



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

VÝVOJ PODMÍNEK PELETIZACE VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH PRODUKTŮ

DEVELOPMENT OF PELLETIZATION CONDITIONS FOR SECONDARY ENERGY
PRODUCTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Eliška Burešová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Eliška Burešová
Název	Vývoj podmínek peletizace vedlejších energetických produktů
Vedoucí práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Hanykýř V., Kutzendörfer J., Technologie keramiky, Vega s.r.o. 2000, ISBN 80-900860-6-3
- [2] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [3] Slivka, V. a kol. Těžba a úprava silikátových surovin. Silikátový svaz. Praha 2002. IASBN 80-903113-0-X
- [4] Ahir, A.A. a kol. Pelletization Technology: Methods and Applications -A Review. Research Journal of Pharmacy and Technology Vol. 8, No. 2, 2015.
- [5] Baykal, G., Doven, G. Utilization of fly ash by pelletization process; theory, application areas and research results. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 30, No. 1, 2000.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Ve stavební praxi je k dispozici celá řada druhotných surovin ve velmi jemnozrnné podobě (prach, odprašky apod.), které je zapotřebí převést do solidifikované podoby, například v podobě granulí, pelet, apod. Jedná se například o vedlejší energetické produkty (popílký) nebo prach vznikající při broušení pálených zdicích materiálů. Podmínkou takového využití je zvládnutí procesu peletizace, resp. sbalkování.

Cíle bakalářské práce je možno definovat v následujících bodech:

- teoreticky popsat proces peletizace a uvést veškerá strojní zařízení, která lze pro tento účel použít,
- formou rešerše shrnout dosavadní zkušenosti s peletizací prachových materiálů,
- v praktické části popsat peletizační zařízení navržené firmou Svoboda a syn, s.r.o. a navrhnout konkrétní podmínky peletizace vedlejších energetických produktů, resp. cihelného prachu pro výrobu agloporitu na tomto zařízení.

Předpokládaný rozsah práce 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na zpracování vedlejších energetických produktů do solidifikované podoby. V teoretické části byly popsány způsoby odlučování jemných částic, charakteristiky a vlastnosti vedlejších energetických produktů a zařízení vhodná pro granulaci. Na základě poznatků z části teoretické byly v praktické části navrženy a vytvořeny vhodné podmínky pro peletizaci dvou typů vedlejších energetických produktů, a to cihelného prachu a elektrárenského popílku. Návrh pro popílek byl ověřen a jak vstupní surovina, tak výsledné sbalky byly podrobeny zkouškám. V souladu s výsledky je možné říci, že sbalkovaná surovina vykazuje lepší vlastnosti než surovina v původním práškovém stavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

popílek, fluidní popílek, cihelný prach, lehké kamenivo, vedlejší energetické produkty, peletizace, sbalkování, peletizační talíř, agloporit

ABSTRACT

This thesis deals with the use of secondary energy products. The theoretical part describes methods of separation of fine particles, characteristics and properties of secondary energy products and equipment suitable for pelletizing. On the basis of the theoretical part, the practical part designed and created suitable conditions for pelletizing two types of secondary energy products, namely brick dust and fly ash. These suggestions have been verified and both feedstocks and resulting pellets were tested. In accordance with the results, it is possible to say that the pelletized raw material has better properties than the raw material in its original powder state.

KEYWORDS

fly ash, fluid fly ash, brick dust, lightweight aggregate, secondary energy products, pelletizing, agglomeration, pelletizing disc, agloporite

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Eliška Burešová *Vývoj podmínek peletizace vedlejších energetických produktů*. Brno, 2019. 57 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vývoj podmínek peletizace vedlejších energetických produktů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17. 5. 2019

Eliška Burešová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vývoj podmínek peletizace vedlejších energetických produktů* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 5. 2019

Eliška Burešová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu doc. Ing. Radomírovi Sokolářovi, Ph.D. a oponentovi Ing. Michalovi Batelkovi, Ph.D. za jejich cenné rady a odbornou pomoc. Dále bych chtěla poděkovat společnosti Svoboda a syn, s.r.o. za možnost využití jejich peletizačního zařízení a v neposlední řadě patří poděkování mojí rodině za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	CÍL PRÁCE.....	11
3	TEORETICKÁ ČÁST	12
3.1	TUHÉ ČÁSTICE V OVZDUŠÍ.....	12
3.1.1	ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ.....	12
3.2	ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ČÁSTIC	13
3.2.1	MECHANICKÉ ODLUČOVAČE	13
3.2.2	ELEKTROSTATICKÉ ODLUČOVAČE	16
3.2.3	MOKRÉ MECHANICKÉ ODLUČOVAČE	17
3.2.4	FILTRY	17
3.3	CIHLÁŘSKÉ VÝROBKY	18
3.3.1	STAVEBNÍ KERAMIKA.....	18
3.3.2	SUROVINY PRO VÝROBU CIHELNÉHO STŘEPU	18
3.4	CIHELNÝ PRACH.....	20
3.4.1	SOUČASNÉ VYUŽITÍ CIHELNÉHO PRACHU VE STAVEBNICTVÍ.....	20
3.5	ELEKTRÁRENSKÝ POPÍLEK.....	21
3.5.1	TECHNOLOGIE SPALOVÁNÍ.....	21
3.5.2	DRUHY POPÍLKU	24
3.5.3	SOUČASNÉ VYUŽITÍ POPÍLKU VE STAVEBNICTVÍ	26
3.6	PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA.....	30
3.6.1	PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA POPÍLKŮ.....	31
3.6.2	PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA CIHELNÉHO STŘEPU.....	31
3.7	TECHNOLOGIE GRANULACE.....	33
3.7.1	VAZBOVÉ SÍLY MEZI ČÁSTICEMI.....	33
3.7.2	POŽADAVKY NA SBALKY	34
3.7.3	GRANULACE.....	35
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	45
4.1	METODIKA PRÁCE	45
4.2	I. ETAPA — ANALÝZA VSTUPNÍCH SUROVIN.....	46
4.2.1	SÍTOVÝ ROZBOR.....	46
4.2.2	SYPNÁ HMOTNOST.....	47
4.2.3	STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI SUŠENÍM V SUŠÁRNĚ	47
4.2.4	ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM.....	48
4.2.5	POJIVA.....	49

4.3	II. ETAPA — NASTAVENÍ PELETIZAČNÍHO TALÍŘE.....	49
4.4	III. ETAPA — EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ PELETIZACE.....	50
4.4.1	SYPNÁ HMOTNOST SBALKŮ.....	51
4.5	IV. ETAPA — VYHODNOCENÍ.....	52
5	ZÁVĚR.....	53
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	54

1 ÚVOD

Ve všech odvětvích průmyslu jsou odpady produkovány. Některé druhy odpadních produktů můžeme do výroby, i z části, vrátit a zužítkovat je, ale ne vždy je to možné. V průmyslové výrobě je kladen velký důraz na zabránění úniku znečišťujících látek do okolního prostředí, aby nedocházelo ke znečišťování ovzduší, tedy ke zhoršování životního prostředí. Nedílnou součástí průmyslové výroby jsou zařízení, která zabraňují úniku těchto látek (např. prachové filtry, filtry kalů, zařízení na odsíření spalin apod.).

Ve stavebnictví je produkce odpadů značně vysoká. Jedná se například o stavební suť, která vzniká při demolicích, rekonstrukcích a údržbách staveb. Dalším zástupcem odpadů ve stavebnictví je cihelný prach, který je produkován při broušení povrchu cihlářských výrobků.

Vedlejší energetické produkty jsou produkty vznikající při výrobě elektrické a tepelné energie po spalování pevných paliv nebo při procesu odsíření spalin. Mezi významné vedlejší energetické produkty patří především popílek z klasických či fluidních kotlů, ložový popel, škvára, struska a energosádrovec.

Roční produkce vedlejších energetických produktů v České republice je podle ASVEP (Asociace pro využití vedlejších energetických produktů) a Teplárenského sdružení ČR odhadována na 13,7 milionů tun za rok 2014. [1]

Ve společnosti Wienerberger s.r.o. je denní produkce cihlářského prachu odhadována na 10-20 tun denně z každé modernizované cihelny.

Skladování velkého množství odpadů na skládkách vede ke snaze jejich dalšího zužitkování s co nejmenšími náklady na jejich úpravu. Tyto odpady se hojně využívají ve stavebnictví. Jejich velkou nevýhodou, která je společná pro všechny průmyslové odpady, jsou jejich silně kolísavé vlastnosti a proměnlivý obsah škodlivin. [2]

Už ve 30. letech minulého století se uvažovalo nad využitím odpadů pro výrobu stavebních hmot. Největší část popílku se v Evropské unii využívá pro rekultivaci krajiny po důlní činnosti, dále pro použití jako příměsi do betonů a silničních podkladových vrstev. Menší část popílku se využívá při výrobě betonových (pórobetonových) tvarovek. [3]

Hlavním důvodem peletizace (sbalkování), čili vzájemného spojování jednotlivých částic do větších celků účinkem vazebných sil, je zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností a rozšíření oblasti využití těchto materiálů, které by v práškové formě jinak končily na skládkách. Očekává se, že vzniklé pelety budou mít lepší vlastnosti než prášková hmota v původním stavu. [4]

2 CÍL PRÁCE

Tato bakalářské práce si klade za cíl zhodnotit pomocí teoretických i praktických poznatků možnosti peletizace vedlejších energetických produktů.

Řešení zadané problematiky je rozděleno na dvě části, a to část teoretickou a část praktickou.

V rámci teoretické části je záměrem nejprve osvětlit způsoby zachytávání jemných prachovitých částic zejména v průmyslových provozech, dále popsat vlastnosti vybraných vedlejších energetických produktů včetně jejich výroby. Hlavní kapitolou teoretického zpracování bakalářské práce je proces peletizace neboli sbalkování vedlejších energetických produktů.

V praktické části bakalářské práce je cílem najít vhodné podmínky pro kontinuální peletizaci elektrárenských popílků. Na základě získaných poznatků z dosavadních výzkumů je pro naplnění cílů podstatné dodržení konstantních podmínek peletizace na peletizačním zařízení.

V první etapě byly charakterizovány vstupní suroviny, které byly podrobeny zkouškám. Druhá etapa charakterizuje nastavení peletizačního zařízení (peletizačního talíře), na kterém bude v etapě třetí provedena experimentální peletizace. V etapě třetí se experimentálně ověřil proces peletizace se dvěma různými sklony peletizačního talíře a byly provedeny zkoušky výsledných sbalků. Etapa čtvrtá se zabývá vyhodnocením procesu peletizace a srovnáním jemnozrnného materiálu a výsledných sbalků.

V neposlední řadě je cílem práce vyhodnocení všech poznatků s ohledem na navazující výzkum a případnou výrobu.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 TUHÉ ČÁSTICE V OVZDUŠÍ

3.1.1 ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ

V posledních uplynulých desetiletích podstatně klesly emise mnoha látek znečišťujících ovzduší v Evropě. Koncentrace látek jsou stále vysoké a přetrvávají zde problémy týkající se kvality ovzduší. Značná část obyvatelstva žije ve městech, kde jsou překračovány normy kvality ovzduší. Přibližně 90 % městských obyvatel je vystaveno znečišťujícím látkám v koncentracích vyšších než úrovně kvality ovzduší, jež jsou považovány za zdraví škodlivé.

Závažná zdravotní rizika představují tři znečišťující látky: přízemní ozon, oxid dusičitý a jemné částice v ovzduší. Dlouhodobá a/nebo maximální expozice může mít na lidské zdraví závažný vliv (poškození dýchací soustavy, předčasná úmrtí). Odhaduje se, že jemné částice v ovzduší zkracují střední délku života o osm měsíců v rámci EU.

Znečištění ovzduší škodí rovněž životnímu prostředí. Stále je zájmem snížení acidifikace, tedy okyselování půdního či vodního prostředí, a snížení eutrofizace neboli obohacování systému o živiny. [5]

3.1.1.1 ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ

Zdroje znečištění ovzduší dělíme na antropogenní a přírodní:

- Spalování fosilních paliv při výrobě elektřiny, v dopravě, v průmyslu a v domácnostech
- V chemickém průmyslu při používání rozpouštědel a při průmyslových procesech, dále při zpracování nerostných surovin
- Zemědělství
- Zpracování odpadu
- Přírodními zdroji emisí přírodních zdrojů jsou například sopečná činnost, prach šířený větrem, solné výpary z mořské vody a emise těkavých organických látek z rostlin [5]

3.1.1.2 TVAR A VELIKOST ČÁSTIC

Všeobecný pojem tuhé látky (tuhé částice) zahrnuje všechny formy výskytu těchto částic v emisích i imisích. Dle vzniku částic nebo podle společných vlastností se setkáváme s různými názvy v praxi:

- dým — jemné částice o velikosti 0,1 až 1,0 μm , které vznikly při oxidačních procesech kondenzací látek vypařovaných za tepla (např. sváření)
- „kouř“ — jemné částice o velikosti 0,01 až 0,05 μm vzniklé nedokonalým spalováním obsahující převážně uhlík
- popílek — úlet z ohniska spalovacích zařízení o velikosti 1 až 100 μm
- aerosol — disperzní soustava jemných částic o velikosti 0,01 až 1 μm a plynu
- prach — částice, které vznikly převážně mechanickým způsobem (drcením, mletím, otěrem)

V technické praxi se však používá označení prach pro všechny tuhé částice rozptýlené v ovzduší. [6]

3.2 ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ČÁSTIC

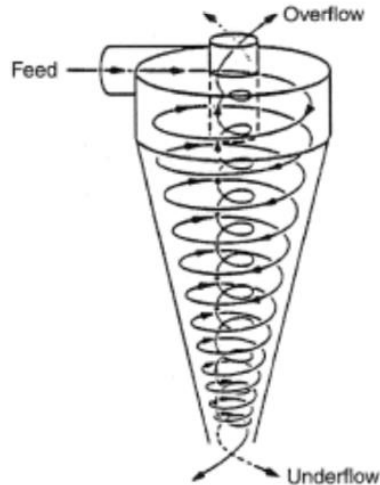
3.2.1 MECHANICKÉ ODLUČOVAČE

3.2.1.1 CYKLÓNY

Cyklónové odlučování je metoda odstraňování tuhých částic ze vzduchu (plynu) nebo páry bez použití filtrů. Na použití na oddělení směsi pevných látek a kapaliny je využito rotačního efektu a gravitace. Dále může být této technologie využito k oddělení drobných kapek kapaliny z proudu plynu.

Rychlost rotace vzduchu je vytvořena v cylindrickém nebo kuželovitém zařízení zvaném cyklón. Vzduch zde proudí ve spirále, proudění začíná v širším konci (obvykle ve vrcholu) cyklónu a končí na dně, kde vzduch dále proudí středem cyklónu a vyjde vrchem. Větší částice mají větší sklon k proudění v těsné křivce, a tedy k nárazu na stěnu, po kterém padnou na dno cyklónu, kde mohou být odstraněny.

Velké cyklóny se využívají například na pilách k odstranění pilin, v ropných rafinériích k oddělení olejů od plynů, v cementárnách jako součást pecí s předehříváčem. V domácnosti se můžeme setkat s cyklónovým odlučovačem v bezsáčkových vysavačích, které tuto technologii využívají. Malé cyklóny jsou dostatečně malé a mohou se tak připnout na oblečení, aby sloužily k separaci dýchacelných částic pro další analýzy. [7]

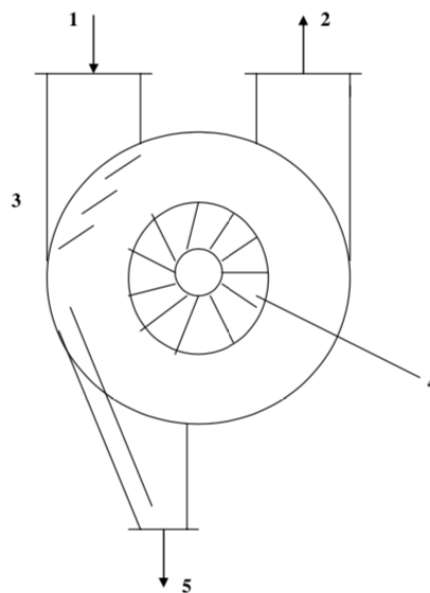


Obrázek 1: Schéma proudění směsi v cyklónovém odlučovači [8]

3.2.1.2 ROTAČNÍ ODLUČOVAČE

Rotační odlučovače jsou určeny k odlučování lehkých objemných pevných frakcí z odsávaného vzduchu (plynu). Obvykle se využívají jako předodlučovače umístěné před filtrační zařízení.

Využívány jsou hojně v průmyslech, kde je odsáváno velké množství lehkého a objemného materiálu (například papírové odřezky, chemlon, buničina), který by mohl dále ucpat filtrační zařízení. [7]

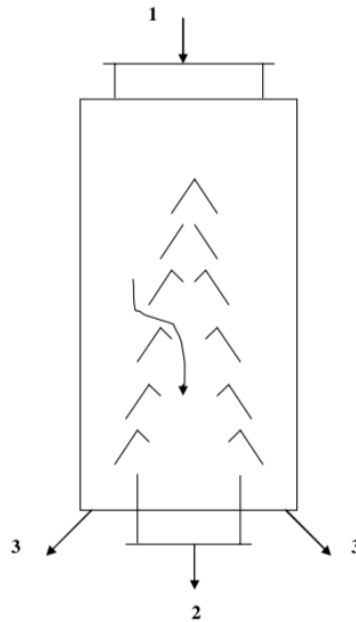


Obrázek 2: Rotační odlučovač: 1-vstup znečištěného plynu, 2-výstup odprášeného plynu, 3-žaluzie, 4-rotor, 5-výsyp [7]

3.2.1.3 ŽALUZIOVÉ ODLUČOVAČE

Žaluziové odlučovače jsou méně využívaným zařízením kvůli nízké účinnosti. Žaluzie, tvořené kovovými úhelníky nebo přepážkami, jsou odlučovacím elementem. Průchodem plynu žaluzií dochází k prudké změně směru a pevné částice narazí do přední strany žaluzie a poté klesají do odběrného místa.

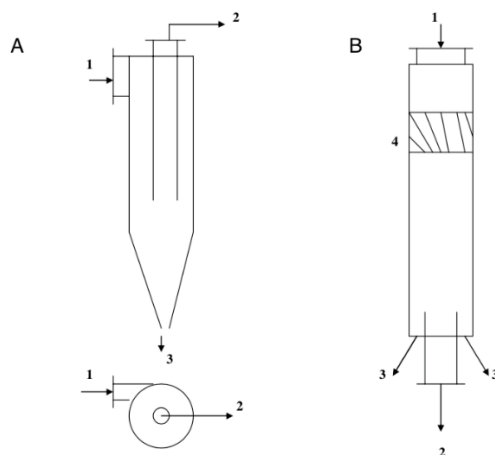
Používají se jako předodlučovače, výhodou je, že mohou být využity při vysokých teplotách.



Obrázek 3: Žaluziový odlučovač: 1-vstup znečištěného plynu, 2-výstup odprášeného plynu, 3-výsypy prachu [7]

3.2.1.4 VÍROVÉ ODLUČOVAČE

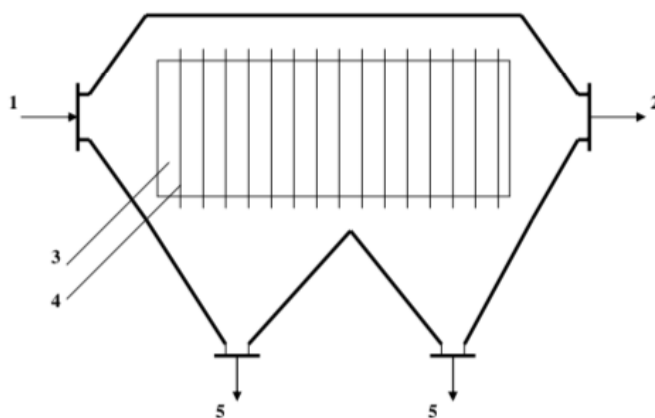
Vírových odlučovačů je hojně využíváno vzhledem k jejich vysoké účinnosti, jednoduchosti a provozní nenáročnosti. Využívá se zde odstředivá síla, která vzniká uvedením proudu plynu do rychlého rotačního pohybu. Tyto jednotky však nemají obvykle dostatečný výkon a je nutné je slučovat do bloků, ve kterých se jejich výkon sčítá. Nevýhodou je závislost rychlosti proudění vzduchu, opotřebení a nevhodnost pro lepidlý prach. Výhodou je zde možnost použití pro horké plyny.



Obrázek 4: Vírové odlučovače, A-cyklón s tečným vstupem vzduchu, B-cyklón osový (vírník), 1-vstup znečištěného plynu, 2-výstup odprášeného plynu, 3-výstup odloučeného prachu, 4-pevné rozváděcí kolo [7]

3.2.2 ELEKTROSTATICKÉ ODLUČOVAČE

Elektrostatické odlučovače využívají silného elektrického pole, které záporně nabije pevné částice a ty jsou poté zachyceny na kladně nabitých sběrných elektrodách, ze kterých je mechanicky odstraňován do zásobníků. K nabití částic dochází v elektrostatickém poli odlučovače, kde jako přenašeče náboje fungují ionty ionizovaného plynu. Nabíjecí elektrody jsou tenké dráty napnuté ve vzdálenosti 15 až 20 cm. Čím je vyšší napětí na elektrodách, tím vyšší je účinnost odlučovače. Sběrné elektrody jsou nejčastěji deskové nebo trubkové ve vzdálenosti 30 až 40 cm. Odstranění odloučeného prachu probíhá mechanicky kladivý. Elektrostatické odlučovače mohou být horizontální a vertikální.



Obrázek 5: Horizontální komorový elektrostatický odlučovač. 1-vstup plynu, 2-výstup plynu, 3-deskové usazovací elektrody, 4-drátové nabíjecí elektrody (katody), 5-výsypky odloučeného prachu [7]

3.2.3 MOKRÉ MECHANICKÉ ODLUČOVAČE

Mokrý mechanický odlučovač využívá kapalinu k odvodu zachycené částice z odlučovače. Tyto odlučovače mohou být použity i k absorpci plynných znečišťujících látek z odpadních plynů. Principem je odloučení částice z proudu plynu s malou kapkou kapaliny a využití odstředivé síly s odloučením na okraji nádoby, kde částice sedimentují. Sloučení kapaliny a prachové částice pomocí kondenzace vodní páry je možností, jak tyto dvě složky sloučit. Nutným předpokladem je nižší teplota plynu, než je teplota rosného bodu.

3.2.3.1 MOKRÝ VÍROVÝ ODLUČOVAČ

Suchý vírový odlučovač na rozdíl od suchých vírových odlučovačů využívá kapalinu k oplachování (postřiku) stěn odlučovače. Nad ostřikovačem vody je instalovaný odlučovač kapek. Odloučený prach pak tvoří kal, který je odváděn hrdlem ve spodní části odlučovače. Koncentrace prachu ve vstupujícím plynu by neměla být vyšší než 30 g/m³. Pro velké průtoky se jednotlivé odlučovače řadí do soustav a vznikají tzv. bateriové sety. Tyto odlučovače se používají v keramickém průmyslu, v úpravách uhlí, slévárnách a hutích.

3.2.4 FILTRY

Základem filtrace je odlučování částic ve filtrační vrstvě. K filtraci se používá vláknitých vrstev, zrnitých a porézních materiálů. Plyny procházejí nejčastěji tkaninou. Princip je založen na nemožnosti průchodu větších částic otvory v materiálu. Na povrchu tak vzniká filtrační koláč, který i sám o sobě tvoří filtrační vrstvu.

3.2.4.1 TEXTILNÍ FILTRY

Použití textilních filtrů v průmyslu závisí na použitém druhu materiálu a na způsobu regenerace. Dle uspořádání filtračních ploch můžeme tyto filtry dělit na hadicové a kapsové.

Hadicové filtry jsou hadice o délkách okolo 10 m a průměru 140 až 250 mm. Regenerace hadicových filtrů probíhá průplachem, nebo oklepáváním. Mají vysokou účinnost a nízké provozní náklady.

Kapsové filtry mohou být vystaveny teplotám až do 500 °C, mají vysokou účinnost a jejich filtrační plocha může být různých tvarů. Nevýhodou je vyšší tlaková ztráta a nízká životnost tkaniny. [9]

3.3 CIHLÁŘSKÉ VÝROBKY

3.3.1 STAVEBNÍ KERAMIKA

Cihlářská výroba spolu s hrnčířstvím je po několik tisíciletí jedním z nejstarších oborů keramické výroby. V současné době jsou cihlářské výrobky klasickým stavebním materiálem pro pozemní stavby a řadí se na třetí místo, ve využití materiálů pro výstavbu, za výrobu betonu a výrobu bitumenů (živic). [10].

Keramika je definována jako pevná anorganická nekovová polykrystalická látka, která je vyrobena keramickým výrobním způsobem ze surovin, kde převládá složka jílových minerálů, je vytvarovaná a vypálená na vysokou teplotu (obvykle nad 900 °C) a při výpalu procesem slinování nastává zpevnění a vytvoření mikrostruktury střepu.

Mezi výrobky stavební keramiky řadíme zdicí prvky pro svislé a vodorovné konstrukce staveb, pálenou střešní krytinu (pro šikmé střešní konstrukce), keramické obkladové prvky jako obkládačky a dlaždice, kameninové výrobky (trouby a dlaždice), kachle, zdravotnickou keramiku a částečně i žárovzdorné výrobky. [11]

3.3.2 SUROVINY PRO VÝROBU CIHELNÉHO STŘEPU

Pro výrobu střepu patří mezi základní suroviny cihlářské zeminy (jíly, hlíny) s příměsí ostřiva, taviva a lehčiva. Podle chování těchto látek po smíchání s vodou se dělí na suroviny plastické a neplastické. Plastické suroviny jsou schopné se po smíchání s vodou tvarovat. Tuto schopnost neplastické látky nemají. [12]

3.3.2.1 PLASTICKÉ SUROVINY

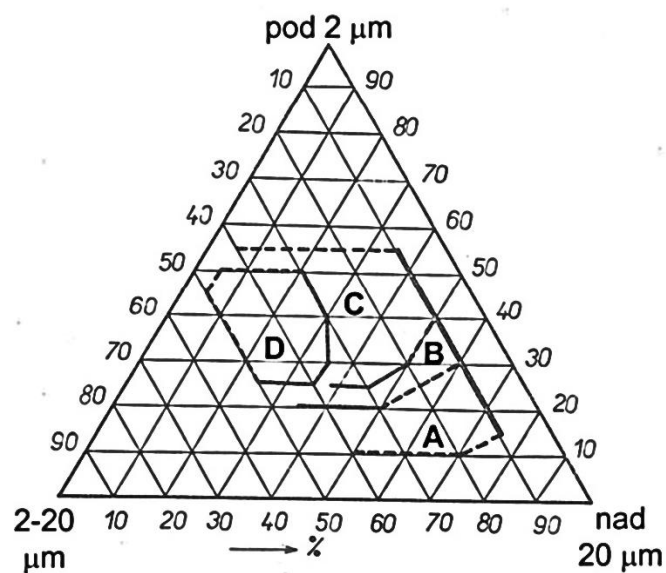
Plastické keramické suroviny, tzv. jílovinové zeminy jsou schopny po přidání vody vytvořit tvárné těsto bez porušení celistvosti a mají schopnost vázat neplastická zrna. Během sušení dochází k jejich smrštění a díky kohezi zrn po vysušení zajišťují dostatečnou pevnost výsušku. Mezi sypké plastické suroviny patří například jíl, hlína a kaolín, a mezi zpevněné například jílovec a lupek. [11]

3.3.2.1 CIHLÁŘSKÉ ZEMINY

Dle normy ČSN 72 1564 jsou cihlářské suroviny rozděleny do čtyř skupin podle technologických vlastností podle vhodnosti pro výrobu různých cihlářských výrobků (tab. 1).

Tabulka 1: Cihlářské zeminy dle ČSN 72 1564 [13]

Vlastnost	A	B	C	D
Obsah těžce drtitelných zrn nad 2 mm [%]	<10	<5	<2	<2
Smrštění sušením [%]	3,5 - 5,0	4,0 - 7,0	5,0 - 8,0	5,0 - 8,5
Pevnost v tahu ohybem po výpalu [MPa]	>3	>5	>7	>7
Nasákavost [%]	>12	>12	>12	-
Škodlivost cicvárů nesmí snižovat pevnost o více než 20 %, žádné povrchové odštěpky cicváru hlubší než 1 mm, mrazuvzdornost minimálně 25 zmrazovacích cyklů M25, žádná náchylnost k tvorbě výkvětů, jednotná barva vypáleného střeput.				
Vhodnost suroviny: A (I.) - cihly plné a děrované, B (II.) - duté cihly a děrované tvarovky větších rozměrů, C (III.) - tenkostěnné cihlářské výrobky, D (IV.) - krytina a obkladové výrobky.				



Obrázek 6: Winklerův diagram pro cihlářské zeminy-vhodnost pro výrobu cihlářských výrobků na základě mikrogranulometrie (legenda v tab. 1) [11]

3.3.2.2 NEPLASTICKÉ SUROVINY

Neplastické suroviny nejsou schopny po rozdělání s vodou vytvořit plastické těsto. Některé z těchto přísad plní více funkcí současně. Podílejí se na tvorbě mikrostruktury střepe a upravují chování suroviny při vytváření, sušení a výpalu. Dle funkce, kterou v surovinové směsi plní, se dělí na ostřiva, taviva a lehčiva. Mezi ostřiva řadíme například křemen, šamot, korund. Mezi přírodní taviva řadíme živce, fonolity, aj., a mezi syntetická taviva řadíme například skla, frity. Lehčiva dělíme dle působení na působící přímo (piliny, korková drť) a působící nepřímo (expandovaný perlit, křemelina, cenosféry). [11]

3.3.2.3 VÝROBA CIHELNÉHO STŘEPU

Prvotní technologické kroky tvoří příprava směsi pro výrobu (včetně těžby, rozdružení a homogenizace), úprava surovin (fyzikálně mechanická a fyzikálně chemická), vytváření z plastického těsta, sušení a výpal. [12]

3.3.2.4 ÚPRAVA CIHLÁŘSKÝCH VÝROBKŮ BROUŠENÍM

Po výpalu jsou cihlářské výrobky odvezeny dopravníkem buď přímo na balírnu nebo do brusírny. Broušení je důležitým technologickým procesem zejména z důvodu normalizace pro stavební průmysl. Každý zdicí prvek prochází poměrně zdlouhavým procesem broušení. Brusky mají dva (v průměru metrové) brusné kotouče, mezi kterými jsou zdicí prvky zbroušeny na výšku 249 mm. Zbroušení je zhruba o 6 mm uprostřed a zhruba o 12 mm na krajích pro cihelnu ve Šlapanicích. Prach je odsáván filtrací. [14]

3.4 CIHELNÝ PRACH

Zvyšováním požadavků na rozměrovou přesnost (z důvodu přesného zdění) a se zvyšující se produkcí takto kalibrovaných výrobků se zvyšuje i množství odpadu z výroby. Odpad tvoří velmi jemný cihelný prach. [15]

3.4.1 SOUČASNÉ VYUŽITÍ CIHELNÉHO PRACHU VE STAVEBNICTVÍ

Odpad tvoří velmi jemný cihelný prach, který je z části využíván jako ostřivo do další keramické výroby. Vzhledem k tomu, že má prach nevyhovující vlastnosti na vstupní suroviny, se stává ve výrobní technologii téměř nevyužitelný. V minulosti výzkumy prokázaly, že díky obsahu amorfních křemičitanů a hlinitokřemičitanů může vypálený

keramický materiál vykazovat určitý stupeň pucolanity. Na tomto poznatku je založen možný potenciál využití cihelného prachu v cementových a vápenných pojivech. [15]

3.5 ELEKTRÁRENSKÝ POPÍLEK

Popílky jsou zplodiny spalování tuhých paliv spalovaných zpravidla v jemně mleté podobě, které po procesu spalování pozůstávají převážně ve formě malých kuliček křemičitanového skla. Ve velkém množství jsou produkovány v tepelných elektrárnách, kde jsou zachycovány v záchytných zařízeních (v komorách, v cyklonech a v elektrostatických filtrech).

3.5.1 TECHNOLOGIE SPALOVÁNÍ

Proces spalování je nejstarším a nejčastějším způsobem využití uhlí. Princip je založen na exotermní reakci uhlíku z paliva (uhlí) s kyslíkem z ovzduší.

Tabulka 2: Charakteristika přeměn uhlí po spálení [16]

Surové uhlí před spalováním			
Celková voda		Popeloviny	Hořlavina
povrchová	hygroskopická	křemičitany Ca a Al	Tuhá prchavá
		uhličitany Mg a Fe	uhlík, vodík, síra, dusík, kyslík
		SiO ₂ , pyrit, atd.	



Zbytky po spálení surového uhlí		
Plynné z vody	Tuhé z popelovin	Plynné z hořlaviny
vodní pára	struska + popílek	složky kouřových plynů
	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, FeO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O atd.	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO _x , H ₂ , vzdušný O ₂ a N ₂ , vodní pára

Produkty spalování kromě tepla jsou dále oxid uhličitý, vodní pára, odpad v podobě oxidů síry a dusíku a v podobě popílku. Na spalovací proces má značný vliv kvalita uhlí a úpravnické procesy, které jeho kvalitu zlepšují.

Průběh spalovacího procesu má několik fází a ovlivňuje ho mnoho faktorů. Pro co nejeftivnější spalování dochází ke zdokonalování technologie. Díky tomu se minimalizovalo i množství škodlivých látek, které jsou vypouštěny během spalování do ovzduší. [16]

3.5.1.1 TYPY OHNIŠŤ

Charakter spalovacího procesu má významný vliv na vazbu prvků do popelovin. V současnosti rozeznáváme tři typy ohnišť a to roštová, prášková a fluidní.

3.5.1.1.1 ROŠTOVÁ OHNIŠŤE

V roštových ohništích se spalují kusová tuhá paliva ve vrstvě na roštu. Dělí se do dvou základních skupin:

- S pevným roštem
- S mechanickým roštem

Tato ohniště se skládají z několika částí: ze spalovacího prostoru, roštu s palivovou násypkou, popelníku a ze zařízení pro přívod a regulaci vzduchu.

Funkcí, které má spalovací rošt během procesu, je několik:

- Vytvářet a udržovat vrstvu paliva v požadované tloušťce a požadované prodyšnosti
- Zajišťovat přívod spalovacího vzduchu do všech míst celé plochy roštu
- Shromažďovat a zachytávat tuhé zbytky ze spalování
- Umožnit postupné vysoušení, zahřátí na zápalnou teplotu a dokonalé vyhoření všech zrn
- Regulovat tepelný výkon (omezeno konstrukčními podmínkami)

Mezi největší nevýhody patří velká hmotnost, malá výkonnost a dlouhé doby nájezdu ze studeného stavu. Kvůli těmto nevýhodám jsou téměř úplně nahrazeny jinými druhy ohnišť, případně jsou modernizovány. [16]

3.5.1.1.2 PRÁŠKOVÁ OHNIŠTĚ

V práškových ohništích se spaluje uhelný prášek, který se před použitím nejdříve suší, drtí, mele, případně jinak upravuje. Takto upravený prášek se přivádí do spalovacího prostoru pomocí trysek hořáků současně se vzduchem. Uhelný prášek má několik set krát větší měrný povrch než uhlí tříděné (používané v roštových ohništích), čímž je urychlen celý spalovací proces.

Podle způsobu vypouštění strusky dělíme prášková ohniště na:

- Granulační
- Výtavná

Granulační ohniště se používají pro méně hodnotná paliva. Teplota jádra (plamene) v ohništi je závislá na typu paliva a pohybuje se mezi 1100 až 1500 °C. Při ochlazení ohniště dochází k tvorbě tuhé škváry, ve které se zachytí 15-25 % popelovin. Popílek odchází přes odlučovače do komína.

Výtavná ohniště potřebují ke spalovacímu procesu teploty vyšší, než je teplota tečení popelovin (nad 1400 °C). Spalovací prostor musí být speciálně vyzděn nebo obložen. Popeloviny se pak roztavují a v tekutém stavu se odstraňují z ohniště. V tomto typu ohniště se využívá stropních hořáků. Spalování je vhodné pro uhlí zejména černé, resp. antracitové s malým množstvím těkavých látek. [16]

3.5.1.1.3 FLUIDNÍ OHNIŠTĚ

Spalovací komora fluidního ohniště je tvořena vertikálním válcem, pod kterým je do komory vháněn vzduch několika otvory a jehož spodní část je vyplněna inertním materiálem, obvykle pískem. Palivo a vznikající popílek se prouděním vzduchu se spaliny rozvrství do různých výšek (dle hmotnosti zrn) a částice se neustále víří (vyhoříváním se postupně zmenšují). Spékání sypkého popílku je nežádoucí (teplota popílku musí být nižší, než je teplota měknutí popelovin).

Systémy fluidního spalování se rozlišují v současnosti následovně:

- AFBC (fluidní spalování za atmosférického tlaku)
- PFBC (fluidní spalování při zvýšeném tlaku)
- CFBC (cirkulační fluidní spalování)

Moderní fluidní ohniště bývají cirkulační (obsahují horký cyklón, jenž odlučuje větší částice a vrací je do oběhu). Jsou efektivní a účinnost spalování je vysoká. Ke snížení tvorby škodlivých emisí přispívá i schopnost rozkladu při nižších teplotách, než je tomu u vysokoteplotního spalování. Teplota ve fluidním ohništi dosahuje teplot okolo 900 °C. [16]

3.5.2 DRUHY POPÍLKU

3.5.2.1 VYSOKOTEPLTNÍ POPÍLEK

Vysokoteplotní popílký vznikají při spalování uhlí při teplotě 1200 °C až 1700 °C v práškovém ohništi. Vysokoteplotní spalování vyžaduje odsiřování spalin, které se provádí vápnem a vápencem. Výsledným produktem odsiřování je nejčastěji dihydrát síranu vápenatého, tedy sádrovec.

Pokud spalované uhlí obsahuje karbonáty (uhličitany), pak při klasickém spalování dochází k vytvoření oxidu vápenatého a k jeho reakci s oxidem siřičitým. Při reakci vzniká síran vápenatý, který se při teplotě nad 1100 °C dále rozkládá na oxid siřičitý, oxid vápenatý a kyslík. Oxid vápenatý je kvůli vysoké teplotě spalování málo reaktivní. Jedná se o tzv. mrtvě pálené vápno, jehož přítomnost není v kompozitech vyrobených z popílku žádána, protože dochází ke zpožděné hydrataci, která může způsobovat objemové změny.

Popílek, jehož zrna vznikla utužením taveniny, obsahuje amorfní SiO_2 a krystalickou fázi, kterou tvoří mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), křemen (SiO_2), zbytky nespáleného uhlí, minerály železa atd. Vysokoteplotním spalováním obvykle získáme zrna, která mají převážně kulovitý tvar, velikost od 0,001 až 0,1 mm a měrný povrch okolo 300 m²/kg. Kulovitá zrna mohou být dutá (tzv. cenosféry), nebo mohou být vyplněna cenosférami menších rozměrů (tzv. plelosféry). Plné částice obsahující stopy železa nebo křemíku jsou méně časté.

Popílek má barvu dle spalovaného paliva, šedou až černou, v závislosti na obsahu břidlice (světlá barva) nebo pyritu (tmavá barva).

Kritéria, která musí popílek splňovat pro využití ve stavebních materiálech, jsou různá dle daného využití. Například popílek, který je využit jako příměs do betonu musí mít ztrátu žíháním maximálně 8 %, obsah síry nesmí převyšovat 3 %, z toho sulfidické síry (Si^{2-}) max. 0,4 % a aktivitu ²²⁶Ra max. 200 Bq/kg. [10]

Výsledek procesu spalování uhelných částic velmi závisí na množství tepla dodaného částicím (na teplotě ohniště). Pokud není jednotlivým částicím dodáno potřebné teplo potřebné pro dokonalé spalování, dochází ke vzniku tvarově nepravidelných částic, které

obsahují poměrně velké množství krystalické fáze. Množství krystalické fáze, která je mj. závislá na velikosti zrn namletého uhlí, je v černouhelných vysokoteplotních popílcích zhruba 10 %. Převládající část popílků jsou amorfní alumosilikáty (okolo 80-95 %).

Nedokonalým spalováním uhelné složky vzniká nedopal, který představuje podstatnou vlastnost popílků pro jejich další využití. Množství nedopalu ovlivňuje několik faktorů, zejména obsah popela a prchavých složek v palivu (v uhlí), jemnost mletí, velikost ohniště a celková zátěž spalovacího zařízení. [16]

3.5.2.2 FLUIDNÍ POPÍLEK

Principem fluidního spalování je spalování paliva společně se sorbentem. Sorbent se přidává podle množství síry v uhlí. Důvodem vyššího obsahu CaO v těchto popílcích je přidávání mletého vápence (CaCO_3), popř. dolomitu jako sorbentu. Pokud se jako sorbent použije dolomitický vápenec, popílek bude obsahovat vyšší podíl oxidu hořečnatého (MgO), což je ve stavebnictví považováno za nepříznivé. Fluidní spalování probíhá za nižších teplot, než je tomu u vysokoteplotního spalování, a to při teplotách okolo 850 °C. Popílků nemají kulovitý tvar, protože mají morfologii původního uhelného zrna.

Jak již bylo zmíněno v podkapitole o fluidních ohništích, můžeme fluidní spalování dělit do několika systémů: AFBC, PFBC a CFBC.

Po fluidním spalování vznikají dva typy popílku. Prvním typem je ložový popel, který při spalování propadá roštem pod fluidním prstencem. Částice jsou větší a dosahují vyšších hmotností. Díky vysokému obsahu měkce páleného vápna a anhydritu má velmi dobré chemické složení a neobyčejně dobré hydraulické vlastnosti, tudíž při smíchání s vodou dokáže sám tuhnout a tvrdnout. Fluidní filtrační popílek se skládá z jemných částic, které jsou při procesu unášeny se spalinami do komína přes elektrostatické odlučovače, kde jsou zachytávány.

Díky vápenci jsou tyto popílků charakteristické svým vyšším obsahem vápníku. Krystalická fáze je tvořena mineralogickými novotvory ve formě anhydritu CaSO_4 , portlanditu Ca(OH)_2 , sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kalcitu CaCO_3 , křemene SiO_2 atd. [10]

3.5.2.3 SROVNÁNÍ VYSOKOTEPLNÍCH A FLUIDNÍCH POPÍLKŮ

Mezi největší rozdíly fluidních a vysokoteplotních popílků patří chemické i mineralogické složení. Zásadní rozdíl mezi oběma typy je především v podílu oxidů síry SO_x a to zejména oxidu sírového SO_3 (obsah až 20 % hmotnostních), oxidu siřičitého SO_2 ,

volného vysoce reaktivního CaO (obsah až 15 % hm.), někdy i vyšší ztráty žháním (až 15 % hm.) u typu popílku z fluidního spalování.

Fluidní popílky tuhnou i tvrdnou (nedefinovatelně) již při pouhém smísení s vodou bez dalších přísad a příměsí, vysokoteplotní popílky mají pouze pucolánovou aktivitu. Pojivých vlastností u fluidního popílku je dosaženo zejména přítomností anhydritu (zhruba 20 % hm.) a volného vápna, které je, jak již bylo zmíněno, měkce páleno, a tudíž vysoce reaktivní.

Ve stavebnictví se popílky hojně využívají jako příměs do betonu. Fluidní popílek však nelze hodnotit podle ČSN EN 450-1 Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody, neboť nevyhovuje již zásadní definici a nesplňuje předepsaná technická kritéria, tudíž jako příměs do betonu není použitelný.

Základní rozdělení popílků vychází z jeho chemického složení nebo obsahu CaO. Takto se popílky dělí na dvě skupiny:

1. Popílky, které obsahují vysoký podíl oxidu vápenatého CaO (15 až 40 % hmotnostních), oxidu železitého Fe₂O₃, oxidu hlinitého Al₂O₃, oxidu křemičitého SiO₂, vznikající ze spalování uhlí nižší kvality (podle americké klasifikace ASTM C 618 patří takový popílek do třídy C).
2. Popílky, se zanedbatelným obsahem oxidu vápenatého (méně než 5 %) a typicky přítomným vysokým podílem oxidu křemičitého SiO₂, vznikající spalováním antracitu nebo lignitu (podle klasifikace ASTM C 618 patří takový popílek do třídy F). [10] [16]

3.5.3 SOUČASNÉ VYUŽITÍ POPÍLKU VE STAVEBNICTVÍ

Popílky jsou ve stavebnictví hojně využívány:

- pro přípravu popílkových portlandských cementů,
- k výrobě umělých hydraulických vápen a dalších maltovin,
- jako příměsí do obyčejných betonů,
- pro zlepšení zpracovatelnosti, snížení mezerovitosti a jako součást lehkých hutných betonů,
- pro výrobu autoklávovaných a neautoklávovaných, makropórovitých i mikropórovitých betonů,
- pro výrobu umělého hrubozrnného pórovitého kameniva aglomerací a sbalkováním (peletizací) a zpevněním za studena,
- k výrobě speciálních lehkých betonů a jiných stavebních látek (v hrubé keramice apod.),
- pro zásypy (silniční stavitelství) a ochranné vrstvy střešních krytin [2]

Technologie spalování má značný vliv na složení popílků, jak již bylo uvedeno, rozdílné vlastnosti vysokoteplotních popílků a fluidních popílků představují různé možnosti v jejich dalším využití. Převážná část popílků se v současnosti stále deponuje na úložištích v blízkosti zdrojů produkce. Pro uložení popílků do vytvořených deponií je nutné popílků upravit. Tři formy úprav popílků rozdělujeme na aglomerát, deponát a stabilizát.

Aglomerát je směs popílku, popela a asi 25 % vody. Smícháním se uvolňuje pouze malé množství škodlivin a směs nepráší.

Deponát je směs popela, energosádrovce a zhruba 25 % vody. Vyluhovatelnost škodlivin je snižena oproti vstupním složkám, ale vzniklá směs není dobře propustná (asi desetkrát méně), než jsou směsi samostatných složek.

Stabilizát je nejrozšířenější formou ukládání ve světovém měřítku. Vzniká smísením popílků, energosádrovce a aditiv (vápno, cement). Tuhne po přidavku vody podobně jako beton. Dosahuje pevností v rozmezí 10 až 20 MPa. Škodlivé látky jsou chemickou vazbou navázány na krystalickou mřížku materiálu a díky tomu vykazuje nízkou propustnost vody vlastní vrstvou. [19]

3.5.3.1 UMĚLÁ POPÍLKOVÁ KAMENIVA

3.5.3.1.1 SPÉKANÉ KAMENIVO

Uměle vyráběné spékané popílkové kamenivo pod názvem agloporit je na našem území známo již několik desetiletí. Výroba probíhá slinováním krátkodobým výpalem prováděným na aglomeračních roštích. Surovinovou směs pro výrobu agloporitu tvoří různé odpadní materiály z energetických, hutních a jiných průmyslů. Tyto odpady mohou mít značně rozdílné fyzikální vlastnosti a chemické složení. U nás se pod názvem agloporit rozumí agloporit popílkový, což je umělé kamenivo vytvářené zejména sbalkováním létavých popílků a vypálené zpravidla na aglomeračních roštích.

Aglomerace na slinovacích roštích je možná nejen u popílků, ale i dalších surovin jako jsou škvára, uhelnaté břidlice, hlušiny, uhelné kaly atd. Nejvýhodnější je využití takových surovin, které samy o sobě obsahují určité množství spalitelných látek z důvodu podpory exotermické reakce po zapálení suroviny na roštu a napomáhají tak k výpalu suroviny. [2]

3.5.3.1.1 SUROVINOVINOVÁ VSÁZKA

Suroviny pro výrobu agloporitu je možné rozdělit do třech skupin podle stupně hutnosti a dle obsahu vlhkosti.

První skupinu tvoří suché zrnité nebo kusové látky, jako jsou škváry, břidličnaté výpěrky apod.

Ve druhé skupině nalezneme nezpevněné materiály s přirozenou nebo zvýšenou vlhkostí, například uhelné jílovité kaly, haldoviny atd.

Do třetí skupiny řadíme suché prachovité látky, především sem patří popílký.

Úprava vsázky je u každé skupiny rozdílná. Kusové zrnité materiály se promísí s vodou, případně se upraví obsah spalitelných částic. Kypré nepevné materiály se nejdříve melou, aby měla zrna rovnoměrnou prodyšnost. V poslední skupině prachovitých (vysoce disperzních) látek není úpravy třeba a surovinová vsázka se může rovnou granulovat.

Pokud nebude vstupní surovina obsahovat dostatečné množství spalitelných látek, je nutné je do surovinové směsi uměle přidat. Minimální obsah těchto spalitelných látek by měl být 5 % a maximální zhruba 12,5 %, přičemž za optimální množství je považováno 9 %. Zde záleží i na velikosti spalitelných látek, protože čím jemnější zrna spalitelné látky mají, tím méně ho může být ve vsázce použito. Naopak, jestliže vsázka obsahuje velké množství spalitelných látek, dochází k nadměrnému slinutí agloporitu a jednotlivá zrna se spojují v tzv. spečence, což může zapříčinit nižší prodyšnost vsázky a s tím spojenou nižší výkonnost procesu. Dalším kritériem pro optimální průběh samovýpalu je zajištění dostatečné prodyšnosti vsázky.

K práškovitým nebo pomletým surovinám se voda přidává při sbalkování, u hrubých zrnitých surovin se voda přidává až před vlastní aglomerací. Její obsah je u popílků v rozmezí 20-30 %. Voda se přidává nejen z důvodu lepší zpracovatelnosti a peletizace, ale i k nepřímé regulaci obsahu spalitelných látek a k udržení stejnoměrné prodyšnosti, což je nutné pro zvětšování pórovitosti a pro stejnoměrný výpal.

Granulačních zařízení, kterých je využíváno k výrobě sbalků je několik. Jednotlivě jsou charakterizována v kapitole o peletizačních zařízeních v této bakalářské práci. [2]

3.5.3.1.2 VÝPAL

Vytvořené sbalky je třeba před výpalem vysušit, zde je možné sušení a výpal spojit a využít tak jednoho agregátu. Při sušení musí pára ze sbalků uniknout tak, aby nedošlo k porušení sbalků.

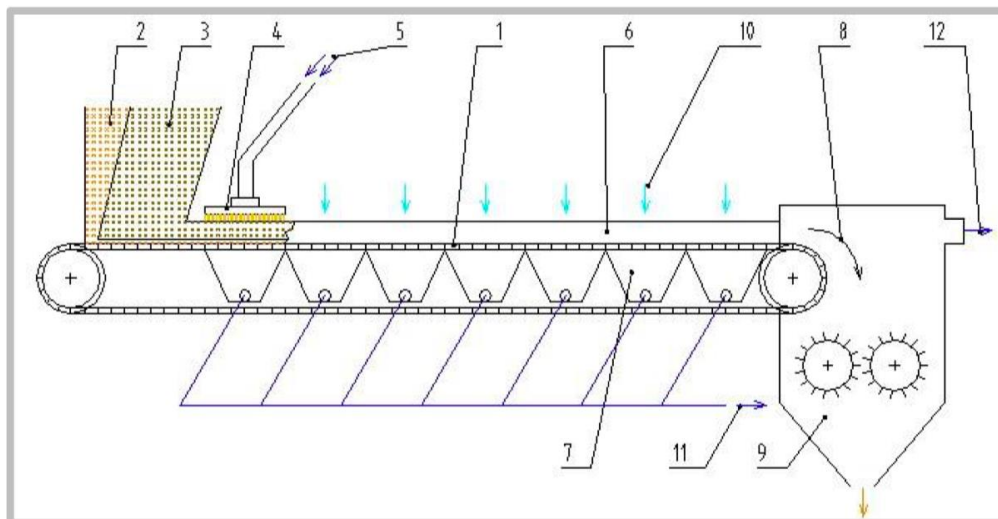
Výpal probíhá na různých typech aglomeračních roštů, v šachtových a rotačních pecích, nebo na speciálních vypalovacích agregátech. Nejlepší zařízení jsou ta, u nichž může být využito prohořívání vsázky tzv. samovýpalem. Nejčastějším způsobem výpalu je spékání na slinovacích (aglomeračních) roštích. Aglomerační rošty jsou pohyblivé pásy zpravidla dlouhé kolem 20 m a široké asi 1 m, na nichž mohou sbalky shora prohořívát směrem dolů. Vzduch, který je potřebný pro správný průběh, se neustále prosává pomocí exhaustorů také shora dolů po celé slinující vrstvě.

Na začátku aglomeračního pásu je umístěn zásobník s roštovinou. Roštovina je ze žárovzdorného materiálu (o tloušťce vrstvy do 3 cm) a chrání tak pás před přímým působením vysoké teploty. Roštovina je obvykle z hrubozrnného přepadu z třídění podrcených sbalků, ale u některých pásů se jí nevyužívá.

Za zásobníkem roštoviny je umístěn zásobník a dávkovač syrových sbalků. Pomocí dávkovače je proveden násyp sbalků na roštovinu, jehož tloušťka činí 20 až 30 cm. Za dávkovačem je ve směru pohybu umístěna zapalovací hlava. Ze spodní strany roštu je v místě hlavy odsávací hlavice s mírným pod tlakem zhruba 13 kPa, tím je docíleno zapálení vrchní vrstvy vsázky. Další odsávací hlavice jsou rozmístěny po celé délce pásu, které zajišťují přísun vzduchu ke sbalkům.

Vypálené sbalky se dále pozvolna chladí a následně drtí a třídí na požadované frakce.

[2]



Obrázek 7: Schéma klasického aglomeračního roštu: 1 – Pohyblivý článkový rošt, 2 – Násypka roštoviny, 3 – Násypka syrové vsázky, 4 – Plynová zapalovací hlava, 5 – Přívody plynu a vzduchu, 6 – Pevné bočnice, 7 – Odtahové komory, 8 – Vyklápění spečenců, 9 – Kapotovaný drtič, 10 – Nasávání spalovacího vzduchu, 11 – Odtah spalin, 12 – Odprášení drtiče [20]

3.5.3.1.2 KAMENIVO ZA STUDENA VYTVRZOVANÉ

Nedostatek pórovitého kameniva vedl v šedesátých letech minulého století k vývoji kameniva, které by k výrobě nepotřebovalo nákladná zařízení jako jsou pece a aglomerační rošty nebo zařízení, která spotřebovávají velké množství tepelné energie. Vyvinutá popílkocementová maltovina, z jednoho dílu namletého železoportlandského cementu a dvou dílů popílku, umožňovala vyrobit sbalky za přídavku roztoku chloridu vápenatého, které za několik dnů vytvrdnou. Tyto sbalky byly navrženy k přípravě lehkých betonů pojeného cementem nebo popílkocementovou maltovinou.

Později bylo zjištěno, že sbalky se dají připravovat ještě jednodušeji přímo z maltoviny, která se vytvoří semletím cementu s popílkem v množství cca 1:8.

Experimentální část výzkumu byla provedena s popílkou z hodonínského provozu. Později se ukázalo, že objemová hmotnost se mění při změně paliva a s tím i součinitel tepelné vodivosti výsledného lehkého betonu, takže nebylo možné vyrábět svislé obvodové konstrukce v ekonomické tloušťce. To bylo důvodem k následnému zastavení výroby. [2]

3.6 PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA

Jako pucolány jsou definovány křemičité nebo hlinitokřemičité látky, které samy o sobě nemají vazebné schopnosti, ale s vodou a s hydroxidem vápenatým reagují za běžných teplot za vzniku sloučenin, které tuhnou, tvrdnou a jsou stálé na vzduchu i pod vodou. [17]

Pucolány jsou materiály, které obsahují amorfní oxid křemičitý SiO_2 , a reaktivní křemičitany, hlinitany a hlinitokřemičitany. V pucolánech je přítomen oxid křemičitý v amorfní formě, a za vzniku hydratovaných křemičitanů vápenatých reaguje s oxidem vápenatým.

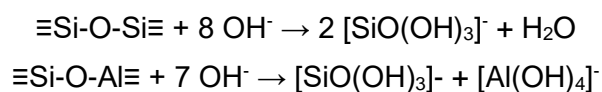
Mezi přírodní pucolány se řadí např. tufy, diatomity, spongility atd.

Jako technogenní pucolány jsou využívány různé druhy vedlejších produktů jako křemičitý úlet, popely a popílkou.

Pucolánovou aktivitou je definována schopnost pucolánů reagovat v přítomnosti vody s hydroxidem vápenatým za normální teploty za vzniku vázaných produktů hydratace. Pucolánová aktivita je určována množstvím oxidu vápenatého a reakční kinetikou této reakce.

Ve vodném prostředí je hydroxid vápenatý zcela disociován na ionty. Vysoká koncentrace OH^- iontů při $\text{pH}=12,45$ způsobuje rozštěpení vazeb v křemičitanech a hlinitokřemičitanech za vzniku jednoduchých iontů. Při kontaktu vzniklých hlinitanových

a křemičitanových iontů s Ca^{2+} ionty dochází k tvorbě hydratovaných křemičitanů (CSH) a hlinitanů vápenatých (CAH). [18]



Pucolánovou aktivitu lze stanovit několika metodami a dělí se na přímé a nepřímé. Přímé metody sledují přítomnost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a jeho obsahové snížení při probíhající pucolánové reakci za použití analytických metod (rentgenová difrakční analýza, termogravimetrická analýza, chemická titrace atd.). Metoda nepřímá je založena na měření fyzikálních vlastností, jako je vedení tepla, elektrická vodivost, nebo stanovení pevnostních charakteristik. [17] [29]

3.6.1 PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA POPÍLKŮ

Popílek má více či méně výrazné pucolánové vlastnosti. Zde závisí především na druhu uhlí a na chemickém a mineralogickém složení paliva.

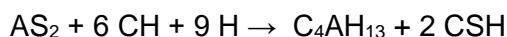
Zhlediska chemického složení je popílek složen z oxidu křemíku, hliníku, vápníku, železa, hořčíku a síry, alkalických oxidů, vedle nedokonale spálených zbytků.

Specifikace popílku kladou důraz na dvě vlastnosti, které určují použitelnost popílku: zrnitost a obsah pucolánově aktivních SiO_2 a CaO . Bylo zjištěno, že menší velikost zrna, např. 20 mikronů pozitivně ovlivňuje pucolánové vlastnosti popílku. Z toho vyplývá, že jemnozrné frakce budou vykazovat vyšší pucolánovou aktivitu než frakce hrubé. [30]

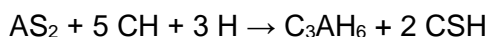
3.6.2 PUCOLÁNOVÁ AKTIVITA CIHELNÉHO STŘEPU

Po výpalu získávají keramické suroviny na teplotu 600 až 900 °C pucolánovou aktivitu. V důsledku výpalu a odchodu vody dochází k deformaci krystalické mřížky za vzniku metastabilních amorfních fází. Jestliže obsahují jílové složky převážně jílový minerál kaolinit, který při teplotě výpalu v rozmezí 500-600 °C přechází na metakaolinit, může dojít ke třem reakcím s hydroxidem vápenatým za vzniku produktů C_4AH_{13} , C_3AH_6 , C_2ASH_8 a CSH, které mají pucolánové vlastnosti.

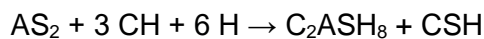
Pokud bude střep vypálen na teplotu vyšší než 900 °C, mohou být amorfní fáze opět přeměněny do nových stabilních sloučenin jako je mullit a trydimit, které již s hydroxidem vápenatým nereagují za běžných teplot, tedy ztrácí pucolánovou aktivitu.



Metakaolinit + vápno + voda → tetrakalciumaluminát hydrát + tobermorit (CSH1)



Metakaolinit + vápno + voda → trikalciumaluminát hydrát + tobermorit (nebo CSH1)



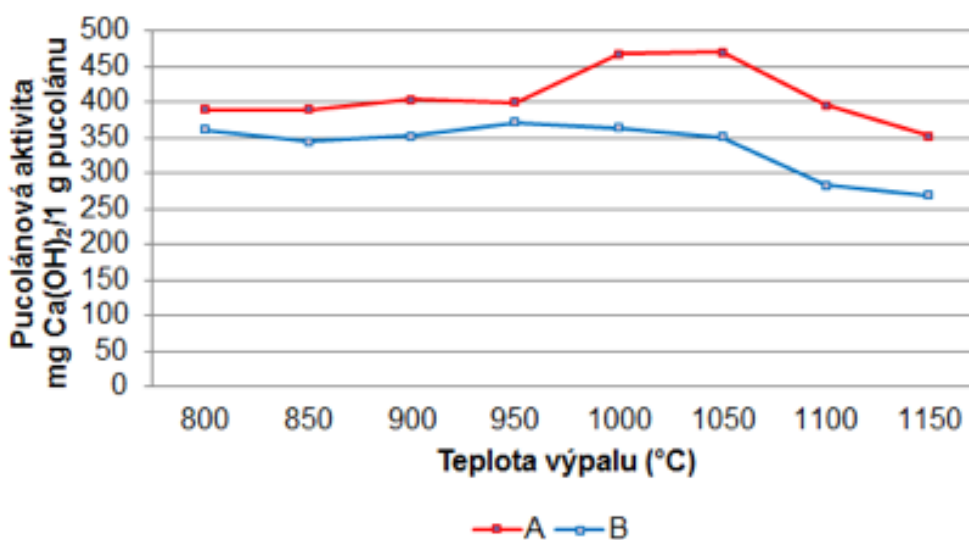
Metakaolinit + vápno + voda → gehlenit + tobermorit (nebo CSH1)

Pucolánová aktivita je ovlivněna fyzikálně-chemickými vlastnostmi (obsah skelné fáze, obsah oxidu křemičitého, velikost zrna, specifický povrch, kvalita surovin).

V rámci výzkumu byla sledována pucolánová aktivita v závislosti na teplotě výpalu. Chemické složení je uvedeno v tab. 3 a grafické vyhodnocení na obr. 8 níže. [29]

Tabulka 3: Chemické složení cihlářských zemin A a B [29]

Cihlářská zemina	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃
A obsah [%]	57,07	15,06	4,79	10,70	4,00	3,09	1,01	0,41	0,05	0,16	1,21
B obsah [%]	76,49	18,36	5,13	0,69	1,19	2,48	1,17	0,61	0,06	0,11	0,07



Obrázek 8: Grafické znázornění pucolánové aktivity vzorků A a B v závislosti na teplotě výpalu [29]

Výsledky ukázaly, že vyšší pucolánovou aktivitu vykazuje vzorek s vyšším obsahem vápníku. Z grafického vyhodnocení na obr. 8 je patrné, že rostoucí teplotou pucolánová aktivita mírně roste, od teploty 1050 °C výrazně klesá. Hodnota pucolánové aktivity dokazuje, že cihelný střep reaguje s hydroxidem vápenatým. [29]

3.7 TECHNOLOGIE GRANULACE

Metody průmyslové granulace jsou založeny na principu spojování menších částic do větších celků. Podstata této úpravy spočívá ve změně disperzity částic k větší zrnitosti. Tato mechanická transformace nesmí způsobit, že se sníží fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti, ale naopak, předpokládá se zlepšení těchto vlastností. V současnosti se v průmyslu jemnozrnné částice granulují z důvodu snížení prašnosti těchto materiálů a z toho plynoucí méně náročné uskladnění a případné využití těchto vedlejších produktů.

Granulace je tedy proces, jehož výsledkem je přeměna sypkých látek s velmi malými částicemi na látku s částicemi většími. V průběhu tohoto procesu dochází ke shlukování malých částí jemnozrnného materiálu do větších celků. Podle určitých vlastností a typu procesu nazýváme sbalky granulami, briketami, peletami apod. Výsledný produkt nemusí být vždy konečným produktem, často se granulace využívá k úpravě vstupní suroviny do přijatelnější formy. [4]

V rámci různé literatury je proces peletizace zařazen pod vlhkou metodu granulace, ale v praxi se v tomto případě využívá více termín peletizace než granulace.

3.7.1 VAZBOVÉ SÍLY MEZI ČÁSTICEMI

K vytváření sbalků je třeba zajistit vytvoření sil, které vážou jednotlivé částice k sobě. Mezi těmito částicemi mohou nastat některé vazbové síly, které jsou uvedeny níže:

- a) Vazby látkové povahy
 - můstky tuhé fáze
 - adsorbované vrstvy
 - kapalinové můstky
 - tvarové vazby

- b) Vazby energetické povahy
 - Van der Waalsovy síly
 - elektrostatické síly
 - magnetické síly
 - volné chemické vazby

Můstky tuhé fáze mohou vznikat následovně:

- chemickou reakcí
- krystalizací rozpustné složky při vysoušení
- spojením a nastavením v místě spojení za studena
- vytvrzením s užitím pojiva
- sintrováním (spékáním)

Můstky kapalně fáze mohou vznikat například:

- vazbami kapilárními silami volně pohyblivé kapalně fáze mezi částicemi
- vazbami kapalinovými můstky z nepohyblivé kapaliny na povrchu částic
- vazbami vzniklými viskózními pojivy

Van der Waalsovy síly jsou nejslabší z přitažlivých sil mezi částicemi.

Elektrostatické síly vznikají přestupem elektronů mezi povrchy (např. třením), ale mají dlouhý dosah, proto nevyžadují povrchový kontakt.

Pevné můstky vznikají nejčastěji vysušením kapalinových můstků.

Krystalové můstky vznikají navlhčením, částečným rozpuštěním a opětovným vysoušením.

Pojivové můstky vznikají vysušením roztoku složeného z pojiva. [4][21]

3.7.2 POŽADAVKY NA SBALKY

Partikulární látky (vedlejší energetické produkty ve formě prachu, popílek atd.) mají jednu více vlastností, které nevyhovují manipulaci, přepravě či dalšímu výrobnímu procesu.

Mezi tyto základní vlastnosti patří zejména:

- nevyhovující tokové vlastnosti
- volně poléťavé částice při manipulaci
- v některých případech sypká konzistence
- segregace složek dle velikosti a hustoty částic
- adheze k povrchu výrobního zařízení
- další nevhodné zpracovatelské, užitné vlastnosti

U výsledného produktu musíme zhodnotit, zda vyhovuje našim veškerým požadavkům a zajímají nás zejména tyto vlastnosti:

- tvar a velikost sbalku (dle použité technologie)
- hustota, porozita
- pevnost [22]

3.7.3 GRANULACE

Metody granulace, můžeme podle způsobu provedení rozdělit na suché, které probíhají v přítomnosti kapaliny nebo kapalného pojiva a vlhké, kde je přítomné pojivo většinou ve formě tuhé.

3.7.3.1 SUCHÁ GRANULACE

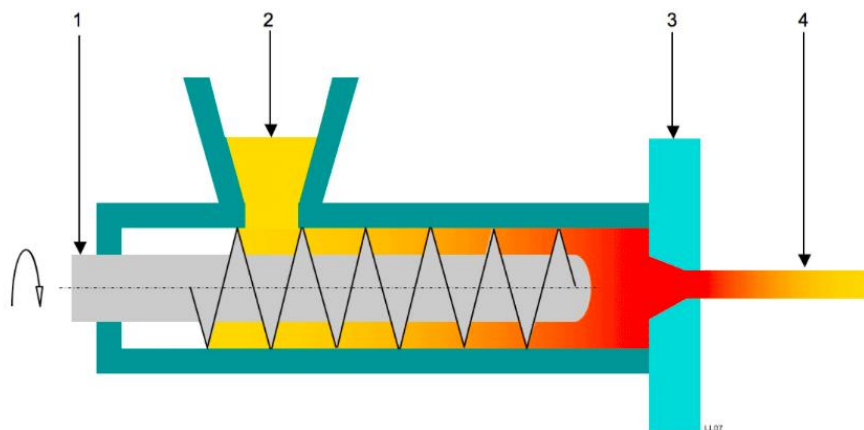
Při tomto procesu jsou tuhé částice vystaveny působení tlaku do těsného kontaktu (případně s pojivem).

U tohoto procesu je surovina suchá nebo mírně zvlhčená. Po granulaci tak není třeba zajistit sušení. Jestliže granulovaná surovina podléhá plastické deformaci (tlakem upravený tvar se po uvolnění nevrací do původní podoby), tak není přidání pojiva potřebné.

Částice se pomocí tlaku dostanou do těsného kontaktu, kde účinkem Van der Waalsových sil (dipól-dipól a stálý dipól-indukovaný dipól) krátkého dosahu drží materiál pohromadě. Částice také mohou být zahřáty nad bod měknutí a poté schlazeny (sintrace). [22] [24]

3.7.3.1.1 VYTLAČOVÁNÍ

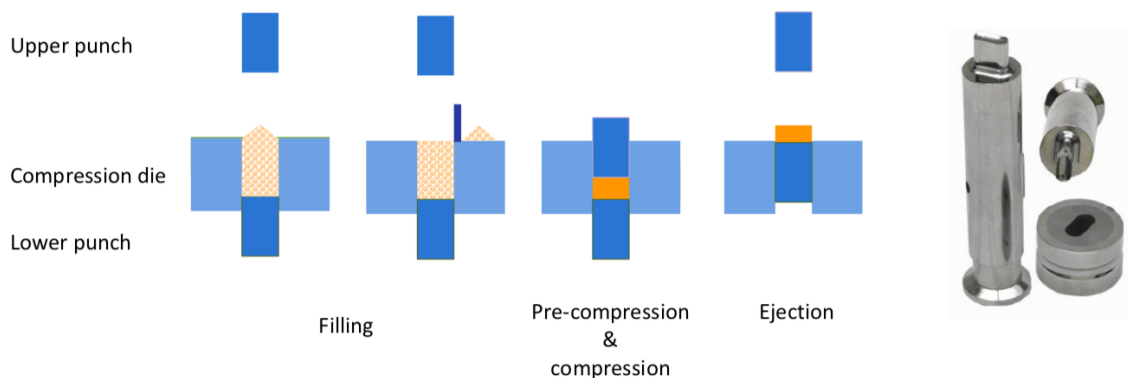
Extruze neboli vytlačování je metoda suché granulace. K materiálu se přidá granulární kapalina, směs se zhomogenizuje a protlačuje se (šnekem) přes síto. Výsledkem tohoto procesu jsou dlouhé tyče, které jsou rozděleny (řezáním, sekáním) na požadovanou délku, a poté případně obroušeny na požadovaný tvar. Této technologii se využívá v metalurgii, ve farmacii, při zpracování plastů, k výrobě pelet atd. [24]



Obrázek 9: Schematické znázornění procesu extruze [25]

3.7.3.1.2 TABLETOVÁNÍ

Technologie tabletování se využívá zejména ve farmaceutickém průmyslu. Zde jsou využívány raznicové lisovny. Požadavky na přímé stlačení práškové směsi jsou zejména vysoká sypanost, nízká segregace a vysoká kompaktnost. Na obr. 10 je vlevo znázorněna výroba (plnění, stlačení, vytlačení) a vpravo lisovací přípravek. [22] [26]

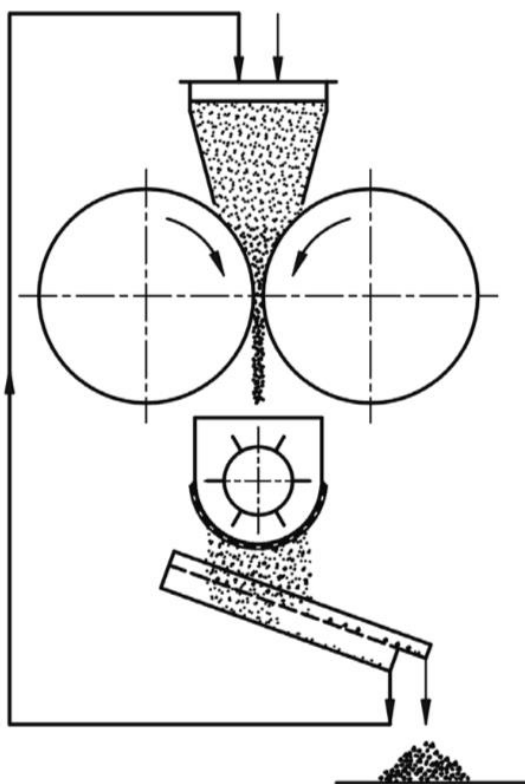


Obrázek 10: Fáze procesu tabletování [26]

3.7.3.1.3 STLAČOVÁNÍ

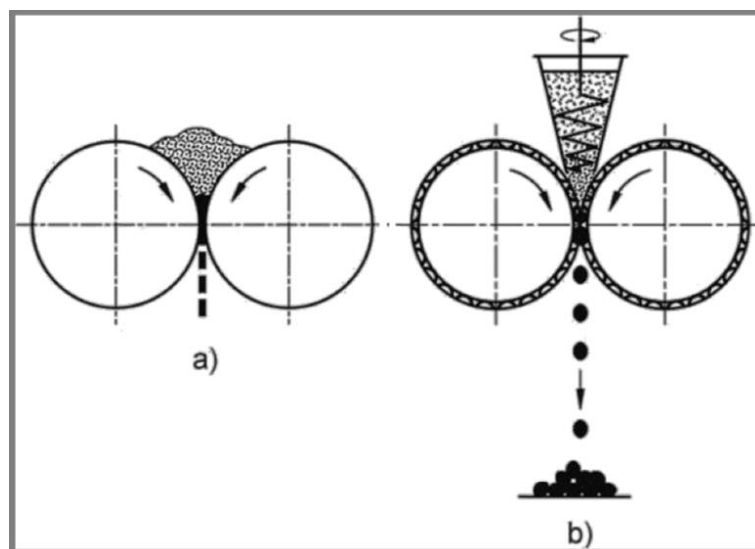
Stlačování je jedním z granulačních procesů, kde se využívá lisování. Výsledný produkt je nazýván nejčastěji briketami. Brikety jsou vytvářeny z prášku, který se přivádí do otáčivých válců. Výsledné pevnosti briket jsou vysoké. Brikety mohou být různého tvaru, který je daný profilem válců. Válce se otáčejí stejnou rychlostí.

Pokud je válec hladký, vznikají listy, pláty či větší shluky. Surovina ve formě práškového materiálu je dodávána do prostoru mezi válce pomocí gravitace nebo podavačem. Z těchto válcových kompakátorů vypadává směs ve formě listů, plátů či větších shluků, která se mele na částice požadovaného rozměru a dále se třídí na síťovém třídíči. Po vytřídění se nadsítňá část pomele a vrací do výroby, což je znázorněno na obrázku 11.



Obrázek 11: Schéma granulační linky s třídícím [22]

Pokud je válec profilovaný, vznikají granule již požadované velikosti a tvaru. Obvykle se tedy dále neupravují.

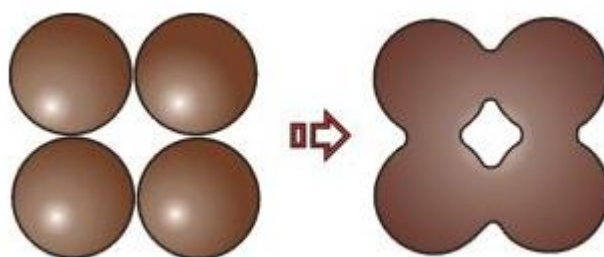


Obrázek 12: Válcový lis a) s hladkými válci, b) s rotačním podavačem [22]

Tato metoda suché granulace byla vyvinuta původně pro účely farmaceutického průmyslu, kde nebylo možné některé látky spojovat za přídavku vody (aspirin apod.). [22] [24]

3.7.3.1.4 SINTROVÁNÍ

Tato metoda se využívá ke zpevnění granulí, u nichž nejsou kladeny vysoké požadavky na pevnost. Granule se zahřejí na teplotu měknutí (cca 60 % teploty tání). V tuhé fázi dojde k difúzním procesům, které mají za následek částečné spojení granulí. Uvnitř jsou granule duté, ale přesto mají vyšší pevnost a měrnou hmotnost, než měly granule v původním stavu. Při dalším zahřátí na teplotu tání dojde ke spojení částic a k téměř úplnému zaplnění volného prostoru v granuli. [24]

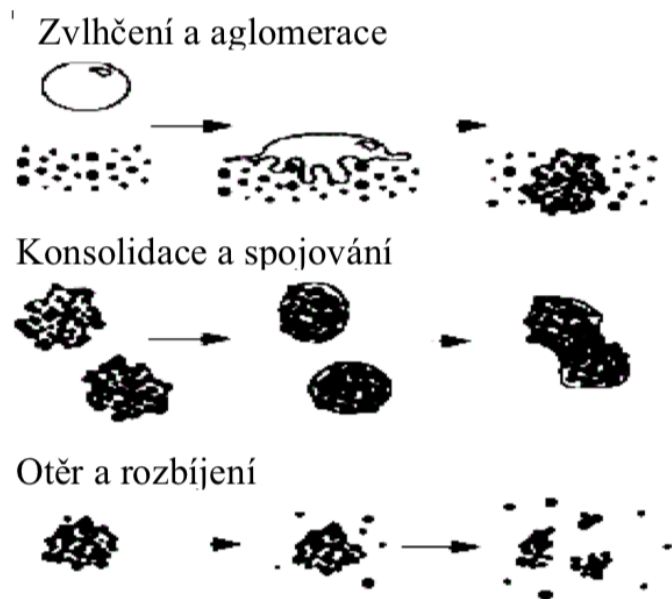


Obrázek 13: Sintrování tuhých částic [23]

3.7.3.2 VLHKÁ GRANULACE

Vlhkou granulací je možné vytvářet granule o velikosti 0,1 až 10 mm, má širší použití, protože přidáním kapalně fáze se usnadňuje proces aglomerace. Vlhká granulace je založena na vlhčení suché směsi kapalinou, například vodou, ethanolem, roztoky polymerů, roztoky želatin, roztoky celulósových etherů apod. Při vlhčení dochází k mísení směsi, čímž dochází i ke tvorbě shluků. Kapalina musí vytvořit dostatečné adhezivní účinky, proto se místo vody využívá jiných látek např. pojiva a rozpouštědel. Pojiva se mohou do směsi přidávat v suchém stavu nebo do vody (vlhčidla), metoda přidavku pojiva v suchém stavu se často nevyužívá z důvodu nízké efektivity. Po vytvoření je nutné granule vysušit, aby došlo k vytvoření pevných vazeb z kapalinových můstků.

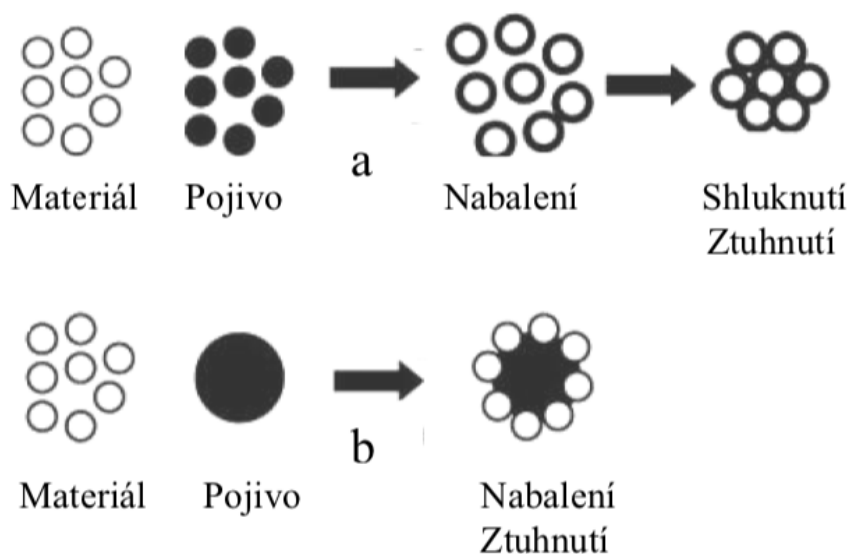
V aglomeraci růstem rozpoznáváme několik pochodů. Na počátku kapka vlhčidla dopadne na povrch prášku a vsákne se do něj, obalí jemné částice filmem a pomocí něj a kapilárních sil drží částice pohromadě. Tento stav se nazývá nukleace. V nukleu, tedy shluku částic, dochází mechanickým působením k přibližování částic k sobě a vytlačování kapaliny na povrch. Vznikají zde kapalně můstky, krystalové můstky nebo matrice. Zvlhčený povrch se pak stane vhodným k nabalování (vrstvení) dalších částic. Pokud je mechanické namáhání příliš velké, dojde k oděru a k rozpadu granulí.



Obrázek 14: Mechanismus granulace růstem [24]

Druhým typem vlhké granulace je granulace ve fluidní vrstvě. Ze suspenze, která je rozprášena atomizérem nebo tryskou, se odpaří vlhčidlo za vzniku krystalických můstků, případně ztuhne kapalné pojivo mezi částicemi.

Pokud je použité pojivo ve formě taveniny, která smáčí povrch materiálu, tak nejprve dojde k promísení taveniny s materiálem a poté k nabalení taveniny na povrch částic (obr. 15, a). Jestliže je jako pojivo použita tavenina, která povrch částic nesmáčí, dochází k nabalení částic na roztavené kapky pojiva (obr. 15, b). [22] [24]

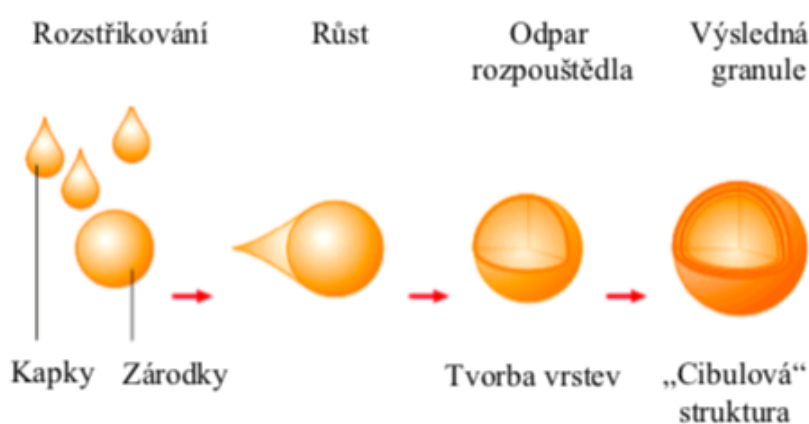


Obrázek 15: Granulace roztaveným pojivem [24]

3.7.3.2.1 GRANULACE VE FLUIDNÍ VRSTVĚ

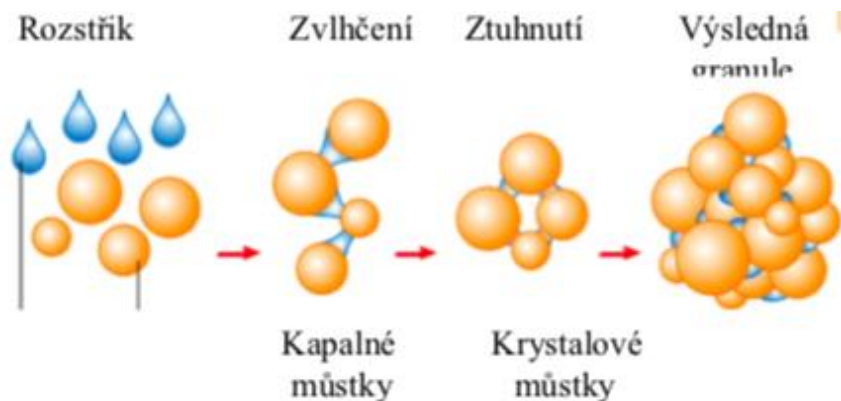
Tato technologie se dělí na dva typy a je založena na rozstříkávání pojiva nebo suspenze.

Při rozstříkávání roztoku (suspenze) na tuhé částice ve fluidním stavu (ve vznosu), dochází k vytvoření kapalná vrstvy na povrchu částic. Tato kapalná vrstva je vytvořena z přiváděné suspenze, roztoku nebo taveniny. Jakmile tavenina ztuhne, je vytvořena nová vrstva tuhého materiálu. Výsledný aglomerát má vrstevnatou strukturu, která je přirovnávána k podobě cibule. Mechanismus tohoto typu granulace ve fluidní vrstvě je znázorněn na obr. 16.



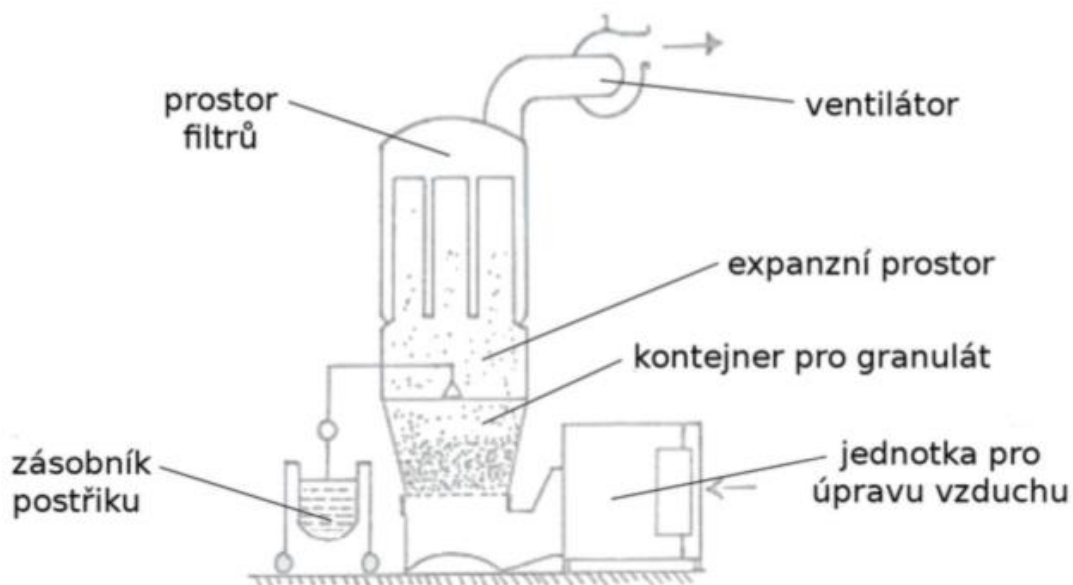
Obrázek 16: Mechanismus aglomerace rozstříkáním suspenze [24]

Při rozstříkávání pojiva na částice ve fluidním loži se nejprve vytvoří kapalně můstky mezi jednotlivými částicemi. Poté, co je dosaženo požadované velikosti aglomerátu, se rozstříkávání zastaví a odpaří se přebytečná kapalina. Tímto procesem vzniknou tuhé můstky a vzniklá struktura je zachována. Velké množství dutin v aglomerátu je možné ovlivnit množstvím nastříkané kapaliny.



Obrázek 17: Mechanismus aglomerace rozstříkáním pojiva [24]

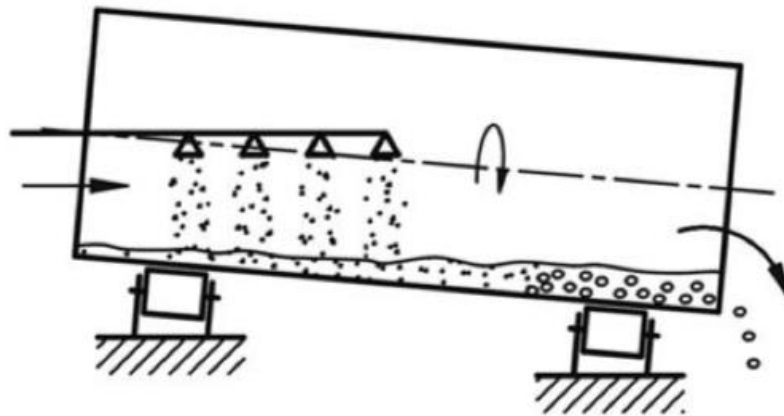
Samotná granulace rozstřikováním je realizována ve fluidním granulátoru, kde perforovaným roštem prochází horký vzduch vytvářející fluidní prostředí. Jednou nebo dvěma tryskami je rozstřikována suspenze nebo granulační kapalina. Jemné částice jsou unášeny do filtru a poté vráceny zpět do granulátoru. Velké granule klesají na dno fluidního lože odkud jsou odebírány a následně tříděny. Menší granule jsou vráceny zpět do výroby.



Obrázek 18: Fluidní granulátor [27]

3.7.3.2 GRANULACE V GRANULAČNÍM BUBNU

Granulační buben je válcové zařízení s délkou bubnu až pětkrát větší, než je jeho průměr. Buben je odkloněn od vodorovné osy o 2-5°. Plnění bubnu je maximálně 20 % jeho objemu. Kapalina může do bubnu vstupovat buď se surovinou, nebo je rozstřikována na materiál až v bubnu. Buben se otáčí rychlostí 11-13 otáček za minutu. Výsledné sbalky jsou různé velikosti, menší frakce se mohou vracet do bubnu za účelem jejich zvětšení, z tohoto důvodu je obvykle za buben instalován tříděč. Značná rozdílnost frakcí je považována za nevýhodu tohoto typu granulátoru. [22] [24]



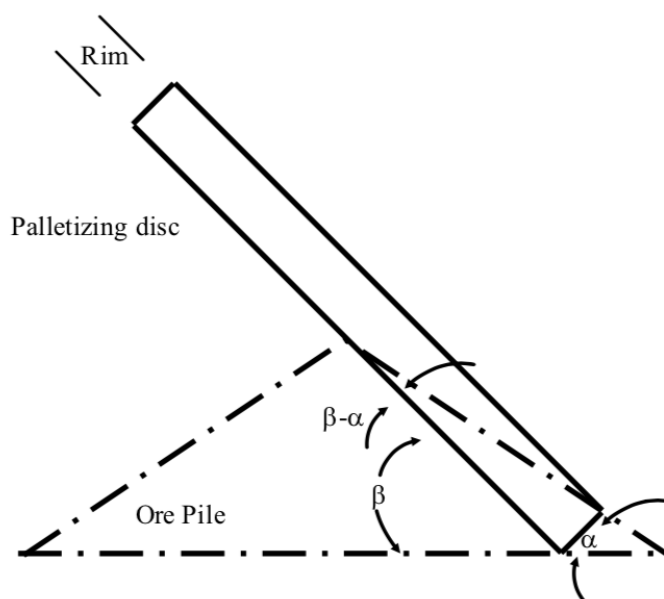
Obrázek 19: Granulační buben [22]

3.7.3.2.3 PELETIZACE NA PELETIZAČNÍM TALÍŘI

Peletizační talíř je účinným granulačním, resp. sbalkovacím zařízením. Suchá nebo mírně zvlhčená surovina se dávkuje pomocí šnekového podavače či třasného žlabu na peletizační talíř, kam je tryskami přiváděna voda. Peletizační talíř je odkloněn od své osy, jejíž sklon je měnitelný. Kapky vody vytvářejí malé kuličky nabalením materiálu, jejichž tíha působí opačně, než je směr otáčení talíře. Valivý pohyb trvá tak dlouho, než vzniklé kuličky dosáhnou určité velikosti a nashromáždí se u zvýšeného okraje talíře, odkud přepadávají do sběrných nádob. Z tohoto úvodu je patrné, že vliv na velikost a pevnost výsledných sbalků má mnoho faktorů, které budou charakterizovány níže. Mezi výhody peletizačního talíře patří snadná čistitelnost, možnost vizuální kontroly a úpravy peletizačního procesu během výroby v závislosti na peletizované surovině.

Průměr talíře je obvykle větší než 1,5 m, u výkonnějších zařízení i více než 4 m.

Sklon peletizačního talíře je do jisté míry měnitelný. Obecně lze říci, že čím je sklon větší, tím menší sbalky vznikají a opačně. Sklon je dán dynamickým úhlem lomu daného materiálu. Pro překonání tohoto úhlu musí být sklon vždy mírně strmější. Pokud je „ α “ dynamický úhel náklonu a „ β “ úhel sklonu dna talíře, musí být vždy větší β než α . Pokud by byl sklon příliš strmý, nedojde k vynášení suroviny na horní plochu talíře. Pro výrobu sbalků s minimálním průměrem 6 mm se úhel pohybuje v rozmezí 45 až 48°. Pro výrobu popílkových sbalků o průměru 10-20 mm je to zhruba 45°.



Obrázek 20: Sklon peletizačního talíře [28]

Výška límce, tedy okraje peletizačního talíře má také podstatný vliv na velikost výsledných sbalků, stejně jako jejich doba pobytu v talíři. Jak již bylo výše uvedeno, sbalky přes tento límec přepadávají do sběrných nádob. Jeho výška je určena i úhlem náklonu talíře. Čím větší mají výsledné sbalky být, tím vyšší límec musí být použit. Při zvyšování límce talíře by mohlo dojít k porušení sbalků, proto se někdy využívá dvoustupňový a třístupňový talíř, který má na obvodu dvě až tři vyvýšená mezikružší.

Objem plnění závisí na sklonu talíře, na výšce límce peletizačního talíře, na množství dávkované suroviny atd.

Doba zdržení materiálu v talíři je závislá na výšce límce. Pokud je límec nízký, sbalky o malém průměru vypadávají poměrně brzy a naopak.

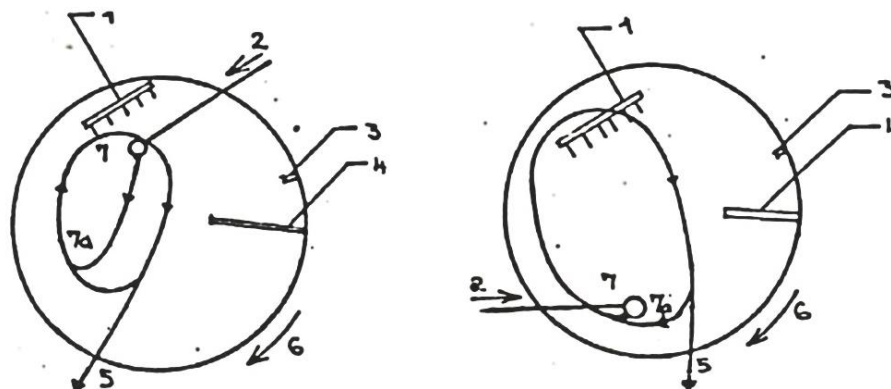
Rychlost otáčení je dalším činitelem ovlivňujícím velikost výsledných sbalků. V nižších otáčkách se tvoří větší sbalky, což je důsledkem nedostatečné rychlosti. Při otáčkách vyšších se materiál pohybuje směrem nahoru, ale nevalí se dolů v důsledku odstředivé síly. Mezní rychlost je rychlost, kdy je materiál na talíři odstředěn na okraj límce, a tak jej není možné sbalkovat. Čím větší je počet otáček, tím menší je možnost nabalování a vznikají sbalky menší. To platí i naopak. Dle velikosti talíře je obvyklá rychlost 12 až 18 otáček za minutu.

Množství přidané vody je velmi důležité při celém procesu peletizace, protože tvorba sbalků primárně závisí na obsahu vlhkosti. Pokud je obsah vlhkosti větší než kritické množství, rychlost růstu sbalků se zvyšuje, nicméně vznikající sbalky jsou náchylné k deformaci v důsledku své plasticity. Je-li obsah vlhkosti nižší než kritické množství, pak je vlhčení nerovnoměrné a některé částice zůstávají zcela suché.

Kombinace trysek a jejich poloha je faktor, na kterém závisí mj. stabilita kapilárních sil. Ta může být zvýšena správnou orientací trysek pro přidavek vlhkosti. Přidávání vody tryskami pomáhá při růstu sbalků stabilizací vodního filmu obklopujícího jádra a tím i vrstvení materiálu. Při stabilizaci vodního filmu je důležitá smáčivost, která rozhoduje, zda je možné vytvořit silné kapilární síly, které ovlivňují adhezi částic k částicím.

Dávkování suroviny a její množství je závislé na množství přidané vody a na výsledné vlhkosti sbalků. Surovina může být v určitém množství vložena do talíře jako vstupní vsázka, poté je dávkována ze zásobníku podavačem (šnekový podavač, třasný žlab).

Volba umístění dávkovačů vody a suroviny je pro celý proces zásadní. Voda se přivádí tryskami obvykle na nejvyšší místo talíře, kde ve formě kapiček dopadá na suchou (mírně vlhkou) surovinu, ze které se začnou vytvářet malé kuličky, jejichž tíha působí proti směru otáčení talíře. Valivý pohyb způsobí, že dojde k nárustu na určitou velikost a pelety jsou nahromaděny na vnějším okraji talíře, kde přes límec vypadávají ven. Na obr. 21 je zobrazeno: umístění přívodu vody (1), přívodu suroviny (2), čistič okraje talíře (3), čistič dna talíře (4), směr otáčení talíře (6), přeпад sbalků přes okraj (7).



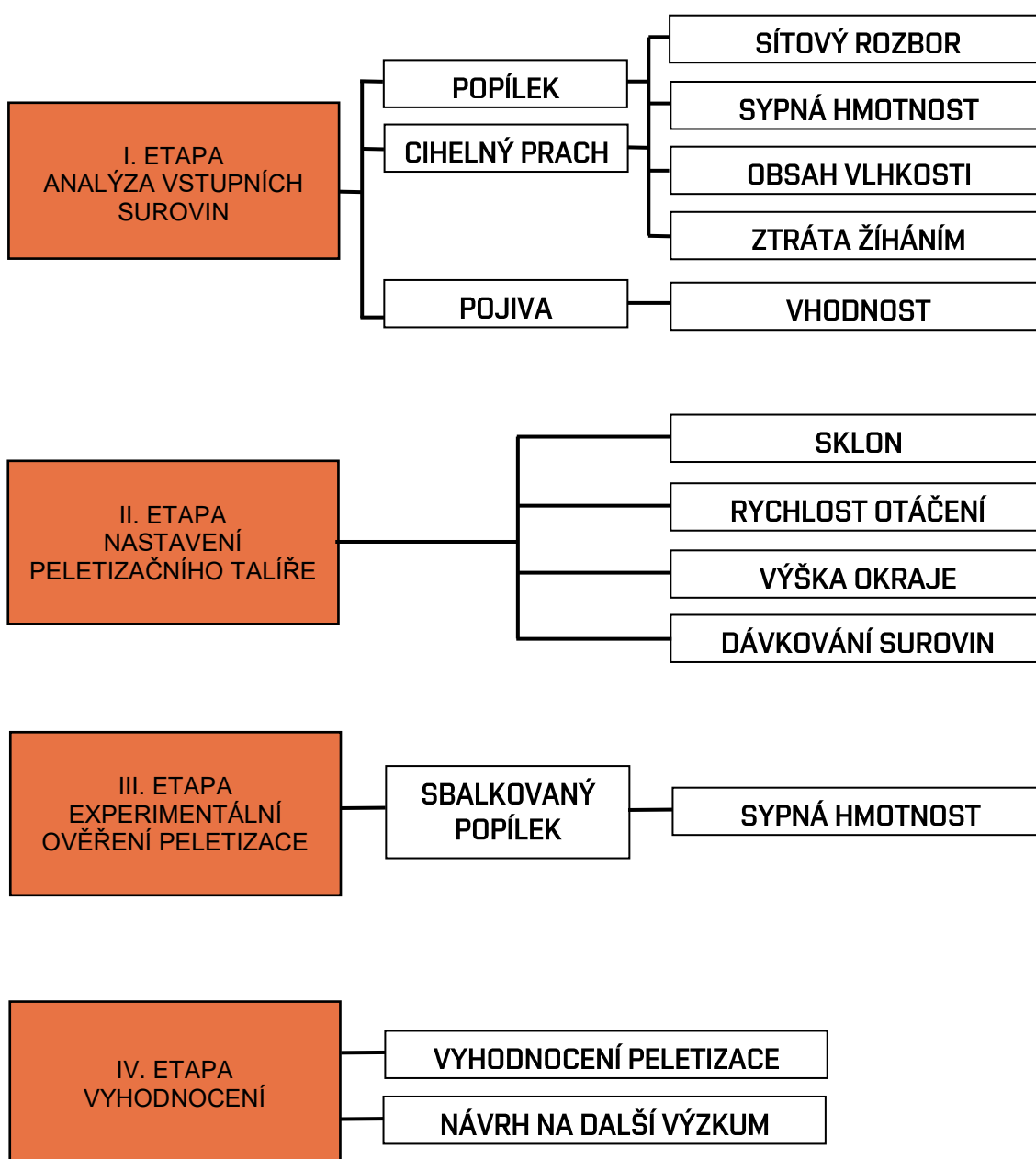
Obrázek 21: Umístění přívodu vody a suroviny při výrobě pelet o velikosti a) 5-10 mm, b) 10-25 mm [2]

Peletizační talíř se využívá ke sbalkování v různých průmyslových odvětvích, např. pro granulaci cementářské suroviny, dále v metalurgii, kde je jeho výkonost až 120 t za hodinu a v neposlední řadě ke sbalkování vedlejších energetických produktů (popílků, cihelného prachu). [2][4][22][28]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části bakalářské práce je popis peletizačního zařízení navrženého firmou Svoboda a syn, s.r.o. V rámci praktické části je dále provedena experimentální peletizace popílku. Postup práce je rozdělen na čtyři etapy a je znázorněn v diagramu níže.

4.1 METODIKA PRÁCE

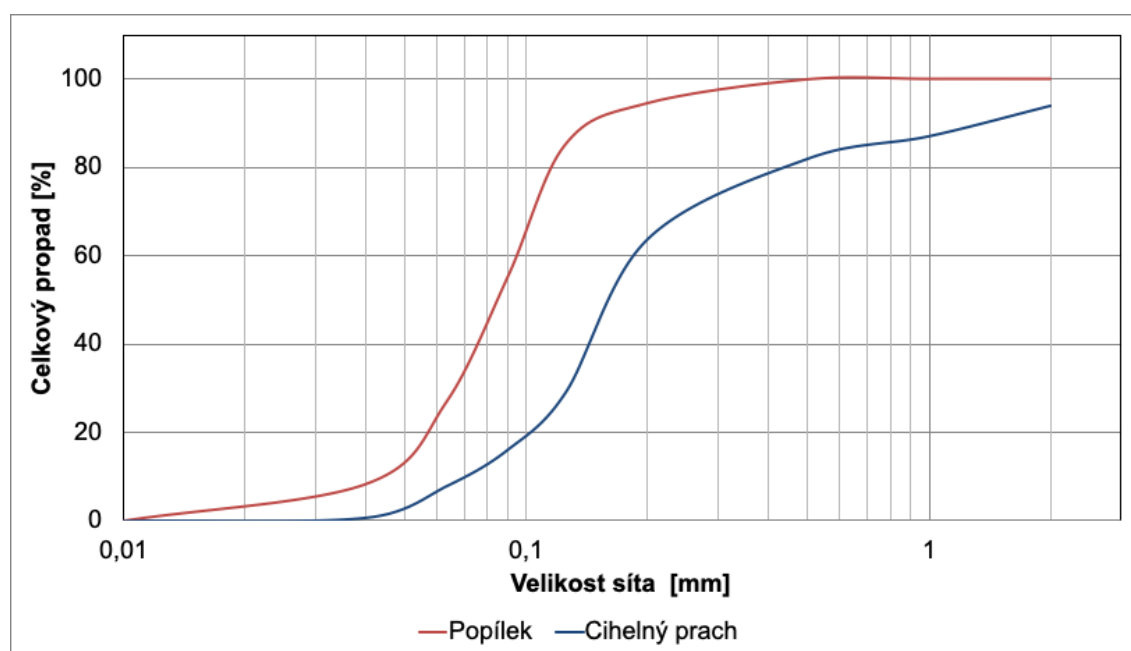


4.2 I. ETAPA — ANALÝZA VSTUPNÍCH SUROVIN

První etapa praktické části se zabývá analýzou vstupních surovin. Jedná se o charakteristiku vysokoteplotního popílku z teplárny Otrokovice (odběr 9/2018), cihelného prachu ze šlapanické cihelny spol. Wienerberger, s.r.o. a obecně pojiv vhodných ke sbalkování.

4.2.1 SÍTOVÝ ROZBOR

Sítový rozbor je analýzou ukazující zastoupení jednotlivých frakcí v dané surovině. Na surovinách byla provedena zkouška dle ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor., na velikosti sít do vel. 2 mm. Křivka zrnitosti je grafickým znázorněním dílčích propadů.



Graf 1: Křivky zrnitosti popílku a cihelného prachu

Z křivek zrnitosti je patrné, že cihelný prach obsahuje větší částice než popílek. Na sítu o velikosti 2 mm je u popílku celkový propad 100 %, kdežto u cihelného prachu zhruba 94 %. Tyto velké částice se u vysokoteplotních popílků vyskytují zřídka, u cihelného prachu jsou větší částice součástí častěji vzhledem k výrobnímu způsobu.

4.2.2 SYPNÁ HMOTNOST

Stanovení sypné hmotnosti bylo provedeno dle ČSN EN 1097 – 3. Na každé surovině se stanovila sypná hmotnost dvakrát. Sypná hmotnost byla vypočítána dle následujícího vztahu:

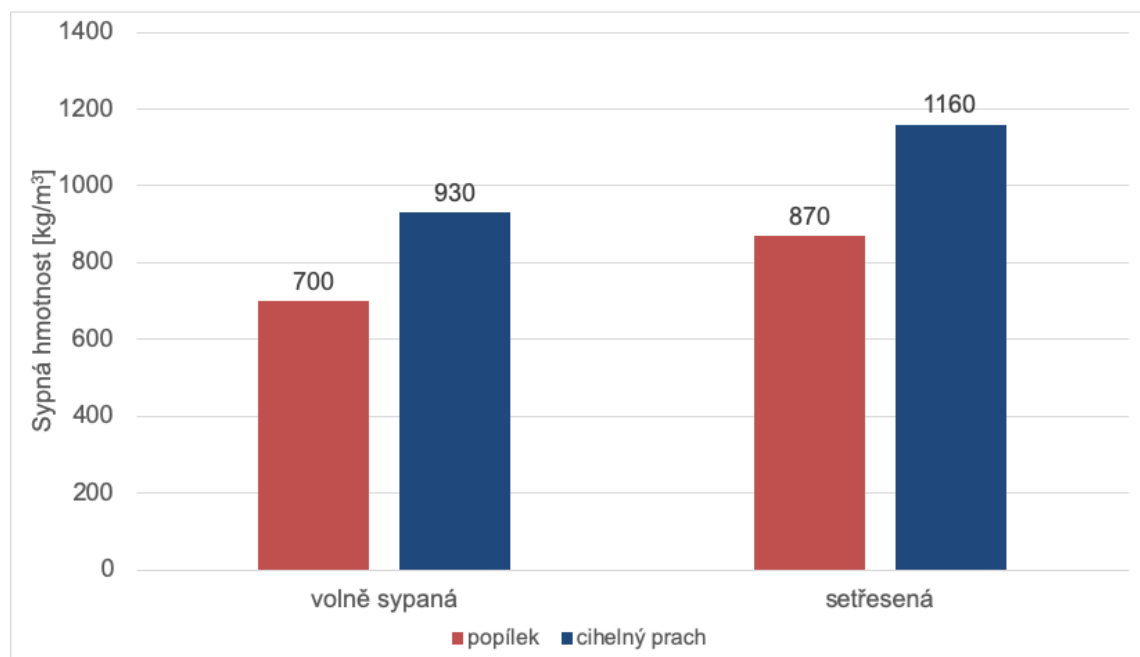
$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

kde

m_1 je hmotnost prázdné nádoby [kg],

m_2 je hmotnost nádoby se zkušební navážkou [kg]

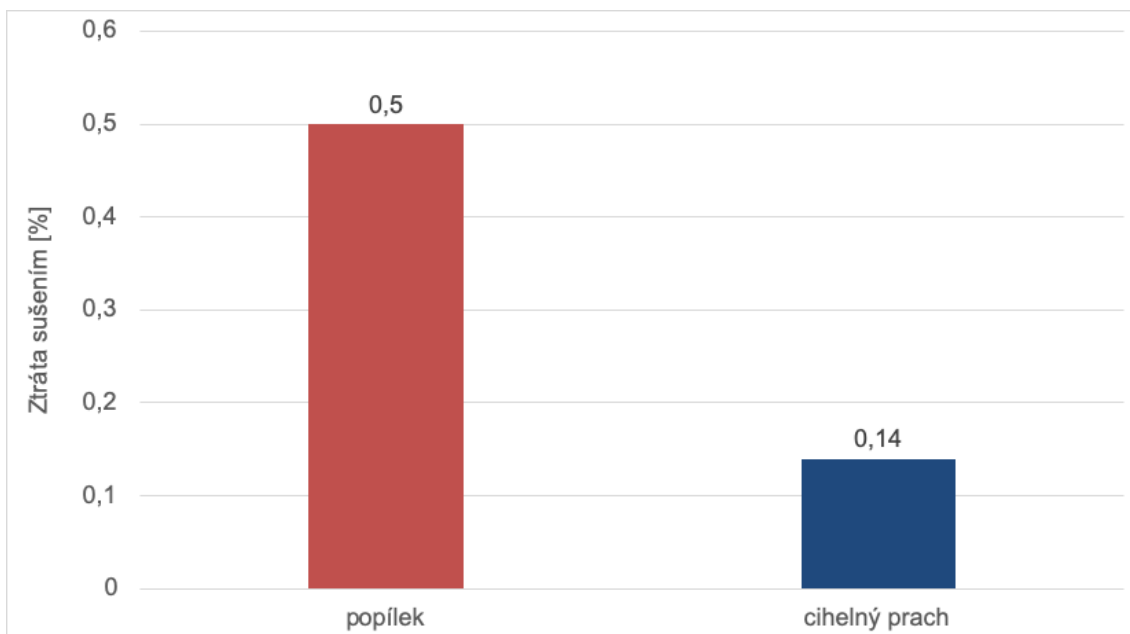
V je objem, který vzorek o dané hmotnosti zaujímá [m³]



Graf 2: Sypná hmotnost vstupních surovin

4.2.3 STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI SUŠENÍM V SUŠÁRNĚ

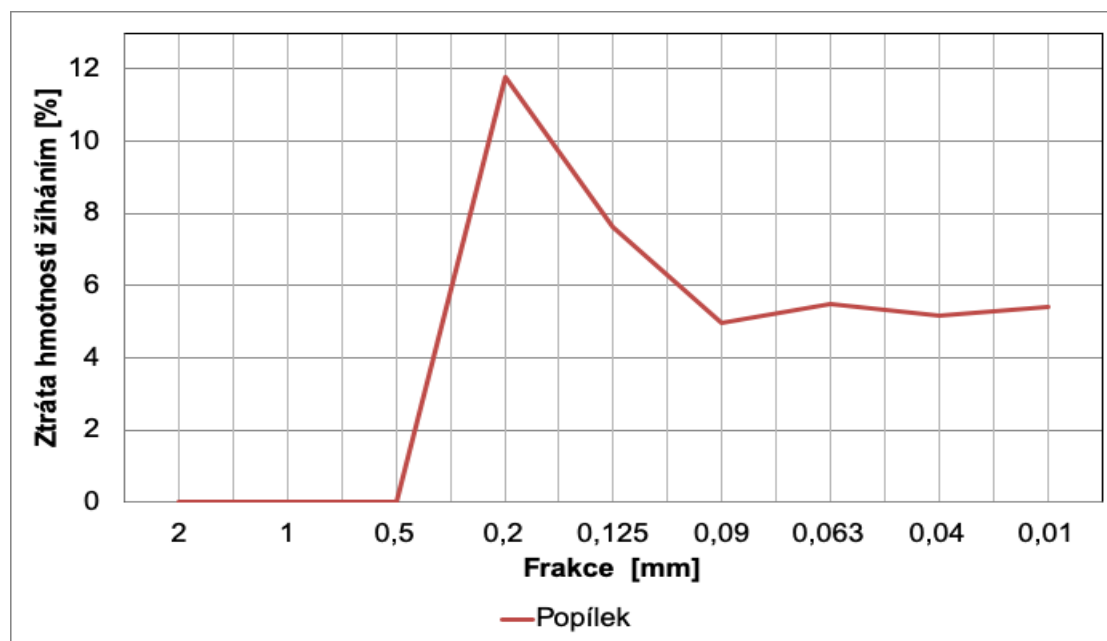
Ztráta sušením se provádí dle normy ČSN 72 0102. Provádí se pro zjištění obsahu vlhkosti vstupních surovin. Tato zkouška je graficky vyhodnocena na následujícím grafu.



Graf 3: Ztráta sušením vstupních surovin

4.2.4 ZTRÁTA ŽIHÁNÍM

Ztráta žiháním je termická analýza, při níž je sledován hmotnostní úbytek vzorku, který se zahřívá v peci. Toto stanovení se provádělo pouze u popílku, a to pro každou frakci zvlášť. Provádí se dle normy ČSN 72 0103 Základní postup rozboru silikátů–Stanovení ztráty žiháním.



Graf 4: Ztráta žiháním popílku

4.2.5 POJIVA

Jako pojivo se při sbalkování popílků využívá voda, je však možné využití dalších pojiv. Voda je ekonomicky nejvhodnějším pojivem. U popílků je vhodná zejména pro jejich pucolánové vlastnosti. U cihelného prachu je pro pucolánovou aktivitu rozhodující obsah vápníku (viz kapitola 3.6).

Dle výzkumu [31] se hlinitokřemičité suroviny (cihelný prach, popílek, vysokopeční struska, metakaolin) smísili v určitých poměrech a za přídavku alkalického aktivátoru (vodního skla, hydroxidu sodného) a po smíchání s vodou vykazovaly velmi dobré vlastnosti. Výběr vhodných pojiv pro cihelný prach může být předmětem dalších výzkumů.

4.3 II. ETAPA — NASTAVENÍ PELETIZAČNÍHO TALÍŘE

V rámci druhé etapy je popsáno nastavení peletizačního zařízení, na kterém byla provedena peletizace.

Jedná se o peletizační talíř navržený brněnskou spol. Svoboda a syn, s.r.o., která se v posledních letech specializuje na výzkum a vývoj nových technologií zpracování vedlejších energetických produktů a vybraných druhů průmyslových odpadů ve stavebnictví.



Obrázek 22: Peletizační talíř spol. Svoboda a syn, s.r.o.

Vzhledem k zachování technologického know-how nelze popsat parametry konkrétně, proto jsou uváděny v rozmezích.

Peletizační talíř se nastavuje před každou peletizací v závislosti na vlastnostech vstupní suroviny. Peletizační talíř má průměr 1,2 m a nastavitelnou výšku okraje (límcce) 200-350 mm. Rychlost otáčení talíře se pohybuje v rozmezí 12-19 ot/min. Pojivo (obvykle voda) se dává jednou anebo více tryskami, které jsou umístěny na talíř v různých místech dle potřeby. Průtok je regulován manometrem. Součástí zařízení je i několik přemístitelných stíracích lopatek, které stírají dno talíře. Sklon je taktéž volitelný a jak již bylo uvedeno v teoretické části práce, sklon se pohybuje v rozmezí 40-55 °. Surovina byla dávkována ze zásobníku šnekovým podavačem (mikrodávkačem).

4.4 III. ETAPA — EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ PELETIZACE

Ve třetí etapě byly provedeny dvě peletizace vysokoteplotního popílku na peletizačním talíři s nastavením rozdílných sklonů. Ostatní parametry byly pro obě peletizace stejné, ale z důvodu zachování technologického know-how nebyly do práce přesně identifikovány, konkrétně se jedná se o umístění dávkovače suroviny, polohu trysek pojiva (vody) a jeho množství a o rychlost otáčení peletizačního talíře.

Surovina byla dávkována se vstupní vlhkostí 5 % (z důvodu menší prašnosti). Na talíř byla ručně vložena vstupní vsázka o hmotnosti 15 kg. Další dávkování probíhalo pouze ze zásobníku, a to v nastaveném množství cca 50 kg/hod. Peletizace probíhala bez zásahu do celého procesu (bez úpravy nastavení) tak, aby byla nastavení porovnatelná v rámci vyhodnocení výsledků.

Dle předpokladu se nejprve začaly vytvářet malé sbalky, které byly vynášeny na horní okraj talíře a vlastní tíhou padaly zpět do nižší části talíře se surovinou, kde probíhalo další nabalování. Větší sbalky již nebyly vynášeny tak vysoko, ale stále se na ně nabalovala surovina v tzv. ledvině. U dolního okraje talíře se hromadily větší sbalky, které samovolně přepadávaly přes okraj (límece) talíře do sběrné nádoby. V případě obou peletizací byl proces zastaven. Na vytvořené sbalky se dále pouze nabalovala surovina a docházelo tak k jejich nadměrnému zvětšování. Výsledné parametry obou peletizací byly uvedeny do tabulky 4.

Tabulka 4: Výsledné parametry peletizací

Označení peletizace	Sklon talíře [°]	Velikost pelet [mm]	Vlhkost pelet [%]	Doba peletizace [min]
P1	44	5-10	31-35	150
P2	45	7-11	31-35	95

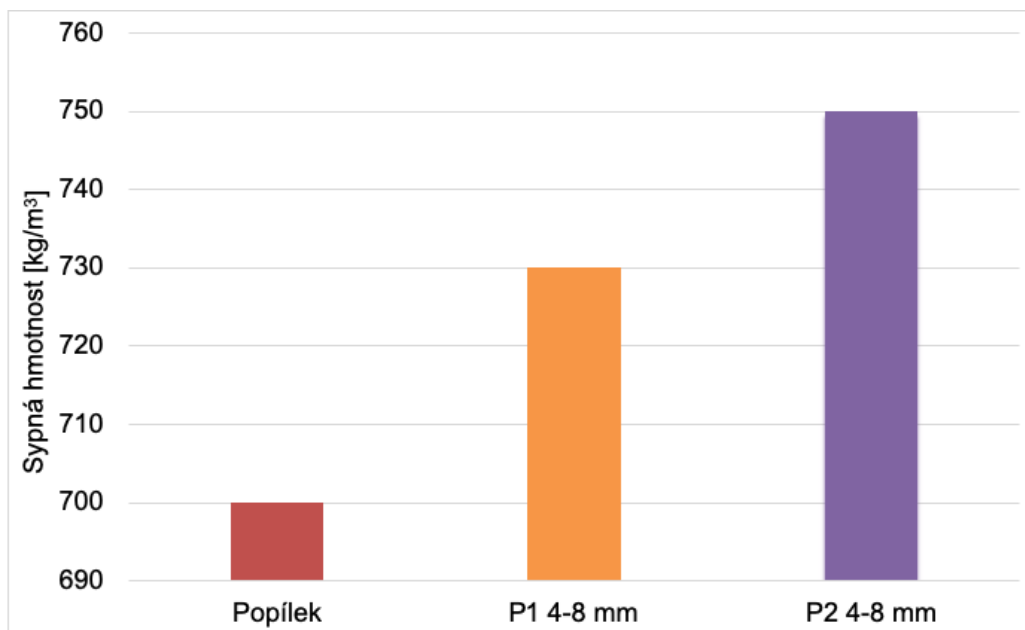


Obrázek 23: Sbalky těsně před ukončením peletizace

4.4.1 SYPNÁ HMOTNOST SBALKŮ

Na vyrobených sbalcích z peletizací P1, P2 (viz tab.4) byla zjištěna sypná hmotnost (volně sypaná) a je graficky vyhodnocena v porovnání se vstupní surovinou, resp. popílkem v grafu č. 5.

Pro stanovení sypné hmotnosti byla vybrána frakce 4-8 mm. Sbalky byly pro zkoušku odebrány hned po peletizaci, jedná se o sypnou hmotnost sbalků s vlhkostí 31-35 %.



Graf 5: Sypná hmotnost popílku a sbalků z peletizací P1, P2

4.5 IV. ETAPA — VYHODNOCENÍ

Každý výsledek peletizace je ovlivněn vlastnostmi vstupní suroviny a použitého pojiva. Nastavení peletizačního talíře nelze jednoznačně definovat, je nutné jej přizpůsobit konkrétní surovině a požadavkům na výsledný produkt.

Výsledná vlhkost sbalků je v obou případech stejná, což bylo předpokládáno, protože bylo využito totožných surovinových vstupů.

Sklon peletizačního talíře má velký vliv na velikost výsledných sbalků. Předpokládalo se, že čím větší je sklon talíře, tím menší sbalky se budou tvořit. Tento předpoklad z teoretické části práce tedy splněn nebyl. Je to způsobeno také tím, že se v předpokladu neuvádí další podmínky jako např. rychlost otáčení talíře, při kterých by předpoklad splněn byl. Dále je možné usuzovat, že rozdíl ve sklonu talíře o 1 ° není tak velký, aby se rozdíl ve velikosti pelet projevil.

Délka procesu peletizace je velmi rozdílná. Posouzení, kdy peletizaci zastavit, provádí pracovník (mj. na základě vlastních zkušeností) dle vizuálního posouzení. U obou peletizací došlo k zastavení procesu po poměrně krátké době, takže toto nastavení není vhodné pro nastavení kontinuálního procesu peletizace.

Ve třetí etapě byla stanovena sypná hmotnost syrových sbalků. Hodnoty sypné hmotnosti byly vyšší než vstupní suroviny. I přes velkou mezerovitost je to způsobeno obsahem vody, která byla do sbalků dodána během procesu peletizace.

5 ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce je nejprve přiblížena problematika odlučování tuhých částic v průmyslových závodech. Je zde vysvětlen mechanismus odlučování a popsána zařízení, která jsou k procesu využívána. Dále je popsán proces výroby cihlářských výrobků a jejich broušení, odkud se získává cihelný prach. Další kapitola teoretické práce shrnuje veškeré informace o elektrárenských popílcích. Je zde vysvětlena technologie spalování, druhy elektrárenských popílků a jejich charakteristiky a současné využití popílků ve stavebnictví. Poslední kapitola teoretické části se zabývá technologií granulace vedlejších energetických produktů. Jsou zde popsána zařízení vhodná pro úpravu jemnozrnných materiálů do formy sbalků.

Praktická část je rozdělena na čtyři etapy. První etapa se zabývá analýzou vstupních surovin-elektrárenského popílku a cihelného prachu. Mezi základní zkoušky patří síťový rozbor, stanovení sypné hmotnosti, ztráta žáháním a sušením. Ze síťového rozboru byla graficky vytvořena křivka zrnitosti, která zobrazuje zastoupení jednotlivých frakcí ve vstupní surovině. Na sítu o velikosti 2 mm je u popílku celkový propad 100 %, kdežto u cihelného prachu zhruba 94 %. Tyto poměrně velké částice se u vysokoteplotních popílků vyskytují zřídkakdy, u cihelného prachu jsou větší částice součástí častěji vzhledem k výrobnímu způsobu. Z grafického vyhodnocení sypné hmotnosti je patrné, že cihelný prach má vyšší sypné hmotnosti v obou případech (volně sypaná a setřesená). Ztráta sušením ukazuje množství vlhkosti vstupní suroviny. Z grafického vyhodnocení vyplývá, že cihelný prach obsahuje velmi malé množství vlhkosti, okolo 0,14 %, množství vlhkosti u popílku je o něco vyšší, a to 0,5 %. V první etapě byla dále sepsána některá pojiva využívána k pojení cihelného prachu a popílků. Nejekonomičtější je voda, která byla použita i v experimentálním ověření procesu peletizace. Druhá etapa se zabývá popisem peletizačního talíře firmy Svoboda a syn, s.r.o., který byl použit pro ověření peletizace popílku provedené v etapě třetí. Třetí etapa je tedy experimentální ověření peletizace na peletizačním talíři. Byly zvoleny dva sklony a to 44 ° a 45 °, ostatní parametry nastavení byly konstantní po celou dobu procesu. Obě peletizace musely být ukončeny z důvodu nadměrného nabalování suroviny na vytvořené sbalky. Delší doba ze dvou peletizací je pouze 2,5 h. Toto nastavení tedy není vhodné pro kontinuální peletizační proces.

Všechna zařízení uvedená v teoretické části práce nemusí být vhodná pro každý vedlejší energetický produkt a pro výsledné sbalky, na které jsou kladeny různé požadavky. Testování těchto zařízení pro různé materiály a použití různých pojiv může být předmětem dalších výzkumů.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČEZ energetické produkty: Produkce VEP 2014 v ČR. In: *Výzkumný ústav maltovin Praha* [online]. Praha: Skupina ČEZ, 2014 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/06/04-soucasny-stav-vyuzitelnosti-energetickyh-produktu-v-cr-kvalita-budoucnost-disponibilita.pdf>
- [2] DROCHYTKA, Rostislav. *Lehké stavební látky*. Brno: VUT v Brně, 1993. 124 s. ISBN 80-214-0514-7.
- [3] BENSCHIEDT, N. a Rudolf HELA. *Příručka Popílek v betonu: základy výroby a použití*. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013. ISBN 978-80-260-4226-6.
- [4] JAŠŠO, Igor a Alexander MOLNÁR. *Základy aglomerácie jemnozrnných materiálů a priemyselné metódy granulácie a briketovania založené na lisovaní suchých práškov medzi valcami*. Praha: Procesní inženýrství, 1994.
- [5] Znečištění ovzduší. In: *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. 9.10.2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: ww.eea.europa.eu/cs/themes/air/intro
- [6] IBER, Z.: *Technický průvodce energetika*. 2. dotisk 1. vyd. Praha: BEN, 2009 ISBN 978-80-7300-026-4
- [7] LANČARIČ, V. *Odlučování drobných prachových částic při spalování uhlí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..
- [8] MIČEK, M. *Separace drobných kapiček rozptýlených v proudu páry*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..
- [9] Vejvoda, Machač, Buryan. *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů* [cit. 2014-05-28]. 2004, 91 s, ISBN: 80-7080-517-X
- [10] BAYER, P. *Vliv popílku na vlastnosti cementových malt*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 70 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Šiler, Ph.D.

- [11] SOKOLÁŘ, Radomír. *Keramika. Modul BJ01-M01*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006, 176 s.
- [12] PYTLÍK, P., SOKOLÁŘ, R. *Stavební keramika*. 1. Vydání. Brno: CERM Akademické nakladatelství, 2002, 287 s., ISBN 80-7204-234-3.
- [13] ČSN 72 1564 – *Cihlářské zeminy. Společná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1986.
- [14] Jak se vyrábějí pálené cihly HELUZ. *Vše pro Váš dům* [online]. 2.11.2008 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.vseprovasdum.cz/jak-se-vyrabeji-palene-cihly-heluz.html>
- [15] ŠMERDOVÁ, Ludmila. *Vápenné malty modifikované jemně mletým cihelným střepem*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2013. Diplomová práce. Vedoucí práce Prof. RNDr. PAVLA ROVNANÍKOVÁ, CSc.
- [16] Frýzová R. (2012): *Fázové složení elektrárenských popílků: kvantitativní stanovení vybraných minerálů*.-MS, bakalářská práce: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity. Brno.
- [17] DONATELLO, S., TYRER, M., CHEESEMAN, C.R. *Comparison of test methods to assess pozzolanic activity*. Cement and Concrete Composites, 2010, vol. 32, no. 2, p. 121-127.
- [18] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky*. 1. vyd. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002. 89 s. ISBN 80-86657-00-0.
- [19] HAVELKA, J. *Možnosti využití vysoce jemných podílů popílků z klasického spalování uhlí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2015. 61 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
- [20] BATELKA, Michal. *Vývoj surovinové směsi pro výrobu kameniva ze spékaných popílků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Diplomová práce, 2008

- [21] ZÁMOSTNÝ, Petr. *Stručný komentář k prezentaci „Granulace“* [online]. VŠCHT, 2010,1-8 [cit. 2019-05-08].
Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/2010/zvetsovani-velikosti-castic-granulace/2010-04-komentar-ke-snimkum.pdf>
- [22] KOMÁNEK, J. *Granulátor fosfátových prášků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 64 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Brandejs, CSc..
- [23] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. Sintrování. In: *Elektronická publikace „Co je co v povrchové a koloidní chemii“, verze 1.0, 2005*. [online]. Praha [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/sintrovani.html
- [24] *Granulace* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/6%20Granulace.pdf. Učební texty. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.
- [25] Extrusion process. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 4.3.2017 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Extruze_\(technika\)#/media/File:Extrusion_process_1.png](https://cs.wikipedia.org/wiki/Extruze_(technika)#/media/File:Extrusion_process_1.png)
- [26] ZÁMOSTNÝ, Petr. Principles of tablet compressions. In: *Technoprocur* [online]. TECHNOPROCUR CZ, spol. s r.o., 2017 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.technoprocur.cz/underwood/download/files/Petr-Zamostny-tablet-compression.pdf>
- [27] SKOŘEPOVÁ, Zuzana. *Hodnocení vlastností granulátů a tablet připravených ze škrobů*. Hradec Králové, 2017. Rigorózní práce. UNIVERZITA KARLOVA, FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ. Vedoucí práce Doc. PharmDr. Zdeňka Šklubalová, Ph.D.
- [28] PANDEY, Pratiksha, Naveen F LOBO a Prasanna KUMAN. Optimization of Disc Parameters Producing More Suitable Size Range of Green Pellets. *International Journal of Metallurgical Engineering* 2012. DOI: 10.5923/j.ijmee.20120104.02.
- [29] NAVRÁTILOVÁ, E.; ROVNANÍKOVÁ, P.; SOKOLÁŘ, R.; KOSÍKOVÁ, J. *Posouzení pucolánové aktivity cihelného střepu v závislosti na teplotě výpalu a druhu cihlářské zeminy*. *Keramický zpravodaj*. 2012. 28(6). p. 11 - 18. ISSN 1210-2520.

[30] DIMTER, Sanja, RUKAVINA Tatjana a Krunoslav MINAZEK. Použití popílku v cementobetonovém krytu pozemní komunikace. In: *Silmos.cz -Info P* [online]. 2007 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: www.silmos.cz/file.php?id=1064

[31] Bc. Cecílie Mizerová *Binární alkalicky aktivované kompozitní materiály s cihelným prachem*. Brno, 2017. 73 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav chemie. Vedoucí práce doc. RNDr. Pavel Rovnaník, Ph.D.