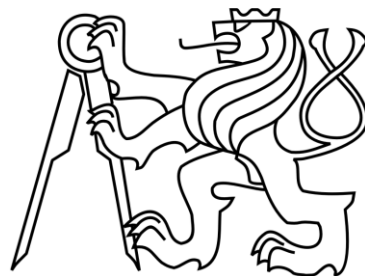


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Fyzikální vlastnosti fluidních popílků pro
využití ve stavebnictví**

Dominik Stodola

2017

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za trpělivost, ochotu a rady při konzultacích a vypracování samotném. Dále pak Ing. Petru Formáčkovi za vysvětlení a demonstraci téměř všech prováděných zkoušek. Nakonec bych rád poděkoval zaměstnancům Ústavu skla a keramiky VŠCHT v Praze za ochotu, rady a asistenci při laboratorních činnostech stejně jako poskytnuté laboratorní prostory, zejména Ing. Adéle Peterové a Ing. Martině Šídlové, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Stodola Jméno: Dominik Osobní číslo: 424436

Zadávací katedra: Katedra technologie staveb (k122)

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Fyzikální vlastnosti fluidních popílků pro využití ve stavebnictví

Název bakalářské práce anglicky: Physical properties of ashes from circulating fluidized bed combustion for use in construction

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše k problematice využití fluidních popílků v ČR a ve světě.
- 2) Popis vlastností popílků z různých zdrojů vzhledem ke klasifikaci ČSN 72 2071 - produkce v ČR i ve světě.
- 3) Určení základních mechanických, fyzikálních a chemických vlastností fluidních popílků (hustota, sypná hmotnost, chemické složení, granulometrie atd.)
- 4) Vyhodnocení vlastností popílků z fluidního spalování vzhledem k požadavkům ČSN 72 2071 a ČSN EN 450-1.
- 5) Srovnání zjištěných parametrů s vlastnostmi popílků z fluidního spalování a vysokoteplotními popílky produkovanými v ČR a ve světě.
- 6) Možnosti využití těchto popílků ve stavebnictví.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BENSCHIEDT, N., R. HELA a Asociace pro využití energetických produktů. Příručka Popílek V Betonu: Příručka: Základy Výroby a Použití. 2.přeprac. vyd. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013.
- 2) FEČKO, Peter. Fly Ash. Ostrava: VŠB, 2005
- 3) ČSN 72 2071. Popílek pro stavební účely - Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

23. 2. 2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Fyzikální vlastnosti fluidních popílků pro využití ve stavebnictví

V této bakalářské práci jsou shrnuty poznatky pro využití popílků z fluidního spalování pro praktické použití ve stavebnictví. Tato práce se také věnuje vzniku vedlejších energetických produktů a jejich problematickému použití a zejména popisuje popílky z různých druhů spalování včetně jejich chování a vlastnostem. Jsou uvedeny patřičné normy a jejich popis, které se použitím popílků zabývají. Závěrem jsou prezentovány a vyhodnoceny výsledky z provedených zkoušek pro zjištění chemicko-fyzikálních vlastností různých druhů a typů popílků, na které jsou kladeny normové požadavky pro jejich použití.

Klíčová slova: fluidní popílek, druhy spalování, vedlejší energetické produkty, normy pro popílek, analýza popílku

Physical properties of ashes from circulating fluidized bed combustion for use in construction

This bachelor thesis summarizes the findings for the use of fly ash from fluidized bed combustion for practical applications in the building industry. This thesis also deals with the production of secondary energy products and their problematic use, especially describes fly ash from different types of combustion, including their behavior and properties. The Czech ash standards are described. Finally, the results of the tests for the chemical-physical properties of different types and types of fly ash are presented and evaluated, as well as the standard requirements for their use.

Keywords: fluidized bed combustion ash, combustion technology, secondary energy products, Czech ash standards, analysis of fly ash

Obsah

ÚVOD	8
Cíle práce	8
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1.1 Uhlí a jeho spalování.....	9
1.1.1 Uhlí.....	9
1.1.2 Roštové kotle.....	10
1.1.3 Práškové kotle	11
1.1.4 Fluidní kotle	12
1.2 Vedlejší energetické produkty	13
1.3 Popílky.....	14
1.3.1 Vysokoteplotní popílky	14
1.3.2 Fluidní popílky	15
1.4 Normy pro využití fluidních popílků.....	15
1.4.1 ČSN 72 2072-1: Popílek jako aktivní složka maltovin.....	17
1.4.2 ČSN 72 2072-2: Popílek jako příměs při výrobě malt.....	18
1.4.3 ČSN 72 2072-3: Popílek pro výrobu popílkových směsí.....	19
1.4.4 ČSN 72 2072-4: Popílek pro výrobu cihlářských pálených výrobků	19
1.4.5 ČSN 72 2072-5: Popílek pro výrobu pórobetonu	19
1.4.6 ČSN 72 2072-6: Popílek pro výrobu umělého kameniva spékáním	19
1.4.7 ČSN 72 2072-8: Popílek pro výrobu umělého kameniva za studena a urychleně vytvrzovaného	20
1.4.8 ČSN 72 2072-9: Popílek pro výrobu minerálních vláken	21
1.4.9 ČSN 72 2072-10: Popílek pro asfaltové výrobky	21
1.4.10 ČSN 72 2072-11: Popílek pro ostatní využití (<i>KONEC VEŘEJNÉ ČÁSTI</i>).....	22

Úvod

Spotřeba energie se každým dnem zvyšuje. Současná globální spotřeba je v porovnání se spotřebou před sto lety přibližně 24krát větší. Velký vliv má postupující globalizace a ekonomický růst a v neposlední řadě i masivní rozvoj technologií. Vysokého stupně spotřeby dosahují vyspělé země v kontrastu se zbytkem světa. Náročnost našeho životního stylu zanechává nerasmazatelnou ekologickou stopu.

Elektrická energie je vytvářena v elektrárnách spalovacích tepelných, z jádra v případě atomových reaktorů a lze využít i obnovitelné zdroje. Pro vytvoření stále většího množství energie přibývá elektráren a je třeba řešit jejich efektivitu, nejen kvůli dopadu na životní prostředí – emise škodlivých plynů a produkce odpadů, které při výrobě vznikají. V této práci je nastíněno využití fluidních popílků, které vznikají z poměrně nové technologie, z fluidního spalování. Vznik fluidních popílků je nezabránitelný proces při výrobě elektřiny, kterou potřebujeme. Protože jich vzniká obrovské množství a jsme schopni jimi úplně či částečně nahradit suroviny, které se dnes a denně vyrábějí v procesu, který spotřebuje další energii, vytvoří škodlivé emise a vyprodukuje další odpad, proto je jejich využití více než žádané. Svým chováním a složením se však značně odlišují od popílků vysokoteplotních, proto je nutné provést důkladné testování. Právě popisem vlastností a složení s výsledky z provedených zkoušek obsažené v této bakalářské práci lze dané problematice pomoci.

Cíle práce

- Rešerše k problematice využití fluidních popílků
- Určení jejich základních mechanických, fyzikálních a chemických vlastností
- Popis norem, které se použitím fluidních popílků zabývají

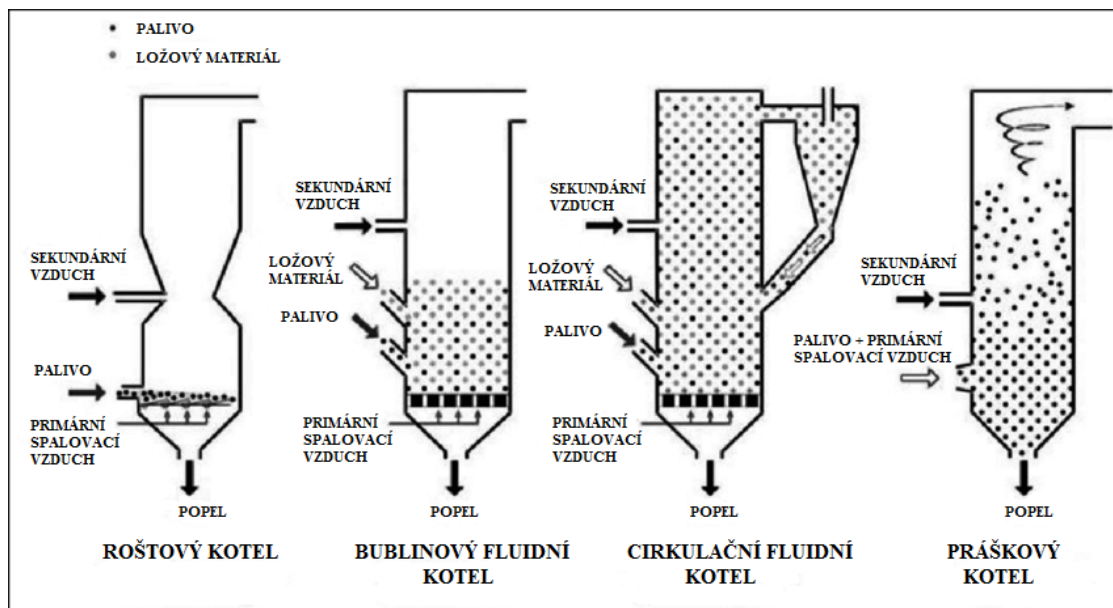
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Uhlí a jeho spalování

1.1.1 Uhlí

Uhlí je nejhojnější fosilní palivo na světě. Jedná se o přeměněné pozůstatky prehistorické vegetace, která byla vystavena velkému tlaku a vysokým teplotám za nemožnosti jejího rozkladu. Kvalita a druh uhlí je závislá na mnoha faktorech jako typ vegetace, ze kterých vzniklo, v jaké hloubce, za jakých teplot, tlaků a po jakou dobu vznikalo. Díky tomu se na světě vyskytuje více než 1200 druhů uhlí. Rozlišují se typy jako lignit, hnědé uhlí, černé uhlí, antracit aj. Uhlí se získává těžbou z povrchových a podpovrchových dolů. Nejčastější a také nejstarší možnost jeho využití je spalování uhlí. [1, 2, 3]

Spalováním uhlí získáváme energii, kterou dále využíváme např. v metalurgickém průmyslu, pro výrobu elektrické energie, v teplárnách aj. Spalovací proces je v podstatě exotermní reakcí uhlíku z uhlí s kyslíkem ze vzduchu. Produktem spalování je krom tepla také oxid uhličitý, vodní pára a odpadní látky jako oxidy síry SO_x , dusíku NO_x a popílek, které vzniknou z nečistot uhlí. Efektivita spalování uhlí je závislá na kvalitě a druhu uhlí, jeho procesu úpravy a samotné technologii spalování uhlí. Jedná se například o udržování optimální zrnitosti a složení nebo snižování obsahu minerálních látek, zejména disulfidů železa. Samotné spalování uhlí je několikastupňový proces. Začíná ohřevem částic, následuje uvolňování a spalování prchavé hořlaviny (sorpčně vázané plynné uhlovodíky) a vznikají částice polokoku, který je spalován nakonec. Technologie spalování uhlí se stále vyvíjí a zdokonaluje, aby byl proces spalování, co nejefektivnější (*Obrázek 1*). Neřeší se jen účinnost spalování, ale také množství vzniklých škodlivin a odpadních produktů. Od původních roštových typů, kde uhlí nehybně leží na roštu, se přechází na účinnější typy ohnišť se stacionární (bublinovou) nebo cirkulující fluidní vrstvou a práškovým ohništěm. [1]



Obrázek 1 Různé technologie spalování [4]

1.1.2 Roštové kotle

Spalování uhlí v roštovém kotli bylo nejčastěji používanou metodou spalování tuhých paliv v malých a středních topeništích (15 kW – 30 MW) od dob industrializace. Nové technologie spalování (zejména spalování fluidní) prakticky nahradily použití roštových kotlů ve velikostech nad 5 MW.

Roštový kotel je určen ke spalování kusových paliv filtračním způsobem, kde palivo leží na roštu ve vrstvě. Tloušťka vrstvy je závislá na tepelném výkonu topeniště a prodyšnosti vrstvy pro spalovací vzduch. Maximální teploty v ohništi se pohybují okolo 1350-1450 °C. Spalování paliva zahrnuje tyto fáze: sušení, odplynování, zapálení, hoření a nakonec dohořívání. Kotel je tvořen roštem umístěným vodorovně nebo šikmo. Rošt může být opatřen dopravníkem, který posouvá palivo vpřed. Rošt může být také pevný nebo pohyblivý. Uhlí se doplňuje v kotli z násypky a postupuje vpřed (vodorovní rošt) nebo dolů (šikmý rošt). Primární spalovací vzduch proudící spod lože se dostává do kontaktu s uhlím a postupně ho zapálí. Nad lože je dodáván sekundární spalovací vzduch, který spaluje hořlavé plyny uvolněné z lože. Uhlí je v kotli vystaveno samovolnému hoření do vzniku popela, který je odebírán. Rošty ve velkokapacitních zařízeních bývají pásové, přesuvné, válcové aj. V dnešní době roštové kotle pro spalování uhlí již nevznikají vzhledem k nízké efektivitě a vysokým emisím. [4, 5, 6]

1.1.3 Práškové kotle

Práškové kotle účinně spalují palivo, ale mají náročnou kontrolu nad škodlivinami jako SO_x a NO_x . Spalováno je rozemleté uhlí na prášek, téměř každý druh uhlí může být takto upraven a spálen jako plyn v práškovém kotli. Díky rozemletí kusového uhlí na prášek dochází ke zvětšení měrného povrchu paliva mnohonásobně, a tím dochází i k intenzivnějšímu spalování. Při spalovacím procesu zůstávají neorganické látky z uhlí jako popel a struska způsobující nutnost instalace částicových filtrů spalin a také opotřebovávají jednotlivé části kotle. Pro potřebu snadného odstranění popela z kotle, dno kotle je ve tvaru „V“.

Ohniště u práškových kotlů lze rozdělit dle použitého uhlí, teplot a vznikajícího odpadu na výtavné a granulační. Výtavné ohniště pracuje s kvalitním černým uhlím, kde se popel roztaví na tekutou sklovitou hmotu, která opouští dno kotle. V případě granulačního ohniště se používá hnědé uhlí, kde se částice popela roztaví pouze na jejich povrchu, spojí se a vytvoří pevnou porézní strusku, která taktéž opouští pec v menších či větších pevných částech. Granulační proces zachycuje cca 20 % celkového popela, než proces výtavný, který je schopen zachytit až 70 %. Zbylá část popela je zachycena v odlučovačích. Práškové uhlí je dávkováno spolu s částí spalovacího vzduchu do kotle prostřednictvím série hořákových trysek. Může být přidáván i sekundární a terciální vzduch. Spalování probíhá při teplotách 1300-1700 °C v závislosti převážně na kvalitě uhlí. Částice uhlí jsou v kotli spálena za několik sekund a musí být dostatečně malá, aby došlo k úplnému spalování. Zavádění paliva se vzduchem, při požadovaných rychlostech, vířivostech a koncentracích, se děje prostřednictvím hořáků. Hořáky pro práškové kotle dělíme na tryskové a vířivé. Tryskový, který pomalu míchá palivo se vzduchem, je vhodný pro lignit. Vířivý je vhodný pro černé uhlí, kdy se palivo se vzduchem míchá intenzivně a turbulentně. Hořáky jsou konstruovány tak, aby uvolňovaly maximální množství tepla z paliva a omezovaly množství znečišťujících látek, jako jsou CO a NO_x . Uhlí musí být rozemleté na jemný prášek tak, že méně než 2 % je +300 mikrometrů (μm) a 70-75 % je pod 75 mikrometrů, to platí u bitumenového uhlí. Zároveň platí, že moc jemně rozemleté uhlí je neefektivní a vede ke zbytečné zátěži mlýnu. Oproti tomu, příliš hrubé uhlí vede k neúplnému výpalu ve spalovací komoře a výsledkem je více nespálených zbytků. Mletí se obvykle spojuje se sušením uhlí, aby se zlepšilo vznícení

a spalování. Pro sušení se používá přehřátý vzduch nebo horké spaliny získané z vrchní části kotle. Platí, že černá uhlí se melou jemněji než reaktivnější hnědá uhlí.

Práškové kotle se používají pro nejvyšší výkony spalování a pro spalování různých druhů uhlí. Mezi nevýhody řadíme nutnost sušení a mletí uhlí, vysoké znečištění spalin popílkem a jeho zachytávání, snížená účinnost kvůli vlastní spotřebě zařízení a také skladování vznikajících odpadních látek. [4, 5, 6]

1.1.4 Fluidní kotle

Spalování probíhá ve fluidním kotli za nižších teplot (~ 850 °C) než spalování v roštových a práškových kotlích, kde teplota přesahuje více než 1000 °C. Fluidní spalování využívá transport spalovaných částic uhlí proudem vzduchu, díky čemuž dochází k lepšímu přenosu tepla a okysličení. Během procesu je popel kontinuálně odváděn. Přídavek mletého vápence umožňuje snižovat emise oxidu siřičitého a vzhledem k menší a rovnoměrné teplotě hoření navíc i emise oxidů dusíku. [1]

Princip fluidního spalování je založen na inertní vrstvě, která je tvořena z popela z vlastního paliva nebo jiného vhodného materiálu např. křemenného písku, keramzitu aj. Přehřátá inertní vrstva na pracovní teplotu spalování je spalovacím vzduchem ze spodu kotle uvedena do tekutého (fluidního) stavu. Vzniklá fluidní vrstva takto získá vlastnosti kapaliny, stejně tak transport hmoty i přenos tepla probíhají v kapalině (respektive mezi kapalinou a výhřevnou plochou) a nikoli v plynu (spaliny) a mezi plynem a výhřevnou plochou jako u předchozích typů spalování. Díky tomu je mnohonásobně větší součinitel prostupu tepla z fluidní vrstvy do výhřevné plochy než u klasického spalování. Po zavedení vhodně nadrceného paliva a odsiřovacího aditiva (většinou vápence) do fluidní vrstvy proběhne proces hoření. Rozlišují se kotle pro fluidní spalování se stacionární (bublinovou) fluidní vrstvou (BFB) a kotle s cirkulační fluidní vrstvou (CFB). U CFB systému je vysoká rychlost vzduchu, díky čemuž jsou částice unášeny mimo spalovací komoru. Unášené částice jsou nepřetržitě zachycovány cyklonem instalovaným ve výstupu spalovací komory a posílány zpět do fluidního ohniště. Spalování probíhá v celé spalovací komoře za neustálé cirkulace částic fluidní vrstvy (paliva i aditiva) mezi spalovací komorou a cyklonem. To vede k lepšímu odsiřování a úplnému spalování. U BFB systému díky nižší rychlosti vzduchu částice nejsou

odnášeny nad fluidní lože a nedochází k cirkulaci mezi cyklonem a ohništěm. Spalování tak probíhá ve stacionární fluidní vrstvě se zřetelnou hladinou. BFB kotle mají typicky výkon menší než 100 MW. U CFB je to 100 MW – 700 MW. V posledních letech převládá zavádění CFB kotlů díky větší efektivitě a šetrnosti k životnímu prostředí. [4]

Tato technologie patří mezi nejmodernější a nejúčinnější metody pro snižování emisí škodlivin do ovzduší. Vyznačuje se vysokou účinností s možností spalování i méně kvalitních uhlí. [1, 4 ,5 ,6]

1.2 Vedlejší energetické produkty

Mezi energetické produkty řadíme tuhé materiály, které vznikají při spalování tuhých paliv a při procesu odsířování spalin v elektrárnách a teplárnách. Zdroje vedlejších energetických produktů jsou následující:

- Popílek z elektrostatických odlučovačů
- Škvára a struska ze spalování uhlí, které spolu s popílkem tvoří popel
- Energosádrovec – produkt mokré vápencové vypírky kouřových spalin
- Produkt spalování uhlí ve fluidních kotlích s odsířením
- Produkt polosuché metody odsíření kouřových spalin
- Produkt suché aditivní metody odsíření

V České republice vzniká těchto produktů kolem 14 milionů tun, v Evropské unii pak zhruba 100 milionů tun. Vedlejší energetické produkty mohou být použity pro nahrazení přírodních zdrojů hlavně ve stavebnictví (kamenivo, sádrovec, slínek aj.) Jejich využití brání kromě nejednoznačné či úplně chybějící legislativy také obava z možného rizika. S produkty, které nenajdou využití, se dále nakládá jako s odpady. V případě použití VEP jako výrobku je nutné získat certifikát, který je vydáván v souladu s legislativou státního zkušebnictví a zákona o shodě výrobků.

Popílek se uplatňuje při výrobě betonů, pórobetonů, při výrobě cementu, zdících směsí, v cihlářském průmyslu, umělého kameniva aj. Může být použit také např. materiál pro stavbu komunikací, násypů a zásypů. Struska je využívána především jako náhrada přírodních materiálů v násypech, zásypech, obsypech staveb

a inženýrských sítí. Využívá se také jako ostřívo při výrobě cihlářských pálených výrobků. Energosádrovec, který je produktem odsířování škodlivých plynů, se používá pro výrobu sádrokartonových desek, sádry, dále při výrobě cementu jako regulátor doby tuhnutí, jako aktivátor v pórobetonu aj. [7, 8]

1.3 Popílky

Pro využití popílků, které vznikají jako odpad při spalování, bylo nalezeno mnoho možností, jak tento produkt využít, hledají se však stále nové směry jeho využití vzhledem k jeho rozsáhlé produkci. Abychom odhalili všechny jeho silné a slabé stránky, je nutné podrobně znát jeho složení, chování a vlastnosti. To je ale velice komplikované, protože právě jeho složení se odvíjí od použitého ložiska uhlí, ze kterého vznikl. Prakticky každé uhlí se liší svými vlastnostmi, které se navíc mohou měnit i během jeho těžby. Dalším vlivem na složení je také použitá technologie při spalování, kdy se fluidní popílky chovají zcela jinak, než popílky vysokoteplotní a vliv může mít i odsířovací proces. Všechny tyto faktory se musí brát v potaz a nelze tak jednoduše vymyslet jedno univerzální řešení pro aplikaci popílků. Proto je třeba ke každému zdroji popílku přistupovat individuálně. Nevyužité popílky se skladují na k tomu určených místech ve formě: aglomerátu, deponátu nebo stabilizátu. [8, 9]

1.3.1 Vysokoteplotní popílky

Vznikají spálením práškového uhlí, kdy se většina minerálů obsažených v uhlí vlivem vysokých teplot, až 1600 °C dle kotle, roztaví a při odvodu popílku spalinami se zchladí, čímž dojde k jejich ztuhnutí do sklovitě-amorfní formy. Vlivem složení mají tyto popílky téměř minimální hydraulické schopnosti, za to dobré pucolánové vlastnosti. Jsou-li v rozemletém stavu smíchány s vápnem nebo cementem, vybudí se u nich vlastnost podporující tvrdnutí uvedených pojiv. Po smíchání pouze s vodou nejsou tvrdnutí schopny. Vzhledem k vysokému obsahu SiO_2 mají kyselý charakter. Rozdíly mezi popílky najdeme mimo jiné v obsahu CaO , které odpovídá použitému palivu. Oxid vápenatý je u tohoto typu popílku převážně málo reaktivní, kvůli vysokým spalovacím teplotám a jedná se o tzv. mrtvě pálené vápno. [9]

1.3.2 Fluidní popílky

Popílky z fluidního spalování dělíme dle místa odloučení na jemnější – úletový popílek a hrubší – ložový popílek.

Ložový popílek je získáván gravitačním odloučením v zadních tazích kotle, kdy propadáva roštem pod fluidním prstencem. Obsahuje různě těžká a veliká zrna a vykazuje dobré hydraulické vlastnosti díky obsahu měkce páleného vápna a anhydritu. Tvrdne tak již při smíchání s vodou. Obsah měkce páleného vápna je způsoben nižšími spalovacími teplotami než u vysokoteplotního spalování.

Popílek jemnější úletový je zachycován na elektrostatických odlučovačích a je tvořený jemnými a lehkými zrny. Většina úletových popílků má oproti popíkům ložovým menší obsah jak volného, tak i celkového oxidu vápenatého. To spolu s anhydritem vede k hydraulickým vlastnostem. [9, 10]

1.4 Normy pro využití fluidních popílků

Kritéria, vhodnost a správné využití popílků ve stavebnictví nám popisuje několik souborů norem a postupů. Norma ČSN EN 72 2071: Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení spolu s normou ČSN EN 72 2080: Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení nám popisuje postupy pro stanovení chemických, fyzikálně-chemických a fyzikálně-mechanických vlastností a také postupy a kritéria ekologických vlastností i systému kontroly. V normě ČSN EN 72 2071 se neřeší kromě použití popílků do staveb pozemních komunikací a ostatních dopravních ploch také popílek to betonu, jehož použitím se zabývá norma ČSN EN 450-1: Popílek to betonu – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody, která stanovuje požadavky na použití popílku jako příměsi druhu II pro výrobu betonu i na stavbě včetně prefabrikátů. Podle ČSN EN 450-1 lze popílek, který splňuje dané požadavky, použít i pro výrobu malt a injektážních malt. Tato norma zpřesňuje praktické aplikace popílku při výrobě betonu, jako jsou požadavky na složení, míchání, ukládání, ošetřování atd. betonu obsahující popílek. Požadované vlastnosti k hodnocení speciálně fluidních popílků jsou vypsány v ČSN EN 72 2080 a požadavky pro různé stavební účely pak v navazujících normách ČSN P 72 2081-1 až 16. Jednotlivé normy souboru ČSN P 72 2081 byly buď zrušeny bez náhrady,

nebo nahrazeny navazujícími normami právě ČSN EN 72 2072, které tedy aktuální řeší požadavky a metody zkoušení pro použití popílku pro různé stavební účely. V případě použití popílku v dopravním stavitelství se musíme řídit technickými podmínkami Ministerstva dopravy, neboť normy, které dříve problematiku řešily, byly zrušeny. [11, 12, 13]

Tab. 1 ČSN EN 72 2080 a její navazující normy

ČSN 72 2080: Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely		
Navazující normy	Obsah navazující normy	Stav
ČSN P 72 2081-1	Část 1: FPP pro výrobu lehkého betonu	Nahrazena normou ČSN 72 2072-3
ČSN P 72 2081-2	Část 2: FPP pro výrobu popílkových směsí se zrnitým plnivem	Nahrazena normou ČSN 72 2072-3
ČSN P 72 2081-3	Část 3: FPP pro výrobu vibrovaných a vibrolisovaných výrobků	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-4	Část 4: FPP pro výrobu pórobetonu	Nahrazena normou ČSN 72 2072-5
ČSN P 72 2081-5	Část 5: FPP pro výrobu umělého zrnitého plniva za studena	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-6	Část 6: FPP pro výrobu umělého zrnitého plniva beztlakovým propařováním	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-7	Část 7: FPP pro výrobu umělého zrnitého plniva autoklávováním	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-8	Část 8: FPP pro umělého zrnitého plniva spékáním	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-9	Část 9: FPP pro výrobu suchých maltových směsí	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-10	Část 10: FPP pro výrobu speciálních tmelů	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-11	Část 11: FPP pro ostatní využití	Zrušena bez náhrady
ČSN P 72 2081-13	Část 13: FPP pro výrobu maltovin	Nahrazena normou ČSN 72 2072-1
ČSN P 72 2081-14	Část 14: FPP pro výrobu pálených cihlářských výrobků	Nahrazena normou ČSN 72 2072-4
ČSN P 72 2081-15	Část 15: FPP pro výrobu minerálních vláken	Nahrazena normou ČSN 72 2072-9
ČSN P 72 2081-16	Část 16: FPP pro asfaltové výrobky	Nahrazena normou ČSN 72 2072-10

Tab. 2 ČSN EN 72 2071 a její navazující normy

ČSN 72 2071: Popílek pro stavební účely		
Navazující normy	Obsah navazující normy	Stav
ČSN 72 2072-1	Část 1: Popílek jako aktivní složka maltovin	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-2	Část 2: Popílek jako příměs při výrobě malt	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-3	Část 3: Popílek pro výrobu popílkových směsí	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-4	Část 4: Popílek pro výrobu cihlářských pálených výrobků	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-5	Část 5: Popílek pro výrobu pórobetonu	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-6	Část 6: Popílek pro výrobu umělého kameniva spékáním	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-8	Část 8: Popílek pro výrobu umělého kameniva za studena a urychleně vytvrzovaného	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-9	Část 9: Popílek pro výrobu minerálních vláken	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-10	Část 10: Popílek pro asfaltové výrobky	platná od 08/2013
ČSN 72 2072-11	Část 11: Popílek pro ostatní využití	platná od 08/2013

1.4.1 ČSN 72 2072-1: Popílek jako aktivní složka maltovin

Norma stanovuje požadavky na popílek pro výrobu maltovin. V příloze A, která řeší právě FPP pro výrobu maltovin je uveden zákaz použití FPP pro výrobu cementů pro obecné použití CEM podle ČSN EN 197-1ed.2 a pro cement pro zdění podle ČSN EN 413-1. Krom chemických a fyzikálních požadavků uvedených v tab. č. 3 norma dále stanovuje požadavky technické jako stanovení objemové stálosti, stanovení tuhnutí směsi FPP s cementem aj. Norma uvádí i četnosti zkoušek. [14]

Tab. 3 ČSN 72 2072-1 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Ztráta žiháním (% hm.)	-	10 ¹⁾
Obsah SiO ₂	30 ¹⁾	-
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	-	5 ¹⁾
Obsah CaCO ₃ ((% hm.))	-	2 ¹⁾
Obsah volného CaO (% hm.)		20 ¹⁾
Obsah Cr (ppm)	-	10 ¹⁾
Obsah CO ₂ (% hm.)	-	1,8 ²⁾
Obsah MgO (% hm.)	-	1,5 ²⁾
Obsah aktivního SiO ₂ (% hm.)	25 ²⁾	-
1) Limitní hodnoty		
2) Směrné hodnoty		

1.4.2 ČSN 72 2072-2: Popílek jako příměs při výrobě malt

V normě jsou stanoveny technické požadavky na popílek pro příměs pro výrobu malt. Norma požaduje chemické a fyzikální vlastnosti uvedené v tab. č. 4 a technický požadavek na objemovou stálost. V tab. č. 4 nejsou uvedené četnosti oproti normě. [15]

Tab. 4 ČSN 72 2072-2 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Ztráta sušením (% hm.)	-	2 ¹⁾
Ztráta žiháním (% hm.)	-	10 ¹⁾
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	-	5 ¹⁾
Zkrácený počátek tuhnutí směsi popílku s cementem (min)	-	20 ¹⁾
Prodloužení konce tuhnutí směsi popílku s cementem (min)	-	180 ¹⁾
Index účinnosti (%)	75 ¹⁾ popř. 80 ₂₎	-
1) Limitní hodnoty		
2) Směrné hodnoty		

1.4.3 ČSN 72 2072-3: Popílek pro výrobu popílkových směsí

V normě jsou technické požadavky pro výrobu popílkových směsí. V příloze pak chemicko-fyzikální požadavky speciálně pro FPP např. obsah volného a celkového CaO, SiO₂, celkové pH, sypané a měrné hmotnosti, objemová stálost, počátek a konec tuhnutí aj. Z důvodu rozsáhlosti tabulka není uvedena. [16]

1.4.4 ČSN 72 2072-4: Popílek pro výrobu cihlářských pálených výrobků

Požadavky pro využití FPP v cihlářském průmyslu jsou uvedeny v příloze A normy. Uvedeny jsou jak chemicko-fyzikální vlastnosti (Tab. 5), tak i technické a kvalitativní požadavky jako stanovení pevnosti v ohybu, stanovení nasákavosti aj. [17]

Tab. 5 ČSN 72 2072-4 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty
	Max. hodnota
Ztráta sušením (% hm.)	1 ¹⁾
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	10 ¹⁾
Obsah volného CaO (% hm.)	10 ²⁾
Sítový rozbor, zbytek na síť ²⁾ (%)	
0,125 mm	10 ²⁾ popř. 15 ¹⁾
4 mm	1 ¹⁾
¹⁾ Limitní hodnoty	
²⁾ Směrné hodnoty	

1.4.5 ČSN 72 2072-5: Popílek pro výrobu pórobetonu

Použití FPP pro výrobu pórobetonu jsou obsaženy v příloze A této normy. Jsou uvedeny požadované chemické a fyzikální vlastnosti a technické požadavky jako stanovení pevnosti v tlaku, stanovení vlhkosti, objemové hmotnosti a nasákavosti. [18]

1.4.6 ČSN 72 2072-6: Popílek pro výrobu umělého kameniva spékáním

Obsahem nejsou speciální požadavky pro použití FPP, ale pouze požadavky pro popílky obecně. Mezi technické požadavky patří stanovení pevnosti v tlaku po vyrobení, pevnosti po výpalu, objemová hmotnost, nasákavost aj. [19]

Tab. 6 ČSN 72 2072-6 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Ztráta žiháním (% hm.)	-	15
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	-	3
Obsah volného CaO (% hm.)	-	2,5
Sypná hmotnost (kg/m ³)		
volně sypaná	600	-
setřesená	800	-
Sítový rozbor, zbytek na síti (%): 0,090 mm	-	25
Měrný povrch (m ² /kg)	-	300
Hodnoty uvedené v tabulce jsou směrné.		

1.4.7 ČSN 72 2072-8: Popílek pro výrobu umělého kameniva za studena a urychleně vytvrzovaného

Požadované chemicko-fyzikální vlastnosti jsou podobné jako v části 6 tohoto souboru. Mezi technické požadavky patří stanovení pevnosti v tlaku po vyrobení, pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání – kamenivo na zásypy a do betonu, pevnosti v tlaku po urychleném vytvrzení aj. [20]

Tab. 7 ČSN 72 2072-8 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Ztráta žiháním (% hm.)	-	15 ¹⁾
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	-	1 ¹⁾⁴⁾ popř. 2 ¹⁾⁵⁾
Obsah volného CaO (% hm.)	-	2,5 ¹⁾
Sypná hmotnost (kg/m ³)		
volně sypaná	600 ²⁾	-
setřesená	800 ²⁾	-
Sítový rozbor, zbytek na síti (%): 0,090 mm	-	25
Měrný povrch (m ² /kg)	-	300
¹⁾ Limitní hodnoty		
²⁾ Směrné hodnoty		
³⁾ Dovolené rozmezí hodnot od jednoho producenta popílku je ±200 kg/m ³		
⁴⁾ U kameniva vyráběného za studena		
⁵⁾ U kameniva vyráběného urychleným vytvrzováním		

1.4.8 ČSN 72 2072-9: Popílek pro výrobu minerálních vláken

Požadavky pro výrobu z FPP jsou stanoveny v příloze B normy. Hlavně jsou řešeny maximální a minimální přípustné hodnoty chemických složek vzorku, kdy se z výsledků stanoví modul kyselosti, k němuž se navrhne vhodná korekční složka. [21]

Tab. 8 ČSN 72 2072-9 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Modul kyselosti	3 ¹⁾	-
Obsah oxidu železitého Fe ₂ O ₃	-	6 ¹⁾
Obsah síranové síry (jako SO ₃) (% hm.)	-	8 ¹⁾
Obsah oxidu hořečnatého MgO	2 ¹⁾	-
Ztráta sušením (% hm.)	-	1 ²⁾
Ztráta žiháním (% hm.)	-	5 ²⁾
Sítový rozbor, zbytek na síti (%): 0,2 mm	50 (ložový) ²⁾	-
Obsah aktivního SiO ₂ (% hm.)	25 ²⁾	-
¹⁾ Limitní hodnoty		
²⁾ Směrné hodnoty		

1.4.9 ČSN 72 2072-10: Popílek pro asfaltové výrobky

Na filer do asfaltů jsou kromě požadavků na zrnitost kladeny ještě další požadavky. Musí vykazovat dostatečný ztužovací efekt s asfaltem a musí se s asfaltem dobře snášet. Nesmí měnit jak jeho chemické, tak i koloidní složení a zhoršovat jeho přilnavost. Filer nesmí být namrzavý a nesmí za přítomnosti vody a vlhkosti měnit svůj objem. Kromě toho se nesmí uvolňovat zdraví škodlivé látky a záření. Příloha A normy pojednává o použití FPP. Možné použití je pouze fluidního popílku z filtru. Požadavky jsou kladeny na chemické složení – volné CaO, SO₃, anhydrit, portlandit a na granulometrii. Dále jsou popisované prováděné zkoušky. [22]

1.4.10 ČSN 72 2072-11: Popílek pro ostatní využití

Norma řeší požadavky popílků pro použití na zásypy, obsypy, izolační obsypové a podobné materiály ze stabilizovaných nebo solidifikovaných hmot. Jsou popsány potřebné zkoušky na technické požadavky, ale i pro ekologickou vhodnost. [23]

Tab. 9 ČSN 72 2072-11 Požadavky na technické vlastnosti

Vlastnost	Charakteristické hodnoty	
	Min. hodnota	Max. hodnota
Stanovení pevnosti v tlaku (MPa)	3 ²⁾	-
	2 ¹⁾	
Stanovení propustnosti vody	Podle výsledků je hmota zatříděna a hodnocena podle ČSN 75 2310	
Stanovení objemové stálosti koláčkovou metodou varem	Hodnocení musí znít - vyhovující	
¹⁾ Limitní hodnoty		
²⁾ Směrné hodnoty		

KONEC VEŘEJNÉ ČÁSTI