



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

**EKONOMICKÉ ASPEKTY ENVIRONMENTÁLNÍHO UŽITÍ
STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI SEKUNDÁRNÍCH
SUROVIN**

ECONOMIC ASPECTS OF ENVIRONMENTAL USE OF BUILDING MATERIALS BASED ON SECONDARY RAW MATERIALS.

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Tomáš Ťažký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL KULÍSEK, CSc.

BRNO 2020

Klíčová slova:

vedlejší energetické produkty, tepelná elektrárna, životní prostředí, ekonomické aspekty, mechanická aktivace, vysokoteplotní popílek, fluidní popílek, granulometrie, beton, skleníkové plyny

Keywords:

secondary raw material, heat power plant, environment, economical aspects, mechanical activation, high temperature fly ash, fluidized bed combustion fly ash, granulometry, concrete, greenhouse gases

Název pracoviště:

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

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	CÍL PRÁCE	7
3	METODIKA PRÁCE	7
3.1	Etapa I	7
3.2	Etapa II	8
3.3	Etapa III	8
3.4	Etapa IV	8
4	EXPERIMENTÁLNÍ A HODNOTÍCÍ ČÁST	9
4.1	Vlastnosti vybraných příměsí - popílků	9
4.1.1	<i>Granulometrie pomocí laserového granulometru.....</i>	9
4.1.2	<i>XRD – rentgenová difrakční analýza popílků</i>	10
4.1.3	<i>Morfologie zrn popílků pomocí SEM</i>	11
4.1.4	<i>Index účinnosti popílků</i>	12
4.1.5	<i>Optimalizace dávky plastifikační přísady – reologie pomocí rotačního viskozimetru</i>	12
4.2	Úprava popílků.....	13
4.2.1	<i>Předúprava fluidního popílku předvlhčením</i>	13
4.2.2	<i>Mísení frakcí vysokoteplotního popílku</i>	14
4.2.3	<i>Aktivace vysokoteplotního popílku mletím</i>	14
4.3	Výsledky zkoušek na cementových maltách	15
4.3.1	<i>Fyzikálně-mechanické parametry cementových malt</i>	15
4.4	Výsledky zkoušek na betonech	16
4.4.1	<i>Konzistence, objemová hmotnost a obsah vzduchu čerstvého betonu</i>	17
4.4.2	<i>Pevnosti betonů v tlaku</i>	18
4.4.3	<i>Hloubka průsaků tlakovou vodou</i>	19
4.4.4	<i>Odolnost povrchu betonu proti působení chemických rozmrazovacích látek (ChRL).....</i>	20
4.4.5	<i>Mrazuvzdornost betonu.....</i>	20
4.4.6	<i>Pevnost betonu v tahu za ohybu.....</i>	21
4.4.7	<i>Statický modul pružnosti betonu v tlaku</i>	21
4.4.8	<i>Nasákavost betonu</i>	22
4.4.9	<i>Stanovení smrštění betonu</i>	22
4.4.10	<i>Odolnost betonu proti síranům a kyselému agresivnímu prostředí.....</i>	23
4.5	Hodnocení ekonomických aspektů	24
4.5.1	<i>Hlavní dopad využití popílku v betonu.....</i>	24
4.5.2	<i>Energetické bilance mletí popílku.....</i>	25
4.5.3	<i>Produkce CO₂ při výrobě elektrické energie</i>	25
4.5.4	<i>Náročnost zkoušených betonů na emise CO₂.....</i>	26
4.5.5	<i>Ekonomie emisí CO₂ zkoušených betonů</i>	27

4.5.6	<i>Ekonomie užití receptur s aktivovaným popílkem – MOP</i>	27
4.5.7	<i>SWOT analýza</i>	29
5	ZÁVĚR	31
6	PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI	33
6.1	Přínos pro vědní obor	33
6.2	Předpokládané přínosy pro praxi	34
7	POUŽITÁ LITERATURA	34
8	CURRICULUM VITAE	38
	ABSTRACT	40

1 ÚVOD

Současným cílem celého sektoru výroby stavebních hmot a materiálů je hledání nových alternativních a méně ekologicky náročných zdrojů surovin, které disponují vlastnostmi pro zajištění a pokud možno i zvýšení požadovaných fyzikálně-chemických parametrů výrobků, s ohledem na trvanlivost v čase i v chemicky agresivních prostředích. Tento trend je spojen s třemi hlavními základními aspekty.

Prvním aspektem je stále vyšší deficit přírodních surovin pro výrobu stavebních hmot, případě jejich klesající kvalita z důvodu téměř vytěžených stávajících ložisek.

Dalším, aspektem je čistě environmentální hledisko s ohledem na stále vyšší tlak na bezodpadové hospodářství ve všech odvětvích průmyslů a stále vyšší požadavek na redukci skleníkových plynů vypouštěných do atmosféry, kdy Evropská unie (EU) se zavazuje ke stále přísnějším regulacím emisí skleníkových plynů.

Posledním a pro většinu výrobců hlavním ekonomickým aspektem je nutnost na snižování materiálových nákladů při výrobě stavebních hmot. Při současném růstu celého stavebnictví, jako ekonomického subjektu, sice došlo k nárůstu cen např. celého stavebního díla, ale výrobcům stavebních hmot rostly zisky od ekonomického poklesu z let 2008–2012 v přepočtu na vyrobenou jednotku jen velmi pozvolna. I když došlo ke zvýšení prodejních cen. Tyto ceny pouze kopírují navyšování cen konvenčních surovin, lidských zdrojů, energií, atd. Samozřejmě velký vliv hraje i opravdu široké konkurenční prostředí. Z tohoto plyne, že se hledá jakákoliv optimalizace výrobních nákladů, aby se výrobní společnost stala na trhu více konkurence schopnou a profitabilní.

Jako známý příklad s dlouholetým významným environmentální i ekonomickým efektem je použití popílku (zejména vysokoteplotního) jako částečné náhrady slínku – ať už přimíchávání popílku při výrobě cementu, kdy při úspoře slínku výsledným produktem je směsný cement, tak i při následné výrobě cementového kompozitu.

Environmentální zatížení životního prostředí je zřejmé z údajů, kdy při výrobě 1 tuny portlandského cementu se uvolní do atmosféry přibližně 0,7 tuny CO_2 . Z čehož lze odvodit, že při roční celosvětové produkci cca 2,3 bilionu tun cementu je do atmosféry uvolněno cca 1,6 bilionu tun skleníkového plynu CO_2 . Toto množství odpovídá cca 7 % jeho celkové světové produkce. [1]

Celosvětovým environmentálním cílem není pouze redukce plynu CO_2 , ale všech skleníkových plynů ve spalínách, proto se neustále vyvíjí a zdokonalují technologie a procesy k odstranění těchto škodlivin. Zásadní změna např. u skleníkových plynů na bázi oxidů dusíku NO_x (pod tímto pojmem nejčastěji rozumíme oxid dusnatý – NO a oxid dusičitý – NO_2) nastala legislativním opatřením a vyhláškou č. 415/2012 Sb. v platném znění, která zpracovává příslušné předpisy Evropské unie týkající se snížení emisních limitů.

Redukci NO_x lze provést primárním opatřením, např. instalací kotlů pro fluidní spalování nebo instalací technologie s metodou selektivní nekatalytické redukce (SNCR), při kterých dochází ke vstřikování močoviny nebo čpavkové vody do prostoru spalovací komory a dochází tak k redukci NO_x až na dusík a vodu. Tato technologie má negativní vliv na kvalitu popílků, kdy v alkalickém prostředí dochází k uvolnění čpavku.

Popílek jako příměs do betonu je normativně hodnocen jako aktivní příměs s pucolánovou aktivitou a je využíván v České republice (ČR) cca 50 let. S rostoucí poptávkou po elektrické energii v ČR, ale i v zahraničí docházelo ke zvyšování produkce energie, tím pádem i spotřeby uhlí a s tím spojená produkce odpadní suroviny – popílku. Popílek se z počátku využíval pouze k zásypům a zbytek se ve většině případů splavoval spolu se škvárou mokrou cestou a ukládal v „rybnících“ u elektráren nebo spaloven, což mělo za následek podstatné zatížení okolního prostředí.

Postupné využití popílku do betonu jako příměs přineslo jednak výrobcům podstatnou finanční úsporu i zlepšení některých vlastností betonu. V čerstvém betonu to byla zejména reologická vlastnost, která ovlivňuje zpracování a v zatvrdlém betonu se pozitivně přidavek popílku projevoval na konečné pevnostní charakteristice betonu a na vodonepropustnost betonu, která byla v té době ověřena při masivním budování vodohospodářských staveb. Ekologický přínos dříve nebyl zásadně řešen, i když došlo k poklesu výluhů těžkých kovů a dalších nežádoucích látek do okolního prostředí. Z důvodu zjištěného zlepšení některých fyzikálních vlastností betonů se výzkum a vývoj začal zaměřovat později na zlepšování vlastností popílku jejich úpravou či aktivací, aby bylo využito maximální reakčního potenciálu popílku.

Aktivace popílků dělíme na chemické, termální a mechanické, popřípadě jejich kombinaci. [2], [3] Chemické aktivace byly zkoumány jako první. Jako chemické aktivátory jsou používány NaOH, Na₂O₃ a roztok vodního skla, případně se začíná používat CaO. V případě mechanické aktivace se u popílku uplatňují dva procesy – třídění a mletí. Termální aktivace probíhá způsobem vytvoření homogenní směsi ve složení popílek, mletý vápenec a sádrovec, kdy směs je smíchána s vodou na zavlhlou směs, ze které se vyrobí sbalky, ty jsou v autoklávu vystaveny hydrotermickému režimu s různým náběhem teplot. Po vyjmutí z autoklávu je materiál vysušen při teplotě 100 °C do konstantní hmotnosti a rozemlet na prášek s maximálním zrnem velikosti 0,06 mm. [4]

Praktické využití metody termální aktivace je v současné době velice omezené, protože přináší velké finanční náklady a souvisí zejména s technologickou nevybaveností provozních výrobních jednotek.

K třídění popílku dochází v praxi již při jejich zachycování na filtrech z exhalátu v odlučovacích zařízeních tepelných elektráren, na mechanických a elektrostatických filtrech. Jejich oddělené skladování stávajících zařízení většinou neumožňuje, tak jsou do jednoho sila, kde dochází k jejich zpětnému smísení. Argumentem pro neinvestování do této třídící technologie je variabilita chemického složení různých frakcí popílku.

Při aktivaci popílku technologií mletím, kdy se zpracovává celý objem produkce popílku je tak zajištěna i jeho dostatečná homogenizace a s tím související chemické složení. Obecně velkou ekonomickou nevýhodou technologie mletí je vysoká energetická náročnost samotného mlecího procesu a rovněž provozu souvisejících odlučovacích zařízení.

Jak vyplývá ze stručné charakteristiky stávajícího stavu využívání popílků v průmyslu výroby stavebních hmot, je přes prokazatelné ekonomické efekty situace stále obtížnější. Ve snaze přispět určitým podílem v hledání možností zlepšení stavu a hledání nových

poznatků cestou výzkumu, zaměřil jsem se ve své disertační práci, konkrétně v experimentální části, na ověření možností využití mechanické aktivace popílků a posouzení její efektivity z hlediska funkce a účinnosti aktivovaných popílků v cementovém kompozitu, konkrétně v technologii betonu. Podrobnější popis metodiky řešení a postupu experimentálních prací je uveden v příslušné kapitole, stejně jako posouzení a vyhodnocení environmentálních a zejména ekonomických aspektů.

2 CÍL PRÁCE

Důvody, které vedly k záměru řešení předkládané disertační práce, nesoucí v samotném názvu problematiku ekonomických a environmentálních aspektů, vyplývají z poznatků a informací uvedených ve studijní části.

Vycházel jsem z dříve uvedených hlavních aspektů, které se ve stručnosti týkají stále vyššího deficitu a klesající kvality vstupních surovin pro výrobu stavebních hmot, dále environmentálního tlaku na vyšší využívání vedlejší průmyslových produktů a snižování emisí, stejně jako pro většinu výrobců stavebních hmot je významným ekonomickým aspektem rostoucí tlak na neustálé snižování výrobních, resp. materiálových, nákladů při výrobě.

Záměrem práce bylo proto ověření možnosti vyšší využitelnosti sekundárních energetických produktů – konkrétně z dostupných zdrojů různých druhů popílků s maximalizací jejich potenciálu v technologii výroby betonu.

Cílem práce bylo konkrétně ověření a prokázání efektivity využití mechanické aktivace popílků jako příměsí v technologii výroby betonu.

Dosažení tohoto hlavního cíle předpokládalo splnění dvou dílčích postupných a návazných cílů řešení:

- 1) v experimentální činnosti – prokázání zlepšení základních vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu, jako podmínky nutné, nikoliv však postačující, pro komplexní zhodnocení přínosů práce,
- 2) v hodnotící činnosti – posouzení environmentální, a hlavně ekonomické efektivity technologie betonu s použitím mechanicky aktivované popílkové příměsí v receptuře.

Plán experimentálních prací, formulovaný jako metodika řešení odborně nejvýznamnější a časově nejnáročnější části disertační práce je uveden v následující kapitole.

3 METODIKA PRÁCE

3.1 ETAPA I

V první etapě jsem vybral vhodné suroviny, popílků, které jsem na základě poznatků ze studijní části volil z více hledisek. Prvním hlediskem byl výběr na základě dostupnosti popílku z jednotlivých zdrojů, kdy jsem v potaz bral i budoucí změny v technologii spalování dané elektrárny a tím pádem případná nevhodnost budoucího použití. Druhým kritériem byla samozřejmě vhodnost popílků pro použití do cementových betonů na základě normativních požadavků dle platné normy ČSN EN 450. [N4] Dalším faktorem

bylo i porovnání černouhelného a hnědouhelného popílku a popílku hnědouhelného s horšími výslednými vlastnostmi. Do práce byl zahrnut i výzkum fluidních popílku, které uvedená norma nepřipouští k použití do betonu, kdy tohoto popílku je na trhu stále velký přebytek a je využíván jen velmi okrajově, např. k výrobě zálivkových směsí na cementové bázi označovaných PSu (dříve cemento-popílkové suspenze – CPS) k zalévání šachet po důlní činnosti, i když dle výsledků práce je v tomto materiálu velký potenciál do budoucna.

Do první etapy byla zahrnuta i mechanická aktivace mletím černouhelného a hnědouhelného vysokoteplotního úletového popílku a zušlechtění popílku s nevhodnou granulometrií mísením jeho frakcí. Mechanická aktivace mletím proběhla i u fluidního popílku. Mletí popílku proběhlo v kulovém mlýně společnosti CEMEX Czech Republic, s.r.o. v mlýnici Dětmarovice.

U použitých surovin jsem nejdříve provedl ověření jejich základních vlastností jako chemické složení, objemová hmotnost, měrný povrch, granulometrie, atd. U popílku byl navíc stanoven index účinnosti, morfologie zrn a RTG analýza.

3.2 ETAPA II

V této etapě byly ověřeny vlastnosti mechanicky aktivovaných, standardních a fluidních popílků. U fluidních popílků došlo k jejich zkoumání předúpravy, aby byl eliminován negativní efekt volného vápna na reologii směsi. Byla hledána i vhodná plastifikační přísada a vhodné dávkování.

Následně byly vlastnosti vybraných surovin ověřeny na cementových maltách a mechanické vlastnosti zkoumány v čase po 7, 28 a 90 dnech. Výsledky zkoušek cementových malt byly následně použity pro tvorbu receptur betonů.

3.3 ETAPA III

Bylo provedeno ověření účinnosti upravených a neupravených popílků v betonech. Z vybraných surovin byly navrženy 3 sady receptur různých v praxi frekventovaných pevnostních tříd betonu s rozdílným stupněm vlivu prostředí, na kterých bylo sledováno chování čerstvého betonu i vlastnosti ztvrdlého betonu. U čerstvého betonu byla provedena zkouška konzistence pomocí sednutí Abramsova kužele, stanovena objemová hmotnost a u provzdušněného betonu stanoven obsah vzduchu. U ztvrdlého betonu byly stanoveny pevnosti betonu v tlaku, objemové hmotnosti, hloubka průsaku tlakovou vodou, odolnost povrchu proti působení ChRL, pevnosti v tahu za ohybu, mrazuvzdornost, statický modul pružnosti v tlaku, nasákavost, smrštění a odolnost betonu proti agresivnímu prostředí. Všechny parametry ztvrdlého betonu byly zkoumány i v čase po 7, 28 a 90 dnech. Odolnost betonu proti agresivnímu prostředí byla stanovena po 28, 90 a 180 dnech.

3.4 ETAPA IV

V poslední hodnotící etapě byla provedena analýza dopadu využití popílku jako příměsí do betonu s ohledem na životnost konstrukcí a eliminaci skleníkových plynů. Byly provedeny energetické bilance mletí popílků a následné vyčíslení hodnot úspor CO₂ a

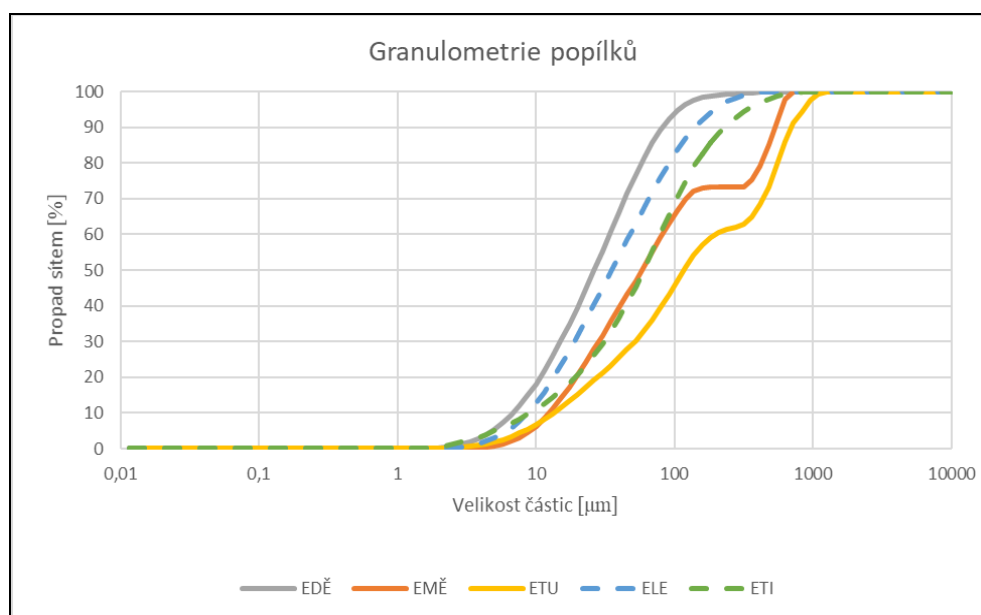
finančních úspor. Efektivnost aplikace výsledků práce na modelovém závodě byla provedena jako ekonomická analýza pomocí měřítka výkonu závodu – MOP. V poslední fázi byla provedena SWOT analýza reálného podniku, za účelem posouzení environmentálních aspektů výsledků disertační práce, která má ukázat vhodnost či nevhodnost nasazení ekologičtějších produktů do výroby.

4 EXPERIMENTÁLNÍ A HODNOTÍCÍ ČÁST

4.1 VLASTNOSTI VYBRANÝCH PŘÍMĚSÍ - POPÍLKŮ

4.1.1 Granulometrie pomocí laserového granulometru

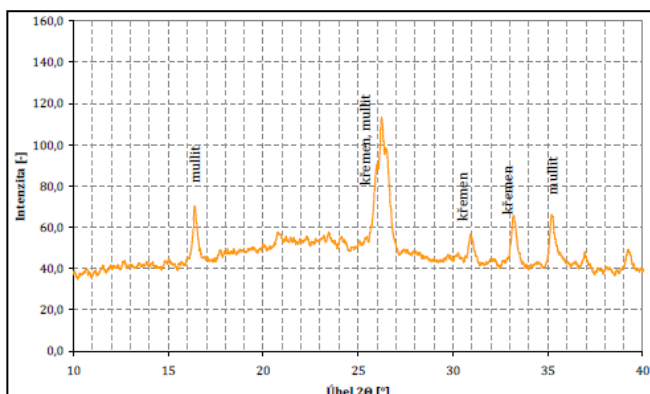
Granulometrie popílků byla stanovena na laserovém granulometru Malvern MASTERSIZER 2000.



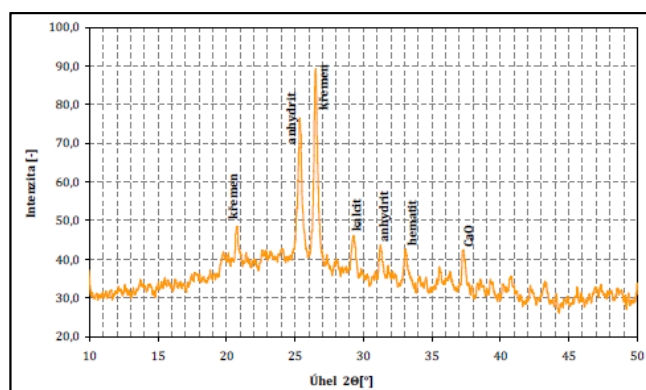
Graf 1: Granulometrie popílků

Dle uvedeného grafu je patrné, že nejjemnější je vysokoteplotní popílek z elektrárny Dětmorovice (EDĚ) a nejvíce hrubý zase vysokoteplotní popílek z elektrárny Tušimice. Fluidní popílků (ETI a ELE) vykazují velice podobnou granulometrii, která je do velikosti zrna 100 μm velice podobná s vysokoteplotním popílkem z elektrárny Mělník (EMĚ).

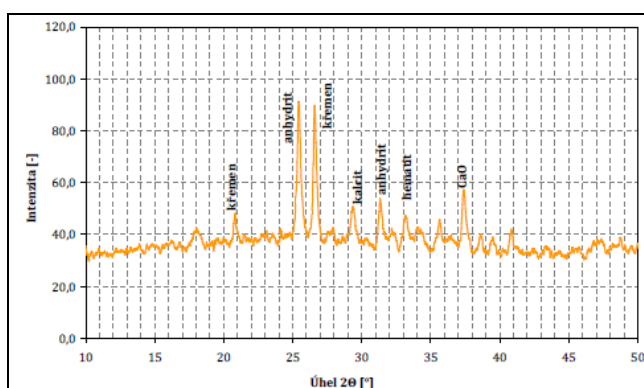
4.1.2 XRD – rentgenová difrakční analýza popílků



Graf 2: RTG analýza fluidního popílku Mělník



Graf 3: RTG analýza fluidního popílku Ledvice

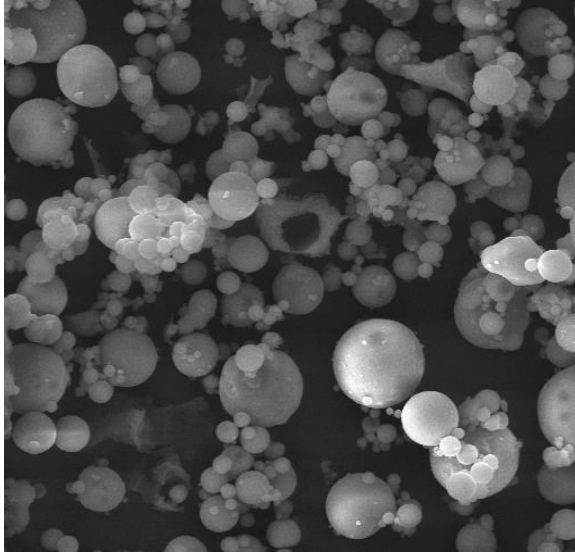


Graf 4: RTG analýza fluidního popílku Tisová

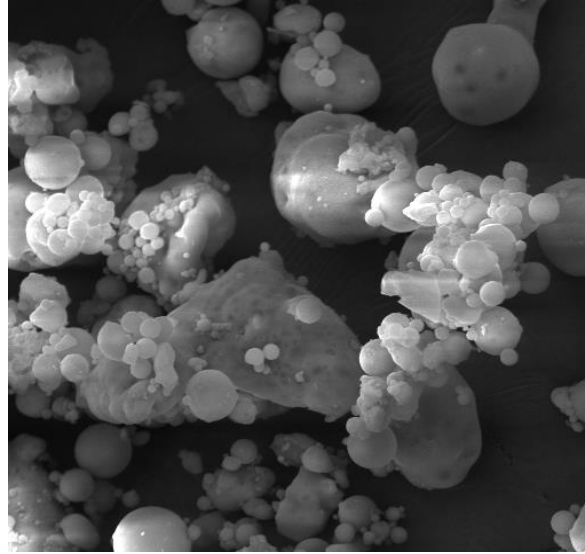
Způsob spalování ve vysokoteplotním kotli má za následek odlišné chemické i mineralogické složení popílku. V popílku Mělník (stejně jako ve valné většině vysokoteplotních popílků) je tedy zastoupen především křemen a mullit. Patrná je i amorfní skelná fáze, jejíž přítomnost je znázorněna typickým obloukovým prohnutím difrakční křivky.

Záznamy z rentgenové difrakční analýzy fluidních popílků jsou sobě opět velmi obdobné. Fluidní popílků obsahují zejména anhydrit a křemen, v menší míře ostatní vápenaté sloučeniny – kalcit, volné vápno. Fluidní popílek Tisová obsahuje navíc hematit.

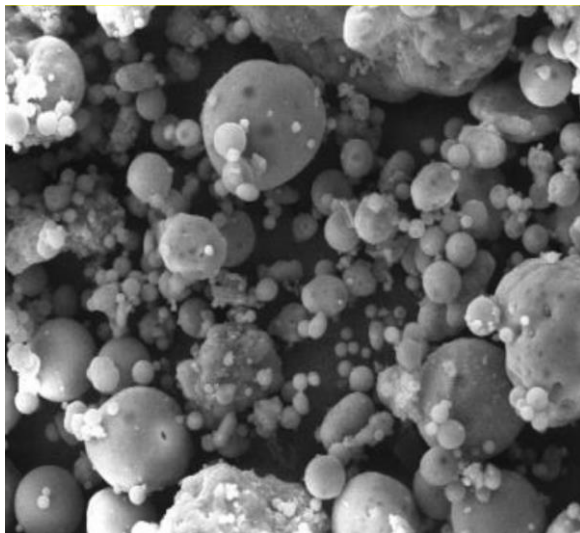
4.1.3 Morfologie zrn popílků pomocí SEM



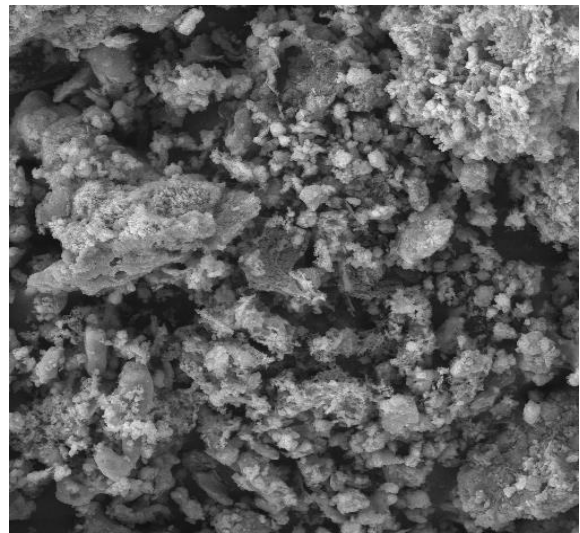
Obr. 1: Morfologie zrna vysokoteplotního popílku Dětmárovice (EDĚ)– zvětšení 2000 x



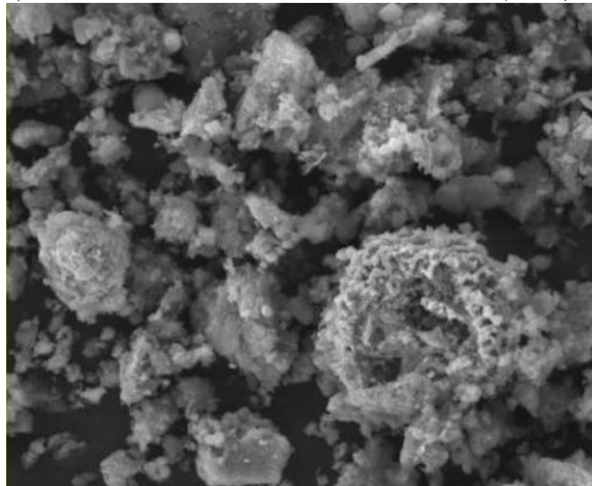
Obr. 2: Morfologie zrna vysokoteplotního popílku Mělník (EMĚ)– zvětšení 3000 x



Obr. 3: Morfologie zrna vysokoteplotního popílku Tušimice (ETU)– zvětšení 2000 x



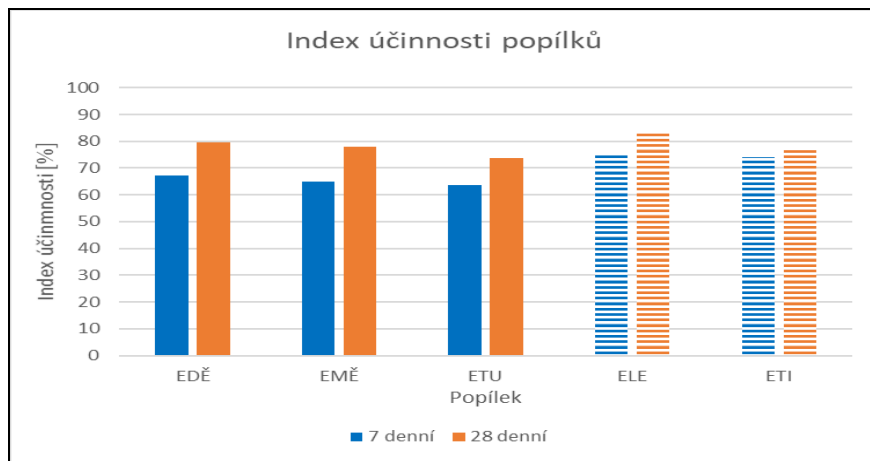
Obr. 4: Morfologie zrna fluidního popílku Ledvice (ELE)– zvětšení 2000 x



Obr. 5: Morfologie zrna fluidního popílku Tisová (ETI)– zvětšení 2000 x

U vysokoteplotních popílků jsou patrná kulovitá zesklenná zrna. Fluidní popílky disponují značně porézními zrny, na kterých jsou patrné vrstevnaté struktury aluminosilikátů a zrna CaSO_4 .

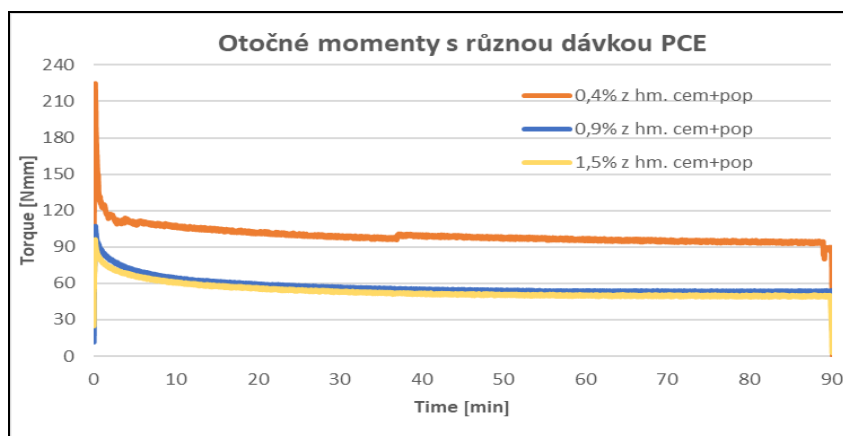
4.1.4 Index účinnosti popílků



Graf 5: Index účinnosti popílků

Z výsledků zkoušek indexu účinnosti popílků je zřejmý téměř okamžitý nástup hydratačních procesů u fluidních popílků, který je však založen primárně na tvorbě ettringitu, který tak v počátečních dnech vytvrzuje strukturu kompozitu, což se projeví na zvýšené pevnosti. U vysokoteplotních popílků vykazuje nejvyšší index účinnosti popílek Dětmáruvice.

4.1.5 Optimalizace dávky plastifikační přísady – reologie pomocí rotačního viskozimetru



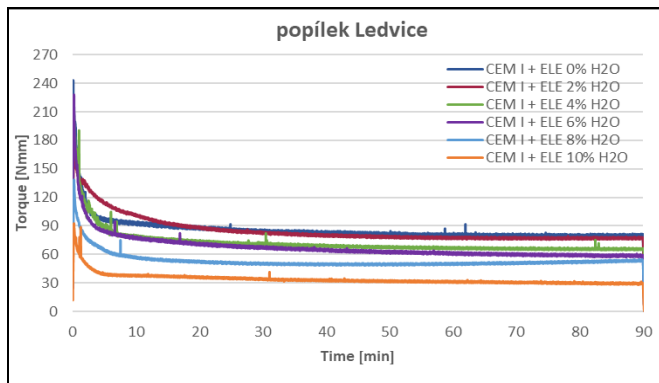
Graf 6: Průběh otočných momentů popílkových past s různou dávkou superplastifikátoru

U superplastifikátoru na bázi multikarboxylové s přidávkem lignosulfonanu je výrazně patrný vliv správného dávkování. Nízké dávky této superplastifikační přísady jsou zcela nevyhovující, rozdíl optimální a maximální dávky se již na reologii směsi prakticky neprojevil. Pro další zkoušky byla vybráno dávkování 0,9 % z hmotnosti všech jemných

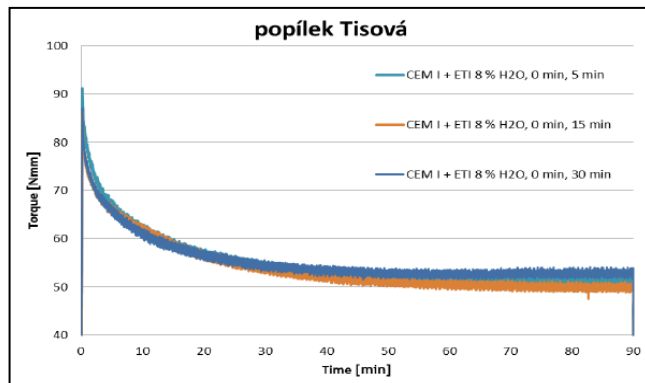
složek. Tato dávka umožní silně redukovat negativní dopad fluidního popílku na konzistenci směsi.

4.2 ÚPRAVA POPÍLKŮ

4.2.1 Předúprava fluidního popílku předvlhčením



Graf 7: Průběh otočných momentů porovnávaných směsí s předvlhčeným ELE

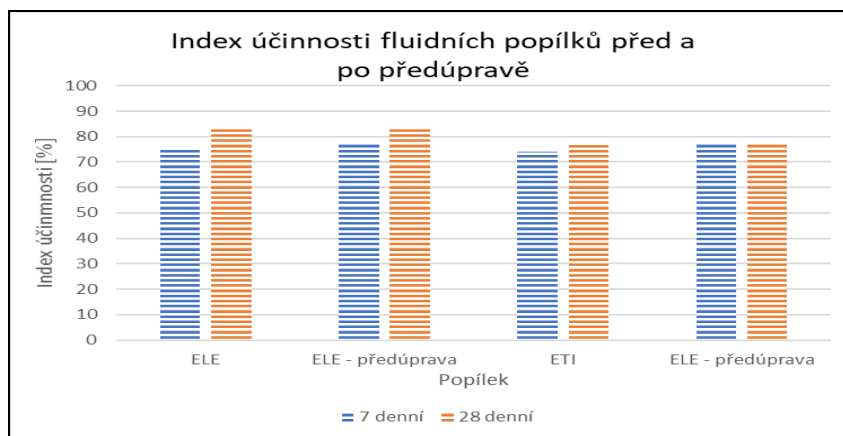


Graf 8: Průběh otočných momentů porovnávaných směsí s předvlhčeným ETI a různou dobou homogenizace

Bylo prokázáno, že samotná doba odležení zhomogenizované směsi nemá žádný vliv na výslednou konzistenci směsi. Z výsledků lze usuzovat, že ani doba homogenizace fluidního popílku s vodou nutnou pro jeho předvlhčení není parametrem ovlivňujícím výslednou viskozitu cementové směsi s takto upraveným fluidním popínkem.

Bylo prokázáno, že významnou roli hraje výběr plastifikační přísady, která musí mít dostatečnou schopnost redukovat dávku záměsové vody a zvyšovat stupeň ztekucení a musí být rovněž kompatibilní se všemi složkami směsi.

Díky předvlhčení malou dávkou vody, dochází zejména k reakci volného vápna obsaženého v popínku s touto vodou a není tak popínkem pro popsanou reakci spotřebována adekvátní část dávky vody záměsové.



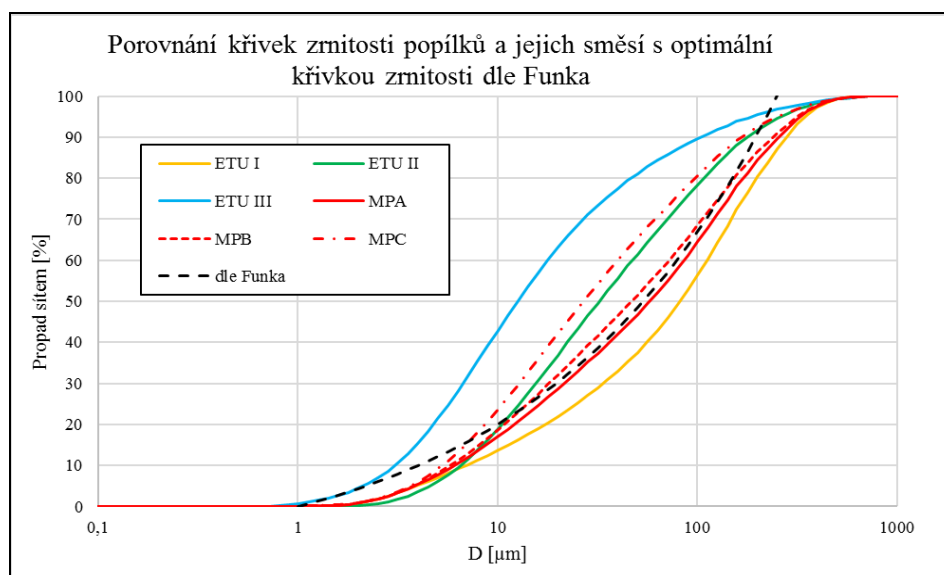
Graf 9: Index účinnosti fluidních popílků před a po úpravě předvlhčením

Z dosažených výsledků je patrné, že navržená metodika úpravy fluidního popílku nemá výrazný vliv na jeho výsledné mechanické parametry. Mírný nárůst pevnostních charakteristik porovnávaných směsí je pravděpodobně dán pouze kvalitnějším zhutněním, které bylo umožněno pomocí nižšího negativního dopadu upraveného popílku na konzistenci směsi.

4.2.2 Mísení frakcí vysokoteplotního popílku

Pro mísení různých frakcí vysokoteplotního popílku byly použity popílky ze všech tří sekcí elektrostatických odlučovačů prvního bloku elektrárny Tušimice 2. Dále v textu jsou označeny ETU I, ETU II a ETU III.

Pomocí algoritmu byl vypočten jako ideální mísicí poměr popílků ze sekcí I: II: III = 10:4:1 (dále označován mísicí poměr A–MPA). Jako alternativa k porovnání účinnosti mísicího poměru A, byly zvoleny ještě poměry 5:4:1 (MPB) a 0:4:1 (MPC). Ve výpočtech nebyl uvažován cement. Cílem bylo nalézt mísicí poměry mezi jednotlivými sekcemi popílků bez ohledu na použitý cement a množství náhrady cementu popílkem.



Graf 10: Granulometrie směsí popílků ETU

4.2.3 Aktivace vysokoteplotního popílku mletím

Aktivace popílku mletím v kulovém mlýně proběhla v mlýnici společnosti CEMEX Czech Republic s.r.o. v Dětmarovicích, kdy následně byl tento mletý popílek testován ve zkušebních laboratořích cementárny CEMEX Cement Dětmarovice a Prachovice, později byl prakticky ověřen na vybraných betonárnách CEMEX.

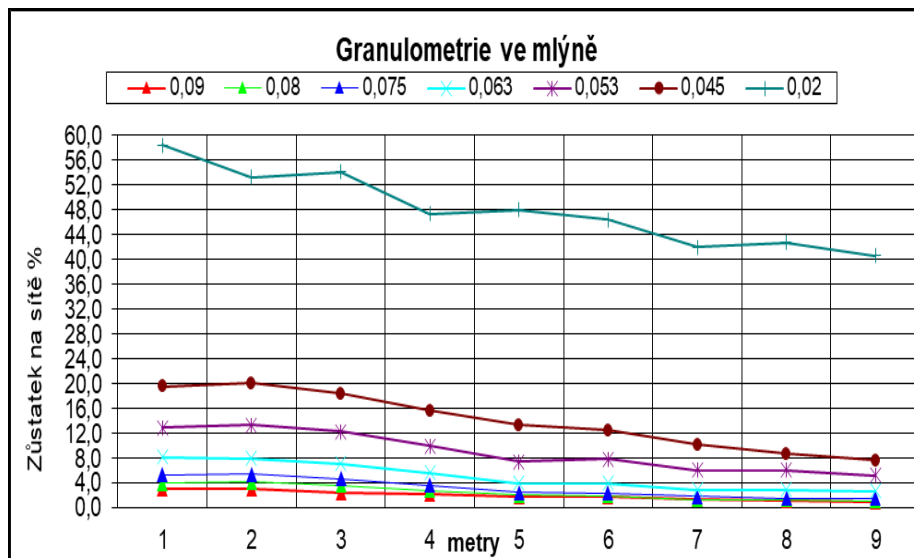
Pro aktivaci mletím byly zvoleny vysokoteplotní popílky z elektráren Dětmarovice (EDĚ), Mělník (EMĚ) a fluidní popílky z elektráren Ledvice (ELE) a Tisová (ETI).

Mlecí jednotka je složena ze 2 samostatných mlýnů a jedná se o předemlívací kotoučový mlýn Pfeiffer MPS 2500BC a finální kulový jednokomorový mlýn Polysius TM-C-S 3,2 x

9,0 v otevřeném okruhu s jednotnou náplní 60 t koulí průměru 15 mm a s hlavním pohonem 800 kW. Aktivace popílku byla provedena na mlýně Polysius.

	EDĚ	EDĚ mletý	EMĚ	EMĚ mletý	ELE	ELE mletý	ETI	ETI mletý
Měrný povrch dle Blaina [cm ² /g]	3360	4055	2720	3981	3440	4104	2950	4572
Měrná hmotnost [g/cm ³]	2,14	2,52	2,10	2,13	2,81	2,86	3,06	3,20
Zůstatek na síti 0,045 [%]	17,96	1,76	44,32	7,64	15,52	4,72	29,36	6,24
Zůstatek na síti 0,09 [%]	5,28	0,12	23,04	1,04	4,88	0,40	17,08	1,08
Index účinnosti [%]	79,5	88,7	78,1	91,5	82,9	105,5	76,8	99,4

Tab. 1: Porovnání vlastností klasických a mletých popílků



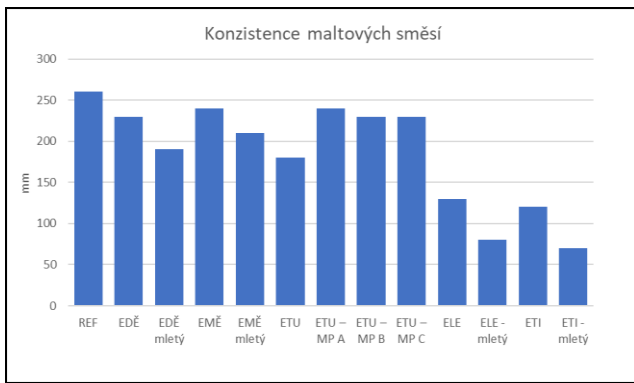
Graf 11: Průběh granulometrie mletých popílků ve mlýně po jeho délce – výstup z mlýnu

4.3 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA CEMENTOVÝCH MALTÁCH

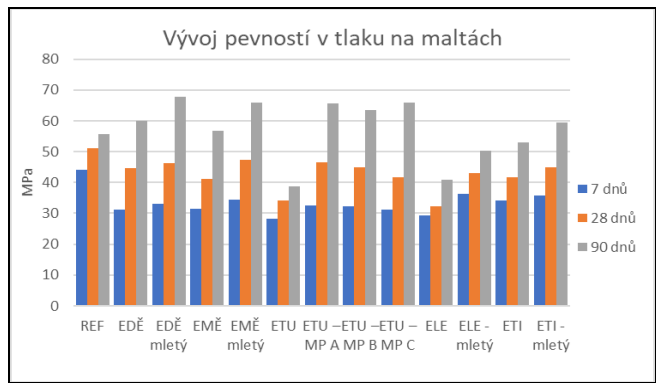
4.3.1 Fyzikálně-mechanické parametry cementových malt

	Referenční receptura	Receptura s popílkem
CEM I 42,5 R Prachovice	450 g	338 g
Normový písek CEN	1350 g	1350 g
Voda	225 g	225 g
Popílek	-	112 g

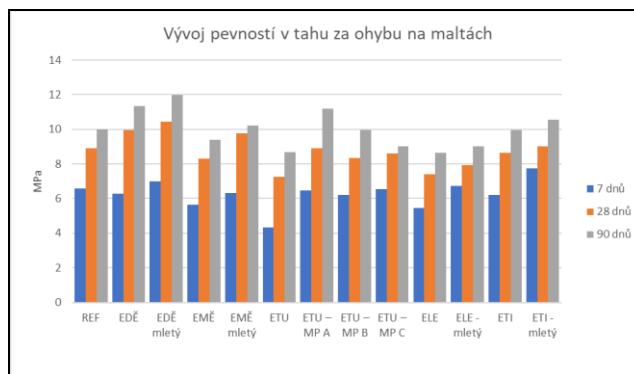
Tab. 2: Složení zkušebních cementových malt



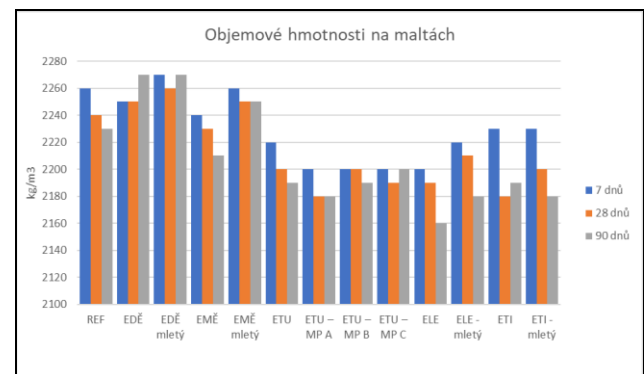
Graf 12: Konzistence cementových malt



Graf 13: Vývoj pevností cementových malt v tlaku



Graf 14: Vývoj pevností cementových malt v tahu za ohybu



Graf 15: Objemové hmotnosti cementových malt

4.4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA BETONECH

Pro zkoušky vlastností vybraných popílku v betonech byly zvoleny 3 typy betonů. Beton C12/15;X0;S3;Dmax16mm, který je na stavbách velice hojně využíván jako základní beton zejména při výstavbě rodinných domů – základové pasy, krycí vrstvy izolací, atd. Dále beton C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – základní konstrukční beton téměř veškerých plošných monolitických celků a obvodových stěn, pilot, atd.. Posledním betonem s malou náhradou cementu vybranými druhy popílku byl beton C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – tento typ betonu je hojně využíván v liniových infrastrukturních stavbách a cílem bylo ověřit, zda přidání upraveného popílku bude eliminovat vysoce negativní dopad přidavku klasických popílku zejména na zkoušku odolnosti povrchu betonu vůči zmrazování a rozmrazování dle ČSN 73 1326 [N29].

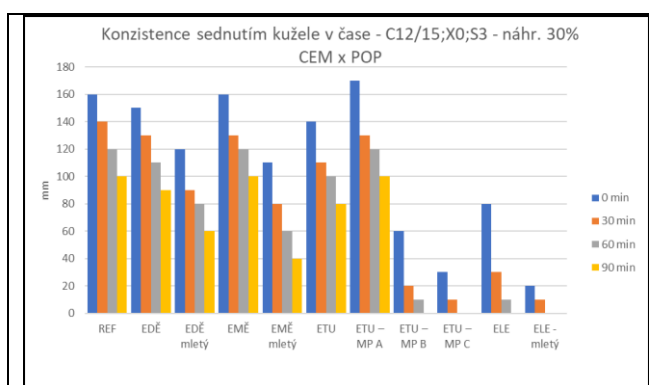
Pro další zkoušky popílku z elektrárny Tušimice, který vznikl mísením frakcí, byl zvolen popílek s označením ETU-MP B, který při ověřování na cementových maltách vykazoval průměrné vlastnosti.

U betonu pevnostní třídy C12/15 bylo nahrazováno 30 % referenční dávky cementu popílkem. Dávka přísady byla zvolena 0,6 % z hmotnosti cementu u receptury referenční a 0,6 % z hmotnosti cementu + 1/3 dávky popílku u receptur s přidavkem popílku.

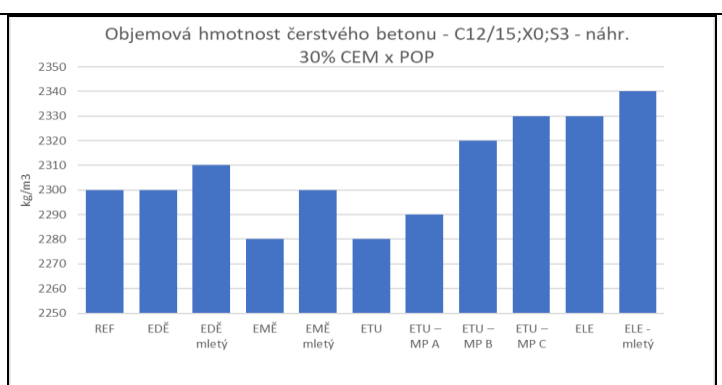
U betonu pevnostní třídy C25/30 bylo nahrazováno 25 % referenční dávky cementu popílkem. Dávka přísady byla zvolena 0,75 % z hmotnosti cementu u receptury referenční a 0,75 % z hmotnosti cementu + 1/3 dávky popílku u receptur s přidavkem popílku.

U betonu pevnostní třídy C30/37 bylo nahrazováno 20 % referenční dávky cementu popílkem. Dávka přísady byla zvolena 0,8 % z hmotnosti cementu a u receptury referenční 0,8 % z hmotnosti cementu + 1/3 dávky popílku u receptur s přidavkem popílku. Byly testovány pouze receptury s popílkem EDĚ, EDĚ mletý a fluidním popílkem ETI a ETI mletý. Dávka provzdušňovací přísady ReadyAir L300 byla volena variabilně tak, aby provzdušnění betonu bylo v intervalu 5–8 %.

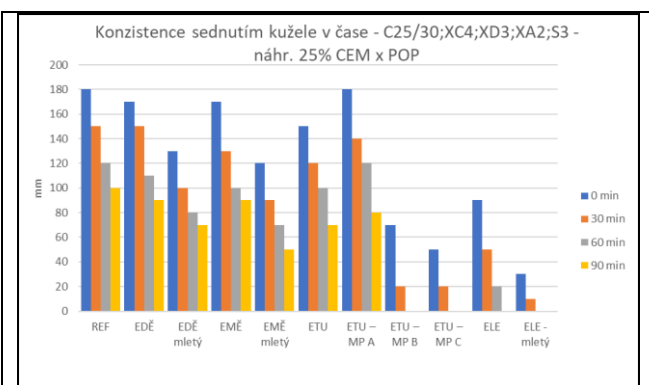
4.4.1 Konzistence, objemová hmotnost a obsah vzduchu čerstvého betonu



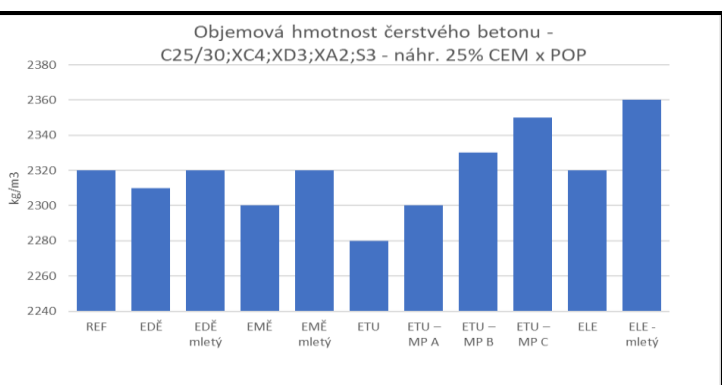
Graf 16: Konzistence čerstvého betonu sednutím kužele – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP



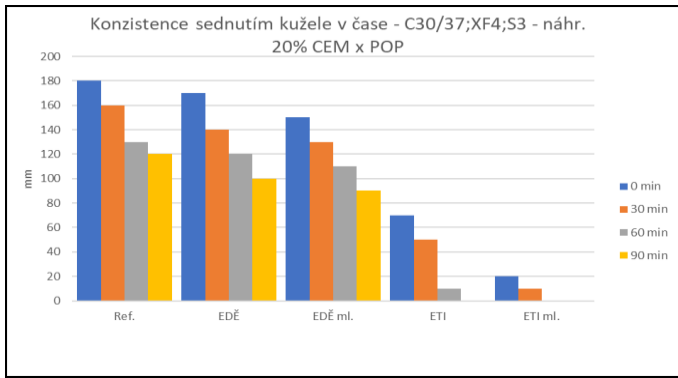
Graf 17: Objemová hmotnost čerstvého betonu – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP



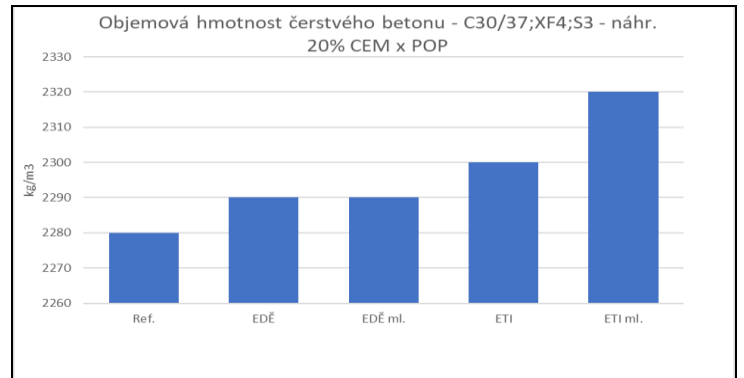
Graf 18: Konzistence čerstvého betonu sednutím kužele – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



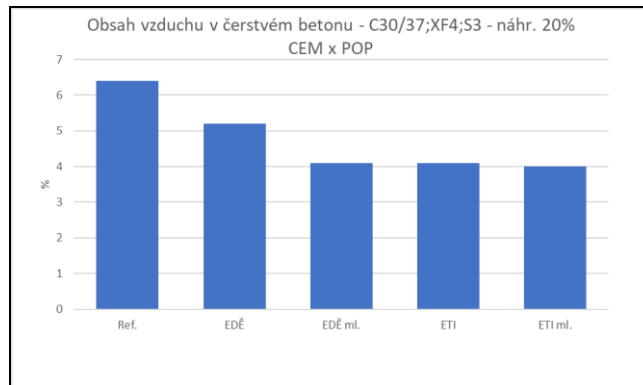
Graf 19: Objemová hmotnost čerstvého betonu – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



Graf 20: Konzistence čerstvého betonu sednutím kužele – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

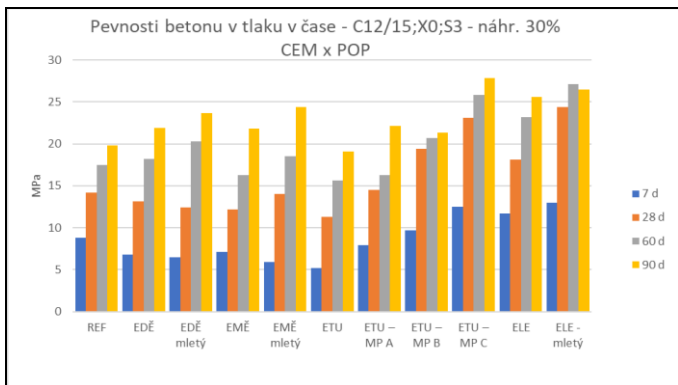


Graf 21: Objemová hmotnost čerstvého betonu – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

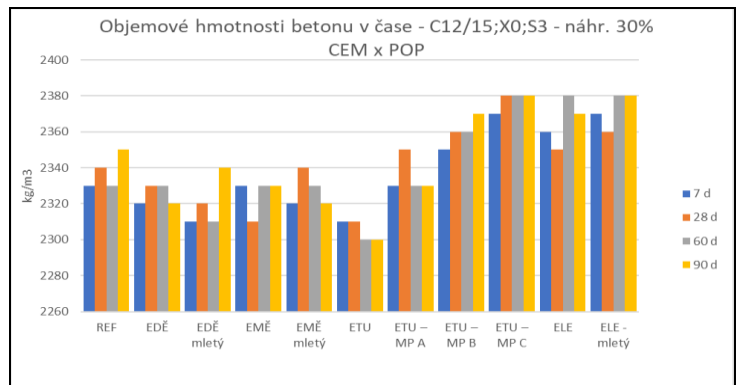


Graf 22: Obsah vzduchu v čerstvém betonu – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

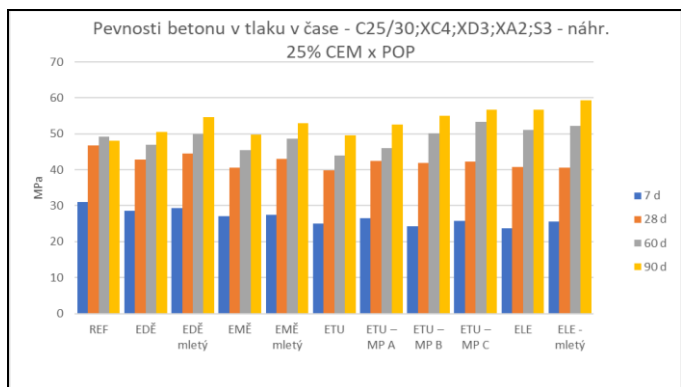
4.4.2 Pevnosti betonů v tlaku



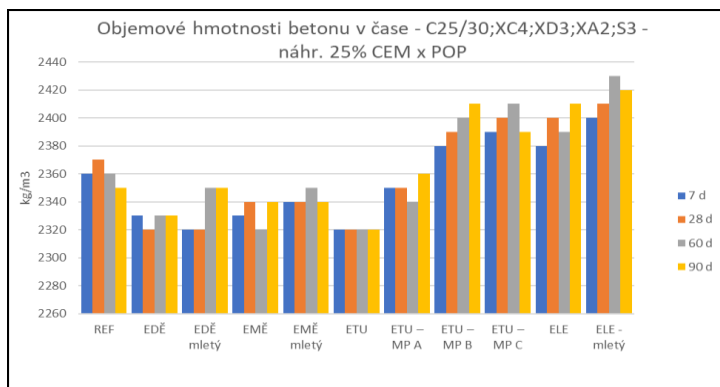
Graf 23: Pevnosti betonu v tlaku v čase – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP



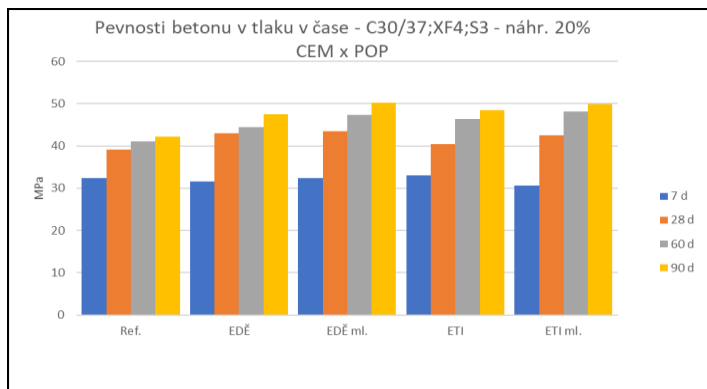
Graf 24: Objemové hmotnosti betonu v čase – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP



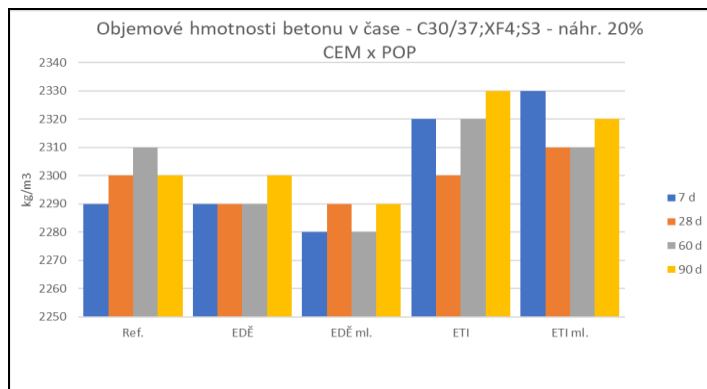
Graf 25: Pevnosti betonu v tlaku v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm –náhr. 25 % CEM x POP



Graf 26: Objemové hmotnosti betonu v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP

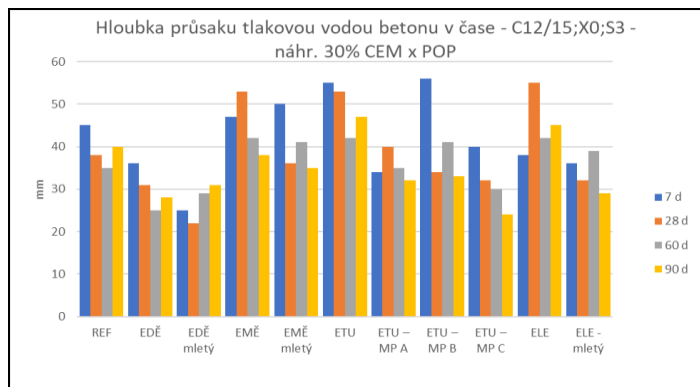


Graf 27: Pevnosti betonu v tlaku v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

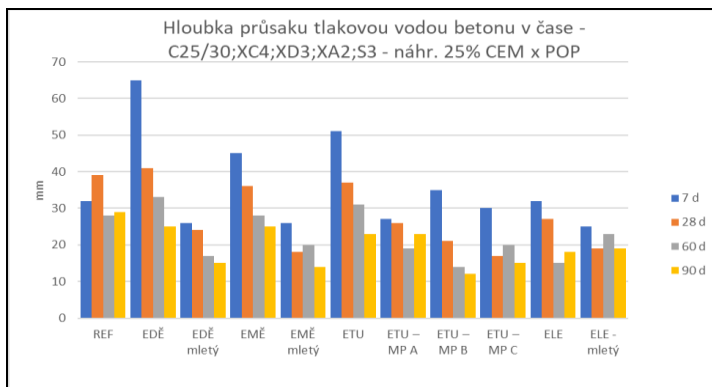


Graf 28: Objemové hmotnosti betonu v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

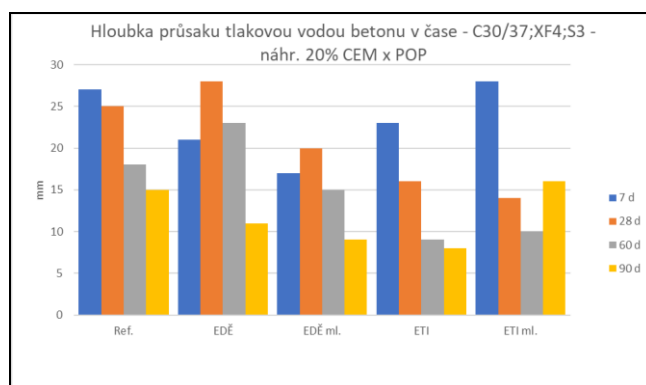
4.4.3 Hloubka průsaků tlakovou vodou



Graf 29: Hloubka průsaku betonu tlakovou vodou v čase – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP

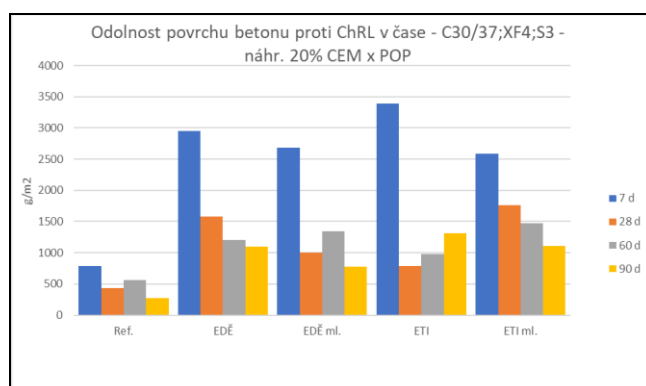


Graf 30: Hloubka průsaku betonu tlakovou vodou v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



Graf 31: Hloubka průsaku betonu tlakovou vodou v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

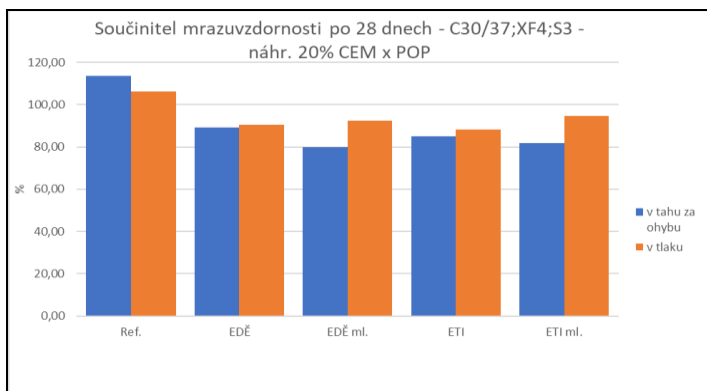
4.4.4 Odolnost povrchu betonu proti působení chemických rozmrazovacích látek (ChRL)



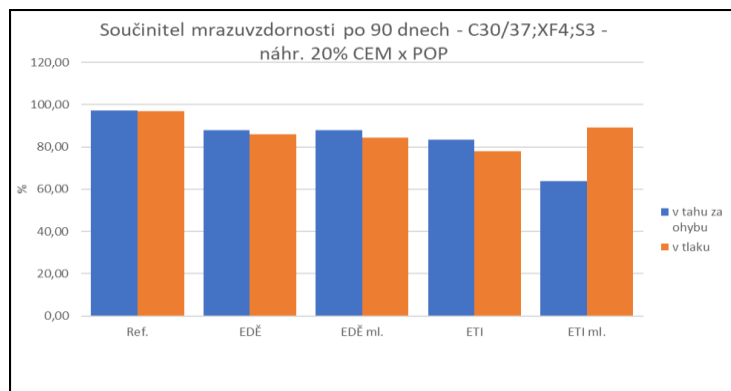
Graf 32: Odolnost povrchu betonu proti ChRL v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

4.4.5 Mrazuvzdornost betonu

Mrazuvzdornost betonu byla stanovena jen po 28 a 90 dnech, dle normy ČSN 73 1322 [N31], vždy na 3 trámcích o rozměrech 100 x 100 x 400 mm vždy na 100 zmrazovacích cyklů (T100) a následně byl udělán průměr. Byl testován pouze beton C30/37;XF4;S3, u kterého je předpoklad tohoto požadavku.



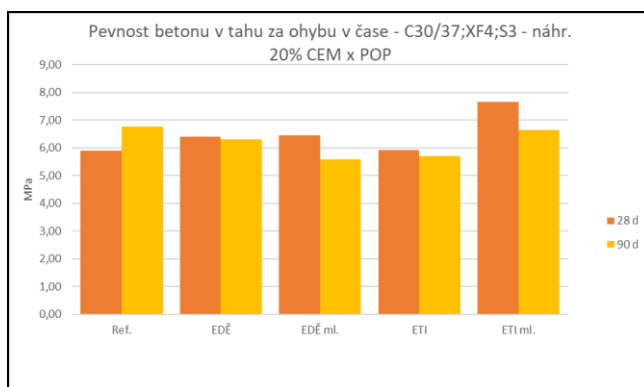
Graf 33: Součinitel mrazuvzdornosti betonu po 28 dnech – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm –náhr. 20 % CEM x POP



Graf 34: Součinitel mrazuvzdornosti betonu po 90 dnech – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm –náhr. 20 % CEM x POP

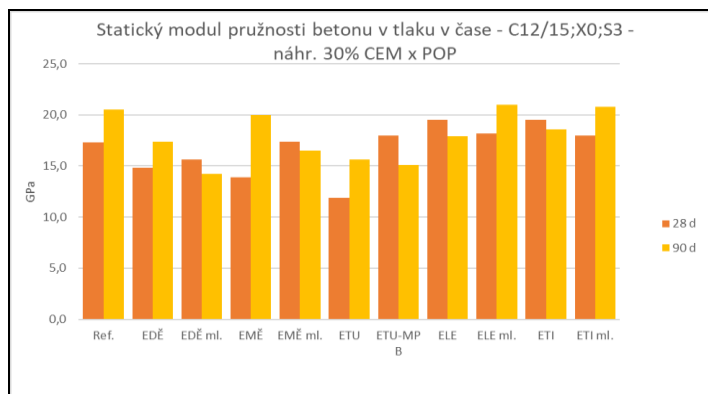
4.4.6 Pevnost betonu v tahu za ohybu

Pevnost betonu v tahu za ohybu byla stanovena jen po 28 a 90 dnech, dle normy ČSN EN 12 390-5 [N30], vždy na 3 trámcích o rozměrech 100 x 100 x 400 mm a následně byl udělán průměr. Byly využity výsledky ze stanovení mrazuvzdornosti betonu.

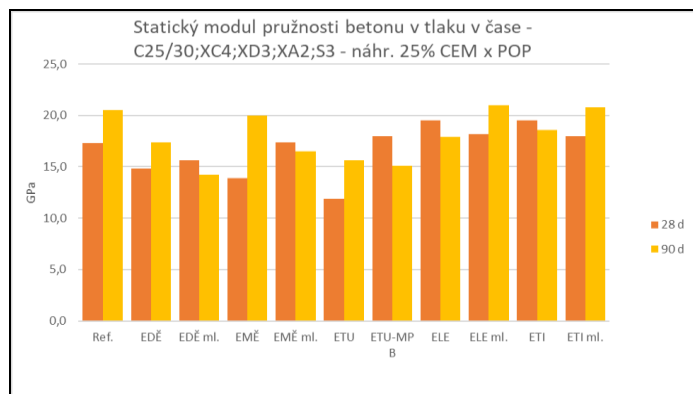


Graf 35: Pevnost betonu v tahu za ohybu v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

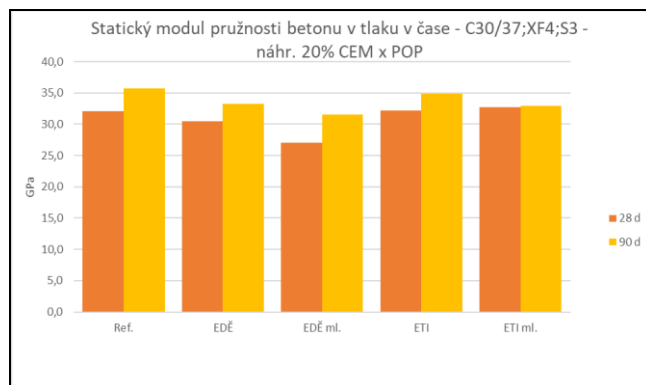
4.4.7 Statický modul pružnosti betonu v tlaku



Graf 36: Statický modul pružnosti betonu v tlaku v čase – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP

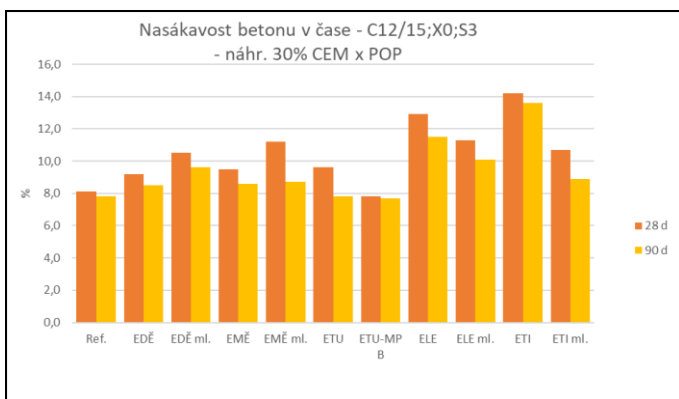


Graf 37: Statický modul pružnosti betonu v tlaku v čase- C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP

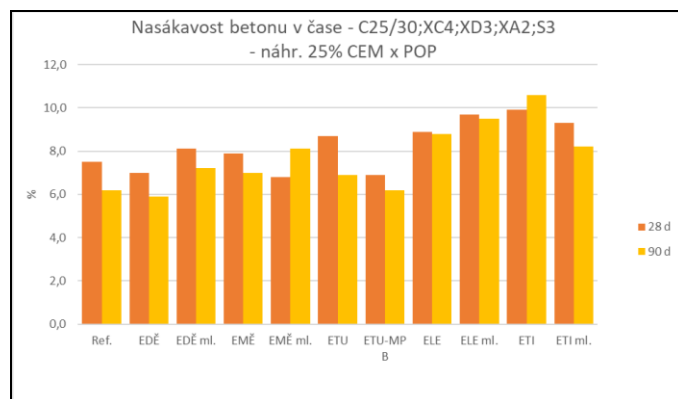


Graf 38: Statický modul pružnosti betonu v tlaku v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

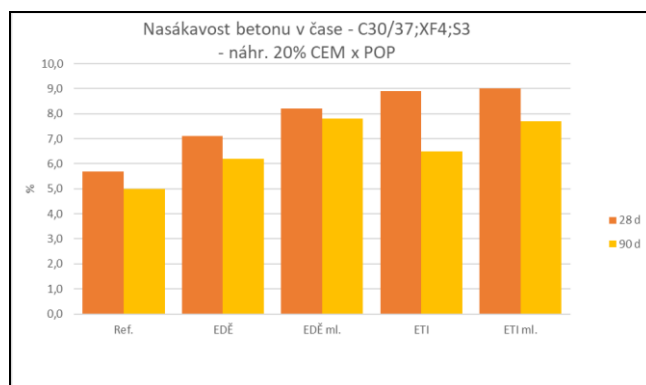
4.4.8 Nasákavost betonu



Graf 39: Nasákavosti betonu v čase – C12/15;X0;S3;Dmax16mm – náhr. 30 % CEM x POP



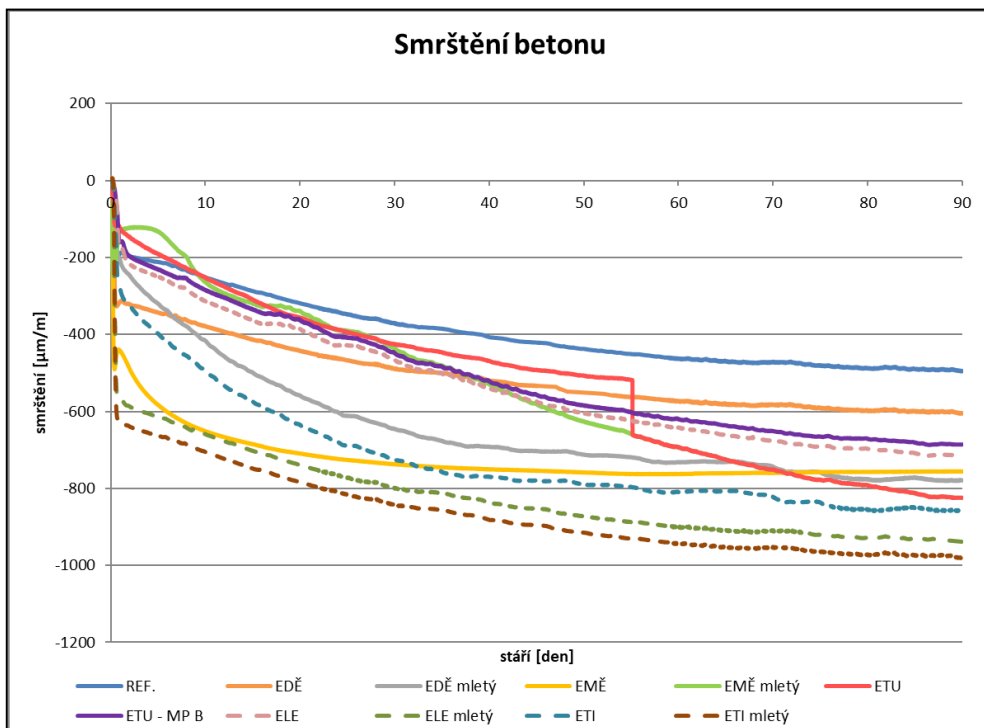
Graf 40: Nasákavosti betonu v čase - C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



Graf 41: Nasákavosti betonu v čase – C30/37;XF4;S3;Dmax16mm – náhr. 20 % CEM x POP

4.4.9 Stanovení smrštění betonu

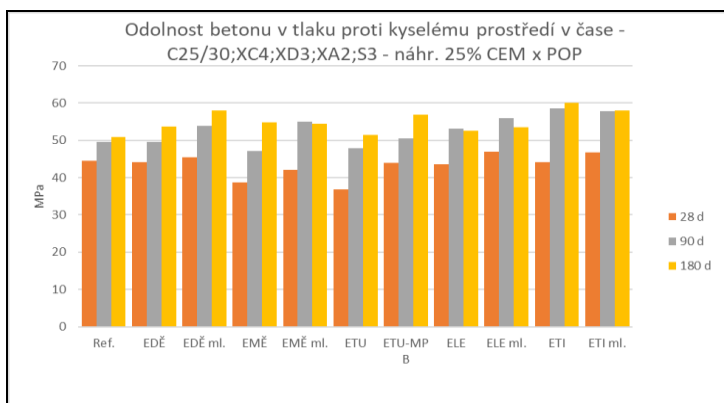
Objemové změny betonu byly stanoveny pouze na betonu C25/30;XC4;XD3;XA2;S3, u kterého je snaha redukovat smrštění v některých typech konstrukcí (např. konstrukce tzv. bílých van).



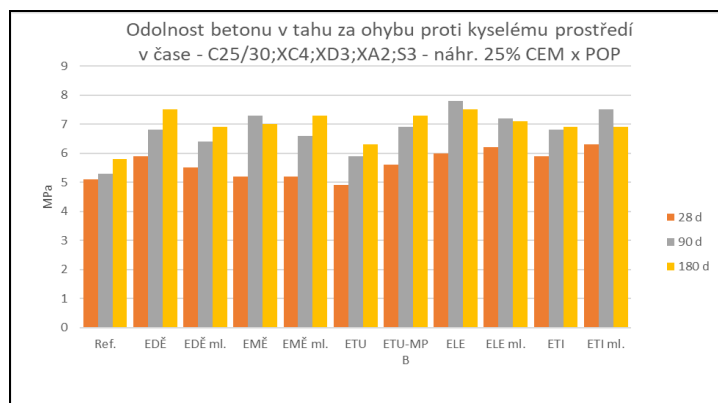
Graf 42: Smrštění betonu v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP

4.4.10 Odolnost betonu proti síranům a kyselému agresivnímu prostředí

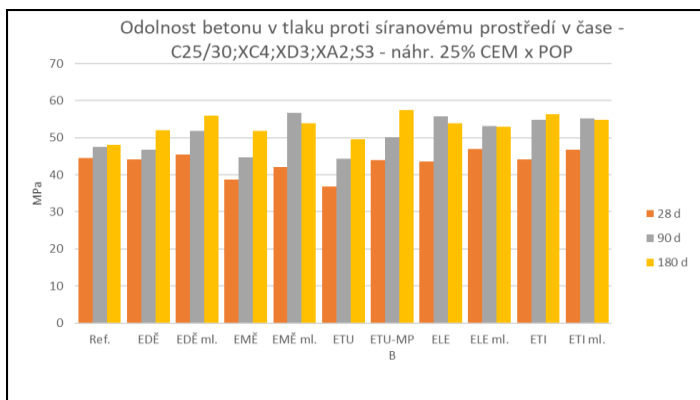
Odolnost betonu proti síranům a kyselému agresivnímu prostředí byla stanovena po 90 a 180 dnech, vždy na 2 trácích o rozměrech 100 x 100 x 400 mm vždy na 100 cyklů a následně byl udělán průměr. Byl testován pouze beton C25/30;XC4;XD3;XA2;S3, u kterého je ze stupně vlivu prostředí XA2 tento požadavek deklarován.



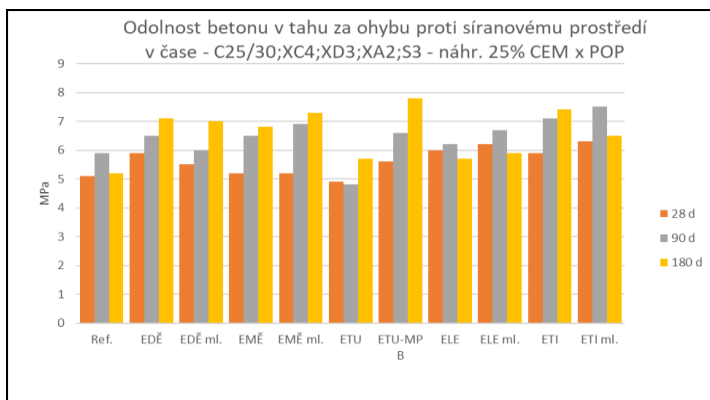
Graf 43: Odolnost betonu v tlaku proti kyselému prostředí v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



Graf 44: Odolnost betonu v tahu za ohybu proti kyselému prostředí v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mm – náhr. 25 % CEM x POP



Graf 45: Odolnost betonu v tlaku proti síranovému prostředí v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mn – náhr. 25 % CEM x POP



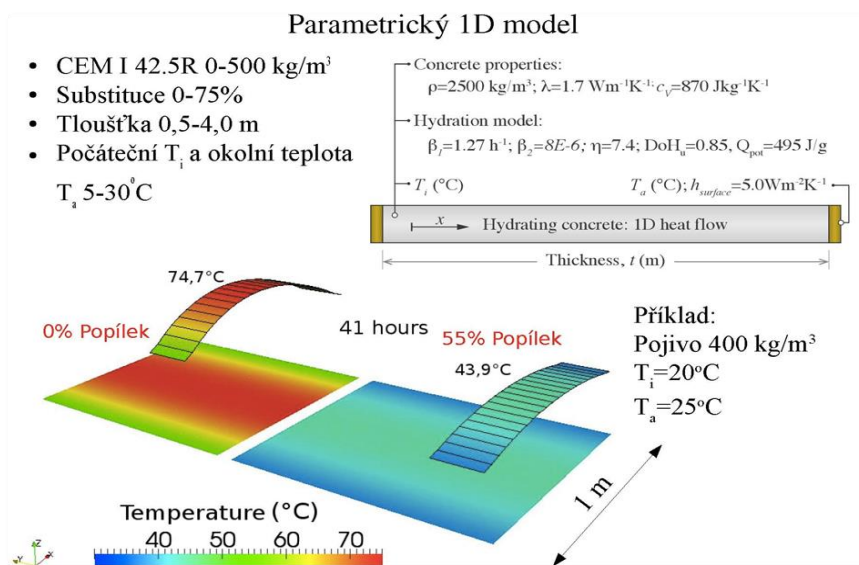
Graf 46: Pevnost betonu v tahu za ohybu proti síranovému prostředí v čase – C25/30;XC4;XD3;XA2;S3;Dmax16mn – náhr. 25 % CEM x POP

4.5 HODNOCENÍ EKONOMICKÝCH ASPEKTŮ

4.5.1 Hlavní dopad využití popílku v betonu

Při použití popílku jako příměsi v betonech jsou zjištěné dopady na stavební konstrukce dvojího druhu:

- Prodloužení životnosti staveb díky snížení exotermní reakce cementu a vody
-



Obr. 6: Parametrický 1D model vývinu hydratačních teplot

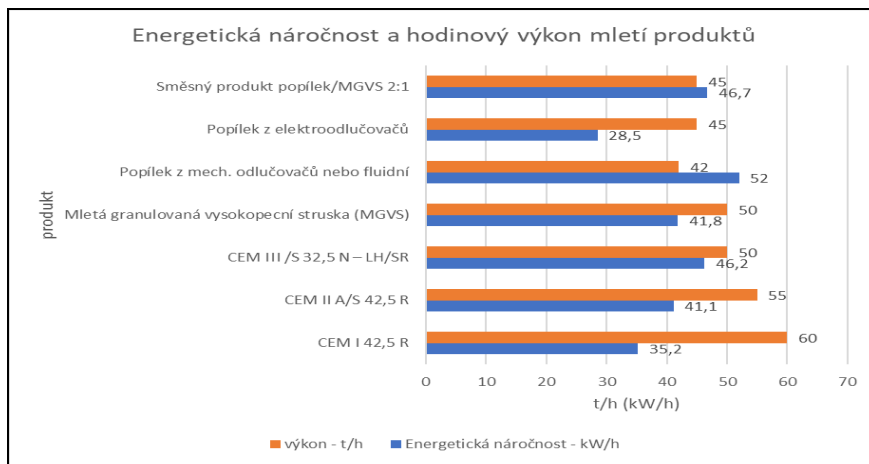
Z uvedeného modelu vyplývá, že když popílek do betonu nebude použit, je teplota tak vysoká, že se uvnitř masivnější konstrukce (0,4 – 4,0 m) vyvine vyšší teplota, kdy dochází k vytváření mikrotrhlin, které se postupem času (a počasí) propojí až s povrchovými vrstvami a beton degraduje.

c) Výrazné snížení emisí do ovzduší

Pokud by se nahradilo pouze 15 % cementu v betonech popílkem, pak to přináší nejen výrazné ekonomické úspory, ale zejména i obrovské environmentální dopady.

V České republice se za rok vyprodukuje kolem 7.000.000 m³ transportbetonu. Kdyby se nahradilo 15 % cementu popílkem, tak to jen na emisích ušetří ročně přibližně 250.000 tun emisí CO₂. Celková roční produkce betonu v České republice je cca 9.000.000 m³.

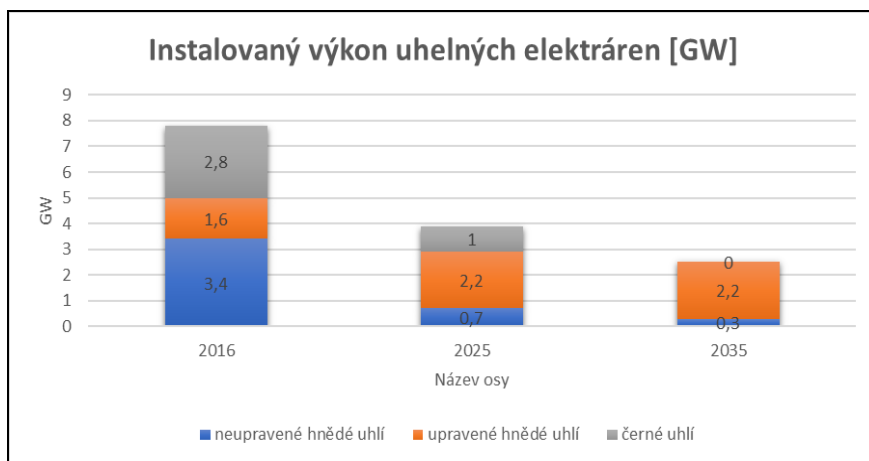
4.5.2 Energetické bilance mletí popílku



Graf 47: Energetická náročnost a hodinový výkon mletí cementářských produktů

Ze získaných dat lze vyvodit, že jednoznačně nejméně náročným a zároveň kapacitně nejvýkonějším produktem je klasický portlandský cementu CEM I 42,5 R nejvíce energeticky náročné a zároveň s nejmenší kapacitou jsou popílkové produkty, kdy ještě k samotnému popílku vstupuje faktor vysoušení a spotřeby zemního plynu.

4.5.3 Produkce CO₂ při výrobě elektrické energie

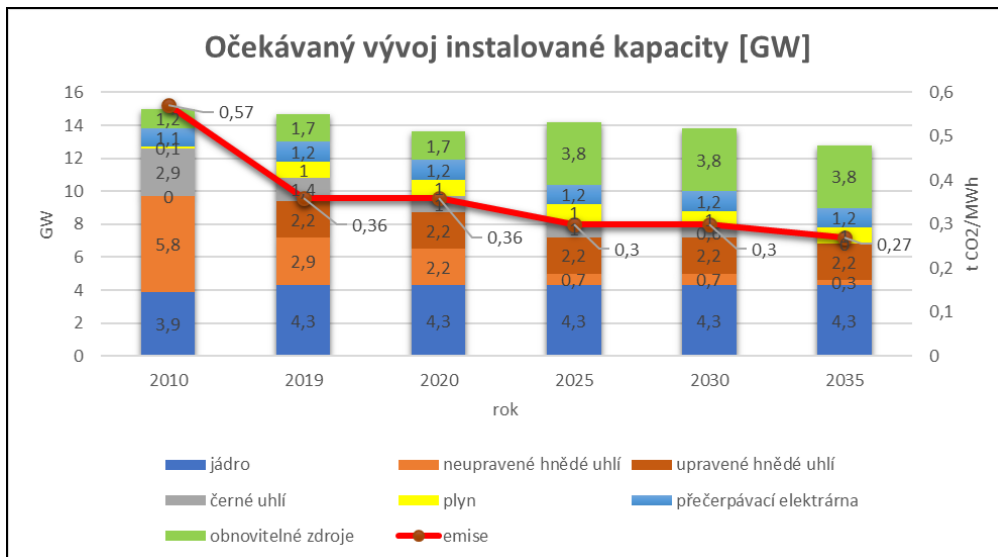


Graf 48: Instalovaný výkon uhelných elektráren v ČR [5]

Z výše uvedeného předpokladu zavírání uhelných elektráren dojde zákonitě i ke snížení celkové instalovaného výkonu.

Dle uvedeného grafu jde vidět, že dochází k poklesu emisí CO₂ na vyrobenou MWh.

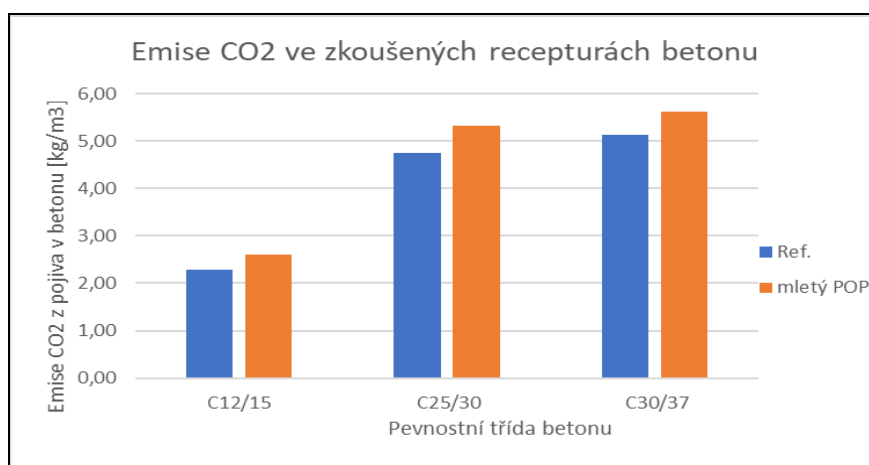
Průměrná emisní hodnota CO₂ na vyrobenou MWh všech elektráren v roce 2020 vychází cca 0,36 t.



Graf 49: Očekávaný vývoj instalované kapacity elektráren [5]

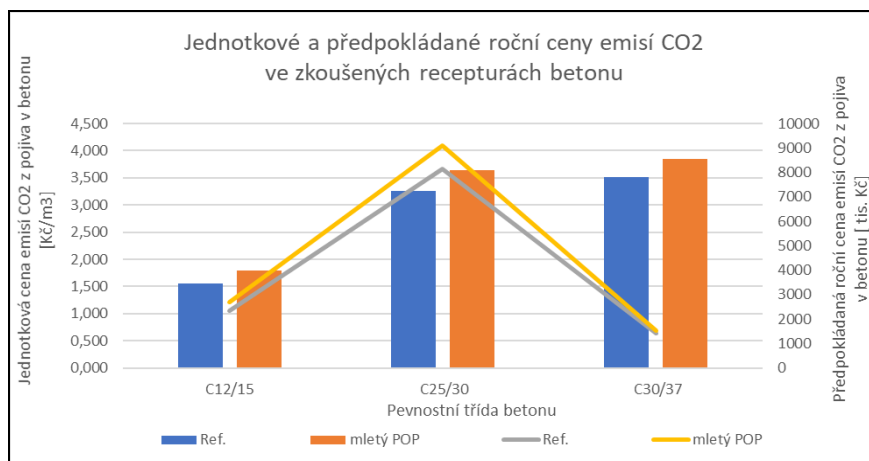
K nákladům na použití mletého popílku, který je po odběru skrápěň je nutné připočítat cenu 4 m³ zemního plynu potřebného na vysušení popílku před mletím. Cena zemního plynu je cca 8 Kč/m³. Tzn. je potřeba k ceně mletí tohoto popílku připočíst 32 Kč. Konečná cena energií je potom 102,72 Kč/t mletého popílku.

4.5.4 Náročnost zkoušených betonů na emise CO₂



Graf 50: Emise CO₂ ve zkoušených recepturách betonu

4.5.5 Ekonomie emisí CO₂ zkoušených betonů



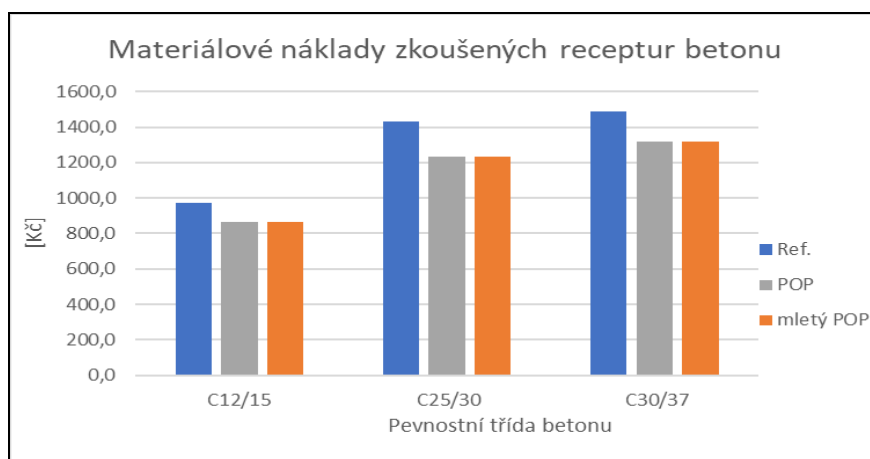
Graf 51: Jednotkové a předpokládané roční ceny emisí CO₂ ve zkoušených recepturách betonu

4.5.6 Ekonomie užití receptur s aktivovaným popílkem – MOP

Uvažovaná modelová betonárna, ke které se vztahují veškeré cenové kalkulace se teoreticky nachází v severozápadní části Moravy, aby byla logisticky výhodná dostupnost používaných surovin s roční produkcí betonu cca 35 tis. m³, kdy sortiment výroby je vztažen na reálná ekonomická data a produkce činí cca 7 tis. m³ betonu pevnostní třídy C12/15 a nižší, cca 12 tis. m³ betonu pevnostní třídy C25/30 a cca 2 tis. m³ betonu C30/37;XF4. Tzn. bylo uvažováno 21 tis. m³ vyrobeného betonu, což je 60 % produkce dané betonárny. Nehodnocených 40 % výroby zahrnuje pevnostní třídu C20/25, speciální betony, do kterých nelze požit popílek (vyspové podlahy a další speciální konstrukce), vyšší pevnostní třídy a ostatní vyráběné produkty jako stabilizace podkladních vrstev, cementové mazaniny, atd. Cena popílku je uvažována jako průměrná, tudíž jednotná, protože v reálné výrobě je v databázi více zdrojů surovin a jsou užívány ty, které jsou v danou dobu na trhu dostupné a jejich pořadí je určeno dle kvalitativních parametrů a nákupní ceny.

Všechny ceny betonu jsou vztaženy na receptury s popílkem Dětmarovice a u mletého popílku je uvažována cena 130 Kč/t vyrobeného popílku, a to jak mechanicky aktivovaného mletím vysokoteplotního, tak i fluidního.

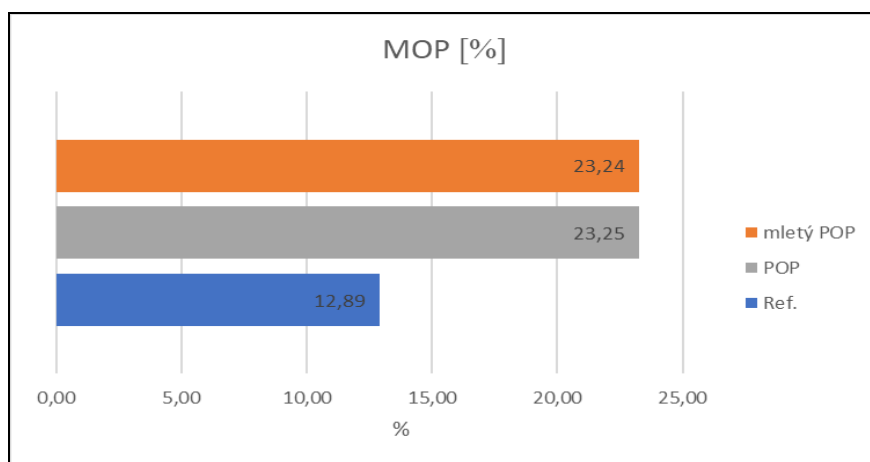
Bylo uvažováno mletí vysokoteplotních popílku z mechanických separátorů, který se kupuje za cenu jednotek korun a fluidního popílku, který je v současné době téměř bezcenný a je prodáván pouze za cenu odvozu nebo je za jeho odběr dokonce placeno. K této ceně je připočten transport v hodnotě 150 Kč/t. Tzn. celková cena upraveného mletého popílku s transportem je 280 Kč/t. S recepturami, potažmo cenami neupraveného fluidního popílku nebylo počítáno, protože se v praxi ověřilo, že bez úpravy nelze tento popílek jako příměs použít.



Graf 52: Materiálové náklady zkoušených receptur betonu

Variační OCF		Ref.	POP	mletý POP
objem vyrobeného betonu	[m3]	21000	21000	21000
průměrná prodejní cena	[Kč/m3]	1600	1600	1600
cena prodaného betonu	[Kč]	33600000	33600000	33600000
variabilní náklady jednotkové				
cement	[Kč]	672,65	501,87	501,87
frakce 0/4	[Kč]	200,06	192,65	196,34
hrubé kamenivo	[Kč]	330,57	330,57	330,57
popílek	[Kč]	0	25,81	22,24
přísady	[Kč]	80,46	67,08	67,08
materiálové náklady	[Kč]	1283,74	1117,98	1118,1
Spread				
Spread	[Kč]	316,26	482,02	481,9
variabilní náklady absolutní				
cement	[Kč]	14125650	10539270	10539270
frakce 0/4	[Kč]	4201260	4045650	4123140
hrubé kamenivo	[Kč]	6941970	6941970	6941970
popílek	[Kč]	0	542010	467040
přísady	[Kč]	1689660	1408680	1408680
materiálové náklady	[Kč]	26958540	23477580	23480100
Kontribuční marže (průběžná)				
Kontribuční marže (průběžná)	[Kč]	6641460	10122420	10119900
Kontribuční marže	[%]	19,77	30,13	30,12
Fixní náklady				
Fixní náklady	[Kč]	110	110	110
MOP				
MOP	[Kč]	4331460	7812420	7809900
MOP	[%]	12,89	23,25	23,24

Tab. 3: Výpočet ekonomických ukazatelů na modelovém závodě



Graf 53: MOP modelového závodu

Emise na 1 t cementu	t	0,72
Cena emisní povolenky	EUR	26,50
Roční objem zkoumaného betonu na modelové betonárně	m ³	21.000
Spotřeba cementu ve zkoumaném betonu	t	6.570
Substituce CEM x POP	t	1.668
Úspora CO ₂ ekologie	t/rok	1.201
Úspora CO ₂ ekonomie	EUR/rok	31.825
Úspora CO ₂ ekonomie	Kč/rok (kurz Kč/EUR – 25,85 Kč)	822.676

Tab. 4: Úspora cementu a CO₂ při využití popílků na modelovém závodě

V případě, že k výsledku ekonomické výkonnosti dle MOPu připočteme částku za úsporu CO₂, tak zisk betonárny v porovnání s referenčním betonem zásadně vzroste na hodnotu 25,69 %, což je navýšení zisku o 10,5 %. Tento faktor zásadně ovlivňuje neustále navyšující se produkci směsných cementů, kde lze tuto skutečnost reálně promítnout do ekonomiky cementárny z důvodu úspory emisních povolenek, kdy ušetřené povolenky lze s úspěchem zobchodovat na trhu.

4.5.7 SWOT analýza

SWOT analýza byla provedena na reálně společnosti dodávající beton a cementářské produkty na český a světový trh, která patří k světově i v ČR k nejsilnějším společnostem. Tato analýza by měla potvrdit nebo vyvrátit účelnost hledání méně náročných produktů na emise skleníkových plynů a zvyšování ekologičnosti výroby s ohledem na tržní prostředí.

Matice závažnost/výkonnost

	Nízká výkonnost	Vysoká výkonnost
Vysoká závažnost	Posílit – 10, 12	Udržet pozici – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Nízká závažnost	Nevýznamné – 11, 13, 14	Zvážit úsilí

Tab. 5: Stanovení matice závažnost/výkonnost

Silné stránky:

1 - Dobré jméno firmy, 2 - Technologická a technická vyspělost, 3 - Portfolio výrobků a služeb, 4 - Ekologické hledisko, 5 - Osobnosti vedoucích pracovníků, 6 - Kvalifikovaná pracovní síla, 7 - Kapitálová provázanost, 8 - Známé a jednotné koncernové logo (uniformita), 9 - Tržní podíl,

Slabé stránky:

10 - Finanční stabilita, 11 - Kapitálová provázanost, 12 - Výrobní systém, 13 - Slabší marketingová komunikace, 14 - Slabší marketingová prezentace

Matice příležitostí

	Pravděpodobnost úspěchu	
	Vysoká	Nízká
Vysoká příležitost	Výborná příležitost – 1, 2, 3, 5, 7	Obtížně realizovatelná příležitost
Nízká příležitost	Málo atraktivní příležitost – 4, 6	Nevýznamná příležitost

Tab. 6: Stanovení matice příležitostí

1 - Vývoj produktů s nulovou uhlíkovou stopou, 2 - Zhoršování kvality životního prostředí a klimatu, 3 - Vývoj v oblasti techniky a technologie, 4 - Rostoucí vzdělanost, 5 - Omezený konkurenční trh, 6 - Školící centra, 7 - Trendy na průmyslovém trhu

Matice ohrožení

	Pravděpodobnost výskytu	
	Vysoká	Nízká
Vysoká závažnost	Výrazná hrozba – 1, 2, 3, 4, 5	Hrozba těžko uskutečnitelná - 6
Nízká závažnost	Hrozba s malou důležitostí	Nezávažná hrozba

Tab. 7: Stanovení matice ohrožení

1 - Ekonomická recese a pokles výroby, 2 - Aktivity konkurenčních společností, 3 - Změny legislativy, 4 - Rostoucí síla zákazníka, 5 - Snížení podpory státu v oblasti bytové výstavby, 6 - Výstup Velké Británie z Evropské unie

5 ZÁVĚR

Předložená disertační práce se zabývala studiem využívání vedlejších energetických produktů, konkrétně vysokoteplotního i fluidního popílku ve výrobě stavebních hmot, zejména betonu, a to z hlediska působení současných výhledových environmentálních a ekonomických aspektů.

Konkrétním záměrem práce bylo ověření možnosti zvýšení efektivity využití popílku jako příměsi v technologii výroby betonu zejména cestou jejich mechanické aktivace. Hlavním cílem experimentálních prací bylo prokázání zlepšení základních vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu, jako podmínky a předpokladu pro dosažení celkové ekonomické efektivity použitím mechanicky aktivované popílkové příměsi.

Studijní část byla věnována získání aktuálních poznatků a podkladů k upřesnění cílů řešení a zpracování metodiky vlastní experimentální a hodnotící části práce. Byly získány potřebné podklady o současných a výhledových kapacitách,

Experimentální část práce analyzuje vlastnosti vybraných popílků a jejich aktivovaných verzí, kdy pro rozhodující soubory zkoušek vybraných receptur betonu byly zvoleny vysokoteplotní popílků: černouhelný z elektrárny Dětmovice (EDĚ), hnědouhelný popílek z elektrárny Mělník (EMĚ) a z elektrárny Tušimice (ETU), u kterého byla aktivace provedena optimalizací křivky zrnitosti mísení popílků z různých sekcí elektroseparatorů. Fluidní popílků byly vybrány ze dvou zdrojů, z elektrárny Ledvice (ELE) a Tušimice (ETU).

Zkoušky na cementových maltách byly podkladem pro stanovení receptur betonů, v další návazné etapě.

Zkoušky na betonech proběhly na třech vybraných pevnostních třídách betonů s rozdílným stupněm vlivu prostředí na stavbách.

Zkoušky na betonech proběhly na třech vybraných pevnostních třídách betonů s rozdílným stupněm vlivu prostředí na stavbách.

Beton C12/15;X0 – je používán zejména jako podkladní a v méně náročných stavebních celcích – substituce popílku za cement: 30 %.

Beton C25/30;XC4;XD3;XA2 – je nejvíce používaným ve stavebnictví jako konstrukční beton pro monolitické konstrukce, podlahové konstrukce, piloty a speciální typy betonu – substituce popílku za cement: 25 %.

Beton C30/37;XF4 – provzdušněný a je používán nejvíce v infrastrukturních liniových stavbách. U tohoto betonu byla zvolena nejnižší dávka nahrazení popílku za cement: 20 %, protože jsem vycházel z předpokladu negativního přínosu přídavku pucolánové složky v popílku na odolnost povrchu betonu proti působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek.

U všech pevnostních tříd zkoušených betonů se potvrdil předpokládaný přínos. Tato řada technologických a výrobních výhod, zejména s ohledem na trvanlivost betonu, odolnost proti agresivnímu prostředí, kdy portlandit je největším nositelem koroze v cementovém kompozitu a je nezbytné ho eliminovat. Snížený vývin hydratačního tepla,

který je zajištěn nižším podílem slínku v receptuře betonu, je nezbytný u realizace masivních betonových konstrukcí.

Využití fluidního popílku jako příměsi se na základě zkoušek ukázalo jako relativně vhodné, zejména po jeho mechanické aktivaci. Technologickým problémem jsou reologické vlastnosti čerstvého betonu v čase, které zřejmě úzce souvisí s vyšším obsahem volného CaO ve fluidním popílku. Proto byla použita jeho předúprava předvlhčením a tak byla zajištěna krátkodobá zpracovatelnost čerstvého betonu.

Samostatným problémem je celkový chemismus fluidního popílku s relativně vysokým obsahem volného vápna a obsahem spalitelného podílu. Tyto složky negativně ovlivňují zejména trvanlivost betonu z důvodu tvorby novotvarů v mikrostruktuře a tím vznikají defekty. Tato skutečnost je demonstrována ve zkouškách odolnosti betonu v síranovém a kyselém agresivním prostředí, kdy po 180 dnech začínají hodnoty fyzikálně – mechanické parametrů betonu klesat a je silný předpoklad, že degradace se bude stupňovat.

Využití popílků do provzdušněných betonů se ukázalo v rámci experimentů jako méně vhodné, zejména u fluidního popílku lze hodnotit jako nevhodné, protože razantně vzrostla dávka potřebné provzdušňující přísady v receptuře, a hlavně byl stanoven velký nárůst odpadů při zkoušce odolnosti povrchu betonu proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám

Výsledky zkoušek prokázaly i skutečnost, že standardně vyráběné betony nesplňují předpokládaný normativní požadavek na statický modul pružnosti v tlaku. Přídavek mechanicky aktivovaného popílku působí, díky vytěsnění mikrostruktury velice příznivě a může v praxi pomoci k ekonomicky efektivnějšímu dosažení tohoto normového parametru, protože betony splňující tento požadavek jsou výrobně výrazně nákladnější a pro stavební společnosti cenově náročné.

Z hlediska hodnocení splnění cílů práce bylo experimentálními zkouškami s uvedenými betony prokázáno, že mechanická aktivace popílku mletím i mísením frakcí výrazně zvyšuje jeho účinnost jako příměsi do betonu, protože zlepšuje prakticky veškeré zkoušené vlastnosti betonu.

V rámci hodnotící části práce byla zohledněna skutečnost, že možné nasazení technologických receptur zkoušených betonů do výroby musí být vedle příznivých výsledků zkoušek vlastností podloženo rovněž požadovanými efektivními ekonomickými a ekologickými ukazateli. Proto byla provedena analýza možné úspory emisních povolenek z výroby cementu, které lze výhodně zobchodovat na trhu s nimi. Tyto úspory byly vyčísleny environmentálně i finančně.

Následně byla provedena analýza reálného modelového závodu. Výsledek analýzy metodou MOP podporuje splnění cíle disertační práce v oblasti experimentálního výzkumu, protože reálná ekonomika výroby betonu s použitím mechanicky aktivovaného popílku jako příměsi v receptuře vychází prakticky srovnatelně s použitím klasického vysokoteplotního úletového popílku. Tento příznivý ekonomický výsledek bude ještě silně podpořen v případě realizace výsledků disertační práce po provedení poloprovozních

zkoušek a následném zavedení do výroby, protože potom dojde k postupné optimalizaci receptur s aktivovaným popílkem, totiž po získání většího souboru provozních výsledků.

Pro ověření marketingového smyslu zavádění ekologicky příznivější produktů byla provedena SWOT analýza reálné výrobní společnosti CEMEX Czech Republic, s.r.o., která odráží veškeré makro a mikro vlivy působící na společnost. Byly vyhotoveny matice závažnosti/výkonosti, matice příležitostí a matice ohrožení. Z analýzy plyne jediný smysluplný ekonomický cíl analyzované společnosti, a to je zavádění technologických inovací ve výrobě, které budou mít za následek vyšší ekologičnost výroby, hlavně ve snižování uhlíkové stopy dodávaných produktů s cílem dosažení absolutní uhlíkové neutrality. Pouze tento trend výroby vyvolává investiční pobídky investorů a tím trvalou udržitelnost výroby u analyzované společnosti na trhu.

Na základě výsledků experimentálních prací a hodnocení ekonomické efektivity výsledků výzkumu v reálných podmínkách lze konstatovat, že záměr a cíl disertační práce byly splněny. Bylo prokázáno, že mechanická aktivace zkoušených vysokoteplotních i fluidních popílků jako energetických vedlejších produktů vytváří podmínky pro jejich efektivnější využití jako příměsí do receptur výroby betonů.

Tato práce by tak mohla přispět ke stálé environmentální udržitelnosti výroby betonu a betonových prvků díky vyšší efektivitě využívání druhotných surovin, dále k nižšímu zatížení životního prostředí ukládáním těchto, v současné době omezeně využívaných, surovin a přinést i ekonomická pozitiva při zavedení do výrobního procesu.

6 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI

6.1 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR

Výsledky získané řešením experimentální části disertační práce přináší prohloubení vědeckotechnických a odborných znalostí dosažených na školícím pracovišti Ústavu technologie stavebních hmot a dílců v jeho dlouhodobé tradiční a úspěšné vědeckovýzkumné činnosti – v problematice využívání popílků jako vedlejších energetických produktů v technologiích výroby stavebních látek a materiálů.

Cíl práce a metodika řešení zaměřené na ověření vlivu mechanické aktivace popílků na zvýšení efektivity jejich účinků jako příměsí v recepturách technologie výroby betonů předpokládaly jak široký výběr zdrojů popílků, tak rozsah zkoušek vlastností betonů v čerstvém i ztvrdlém stavu. Proto byla v rámci disertační práce získána pro vědní obor značně široká databáze nových poznatků, na rozdíl od metodiky pro řešení úzkého separátního problému.

Zejména v souvislosti s volbou a použitím metody mechanické aktivace popílků je nutno zmínit, že tato metoda dosud nebyla v takovém rozsahu testovaných popílků a zkušebních betonů na školícím pracovišti prováděna.

Rovněž je možno v tomto ohledu pozitivně posuzovat zvolenou dvojstupňovou metodiku hodnocení výsledků experimentálních vědeckovýzkumných prací s následným

zhodnocením aplikační efektivity, i s přihlédnutím k environmentálním aspektům, jako komplexního posouzení přínosů práce.

Dílčích odborných vědeckovýzkumných poznatků pro vystudovaný vědní obor je obtížné jednotlivě hodnotit, jsou uvedeny v kapitolách příslušných experimentální části a v dílčím i souhrnném hodnocení výsledků práce.

Nepřímým přínosem využití metodiky práce je vytvoření potenciálních možností pro další následné výzkumy a související témata s využitím mechanických aktivací surovin a nalezení optimálních receptur s ohledem na interakci s ostatními použitými surovinami, např. kombinace s dalšími druhy příměsí nebo vliv různých druhů bázi přísad (příkladně s plastifikačními, provzdušňujícími nebo s těsnícím efektem).

Mechanická aktivace vysokoteplotních popílků, které projdou denitrifikací, může být po výzkumném řešení této práce aplikovanou metodou, protože vytváří reálný předpoklad v praxi na snížení dávkování popílku jako příměsí do receptury betonu s následným dopadem na snížené množství uvolňujícího se čpavku.

Využití fluidních popílků je určitě cílem dalšího bádání a výzkumu v této oblasti, podle mého názoru je prozatím možné používat tento popílek, nejlépe v mechanicky aktivovaném stavu, do výroby nenáročných prefabrikovaných výrobků, např. ztraceného bednění.

6.2 PŘEDPOKLÁDANÉ PŘÍNOSY PRO PRAXI

Disertační práce přináší řadu potenciálních možností ve využití dosažených výsledků v technologii výroby betonu v praxi.

Je možno využít vytvořenou databázi technickoprovozních poznatků prakticky ze všech elektráren v České republice z hlediska využitelných zdrojů popílků.

Výzkumným ověřením možností mechanické aktivace se rozšiřuje aplikační prostor efektivnějšího zhodnocení stávajících dostupných zdrojů popílků, včetně dosud omezeně používaných popílků fluidních.

Významným prvkem pro praktické využití získaných poznatků je rovněž skutečnost, že úprava popílků pro experimentální práce probíhala v mlécím zařízení mlýnice Dětmárovice, náležící do koncernu společnosti CEMEX Czech Republic, s.r.o. Významným argumentem pro hodnocení aplikovatelnosti výsledků disertační práce ve společnosti CEMEX je skutečnost, že dílčí výsledky receptur s použitím aktivovaných popílků, připravených mlýnici Dětmárovice, byly ověřeny dle technologických pokynů autora disertační práce v řadě betonáren náležících zmíněné výrobní společnosti.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MALHOTRA, V.M. Making concrete greener with fly ash. Concrete International. 1999, Sv.21, 5, stránky 61-66.
- [2] Alkaline activation, procedure for transforminf fly ash into new materials. Part I: Applications. Palomo, A. a Fernández-Jiménez, A. Denver : www.flyash.info, 2011. World of Coal Ash Conference.

- [3] FELEKOGLU, BURAK, TURKEL, SELCUK a KALYONCU, HASAN. Optimization of fineness to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash-Portland cement composites. *Construction and Building Materials*. 2009, 23, stránky 2053-2061.
- [4] HELA, R. Tepelná aktivace elektrárenského popílku. Praha 2002. Sborník příspěvků konference BETONÁŘSKÉ DNY 200. str. 243. ISBN 80-238-9644-2.
- [5] www.cez.cz [ONLINE]
- [6] ŠKÁRA, V. Materiálové charakteristiky elektrárenského popílku vyztuženého rozptýlenou výztuží. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Fakulta stavební. Katedra geotechniky.
- [7] AAKASH, D., JAIN, M., Kumar. Fly ash – waste management and overview: A Review. *Recent Research in Science and Technology* [online]. 2014, 6 (1): 30-35 [Přístup získán 24.3.2019]. ISSN: 2076-5061. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/277309330_Fly_ash__waste_management_and_overview_A_Review.
- [8] SLÍVA, L. Současné elektrárny, Inovace odborného vzdělávání na středních školách zaměřené na využívání energetických zdrojů pro 21. století a jejich dopad na životní prostředí, CZ.1.07/1.1.00/08.0010
- [9] www.energyweb.cz [ONLINE]
- [10] SNOB, R., ŠULC, R., ŠKVÁRA, F. Roční zpráva o řešení projektu v programu Trio v roce 2018. Příloha 2 – Podrobná zpráva k dosaženým výsledkům v rámci projektu. Hostivice, 2018.
- [11] JANČAŘÍKOVÁ, D. Stanovení možností zvyšování vazného potenciálu el. popílků pro výrobu cementových kompozitů. Brno, 2017. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Disertační práce.
- [12] www.prumyslovaekologie.cz [ONLINE]
- [13] HALSTEAD, W. J. Use of Fly Ash in Concrete. Washington D.C. : Transportation Research Board - National Research Council, 1986.
- [14] http://ecosmartconcrete.com/?page_id=250. Concrete - A Concrete Contribution to the Environment. [Online] EcoSmartTM.
- [15] ŠMILAUER, V., HAVLASEK, P., KOLÁŘ, K. Stanovení receptur betonů pro polder Krounka – Kutřín. Předběžná simulace etap výstavby, nárůstu teplot a vzniku trhlin, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2018).
- [16] MORAVEC, M., Počátek transportbetonu v České republice. *BETON*, ročník 1, listopad 4/1998.
- [17] DOHNÁLEK, J., Vývoj pevnosti betonu v závislosti na čase – studijní texty společnosti stavební ČSVTS, 1983.
- [18] MORAVEC, T. Z historie používání elektrárenského popílku jako příměsi do betonu v České republice, 2017.
- [19] MUELLER a WALLEVIK. Effect of Limestone Filler Addition in Eco-SCC. In: *Production and Placement of Self-Consolidating Concrete: SCC2010 MONTREAL*. Montreal: Université De Sherbrooke, 2010, s. 107-116.
- [20] OSUSKÁ, L. Samozhutnitelné betony s využitím druhotných surovin. Brno, 2013. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Bakalářská práce.
- [21] WANG, Dehui, Caijun SHI, Nima FARZADNIA, Zhenguo SHI a Huangfei JIA. A review on effects of limestone powder on the properties of concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2018, (Volume 192), Pages 153-166.

- [22] SCHOON, J. & kol. Waste fibrecement: An interesting alternative raw material for sustainable Portland clinker production, *Construction and Building Materials*, 2012, (Volume 36), Pages 391-403.
- [23] PROKOPEC, Zdeněk. Mechanické aktivace příměsí do betonů a ověření dopadů na fyzikálněmechanické vlastnosti čerstvých a zatvrdlých betonů. Brno, 2012. 76 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Rudolf Hela, CSc..
- [24] G.APPA RAO, Long-term drying shrinkage of mortar — influence of silica fume and size of fine aggregate, *Cement and Concrete Research*, Volume 31, Issue 2, February 2001, Pages 171-175, ISSN 0008-8846.
- [25] Y.W. CHAN, C.Y. LIU, Y.S. LU. Effects of slag and fly ash on the autogenous shrinkage of high performance concrete. E. Tazawa (Ed.), *Autogenous Shrinkage of Concrete*, Taylor & Francis (1999), pp. 221–228.
- [26] TANGTERMSIRIKUL, S. Effect of chemical composition and particle size of fly ash on autogenous shrinkage of paste. E. Tazawa (Ed.), *Autogenous Shrinkage of Concrete*, Taylor & Francis (1999), pp. 175–186.
- [27] Využití vedlejších energetických produktů. In: CEZ, *cez.cz* [online]. Česká Republika, [cit. 2015-12-6]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/vyuziti-vedlejsich-produktu-uhelnychelektren.html>
- [28] ĀAŽKÝ, M., HELA, R., ĀAŽKÝ, T. Vývoj konstrukčních betonů s elektrárenskými popílkami. *BETONTKS*. Praha 2015, roč. 15, č. 2, s. 38-41. ISSN 1213-3116.
- [29] ŠULC, R., FORMÁČEK, P., ŠKVÁRA, F., PETEROVÁ, A., SNOPI, R., SVOBODA, P. Physical and mechanical characteristics of fly ash from coal burning. *Konference Popílký ve stavebnictví*. ASVEP, Brno, 2015. VUT v Brně, Fakulta stavební, ISBN 978-80-214-5192-6.
- [30] Příručka Popílek v betonu: Základy výroby a použití. 2. přepracované vydání. Brno, Praha: ČEZ Energetické produkty, s.r.o., 2013, s. 16. ISBN 978-80-260-4226-6.
- [31] MACHAČ, P.; VÁVROVÁ, J.: Co víme o nekatalytické redukci oxidů dusíku. In *Aprochem 2013*. Koutý nad Desnou, VŠCHT Praha. 2013.
- [32] SNOPI, R.: Vliv technologie SNRC z pohledu zpracovatele a distributora popílků. In *Popílký ve stavebnictví 2015*. Brno, FAST VUT v Brně. 2015. p. 189-195.
- [33] SOKOLÁŘ, Radomír a Martin NGUYEN. Vlastnosti fluidních elektrárenských popílků s ohledem na jejich použitelnost ve výrobě pálených staviv [online]. 31. prosince 2018 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/18458-vlastnosti-fluidnich-elektrenskych-popilku-s-ohledem-na-jejich-pouzitelnost-ve-vyrobe-palenyh-staviv.
- [34] ŠKVÁRA, F., SNOPI, R., ŠULC, R., ZLÁMALOVÁ CÍLOVÁ, Z., PETEROVÁ, A., KOPECKÝ, L. Fluidní sulfátovápenatý popílek. *Konference Popílký ve stavebnictví*. ASVEP, Brno, 2015. VUT v Brně, Fakulta stavební, ISBN 978-80-214-5192-6.
- [35] A.M. CODY, H. LEE, R.D. CODY, P.G. SPRY, The effects of chemical environment on the nucleation, growth, and stability of ettringite $[Ca_3Al(OH)_6]_2(SO_4)_3 \cdot 26H_2O$, *Cement and Concrete Research*, Volume 34, Issue 5, May 2004, Pages 869-881, ISSN 0008-8846.
- [36] HELA, R., ĀAŽKÝ, M., VACHUŠKA, V. a ĀAŽKÝ, T. Lehké betony s lehkým kamenivem na bázi fluidních popílků, 22. Betonářské dny 2015, Litomyšl, Sborník, ISBN 978-80-906097-0-9.
- [37] ARJUNAN, P., SILSBEE, M.R. a Roy Chemical activation of low calcium fly ash Part 1: Identification of suitable activators and their dosage. D.M. Kentucky, USA: autor neznámý, 2001. *Proceedings of the 2001 International Ash Utilization Symposium*.
- [38] BOUZOUBAA, N. The Effect of Grinding on the Physical Properties of Fly Ash. *Cement and Concrete research*. 1997, Sv. 27, 12, stránky 1861-1874.
- [39] PERIS MORA, A., PAYÁ, J. a MONZÓ, J. Influence of different sized fractions of a fly ash on workability of mortars. *Cement and Concrete Research* Vol. 23. 1993, stránky 917-924.

- [40] GRZESZCZYK, S. a LIPOWSKI, G. Effect of content and particle size distribution of high-calcium fly ash on the rheological properties of cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 1997, 3, stránky 907-916.
- [41] SU, N., HSU, K.C. a CHAI, H.V. A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*. 2001, 31, stránky 1799-1807.
- [42] SU, N. a MIAO, B. A new method for design of medium strength concrete with low cement content. *Cement and Concrete Research*. 2003, 25, stránky 215-222.
- [43] ANDREASEN, A.H.M. a ANDERSEN, J. Ueber die Beziehung zwischen Kornabstufung und Zwischenraum in Produkten aus losen Körnern (mit einigen Experimenten). *Kolloid Zeitschrift*. 1930, 50, stránky 217-228.
- [44] BROUWERS, H.J.H a RADIX, H.J. Self-compacting concrete: the role of the particle size distribution. Changsha, Hunan, China : autor neznámý, 2005. First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC'2005.
- [45] GLINICKI, M. A. a ZIELINSKI, M. The influence of CFBC fly ash addition on phase composition of air-entrained concrete. *Bulletin of the Polish Academy of Science*. 1, 2008, 56.
- [46] STEVENS, W., ROBL, T. a Mahboub, K. The Cementitious and Pozzolanic Properties of Fluidized Bed Combustion Fly Ash. Lexington, KY, USA : autor neznámý, 2009. Proceedings: World of Coal Ash Conference.
- [47] BRANDŠTETR, J. a HAVLICA, J. Phase Composition of Solid Residues of Fluidized Bed Coal Combustion, Quality Tests and Application Possibilities. *Chemical Papers*. 4, 1996, 50, stránky 188-194.
- [48] CONN, R. E. a SELAKUMAR, K. Utilization of CFB Fly Ash for Construction Applications. Savannah, GA, USA : autor neznámý, 1999. Proceedings of the 15th International Conference on Fluidized Bed Combustion. FBC99-0144.
- [49] ROBL, T., a další Fluidized Bed Combustion Fly Ash Utilization: CFBC Fly Ash as a Pozzolanic Additive to Portland Cement Concrete. 2010. Second International Conference on Sustainable Construction Materials AND Technologies - Proceedings. ISBN 978-1-4507-1488-4.
- [50] ANTIOHOS, S. a TSIMAS, S. Activation of fly ash cementitious systems in the presence of quicklime. Part I Compressive strength and pozzolanic reaction rate. *Cement and Concrete Research*. 2004, 34, stránky 769-779.
- [51] ANTIOHOS, S., PAPAGEORGIOU, A. a TSIMAS, S. Activation of fly ash cementitious systems in the presence of quicklime. Part II: Nature of hydration products, porosity and microstructure development. *Cement and Concrete Research*. 2006, 36, stránky 2123-2131.
- [52] www.mzp.cz [ONLINE]
- [53] <https://oenergetice.cz/emise-co2/heidelbergcement-zcela-emisne-neutralni-vyroba-cementu-roku-2050>
- [54] https://www.irozhlas.cz/ekonomika/emisni-povolenky-cena-naklady-analytici-zelezarny-sklenikove-plyny_1908211003_lac
- [55] HELA, R., et. al. Metody pro testování vlastností cementových malt a jejich využití při návrhu sležení SCC betonu. *Technologie – Konstrukce – Sanace*, 2003, s.30 – 33.
- [56] YEN, T., et. al. Flow behaviour of high strength high-performance concrete. *Cement and concrete composites*, 1999, 21, s. 413 – 424.
- [57] <https://www.ebeton.org/pojmy/pevnost-betonu-v-tahu-za-ohybu-zkouska>
- [58] <https://www.ebeton.org/pojmy/modul-pruznosti>
- [59] KUBÍČKOVÁ, V. Návrh marketingové strategie vybrané firmy v oblasti výroby transportbetonu. Karviná, 2014. Slezská univerzita v Opavě – Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné, katedra marketingu. Diplomá práce.
- [60] SOBODNÍKOVÁ, J. Analýza vybraného podniku. Brno, 2009. VUT v Brně – Fakulta podnikatelská – Ústav ekonomiky. Diplomová práce.
- [61] <http://www.finance-management.cz/>

8 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Tomáš Ťažký
Datum narození: 9. června 1982, Šternberk
Stav: ženatý
Bydliště: Jívová 263, 783 16 Jívová

Dosažené vzdělání:

leden 2020 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, doktorský studijní program, Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, úspěšně absolvovaná státní rigorózní zkouška
2012 – dosud: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, doktorský studijní program, Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, Disertační práce: Ekonomické aspekty environmentálního užití stavebních materiálů na bázi sekundárních surovin (Ecomomical aspects of environmental use of building materials based on recycled components)
2001 – 2006: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Obor: Stavebně materiálové inženýrství, získán titul inženýr, Diplomová práce: Využití druhotných surovin jako náhrada plniv v betonu
1997 – 2001: Gymnázium Šternberk

Pracovní zkušenosti:

08/2007 – dosud: CEMEX Czech Republic, a.s., technolog, produktový specialista
02/2014 – 06/2014: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, THP pracovník (částečný úvazek)
07/2006 – 08/2007: SKANSKA DS a.s., závod 86 – Uherské Hradiště, technik kontroly jakosti

Ostatní:

Externí působení na VUT v Brně – oponentury DP a BP, přednášky, odborné komise,
Publikace článků a statí v českých i mezinárodních odborných časopisech, publikacích a na konferencích pod hlavičkou VUT v Brně se zaměřením na technologii betonu,
Školitel v rámci projektů zaměřených na stavební tematiku, atd.

Publikační činnost:

NOVOSAD, P., ĚAŽKÝ, T. Příklady nových trendů využití betonu v architektuře. 19. *Betonářské dny*. 2012, Hradec Králové, ISBN 978-80-87158-32-6,

ĚAŽKÝ, T., NOVOSAD, P. Pohledový architektonický beton. *Juniorstav 2013*, 15. *Odborná konference doktorského studia*. 2013, Brno, ISBN 978-80-214-4669-4,

ĚAŽKÝ, T., NOVOSAD, P., KOSÍKOVÁ, J. New trends in using SCC concrete - from rail bed to architectural concrete. *Young scientist 2013*, 2013, Herľany, 978-80-553-1305-4,

ĚAŽKÝ, T., HELA, R., ĚAŽKÝ, M. Využití vhodné kombinace příměsí a přísad do betonu na významných stavbách. *Beton TKS 2 – 2015*, 2015, Praha, ISSN 1213-3116,

ĚAŽKÝ, M., HELA, R., ĚAŽKÝ, T. Vývoj konstrukčních betonů s elektrárenskými popílkami. *Beton TKS 2 – 2015*, 2015, Praha, ISSN 1213-3116,

HELA, R., ĚAŽKÝ, M., ĚAŽKÝ, T., VACHUŠKA, V. Concrete with Fluidized Bed Combustion Fly Ash Based Light Weight Aggregate. *Solid State Phenomena*, 2016, Switzerland, 1662-9779,

OSUSKÁ, L., HELA, R., ĚAŽKÝ, M., ĚAŽKÝ, T. Nízkopevnostní samozhutnitelné betony. *XXIII. Medzinárodná konferencia COMSTRUMAT 2017*, 2017, Bratislava,

NOVOSAD, P., HELA, R., ĚAŽKÝ, T. Posouzení vhodnosti různých receptur betonů pro betonáže průmyslových podlah. *BETÓN 2017*, 2017, Bratislava, ISBN 9788089682133,

OSUSKÁ, L., NOVOSAD, P., ĚAŽKÝ, T. Photocatalytic active surface of lightweight self-compacting concretes architectural concretes. *ICCCC 2017 Bangkok*, 2017, Bangkok, ISSN 2522-3631,

SOUKOP M., ĚAŽKÝ, T. Rekonstrukce vodního díla Šance. *Beton TKS 2 – 2019*, 2019, Praha, ISSN 1213-3116.

Práce na projektech:

MPO TIP. Možnosti průmyslového využívání fluidních popílků z nízkoteplotního spalování pro výrobu stavebních hmot. kód FR-TI4/582, řešitel: CEMEX Czech Republic, s.r.o.

ABSTRACT

The disses thesis is focused on usage of secondary raw materials from the electric power industry, specifically fly ash as a component for the building industry, concentrated on concrete. Two main streams are covered, environmental and economical.

Reasons, which led to focus on the selected subject are coming mainly from the scarcity and availability of high-quality mineral resources, environmental pressure for usage of industry byproduct, reducing emissions and economical pressure to reduce production cost, especially raw materials.

The main purpose of the work was to verify the possibility of increasing the usability of fly ash as a mineral additive in the technology of concrete production with materials retrieved from coal fired power plants and applying mechanical activation of fly ash.

The main goal of the experimental part of work was to demonstrate improvement of fresh and hardened concrete properties as a main condition to support economic efficiency of mechanical activated fly ash. Base on previous facts the methodology was covering two main areas, the experimental and the assessment. Relatively large sets of tests were performed, using a wide range of tested high temperature fly ash and fluidized bed combustion fly ash granulometrically treated, by mixing and grinding.

Results of the testing confirmed focused parameters for concrete and mortar mechanical properties, total economical efficiency of the targeted solution and the subject of the dissertation. In the experiment section has been retrieved valuable findings contributing to the overall knowledge of the faculty, also for the practical application.

The results of the tests confirmed the achievement of the planned target parameters, both in terms of physical and mechanical properties of experienced mortars and concretes, as well as the overall economic efficiency of the proposed design and the topic of the disses thesis. Within the experimental work, valuable professional knowledge and benefits were obtained for the studied scientific field, as well as for practice.

