrání,
- o 36 % nižší nasákavosti po 28 dnech zrání,
- o 35 % nižšího odpadu při stanovení odolnosti proti působení CHRL po 100 zatěžovacích cyklech,
- o 18 % vyšší odolnosti proti ohrusu metodou Böhme,

- o 11 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vodě,
- srovnatelných hodnot přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vlhku,
- o 7 % nižšího chemického smrštění po prvních 72 hodinách hydratace.

V druhé části druhé etapy bylo složení této zvolené základní receptury **B** upravováno pomocí druhotných surovin. Byla substituována pojivová, ale také plnivová složka. Na základě testování a pomocí multikriteriálního párového srovnání byly následně vybrány dvě receptury, označené **B_basalt_85_glass_30** a **B_basalt_85_HFA_30**, které shodně obsahovaly 85% substituci celkové plnivové složky odpadem z výroby taveného čediče a 30% substituci celkové pojivové složky odpadním obalovým sklem (v případě **B_basalt_85_glass_30**), či vysokoteplotním elektrářenským popílkem (v případě **B_basalt_85_HFA_30**).

V rámci třetí etapy bylo složení základní receptury **B** modifikováno pomocí různých druhů polymerních redispergovatelných prášků. Tato modifikace byla provedena za účelem zvýšení užitných vlastností cementového kompozitu. Především pro zvýšení přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům, snížení nasákavosti, či zvýšení odolnosti proti CHRL. Na základě testování a pomocí multikriteriálního párového srovnání byla následně zvolena receptura **B_SA_2.5** s obsahem 2,5 % z hmotnosti cementu polymerního redispergovatelného prášku na bázi styren-akrylátu. Vzhledem k referenční receptuře, **A ref**, dosáhly vzorky dle receptury **B_SA_2.5**:

- srovnatelných hodnot objemové hmotnosti v čerstvém, ale také ztvrdlém stavu,
- o 12 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech zrání a o 14 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 90 dnech zrání,
- o 17 % nižší pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání a o 3 % nižší pevnosti v tlaku po 90 dnech zrání,
- o 42 % nižší nasákavosti po 28 dnech zrání,
- o 12 % nižšího odpadu při stanovení odolnosti proti působení CHRL po 100 zatěžovacích cyklech,
- o 12 % nižší odolnosti proti obrušování metodou Böhme,
- o 55 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vodě,
- o 75 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vlhku,
- o 253 % vyššího chemického smrštění po prvních 72 hodinách hydratace.

V rámci čtvrté etapy bylo složení základní receptury **B** dále modifikováno pomocí přísad pro regulaci hydratačních objemových změn. Na základě testování a pomocí následného multikriteriálního párového srovnání byla následně zvolena receptura **B_ACA_15** s obsahem 15% dávky přísady pro regulaci objemových změn na bázi ACA cementu. Vzhledem k referenční receptuře, **A ref**, dosáhly vzorky dle receptury **B_ACA_15**:

- podobných hodnot objemové hmotnosti v čerstvém a ztvrdlém stavu,
- o 27 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech zrání a o 33 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 90 dnech zrání,

- o 15 % vyšší pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání a o 14 % vyšší pevnosti v tlaku po 90 dnech zrání,
- o 37 % nižší nasákavosti po 28 dnech zrání,
- o 41 % nižšího odpadu při stanovení odolnosti proti působení CHRL po 100 zatěžovacích cyklech,
- o 5 % vyšší odolnosti proti obrušování metodou Böhme,
- o 420 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vodě,
- o 400 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vlhku,
- o 100 % nižšího chemického smrštění po prvních 72 hodinách hydratace.

V rámci páté etapy byl proveden návrh receptur kombinující složení vybraných receptur z předchozích etap. Na základě optimalizačního výpočtu, který byl proveden v rámci každé etapy řešení práce byly vybrány receptury:

- **B_basalt_85_glass_30**
- **B_basalt_85_HFA_30**
- **B_SA_2.5**
- **B_ACA_15**

Na základě testování a pomocí multikriteriálního párového srovnání byla následně vybrána receptura **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15**. Složení této receptury v porovnání s recepturou referenční **A ref** je uvedeno v následujících Tab. 5 a Tab. 6 receptura obsahovala celkově:

Tab. 5 Obsah pojivových složek v optimalizované receptuře z V. etapy

Receptura	OPC 42.5 R	Metaka- olin	Mikrosi- lika	Jemně mleté obalové sklo	ACA cement
A ref	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15	49,3 %	8,5 %	8,5 %	25 %	8,7 %

Tab. 6 Obsah plnivových složek v optimalizované receptuře z V. etapy

Receptura	Křemenný stavební písek (frakce 0-2 mm)	Křemenná moučka	Odpad z výroby taveného čediče
A ref	100 %	0 %	0 %
B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15	0 %	15 %	85 %

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že výsledný kompozit **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** obsahuje z původního množství pojiva (OPC) obsaženého v základní receptuře **A ref**, pouze 49,3 hm%. Zbýlých 50,7 hm.% původního pojiva je nahrazeno v dávce 8,7 hm.% ACA cementem (přísadou pro regulaci objemových změn), v dávce 8,5 hm.% metakaolinem, v dávce 8,5 hm.% sráženou neuhrazenou mikrosilikou a v dávce 25 hm.% je nahrazeno jemně mletým odpadním obalovým sklem.

Zároveň z tabulek vyplývá, že výsledný kompozit **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** obsahuje 85% substituci primárního plniva (křemenného stavebního písku), drceným odpadem z výroby obkladových prvků z taveného čediče. Zbýlých 15 hm.% je zastoupeno primární křemennou moučkou.

Ve vztahu k referenční receptuře **A ref** dosáhly vzorky dle receptury **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15**:

- srovnatelných hodnot objemové hmotnosti v čerstvém, ale také ztvrdlém stavu,
- o 31 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech zrání a o 39 % vyšší pevnosti v tahu za ohybu po 90 dnech zrání,
- o 19 % vyšší pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání a o 24 % vyšší pevnosti v tlaku po 90 dnech zrání,
- o 38 % nižšího odpadu při stanovení odolnosti proti působení CHRL po 100 zatěžovacích cyklech,
- o 5% nižší odolnosti proti obrusu metodou Böhme,
- o 480 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vodě,
- o 480 % vyšší přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům při uložení ve vlhku,
- o 100 % nižší chemické smrštění během prvních 72 hodinách hydratace,
- expanzivních vlastností při stanovení objemových změn trámečkovou metodou,
- oproti referenční receptuře lze při dosažení výše uvedených parametrů snížit vstupní materiálové náklady o více než 25 %.

V rámci poslední, šesté, etapy bylo provedeno ověření závislosti testovaných fyzikálně-mechanických vlastností cementových a polymer-cementových kompozitů na hodnotách objemových hydratačních změn vzorků. V rámci této etapy bylo provedeno ověření na základě výsledků z předchozích etap disertační práce. Následně bylo provedeno vytvoření 2 rovnic popisující závislost přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům na hydratačních objemových změnách cementových kompozitů stanovených metodou kontinuálního hydrostatického vážení, případně stanovených trámečkovou metodou.

5 ZÁVĚR

Tématem a cílem disertační práce bylo studium a vývoj polymer-cementových kompozitů s důrazem na vysoký obsah druhotných surovin a kompenzaci objemových změn.

V rámci disertační práce byl jednoznačně vyvinut nový objemově kompenzovaný polymer-cementový kompozit označený jako **B_basalt_85_glass_30_SA_2.5_ACA_15** obsahující 85% substituci primárních plnivových složek (kameniva) druhotným drceným odpadním kamenivem z výroby obkladových prvků z taveného čediče. Zároveň vyvinutý kompozit obsahuje 50,7% substituci primární pojivové složky (portlandského cementu - OPC) příměsemi, druhotnými surovinami, či ACA cementem. Konkrétně je 50,7 hm.% primárního pojiva nahrazeno v dávce 8,7 hm.% ACA cementem (přísadou pro regulaci objemových změn), v dávce 8,5 hm.% metakaolinem, v dávce 8,5 hm.% sráženou neuhnutnou mikrosilikou a v dávce 25 hm.% je nahrazeno jemně mletým odpadním obalovým sklem.

V rámci práce bylo tedy dokázáno, že vhodnou kombinací substituce primární pojivové složky (OPC) je možné za pomoci primárních příměsí (substituce 17 hm.% ref. dávky OPC)

a druhotných surovin (substituce 25 hm.% ref. dávky OPC) zachovat, a dokonce zvýšit většinu sledovaných užitných fyzikálně-mechanických parametrů polymer-cementových kompozitů. Mezi ně patří například pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, přídržnost k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům, či odolnost proti působení CHRL.

V disertační práci bylo také zjištěno, že vhodnou kombinací výše uvedených vstupů lze snížit materiálové náklady jednotlivých výrobků, a to při zachování, či zvýšení užitných parametrů o více než 25 %.

Prováděným vývojem a testováním bylo dále unikátně nově dokázáno, že přídržnost cementových a polymer-cementových kompozitů k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům závisí na hydratačních objemových změnách těchto kompozitů. V závěru práce byly výsledné závislosti stanoveny, matematicky ověřeny a následně vyjádřeny pomocí logaritmických a exponenciálních křivek, jejichž vyjádření v rovnicích je popsáno v etapě VI. tohoto dokumentu. V průběhu disertační práce také bylo zjištěno, že tato závislost je platná pro cementové kompozity, které mohou obsahovat druhotné suroviny použité v rámci této práce a přísady pro regulaci objemových změn použité v rámci této práce.

Zároveň bylo touto prací zjištěno, že uvedené/ověřené/použité výpočetní vztahy nejsou přímo použitelné pro receptury obsahující přísadu na bázi NPG (neopentyl-glycolu) či RDP (polymerních redispersovatelných prášků). Vzorky s obsahem NPG či RDP obsahují kombinaci polymerních a cementových vazeb a z jejich vztahu nevyplývá matematicky vyjádřitelná závislost žádného z testovaných parametrů.

Cíl disertační práce byl zcela splněn a v některých aspektech byl naplněn nad původní rámec. Nad původní očekávání byla například zjištěna závislost přídržnosti cementových a polymer-cementových kompozitů k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům na hodnotě hydratačních objemových změn těchto kompozitů.

6 PŘÍNOSY PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI

Mezi hlavní přínosy této disertační práce patří bezesporu samotný vývoj cementových a polymer-cementových kompozitů, kdy bylo v rámci práce dokázáno, že lze vhodnou kombinací primárních příměsí, druhotných surovin a alternativních pojivových složek nahradit až 50,7 hm.% původní dávky primárního pojiva portlandského cementu při zachování, či zvýšení fyzikálně-mechanických parametrů polymer-cementových kompozitů.

Dále je bezesporu výrazným přínosem pro vědu i praxi, že lze pomocí vhodné předúpravy drceného odpadního kameniva z výroby obkladových prvků z taveného čediče nahradit až 85 hm.% primární plnivové složky, křemenného těžného stavebního písku při zachování, či zvýšení fyzikálně-mechanických parametrů polymer-cementových kompozitů.

Prozkoumání a ověření vlivu jednotlivých druhů přísad pro kompenzaci objemových změn na stejném typu materiálu a prověření vlivu těchto přísad na široké spektrum fyzikálně-mechanických parametrů cementových a polymer-cementových kompozitů představuje unikátní doposud nepříliš publikované zjištění.

Podstatným a zcela zásadním přínosem pro vědní obor je u této disertační práce ověření a stanovení vlivu objemových hydratačních změn cementových a polymer-

cementových kompozitů na přídržnost k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům. Tyto vlivy byly v rámci práce zkoumány z pohledu hydratačních objemových změn měřených pomocí metody kontinuálního hydrostatického vážení a pomocí trámečkové metody a následně byly zformulovány do dvou matematických vztahů. Tyto vzorce mohou sloužit pro orientační výpočet hodnot přídržnosti k hladkým nenasákavým obkladovým prvkům již po 72 hodinách od zamíchání čerstvé cementové směsi.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ V TEZÍCH DISERTAČNÍ PRÁCE

- [1] DU, Hongjian a Kiang TAN. Waste Glass Powder as Cement Replacement in Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014, **12**(11), 468-477. ISSN 1346-8014. Dostupné z: doi:10.3151/jact.12.468
- [2] BÍLEK, Vlastimil. *Možnosti využití odpadních písků z výroby vodního skla ve stavebnictví* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/21374>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Tomáš Opravil.
- [3] BARKSDALE, Richard D. *The Aggregate handbook*. Washington, D.C. (1415 Elliot Pl., N.W., Washington 20007): National Stone Association, 1991.
- [4] WANG, Ru a Pei-Ming WANG. Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. *Construction and Building Materials*. 2011, **25**(11), 4210-4214. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.060
- [5] SCHULZE, Joachim a Otmar KILLERMANN. Long-term performance of redispersible powders in mortars. *Cement and Concrete Research*. 2001, **31**(3), 357-362. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/S0008-8846(00)00498-1
- [6] LE SAOÛT, Gwenn, Barbara LOTHENBACH, Akihiro HORI, Takayuki HIGUCHI a Frank WINNEFELD. Hydration of Portland cement with additions of calcium sulfoaluminates. *Cement and Concrete Research*. 2013, **43**, 81-94. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2012.10.011
- [7] GOŁASZEWSKI, Jacek a Małgorzata GOŁASZEWSKA. Properties of mortars with Calcium Sulfoaluminate cements with the addition of Portland cement and limestone. *Archives of Civil Engineering*. WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY FACULTY OF CIVIL ENGINEERING and COMMITTEE FOR CIVIL ENGINEERING POLISH ACADEMY OF SCIENCES, 2021, **67**(2), 425. Dostupné také z: <http://journals.pan.pl/dlibra/publication/edition/120004>
- [8] LE SAOÛT, Gwenn, Barbara LOTHENBACH, Akihiro HORI, Takayuki HIGUCHI a Frank WINNEFELD. Hydration of Portland cement with additions of calcium sulfoaluminates. *Cement and Concrete Research*. 2013, **43**, 81-94. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2012.10.011

8 CURRICULUM VITAE

Osobní informace:

Jméno a příjmení Ing. Radek Hermann

Adresa Bayerova 578/8, 602 00, Brno, Česká republika

Telefon Telefon: +420 541 147 521 Mobil: +420 739 679 920

E-mail Radek.Hermann@vut.cz

Národnost česká

Datum narození 16. říjen 1991

Dosažené vzdělání:

- 2019 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor M stavebně materiálové inženýrství, Prezenční magisterské navazující studium, dosažen titul Ing., Téma práce: Vývoj chemicky odolné stříkané směsi
- 2017 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Stavební inženýrství, obor M – stavebně materiálové inženýrství, Prezenční bakalářské studium, dosažen titul Bc., Téma práce: Možnosti regulace vývinu hydratačního tepla v betonu pomocí plastifikační přísady

Pracovní zkušenosti:

Datum 2019 – dosud

Pracovní pozice Vědecko-výzkumný pracovník, doktorand

Zaměstnavatel VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 331/95, 602 00 Brno

Publikace:

1. FIGALA, P.; HERMANN, R.; MAJEROVÁ, J. *Výzkum nové chemicky odolné správkové malty*. Juniorstav 2023 – Sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2023. s. 265-271. ISBN: 978-80-86433-80-6.
2. HERMANN, R.; MAJEROVÁ, J.; FIGALA, P. *VÝVOJ LISOVANÝCH DESEK Z DRUHOTNÝCH A ODPADNÍCH SUROVIN*. Juniorstav 2023 - sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2023. s. 251-257. ISBN: 978-80-86433-80-6.
3. MELICHAR, J.; ŽIŽKOVÁ, N.; BROŽOVSKÝ, J.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; HERMANN, R. Study of the Interaction of Cement-Based Materials for 3D Printing with Fly Ash and Superabsorbent Polymers. *Buildings*, 2022, vol. 12, no. 11, p. 1-19. ISSN: 2075-5309.
4. HERMANN, R.; MAJEROVÁ, J.; DROCHYTKA, R.; FIGALA, P. Assessment of Chemical Resistance of Polymer Repair Mortars. In *Materials and Technologies of Modern Production. Key Engineering Materials (web)*. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2022. p. 213-218. ISBN: 978-3-0364-1168-2. ISSN: 1662-9795.
5. MAJEROVÁ, J.; DROCHYTKA, R.; HERMANN, R.; FIGALA, P. *Možnosti využití odpadních látek v systémech bezvýkopových renovací potrubí*. JUNIORSTAV 2022. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2022. s. 502-507. ISBN: 978-80-86433-76-9.
6. ČERNÝ, V.; YAKOVLEV, G.; DROCHYTKA, R.; BARÁNEK, Š.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; MELICHAR, J.; HERMANN, R. Impact of Carbon Particle Character on the Cement-Based Composite Electrical Resistivity. *Materials*, 2021, vol. 14, no. 24, p. 1-35. ISSN: 1996-1944.

7. FIGALA, P.; DROCHYTKA, R.; HERMANN, R. Study of the properties of chemically resistant repair mortar with the use of secondary raw materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. IOP Publishing, 2021. p. 1-7. ISSN: 1757-899X.
8. HERMANN, R.; FIGALA, P.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. Study of polymer-based adhesive mortar with higher durability. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. IOP Publishing, 2021. p. 1-7. ISSN: 1757-8981.
9. HERMANN, R.; FIGALA, P.; MAJEROVÁ, J. *Ověření fyzikálně-mechanických vlastností polymerních lepicích hmot*. Juniorstav 2022 – sborník příspěvků [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2021. s. 497-501. ISBN: 978-80-86433-76-9.
10. FIGALA, P.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V.; HERMANN, R.; KOLÍSKO, J. Monitoring of Chemical Resistance of New Grouting Materials. In *Key Engineering Materials*. Key Engineering Materials (print). 2021. p. 27-33. ISBN: 978-3-0357-1810-2. ISSN: 1013-9826.
11. HERMANN, R.; HODUL, J.; JAKUBÍK, A. Polymer-Based Repair Mortar Containing Waste Perlite Powder. In *Proceedings of the 22nd Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings*. Key Engineering Materials (print). Lenka Mészárossová. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd., 2021. p. 73-79. ISBN: 978-3-0357-1810-2. ISSN: 1013-9826.
12. HERMANN, R. *VÝVOJ POLYMERNÍ HMOTY S VYSOKÝM OBSAHEM ODPADNÍHO PERLITU*. SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ. 2021. s. 596-601. ISBN: 978-80-86433-75-2.
13. HERMANN, R.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V.; FIGALA, P. Utilization of continuous hydrostatic weighing for monitoring of volume changes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. p. 1-7. ISSN: 1757-899X.
14. HERMANN, R.; HODUL, J.; KEPRDOVÁ, Š. Effect of Specimen Geometry on Selected Physical and Mechanical Properties of Epoxy-based Building Materials. In *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings III*. Key Engineering Materials (print). Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2020. p. 24-31. ISBN: 9783035736533. ISSN: 1013-9826.
15. HERMANN, R. *POLYMERNÍ SPRÁVKOVÁ MALTA NA VLHKÉ PODKLADY*. In *JUNIORSTAV 2020 22. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí PROCEEDINGS Sborník Příspěvků*. 1. 2020. s. 678-682. ISBN: 978-80-86433-73-8.
16. HERMANN, R.; FIGALA, P.; DOHNÁLEK, P.; DROCHYTKA, R. Vliv druhotných surovin na vlastnosti vyvíjené chemicky odolné stříkané směsi. *Materiály pro stavbu*, 2019, roč. 2019, č. 9, s. 34-39. ISSN: 1213-0311.
17. HERMANN, R.; KOLÍSKO, J.; DROCHYTKA, R.; REITERMAN, P. Optimization of mix-design of chemically resistant sprayed concrete. In *SPECIAL CONCRETE AND COMPOSITES 2018. Acta Polytechnica CTU Proceedings*. Praha: Czech Technical University in Prague, 2019. p. 26-30. ISSN: 2336-5382.
18. FIGALA, P.; DROCHYTKA, R.; HERMANN, R.; KOLÍSKO, J. Silicate Sprayed Mixture Based on Secondary Raw Materials. In *Key Engineering Materials*. Key Engineering Materials (print). Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019. p. 129-135. ISBN: 978-3-0357-1492-0. ISSN: 1013-9826.

19. HERMANN, R.; DROCHYTKA, R.; DOHNÁLEK, P.; KOLÍSKO, J. Vývoj chemicky odolné stříkané směsi. In *Sborník recenzovaných přednášek - 4. mezinárodní konference POPÍLKY VE STAVEBNICTVÍ*. 2019. s. 13-22. ISBN: 978-80-214-5751-5.
20. JAKUBÍK, A.; HERMANN, R. Sanace chemicky zatížených kanalizačních objektů. In *Sborník recenzovaných přednášek - 28. mezinárodního symposia SANACE 2019*. 2019. s. 51-60. ISBN: 978-80-214-5749-2.
21. HERMANN, R.; JAKUBÍK, A. Využití recyklátu skelných vláken v materiálech pro sanace betonových konstrukcí. In *Sborník recenzovaných přednášek - 28. mezinárodního symposia SANACE 2019*. 2019. s. 44-50. ISBN: 978-80-214-5749-2.

Další výsledky:

1. SUCHOMEL, Z.; HOŘAVA, F.; DROCHYTKA, R.; JAKUBÍK, A.; KLABAN, V.; HERMANN, R.; HUDEC, K.: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024707 - 2023V001; Linka na výrobu konstrukčních desek z komunálního odpadu a druhotných surovin. (prototyp)
2. SUCHOMEL, Z.; HOŘAVA, F.; DROCHYTKA, R.; JAKUBÍK, A.; KLABAN, V.; HERMANN, R.; HUDEC, K.: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024707 - 2023V002; Stavební panel CONSTRUCT. (funkční vzorek)
3. SUCHOMEL, Z.; HOŘAVA, F.; DROCHYTKA, R.; JAKUBÍK, A.; KLABAN, V.; HERMANN, R.; HUDEC, K.: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024707 - 2023V002; Stavební panel POWER. (funkční vzorek)
4. SUCHOMEL, Z.; HOŘAVA, F.; DROCHYTKA, R.; JAKUBÍK, A.; KLABAN, V.; HERMANN, R.; HUDEC, K.: CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024707 - 2023V003; Stavební panel WATERPROOF. (funkční vzorek)
5. MÜLLER, J.; JAKUBÍK, A.; MÜLLER, J.; HERMANN, R.; SEIDLOVÁ, M.: PUV 2020-37156; Kompozitní materiál na silikátové bázi pro kotvení mobilního typu vodního vleku. (užitný vzor)
6. MÜLLER, J.; JAKUBÍK, A.; MÜLLER, J.; HERMANN, R.; SEIDLOVÁ, M.: PUV 2020-37157; Bezprimerový nátěrový protikorozi přípravek s obsahem druhotných surovin. (užitný vzor)
7. HODUL, J.; DROCHYTKA, R.; JEŘÁBEK, Z.; MELICHAR, J.; HERMANN, R.; ŽLEBEK, T.: TN01000056/04-V009; HighTech polymerní reprofilační hmota s vysokou chemickou odolností. Laboratoř Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno. (funkční vzorek)
8. HODUL, J.; DROCHYTKA, R.; JEŘÁBEK, Z.; HERMANN, R.; ŽLEBEK, T.; MELICHAR, J.: TN01000056/04-V021; Paropropustný ochranný nátěr na beton. Laboratoř Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno. (funkční vzorek)
9. HODUL, J.; DROCHYTKA, R.; JEŘÁBEK, Z.; HERMANN, R.; ŽLEBEK, T.; MELICHAR, J.: TN01000056/04-V007; Chemicky odolná správková malta s vyšším obsahem druhotných surovin. Laboratoř Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno. (funkční vzorek)

9 ABSTRACT

Reducing of humanity's carbon footprint is currently one of the main directions of global research. Another significant problem is the disposal, recycling and secondary use of waste materials produced from a wide range of industries and municipal waste.

This thesis deals with the problematics of polymer-cement composites, which are most often used for rehabilitation, reprofiling and structural repairs, especially of concrete structures. The thesis examines and verifies the possibilities of utilization of a large amount of secondary raw materials and waste as a substitute for cement as a primary binder. At the same time, the work deals with the full replacement of the primary filler with waste raw materials, for which there is currently no other use. The work also addresses and verifies the influence of several commonly available commercial polymer dispersions. The work deals with the use of liquid, but also powdered polymeric additives of various bases. The work also deals with the problematics of volume changes of the hydration process of polymer-cement composites and the effect of volume changes on the physical-mechanical properties of composites. The influence of volume changes that occur during the hydration of polymer-cement composites is a significant criterion in the selection and use of these composites. The volume changes of the material have a great influence especially on the maximum layer thickness and the maximum area that can be repaired with the material without the risk of cracks and the need to create a working joint. The results of this work are associated with a reduction in the economic and environmental impacts of production and use of polymer-cement building materials and increase the usability of these materials mainly due to the possibility of remediation of larger areas than previously possible.