

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO - TECHNOLOGICKÁ
KATEDRA ANORGANICKÉ TECHNOLOGIE

GRANULAČNÍ PROCESY PRŮMYSLOVÝCH HNOJIV
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: PETR HERMANN
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Petr Bělina, Ph.D.

2011

UNIVERSITY OF PARDUBICE
FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INORGANIC TECHNOLOGY

FERTILIZERS GRANULATION PROCESSES
BACHELOR THESIS

AUTHOR: PETR HERMANN
SUPERVISOR: Ing. Petr Bělina, Ph.D.

2011

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne

Petr Hermann

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Bělinovi, Ph.D. za zadání tématu bakalářské práce, jeho pomoc při jejím zpracování a poskytnutí literatury zabývající se daným tématem.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá granulačními procesy u průmyslových hnojiv. Nejprve je zde seznámení s teoretickým popisem procesu granulace a jednotlivými mechanismy, které spojují dané částice. Dále je pozornost věnována granulačním zařízením používajících se pro průmyslová hnojiva a jejich rozdělení. V závěru práce je uvedena povrchová úprava granulí, její vliv na účinnost granulí hnojiva a novinky v oblasti, jak začlenit síru do složení hnojiva, granulované hnojivo s kontrolovaným uvolňováním účinných složek a ochrany životního prostředí z výrob průmyslových hnojiv.

Klíčová slova

Proces zvětšování částic

Aglomerace částic

Granulace

Průmyslová hnojiva

Povrchová úprava granulí

SYNOPSIS

This bachelor thesis deals with processes for granulating fertilizers.

First, here is familiar with the theoretical description of the process of granulation and the different mechanisms that connect the particles. Attention is also paid to the granulating device using for fertilizer and its distribution. In conclusion is given coating granules, its impact on the efficiency of fertilizer granules and news in the area to incorporate into the composition of sulfur fertilizer, granular fertilizer with controlled release of active ingredients and the environment from the production of fertilizers.

Key words

Size enlargement

Agglomeration

Granulation

Fertilizers

Coating

OSNOVA:

1. ÚVOD.....	9
2. HISTORIE AGLOMERACE A GRANULACE.....	10
3. TEORIE GRANULACE.....	10
3.1 Spojovací mechanismy.....	12
3.2 Pevnost aglomerátu.....	17
4. GRANULAČNÍ TECHNIKY.....	20
4.1 Granulace narůstáním.....	20
4.1.1 Mechanismus granulačního procesu.....	21
4.1.2 Kinetika granulace.....	23
4.1.3 Zařízení pro granulaci postupným narůstáním.....	24
4.1.3.1 Žlabový granulátor.....	24
4.1.3.2 Pánvový granulátor.....	25
4.1.3.3 Talířový granulátor.....	25
4.1.3.4 Bubnový válcový granulátor.....	26
4.1.3.5 Bubnový kuželový granulátor.....	27
4.1.3.6 TVA amoniátor/granulátor.....	28
4.1.3.7 Fluidní granulátory.....	30
4.2 Granulace pomocí tlaku.....	32
4.2.1 Mechanismus granulace tlakem.....	33
4.2.2 Zařízení pro granulaci pomocí tlaku.....	35
4.3 Granulace z taveniny.....	39
5. MODERNÍ TRENDY GRANULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ.....	40
6. ZÁVĚR	47
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49

1. ÚVOD

Aglomerace je proces spojování částic, kdy z menších částic vznikají částice větších rozměrů. Proces aglomerace částic patří mezi nejdůležitější kroky ve výrobní fázi procesu. Aglomerace se vyskytuje v mnoha odvětvích průmyslu, jako je například farmaceutický, potravinářský, zemědělský, hutní a průmysl stavebních materiálů. Mezi aglomerační metody lze zařadit granulaci, lisování, tabletování, slinování, stříkání, sprejové sušení. Granulační technika je proces zvětšování velikosti částic pomocí míchacích metod. ⁽¹⁾

Při granulaci se uplatňují různé mechanismy spojování částic, např. pevné můstky, kapalinové můstky, mezimolekulární síly a jiné. Granulační techniky jsou rozděleny na granulaci postupným narůstáním, pomocí tlaku, nebo z taveniny. Granulací postupným narůstáním se nejprve vytváří zárodky, které posléze rostou vzájemným srůstáním těchto malých částic nebo nabalováním větších částic. Do této kapitoly je zahrnuto nejvíce zařízení a nejpoužívanějšími jsou bubnový válcový granulátor, pánvové, talířové a fluidní granulátory. Granulací pomocí tlaku dochází ke stlačování, lisování nebo tabletování původního materiálu a je rozdělena podle síly stlačování na nízko, středně a vysokotlaké techniky. Důležitým krokem ve finálním zpracování granulí je povrchová úprava, která slouží k úpravě dostupnosti živin, řízení doby uvolnění a k zlepšení výživy rostlin. ⁽²⁾

2. HISTORIE AGLOMERACE A GRANULACE

Aglomerace jako taková, existuje už velmi dlouho, prakticky už od vzniku pevných látek. Během vývoje příroda vytvářela kameny a skalní útvary.

Lidé mohli nahlédnout do živočišné říše, kde si zvířata stavěli svá hnízda nebo jakési ochranné zdi z vlhké hlíny, které se na slunci vytvrdili a vznikl dobrý stavební materiál. Toho lidé využili k výrobě cihel z jílu a písku, které pro lepší konečné vlastnosti následně vypalovali v ohni, které už vznikli během 4. tisíciletí př. n. l. v Mezopotámii.

Lidé asi poprvé použili aglomeraci při výrobě chleba. V tomto procesu se skloubí všechny fáze výroby, příprava pevných částic (mletí), míchání částic pevných látek s pojivem a konečné zpracování (pečení), které dává výrobku výslednou strukturu a pevnost. Lidé zkoumali, že určité přírodní materiály dokáží vyléčit různá onemocnění. Byly rozdrceny na formu prášku, který se ale takhle nemohl požívat, tak vymysleli, že prášek smíchají například s medem nebo pylem a vzniklá hmota se sroluje do tvaru pilulky. Tyto tři příklady se týkají hlavních moderních odvětví jako jsou potravinářství, stavební materiály a farmaceutika. ^(2,3)

Historie granulace sahá do středověku a novověku, kdy se lidé chtěli dozvědět více o zúrodnění svých polí a tím zlepšení úrody. Ke zlepšení byly použity jak minerální tak organické látky, jako např. hnůj, dřevo, kosti zvířat, ledek atd.

V roce 1840 položil Justus von Liebig základy moderní technologie hnojiv. Propagoval názor, že prvky - dusík, fosfor a draslík v půdě jsou zodpovědné za výživu rostlin. Další mikroprvky jsou také nezbytné pro rostliny a musejí být přidávány jako jemný prášek na povrchu hnojiva. Důležitou vlastností hnojiv je jejich rozpustnost, je většinou žádoucí vysoká rozpustnost, což dává předpoklad pro malé velikosti částic.

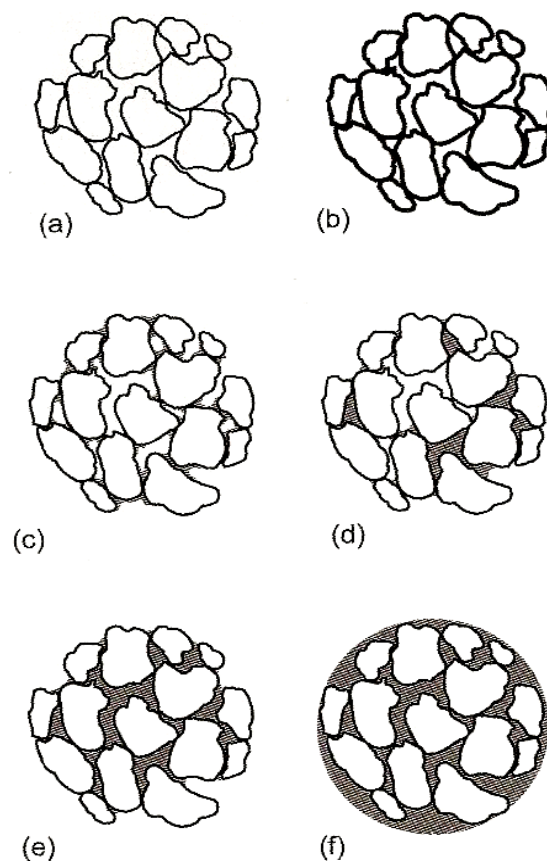
V roce 1842 poprvé začala komerční výroba fosfátového hnojiva, tzv. superfosfátu v Anglii. Na počátku 20. století je poprvé zmínka o granulaci hnojiv a to v Německu, konkrétně v roce 1922 bylo vyrobeno granulované hnojivo zvané Nitrophoska. ⁽³⁾

3. TEORIE GRANULACE

Znakem granulace je spojování menších částic pevných látek do větších celků pomocí míchacích metod. Částice drží pohromadě pomocí fyzikálních sil krátkého dosahu mezi sebou, nebo pomocí pojiva. Pojivo je látka, která se zachytí chemicky nebo fyzikálně na povrchu pevné látky a vytvoří materiál, který drží částice pohromadě.

Existují distribuční modely částic nebo aglomerátů, které závisí na množství kapaliny ve struktuře (viz. Obr. 1). Je zde předpoklad, že kapalina musí smáčet pevnou látku, aby došlo k účinnému spojení pevné částice s kapalinou.

Obrázek 1 ukazuje, že absolutně suchá částice (a) prakticky neexistuje za atmosférických podmínek. (b) molekuly vody se zachycují na povrchu pevné částice, nejsou mobilní a nezpůsobují vlhkost nebo nasycení kapalinou. (c) roste obsah vlhkosti nebo nasycení kapaliny, vytváří se kapalinové můstky na kontaktních místech částice ve struktuře. (d) přechodný stav, kdy existují spolu kapalinové můstky a prázdné prostory. (e) dochází k úplnému nasycení částice, kdy všechny volné prostory jsou vyplněny kapalinou. (f) dochází k vytvoření kapky, která obalí pevnou částici. ⁽²⁾



Obr. 1: Znázornění částic sypkého materiálu nebo aglomerátu různě nasycených kapalinou. (a) suchá, (b) adsorpce vrstev, (c) kapalinové můstky, (d) přechodný stav (e) plně nasycená, (f) kapka. ⁽²⁾

3.1 Spojovací mechanismy

Spojovací mechanismy jsou rozděleny do pěti hlavních skupin, které jsou znázorněny v následující tabulce:

Tabulka I: Spojovací mechanismy aglomerace: ⁽²⁾

- I. Pevné můstky
 - 1. Slinování
 - 2. Parciální tání
 - 3. Chemická reakce
 - 4. Tvrdnutí pojiva
 - 5. Rekrystalizace
 - 6. Sušení
 - a) rekrystalizací (rozpuštěné látky)
 - b) usazováním (koloidní částice)
- II. Adhezní a kohezní síly
 - 1. Vysoce viskózní pojiva
 - 2. Adsorpce vrstev
- III. Povrchové napětí a kapilární tlak
 - 1. Kapalinové můstky
 - 2. Kapilární tlak
- IV. Přitažlivé síly mezi částicemi
 - 1. Molekulární síly
 - a) Van-der-Waalsovy síly
 - b) Bez chemické vazby (valenční síly)
 - c) Asociáty (nevalenční síly); vodíkové můstky
 - 2. Elektrické síly (elektrostatické, elektricky nabitá dvojvrstva)
 - 3. Magnetické síly
- V. Blokování vazeb

I. Pevné můstky

1) Slinování Pevné můstky, které se vyvíjejí s časem, se nazývají sintrové můstky. Sintrové můstky se vytvářejí v kontaktních místech mezi částicemi, když teplota překročí hranici cca 60 % teploty tání daného materiálu. ⁽⁴⁾

Slinování probíhá na základě difúzního mechanismu, který závisí na teplotě, velikosti kontaktní plochy a na kontaktním tlaku.

2) Parciální tání Je způsobeno nerovnoměrným povrchem částice a je často zodpovědné za nežádoucí aglomeraci – spékání.

3.4) Chemická reakce a tvrdnutí pojiva Tvorba můstků je závislá na částicích, jejich reaktivitě a k tvrdnutí pojiva. S rostoucí teplotou se vytvářejí pevnější můstky.

5) Rekrystalizace Změnou teploty může dojít k rekrystalizaci a mohou se začít vytvářet pevné můstky. Vliv teploty může mít za následek rozšíření krystalizace přes fázové rozhraní a dojde k srůstání pevných částic.

6) Sušení Běžnější metodou než je sušení, je vypařování kapaliny.

- a) Pevnost krystalových mŕstky závisí na rychlosti krystalizace, množství rekrystalizovaného a rozpouštěného materiálu.
- b) Koloidní částice mohou vytvářet pevné mŕstky, jestliže kapalina je složena z koloidní suspenze. Až se kapalina zcela odpaří, zůstanou pouze pevné mŕstky, které jsou tvořeny koloidními částicemi. ⁽²⁾

II. Adhezní a kohezní síly

Vysoce viskózní pojiva jako jsou med, asphalt, dehet atd., způsobují na rozhraní pevné částice a pojiva adhezní síly. Adsorpční síly mohou být předány, jestliže tloušťka vrstvy je menší než 3 nm a způsobují poruchy na kontaktních místech a tím je síla vazba pevnější.

III. Povrchové napětí a kapilární tlak

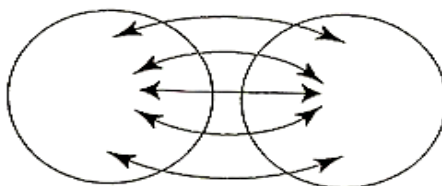
Kapalinové mŕstky se tvoří na koordinačních bodech mezi částicemi, které tvoří aglomerát. Kapilární mŕstky se mohou vytvářet z volné vody nebo kapilární kondenzací.

IV. Přitažlivé síly mezi částicemi

1. Molekulární síly

- a) Van-der-Waalsovy síly (viz. Obr. 2.)

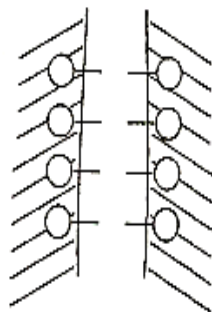
Van-der-Waalsovy síly jsou uplatněny na povrchu všech pevných látek. Molekulární síly na povrchu částice produkují silové pole, které interaguje s ostatními částicemi a dojde ke vzniku Van-der-Waalsových sil v důsledku elektrické polarizace vyvolané v částici. Energie je řádově 0,1 eV a mají větší dosah než valenční síly. ⁽²⁾



Obr. 2. Van-der-Waalsovy síly. ⁽²⁾

b) Valenční síly (viz. Obr. 3.)

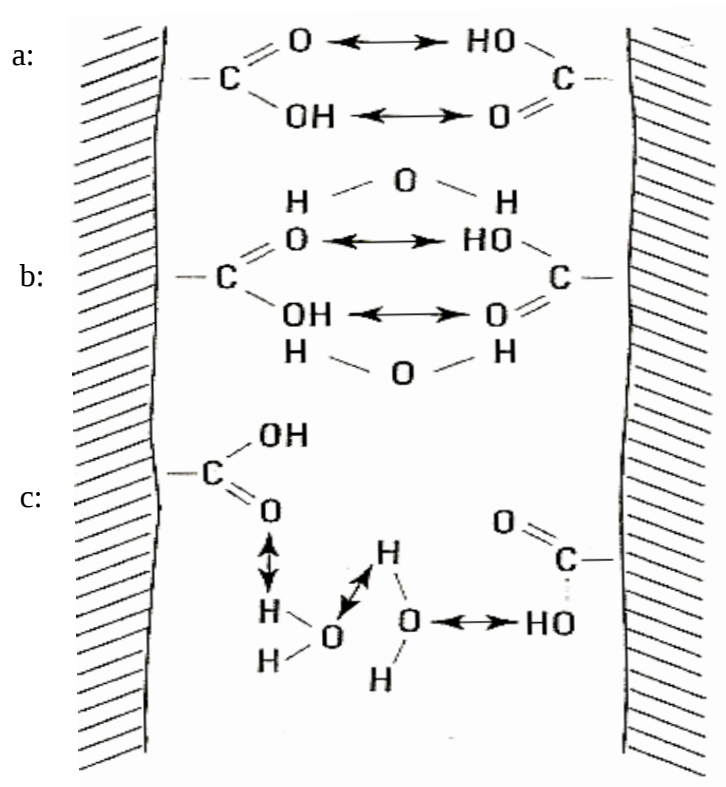
Nové povrchy vznikají během zmenšení velikosti vazeb mezi atomy a molekulami. Na těchto nově vzniklých površích existují nezaplněné valenční místa, která mohou být zaplněna volnými radikály, které se spojí s atomy nebo molekulami z okolí. Při nedostatku volných atomů nebo molekul, mohou rekombinovat nově vzniklé plochy mezi sebou navzájem, jestliže se k sobě dostatečně přiblíží. Spojení rekombinací se může vyskytnout také u vysokotlaké aglomerace. ⁽²⁾



Obr. 3. Valenční síly. ⁽²⁾

c) Asociáty (nevalenční síly), vodíkové můstky (viz. Obr. 4.)

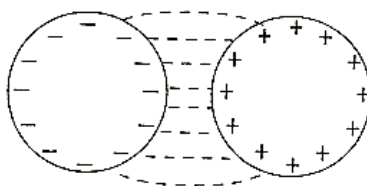
Vodíkové můstky jsou běžně se vyskytující se spojovací mechanismy mezi organickými molekulami v uhlí. Vodíkové můstky se vytváří, když atom vodíku je vázaný na silně elektronegativní atom, např. kyslík, typický v OH skupině. Vodík interaguje s nevazebným elektronovým párem jiného elektronegativního atomu, což může být kyslík COOH skupiny. Bipolární molekuly jako je voda, ještě zesilují pevnost těchto vazeb. ⁽²⁾



Obr. 4. Asociáty, vodíkové můstky , a: asociace – vodík interaguje s nevazebným elektronovým párem kyslíku, b: molekula vody zvyšuje asociace, c: vytváření můstkových asociátů pomocí bipolárních molekul (např. voda). ⁽²⁾

2. Elektrické síly (elektrostatické, elektricky nabitá dvojvrstva) (viz. Obr. 5.)

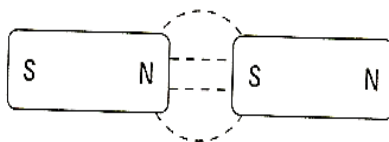
Na povrchu iontových látek se vyskytuje elektrostatické pole, které se překrývá s Van-der-Waalsovými silami. Síla elektrostatického pole se snižuje se vzdáleností od povrchu těles. Elektrostatické síly vznikají, když se k sobě přiblíží a reagují spolu dva pevné povrchy a poté dojde k vytvoření elektricky nabitě dvojvrstvy. Tyto síly jsou nezávislé na velikosti částic. ⁽²⁾



Obr. 5. Elektrické síly. ⁽²⁾

3. Magnetické síly (viz. Obr. 6.)

Tento mechanismus je dán magnetickými silami, ale je omezený pouze na feromagnetické částice.⁽²⁾



Obr. 6. Magnetické síly.⁽²⁾

V. Blokování/uzavření vazeb (viz. Obr. 7.)

K uzavření vazeb dochází, jestliže pevné částic mají např. tvar vlákna, nitě nebo lamel, které se mohou různě vlnit, ohýbat a kroutit se a přitom dojde k zachycování částí mezi sebe navzájem.⁽²⁾



Obr. 7 Blokování vazeb.⁽³⁾

3.2 Pevnost aglomerátu

Jednou z nejdůležitějších vlastností všech aglomerátů je jejich síla. Může být definována jako pevnost v tahu, odpor vůči ohýbání, řezání, drcení, ale také jako odolnost vůči opotřebení nebo tvorbě prachu. Pevnost vazeb je odpovědná za druhy

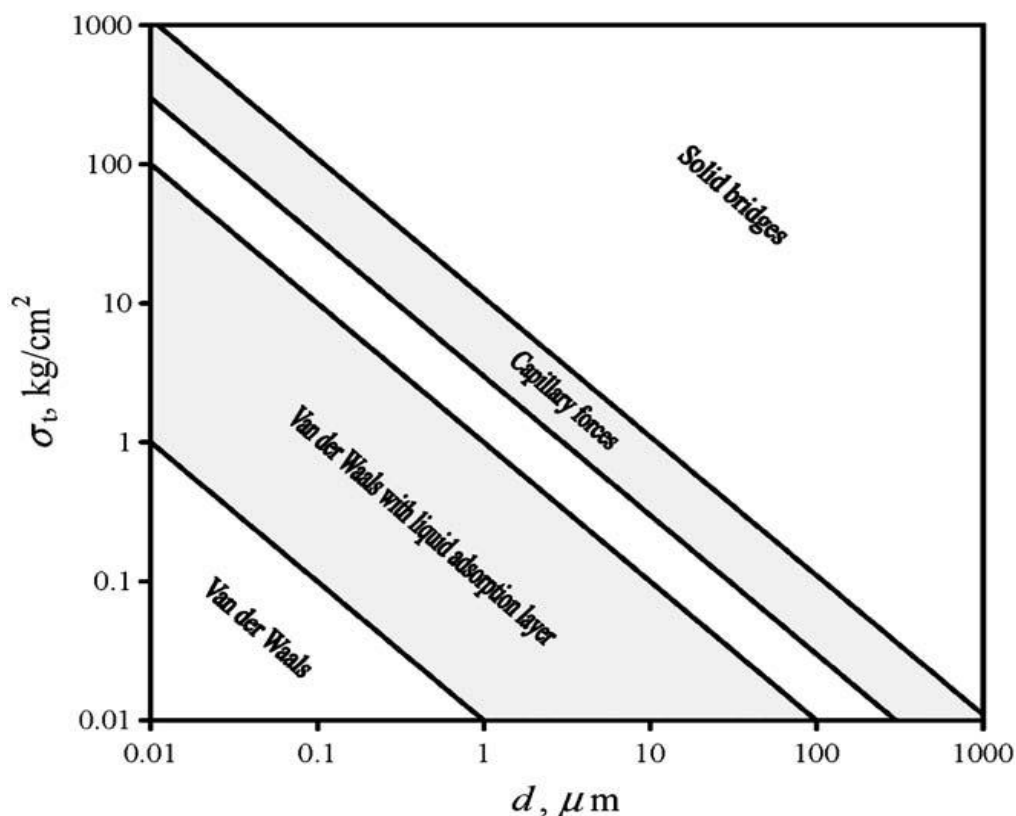
poruch ve struktuře aglomerátu. Potřebujeme vysokou pevnost aglomerátu, aby produkt odolal při následném zpracování, manipulaci, skladování a přepravě. ⁽³⁾

K získání fyzikální významné hodnoty pevnosti, kterou lze laboratorně určit, byla určena pevnost v tahu aglomerátu. Je charakterizována jako tahová síla, při které dojde k poruše v aglomerátu. S největší pravděpodobností dohází k poruše aglomerátu až při nejvyšší tahové síle. Pevnost v tahu bývá zahrnuta do modelů a teoretických výpočtů.

Podmínky pro modelování jednotlivých spojovacích mechanismů aglomerace:

1. Celý objem pórů aglomerátu se naplní látkou (pojivo), která může přenášet sílu a tím způsobí pevnost.
2. Objem pórů je zcela zaplněn kapalinou.
3. Vazebné síly jsou přenášeny v koordinačních bodech primárních částic tvořících aglomerát.

Na obrázku 8 je znázorněn jako pevnost v tahu v závislosti na velikosti aglomerátu pro jednotlivé spojovací mechanismy.



Obr. 8. Graf závislosti pevnosti v tahu σ_t na velikosti aglomerátu d pro jednotlivé spojovací mechanismy. ⁽⁵⁾

Laboratorní a průmyslové hodnocení

Zde jsou uvedeny hlavní parametry určující vlastnosti aglomerátu jsou:

- primární velikost částic x , distribuce $f(x)$, plocha $s(x)$ a tvar
- velikost aglomerátů d , distribuce $f(d)$ a tvar
- hustota
- pórovitost (ϵ) (= prostor mezi primárními částicemi), také velikost pórů a jejich rozložení v aglomerátu
- pevnost aglomerátu

Velikost primárních částic

Na velikosti částice závisí přitažlivé i okolní síly, které budou držet dané částice pohromadě. Velmi jemné částice napomáhají růstu větších částic, protože např. vyplňují mezery a díry, které mají vysokou povrchovou energii, čímž snižují efektivní vzdálenost mezi částicemi a tím zvyšují přitažlivé síly. ⁽³⁾

Pórovitost

Je také velmi důležitá vlastnost aglomerátu. Čím nižší je pórovitost aglomerátu, nebo čím vyšší je hustota aglomerátu, tím pevnější je aglomerát. Ale mnoho z požadovaných výrobků vyžaduje vysokou pórovitost, takže musíme vybrat vhodný spojovací mechanismus a další techniky pro konečnou úpravu pro dosažení dostatečné pevnosti aglomerátu. ⁽³⁾

4. GRANULAČNÍ TECHNIKY

Mezi jednotlivé granulační techniky lze zařadit granulaci postupným narůstáním, granulaci pomocí tlaku a granulaci z taveniny neboli věžovou granulaci. Za další rozdělení bychom mohli považovat, jestli se jedná o granulační techniky, které využívají pojiva (tzv. „wet granulation“) nebo podléhají granulaci bez použití pojiv. Pojivo je látka, která se zachycuje chemickými nebo fyzikálními silami na povrchu částic a vytváří můstky mezi částicemi, a která drží danou částici pohromadě. ⁽³⁾

4.1 Granulace postupným narůstáním

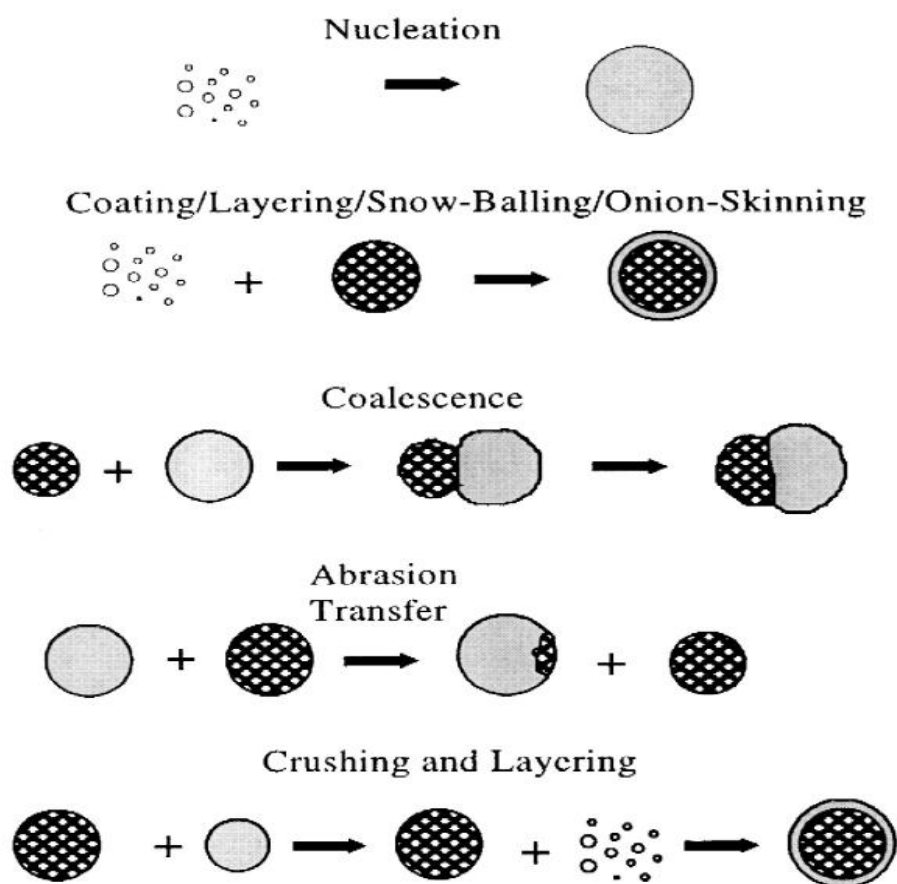
Pevné částice jsou udržovány v nepravidelném pohybu, kdy můžou nastat srážky s ostatními částicemi nebo aglomeráty. Spojení nastane tehdy, jestliže dojde k nahrazení jiným vazebným mechanismem, který vytváří pevnější vazby.

Musí být splněna podmínka velikosti částic, jejichž ekvivalentní průměr je dán hranicí pod 10 μm , větší částice mohou být upraveny mletím, což se většinou neprovádí z ekonomických důvodů.

Omezení velikostí částic představují jednu z nevýhod pro granulaci postupným narůstáním. Naopak výhoda je, že dostáváme produkt s užitečnými vlastnostmi, např. velká pórovitost, velký měrný povrch, snadná rozpustnost. ⁽³⁾

4.1.1 Mechanismus granulačního procesu

Mechanismus granulace jednoznačně vystihuje následující obrázek 9. Nejdůležitější fáze granulace jsou smáčení a nukleace, koalescence, vrstvení, otěr nebo rozpad. ^(6,7,8,9)



Obr. 9. Schéma granulačního procesu. ⁽¹⁰⁾

Nukleace

Je to počáteční fáze procesu granulace, kdy dochází ke kombinaci primárních částic mezi sebou a vznikají prvotní granule. Tento proces patří mezi nejtěžší a časově nejnáročnější fáze celého procesu granulace. Je to dáno tím, že aglomeráty při nárazu mají malou kinetickou energii, z toho vyplývá, že mají slabé adhezní síly a existuje jen málo interaktivních míst, kde se spojují částice. Jestliže jsou síly na spojování příliš

malé, dojde zpět k rozpadu na jednotlivé částice. Částice se drží buď pohromadě, nebo se poutají k větší částici. ⁽³⁾

Koalescence - Srůstání

Je to proces kdy dojde ke spojování primárních granulí do větších granulí. ⁽³⁾

Parametr, který se využívá u koalescence je Stokesovo číslo. ⁽¹¹⁾

Vztah mezi viskozním Stokesovým číslem a Stokesovým kritickým číslem udává jestli dojde ke koalescenci či nikoliv. ⁽¹¹⁾

Vzorec 1: ⁽¹¹⁾

$$St_v = \frac{8\rho_g \bar{r} u_o}{9\mu}$$

St_v je viskozní Stokesovo číslo

ρ_g - hustota částice

$\bar{r}$ - efektivní velikost částice

μ - viskozita částice

u_o - počáteční relativní rychlost granule při nárazu

Vzorec 2: ⁽¹¹⁾

$$St_v^* = \left(1 + \frac{1}{e}\right) \ln\left(\frac{h}{h_a}\right)$$

St_v^* je kritické Stokesovo číslo

e - součinitel vrácení pro srážky

h - tloušťka vrstvy pojiva

h_a - míra drsnosti povrchu granulí

Vyhodnocení Stokesových vztahů:

$St_v \ll St_v^*$ všechny srážky jsou účinné

St_v přibližně rovno St_v^* některé srážky jsou účinné

$St_v \gg St_v^*$ všechny srážky jsou neúčinné

Pro velmi jemné práškové materiály se Stokesovy vztahy dále upravují. ⁽¹¹⁾

Vrstvení

Proces přidávání primárních částic na primární nebo na větší granule, kdy dochází k vytvoření jednotlivých vrstev. ^(1,3)

Rozpad

Otěr nebo případný až rozpad částice nastává tehdy, jsou-li síly, které poutají částice příliš slabé, může být způsobeno např. nárazem. ⁽⁶⁾

4.1.2 Kinetika granulace

Časový průběh tvorby částic:

- a) částice již nemění svůj tvar ani velikost v krátké době (např. tabletování, briketování, atd.)
- b) částice mohou měnit svůj tvar i velikost, dochází až při delší době (granulace z tavenin nebo roztoků) ⁽¹²⁾

Granulace je dána čtyřmi rychlostmi jednotlivých procesů:

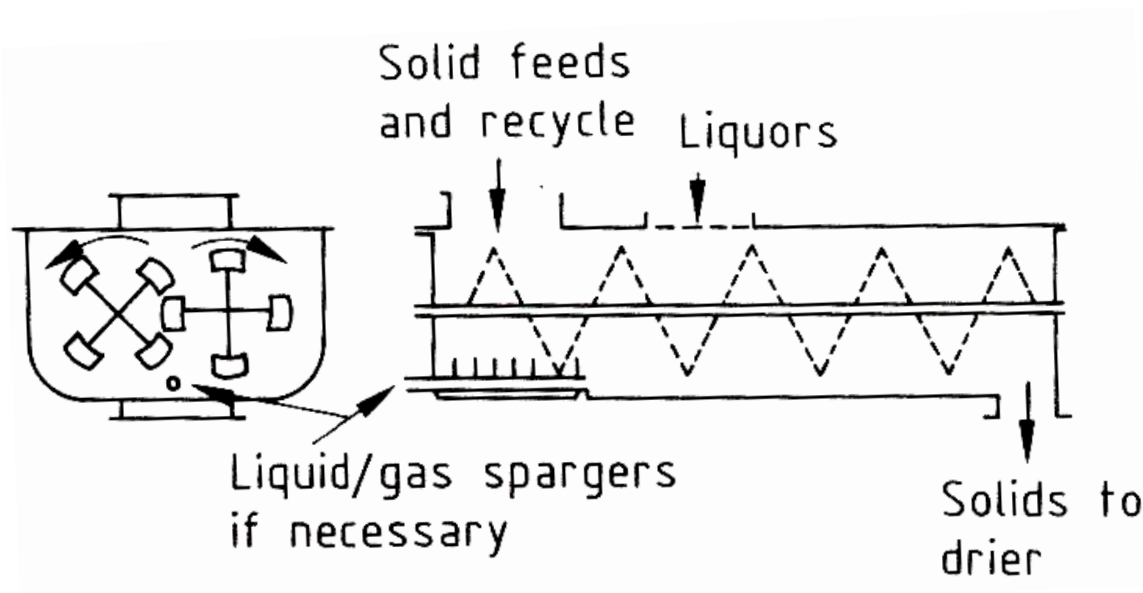
- Rychlost smáčení původní částice spojovací kapalinou
- Rychlost srůstání nebo růstu vytvořené granule
- Rychlost, kdy se granule stává pevnou
- Rychlost opotřebení/oslabení nebo rozpadu granule ⁽³⁾

4.1.3 Zařízení pro granulaci postupným narůstáním

4.1.3.1 Žlabový granulátor - „blunger“

Granulátor má tvar U- žlabu, kde uvnitř se nachází dvouhřídelové lopatky, které se otáčejí stejnou rychlostí v opačném směru. Pevné částice spolu s recyklem jsou nadávkovány na začátku a ve střední části žlabu jsou z kropeny granulační kapalinou, vlivem pohybu lopatek se smočený materiál promíchává a postupuje dále směrem ke konci žlabu, kde je odebírán. V spodní části se nachází rozprašovač kapalného nebo plynného NH_3 , který umožňuje amoniakaci a granulaci současně. Tento typ granulátoru se dá optimalizovat na proměnlivé provozní podmínky a vznikají tvrdé granule stejného složení.

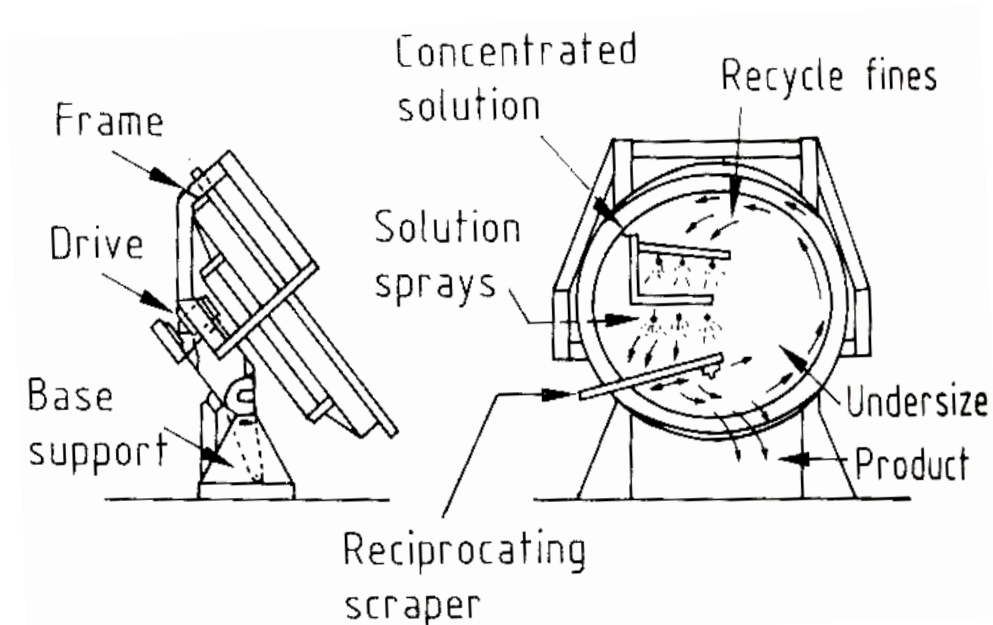
Používá se u výrob fosforečnanu amonného, dusičnanu vápenato-amonného, síranu amonného a dusičnanu amonného ⁽¹³⁾ ale také u kombinovaných a smíšených hnojiv typu nitrofosfátu (NP hnojivo), PK a NPK. ⁽¹⁴⁾



Obr. 10. Žlabový granulátor – blunger. ⁽¹³⁾

4.1.3.2 Pánvový granulátor

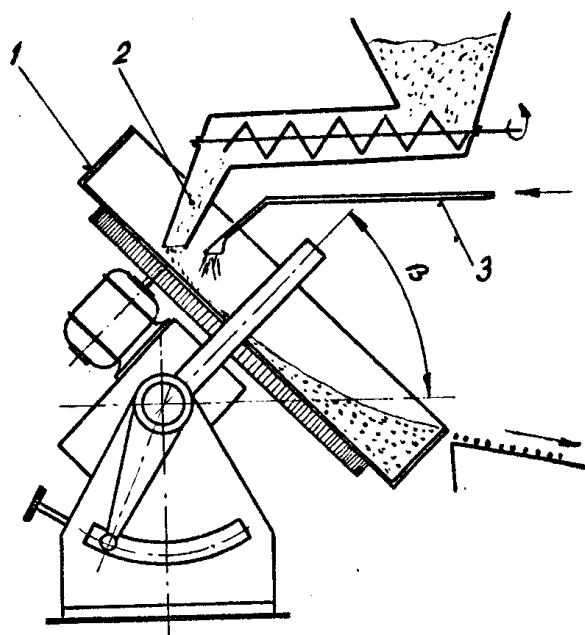
Částice se pohybují spirálovitě vlivem rotace pánve, gravitace a také závisí na sklonu pánve. Při dosažení požadované velikosti přepadnou přes okraj pánve. Můžou se zpracovávat i taveniny a kaly, které jsou rozstříkovány na vrstvu, jak je ukázáno na obrázku 11. Tímto typem granulátoru se nejčastěji připravuje dusičnan amonný, dusičnan vápenatý, soli močoviny a TSP. Tyto granulátory jsou vyráběny pouze do průměru 7,5 m.⁽¹³⁾



Obr. 11. Nakloněný pánvový granulátor.⁽¹³⁾

4.1.3.3 Talířový granulátor

Rotační osa talíře svírá s horizontální rovinou úhel 40 - 60°. Materiál vstupující do granulátoru je ve formě prášku. Částice se převalují na nakloněném rotujícím talíři, při kterém jsou zkrápěny granulační kapalinou ve vhodném místě a zde dojde ke vzniku zárodků, které narůstají nabalováním na sebe.⁽¹²⁾



Obr. 12. Talířový granulátor 1- talíř; 2- vstup materiálu; 3- vstup kapaliny. ⁽¹²⁾

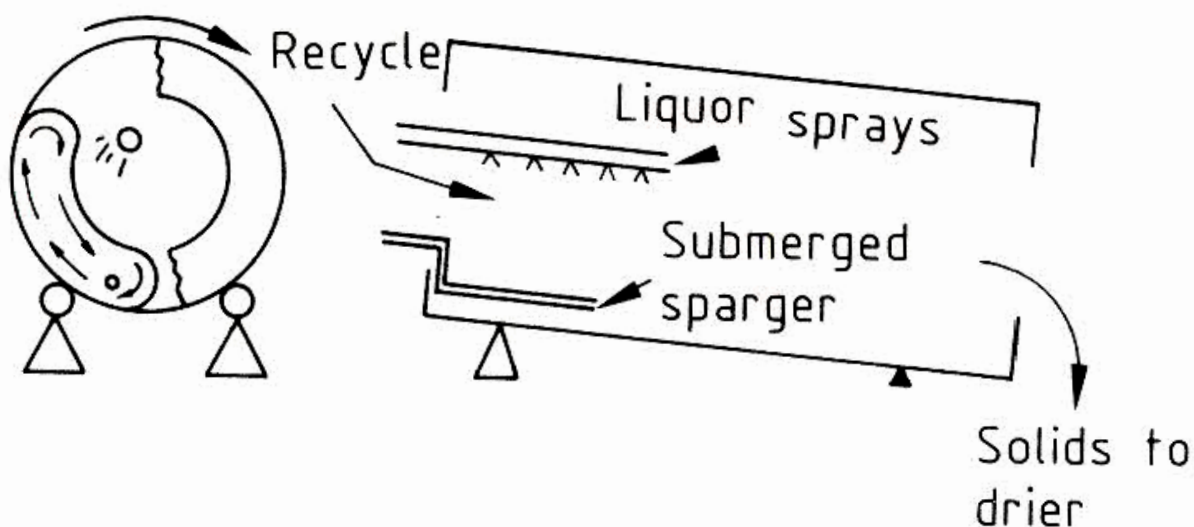
4.1.3.4 Bubnový válcový granulátor

Tento typ granulátoru má tvar rotujícího válce, který může být mírně nakloněn až do úhlu 10° , který napomáhá posunu materiálu směrem ke konci bubnu. Patří mezi nejpoužívanější typy granulátoru pro aplikaci hnojiv. ⁽¹³⁾

Rychlost rotace bubnu, množství vlhkosti a výška vrstvy jsou rozhodujícím faktorem pro správný granulační proces. Cílem je dosažení velikostí daných granulí v co nejkratším čase a s co nejmenší spotřebou pojiva. ⁽¹⁵⁾

Na vstupu do bubnu dochází ke zkrápění příchozího materiálu granulační kapalinou a vytvoření zárodků granulí, které dále rostou vlivem nabalování výchozích částic při převalování a přesypání náplně granulátoru. Produkt bývá polydisperzní. Proto bývá obvykle zařazen za granulátorem, sušicí zařízení a následné třídění vzniklého produktu. Granule, které nedosáhnou požadované velikosti se vrací zpět, jako tzv. recykl a ty které jsou nadměrné svojí velikostí jsou dále rozdrčeny nebo pomlety a jdou zpět do granulačního bubnu. ^(3,12)

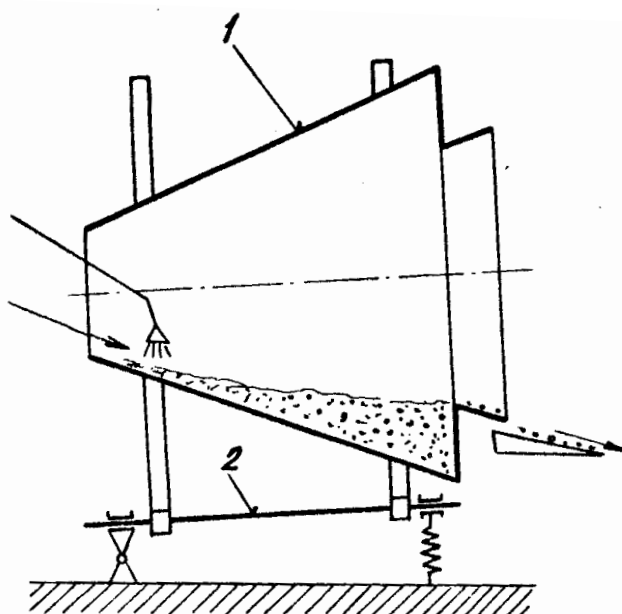
Běžný bubnový granulátor mívá v průměru okolo 4,5 m a na délku až 16 m a používá se pro granulaci superfosfátu, trojitého superfosfátu, dusičnanu vápenato-amonného, směsného dusičnanu a síranu amonného. ⁽¹³⁾



Obr. 13. Bubnový granulátor. ⁽¹³⁾

4.1.3.5 Bubnový kuželový granulátor

Prostor pro granulaci je tvořen bubnem kuželovitého tvaru. Je vhodný taktéž pro práškové materiály zkrápněné granulační kapalinou. Má některé výhody oproti bubnovému válcovému granulátoru a to intenzivnější míchání, třídící účinek a výsledný produkt je stejnorodější z hlediska velikosti granulí. ⁽¹²⁾



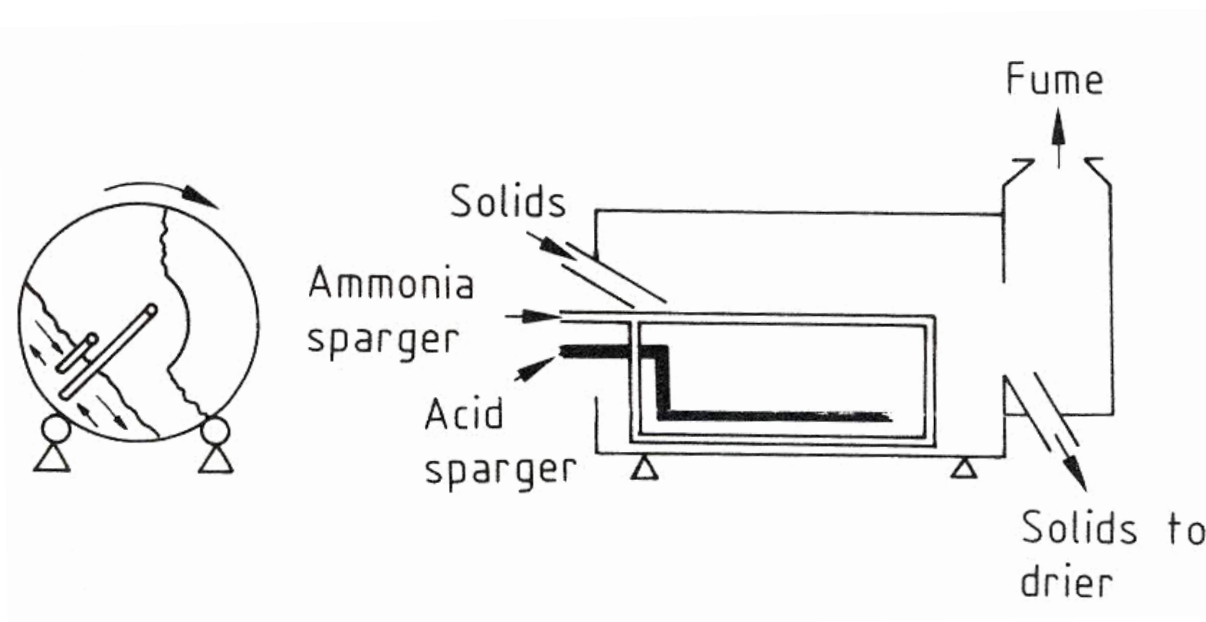
Obr. 14. Bubnový kuželový granulátor 1- kuželový buben; 2- pohon. ⁽¹²⁾

4.1.3.6 TVA bubnový amoniátor-granulátor

Tento druh granulátoru je podobný bubnovému válcovému s jedním výrazným rozdílem. V tomto případě se v zařízení nenachází žádné zvedací lopatky.

Amoniak reaguje s kyselinou sírovou a fosforečnou pod povrchem vrstvy přiváděné pevné látky a recyklu. Teplo, které vzniká, se odstraňuje pomocí přiváděného vzduchu.

⁽¹³⁾

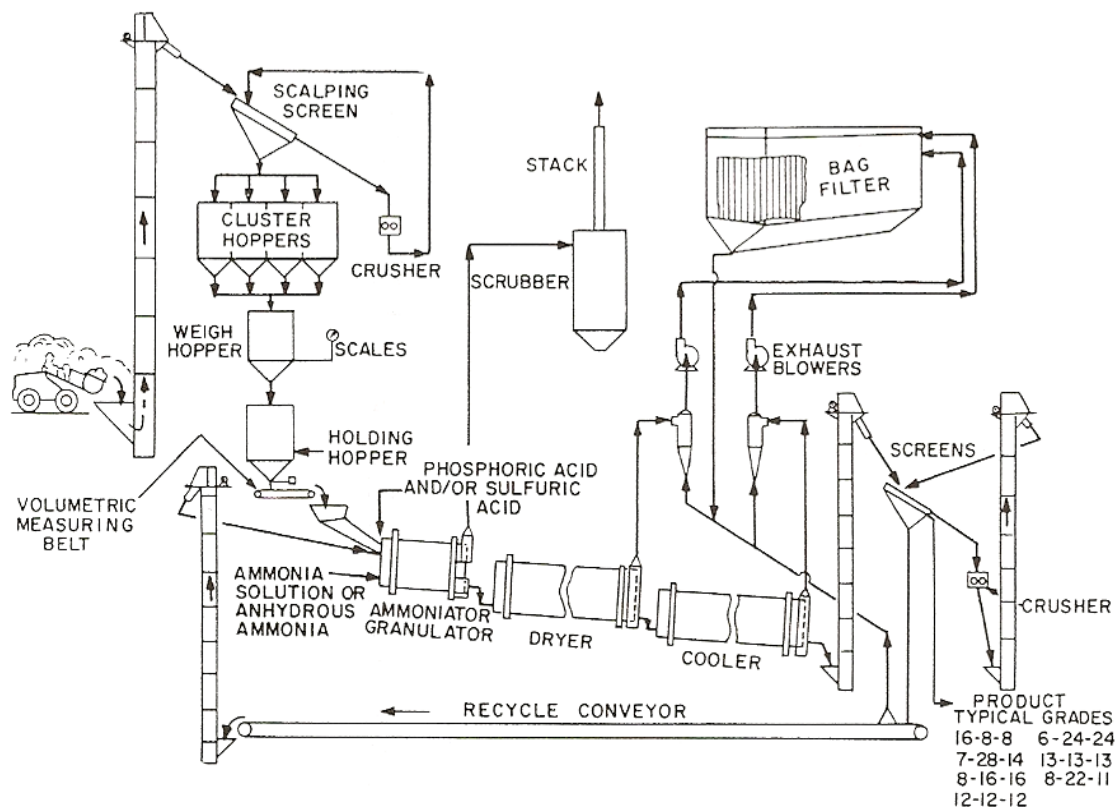


Obr. 15. TVA bubnový amoniátor-granulátor. ⁽¹³⁾

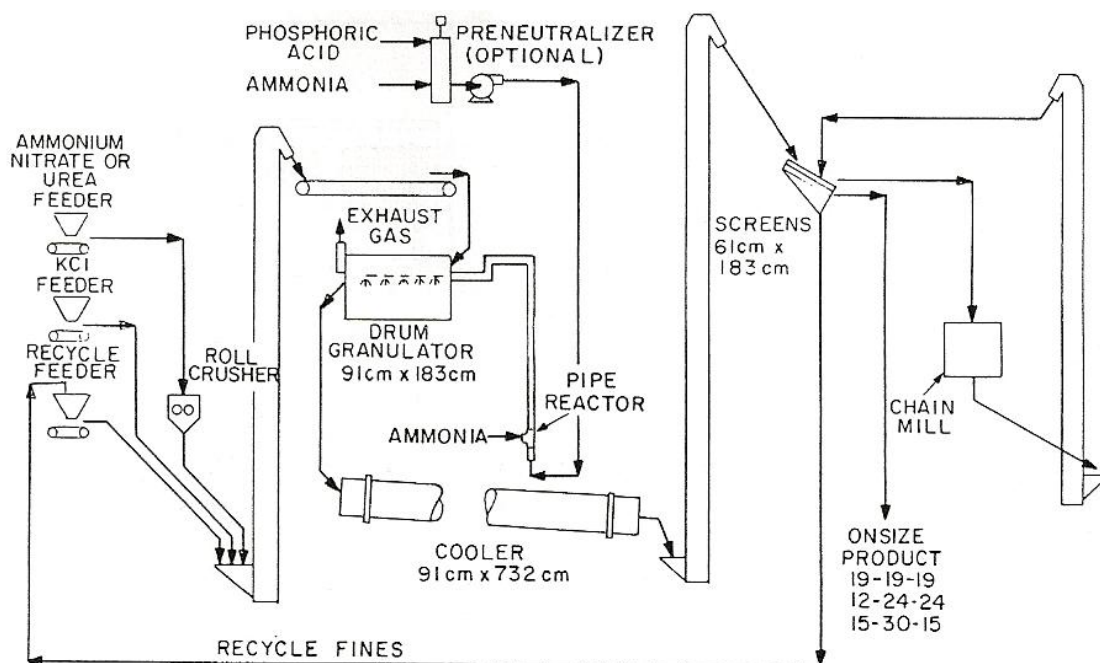
Na následujících obrazcích jsou znázorněna celá schémata granulačních závodů.

Obr. 16 vystihuje granulační závod používající TVA typ amoniace-granulace pro výrobu granulovaného NPK hnojiva. ⁽³⁾

Obr. 17 popisuje výrobu granulovaného NPK hnojiva z pevného dusičnanu amonného nebo močoviny a potaše s taveninou polyfosforečnanu amonného pomocí trubkového reaktoru. ⁽³⁾



Obr. 16. Schéma TVA amoniace - granulačního zařízení pro výrobu granulovaného NPK hnojiva. ⁽³⁾



Obr. 17. Schéma granulačního závodu používající TVA trubkový reaktor pro výrobu granulovaného NPK hnojiva. ⁽³⁾

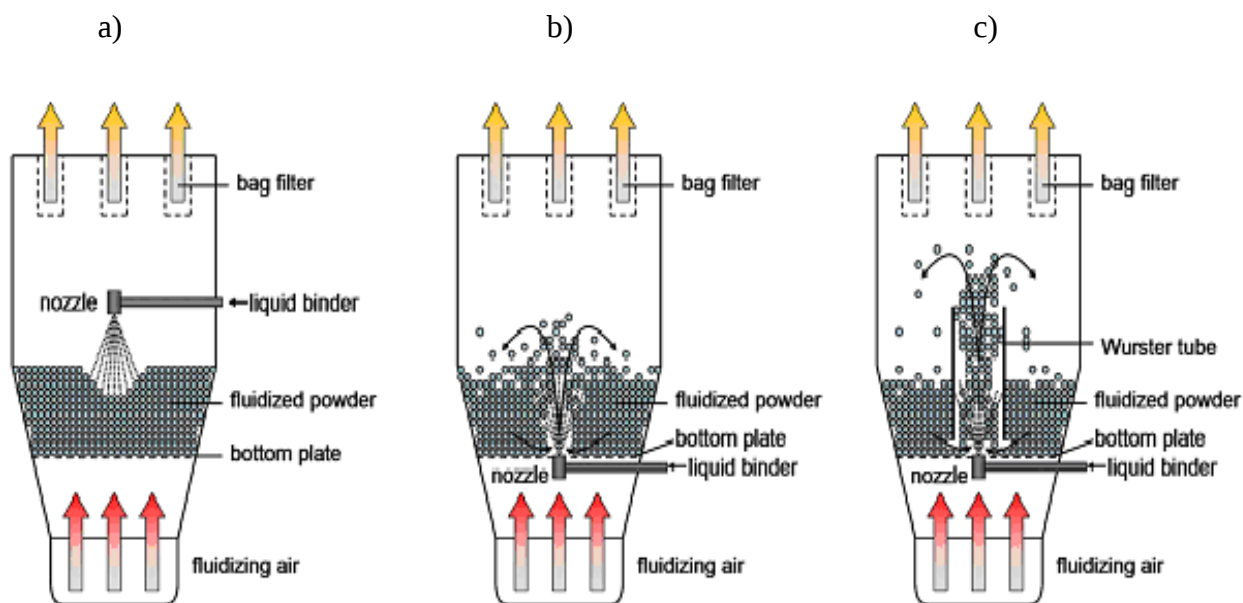
4.1.3.7 Fluidní granulátory

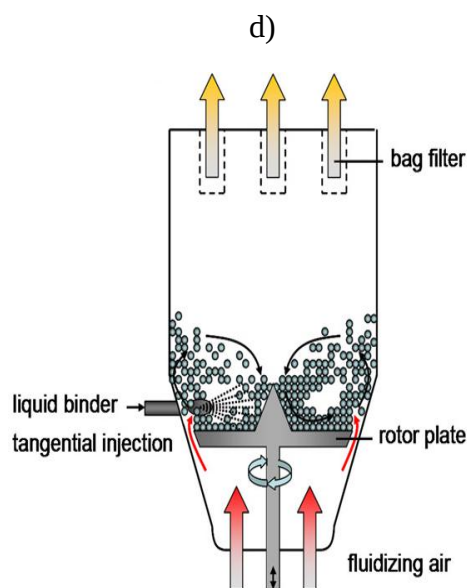
Výhoda fluidního procesu je, že dochází zároveň nejen ke granulaci ale také k sušení a chlazení fluidním vzduchem. ⁽¹²⁾

Kapalný roztok nebo tavenina se nastříkuje do fluidní vrstvy částic, buď dojde k růstu granulí vrstvením, nebo kapalina slouží jako pojivo k počátku granulace. Důležitým faktorem je homogenizace kapaliny ve fluidní vrstvě. Hlavním parametrem toho procesu je distribuce vlhkosti, která určuje velikost částic a složení produktu. ⁽¹⁶⁾

Rozdělení fluidních granulátorů, které jsou zobrazeny na obr. 18.

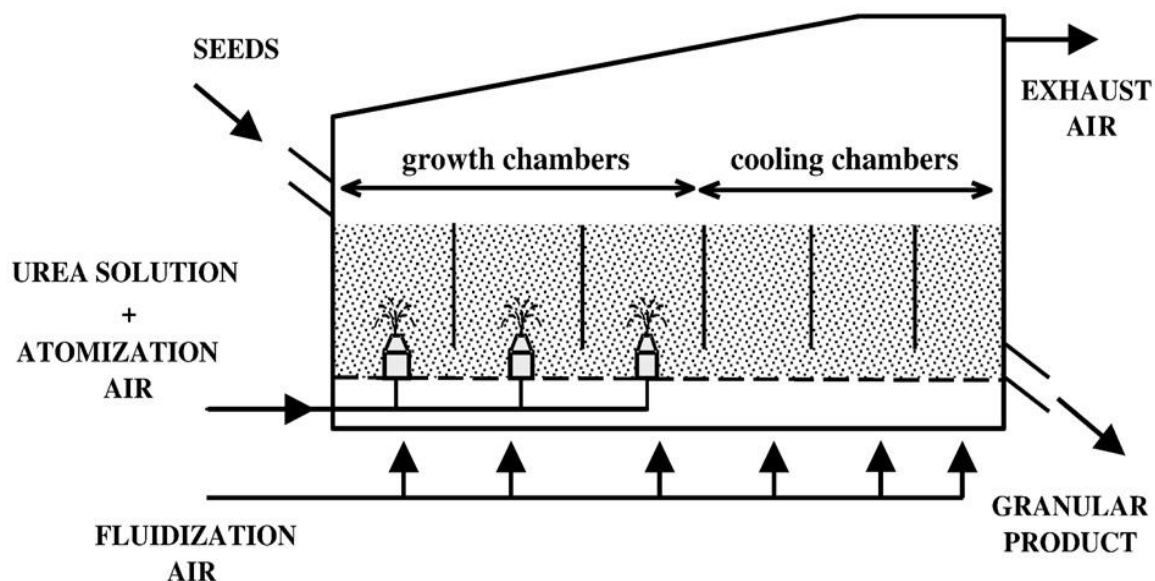
- a) s horním nástřikem
- b) s dolním nástřikem
- c) wurster granulátor
- d) s rotujícím talířem ⁽¹⁷⁾





Obr. 18. Schéma různých typů fluidních granulátorů: a) s horním nástřikem, b) s dolním nástřikem, c) wurster granulátor, d) s rotujícím talířem ⁽¹⁸⁾

Na obrázku 19 je znázornění fluidního granulátoru pro výrobu močoviny. Zárodky močoviny jsou dávkovány do první komory určené pro růst, kde je ze spodu nástřikáván atomizovaný roztok močoviny pomocí trysek. Granule pokračují do komor určených pouze k chlazení přiváděným fluidním vzduchem a následné odpaření vody, zde už nedochází k růstu granulí. ^(19,20)



Obr. 19. Fluidní granulátor pro výrobu močoviny ⁽²¹⁾

4.2 Granulace pomocí tlaku

Granulace tlakem je použita pro dosažení rozmanitých vlastností daného produktu, které mohou být např. specifický tvar, velké kusy, specifická hmotnost, vysoká hustota, nízká pórovitost, vysoká konečná pevnost, dlouhá trvanlivost. Ale zároveň musí být splněny určité požadavky pro daný proces, např. vysoká počáteční pevnost, suchý proces, s přidavkem malého množství pojiva nebo bez pojiva, tepelné zpracování, bez konečného zpracování, zpracování elastických materiálů, automatický provoz, snadné čištění.

Nejdůležitější faktor rozděluje jednotlivé tlakové procesy je síla, která se využívá na stlačení, zhuštění nebo tvarování částic pevných látek. Dosažené síly působící na částice mohou být malé nebo naopak velké podle druhu výrobního zařízení.

Jednotlivé technologie se rozdělují na:

Nízkotlaké techniky

Střednětlaké techniky

Vysokotlaké techniky

U této techniky není kladen požadavek na primární velikost částic pevných látek, které mají být zpracovány. Výhodou vysokotlaké techniky je, že většinou je zpracováván suchý materiál, který netvrdne a je možné proces rychle zastavit a začít znovu. Zařízení pracují prakticky samostatně a nevyžadují přítomnost obsluhy, ale jsou poměrně složité. Z toho vyplývá, že největší využití nachází v nízko a středně velkých aplikacích.

Granulace tlakem nemůže být použita u těch výrob, např. zpracování rud a nerostných surovin, kde produkce dosahuje několika milionů tun ročně a složení produktu je vždy stejné. ⁽³⁾

4.2.1 Mechanismus granulace pomocí tlaku:

U nízko a střednětlakých technik jsou možné prakticky všechny druhy spojovacích mechanismů, u vysoko tlakové techniky mechanismus poskytují přitažlivé síly. Na stlačování suchých částic do tablet, briket nebo výlisků je použita různě velká síla, při které dané produkty mají specifický tvar i velikost. Rozdíl oproti granulaci postupným narůstáním je v tom, že granule mají definovaný tvar, který je dán otvory nebo mezerami kudy prochází materiál. Zpracováváný materiál obsahuje póry, které jsou vyplněny plynem (vzduchem) a při působení tlaku, dojde k unikání vzduchu, což má za následek stlačování materiálu.

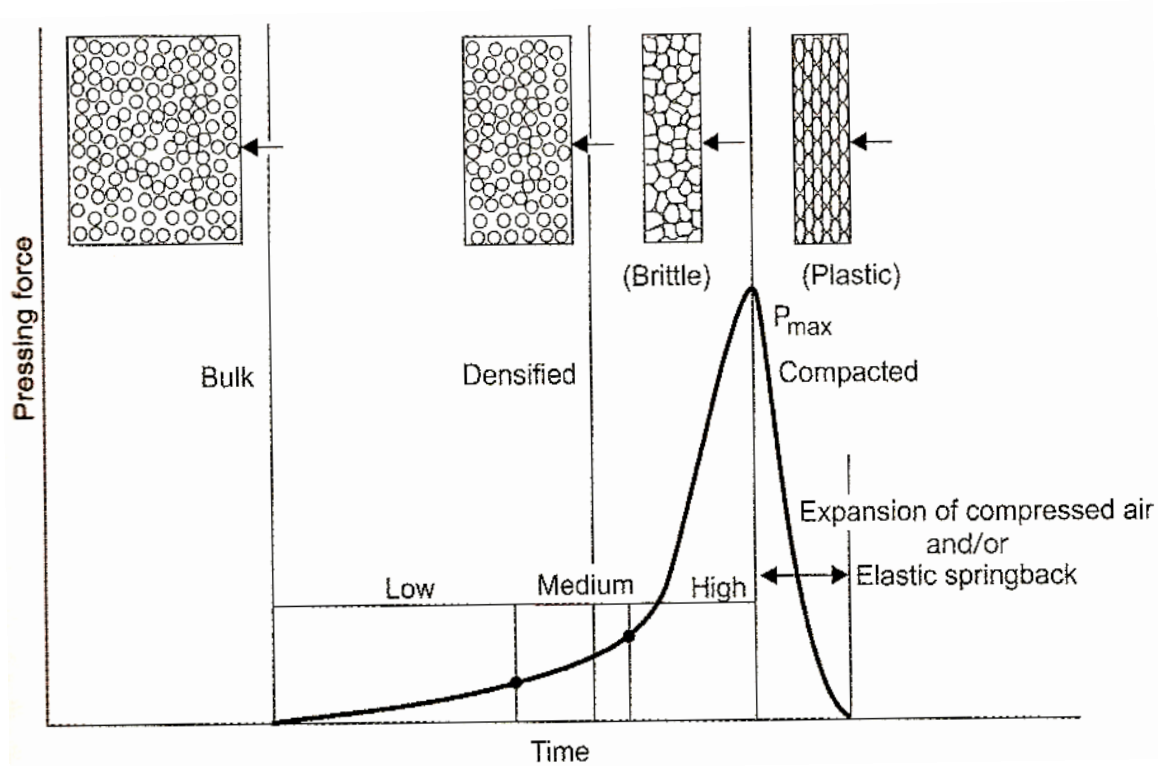
Jako v předchozím případě mohou být rozděleny procesy na ty, které používají pojiva a ty, které nikoliv. Mezi procesy, které používají pojiva, se řadí nízko a střednětlaké techniky. Tyto vazby nejsou příliš silné, stanou se pevnějšími, jestliže následují další procesy jako stárnutí, sušení, pálení, atd. Střednětlaké techniky jsou nazývány často peletování. Produkty mají válcovitý tvar daného průměru, ale proměnlivé délky. Vysokotlaké techniky produkují výrobky s vysokou pevností, tudíž nevyžadují pojiva. ⁽³⁾

V horní části obr. 20 je znázorněno, jak se mění objem stlačovaného materiálu, spolu s velikostí a tvarem částic v závislosti na síle tlaku. V dolní části obrázku je zase

znázorněna lisovací síla v závislosti na čase. Mění se až do okamžiku, kdy je dosaženo $P_{\max}$, kdy se proces obrátí.

V prvním kroku se mění uspořádání částic vyžadující malou sílu, ale nemění se tvar ani velikost částic. Poté dochází k velkému nárůstu síly, kdy se křehké částice rozpadají a temperované částice se deformují.

Existují dva jevy, které ovlivňují rychlost stlačování a to – stlačený zbytkový plyn (vzduch) v pórech a elastické odpružení. Oba jevy způsobují praskání, oslabení někdy dokonce i rozpad produktu. ⁽²⁾



Obr. 20. Náčrtek vyjadřující mechanismus tlakové granulace ⁽³⁾

4.2.2 Zařízení pro granulaci pomocí tlaku:

Pro aplikaci hnojiv se používá výhradně jen vysoko tlakové techniky. Mezi tyto techniky se nejvíc uplatňuje granulace pomocí válcových lisů, briketovacích strojů, extrudérů. ⁽³⁾

Válcové lisování je kontinuální granulární proces, který probíhá mezi dvěma proti sobě rotujícími válci. Práškový materiál je dodáván pomocí dopravníku, mezi válci dojde ke zhutnění materiálu a produkt odchází nastavitelnou mezerou těmito válci. Jestliže ve válcích jsou tvarované díry, výsledným produktem jsou brikety – a tomuto procesu se říká briketování. ⁽²²⁾

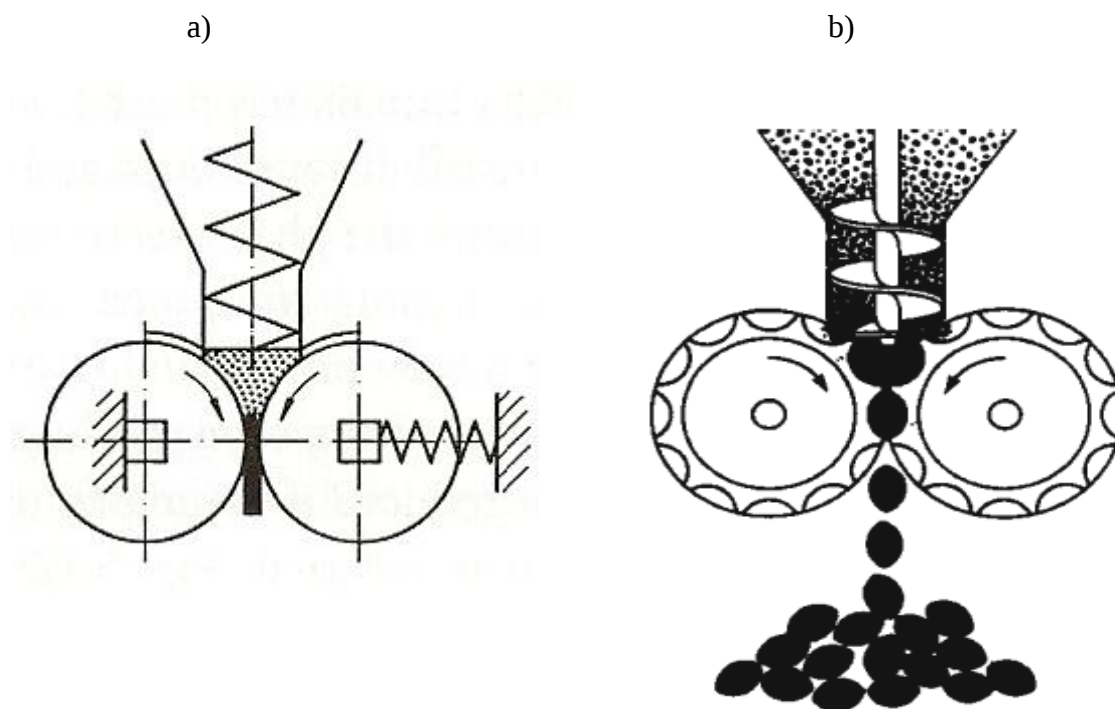
Nachází se tři zóny mezi válci, kde jsou různé mechanismy:

Krmicí zóna – síla napětí je malá, dochází pouze k malému zhutnění vlivem uspořádání částic

Zhutňovací zóna – lisovací síla je největší, dochází k deformaci nebo zlomu částic

Vytlačovací zóna – kde slisovaný materiál opouští prostor mezi válci ⁽²³⁾

Příklady zařízení pomocí válcového lisování jsou na obrázku 21:



Obr. 21. Schéma zařízení a) válcový lis ⁽³⁾, b) válcový briketovací lis ⁽²⁴⁾

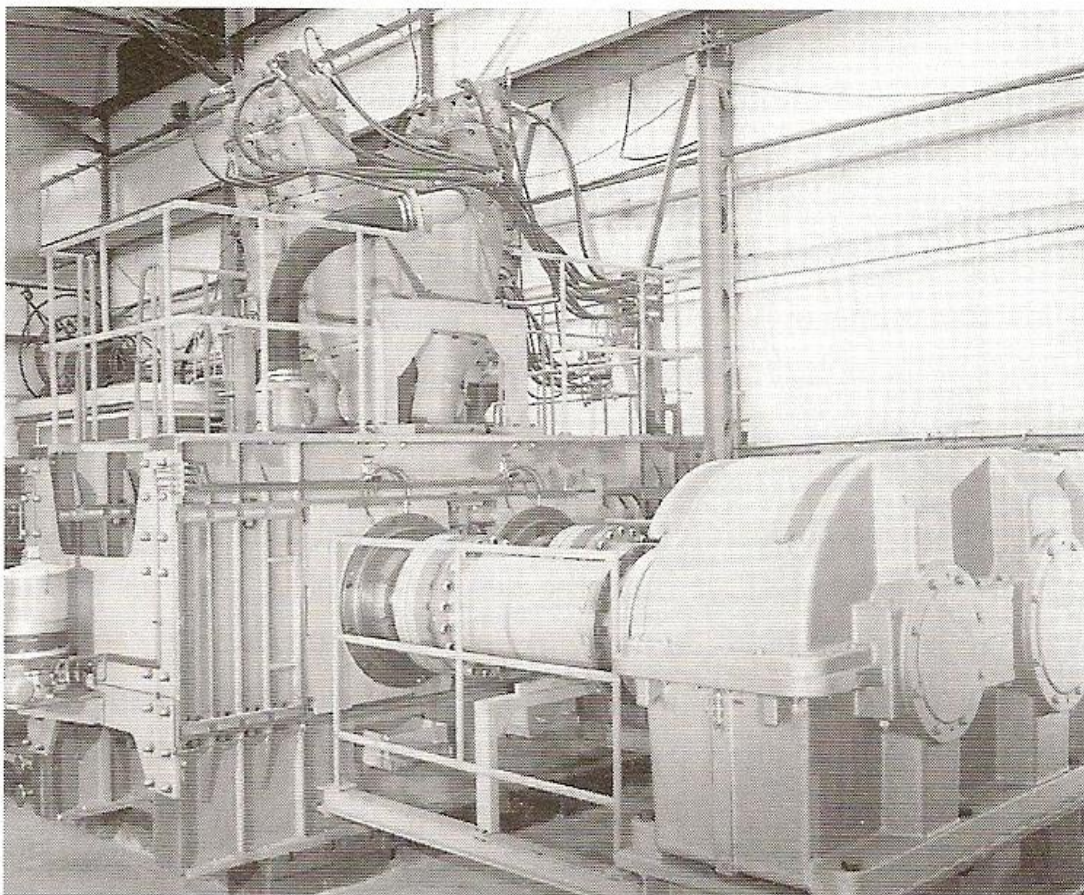
Výhody granulačního procesu pomocí válcových lisů:

- kontinuální proces, vysoká výrobní kapacita
- možnost zhutňování horkých materiálů do 1000 °C
- nízké náklady
- není nutné sušení materiálu

Nevýhody granulačního procesu pomocí válcových lisů:

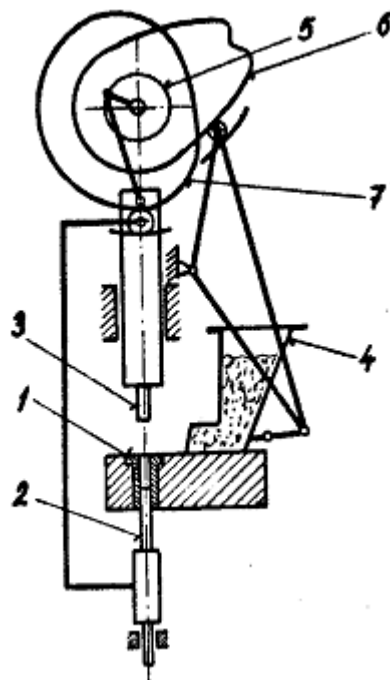
- vzhled a rozměr výlisků briketováním není tak pravidelný jak u produktu lisováním
- velmi jemný prášek, který se nezpracuje je nutné recyklovat ⁽²³⁾

Na následujícím obrázku 22 jsou zobrazeny skutečné moderní válcové lisy, které využívají v Německu.

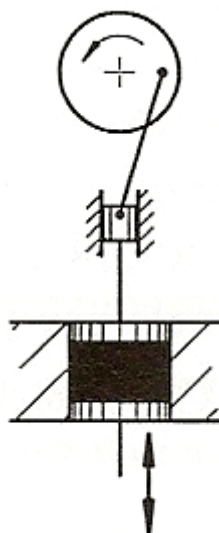


Obr. 22. Moderní válcové lisy na zhutnění hnojiv (courtesy Köppern, Hattingen/Ruhr, Germany)

Na následujících obrázcích 23 a 24 jsou znázorněny dalších zařízení pro tlakové techniky granulace.



Obr. 23. Tabletovací výstředníkový stroj 1 – matrice; 2,3 – protilehlé razníky; 4 – násypka; 5 – výstředník; 6,7 – vačky. ⁽¹²⁾



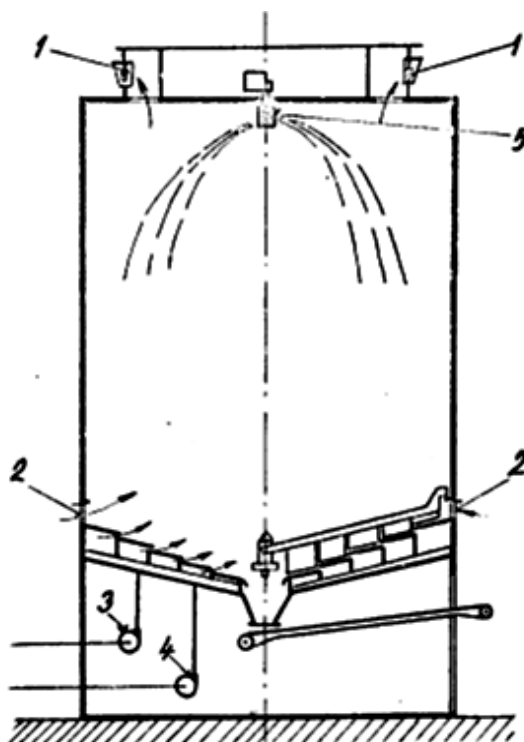
Obr. 24. „Punch and die“ zařízení. ⁽³⁾

4.3 Granulace z taveniny – věžová granulace

Granulační věž se obvykle zhotovuje z cihel nebo betonu, které jsou zabudovány v ocelové konstrukci ve tvaru rotačního válce velkých rozměrů, které mohou dosahovat výšky až 60 m a průměru 16 m. ⁽⁵⁾

Na vrcholu věže se nachází rozdělovač taveniny, může být statický nebo odstředivý. Kapky taveniny padající dolů jsou chlazeny proudem vzduchu. Dochází ke krystalizaci taveniny od povrchu směrem k jejímu středu. Složení produktu závisí nejen na parametrech rozdělovače (rychlost otáčení, rozměry otvorů), ale také na vlastnostech taveniny (hustotě, povrchovém napětí). Výsledné granule mají kulový tvar a přibližně stejný rozměr (1-3 mm). ^(5,7)

Požadavek pro granulaci z taveniny je, že zpracovávaný materiál by měl mít relativně nízký bod tání a nízkou viskozitu. Používá se pro granulaci močoviny, fosforečnanu amonného, dusičnanu amonného i kombinovaných hnojiv. ⁽⁵⁾



Obr. 25. Granulační věž 1 - ventilátor; 2 – vzdušníky; 3,4 – ventilátory; 5 – rozdělovač. ⁽¹²⁾

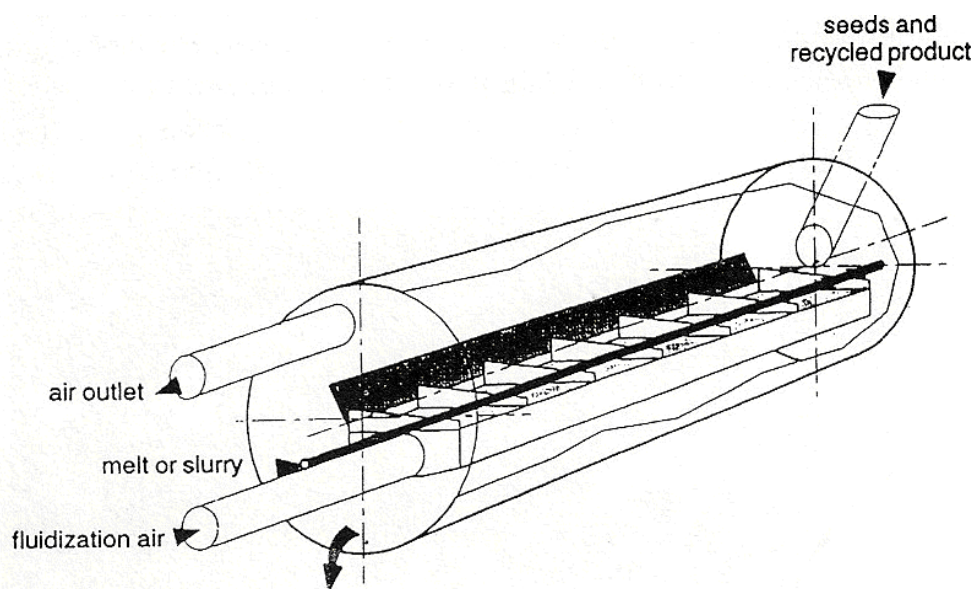
5. MODERNÍ TRENDY GRANULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Povrchová úprava granulátu

Slouží k úpravě dostupnosti živin, kontroluje se doba uvolnění a zlepšení výživy rostlin. Obaly granulí jsou také využívány jako nosiče toxických chemikálií – insekticidy, pesticidy a herbicidy. Tyto obaly musí mít specifické vlastnosti a jejich nejdůležitější vlastností je rozložitelnost. ⁽³⁾

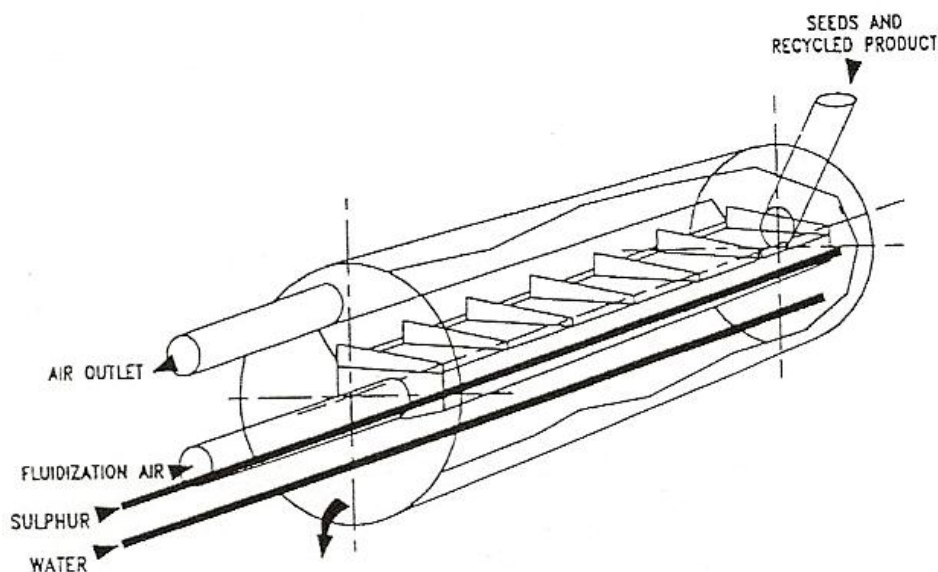
Obalový materiál, by měl mít vysokou pórovitost, a musí být dostatečně pevný, aby přežil impregnační proces. Impregnovaná účinná látka zvyšuje nebo někdy zcela nahrazuje původní mechanismus spojení primárních částic. Důležitý je příjem vlhkosti pro daný produkt, protože granule se musí rychle rozkládat vlivem vlhkosti z půdy nebo ovzduší. Přijímání vlhkosti napomáhají povrchově aktivní látky, ale také bakterie podílející se na degradaci. ⁽³⁾

Na obr. 26 je znázorněn fluidní bubnový granulátor. Jedná se o válcový horizontální buben, který rotuje kolem své osy a je opatřen protizanášecími vestavbami. Fluidní vrstva se vytváří uvnitř zásobníku, kde se přivádí fluidní vzduch. Do bubnu se přivádí materiál ke granulaci společně s recyklovaným produktem, které dopadají na povrch fluidní vrstvy a jsou chlazené fluidním vzduchem. V důsledku šikmého zásobníku se granule pohybují přes vrstvu až na okraj, kde následně přepadnou do spodní části bubnu, kde jsou nastříknuty taveninou nebo roztokem. Potažené granule odchází ve spodní části bubnu. ⁽³⁾



Obr. 26. Fluidní bubnový granulátor pro povrchovou úpravu granulovaného materiálu (Kaltenbach-Thuring, Beauvais, Francie)

Příklad upraveného fluidního bubnového granulátoru pro aplikaci síry pro využití v zemědělství popisuje obrázek 27. ⁽³⁾



Obr. 27. Fluidní bubnový granulátor pro výrobu granulované rozložitelné síry pro zemědělské použití. (Kaltenbach-Thuring, Beauvais, Francie)

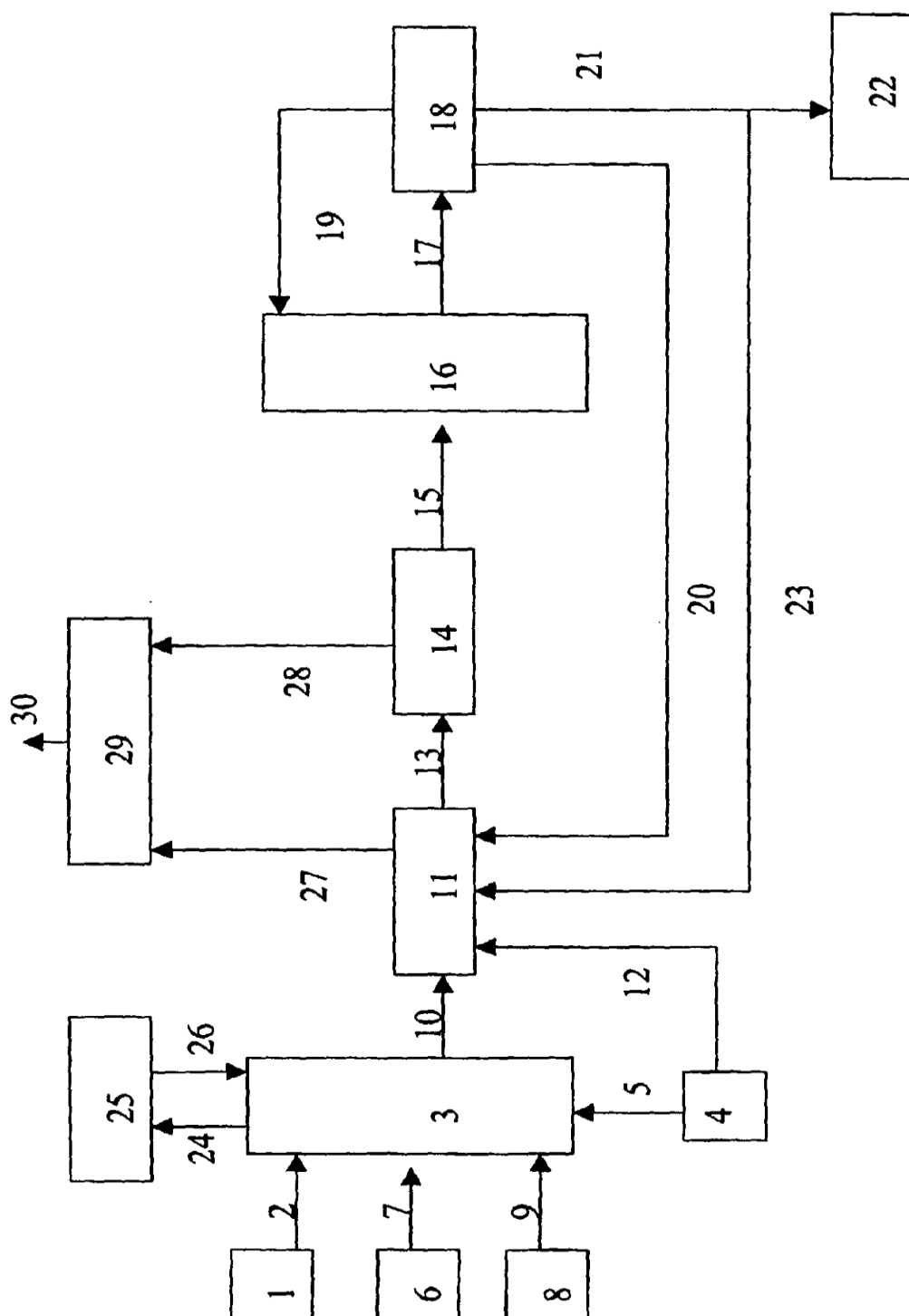
Další metodou povrchové úpravy je mikroenkapsulace (zapouzdření), která slouží k vytvoření produktu s kontrolovaným uvolňováním živin do okolního prostředí. Je to dáno tím, že omezeně propouští aktivní složky z vnějšího média. Na povrchu granulí vznikají polymerní sítě uzavírající do sebe pevné nebo kapalné látky. Cílem toho opatření je omezit únikům účinné látky do životního prostředí, snížit množství účinné látky, zlepšit účinnost materiálu a jeho dobu vytrvání po aplikaci do půdy. ⁽³⁾

Hnojiva obsahující síru

Síra se získává z průmyslových procesů, např. odstranění nežádoucích složek síry ze zemního plynu. Nejprve dochází k rozemletí elementární síry v disperzním mlýnu (nejlépe pevné síry), v kterém dojde k důkladnému rozptýlení síry do kapaliny. Jako kapalina se používají vodné roztoky, např. vodné roztoky H_3PO_4 a H_2SO_4 , nebo

vodné roztoky solí těchto kyselin. Poté jsou přidávány další komponenty, jako jsou povrchově aktivní látky, které snižují vznik prachu, napomáhají lepší granulaci a snižují viskozitu. Dále to může být přidání stopových prvků (jako jsou B, K, Na, Ca, Fe, Zn, Mo, Cu, Co, atd.) v elementární formě nebo ve formě solí. V posledním kroku dojde ke granulaci směsi elementární síry se všemi dalšími komponenty v granulátoru. Nejčastěji využívány jsou bubnové, žlabové a pánvové granulátory. Velikost granulí se pohybuje od 1,5 do 5 mm. Obsah elementární síry je nejvýhodnější, jestliže se pohybuje v rozmezí od 10 do 40 hm. % vůči celkovému obsahu hnojiva. Výhodou procesu je možnost dobré kontroly velikosti a distribuce částic síry v hnojivu a tím ovlivnění účinnosti daného hnojiva. Jako příklady takové hnojiva jsou TSP a NPK obsahující elementární síru. ⁽²⁵⁾

Na následujícím obrázku 28 je znázorněno schéma procesu výroby různých typů fosfátových hnojiv obsahujících síru.



Obr. 28. Schéma procesu výroby fosfátového hnojiva obsahujícího síru (S-DAP, S-MAP, S-NPK).

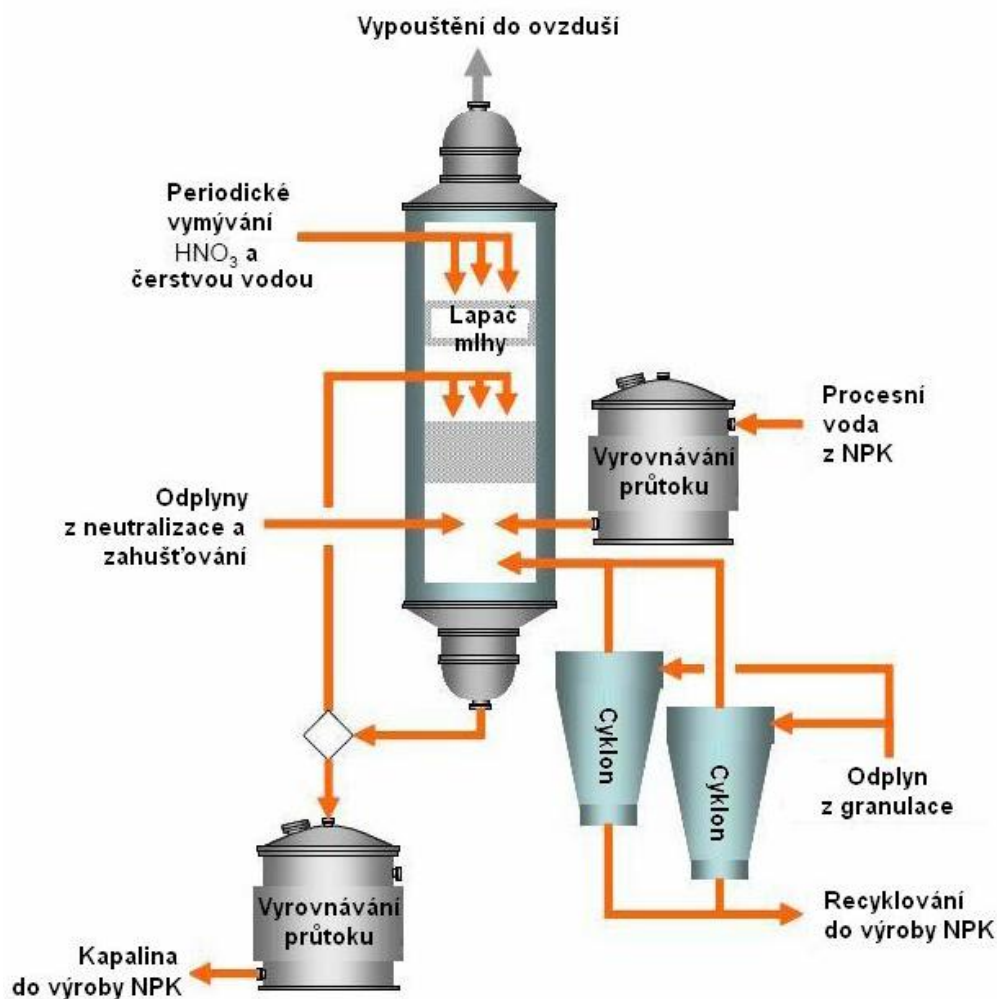
1 – nádrž H_3PO_4 ; 3 – reaktor; 2, 5, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28 – linky; 4 – nádrž (g) NH_3 ; 6 – nádrž vody; 8 – nádrž síry; 11 – bubnový granulátor; 14 – rotující sušárna; 16 – třídící jednotka; 18 – drtič; 22 – chladič; 25, 29 – mokrá pračka; 30 – odvod do atmosféry. ⁽²⁶⁾

Hnojiva s kontrolovaným účinkem působení

Hnojiva s kontrolovaným uvolňováním účinné složky, které má dobu účinnosti delší jak 30 dní, nejlépe až do 104 týdnů po aplikaci. Doba účinnosti hnojiva je ovlivněna povrchovými vlastnostmi, rozpustností základního materiálu a úpravou složení. Toto hnojivo se skládá ze základního granulovaného materiálu jádra, které je částečně rozpustné ve vodě. Na základním materiálu je nanесena první vrstva obsahující vosk s účinnou látkou. Kdy k nanášení dochází při rozstřikování roztaveného vosku s účinnou látkou na granulovaný materiál. Jako základní materiál se používají hnojiva typu KNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, superfosfát, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ a močovina s rozměrem granulí od 0,72 - 4 mm. Jako voskové materiály se mohou použít vyšší alkeny nebo stearamidy. Na tuto první vrstvu je aplikována vrstva druhá s polymerním složením. Vhodným polymerem mohou být alkyly, epoxidové pryskyřice, uretanové pryskyřice nebo aminoplasty. Takto připravené složení obalovaných granulí hnojiva vykazuje účinnost zpomalování uvolňování živin nejméně 90 %. Tímto procesem se zabývá vývoj nového systému pro uvolňování účinných látek, jako jsou herbicidy, regulátory růstu, feromony, baktericidy, insekticidy, akaricidy a fungicidy. ⁽²⁷⁾

Zpracování koncových plynů při výrobě NPK hnojiv

Ve výrobě NPK hnojiv a dalších se zpracovávají koncové plyny z jednotlivých operací – zahušťování, neutralizace a granulace ve skrápěcím zařízení. Na obrázku 29 je uveden kombinovaný postup čištění odpadních plynů. Skrápěcí zařízení je vybaveno lapačem mlhy a kapek, které je umístěno v horní části. Je nutná jeho pravidelná údržba, z důvodu zanášení nerozpustnými sloučeninami obsaženými v odpadních plynech (např. CaSO_4 , dolomit). Výhodou procesu je, že skrápěnou kapalinu je možné zcela recyklovat a tím omezit produkci odpadní vody. ⁽²⁸⁾



Obr. 29. Schéma zpracování odpadních plynů ve výrobě NPK. ⁽²⁸⁾

Další technikou ovlivňující emise do ovzduší v odpadních plynech z granulace, zahušťování, neutralizace, povrchové úpravy atd. je používání cyklonů nebo tkaninových filtrů. Pro snižování emisí prachu z fosfátové horniny se využívá zakrytých dopravníkových pásů, skladování v uzavřených prostorech, překládacích nádrží. Produkce odpadní vody je snižována recyklováním promývacích a úklidových vod a skrápěcích kapalin. Emise NO_x z rozkladu horniny jsou minimalizovány pomocí přesného řízení teploty, volbou správného poměru surovina/kyselina, volbou fosfátové suroviny a řízením procesních parametrů. ⁽²⁸⁾

Tabulka II: Dosahované střední úrovně emisí a účinnosti při zpracování spojených odpadních plynů. ⁽²⁸⁾

Položka	Surový plyn		Úroveň emisí		Účinnost	Odkaz
	mg/Nm ³	Nm ³ /h	mg/Nm ³	kg/h	%	
Prach	150	cca 250 000	11,1 – 26,6	6,7	82	AMI,Linz nitrofosfátový postup
NH ₃	200		7,4 – 11,2	1,9	96	
NO _x	25,3		4 – 22,4	5,6	12	
HF			0,2 – 1,7	0,4		
Prach		cca 340 000	20	6,8		BASF Ludwigshafen (směsná kyselina s HNO ₃)
NH ₃			0 – 10	0 – 3,4		
HF			1,4	0,5		

6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracování literární rešerše o granulačních procesech průmyslových hnojiv. Rešerše se zabývá jednak teoretickým popisem procesu granulace, jejími mechanismy, jednotlivými druhy granulačních technik a příslušnými zařízeními.

Průběh vzniku granulí je procesem velmi složitým. Dochází nejprve k vytvoření zárodků, které následně nabalují na sebe další částice a dále rostou nebo dochází ke srůstání malých částic do větších celků. Tato fáze je z celého procesu nejnáročnější.

Granulaci postupným narůstáním provádíme tam, kde se vyžaduje produkt se specifickými vlastnostmi, jako jsou velká pórovitost, snadná rozpustnost a velký měrný povrch, ale uplatňuje se zde podmínka velikosti primárních částic. Je k dispozici velké množství zařízení, které využívají tuto techniku granulace a záleží pouze na ceně a na tom, jakých vlastností má konečný produkt nabývat.

Zařízením pro granulaci pomocí tlaku se získají granule, které vykazují vysokou pevnost, odolnost a mají specifický tvar. Jedná se o kontinuální proces s velkou výrobní kapacitou a nízkými provozními náklady.

Průmysl hnojiv hraje velmi důležitou roli ve světovém měřítku a patří mezi nejvíce se rozvíjející oblasti v chemickém průmyslu a s tím samozřejmě souvisí i granulace hnojiv. S neustále se rozvíjející populací, stoupají i nároky na průmyslová hnojiva, které zásobují zemědělskou půdu tolik potřebnými živinami, zejména v chudých oblastech, kde nejsou příliš příznivé podmínky pro pěstování rostlin. Důležité pro zlepšení úrodnosti a vlastnosti půdy je hnojení nejen průmyslovými hnojivy, ale také těmi organickými. Odběratelé si žádají vývoj nových a nových druhů hnojiv, které mají v sobě zabudovány účinné složky spolu s mikroživinami a stopovými prvky vykazující lepší účinnost a dobu trvání. Nejedná se jen o výrobu hnojiv, ale i o prostředky pro ochranu a růst rostlin. Mezi oblasti s největší produkcí hnojiv se dá zařadit Kanada, USA, Čína a Rusko. Vlivem snižování emisí SO_2 z průmyslových továren a zařízení, se obsah síry v půdách radikálně změnil. Síra se už musí zahrnout do složení hnojiva, jako nezbytná složka pro výživu rostlin.

Samozřejmě se zde vyskytuje určité riziko, které je dáno znečišťováním životního prostředí buď přímo při výrobě hnojiv ať už emisemi odpadních plynů, prachem nebo odpadními vodami, nebo působením hnojiv a pesticidů na půdu či

rostliny. I na tenhle aspekt bychom měli brát zřetel, abychom se vyhnuli zbytečným chybám a co nejméně zatěžovali životní prostředí.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- 1 Rhodes M.: Introduction to Particle Technology, John Wiley & Sons, Chichester 1998.
- 2 Pietsch W.: Agglomeration Processes: Phenomena, Technologies, Equipment, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim 2002.
- 3 Pietsch W.: Agglomeration in Industry: Occurrence and Applications, sv. 1, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim 2005.
- 4 Sommer K. v knize: Ullmann's Encyklopedia of Industrial Chemistry (Gerhartz W., Ed.), 5. vydání, sv. B2, VCH: Weinheim 1988.
- 5 Rumpf H. v knize: Agglomeration (Knepper W., Ed.), str. 379–418, AIME Interscience, New York 1962.
- 6 Ennis B. J., Litster J. D. v knize: Perry's Chemical Engineers' Handbook (Perry R., Green D., Eds.), 7. vydání, McGraw-Hill, New York 1997.
- 7 Mort P. R., Tardos G.: *Kona* **17**, str. 64–75 (1999).
- 8 Butensky M., Hyman D.: *Ind. Eng. Chem. Fund.* **10**, str. 212–219 (1971).
- 9 Tardos G. I., Irfan-Khan M., Mort P. R.: *Powder Technol.* **94**, str. 245–258 (1997).
- 10 Sastry K. V. S.: *Powder Technol.* **7**, str. 97–105 (1973).
- 11 Ennis B. J., Tardos G. I. and Pfeffer R.: *Powder Technol.* **65**, str. 257–272 (1971).
- 12 Kuchler M., Michálek J., Waradzin W.: Zařizování závodů, str. 114–122, VŠCHT Pardubice, Pardubice 1985.
- 13 Dittmar H., v knize: Ullmann's Encyklopedia of Industrial Chemistry (Gerhartz W., Ed.), 5. vydání, sv. A10, str. 374–386, VCH: Weinheim 1989.
- 14 Richter M.: Průmyslové technologie, Univerzita J. E. Purkyně Ústí n. L., Ústí n. L. 2002.
- 15 Wang F. Y., Ge X. Y., Palliu N., Cameron I. T.: *Chem. Eng. Sci.* **61**, str. 257–267 (2006).
- 16 Palzer S.: *Powder Technol.* **189**, str. 318–326 (2009).
- 17 Teunou E., Poncelet D.: *J. Food Eng.* **53**, str. 325–340 (2002).
- 18 Fries L., Antonyuk S., Heinrich S., Palzer S.: *Chem. Eng. Sci.* **66**, str. 2340–2355 (2011).

- 19 Saleh K., Guigon P. v knize: Handbook of Powder Technology (Salman A. D., Hounslow M. J., Seville J. P. K., Eds.), str. 323–375, Elsevier, Amsterdam 2007.
- 20 Nienow A. E., Rowe P. N. v knize: Fluidization (Davidson J. F., Clift R., Harrison D., Eds.), 2. vydání, str. 564–594, Academic Press, London 1985.
- 21 Bertin D. E., Cotabarren I. M., Bucalá V., Piña J.: *Powder Technol.* **206**, str. 122–131 (2011).
- 22 Pietsch W.: Size enlargement by agglomeration, J. Wiley & Sons, Ltd., New York 1991.
- 23 Miller R., v knize: Roller Compaction Technology (Parikh D. M., Ed.), str. 99–150, Marcel Dekker, New York 1997.
- 24 Guigon P., Simon O.: *Powder Technol.* **130**, str. 41–48 (2003).
- 25 Garcia Martinez R. A., Hutter K. J.: *PCT Int. Appl.* (2010), CA 153, 10947 (2010).
- 26 Keenan K. W., Kennedy W. P.: *PCT Int. Appl.* (2004), CA 140, 406257 (2004).
- 27 L.J.Van Boxtel-Verhoeven, J.G.Antonius Terlingen, P. L.Hendrica Lunde-Vannuys: *U.S. Pat. Appl. Publ.* 504367000, 2007, CA 146, 353024 (2007).
- 28 Austrian UBA (2002). "State-of-the-Art Production of Fertilizers", M-105.

Seznam zkratek

NP	hnojivo s obsahem dusíku a fosforu
NK	hnojivo s obsahem dusíku a draslíku
NPK	hnojivo s obsahem dusíku, fosforu a draslíku
TSP	trojitý superfosfát
S-DAP	diamonium fosfát s obsahem síry
S-MAP	monoamonium fosfát s obsahem síry
S-NPK	hnojivo s obsahem dusíku, fosforu, draslíku a síry

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HERMANN**
Osobní číslo: **C08099**
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**
Název tématu: **Granulační procesy průmyslových hnojiv**
Zadávací katedra: **Katedra anorganické technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vyšší nároky na granulační procesy průmyslových hnojiv jsou v poslední době dány především novými požadavky na průmyslová hnojiva, např. řízené uvolňování živin, hydrofobní přísady, přídavek mikroživin do obalu apod. V rámci své bakalářské práce vypracujte literární rešerši zaměřenou na:

1. Teoretický popis procesu granulace.
2. Popis zařízení v současné době používaných se zaměřením na zařízení použitelná pro nanášení nové vrstvy na povrch granulí.
3. Moderní trendy při konstrukci granulačních zařízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Bělina, Ph.D.
Katedra anorganické technologie

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. června 2011**


prof. Ing. Petr Lošťák, DrSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Ladislav Svoboda, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011