

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Technická fakulta**  
**Katedra technologických zařízení staveb**



**Návrh způsobu sušení granulátu v lince na zpracování  
plastů**  
**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. František Koudelka**

**Obor studia: TZSN**

**Vedoucí práce: Ing. Andrea Smejtková, Ph.D.**

© 2018 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

František Koudelka

Technologická zařízení staveb

Název práce

Návrh způsobu sušení granulátu v lince na zpracování plastů

Název anglicky

Design of granules drying method in line for plastics processing

---

Cíle práce

Teoreticky a prakticky se seznámit s danou problematikou. Provést porovnání různých způsobů sušení plastového granulátu a navrhnout vhodný způsob pro linku na zpracování plastů.

Metodika

Osnova

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled současného stavu řešené problematiky
5. Výběr a charakteristika vybraného podniku
6. Návrh řešení a dosažené výsledky
7. Diskuse a závěr

**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

recyklace, plastový granulát, sušení

---

**Doporučené zdroje informací**

GRODA, B. et. al.: Technika zpracování odpadů. 1. vyd., Brno: MZLU Brno, 1995, 260 s. ISBN 80-7157-164-4

Juchelková, D.; Fibinger, V.; Mika, J.: Metody nakládání s odpady. 1. vydání. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1996.

62 s., ISBN 80-7078-309-5

Juchelková, D.: Likvidace a využití odpadů. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3

KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů. 1. vyd. Liberec: Vys. škola stroj. a textil., 1981, 341 s.

Kuraš, M. et. al.: Odpady, jejich využití a zneškodňování. Praha: VŠCHT, 1994

Nesvatba, J.: Využití odpadu jako sekundární suroviny. INKOTEKA, Praha 1996. 56 s.

ZEMAN, L.: Vstříkování plastů: úvod do vstříkování termoplastů. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Andrea Smejtková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra technologických zařízení staveb

---

Elektronicky schváleno dne 29. 8. 2016

doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D.

vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 29. 8. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 02. 2018

## **Čestné prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh způsobu sušení granulátu v lince na zpracování plastů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jen prameny, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 31. března 2018

---

**Bc. František Koudelka**

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucí mé práce, paní Ing. Andree Smejtkové, Ph.D., za odborné vedení mé práce a společnosti Magna Bohemia za umožněné měření.

**Abstrakt:** Diplomová práce obsahuje základní rozdělení plastů a seznamuje s technologiemi používanými v lince na zpracování plastů před procesem vstřikování. Samostatné kapitoly se zabývají výrobou, zpracováním a recyklací plastů. V hlavní část diplomové práce pojednává o možných způsobech sušení plastového granulátu a problematice vlhkosti a jejím měření a dalších faktorech, které jsou úzce spojeny se sušením plastového granulátu. Poslední část práce obsahuje seznámení se společností Magna International a s linkou přípravného zpracování plastů.

Praktická část diplomové práce pojednává o parametrech dvou sušících stanic (Koch Technik 200, Maquire LPD-2SE) a na jejich základě je provedeno porovnání způsobů sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur, ekonomické zhodnocení a určení optimálního použití v lince na zpracování plastů.

**Klíčová slova:** recyklace; plastový granulát; sušení

### **Design of granules drying method in line for plastics processing**

**Summary:** The diploma thesis contains the basic plastics distribution and introduces the technologies used in the plastic processing line before the injection process. Separate chapters deal with the production, processing and recycling of plastics. The main part of the diploma thesis deals with possible ways of drying the plastic granulate and the problems of humidity and its measurement and other factors which are closely related to the drying of the plastic granulate. The last part of the thesis includes an introduction to Magna International and the plastics preparation line.

The practical part of the diploma thesis deals with parameters of two drying stations (Koch Technik 200, Maquire LPD-2SE) and on the basis of which we compare the drying methods of ABS Magnum 3616 Natur plastic granule, economic evaluation and determination of optimal use in the plastic processing line.

**Key words:** recycling; plastic granulate; drying

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce</b>	<b>2</b>
<b>3 Metodika práce</b>	<b>3</b>
<b>4 Přehled současného stavu řešené problematiky</b>	<b>7</b>
4.1 Druhy plastů podle tří základních hledisek	7
4.2 Výroba plastů	8
4.3 Plasty - technologické procesy	9
4.3.1 Recyklace plastů	10
4.3.2 Technologie zpracování	11
4.3.3 Doplnkové technologie	12
4.4 Sušení plastů	18
4.4.1 Měření vlhkosti	18
4.4.2 Navlhavost	21
4.4.3 Teorie sušení	22
4.4.4 Faktory ovlivňující sušení	26
4.4.5 Způsoby sušení plastových granulátů	28
<b>5 Výběr a charakteristika vybrané společnosti</b>	<b>38</b>
5.1 O společnosti	38
5.2 Linka přípravného zpracování před vstřikováním	40
<b>6 Návrh řešení a dosažené výsledky</b>	<b>44</b>
<b>7 Diskuze a závěry</b>	<b>58</b>
<b>8 Seznam literatury</b>	<b>61</b>
<b>9 Seznam použitých zkratk a jednotek</b>	<b>65</b>
<b>10 Seznam obrázků</b>	<b>67</b>
<b>11 Seznam tabulek</b>	<b>68</b>

# 1 Úvod

Historii a rozvoj vstřikování plastů v České republice lze rozčlenit do tří etap.

První etapa je období 1. republiky (1918 - 1939), kdy úroveň plastikářského a gumárenského průmyslu v ČSR byla na úrovni vyspělých států v Evropě. V roce 1929 bylo započato firmou Polák Praha s výrobou hydraulických lisů na lití kovů pod tlakem, které se staly spolu s hydraulickými lisami na plasty stěžejním programem firmy.

Druhá etapa je období budovatelské (1945 - 1989). V tomto období dochází k převzetí technologií od německých firem. Mezi významné milníky patří např. rok 1946, kdy dochází ke vzniku národního podniku Plastimat v Jablonci nad Nisou. K rozšíření výroby zboží z termoplastů dochází v roce 1963 vznikem závodu v Liberci.

Třetí etapa je období novodobé, které je bráno od roku 1990. V tomto období dochází k vyrovnání úrovně s vyspělými zeměmi v oblastech technologie vstřikování. V ČR se zpracovávají všechny dostupné plasty produkované našimi, evropskými nebo zámořskými firmami. Nárůst vstřikoven je v této etapě skoro čtyřnásobný.

Při výrobě finálního výrobku technologií zvanou vstřikování se plastový granulát ještě upravuje. Před vstupem do násypky vstřikovacího stroje probíhá ve většině případů sušení plastového granulátu v sušící stanici. Touto operací předejdeme vadám, které vznikají na povrchu výrobku (např. stříbření). Sušení plastových granulátů probíhá proto do úplného zbavení vlhkosti.

Vhodný návrh způsobu sušení granulátu v lince na zpracování plastů má velký význam pro technologii vstřikování plastů. Vstřikování plastů patří mezi dlouhodobě nejrozšířenější technologie výroby plastových dílů ve všech odvětvích. Jeho význam a uplatnění neustále roste zejména s rozvojem automobilového průmyslu, elektroniky a výroby domácích spotřebičů.



## **2 Cíl práce**

Cílem teoretické části diplomové práce je seznámení s problematikou a možnými způsoby sušení plastového granulátu a uvedení jejich výhod a nevýhod, s metodami měření vlhkosti v plastovém granulátu a s faktory ovlivňující proces sušení plastového granulátu v lince na zpracování plastů před procesem vstřikování.

Cílem praktické části diplomové práce je zjištění parametrů u dvou sušících stanic (Koch Technik 200, Maquire LPD-2SE) ve kterých se sušil plastový granulát ABS Magnum 3616 Natur a na základě zjištěných parametrů provést porovnání a ekonomické zhodnocení sušících stanic pro dva odlišné způsoby (s nuceným oběhem ohřátého vzduchu, podtlakový) sušení a navrhnout vhodné použití v lince na zpracování plastů.

### **3 Metodika práce**

#### **Postup při návrhu vhodného způsobu sušení plastového granulátu:**

##### ***A) Způsoby sušení plastového granulátu:***

- *a) konvenční způsob - (s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu)*
- *b) podtlakový způsob*

##### ***B) Použitý granulát:***

- ABS Magnum 3616 Natur (4 stejné 25. kg pytle)

##### ***C) Použitá metoda měření vlhkosti:***

- *gravimetrická*

##### ***D) Použitá zařízení pro návrh způsobu sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur :***

- dvě sušící stanice plastového granulátu
  - sušící stanice Koch Technik 200
  - sušící stanice Maquire LPD - 2SE
- analyzátor vlhkosti HR83 od firmy Mettler Toledo
- zařízení pro měření času - stopky Delta E 200
- zařízení pro měření příkonu sušící stanice - elektroměr MANELLER 9903D

a) konvenční způsob - (s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu)

**Použité zařízení pro návrh způsobu sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur :**

- sušicí stanice Koch Technik 200
- analyzátor vlhkosti HR83 od firmy Mettler Toledo
- zařízení pro měření času - stopky Delta E 200
- zařízení pro měření příkonu sušicí stanice- elektroměr MANELLER 9903D

***Postup pro sušení plastového granulátu s nuceným oběhem ohřátého vzduchu - konvenční způsob:***

- připojení zařízení pro měření okamžitého příkonu sušicí stanice Koch Technik 200
- nasátí 50 kg plastového granulátu do sušicího zařízení Koch Technik 200 (2 pytle po 25 kg)
- před spuštěním sušicího zařízení Koch Technik 200 odběr vzorku plastového granulátu a zjištění jeho vlhkosti pomocí analyzátoru vlhkosti Mettler Toledo
- zjištění nutnosti sušení plastového granulátu
- zapnutí sušicí stanice Koch Technik 200
  1. nastavení režimu sušení (normal),
  2. teploty sušení (80 °C)
- zjištění hodnoty okamžitého příkonu a času, kdy byla zapnuta sušicí stanice.
- **po 1. a 2. hodině sušení plastového granulátu:**
  1. odběr vzorku plastového granulátu ze sušicí stanice a zjištění jeho vlhkosti pomocí analyzátoru vlhkosti Mettler Toledo
  2. odečtení hodnoty okamžitého příkonu sušicí stanice
  3. pokračování procesu sušení - plastový granulát s obsahem vlhkosti
- **po 3. hodině sušení plastového granulátu**
  1. odběr vzorku plastového granulátu ze sušicí stanice a zjištění jeho vlhkosti pomocí analyzátoru vlhkosti Mettler Toledo
  2. odečtení hodnoty okamžitého příkonu sušicí stanice
  3. zjištění doby sušení

- **Ukončen proces sušení, vypnutí sušící stanice Koch Technik. Plastový granulát vysušen dle odebraného vzorku.**

b) podtlakový způsob

**Použité zařízení pro návrh způsobu sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur :**

- sušicí stanice Maquire LPD - 2SE
- analyzátor vlhkosti HR83 od firmy Mettler Toledo
- zařízení pro měření času- stopky Delta E 200
- zařízení pro měření příkonu sušicí stanice- elektroměr MANELLER 9903D

***Postup pro sušení plastového granulátu podtlakovým způsobem:***

- připojení zařízení pro měření okamžitého příkonu sušicí stanice Maquire LPD - 2SE
- nasátí 50 kg plastového granulátu do sušicí stanice Maquire LPD - 2SE (2 pytle po 25 kg)
- použity dva kanystry pro sušení plastového granulátu. V každém po 25 kg plastového granulátu
- před spuštěním sušicí stanice Maquire LPD - 2SE odběr vzorku plastového granulátu a zjištění jeho vlhkosti pomocí analyzátoru vlhkosti Mettler Toledo
- zjištění nutnosti sušení plastového granulátu
- zapnutí sušicí stanice Maquire LPD - 2SE
  1. nastavení režimu sušení (normal)
  2. teploty sušení (80 °C)
- spuštění sušicího procesu pomocí Maquire LPD – 2SE a měřicího zařízení času
- **po 1. hodině sušení plastového granulátu**
  1. odběr vzorku plastového granulátu ze sušicí stanice a zjištění jeho vlhkosti pomocí analyzátoru vlhkosti Mettler Toledo
  2. odečtení hodnoty příkonu sušicí stanice
  3. zjištění doby sušení
- **Ukončen proces sušení, vypnutí sušicí stanice Maquire LPD – 2SE. Plastový granulát vysušen dle odebraného vzorku.**

## **4 Přehled současného stavu řešené problematiky**

Plasty dělíme podle tří základních hledisek:

- Použitých výchozích surovin
- Druhu chemické reakce, kterou vznikly.
- Chování za tepla

### **4.1 Druhy plastů podle tří základních hledisek**

#### ***1) Podle použitých výchozích surovin***

- a) Plasty vzniklé zušlechtěním přírodních makromolekulárních látek (např. estery celulózy).
- b) Látky vyráběné zcela synteticky (např. polyvinylchlorid).

#### ***2) Podle druhu chemické reakce, kterou vznikly:***

- polyadací
- polykondenzací
- polymerací

#### ***3) Podle chování za tepla***

- Termoplasty

Plasty, které při zahřívání měknou a při ochlazení opět tuhnou. Skládají se z vláknitých makromolekul, které leží přes sebe jako vlákna plsti nebo mohou být různě svinuty.

Důležitými termoplasty jsou: polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), polyetylen (PE), polyamid (PA), polkarbonát (PC), polypropylen (PP), polyethyltereftalát (PET). [1]

- Termosety

Známé také jako duroplasty. Plasty, které ve vytvrzeném stavu ani při silnějším zahřátí nelze ani změkčit, ani roztavit. Skládají se z makromolekul, které jsou většinou případy vytvořené polykondenzací z různých monomerů. Makromolekuly mají u termosetů prostorově zesíťovaný tvar. Důležité termosety jsou fenolové, močovinnové, melaninové a epoxidové pryskyřice, nenasycené polyesterové pryskyřice a polyuretany. [2]

## **4.2 Výroba plastů**

Plasty jsou synteticky vyrobené, makromolekulární, organické sloučeniny z makromolekul, které obsahují velké množství atomu uhlíku, vodíku, aj. Kromě těchto makromolekul obsahují také přísady: barviva, stabilizátory, urychlovače, změkčovadla, skelná vlákna, tvrdidla, papír, azbest, apod. [3] [4]

Plasty obecně vznikají třemi základními procesy: polyadící, polykondenzací a polymerací. Vzniklé produkty se dle toho nazývají polyadukty, polykondenzáty a polymery.

### ***Polyadice***

Dochází k postupnému spojování molekul různých nízkomolekulárních monomerních látek za přítomnosti katalyzátoru do makromolekuly bez vzniku vedlejšího produktu. Polyadící vzniká např. polyuretan nebo některé druhy silikonů. Reakční skupiny se při polyadící pouze přemísťují. Výsledný produkt má stejné chemické složení jako směs výchozích látek.

### ***Polykondenzace***

Reagují spolu různé nízkomolekulární více funkční sloučeniny a kromě makromolekulární látky se ještě odštěpí nízkomolekulární vedlejší produkt, jako např. H<sub>2</sub>O, HCl, čpavek nebo alkohol. Polykondenzát má odlišnou strukturu a složení než výchozí látky. Polykondenzací vznikají např. polyamidy, polyestery nebo starší typy silikonů .

### ***Polymerace***

Polymerací se molekuly výchozí látky - monomeru - spojují bez vzniku vedlejšího produktu do makromolekulárních řetězců – polymerizátů. Vzniklý polymer má stejné složení jako výchozí monomer, liší se od něj pouze skupenstvím a fyzikálními vlastnostmi – monomerní tekutina se změní v pevnou polymerní hmotu. Polymerací vznikají mimo metakrylátů i polyetylen, polystyrén, polyvinylchlorid, polybutadien. [5]





### 4.3.1 Recyklace plastů

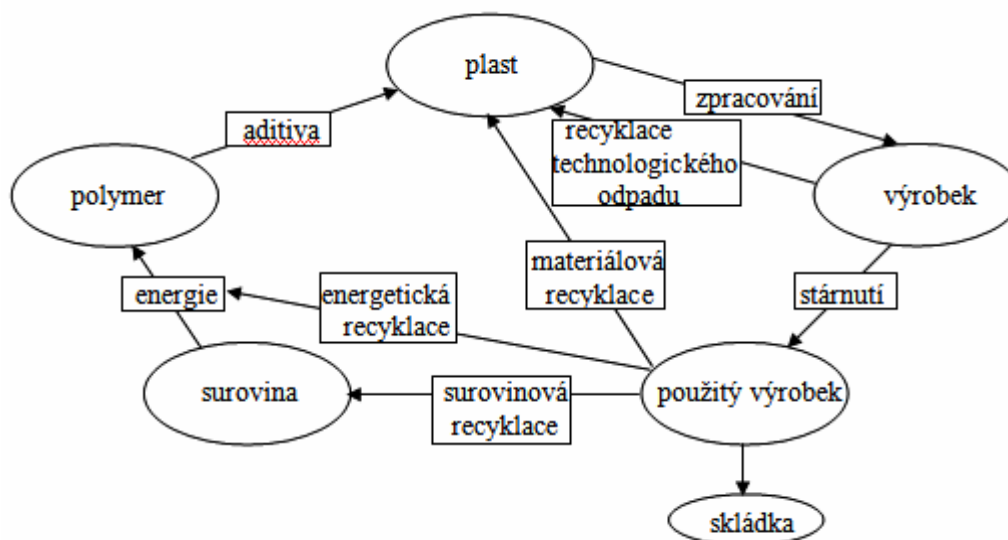
Recyklace čili opětovné využití je postup, kterým se dospěje k využití energie a materiálové podstaty výrobku po ukončení jeho životnosti. Recyklací se šetří až 94% energie. Recyklace plastů může být buď primární nebo sekundární.

K recyklaci patří řada pojmů jako recyklační cyklus (obr. 2) či recyklace primární nebo sekundární, odpad či druhotné suroviny atd. Tyto pojmy jsou vysvětleny níže. [11]

Dalšími druhy recyklací:

- Materiálová (fyzikální)
- Chemická
- Surovinová
- Energetická

#### Recyklační cyklus



Obr. 2 Recyklační cyklus

**Odpad** - výrobek, který přestane plnit funkci a je skončena jeho doba života.

**Druhotné suroviny** - frakce zbytků, které mohou být znovu využity.

**Primární recyklace** - z plastového odpadu je získáván materiál či výrobek, který má stejné nebo podobné vlastnosti jako materiál či výrobek původní.

**Sekundární recyklace** - z plastového odpadu je získáván materiál či výrobek, který má zcela odlišné vlastnosti od materiálu či výrobku původního.

**Materiálová recyklace** - je předurčena pro co nejúčinnější využití surovinového a energetického vkladu do panenského polymerního materiálu. Tento způsob je vhodný pro termoplasty. Zahrnuje procesy jako jsou mletí a následné tepelně mechanické zpracování meliva pro výrobu nových výrobků. Obecně je materiálová recyklace založena na dodávce tepelné a mechanické energie a aditiv.

**Chemická recyklace** - založená na chemickém rozkladu polymeru na produkty o nižší molární hmotnosti nebo na monomerní jednotky a dalším chemickým zpracováním získané suroviny.

**Výhoda** - malé nároky na čistotu vstupu

**Nevýhoda** - vysoké investiční nároky na technologické zařízení, praktická uskutečnitelnost jen v podmínkách chemického průmyslu.

**Surovinová recyklace** - využívá se při silně znečištěné směsi.

**Princip:** termicky destrukční procesy, rozkládající polymerní složky vstupní suroviny na směs plyných a kapalných uhlovodíků.

**Výstupní produkty** - energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků, využitelných jako topné oleje.

**Energetická recyklace** - podstatou je spalování plastového odpadu ve speciálně navržených topeništích.

Při všech možnostech recyklace plastového odpadu v podmínkách plastikářských firem, lze doporučit v podstatě jedinou metodu a to metodu materiálové recyklace.

### **4.3.2 Technologie zpracování**

Plasty se zpracovávají celou řadou technologií. Podle způsobu zpracování plastů je jejich použitelnost závislá na technologických vlastnostech, na tvaru a funkci výrobku, kterou má během své životnosti plnit. [12]

#### ***Rozdělení technologií při zpracování plastů***

Podle vztahu mezi plastem vstupujícím do procesu a plastem vystupujícím z tohoto procesu lze technologie rozdělit do následujících skupin:

- *tvářecí technologie* – patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, odlévání, laminování, vypěňování, atd. Výsledkem je buď výroba polotovaru nebo výroba konečného dílu.

- *tvárovací technologie* – patří sem ohýbání trubek, tvarování desek, výroba dutých těles, obrábění plastů, spojování a spékání plastů.
- *doplňkové technologie* – používají se k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (předehřev, sušení, míchání a hnětení, granulace) a také k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání) a také recyklace. [12]

Při výrobě finálního výrobku u jednoho druhu plastu se můžeme setkat s technologiemi, patřícími do všech skupin. U každé z uvedených technologií lze ve většině případů vyčlenit tři části, které tvoří:

- příprava hmoty nebo polotovaru
- vlastní zpracovatelský proces
- dokončovací operace

[12]

Produktivitu a cenu výrobku výrazně ovlivňuje proces zpracování plastů, který je kritickou částí celého procesu výroby konečného výrobku. Na volbě technologie se podílí celá řada faktorů, kterými jsou: velikost výrobku, tvar výrobku, tolerance na výrobku, materiál (plast), nástroj, stroj. [12]

### **4.3.3 Doplnkové technologie**

Mezi doplňkové technologie patří přípravné operace, které používáme k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (předehřev, sušení, míchání a hnětení, granulace) a také k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání) a také recyklace a doprava materiálu.

#### ***Míchání a hnětení***

Míchání je proces, při kterém dochází ke smíchání minimálně dvou složek v míchacím prostoru zařízení tak, aby bylo dosaženo požadované rovnoměrnosti rozložení jednotlivých komponentů ve výsledném produktu se stupněm homogenity.

Míchání lze rozdělit podle odporu, který kladou promíchávané částice vnější síle, která na ně působí na dva extrémní případy. Prvním je míchání látek s nepatrným odporem proti posunutí (prášky) a druhým jsou procesy míchání s velkým odporem proti posunutí, které se dělí na:

- *intenzivní míchání* – stupeň homogenity závisí na stupni smykového namáhání, hmota je ve změkklém stavu. Používají se stroje označované jako hnětače,
- *extenzivní míchání* – stupeň homogenity závisí na stupni tečení nebo na vytváření nového povrchu (např. míchání prášků s barvivy). Používají se stroje označované jako míchačky. [12]

### **Granulace**

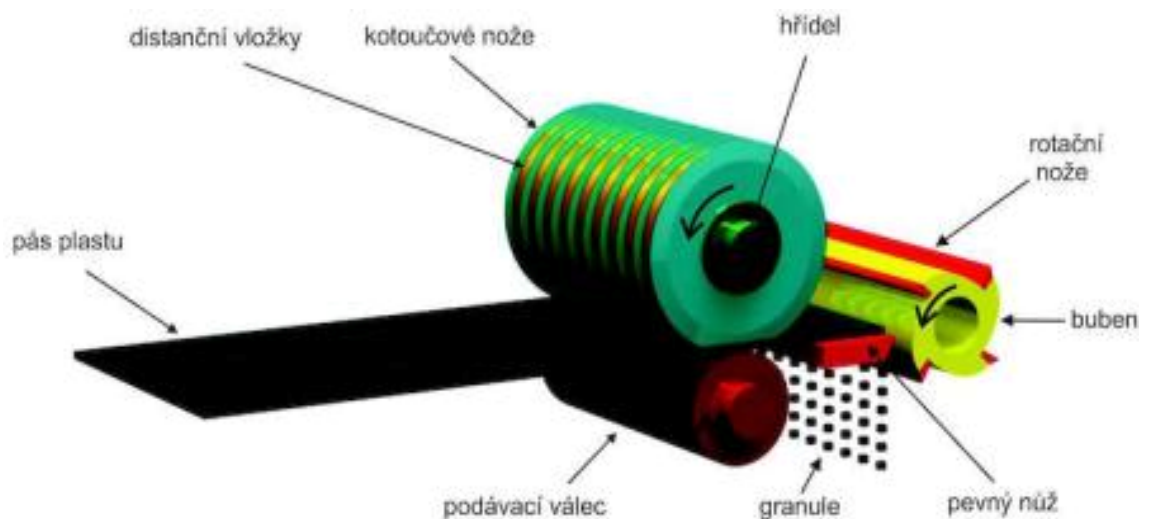
Granulace je poslední operací při přípravě plastového granulátu. Plast se zpracovává do tvaru granulí, protože granule se dají dobře dávkovat. “Výhodou granulí je relativně velká sypká hmotnost, dobré tokové vlastnosti a možnost dalšího směsování s dalšími materiály (např. s pigmenty). [13]

Existují dvě základní metody granulace plastů:

- granulace z pásu
- granulace ze strun (za studena a za tepla)

#### **a) Granulace z pásu**

Vhodná pro měkké materiály. Technologie (obr. 3) je založena na rozřezání vstupního materiálu ve formě polotovaru tvaru desky na proužky, které jsou dále rozsekány na granule.



**Obr. 3** Granulace z pásu [9]

### ***b) Granulace ze strun***

Využívají technologii vytlačování taveniny plastu skrz granulační hlavu s velkým množstvím kruhových otvorů. Tavenina získává tvar strun, které jsou dále sekány na granule buď za studena, nebo za tepla.

Při granulaci ze strun za studena (obr. 4) jsou vytlačené struny ochlazené v kapalině (vodě) a následně jsou sekány na granule (obr. 4). Získané granule se musí sušit v důsledku styku plastu s kapalinou (důsledek nasákavosti). Nevýhodou je velké množství strun, které se mohou slepovat, trhat či lámat. Technologie je využívána pro většinu termoplastů, např. akrylonitrilbutadienstyren (ABS). [9]

Při granulaci ze strun za tepla se granule odřezávají ihned po vytlačení taveniny plastu z granulační hlavy (obr. 4). Odřezávání granulí probíhá za současného účinku vody nebo s následným chlazením vodní mlhou. Technologie není vhodná pro plasty s velkou tekutostí (nízkou viskozitou) taveniny. Technologie je využívána pro většinu termoplastů. [9]



**Obr. 4** Granulace za studena a za tepla [14]

### ***Recyklace – mletí a drcení***

Při znalosti technologie výroby, zpracování a sortimentu výrobků je dobré i ekonomické využití plastového odpadu. Vysoká cena plastů vede k myšlence k opětovnému zpracování (recyklaci) plastového odpadu. Existuje mnoho zařízení pro zpracování odpadu na recyklát či regranulát s přijatelnou výší nákladů a kvalitou. Pro recyklaci či regranulaci používáme regranulační linky, mlýny atd. [6]

Při vstřikování plastů vznikají dva druhy odpadů a to odpad technologický a užitný.

K technologickým odpadům, které vznikají při výrobě, řadíme vadné výrobky, vtoky a odstříky. Na každém zpracovateli plastu je jak se vzniklým odpadem naloží. Při energetické náročnosti, kdy na 1 tunu plastů se spotřebuje 2,5 tuny ropy je opětovné

využití plastů ke zvážení. Technologický odpad je srovnatelný s plastovým materiálem před zpracováním. Ovšem o užitém odpadu to nelze tvrdit.

Do užitého odpadu řadíme výrobky, kterým skončila funkční doba. Tento odpad bývá znečištěn a polymery bývají znehodnoceny stárnutím.

Pro zpracování zmíněných odpadů je nutné znát původ a způsob zpracování původního materiálu. Zda byl původní materiál drcený či nikoliv a nebo regranulovaný. U tepelně citlivých materiálů, které nejsou namáhány při regranulaci je výhodné použití drceného materiálu. Nevýhodou je zvýšený obsah prachových částic a odlišná velikost mletých částí. Tuto nevýhodu lze odstranit odsáváním prachu a pomalým mletím.

Regranulovaný materiál má velikost částic stejný jako původní. Do regranulátu lze přidávat aditiva ke zlepšení vlastností při jeho zpracování. Energetická náročnost a v drtivé většině dokonalé vysušení rozemletého odpadu jsou nevýhodou regranulace. Při zpracování materiálu dochází ke změně složení a struktury díky rozdílným fyzikálním a chemickým procesům. Toto je nutné mít na paměti při jeho druhotném využití. [6]

Plastový odpad, který je rozemletý nebo regranulovaný lze zpracovávat buď samostatně nebo jako příměs k materiálu.

Použití regenerátu jako příměsi do výše 20 % původního materiálu je doporučeno od výrobců a zpracovatelů.

Výsledná kvalita výrobků z drceného nebo regranulovaného odpadu je závislá na typu polymeru, podmínkách zpracování původního polymeru a aditivaci.

K degradaci polymerů dochází vlhkostí, špatnou teplotou vstřikování a prodlevou materiálu v tavicí komoře. [6]

### ***Doprava materiálu***

Dopravu materiálu používáme k dodání suroviny až ke zpracovatelskému zařízení. Materiál přichází z chemických závodů již připravený pro zpracování ve formě granulí (PE, PP, ABS, PS, POM), nebo prášku (plniva, saze, PVC, pigmenty), balíků (kaučuky) nebo pasty, kapalin (změkčovadla, rozpouštědla, latexy). Pro další zpracování se do výrobních závodů dodává (výchozí surovina) buď v pytlích vážících 20 nebo 25 kg (obr. 5), nebo ve velkých pytlích o váze až 500 kg, oktábínech (obr. 6), anebo v cisternách. Manipulace s materiálem a skladování plastů by neměly mít vliv na kvalitu a na konečné užité vlastnosti plastu.



**Obr. 5** ABS Magnum 3616 Natur

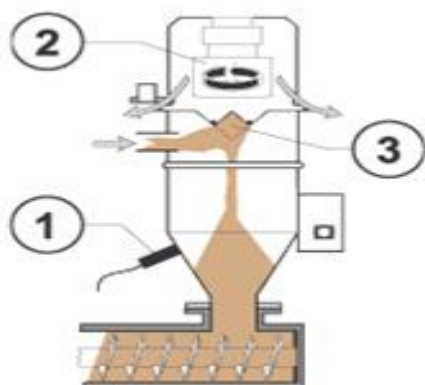


**Obr. 6** Ukázka oktabínu [31]

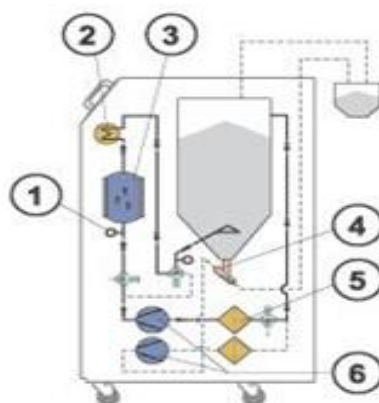
V plastikářských provozech jsou pro uskladnění plastů hojně používaná sila. Čerpadly jsou k dalšímu zpracování většinou dopravovány kapalnými systémy. Proti vniknutí cizích předmětů jsou na vstupu sil umístěna síta a sila mají zařízení s automatickým čištěním a zásobníkem pro prach. Při vstupu materiálu jsou zásobníky vybaveny kontrolním vstupním zařízením a také zařízením pro kontrolu při vyprazdňování zbytkového materiálu. [11]

K pneumatické dopravě se používají buď vakuové nebo tlakové systémy a nebo jejich kombinace. Potrubí mají většinou průměr do 100 mm a jsou z oceli nebo ze slitin hliníku s možným vložkováním proti opotřebení. Vakuový systém lze použít do vzdálenosti 100 m. Přetlakový systém, pracující s větším tlakem vzduchu, lze použít až do vzdálenosti 200 m. Dochází zde k mnohem většímu opotřebení potrubí, kde zvýšené tření může způsobit měknutí granulí, příp. jejich drcení.

Se vzrůstající spotřebou plastů jsou výrobci vedeni k dopravě polymerů buď automaticky pro každý stroj zvlášť ze zásobníků u strojů nebo centrálně k jednotlivým strojům do plnicího zařízení nad násypkou. K dopravě plastu se využívá vakuových plnicích zařízení, spirálových dopravníků a plnicích jednotek se sací jednotkou (obr. 7) a přetlakových zařízení na principu Venturiho trysky (obr. 8). Od ručního doplňování materiálu z pytlů se upouští a přechází se k automatickému zásobování strojů, kdy se kombinuje doprava např. se sušením nebo barvením granulátu.



**Obr. 7** Plnicí jednotka se sací jednotkou [6]  
1 – čidlo obsahu plastu, 2 – jednotka sání, 3 - filtr



**Obr. 8** Plnicí a sušící jednotka s Venturiho tryskou [6]  
1 – teplotní čidlo, 2 – topení, 3 – síto, 4 – Venturiho tryska, 5 – filtr, 6 - dmychadlo

V dnešní době se při zpracování granulovaných materiálů upouští od ručního doplňování zásobníků zpracovatelských strojů a přechází se na automatické zásobování. Tento trend je zvláště patrný v závodech, které zpracovávají plasty vstřikováním a vytlačováním. [10]

Moderní dopravní systémy umožňují provádět některé další úpravy granulátu automaticky. [10]



## **4.4 Sušení plastů**

Některé plastové granuláty jsou hydroskopické (ABS, PP) a před vlastním zpracováním se musí sušit. K tomuto účelu slouží sušící zařízení, která jsou napojena na násypku stroje. Suší se většinou za sníženého tlaku a teploty. Někdy se suší suchým vzduchem, ze kterého byla odstraněna vlhkost molekulovými sítí. [10] [16]

### **4.4.1 Měření vlhkosti**

Skutečný obsah vody v plastovém granulátu závisí na relativní vlhkosti a teplotě prostředí, ve kterém je materiál uskladněn. V tomto okamžiku je nutné dát si pozor na teplotní změny (změna rosného bodu) při přemístění granulátu ze skladu do vstřikovny. Při tomto přemístění obvykle dochází k vysrážení vlhkosti na povrchu granulátů. Povrchové vlhkosti, kterou je nutné také před zpracováním odstranit. Tento jev závisí i na tvaru a velikosti granulátu. Materiály v práškové podobě navlhají mnohem rychleji než granulát tvaru čochek, válečků. [17]

Někteří výrobci dodávají granuláty již vysušené (např. PA, PC), hermeticky uzavřené do příslušných obalů. V takových případech při předpokladu neporušenosti obalu, je možné tyto materiály zpracovávat přímo bez předsušení. Pokud se po otevření obalu všechnen materiál co nejdříve nezpracuje, je nutné při dalším zpracování s ním zacházet jako s nevysušeným materiálem. [17]

Pro materiály citlivé na obsah vlhkosti je žádoucí, aby setrvání vysušeného granulátu v nevyhřívané násypce vstřikovacího stroje bylo co nejkratší, aby nedocházelo ke kontaminaci z okolního vzduchu. Vhodná doba je menší než 20 minut, protože po uplynutí uvedené doby je materiál opět „mokrý“.

### ***Obsah vlhkosti a jeho dopady a charakteristika vlhkosti***

Obsah vlhkosti v plastovém granulátu před zpracováním je při vstřikování termoplastů velkým problémem. Obsah vody způsobuje u výstřiků jak zhoršení mechanických vlastností, tak zejména povrchové vady - stříbrnění, nerovnoměrný lesk - matování, lokální změny barevného odstínu, stopy po unikající páře. Proto plastové granuláty, které mají schopnost pojmou vodu, sušíme. Při sušení plastového granulátu delší dobu dochází k snižování tekutosti granulátu. [17]

Při dlouhodobém vystavení plastového granulátu atmosférickému vzduchu dochází k přilnavosti a vázání vody k povrchu granulátu. Rozlišujeme vlhkost dle charakteru na povrchovou a kapilární.

Pro vyjádření množství vodních par ve vzduchu slouží hned několik charakteristik:

- tlak vodní páry
- absolutní vlhkost vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu
- rosný bod
- poměr směsi a měrná vlhkost vzduchu

[18]

### ***Vyjádření obsahu vlhkosti***

Obsah vlhkosti plastových granulátů se obvykle vyjadřuje v hmotnostních procentech, udávajících počet dílů vody ve 100 dílech vlhkého materiálu. Při řešení problémů se sušením plastových granulátů a pro výpočty se vlhkost udává v kg vody připadající na jeden kg absolutně suché látky neboli sušiny. Výhodou tohoto značení je, že obsah sušiny je v celém procesu sušení konstantní. Nejdůležitější je z technologického hlediska určení doby sušení nutné k dosažení požadované hodnoty vlhkosti. K tomu je nutno znát rychlost sušení.

Proces absorbování vlhkosti i proces sušení je vratný a je řízen tedy těmito základními parametry:

- teplotou polymeru
- relativní vlhkostí vzduchu
- dobou sušení v předepsaném prostředí
- cirkulací vzduchu v sušárně
- velikostí granulátu

[18]

### ***Metody měření obsahu vlhkosti ve vstřikovacích granulátech***

K měření obsahu vlhkosti v plastových granulátech lze využít několika postupů.

- *analytický* (metoda K. Fischera). Postup je sice přesný, ale zdlouhavý a je nutné mít laboratorní vybavení.

- *orientační* (jsou sondy s vyhodnocovaným přístrojem, kde provádí měření na principu rovnovážné vlhkosti). Nevýhodou je potřeba znalosti sorpčních křivek.
- *gravimetrická metoda* s ohřevem granulátu mikrovlnným nebo infračerveným zářením, při níž se obsah vlhkosti určuje na základě vážení zplodin vzniklých sušením granulátu.
- *manometrická* - zařízení AQUATRAC - princip měření spočívá ve vyhodnocení změny tlaku vodíku, který vzniká reakcí vody vypuzené za vakua ze zahřátého hodnoceného materiálu s činidlem, kterým je hydrid vápenatý (CaH<sub>2</sub>)

### a) Gravimetrická metoda

Tato metoda se používá pouze pro materiály, které neobsahují přísady (tab. 1)

**Tab. 1** Parametry sušení termoplastů [19]

Termoplasty určené pro vstřikování	Zbytkový obsah vody po vysušení [hm. %]	Doporučená teplota sušení [°C]	Doba sušení v komorové sušárně [h]	Doba sušení suchým vzduchem [h]
<i>SB,SAN,ABS,TPE</i>	0,05	70-80	4	2-3
<i>CA,CAB,CAP</i>	0,15	70-80	4	2-3
<i>PBT</i>	0,03	120	4	3
<i>PMMA</i>	0,05	80-90	4	3
<i>PSU</i>	0,03	130	4	3
<i>PPS</i>	0,03	130-150	4	3

Gravimetrické měření vlhkosti spočívá v tom, že přesně zvážený vzorek granulátu (nejlépe 100 g) se na skleněné či keramické misce zahřívá na předepsanou teplotu a sleduje se úbytek hmotnosti vzorku. Vzorek se váží s přesností 0,01 g. Zkouška je ukončena až se hmotnost vzorku již nemění. Obsah vody v hmotnostních % se vypočte z rozdílu hmotností odebraného vzorku před a po vysušení. K ohřevu vzorku se používá buď komorová (nejlépe vakuová) sušící stanice nebo mikrovlnný či infračervený ohřev. Důležité je pro daný granulát určit teplotu a dobu ohřevu vzorku. [2] [24] [27]

### **b) Metoda manometrická**

Měření se provádí na přístroji Aquatrac firmy Brabender Messtechnik. Metoda spočívá v reakci vody obsažené v měřeném vzorku s hydridem vápníku, který se spolu se vzorkem vloží do reakční nádoby přístroje. Ta se hermeticky uzavře a evakuuje na hodnotu 10 Mbar. [3]

Dle typu plastového granulátu se nastaví požadovaná teplota měřicí nádoby. Reakcí hydridu vápníku s vodou se uvolňuje plynný vodík. Měří se jeho tlak v přístroji, který se automaticky přepočítává na obsah vlhkosti v hmotnostních procentech. Tato metoda je velmi přesná (obsah vody s přesností až 0,01 %). Je vhodná pro všechny polymerní materiály i kompozity. [3]

### **4.4.2 Navlhavost**

Navlhavý polymer vystavený atmosférickému vzduchu bude absorbovat vodní páry až do okamžiku, kdy nastane rovnováha s okolním vzduchem. Tento proces může trvat několik minut, ale i několik dní. Záleží na typu polymeru a na relativní vlhkosti vzduchu.

Navlhavost končí vyrovnáním koncentrace vody v polymeru s obklopujícím prostředím. Je dosaženo rovnovážného stavu nasycení. Rovnovážný obsah vlhkosti pro některé termoplasty při 23 °C a 50 % relativní vlhkosti je pro PC/ABS 0,20 %, ABS 0,45 %. [17]

#### ***Příčiny navlhavosti***

- chemické složení plastu
- aditiva plastů (organická plniva na bázi celulózy– zvyšují navlhavost , anorganická plniva– snižují navlhavost)
- vlhkost na povrchu nástroje
- polymerace v nosné fázi (suspenní, emulzní polymerace)
- způsob výroby granulátu (styk granulátu s vodou při granulaci)
- netěsnost obalů
- nevhodné skladování plastu [18]

#### **Charakteristika plastů dle navlhavosti a faktory navlhavosti**

Navlhavé plastové granuláty se vyznačují schopností absorbovat vodu z okolního vzduchu.

**Obsah vlhkosti u navlhavých plastů je závislý na následujících faktorech:**

- druhu plastu
- době vystavení atmosférickému vzduchu
- vlhkosti prostředí
- teplotě prostředí

Dle schopnosti přijímat vlhkost je možné termoplasty rozdělit do několika skupin (tab. 2).

**Tab. 2** Skupiny plastů podle rovnovážné vlhkosti [32]

	$*c_r$	<i>příklady</i>
<b><i>NENAVLHAVÉ</i></b>	< 0,1 %	PE, PP, PS
<b><i>MÁLO NAVLHAVÉ</i></b>	0,1 - 0,5 %	SB, ABS, PC
<b><i>STŘEDNĚ NAVLHAVÉ</i></b>	0,5 - 2,0 %	PVC
<b><i>SILNĚ NAVLHAVÉ</i></b>	> 2 %	PUR

$*c_r$  - rovnovážná vlhkost, která závisí na teplotě a relativní vlhkosti okolí

#### **4.4.3 Teorie sušení**

Sušení je děj, při kterém dochází ke snižování vlhkosti mokrého materiálu, který považujeme za směs absolutní suché pevné látky a vody. Vodu označujeme termínem vlhkost a odborně ji nazýváme kapalným adsorbátem, který je vázán na vnější a vnitřní (porézní materiál) povrch adsorbentu (pevný materiál). Adsorbát je látka vázána na fázovém rozhraní a adsorbent je pevnou látkou, která je na sebe schopna vázat různou silou látky z roztoku. Zařízení, ve kterém se provádí sušení, se jmenuje sušicí stanice. [23]

Sušením dochází současně ke sdílení tepla a hmoty, které jsou potřebné k odpaření a transportu vody ze sušeného materiálu. Z pohledu sdílení tepla existuje mnoho způsobů podle požadavků na sušený materiál, jakým se energie v podobě tepla dodává. Proces sušení se uskutečňuje v sušárnách různého druhu. Nejčastěji prouděním ze vzduchu do sušeného materiálu. Jedná se tak o konvekční způsob sušení plastů. [24] [25] [26]

K sušení plastových granulátů před samostatným zpracováním technologií vstřikování termoplastů se používá celá řada postupů a zařízení založených na sušení vzduchem. Při sušení granulátů vzduchem se pracuje s pojmem „rosný bod vzduchu“. Množství vodní páry ve vzduchu kolísá od 0,01 % objemu vzduchu v suchých a studených oblastech do 4 % nad mořem v blízkosti rovníku. Množství vodní páry, které může vzduch obsahovat, je dáno jeho teplotou. Čím je vzduch teplejší, tím více vodní páry pojme až do maxima svého nasycení. Toto je dosaženo přidáním vlhkosti nebo ochlazením vzduchu na teplotu rosného bodu. [17]

Jedním z hlavních požadavků na jakost plastových granulátů z termoplastů určených ke vstřikování - je stanovení obsahu vlhkosti v nich. Provádí se vstupní kontrola před vstřikováním a kontrola účinnosti sušení. Pro určení maximálního povoleného obsahu vlhkosti v granulátu před jeho zpracováním vstřikováním se vychází z údajů výrobce granulátu- materiálové listy, různé databáze, zkušenosti technologů atd. [17]

### ***Průběh procesu sušení***

Průběh sušení závisí na charakteru spojení vlhkosti s plastovým granulátem. Voda může být vázána buď přilnavostí a jedná se o vlhkost povrchovou nebo kapilárními silami, kdy se nachází v mikrokapilárách v celém objemu hmoty. V tomto případě je odpařování ztíženo, protože voda v kapilárách je jakoby pod vyšším tlakem a při sušení se musí použít vyšší teploty, než je bod varu při daném tlaku okolí. Má-li docházet k sušení, je nutné, aby tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem vlhkého materiálu, byl větší než parciální tlak páry v okolním prostředí. Sušení granulátu může probíhat jen do vyrovnání těchto tlaků. Granulát je tedy možno vysušit jen do určité vlhkosti, zvané rovnovážná vlhkost, která závisí na okolních podmínkách, a to na teplotě okolí a na relativní vlhkosti. Jakmile se vysušený granulát vloží do prostředí s vyšší vlhkostí než-li odpovídá rovnovážnému stavu, dojde naopak k navlhání.

### **Podmínka sušení:**

$$p_{pp} > p_{po} \quad (4.1)$$

$p_{pp}$  – tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem sušeného granulátu

$p_{po}$  – parciální tlak páry okolí.

Sušení probíhá do okamžiku, kdy  $p_{pp} = p_{po}$ .

[18]

## ***Princip***

Hlavním principem je hnaní teplého vzduchu ze spodu sušící stanice přes granulát. Horký vzduch je hnán přes filtry, které zabraňují kontaminaci materiálu cizími částicemi. Při sušení vzduchem nás zajímají 4 parametry: teplota sušení, hodnota rosného bodu, doba sušení, průtok vzduchu.

## ***Teplota sušení***

Hydroskopické polymery mají silnou afinitu k molekulám vody, molekuly vody se u nich vážou na polymerní řetězce. Zvýšená teplota způsobí, že se molekuly začnou pohybovat s větší intenzitou, tím se oslabí síly vázající molekuly vody k polymerním řetězcům. Při dosažení určité teploty a síly, která váže molekuly vody k polymerním řetězcům jsou molekuly plastového granulátu natolik redukovány, že umožní volný pohyb molekul vody. Teplotu sušení určuje výrobce příslušného granulátu. Pro efektivní proces sušení je nutné, aby teplota sušení daná výrobcem plastového granulátu byla na povrchu sušeného granulátu a na regulátoru sušící stanice. [27]

## ***Rosný bod a jeho teplota***

Rosný bod lze považovat za jiné vyjádření absolutní vlhkosti vzduchu. Rosný bod vzduchu má tedy přímý vztah k obsahu vlhkosti v něm dosažené a k tlaku vzduchu. Množství vlhkosti, která nasytí 1 kg vzduchu při určité teplotě. Rosný bod je závislý na tlaku vzduchu. V i-x diagramu nalezneme rosný bod (pro daný stav vzduchu) na průsečíku křivky nasycení a měrné vlhkosti.

Teplota rosného bodu je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %. Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace. [9] [17]

## ***Doba sušení***

Rozmezí teplot a dobu sušení určuje výrobce granulátu. Je nutné si uvědomit, že sušené granule je nutné ohřát na sušící teplotu, přičemž doba sušení musí být dostatečná, aby molekuly vody mohly migrovat na povrch granulí, z něhož je absorbuje procesní, suchý ohřátý vzduch. Doba doporučená výrobcem granulátu se měří od okamžiku, kdy materiál v sušícím zásobníku dosáhne požadované pracovní sušící teploty. [17]

### ***Průtok vzduchu***

Procesní vzduch dopravuje teplo z topných těles sušárny do sušicího zásobníku se sušeným plastovým granulátem a současně transportuje vlhkost odebranou sušením granulátu mimo násypku. Objem vzduchu musí být dostatečný, aby byl schopen splnit obě uvedené funkce. Pro vysušení 1 kg materiálu ABS je nezbytné zajistit asi 1,4 m<sup>3</sup> suchého vzduchu za hodinu. [28]

### ***Vlhkost vzduchu***

Aktuální stav vzduchu popisují stavové veličiny, pomocí nichž lze určit množství vlhkosti ve vzduchu. Stěžejní jsou tři základní veličiny. Teplota a tlak, nutné pro určení stavu vzduchu. Další z nich je vlhkost, určující složení směsi suchého vzduchu a vodní páry. Tyto hodnoty lze jednoduše odečíst z Mollierova *i*-*x* diagramu.

Množství vody ve vzduchu v podobě vodní páry, není stejné. Proto vlhký vzduch rozdělujeme na nenasyčený parou, nasycený a přesycený.

### ***Relativní vlhkost***

Relativní vlhkost vzduchu je definována jako množství vlhkosti vody v % ve vzduchu, vztahující se ke vzduchu na bodu nasycení (saturace) za určitého tlaku a teploty.

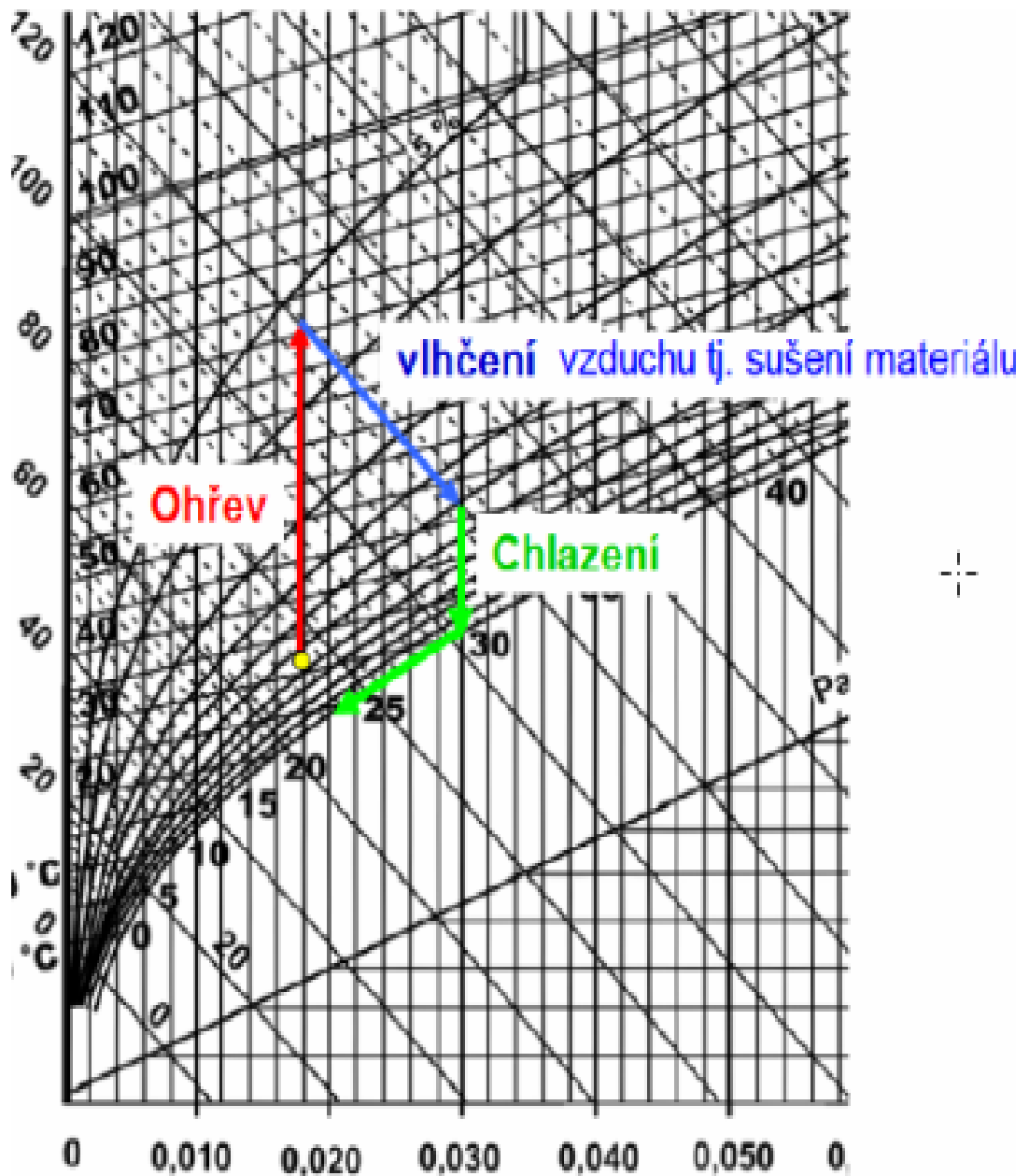
### ***Zvlhčování vzduch = sušení materiálu***

Vzduch z vody přijímá vodní páry až do úplného nasycení. Teplo je do systému přiváděno pouze prostřednictvím vzduchu, který tak ohřívá vodu na teplotu mokrého teploměru. Po dosažení této teploty se další přiváděné teplo spotřebovává na odpaření vody do vzduchu v podobě vodní páry. Molekuly vodní páry přestupují do sušicího vzduchu a dochází k zvlhčování až do stavu nasycení.

Procesy konvečního sušení plastového granulátu v *h*-*x* diagramu (obr. 9). Mimo proces chlazení, který nevyužijeme. Zajímají nás pouze první dva procesy, které potřebujeme pro sušení plastového granulátu tj. ohřev a vlhčení vzduchu.

Znalost teorie sušení je nezbytná, protože na těchto základech se tvoří objektivní závěry pro volbu nejvhodnějšího druhu sušicí stanice a jejího správného provozního využívání při zpracování.





Obr. 9 Procesy sušení plastového granulátu v  $h - x$  diagramu [29]

#### 4.4.4 Faktory ovlivňující sušení

Proces sušení je ovlivňován několika faktory, které jsou popsány níže.

##### *Vliv doby sušení*

Při procesu sušení je rovněž velmi důležitá doba, protože materiál nelze vysušit okamžitě. Jestliže je plastový granulát obklopen teplým vzduchem v sušárně, je zapotřebí

dostatek času, aby teplo prostoupilo až do samého středu granulátu. S růstem teploty uvnitř granulátu dochází k difúzi vlhkosti, která prostupuje směrem k teplému a suchému vzduchu. Když molekuly vody dosáhnou povrchu granule, dochází k uvolnění těchto molekul do obklopujícího vzduchu. Doba sušení je jiná pro různé typy plastových granulátů. [17]

### ***Vliv relativní vlhkosti vzduchu***

K udržení nízké vlhkosti plastového granulátu je nutné jej ponechat v suchém prostředí. Relativní vlhkost a rosný bod jsou základní parametry pro sušení. Plastový granulát sušený při stejné teplotě, ale jiné hodnotě rosného bodu, bude mít po uplynutí doby sušení jiný obsah vlhkosti. Ke zvýšení schopnosti vzduchu sušit je potřeba zvýšení jeho teploty. Když se okolní vzduch ohřeje, dojde ke snížení relativní vlhkosti vzduchu. Množství vlhkosti ve vzduchu se nemění, ale celkové množství se může zvýšit. [17]

### ***Vliv cirkulace vzduchu v sušící stanici***

Zajištění cirkulace vzduchu v sušící stanici je důležité pro rychlejší sušení plastu. Díky cirkulaci dochází k většímu obtékání plastového granulátu vzduchem, a tudíž je odebrání molekul vody více účinné. V ideálním případě by měl být granulát polymeru celý obklopený proudícím vzduchem. [17]

### ***Vliv velikosti granulátu***

Rychlost sušení závisí i na velikosti a tvaru plastového granulátu. Jestliže jsou granule příliš velké, je potřeba delšího času, aby teplo prostoupilo až do jádra granule. Když se teplo dostane do jádra granule, musí molekuly vody difundovat daleko k povrchu granule a tím se sušení prodlužuje. Pro co nejlepší sušení jsou tedy vhodnější menší rozměry plastových granulátů různých tvarů. [17]

### ***Vliv teploty polymeru***

Teplota plastového granulátu má největší význam při procesu sušení. Ovlivňuje rychlost difúze molekul vody u navlhavých polymerů, tedy rychlost ztráty vlhkosti. Jakmile teplota plastového granulátu vzroste, nastane větší pohyb molekul a přitažlivost mezi polymerními řetězci a molekulami vody se sníží. Následek je uvolnění molekul vody z řetězce

granulátu. Obecně platí, že čím vyšší je teplota sušení, tím rychleji je plastový granulát vysušen. Teplota zahřívání má ale své limity. Jestliže je plastový granulát vystaven vysokým teplotám sušení na delší dobu, může dojít k :

- tepelné degradaci materiálu (oxidaci, změně mechanických vlastností)
- chemické degradaci materiálu (vyloučení zbytkového monomeru, aditiv)
- fyzikální degradaci (menší nepravidelné granule, prach)

[17]

#### **4.4.5 Způsoby sušení plastových granulátů**

Způsoby sušení plastových granulátů jsou rozděleny podle následujících 4 hledisek:

##### **1) Podle uspořádání procesu:**

- s přetržitým provozem
- s nepřetržitým provozem

##### **2) Podle tlaku při kterém se suší :**

- atmosférické
- vakuové

##### **3) Podle oběhového systému:**

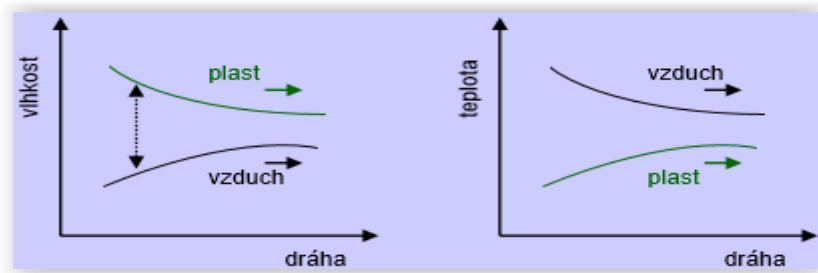
- uzavřený oběh
- otevřený oběh - vzduch nasycený vlhkostí se odvádí do volného prostoru
- s nuceným oběhem
- přirozený oběh – nezaručuje stejnou měrnou teplotu

##### **4) Podle vzájemného pohybu sušeného materiálu a média:**

- (a) souproudé
- (b) protiproudé
- (c) se zkříženými [17] [30]

##### ***a) Souproudé***

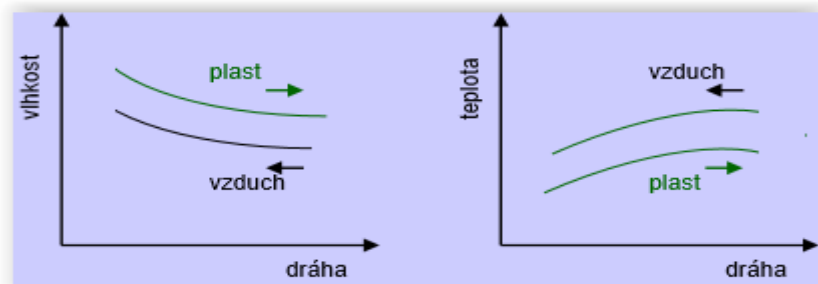
Používají se k sušení plastových granulátů, které snášejí intenzivní sušení a mají malou hydroskopičnost. Výhodou je, že teplota odcházejícího plastového granulátu ze sušárny je nízká, protože se nakonec materiál stýká s ochlazeným vzduchem. Princip souproudého sušení (obr. 10).



Obr. 10 Souproudé sušení [18]

### b) Protiproudé

Při protiproudém sušení (obr. 11) se sušící médium s nejvyšší teplotou a nejnižší vlhkostí stýká s vysušeným materiálem. Nejsou zde velké rozdíly v obsahu vlhkosti a teplotě, rychlost sušení je však oproti protiproudu nižší. Hodí se pro plastové granuláty, které nesnášejí velkou rychlost sušení.



Obr. 11 Protiproudé sušení [18]

### c) S kříženými proudy

Kombinací souproudu a protiproudu.

**Pro sušení plastových granulátů se používají sušící stanice, které se dělí do 5 základních skupin:**

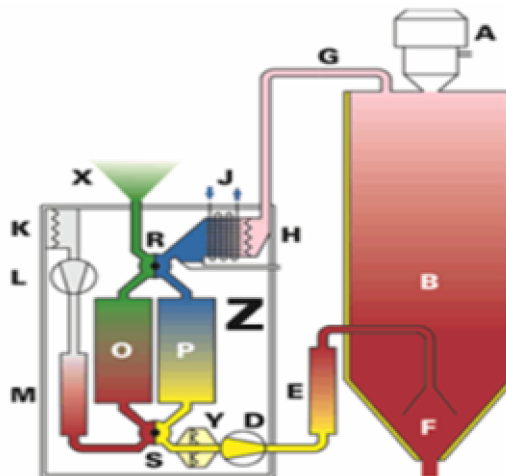
- a) s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu
- b) podtlakové
- c) se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu
- d) s nuceným oběhem ohřátého vzduchu
- e) tlakovzdušné

U sušících stanic plastových granulátů se dnes pokládá za samozřejmost, že jsou schopny sušit efektivně, kvalitně, v širokém rozmezí (až 180 °C) sušících teplot, různé druhy a typy plastových granulátů. Sušit znamená dát uživateli možnost nastavit rosný bod od - 50 °C do 0 °C. Sušící zařízení si samo během příjmu plastového granulátu zvolí správný rosný bod, a to bez použití senzoru rosného bodu. Z důvodů snížení zátěže sušeného plastového granulátu není vhodné pracovat s co nejnižším rosným bodem. Snížení rosného bodu také znamená zvýšení spotřeby energie.

Mezi nepoužívanější typy sušících stanic v linkách na zpracování plastů řadíme první dva uvedené typy. Tedy sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu neboli konveční a podtlakové sušárny.

#### ***a) s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu***

Tento typ sušících stanic (obr. 12) je v současné době ve vstříkovnách nejvíce rozšířen a používán. K sušení plastových granulátů je používán ohřátý suchý vzduch, který obíhá v uzavřeném cyklu mezi násypkou a plastovým granulátem a sušárnou, ve které se regeneruje. Je z něho odstraňována naadsorbovaná vlhkost. Po vysušení průchodu adsorbérem, tzv. molekulovým sítem, je procesní vzduch přes ohříváč dmychadlem opět vháněn zespodu do násypky se sušeným plastovým granulátem. Množství vlhkosti přijaté vysoušedlem vzduchu se postupně zvyšuje, proto je nutné vysoušedlo regenerovat. Zařízení má dvě sekce - v jedné adsorbér odjímá z procesního vzduchu vlhkost, ve druhé je „mokrá“ adsorbér zbavován vlhkosti regeneračním vzduchem, který je ohřát na 300 °C, po průchodu adsorbérem je přes rozdělovač část procesního vzduchu uvolněna do okolního prostředí (možný zápach v okolí sušárny), ohřáté vysoušedlo je zchlazeno do pracovního stavu a po prohození sekci přijímá procesní vzduch po jeho průchodu plastovým granulátem a první sekce se regeneruje. Cyklus výměny sekci je řízen buď časově (výměna sekci po určité době), nebo na základě měření rosného bodu. [17]



**Obr. 12** Sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu [31]

A -horní část násypky, B - násypka, D- dmychadlo, E - ohříváč, F - rozdělovač vzduchu, G - nasávání vzduchu z horní části násypky, H - filtr, J - tepelný výměník, K - filtr nasávaného vzduchu, L - dmychadlo, M - ohříváč, O - adsorbér, P - adsorbér, R - rozdělovač, S -rozdělovač, X - uvolnění vzduchu, Y- vzduchový filtr, Z - sušárna

### **Výhoda:**

Oproti již uvedeným typům je, že procesní vzduch přiváděný do dna násypky s granulátem má nižší a mnohem stabilnější rosný bod než vzduch používaný v horkovzdušných sušárnách.

- efektivnější sušení - kratší doba a nižší zbytková vlhkost v sušeném plastovém granulátu. [17]

### **Nevýhodou tohoto způsobu sušení:**

- určitá energetická náročnost na regeneraci vysoušedla a postupná ztráta účinnosti jeho rozpadem a kontaminací z granulátu uvolněných aditiv
- nutnost výměny vysoušedla - při regeneračním procesu dochází nejen ke ztrátě energie, ale v důsledku ohřevu vysoušedla na regenerační teplotu a jeho následným ochlazením na pracovní sušící teplotu příslušnou pro procesní sušící vzduch se ve vysoušedle vytváří určité napětí. Vlivem cyklického působení napětí granule vysoušedla praskají, mění se na prach, který s časem ztrácí adsorbční účinnost
- při sušícím procesu se z granulátu mohou uvolňovat některé chemické složky a aditiva. Uvolněné komponenty unáší procesní sušící vzduch z násypky do

vysoušedla, kde pokrývají povrch granulí vysoušedla a ztrácejí tak svoji účinnost od prvního regeneračního cyklu

- energetická náročnost procesu - při sušení nad teplotu 80 °C je vzduch, který prošel násypkou s granulátem nutné ochladit (vodní výměník tepla- nutný přívod chladící vody), aby z něho mohlo vysoušedlo odejmout vodu. Po ochlazení vzduchu a jeho vysušení je opět zahříván na sušící teplotu.
- energetická náročnost dmyhadla procesního vzduchu - dmyhadlo má za úkol zajistit průchod procesního vzduchu granulátem v násypce a celým sušícím systémem
- nutnost častého čištění filtrů až po výměnu - zanášení prachem obsaženým v násypce s granulátem, zanesené filtry snižují průtočné množství vzduchu a snižují účinnost sušení
- možnost poruch a opotřebení mechanických částí rozdělovačů vzduchu

[17]

#### ***b) podtlakové sušící stanice***

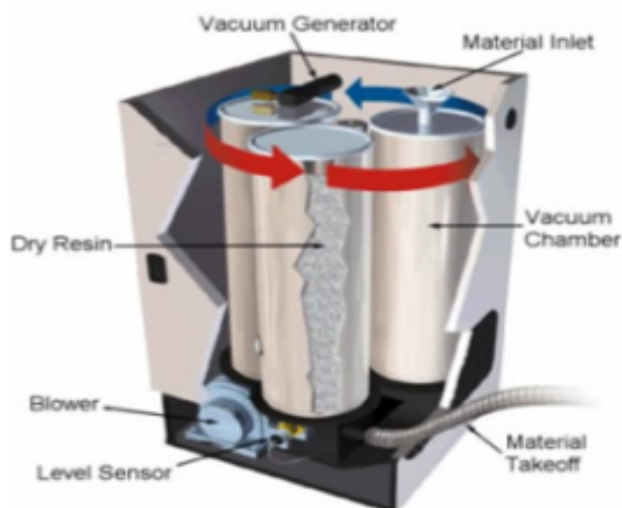
Plastový granulát je sušen v prostředí se sníženým tlakem. Díky nižšímu tlaku lze snížit dodávané teplo potřebné k usušení granulátu. Proces neprobíhá v opravdovém vakuu. Tlak v prostorách sušení se pohybuje od 613 Pa do  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Pa (základní vakuum do absolutního tlaku 613 Pa, přechodové vakuum 1,3 Pa, vysoké vakuum  $1,3 \cdot 10^{-3}$  Pa, ultravákuum  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Pa). Průmyslové vakuové sušící stanice pracují v oblasti základního vakua do absolutního tlaku 613 Pa. [30]

Pro tento typ sušení není rozhodujícím faktorem suchost vzduchu, ale vakuum dosažené v nádobě se sušeným plastovým granulátem.[19]

Plastový granulát je umístěn do nádob, které se označují pojmem kanystry. V podtlakovém zařízení se nacházejí 3 kanystry.

Princip podtlakového sušení (obr. 13) probíhá ve třech pozicích. V pozici 1 zabezpečuje sedmicestný rozváděč ohřev plastového granulátu. Kanystr je oboustranně uzavřen dvěma víky a materiál je ohříván v proudu horkého vzduchu v uzavřeném okruhu. Oběh vzduchu vytváří dmyhadlo s postranními kanály, kde je na vstupu instalován filtr. K ohřevu vzduchu slouží topná komora s PID regulací topení. Přetlaková i podtlaková větev je vedena přes dvoupolohový sedmicestný rozváděč, který zabezpečuje několik funkcí. Ve 2.

pozici Venturi generátor vytváří v zatěsněném kanystru vakuum 737 mm rtuťového sloupce při hodnotě tlakového vzduchu 0,6 MPa. Vakuový senzor snímá hodnotu podtlaku. Vlhký vzduch je Venturi generátorem vyfukován do okolí. Zavzdušňování kanystru a vyrovnání tlaků zajišťuje uzavírací ventil teplým vzduchem na výstupu ze sedmicestného rozváděče. Ve 3. pozici dochází k uvolnění uzávěru kanystru a plastový granulát propadá do transportní komory. Z této komory je již vysušený granulát přepravován cyklicky do cyklonu na násypce stroje nebo na mezinásypce. Cyklon neboli sací jednotka nemusí být vybaven zdrojem podtlaku, transport materiálu zajišťuje dmychadlo sušárny s rozvodem podtlaku přes sedmicestný rozváděč. Účinnost přepravy se zvyšuje zavedením přetlaku do transportní komory. Během ohřevu materiálu v pozici 1 je v pravidelných nastavených časových intervalech sedmicestný rozváděč přepoložován pro potřebu transportu granulátu v pozici 3. Na displeji jsou zobrazovány provozní režimy, teploty, časy, hodnota vakua a alarmové stavy. [7]



Obr. 13 Princip podtlakového způsobu sušení [8]

#### **Výhody podtlakového sušení oproti sušení v proudu suchého vzduchu:**

- minimální startovací čas, žádné prostoje při výměně materiálu
- podstatné zkrácení doby sušení, řádově desítky minut ( 20 až 40 minut), podle typu sušeného granulátu a jeho vstupní vlhkosti
- menší degradační namáhání materiálů při sušení
- úspora provozních nákladů
- bez energetického omezení



- nižší teplota
- sušení nezávislé na okolních podmínkách
- kontinuální proces přípravy suchého granulátu
- snížený tlak v sušícím prostoru usnadňuje sušení
- použití u plastů, u nichž je nebezpečí oxidace ve vzduchu při zvýšené teplotě
- kratší doba sušení než horkovzdušné sušárny
- instalace vedle stroje
- zamezení degradace materiálu vlivem dlouhodobého tepelného zatížení v proudu vzduchu
- nižší nároky na údržbu a provoz – jednoduchá konstrukce a žádná nutnost molekulárních sít.
- nižší zástavbové rozměry - žádný samostatný sušící násypník.
- sušení materiálu bez napětí – žádná degradace materiálu.
- výměna materiálu za chodu – není nutno zastavovat stroj nebo použít další stroj

[17] [33]

#### **Nevýhody podtlakového sušení oproti sušení v proudu suchého vzduchu**

- nutnost vyvolání vakua
- složitost zařízení

#### ***c) sušící stanice se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu***

Jedná se o skříně s etážemi, na nichž jsou uloženy zásobníky s granulátem. Uvnitř skříní jsou elektrická topná tělesa, která ohřívají vzduch v sušárně, který je z okolí nasáván pomocí ventilátoru. Pro dobré sušení by zásobníky měly mít děrovaná síta, aby ohřátý vzduch mohl přes uložený granulát při vrstvě s tloušťkou 2 až max. 4 cm volně procházet.

Po průchodu ohřátého vzduchu plastovým granulátem, který stoupá ke stropu sušárny, kde se změní rosný bod, ze vzduchu vypadne část vlhkosti jako kondenzát zpět do sušeného granulátu. Ostatní vzduch odchází do volné atmosféry a tak se postup opakuje. Urychlit proces může vakuace sušárny, což vede k lepším výsledkům u plastových granulátů citlivých na vzdušný kyslík (např. PA).

- rychlost sušení v těchto sušárnách je pomalá
- efektivita nízká

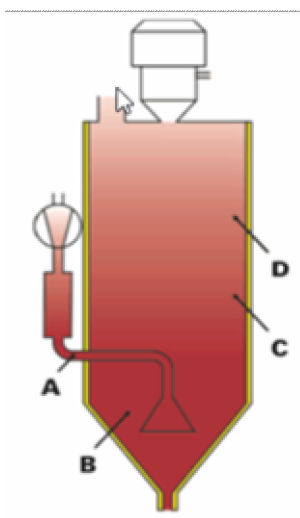
[17]

#### d) sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého vzduchu

Sušárny jsou tvořeny zásobníky granulátů ( válcové s konickým výsypným dnem (obr. 14)), do kterých je okolní vzduch ventilátorem po ohřevu zespodu vháněn. Ohřátý vzduch, který prošel přes plastový granulát částečně odchází do okolní atmosféry a částečně je opět veden přes ohřev a ventilátor zpět do granulátu. Z tohoto vyplývá, že se „mokrý“ plastový granulát suší mokřím vzduchem. Jakost nasávaného vzduchu (obsah vlhkosti v nasávaném vzduchu) závisí na ročním období ( tab. 3).

Tab. 3 Obsah vlhkosti v závislosti na ročním období [27]

	Teplota [°C]	Relativní vlhkost $\varphi$ [%]	Obsah vlhkosti v nasávaném vzduchu [g vody/m <sup>3</sup> ]
vlhký letní vzduch	+ 25	80	19
normální letní vzduch	+ 25	60	14
jaro/podzim	+ 10	70	6,7
zima	0	80	3,9
suchá zima	- 10	50	1,03



Obr. 14 Sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého vzduchu [31]

Průběh teploty ohřátého vzduchu v násypce: **A** - 80 °C pro ABS, **B** - mírný pokles teploty, **C** - další pokles teploty, **D** - nejnižší teplota v násypce

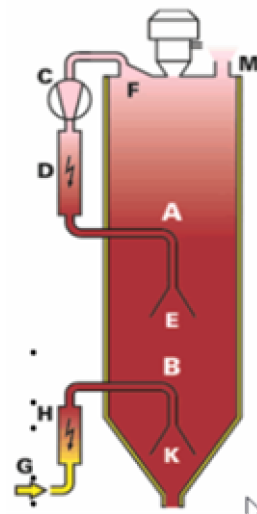
- vhodné pro odstraňování povrchové vlhkosti, stejně jako předešlý typ sušáren
- jednoduché relativně levné, servisně nenáročné zařízení
- dávkové sušení s velkou spotřebou elektrické energie

- kvalita sušení je závislá na vlastnostech (vlhkosti) vzduchu nasávaného do sušičky, hrozí u nich nebezpečí degradace materiálu v důsledku jeho dlouhodobého setrvání v násypce sušící stanice

[17]

#### *e) tlakovzdušné sušící stanice*

Tento typ sušících stanic (obr. 15) suší granulát v proudu suchého horkého vzduchu v násypce. Suchý vzduch se ale nezískává z regenerační sekce sušárny, ale používá se stlačený vzduch z vnějšího zdroje, který je dekomprimován a před vstupem do sušící násypky ohřán na sušící teplotu. Zdrojem tlakového vzduchu je např. kompresor používaný i pro další účely než jako zdroj stlačeného vzduchu pro sušení. Pro správnou funkci sušení postačí vzduch zbavený oleje a vlhkosti ve standardní chladicí sušárně vzduchu na kompresoru s tlakovým rosným bodem + 5 °C a tlakem alespoň 7 barů. Pro ohřev sušícího vzduchu lze využít odpadní regenerované teplo ze zdrojů ve stříkovně, včetně kompresoru.



**Obr. 15** Tlakovzdušná sušící stanice [31]

A - horní část násypky, B - dolní část násypky, C - dmychadlo, D - ohříváč, E-rozdělovač vzduchu, F- filtr, G - tlakový vzduch, H -ohříváč, K - rozdělovač, M - filtr

Po příchodu tlakového vzduchu z kompresoru do sušičky dojde k jeho dekompresi na tlak na hladině moře a tím získá rosný bod - 21 °C, který je dostatečný pro vysušení libovolného polymerního materiálu.

Systém používá dva úzké zásobníky nad sebou. Dmychadlo protlačuje vzduch ohřívacem do rozdělovače vzduchu. Ohřátý vzduch stoupá plastovým granulátem do horní části násypky. Granule ohřívá a tím zvyšuje tlak vlhkosti v kapilárách granulátu a částečně z nich vlhkost vytěšňuje. Z horního zásobníku se vzduch vrací zpět do dmychadla. Menší množství předsušeného vzduchu je dekomprimováno na atmosférický tlak a ohřáto. Rosný bod předsušeného vzduchu klesne díky dekompresi a je dostatečně nízký pro odstranění vlhkosti z materiálu v dolním zásobníku. Pracovní vzduch stoupá z dolního zásobníku do horního, přejímá veškerou uvolněnou vlhkost a opouští sušičku. Vlhkost ze stlačeného vzduchu se oddělí ve standardní chladicí sušičce vzduchu.

#### **Výhody tlakovým vzduchem oproti sušení suchým vzduchem:**

- tlakovzdušné sušárny mají ohřev a sušení odděleno. Jedná se o dva samostatné kroky
- plastový granulát je prohříván až do středu granulí bez nebezpečí degradace
- konstrukce zajišťuje vynikající teplotní izolaci, stabilní tok a teplotu stlačeného vzduchu, automatickými filtry.
- nemají vysoušedlo a přepínače sekcí. Podstatné snížení nároků na údržbu a opravy, včetně nákupů adsorbérů
- konstantní výsledky sušení po celou dobu životnosti zařízení

. [17]

## 5 Výběr a charakteristika vybrané společnosti

Magna Exterior (Bohemia) je členem sítě Magna International (obr. 16) a patří k hlavním dodavatelům plastových dílů pro automobilový průmysl. Magna Exterior (Bohemia) se připojila ke kanadské společnosti Magna Internacional v květnu 2009. Společnost sídlí v Liberci.



Obr. 16 Logo společnosti [30]

### 5.1 O společnosti

Vznik společnosti se datuje k roku 1946, kdy se pod názvem Plastimat začaly v Jablonci nad Nisou vyrábět plastové předměty různého uplatnění. Do Liberce se firma Plastimat přemístila až v roce 1963. Než se Plastimat přetransformoval v MAGNA BOHEMIA, prošel rukama několika firem. Dnes je MAGNA BOHEMIA výrobcem a vývojovým dodavatelem plastových výrobků a systémů pro automobilový průmysl se sedmdesátiletou tradicí.

Převážná část výroby je zaměřena na plastové díly pro automobilový průmysl, zejména nárazníky, 5. dveře, mřížky chladiče, dveřní prahy a další drobné součásti automobilu. Podíl jednotlivých výrobních skupin v celkovém výrobním programu je vidět (obr. 17 ). [30]

Od roku 2016 a do roku 2018 se má Magna International podílet na uvedení 285 modelů, určených pro řidiče z celého světa. Což představuje 66 % celkového trhu. Magna International vyrábí pro odběratele, mezi které patří: Škoda, Volkswagen, BMW, Man, Seat, Mercedes - Benz, Jaguar, Audi, Opel, Peugeot, Nissan.



Obr. 17 Výrobní program

Technologie používané ve společnosti:

- vstřikování - ve výrobních závodech společnosti je zhruba 230 vstřikovacích strojů pro konvenční i speciální vstřikování: GID, 2K, zastřikování kovových zálistků
- lakování - plastové díly jsou následně povrchově upravovány lakováním v lakovacích linkách na vodou ředitelné i ředidlové laky
- montáž - montážních linky používají stroje na děrování plastů (laserové, hydraulické, pneumatické) a svařování plastů (hotplate, ultrazvukové, vibrační, infračervené a nově i torzní)
- robotické aplikace - celou technologii doplňuje i několik robotických lepicích linek
- speciální technologie
- laserování

Výrobní závody v České republice :

- Liberec
- Nymburk

Výrobní závody v zahraničí :

- Německo (Hannover, Meerane)
- Polsko (Poznaň)

## **5.2 Linka přípravného zpracování před vstřikováním**

Společnost Magna International vyrábí plastové díly do z termoplastů: ABS, PET, PE, PS, PP a dalších. Pro výrobu plastových dílu pro automobilový průmysl se používají výhradně plastové granuláty bez předchozí regranulace.

Plastový granulát ABS Magnum 3616 Natur od firmy Trinseo. ABS je amorfní polymer, který se skládá z hlavní složky styrén-akrylonitrilu a v ní je dispergovaný podíl polybutadiénu ve formě velmi malých částic vyráběný technologií kontinuální polymerizace. Výsledkem je polymer o vysoce konzistentním bílém natural zbarvení, který se vyznačuje kombinací výborné zpracovatelnosti a estetických kvalit. Hlavní vlastnosti na (obr. 18) [10]



**Obr. 18** Hlavní vlastnosti ABS Magnum 3616 Natur [34]

## Linka přípravného zpracování plastů

### Linka obsahuje :

- vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350
- sušící stanici Koch Technik 200
- sušící stanici Maguire LPD - 2SE

Plastový granulát ABS Magnum 3616 Natur je z obou sušících stanic dopravován podtlakovým způsobem do násypky lisovací stroje. K sušení je možné použít Koch Technik 200 nebo Maguire LPD -2SE. Plastový granulát je nejprve vysoušen a pak dopravován do násypky vstřikovacího stroje.

- vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350 (obr. 19)



Obr. 19 Vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350

- sušící stanici Koch Technik 200 (obr. 20)



Obr. 20 Sušící stanice Koch Technik 200



- sušící stanici Maguire LPD - 2SE (obr. 21)



**Obr. 21** Sušící stanice Maguire LPD - 2SE [35]

### **Základní technická data**

- sušící stanice Koch Technik 200 (tab. 4)
- sušící stanice Maguire LPD - 2SE (tab. 5)
- vstříkovací lis Arburg 420 C 1300 - 350 (tab. 6)

**Tab. 4** Koch Technik 200

<b>Objem násypky [l]</b>	200
<b>Topné těleso [kW]</b>	1,7
<b>Dmychadlo [kW]</b>	0,25
<b>Příkon [kW]</b>	3

Tab. 5 Maguire LPD - 2SE

<b>Objem kanystru [l]</b>	57
<b>Rozměry [mm]</b>	100 x 90 x 240
<b>Topné těleso [kW]</b>	5
<b>Dmychadlo [kW]</b>	2,6
<b>Příkon [kW]</b>	7.7

Tab. 6 Vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350

<b>Uzavírací síla [kN]</b>	1000
<b>Upínací deska [mm]</b>	605 x 605
<b>Účinná délka šneku [L /D]</b>	20
<b>Otevírací síla [kN]</b>	35 / 350
<b>Síla vyhazovacích kolíků [kN]</b>	max. 40
<b>Tah šneku [mm]</b>	max. 145
<b>Výška formy [mm]</b>	min. 250
<b>Vzdálenost mezi sloupky [mm]</b>	420 x 420
<b>Průměr šneku [mm]</b>	40

Ve společnosti Magna Exterior (Bohemia) pracuje obsluha výrobní linky ve třísměnném provozu. Linka přípravného zpracování plastů (obr. 22) je v provozu nepřetržitě 5 dní v týdnu.



Obr. 22 Linka přípravného zpracování plastů

## **6 Návrh řešení a dosažené výsledky**

Společnost Magna International má k dispozici pro sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur z výběru dvou sušících stanic, které lze obě uplatnit v lince přípravného zpracování plastů před samotným procesem vstřikování.

Z naměřených hodnot se získá porovnání, z okamžitých příkonů provede ekonomické zhodnocení a stanovení vhodného použití sušících stanic v třísměnném provozu, který je zaveden ve společnosti.

### **Na základě provedeného měření se zjistí hodnoty:**

- vlhkosti plastového granulátu před samotným sušením, a dále po následujících hodinách
- okamžitých příkonů během zvolené doby sušení
- doby sušení plastového granulátu do úplného vysušení

### **Použitá měřicí zařízení**

- A) analyzátor vlhkosti Mettler Toledo HR 83
- B) elektroměr MANELLER 9903D
- C) digitální stopky DELTA E 200

### **Specifikace měřících zařízení**

A) analyzátor vlhkosti Mettler Toledo HR 83 (obr. 23).



**Obr. 23** Analyzátor vlhkosti Mettler Toledo HR83

- určeno pro jednoduché laboratorní aplikace a stanovení vlhkosti
- obsah vlhkosti %
- obsah sušiny v %
- hmotnost sušiny v g
- teplota sušení 40 - 200 °C
- nastavitelná dvoubodová kalibrace sušičky a vyvážení

**Specifikace:**

- kapacita: 81(g)
- napájení: 115 (VAC)
- doba sušení : 1- 480 min
- přesnost měření vlhkosti : 0,001 g
- typ ohřevu : halogenový

**Rozměry(Š x V x H):** 360 x 340 x 110 mm

*B) elektroměr MANELLER 9903D (obr. 24)*



**Obr. 24** Elektroměr MANELLER 9903 D

- třífázový, jednosazbový elektroměr na lištu DIN
- kalibrovaný vč. kalibračního protokolu 2018
- velmi kvalitní a přesný elektroměr

**Specifikace:**

- proudový rozsah: 10 - 60 A
- náběhový proud: 0,05 A
- třída přesnosti : 1
- velikost 7 modulu: 125mm
- jmenovité napětí: 3 x 230 V / 400V
- jmenovitý proud: 3 x 10 / 60 A
- jmenovitý kmitočet: 50 - 60 Hz
- frekvence: 50Hz

**Rozměry (Š x V x H):** 100 x 66 x 121 mm

C) *digitální stopky DELTA E 200 (obr.25 )*



**Obr. 25** *Digitální stopky DELTA E 200*

**Specifikace:**

- měřicí rozsah: 9 hod 59 min 59 sec
- numerický krok: 0,01 sec
- hmotnost: 0,085 kg

**Kalibrace:** ISO9000

**Rozměry (Š x V x H):** 82 x 61 x 28 mm

***Před samotným sušicím procesem je nutné zjištění teploty sušení plastové granulátu a jeho počáteční vlhkosti.***

Při porovnání zvolené teploty sušení plastového granulátu s literaturou dochází ke shodě. Zvolená teplota sušení při 80 °C odpovídá dle (tab. 7)

**Tab. 7** Doporučené hodnoty pro sušení termoplastů [17]

<b>Termoplast</b>	<b>Označení</b>	<b>Doba sušení v komorové sušárně [h]</b>	<b>Doba sušení s přísáváním okolního vzduchu [h]</b>	<b>Doba sušení při sušení suchým vzduchem [h]</b>	<b>Teplota sušení [°C]</b>	<b>Časová prodleva [min]</b>
Acryl - Nitril Butadien - Styrol	ABS	5 - 6	2 - 3	1 - 2	80	15

### ***Zjištění obsahu vlhkosti plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur***

Před sušením 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur byla potřeba zjistit počáteční vlhkost plastového granulátu. Tato vlhkost dle analyzátoru Mettler Toledo byla 0,6 %. Dle (tab. 8) je maximální přípustná hodnota 0,2 % vlhkosti pro vstřikování plastového granulátu ABS.

**Tato uvedená maximální přípustná vlhkost 0,2 % je hodnota pouze orientační. Požadavek byl stanoven na úplné vysušení plastového granulátu na hodnotu 0,01 %.**

**Tab. 8** Hodnoty vlhkosti při vstřikování [17]

<b>Termoplast</b>	<b>Označení</b>	<b>Zkušební metoda</b>	<b>Max. obsah vody při normálním klimatu [%]</b>	<b>Max. obsah vody při expozici ve vodě [%]</b>	<b>Max. přípustná vlhkost při vstřikování [%]</b>	<b>Tlak páry při zpracovatelské teplotě [bar]</b>
Acryl - Nitril Butadien - Styrol	ABS	DIN 53495	0,3 - 0,5	0,7	0,2	15 - 50

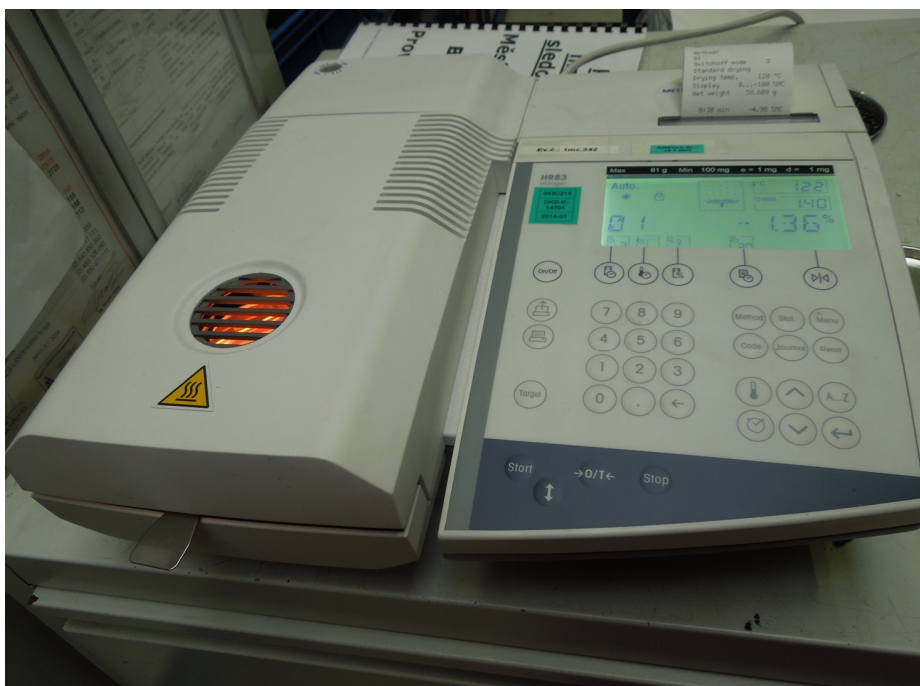
## Dosažené výsledky

### Hodnoty počátečních vlhkostí pro sušící stanice

- Koch Technik 2000 - suší plastový granulát na principu nuceného oběhu ohřátého vzduchu.
- Maquire LPD - 2SE - suší plastový granulát na principu podtlakového sušení.

První zjišťovaná hodnota je hodnota počátečních vlhkostí vstupující plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur pro dvě sušící stanice před procesem sušení.

Z obou sušících stanic byly odebrány vzorky plastového granulátu a jejich hodnota byla totožná. Velikost naměřené hodnoty vlhkosti plastového granulátu byla změřena 0,6 % pomocí gravimetrické metody (obr. 26) Důvodem totožné hodnoty vlhkosti plastového granulátu pro obě sušící stanice je stejné použité množství ze stejné skladovací místnosti.



**Obr. 26** Gravimetrická metoda

Poté byl plastový granulát o hmotnosti 50 kg sušen v sušících stanicích Koch Technik 200 a Maquire LPD - 2SE. Dále byla stanovena doba odběru vzorků po 60 minutách a stanovena vlhkost odebraného vzorku po této době sušení a odečtena hodnota okamžitých příkonů.



### **Po 1. hodině sušení**

**Ukončení procesu sušení v podtlakovém způsobem v sušící stanici Maquire LPD - 2SE. Důvodem je hodnota 0,01 % vlhkosti odebraného vzorku plastového granulátu po 1 hodině sušení. Splnění podmínky úplného vysušení plastového granulátu. Zjištěna hodnota okamžitého příkonu sušící stanice Maquire LPD - 2SE je 3,6 kW.**

Pokračování procesu sušení s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu pomocí stanice Koch Technik 200. Hodnota vlhkosti odebraného vzorku stanovena na 0,06 % a odečtena hodnota okamžitého příkonu 1,2 kW.

### **Po 2. hodině sušení**

Dále pokračování procesu sušení pouze v sušící stanici Koch Technik 200, kde hodnota vlhkosti z odebraného vzorku byla 0,03 %. Odebrán vzorek plastového granulátu po zvolené době a odečtena hodnota okamžitého příkonu 1,8 kW.

Dále pokračování procesu sušení pouze v sušící stanici Koch Technik 200, kde hodnota vlhkosti z odebraného vzorku nebyla 0,01 %.

### **Po 3. hodině sušení**

Odebrán vzorek plastového granulátu po zvolené době odečtena hodnota okamžitého příkonu. **Proces sušení pomocí sušící stanice Koch Technik 200 ukončen. Důvodem je úplné vysušení plastového granulátu. Hodnota vlhkosti odebraného vzorku je 0,01%. Zjištěná hodnota okamžitého příkonu je 2,8 kW.**

**Plastový granulát ABS Magnum 3616 Natur byl vysušen pomocí obou sušících stanic na hodnotu 0,01 %.**

Hodnoty vlhkostí plastového granulátu změřené před začátkem sušení a dále pak v hodinovém intervalu udává (tab. 9).

**Tab. 9** Vlhkost plastového granulátu měřená v hodinových intervalech

Čas [h]	Sušicí stanice	Vlhkost granulátu [%]
-	Koch Technik 200	0,6
	Maquire LPD - 2SE	0,6
1	Koch Technik 200	0,06
	Maquire LPD - 2SE	<b>0,01</b>
2	Koch Technik 200	0,03
	Maquire LPD - 2SE	- *
3	Koch Technik 200	0,01
	Maquire LPD - 2SE	- *

\* vzorek vysušen

### Energetická náročnost sušících stanic

Hodnoty okamžitých příkonů sušících stanic po 1 hodině udává tab. 10.

**Tab. 10** Hodnoty okamžitých příkonů sušících stanic

Čas [h]	Sušicí stanice	Okamžitý příkon [kW]
1	Koch Technik 200	1,2
	Maquire LPD - 2SE	3,6
2	Koch Technik 200	1,8
	Maquire LPD - 2SE	- *
3	Koch Technik 200	2,8
	Maquire LPD - 2SE	- *

\* stanice vypnuta

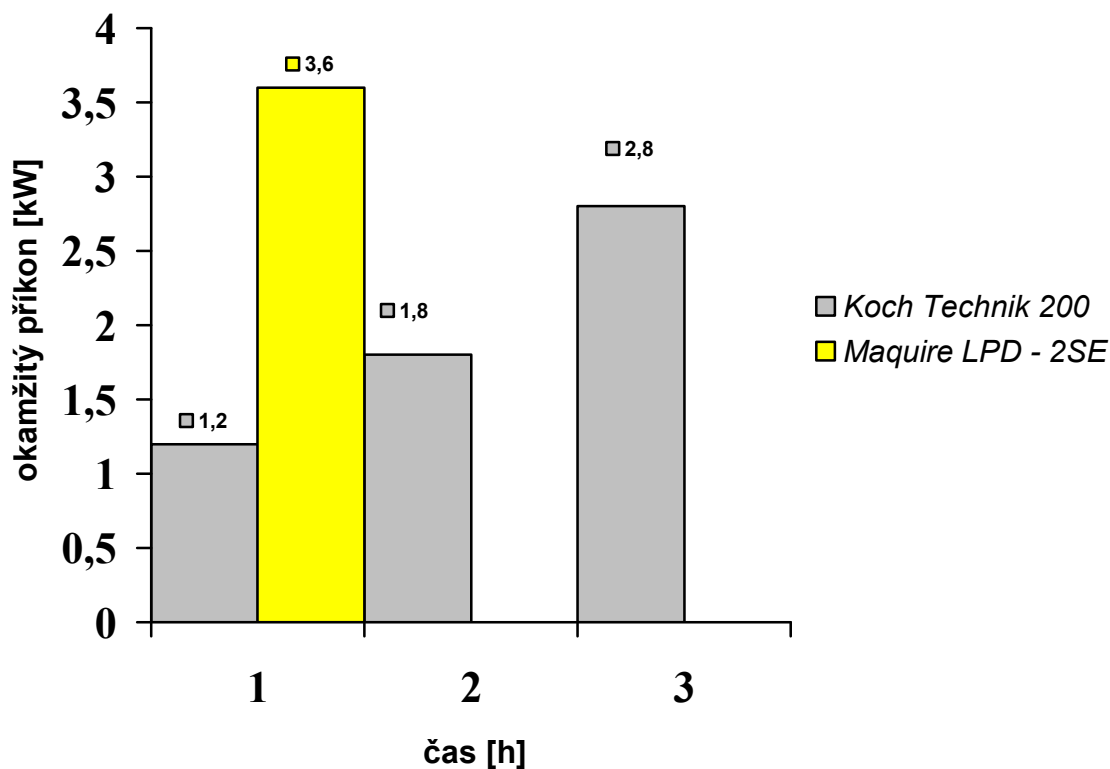
Hodnoty výsledných okamžitých příkonů sušících stanic udává tab. 11.

Tab. 11 Hodnoty výsledných okamžitých příkonů

Sušící stanice	Příkon [kW]
Koch Technik 200	5,8*
Maquire LPD - 2SE	3,6

\*Pro sušící stanici Koch Technik 200 je tato hodnota součtem okamžitých příkonů za 3 hodiny provozu.

Průběh hodnot okamžitých příkonů odečtených po 1 hodině při procesu sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur udává (obr. 27).



Obr. 27 Průběh hodnot okamžitých příkonů po 1 hodině při procesu sušení

Výsledný okamžitý příkon sušící stanice Koch Technik 200 za 3 hodiny provozu je 5,8 kW. Okamžitý příkon za hodinu provozu pro sušící stanici Koch Technik 200 je 1,93 kW a pro sušící stanici Maquire LPD - 2SE je 3,6 kW za 1 hodinu provozu.

### **Doba sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur do úplného vysušení**

Tab. 12 uvádí výslednou dobu sušení plastového granulátu do hodnoty vlhkosti 0,01 % pro dvě použité sušící stanice.

**Tab. 12** *Výsledná doba sušení plastového granulátu*

<b>Sušící stanice</b>	<b>Doba sušení [h]</b>
<i>Koch Technik 200</i>	<i>3</i>
<i>Maquire LPD - 2SE</i>	<i>1</i>

### **Ekonomické zhodnocení provozu sušících stanic**

Při stanovení ceny elektrické energie 4 Kč / kWh je ekonomické zhodnocení použitých sušících stanic následující:

#### **1. Sušící stanice Koch Technik 200**

- doba sušení :  $t = 3 \text{ h}$
- okamžitý hodinový příkon:  $P = 1,93 \text{ kW}$

#### **Cena spotřebované elektrické energie:**

$$3 \text{ h} * 1930 \text{ W} = 5790 \text{ Wh} = 5,79 \text{ kWh}$$

$$5,79 \text{ kWh} * 4 \text{ Kč} / \text{kWh} = \underline{\underline{23,16 \text{ Kč}}}$$

**Cena spotřebované elektrické energie při sušení se sušící stanicí Koch Technik 200 vyšla na 23,16 Kč za 3 hodiny provozu.**

#### **2. Sušící stanice Maguire LPD - 2SE**

- doba sušení:  $t = 1 \text{ h}$
- příkon:  $P = 3,6 \text{ kW}$

#### **Cena spotřebované elektrické energie:**

$$1 \text{ h} * 3600 \text{ W} = 3600 \text{ Wh} = 3,6 \text{ kWh}$$

$$3,6 \text{ kWh} * 4 \text{ Kč/kWh} = \underline{\underline{14,4 \text{ Kč}}}$$

**Cena spotřebované elektrické energie při sušení se sušící stanicí Maguire LPD - 2SE vyšla na 14,4 Kč za hodinu provozu.**

Cenový rozdíl při sušení 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur do úplného vysušení vyšel **8,76 Kč**.

### Náklady na měsíční provoz

- při průměrném počtu 23 pracovních dní

#### 1. Sušící stanice Koch Technik 200

- doba sušení :  $t = 23$  dní
- okamžitý hodinový příkon :  $P = 1,93$  kW\*

#### **Cena spotřebované elektrické energie:**

- **1 den (24 hodin)**

$1,93 \text{ kWh} * 24 \text{ h} = 46,32 \text{ kWh}$

$46,32 \text{ kWh} * 4 \text{ Kč / kWh} = \underline{185,28 \text{ Kč}}$

- **1 měsíc ( 23 pracovních dní)**

$185,28 \text{ Kč} * 23 \text{ dní} = \underline{4261,44 \text{ Kč}}$

**Cena spotřebované elektrické energie za měsíc sušení se sušící stanicí Koch Technik 200 je 4261, 44 Kč.**

#### 2. Sušící stanice Maguire LPD - 2SE

- doba sušení:  $t = 23$  dní
- okamžitý hodinový příkon.  $P = 3,6$  kW

#### **Cena spotřebované elektrické energie:**

- **1 den (24 hodin)**

$3,6 \text{ kW} * 24 \text{ h} = 86,4 \text{ kWh}$

$86,4 \text{ kWh} * 4 \text{ Kč / kWh} = \underline{345.6 \text{ Kč}}$

- **1 měsíc ( 23 pracovních dní)**

$345,6 \text{ Kč} * 23 \text{ dní} = \underline{7948,8 \text{ Kč.}}$

**Cena spotřebované elektrické energie za měsíc sušení se sušící stanicí Maguire LPD - 2SE vyšla na 7948,8 Kč.**

Cenový rozdíl při měsíčním sušení 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur do úplného vysušení je **3687,36 Kč.**

### Náklady na roční provoz

#### 1. Sušící stanice Koch Technik 200

- 12 měsíců

$$4261,44 \text{ Kč} * 12 = \underline{51137,2 \text{ Kč}}$$

Cena spotřebované elektrické energie za rok sušení se sušící stanicí Koch Technik 200 je 51137,2 Kč.

#### 2. Sušící stanice Maguire LPD - 2SE

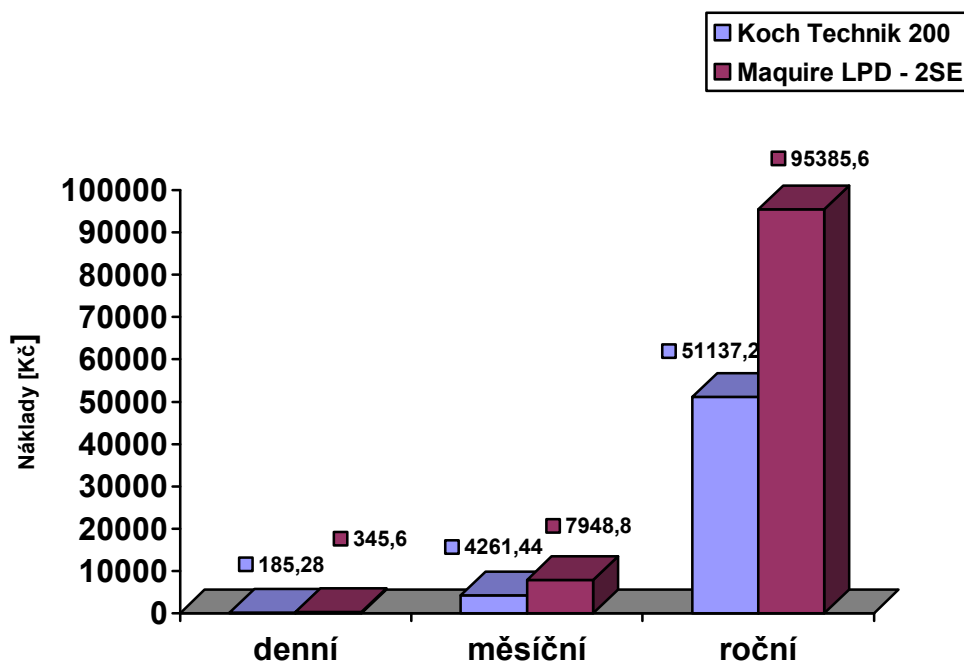
- 12 měsíců

$$7\,948,8 \text{ Kč} * 12 = \underline{95\,385,6 \text{ Kč}}$$

Cena spotřebované elektrické energie za rok sušení se sušící stanicí Maquire LPD - 2SE je 95 385,6 Kč.

Cenový rozdíl při ročním sušení 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur do úplného vysušení je 44 248,4 Kč.

Náklady na provoz sušících stanic jsou uvedeny na (obr. 28).



Obr. 28 : Náklady na provoz sušících stanic

Tab. 13 udává porovnání dvou sušících stanic na základě získaných parametrů při sušení 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur.

Tab. 13 Výsledné parametry sušících stanic při sušení 50 kg ABS Magnum 3616 Natur včetně nákladů

		Sušící stanice <i>Koch Technik</i> <i>200</i>	Sušící stanice <i>Maquire LPD -</i> <i>2SE</i>
Doba sušení [h]		3	1
Výsledný okamžitý příkon [kW]		5,8*	3,6
Náklady [Kč]	denní	185,28	345,6
	měsíční	4261,44	7948,8
	roční	51137,2	95 385,6

\* za celkovou dobu sušení



## **7 Diskuze a závěry**

Diplomová práce se zabývá návrhem způsobu sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur a problematikou, která je s procesem sušení granulátu úzce spojena.

Teoretická část diplomové práce pojednává o faktorech, které sušení granulátu ovlivňují a dále seznamuje s 5 možnými způsoby sušení plastového granulátu a uvádí jednotlivé výhody a nevýhody u těchto způsobů sušení.

Praktická část diplomové práce porovnává 2 způsoby sušení plastového granulátu na základě dvou odlišných principů sušení pomocí 2 různých sušících stanic, kdy množství sušeného granulátu je stejné v každé sušící stanici a bylo stanoveno na 50 kg. Prvním způsobem bylo sušení pomocí nuceného oběhu ohřátého vzduchu pomocí sušící stanice Koch Technik 200. Druhým způsobem bylo sušení plastového granulátu pomocí vakua v podtlakové stanici Maquire LPD - 2SE.

K měřeným hodnotám patřila doba sušení plastového granulátu do úplného vysušení, hodnoty vlhkosti před sušením a během sušení a hodnoty okamžitých příkonů sušících stanic. Pro odběr vzorků plastového granulátu pro stanovení vlhkosti a odečtení hodnot okamžitých příkonů sušících stanic byl stanoven interval 1 hodiny. Ze získaných hodnot okamžitých příkonů byly spočítány náklady na provoz sušících stanic. Na základě naměřených hodnot bylo provedeno porovnání.

Diplomová práce byla vypracována kvůli dosud nezjištěnému porovnání těchto možných dvou způsobů sušení plastového granulátu v běžném provozu v lince na zpracování plastů. Pro získání porovnání dvou způsobů sušení plastového granulátu bylo stanoveno stejné množství plastového granulátu pro obě sušící stanice se stejnou počáteční vlhkostí plastového granulátu se stejným stanoveným časovým intervalem pro odběr vzorků a pro odečtení hodnot okamžitých příkonů.

Výsledky měření praktické části diplomové práce stanovily posouzení sušících stanic podle dvou hledisek. Prvním hlediskem je doba sušení plastového granulátu a druhým hlediskem jsou náklady na provoz sušících stanic při zvoleném třísměnném provozu ve společnosti Magna International.

Podle prvního posuzovaného hlediska, tedy doby sušení 50 kg plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur byl plastový granulát vysušen na hodnotu vlhkosti 0,01 % rychleji sušící stanicí Maquire LPD - 2SE pracující na principu podtlakového sušení

pomocí vakua. Pomocí sušící stanice Koch Technik 200 byla doba sušení plastového granulátu 3 hodiny na hodnotu vlhkosti 0,01 %. Rozdíl doby sušení byl 2 hodiny.

Podle druhého posuzovaného hlediska, tedy podle nákladů na usušení 50 kg plastového granulátu bylo výhodnější použití sušící stanice Koch Technik 200. Hodnota okamžitého příkonu sušící stanice Koch Technik 200 byla 1,93 kW při hodinovém provozu sušící stanice oproti hodnotě 3,6 kW, která byla změřena pro sušící stanici Maquire LPD - 2SE. Z těchto hodnot okamžitých příkonů byly spočítány náklady na denní, měsíční a roční provoz pro obě sušící stanice.

**Pro provoz ve společnosti Magna International ve zvoleném třísměnném provozu je vhodné použití sušící stanice Koch Technik 200, pracující na principu nuceného oběhu suchého vzduchu.** Sušení pomocí sušící stanice Koch Technik 200 probíhá nezávisle na okolních podmínkách, není zde omezení výkonu a je zde možnost připojení více sušících sil. Nevýhodou je možná degradace plastového granulátu vlivem dlouhodobého zatížení v proudu vzduchu. Rozdíl nákladů při ročním užívání je mezi oběma stanicemi 44 248,4 Kč.

Sušící stanice Maquire LPD - 2SE není vhodná pro dlouhodobé užívání ve zvoleném třísměnném provozu. Jedinou výhodou je kratší doba sušení plastového granulátu na úkor nákladů. Sušení pomocí sušící stanice Maquire LPD - 2SE probíhá také nezávisle na okolních podmínkách, není zde také omezení výkonu a není zde možnost připojení více sil. Omezená kapacita sušícího zařízení, která je maximálně 170 l omezuje použití sušící stanice pouze na omezený počet lisovacích strojů s velkými náklady na provoz stanice. Toto je velká nevýhoda oproti sušící stanici Koch Technik 200. U sušící stanice Koch Technik je kapacita sušícího zařízení 200 litrů s možností připojení několika dalších sil pracující při výrazně nižších nákladech. Při nepřetržitém denním využívání sušící stanice byl cenový rozdíl 160,32 Kč, při měsíčním nepřetržitém používání je již 3687,36 Kč.

Při sušení plastového granulátu ABS Magnum 3616 Natur vznikl znatelný rozdíl v ročních nákladech. Pro volbu sušící stanice Maquire LPD - 2SE do provozu v lince na zpracování plastů by bylo vhodné zaměřením se na energetickou stránku této sušící stanice. Hodnota okamžitého příkonu při hodině provozu byla 3,6 kW oproti 1,93 kW pro sušící stanici Koch Technik 200. Tento rozdíl 1,67 kW hraje důležitou roli z hlediska

dlouhodobého užívání. Další doporučení by bylo na zvětšení kapacity pro sušení plastového granulátu.

## **8 Seznam literatury**

[1] Ducháček, V.; *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. VŠCHT, Praha 2006, ISBN 80-7080-617-6 [cit. 15. 3. 2018].

[2] Nutsch, W.; *Příručka pro truhláře*. 2006, ISBN 80-86706-14-11 [cit. 15. 2. 2018].

[3] Břížd'ala, J.; *Syntetické makromolekulární látky*. [online]. [cit. 7. 2. 2018].

Dostupné z: <[http://www.chemweb.info/Study/3/Synteticke\\_makromolekularni\\_latky.pdf](http://www.chemweb.info/Study/3/Synteticke_makromolekularni_latky.pdf)>

[4] Lysoňková I.; *Vybrané polymerní materiály a jejich aplikace*. Metodická příručka Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i. , Praha, 2015, ISBN 978-80-86302-69-0. [cit. 8. 2. 2018].

[5] Weiss, Viktorie a Elena Střihavková. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8. [cit. 17. 2. 2018].

[6] Lenfeld, P.; *Technologie II – 2. část (Zpracování plastů)*. Liberec. Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-037-X. [cit. 17. 3. 2018].

[7] Brydson, J. A. (John Andrew); *Plastics materials. - 7th ed.*; British Library Cataloguing in Publication Data, I. Title 668.4. ISBN 0 7506 4132 0. [cit. 3. 3. 2018].

[8] Dostupné z: <[http://www.maguire.com/ps\\_image/pdf/LPD-30-100-200.pdf](http://www.maguire.com/ps_image/pdf/LPD-30-100-200.pdf)> [cit. 7. 3. 2018].

[9] Lenfeld, P.; *Technologie vstřikování*. ISBN 978-80-88058-74-8. [online].

Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/> [cit. 14. 2. 2018].

[10] *Syntetické makromolekulární látky*. [online]. [cit. 14.03.2018]

Dostupné z: <[http://www.eko-g.cz/wp-content/uploads/2015/01/Synteticke\\_makromolekularni\\_latky.pdf](http://www.eko-g.cz/wp-content/uploads/2015/01/Synteticke_makromolekularni_latky.pdf)>

- [11] Ausperger A., Lengfeld, P., Weinlich, P., Běhálek, L., *Vstřikování plastů - Vliv procenta příměsí recyklovaného materiálu na montážní sílu plastové úchytky*. Sborník přednášek ze 10. Mezinárodní konference, Praha 25. - 26.3.2004. PLAST FORM SERVICE s.r.o., ISSN 1213-2632. [cit. 14.01.2018].
- [12] Hanus, R.; Koubský, J.; Krčma, M.: *Inovace výrobků a jejich systémů – Metodika analýzy inovačního potenciálu výrobků a služeb*. Praha: Centrum inovací a rozvoje, 2004. 23 s. [cit. 11. 3. 2018].
- [13] Štěpek, J.; Zelinger, J.; Kuta, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: SNTL, 2005. [cit. 15. 3. 2018].
- [14] Příklad granulace za studena a za tepla [online]. [cit. 15. 3. 2018]. Dostupné z: <<http://www.sz-wholesaler.com/p/1068/1131-1/parallel-twin-screw-extruder-pelletizing-line-576362.html>>
- [15] Lenfeld, P., *Technologie vstřikování*. 1. vydání.: Střední odborné učeliště Svitavy, 2015. ISBN 978-80-88058-74-8. [cit.22.03.2018].
- [16] Charles A. Harper Timonium, Maryland, *Handbook of plastic process*, ISBN-13: 978-0-471-66255-6 (cloth) 2006. [cit. 22.03.2018].
- [17] Zeman, L., *Vstřikování plastů* 1. vydání: Praha 2009, ISBN 978 - 80 - 7300 - 250 - 3. [cit. 22.03.2018].
- [18] Běhálek, L., *Navlhavost a sušení plastů* [online]. Technická univerzita v Liberci, katedra strojírenské technologie [cit.14.03.2018]  
Dostupné z: <<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>>
- [19] MC Graw - Hill HANDBOOKS .; *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*, [cit. 14.03.2018]

Dostupné z: < [www.digitalengineeringlibrary.com](http://www.digitalengineeringlibrary.com) >

[20] Neushäusl, E.; *Snížení rizika vzniku vad při vstřikování plastů*. [online]. 2014 [cit. 14.03.2018]

Dostupné z: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html> >

[21] A John Wiley & Sons.; *Handbook of plastics testing and failure analysis*. 3.rd edition, Consultek Brea, California, 2007. [cit. 05.03.2018].

[22] R.J Crawford.; *Plastics engineering* - 3rd ed. Library of Congress Cataloguing in Publication Data. ISBN 0 7506 3764 1. [cit. 02.03.2018].

[23] Neužil, L., Míka V., *Chemické inženýrství II*. 3. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-359-2. [cit. 2.03.2018].

[24] Groda, B., Ruždárský, J., Jech, J., Sosnowski, S., *Potravinářská technika*, Prešov: FVT, 2005, ISBN 80-8073-410-0. [cit. 22.03.2018].

[25] Neužil, L., Míka V., *Chemické inženýrství I*. 3.Praha: VŠCHT, 1998. ISBN 80-7080-312-6. [cit. 23.03.2018]

[26] Neužil, L., Míka V., *Chemické inženýrství I*. 3.Praha: VŠCHT, 1999. [cit. 23.03.2018]

[27] Charles A. Harper (editor in chief). *Modern plastics handbook / Modern Plastics*, ISBN 0-07-026714-6. [cit. 13.03.2018].

[28] Kuboušek s. r. o. *Sušení hygroskopických materiálů sušičkami KOCH-TECHNIK*. [online]. [cit. 22.03.2018].

Dostupné z : < <http://www.plasticportal.cz/cs/suseni-hygroskopicky-materiálu-susickami-koch-technik/c/427> >

[29] Janáčková D., Charvátová H., *Vybrané statě z procesního inženýrství 10*. Ostrava : UTB. [cit. 3.03.2018].

[30] Ch. A. Harper.; *Modern plastics handbook*. New York, McGraw -Hill, 2000. ISBN 80-7080-359-2. [23.03.2018].

[31]<[http://siscor.si/en/products/non\\_returnable\\_packaging/octabins/1/octabin\\_for\\_granularmaterial](http://siscor.si/en/products/non_returnable_packaging/octabins/1/octabin_for_granularmaterial)> [cit. 23.01.2018].

[32] *Functional Fillers for Plastics*. Edited by M. Xanthos, Copyright © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, ISBN 3-527-31054-1. [cit. 22.01.2018].

[33] *Podtlakové sušení navlhavých materiálů*.

Dostupné z: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/podtlakove-suseni-navlhavych-materialu.htm>> [cit. 12.01.2018].

[34] PlasticPortal.cz - portál pro plasty a gumu

Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/abs-magnum-®-od-spolecnosti-resinex-czech-republic-sro/c/318/> [cit. 1.01.2018].

## **9 Seznam použitých zkratek a jednotek**

### **Zkratky:**

<b><i>ABS</i></b>	<i>akrylonitrilbutadienstyren</i>
<b><i>CA</i></b>	<i>acetát celulózy</i>
<b><i>CAB</i></b>	<i>butyro-acetát celulózy</i>
<b><i>CAP</i></b>	<i>acetopropionát celulózy</i>
<b><i>PA</i></b>	<i>polyamid</i>
<b><i>PBT</i></b>	<i>polybutylen - tereftalát</i>
<b><i>PC</i></b>	<i>polykarbonát</i>
<b><i>PC / ABS</i></b>	<i>polykarbonát / akrylonitrilbutadiénstyren</i>
<b><i>PE</i></b>	<i>polyethylen</i>
<b><i>PMMA</i></b>	<i>polymethylmethakrylát</i>
<b><i>PP</i></b>	<i>polypropylen</i>
<b><i>PPS</i></b>	<i>polyfenylensulfid</i>
<b><i>PS</i></b>	<i>polystyren</i>
<b><i>PUR</i></b>	<i>polyuretan</i>
<b><i>PVC</i></b>	<i>polyvinilchlorid</i>
<b><i>SAN</i></b>	<i>styren acrylonitril</i>
<b><i>SB</i></b>	<i>styren - butadien</i>
<b><i>TPE</i></b>	<i>termoplastický elastomer</i>
<b><i>HCl</i></b>	<i>kyselina chlorovodíková</i>
<b><i>H<sub>2</sub>O</i></b>	<i>voda</i>



**Seznam jednotek:**

		<b><u>veličina</u></b>
[ g ]	gram	hmotnost
[ kg]	kilogram	hmotnost
[°C ]	stupeň Celsia	teplota
[Pa ]	pascal	tlak
[bar ]	bar	tlak
[Mbar]	megabar	tlak
[MPa]	megapascal	tlak
[h]	hodina	čas
[min ]	minuta	čas
[sec]	sekunda	čas
[kW]	kilowatt	příkon
[kWh]	kilowatthodina	příkon za hodinu
[m <sup>3</sup> ]	metr krychlový	objem
[mm]	milimetr	délka
[V]	Volt	napětí
[Hz]	Herz	frekvence
[A]	Amper	el. proud

**Dolní indexy:**

- pp - tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem sušeného granulátu
- po - parciální tlak páry okolí

## **10 Seznam obrázků**

Obr. 1 <i>Životní cyklus výrobku</i> .....	9
Obr. 2 <i>Recyklační cyklus</i> .....	10
Obr. 3 <i>Granulace z pásu</i> .....	13
Obr. 4 <i>Granulace za studena a za tepla</i> .....	14
Obr. 5 <i>ABS Magnum 3616 Natur</i> .....	16
Obr. 6 <i>Ukázka oktabinu</i> .....	16
Obr. 7 <i>Plnicí jednotka se sací jednotkou</i> .....	17
Obr. 8 <i>Plnicí a sušící jednotka s Venturiho tryskou</i> .....	17
Obr. 9 <i>Procesy sušení plastového granulátu v h - x diagramu</i> .....	26
Obr. 10 <i>Souproudé sušení</i> .....	29
Obr. 11 <i>Protiproudé sušení</i> .....	29
Obr. 12 <i>Sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu</i> .....	31
Obr. 13 <i>Princip podtlakového způsobu sušení</i> .....	33
Obr. 14 <i>Sušící stanice s nuceným oběhem ohřátého vzduchu</i> .....	35
Obr. 15 <i>Tlakovzdušná sušící stanice</i> .....	36
Obr. 16 <i>Logo společnosti</i> .....	38
Obr. 17 <i>Výrobní program</i> .....	38
Obr. 18 <i>Hlavní vlastnosti ABS Magnum 3616 Natur</i> .....	40
Obr. 19 <i>Vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350</i> .....	41
Obr. 20 <i>Sušící stanice Koch Technik 200</i> .....	41
Obr. 21 <i>Sušící stanice Maquire LPD - 2SE</i> .....	42
Obr. 22 <i>Linka přípravného zpracování plastů</i> .....	43
Obr. 23 <i>Analyzátor vlhkosti Mettler Toledo HR83</i> .....	44
Obr. 24 <i>Elektroměr MANELLER 9903 D</i> .....	45
Obr. 25 <i>Digitální stopky DELTA E 200</i> .....	46

## **11 Seznam tabulek**

Tab. 1 <i>Parametry sušení termoplastů</i> .....	20
Tab. 2 <i>Skupiny plastů podle rovnovážné vlhkosti</i> .....	22
Tab. 3 <i>Obsah vlhkosti v závislosti na ročním období</i> .....	35
Tab. 4 <i>Koch Technik 200</i> .....	42
Tab. 5 <i>Maguire LPD - 2SE</i> .....	43
Tab. 6 <i>Vstřikovací lis Arburg 420 C 1300 - 350</i> .....	43
Tab. 7 <i>Doporučené hodnoty pro sušení termoplastů</i> .....	47
Tab. 8 <i>Hodnoty vlhkosti při vstřikování</i> .....	48
Tab. 9 <i>Vlhkost plastového granulátu měřená v hodinových intervalech</i> .....	51
Tab. 10 <i>Hodnoty okamžitých příkonů sušících stanic</i> .....	51
Tab. 11 <i>Hodnoty výsledných okamžitých příkonů</i> .....	52
Tab. 12 <i>Výsledná doba sušení plastového granulátu</i> .....	53
Tab. 13 <i>Výsledné parametry sušících stanic při sušení 50 kg ABS Magnum 3616 Natur včetně nákladů</i> .....	57