



Vliv vlhkosti na zpracování vybraných typů polymerů pro vzhledově náročné díly

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Monika Bártová**
Vedoucí práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika Bártová**
Osobní číslo: **S14000291**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Vliv vlhkosti na zpracování vybraných typů polymerů pro
vzhledově náročné díly**
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

1. Rešerše problematiky vlhkosti a sušení u plastů.
2. Popis procesu sušení z technologického, strojního a energetického hlediska.
3. Výběr polymerů a plastového dílu.
4. Provedení experimentů v závislosti na parametrech procesu.
5. Vyhodnocení vlivu obsahu vlhkosti a parametrů procesu na vzhledové vlastnosti plastového dílu.
6. Diskuse výsledků, závěr.

Rozsah grafických prací: **grafy, tabulky, obrázky**

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] **KREBS, J.** *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-449-8.
- [2] **SOVA, M.** *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer s.r.o., 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] **KOLOUCH, J.** *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: SNTL, 1986.
- [4] **ZEMAN, L.** *Vstřikování plastů*. Nakladatelství BEN, 2009 ISBN 80-7300-026-1.
- [5] **BEAUMONT, L.** *Successful Injection Moulding*, Hanser, 2002.
- [6] **MALLOY, H.** *Plastic Parts and Design*, Hanser, 2001.
- [7] **Firemní materiály.**

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. března 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2015

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Vliv vlhkosti na zpracování vybraných typů polymerů pro vzhledově náročné díly.

The influence of humidity on the processing of selected types of polymers for visually demanding parts.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá vlivem vlhkosti na zpracování vybraných typů polymeru pro vzhledově náročné díly. V teoretické části je popsána a vysvětlena problematika navlhání termoplastů, příčiny a důsledky navlhání, dále pak jsou popsány způsoby stanovení obsahu vlhkosti polymeru a metody sušení. V experimentální části je uveden postup měření vlhkosti vybraných polymerů pomocí termogravimetrické metody a vyhodnocení výsledků s ohledem na skladování, sušení, dopravu granulátu a vstřikované díly.

Klíčová slova:

Vlhkost, sušení, měření vlhkosti, termogravimetrická analýza, skladování granulátu, doprava granulátu, vstřikované díly.

Annotation:

The diploma thesis deals with the influence of humidity on the selected types of polymer for visually demanded parts. The theoretical part describes and explains the issue moistening thermoplastics, causes and effects of moisture absorption, and also describes methods for the determination of moisture polymer and drying methods. In the experimental part there is provided a procedure of measuring humidity of the selected polymers using thermogravimetric methods and an evaluation of the results with consideration to storing, drying, transporting of polymers, and injection molded parts.

Key words:

Humidity, drying, humidity measuring, thermogravimetric analysis, storing of polymer, injection molded parts.

Poděkování

V první řadě bych tímto chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za cenné rady a čas strávený konzultacemi řešené problematiky. Dále panu Ing. Milanu Vojtěchovi za odborné vedení při realizaci experimentální části ve firmě Grupo Antolin s. r. o. Rovněž velice děkuji Ing. Luboši Běhálkovi, Ph.D. za vzácné rady k danému tématu.

V neposlední řadě nesmím zapomenout poděkovat své rodině a příteli, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Obsah

1. ÚVOD	14
2. TEORETICKÁ ČÁST	15
2.1 Polymery	15
2.1.1 Rozdělení polymerů	16
2.2 Absorpce vody polymery	18
2.2.1 Příčiny absorpce vody polymery	19
2.2.2 Vliv vlhkosti na technologický proces	22
2.2.3 Vliv vlhkosti na vlastnosti polymeru	25
2.2.4 Metody stanovení obsahu vlhkosti polymeru	26
2.2.4.1 Extrakce bezvodým metanolem	26
2.2.4.2 Odpaření vody	27
2.2.4.3 Manometrická metoda	27
2.2.4.4 Termogravimetrická metoda	29
2.2.4.5 Extrakce vody xylénem	30
2.2.4.6 Planimetrická metoda	30
2.3 Sušení termoplastů	30
2.3.1 Princip sušení	32
2.3.1.1 Teplota polymeru	32
2.3.1.2 Relativní vlhkost vzduchu	33
2.3.1.3 Doba sušení	34
2.3.1.4 Cirkulace vzduchu v sušárně	34
2.3.1.5 Velikost granulátu	35
2.3.2 Druhy sušáren	35
2.3.2.1 Souproudé sušení	36
2.3.2.2 Protiproudé sušení	36
2.3.2.3 Sušení se zkříženými proudy	37
2.3.2.4 Mikrovlnné sušení	37
2.3.2.5 Sušení horkým vzduchem	37
2.3.2.6 Sušení suchým vzduchem	38
2.3.2.7 Sušení voštinovými kotouči.....	39
2.3.2.8 Sušení tlakovým vzduchem	41

2.3.2.9 Sušení ve vakuu	42
3. CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI Grupo Antolin s. r. o.	44
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	45
4.1 Výběr polymeru.....	45
4.2 Skladování granulátu	48
4.3 Doprava granulátu	50
4.4 Sušení granulátu	51
4.5 Příprava a odebírání vzorků	53
4.5.1 Měřené hodnoty vlhkosti.....	55
4.5.1.1 BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS)	55
4.5.1.2 HOSTACOM PPU X9067HS (PP+PE)	56
4.5.1.3 HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD5)	58
4.5.1.4 HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15)	59
4.5.1.5 HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16)	61
4.5.1.6 HOSTACOM XBR 169G (PP+EPDM – TD25)	63
4.6 Vyhodnocení výsledků.....	65
4.6.1 BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS)	65
4.6.2 HOSTACOM PPU X9067HS (PP+PE).....	66
4.6.3 HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD5).....	67
4.6.4 HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15)	68
4.6.5 HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16).....	69
4.6.6 Porovnání polymerů skladovaných v silech.....	71
4.6.7 Porovnání polymerů skladovaných v oktabínech.....	72
4.6.8 Souhrn výsledků s doporučením pro praxi	73
5. ZÁVĚR.....	74
Seznam použité literatury.....	76
Přílohy.....	78

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma makromolekuly	15
Obr. 2: Základní rozdělení polymerů	16
Obr. 3: Příklady aplikací termoplastů	17
Obr. 4: Příklady aplikací reaktoplastů	17
Obr. 5: Příklady aplikací kaučuků	18
Obr. 6: Skleněná vlákna (vlevo), kokosová vlákna (vpravo)	19
Obr. 7: Keesomovy interakce	21
Obr. 8: Debyeovy interakce	21
Obr. 9: Londonovi disperzní interakce	22
Obr. 10: Vodíkový můstek materiálu PA6	22
Obr. 11: Vliv vlhkosti v tavenině polymeru při odstříknutí	23
Obr. 12: Vzduchové bubliny	23
Obr. 13: Vlhkostní šmouhy	24
Obr. 14: Odlup povrchové vrstvy na díle	24
Obr. 15: Závislost napětí v tahu na deformaci,	25
Obr. 16: Závislost sekantového modulu pružnosti na deformaci	26
Obr. 17: Reakční schéma manometrické metody měření vlhkosti polymeru	28
Obr. 18: Reakční schéma (vlevo), Analyzátor vlhkosti Aquatrac (vpravo)	28
Obr. 19: Halogenový analyzátor RADWAG	29
Obr. 20: Postup ověření polymeru zbaveného vlhkosti metodikou TVI firmy Bayer	30
Obr. 21: Sila pro granulát (vlevo) a granulát v oktabínech (vpravo)	31
Obr. 22: Vliv teploty na rychlost ztráty vlhkosti polymeru	33
Obr. 23: Vliv rosného bodu na sušení polymeru	33
Obr. 24: Příklady tvarů a velikostí granulí termoplastů	35
Obr. 25: Vliv vlhkosti a teploty při sušení souproudem	36
Obr. 26: Vliv vlhkosti a teploty při sušení protiproudu	37
Obr. 27: Schéma sušení horkým vzduchem	38
Obr. 28: Schéma sušení suchým vzduchem	39
Obr. 29: Schéma voštinového kotouče	39
Obr. 30: Silikagel typu N (vlevo), a silikagel typu WS (vpravo)	40

Obr. 31: Molekulární síto	40
Obr. 32: Princip sušení voštinovými kotouči	41
Obr. 33: Schéma a princip sušení tlakovým vzduchem	41
Obr. 34: Vakuová sušárna – princip činnosti (vlevo), schéma zařízení (vpravo)	42
Obr. 35: Společnost Grupo Antolin s. r. o. v Turnově	44
Obr. 36: Skladování pytlů a oktabínů (vlevo venkovní přístřešek, vpravo uvnitř haly) ..	49
Obr. 37: Skladování granulátu v silech.....	49
Obr. 38: Princip nasávacího zařízení Colortronic.....	50
Obr. 39: „Nádraží“ (vlevo), mobilní sušárna značky Moretto (vpravo).....	51
Obr. 40: Sušicí systém od firmy Colotronic.....	52
Obr. 41: Sušicí systém od firmy Moretto	53
Obr. 42: Halogenový analyzátor Moisture (vlevo), měřený granulát (vpravo)	54
Obr. 43: Princip stanovení vlhkosti halogenovým analyzátozem	54
Obr. 44: Díl OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO	56
Obr. 45: Díl VW379 OBLOŽENÍ PRAHU	57
Obr. 46: Díl B8 NOSIČ PP LŘ	59
Obr. 47: Díl C346 PODPORA PLATA 5D	60
Obr. 48: Díl A7 Brüstung zadní LIM.....	62
Obr. 49: Díl SK482 D SLOUPEK COMBI	63
Obr. 50: Díl C346 B SLOUPEK HORNÍ	64
Obr. 51: Vlhkostní šmouhy na díle OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO.....	66
Obr. 52: Vlhkostní šmouhy na díle C346 PODPORA PLATA 5D.....	69

Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení polymerů dle obsahu vlhkosti	20
Tab. 2: Hodnoty obsahu vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě	20
Tab. 3: Doporučená doba sušení pro vybrané polymery.....	34
Tab. 4: Měřené polymery	46
Tab. 5: Vlastnosti polymeru BESTPOLUX PCA65.....	46
Tab. 6: Vlastnosti polymeru HOSTACOM PPU X9067HS.....	46
Tab. 7: Vlastnosti polymeru HOSTACOM TKC 2007N	47
Tab. 8: Vlastnosti polymeru HOSTACOM EYC 136N	47
Tab. 9: Vlastnosti polymeru HOSTACOM EKC 330N	48
Tab. 10: Vlastnosti polymeru HOSTACOM XBR 169G.....	48
Tab. 11: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu BESTPOLUX PCA65	55
Tab. 12: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM PPU X9067HS	57
Tab. 13: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM TKC 2007N	58
Tab. 14: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM EYC 136N	60
Tab. 15: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM EKC 330N	61
Tab. 16: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM EKC 330N - natur	62
Tab. 17: Obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM XBR 169G	64
Tab. 18: Souhrn výsledků s doporučením pro praxi	73

Seznam grafů

Graf 1: Doba sušení (min) pro vybrané termoplasty a typ sušárny.....	43
Graf 2: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru BESTPOLUX PCA65.....	65
Graf 3: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM PPU X9067HS.....	67
Graf 4: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM TKC 2007N	68
Graf 5: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EYC 136N	69
Graf 6: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EKC 330N – satin schwarz ...	70
Graf 7: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EKC 330N - natur	70
Graf 8: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru skladovaném ve venkovním síle	71
Graf 9: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru skladovaném v oktabínech.....	72

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Význam
ABS	Akrylonitril – butadien - styren
BR	Butadienový kaučuk
Ca(OH)	Hydroxid vápenatý
CaH ₂	Hydrid vápenatý
EP	Epoxidová pryskyřice
EPDM	Etylen – propylen – dién - terpolymerový kaučuk
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda
IR	Izoprenový kaučuk
PA	Polyamid
PA11	Polyamid 11
PA12	Polyamid 12
PA6	Polyamid 6
PA66	Polyamid 66
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PC/ABS	Směs polykarbonátu s akrylonitril-butadien-styrénem
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PF	Fenol – formaldehydová pryskyřice
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoxymethylen
PP – TD15	Polypropylen s 15% talku
PP	Polypropylen
PP + EPDM – TD25	Kopolymer polypropylenu s etylen – propylen – dién - terpolymerovým kaučukem s přídavkem 25% talku
PP+PE – TD16	Kopolymer polypropylenu s polyethylenem s 16% talku
PP+PE – TD5	Kopolymer polypropylenu s polyethylenem s 5% talku
PP+PE	Kopolymer polypropylenu s polyethylenem

Zkratka	Význam
PS	Polystyren
PSU	Polysulfon
PTFE	Polytetrafluorethylen
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styren – akrylonitril
TPU	Termoplastický polyuretan
UP	Polyesterová pryskyřice

1. ÚVOD [1]

Nejenom ve světě, ale i v České republice patří automobilový průmysl k nejsilnějším a nejrychleji se rozvíjícím odvětvím průmyslu. V rámci konceptu trvale udržitelného rozvoje jsou v automobilismu nejpodstatnější trendy snižování emisí a energetické zátěže. Mezi inovace, které efektivně plní požadavky trendu na úspory energie, patří právě ty ze světa plastů, což má za následek neustálé zvyšování poptávky, ale i nároků na tyto materiály.

První úspora energie souvisí s nahrazováním kovových dílů plastovými, a to tam, kde plast může kov plnohodnotně nahradit, například některé díly v blízkosti motoru nebo v interiéru. Dalším důsledkem je úspora hmotnosti automobilu, která vede ke snížení spotřeby, a stejně tak ke snížení vyprodukovaných emisí. Důkazem potenciálu nahrazování kovových dílů plasty je i fakt, že začátkem devadesátých let minulého století byl podíl plastů ve středně velkém osobním autě v západní Evropě asi 6%, v současnosti je to přibližně 15%.

Aby bylo možné nahradit kovové díly plastovými, tak musí mít plastové díly, kromě jiných vlastností i velmi kvalitní vzhled. Z tohoto důvodu byla zadána tato diplomová práce, která byla realizována ve firmě Grupo Antolin s. r. o., jejímž cílem bylo stanovit vliv vlhkosti na zpracování vybraných typů polymerů pro vzhledově náročné díly. Vzhledem k tématu se literární rešerše zabývá problematikou navlhání termoplastů, kde se nejprve věnuje obecným informacím o polymerech a jejich rozdělení, dále pak popisu příčin a důsledků navlhání, charakteristice nejdostupnějších a nejpoužívanějších způsobů analýz stanovení obsahu vlhkosti v polymeru a nakonec principu a metodám sušení. V experimentální části je pak na vybraných typech polypropylenu s různým obsahem talku a polymerních směsí polykarbonátu s akrylonitril – butadien - styrémem provedeno měření obsahu vlhkosti pomocí termogravimetrické metody s ohledem na skladování, sušení a dopravu granulátu. Na závěr diplomové práce je provedeno vyhodnocení a diskuze výsledků.

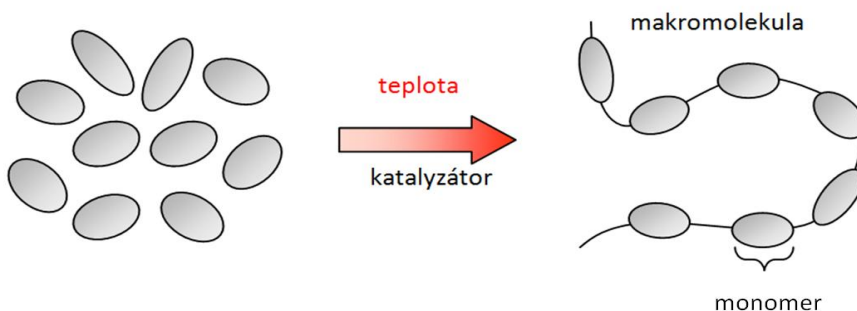
2. TEORETICKÁ ČÁST

V souladu se zadáním se tato část diplomové práce zabývá problematikou navlhání termoplastů. Literární rešerše se nejprve věnuje obecným informacím o polymerech a jejich rozdělení, následně popisu příčin a důsledků navlhání termoplastů. Dále pak jsou charakterizovány nejdostupnější a nejpoužívanější způsoby analýz obsahu vlhkosti v plastu a také metody a principy sušení, které jsou nezbytné při zpracování některých druhů plastů.

2.1 Polymery [2], [3]

Polymery představují samostatnou skupinu konstrukčních materiálů, které se v mnoha směrech liší od kovů, především svojí snadnou zpracovatelností, nízkou hustotou a obecně vhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Mnohé polymery předčí kovy i svou odolností vůči chemikáliím. Všeobecně polymery mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti, vyznačují se schopností tlumit rázy a vibrace. U vybraných polymerů může být také výhodou jejich průhlednost. Na druhé straně existují i určité faktory, které použitelnost plastů limitují. Patří k nim zejména nízká teplotní odolnost, významná změna mechanických vlastností s teplotou, závislost mechanických vlastností polymerů na čase, nebo také změna rozměrů zatíženého polymeru při dlouhodobém působení konstantního napětí (kríp), apod.

Polymery jsou tvořeny makromolekulami (viz obr. 1), které vznikají opakovaným spojováním základní jednotky takzvaného monomeru. Makromolekuly mohou být lineární (jako šňůra perel), rozvětvené (jako kořeny stromu) nebo vzájemně propojené do souvislé trojrozměrné struktury takzvané síťované.

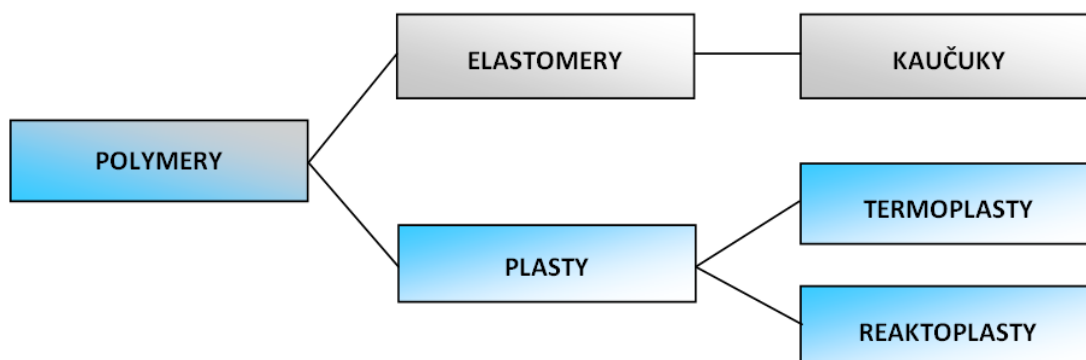


Obr. 1: Schéma makromolekuly

Tvar makromolekul má značný vliv na vlastnosti polymerů, u lineární struktury se vyznačuje vyšší hustotou materiálu, pevností, modulem pružnosti, teplotní odolností a dobrou tekutostí taveniny. Polymery s rozvětvenou strukturou mají naopak nižší hustotu, pevnost, modul pružnosti, tekutost taveniny, ale vyšší tažnost. U zesíťované struktury závisí na hustotě sítě, s vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje vysokou pevností, modulem pružnosti a teplotní odolností, ale velmi nízkou tažností a naopak.

2.1.1 Rozdělení polymerů [2], [3]

Polymery lze rozdělit dle několika kritérií, základní a nejpoužívanější dělení je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2: Základní rozdělení polymerů

Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně nevratného (trvalého) charakteru. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé, často i křehké. Podle chování při zahřívání je dělíme na termoplasty a reaktoplasty.

- Termoplasty (viz obr. 3) jsou materiály, které zahříváním přecházejí do plastického stavu a lze je tvářet. Při ohřevu nad teplotu tání přechází do oblasti taveniny, zpětným ochlazením pod tuto teplotu přechází opět do tuhého stavu. Při zahřívání nastávají změny pouze fyzikální povahy, chemická struktura plastu se nemění. Proces tuhnutí a měknutí je vratný, lze ho teoreticky opakovat do nekonečna. Termoplasty mohou být amorfní i semikrystalické. Typickými představiteli je polyetylen (PE), polypropylen (PP),

polystyren (PS), polymethylmethakrylát (PMMA), polyoxymethylen (POM), polyamid (PA), polyethyltereftalát (PET), apod.



Obr. 3: Příklady aplikací termoplastů

- Reaktoplasty (viz obr. 4) jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřívání dochází k chemické změně, při které původní molekuly zesíťují a od tohoto okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné. Reaktoplast je amorfním polymerem. Do skupiny reaktoplastů patří například fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP), atd.



Obr. 4: Příklady aplikací reaktoplastů

Elastomery jsou vysoce pružné materiály s nízkou tuhostí, které můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, tato deformace je převážně vratná.

- Kaučuky (viz obr. 5) jsou v surovém stavu za tepla lepidlivé a za studena tuhé a nepružné. Lze z nich vulkanizací (řídkým zesíťováním) vyrobit pryž, která je elastická v širokém rozmezí teplot. Kaučuky mohou být přírodní nebo

syntetické např. butadienový kaučuk (BR), izoprenový kaučuk (IR), ethylen – propylen – dién – terpolymerový kaučuk (EPDM), atd.



Obr. 5: Příklady aplikací kaučuků

2.2 Absorpce vody polymery [3], [4]

Absorpce je obecně schopnost látek přijímat vlhkost z okolního prostředí. Jedná se o dlouhodobý proces, který probíhá do té doby, než je dosaženo tzv. rovnovážného stavu, kdy vlhkost látky (polymeru) odpovídá relativní vlhkosti okolního prostředí. Mohou nastat dva jevy, nasáknutí což je přijímání vody přímo z kapaliny nebo přijímání ve formě páry, např. ze vzduchu se pak označuje jako navlhnutí. Některé polymery vodu téměř neabsorbují a jiné naopak absorbují ve velkém množství.

Polymery, které nemají schopnost přijímat vlhkost, ani ji absorbovat se nazývají nenavlhavé. K těmto polymerům patří například polyetylen (PE), polypropylen (PP) a polystyren (PS). Obecně jsou tyto polymery schopné pojmout vlhkost hlavně při nesprávné manipulaci. Dojde-li například k vyjmutí polymeru z chladného, nevyhřátého prostoru skladu a přemístění do teplého prostoru výroby, může dojít ke kondenzaci vlhkosti z teplého vzduchu na relativně chladný povrch polymeru. K navlhnutí polymerů může také dojít, jestliže se v granulátu vyskytují aditiva, u nichž záleží na druhu a množství. Organická plniva na bázi přírodního materiálu (celulózy), např. bavlna, dřevitá moučka, kenafová vlákna, vlákna juty, kokosu (viz obr. 6), apod., navlhavost polymeru zvyšují, naopak anorganická plniva, jako je například mletý

křemen, skleněná vlákna (viz obr. 6), ad., ji budou snižovat. Důležité ale je, aby plnivo bylo dokonale obaleno polymerní matricí a granulát neobsahoval mikroskopické póry.



Obr. 6: Skleněná vlákna (vlevo), kokosová vlákna (vpravo)

2.2.1 Příčiny absorpce vody polymery [2], [3], [4], [5]

Vlhkost se může shromažďovat na povrchu jakéhokoliv polymeru, nicméně některé polymery mají schopnost tuto vlhkost absorbovat. Při povrchové vlhkosti je voda vázána přilnavostí k povrchu polymeru, což může nastat při dlouhodobém vystavení granulátu atmosférickému vzduchu. Velmi malé množství povrchové vlhkosti však nemusí mít negativní vliv na technologický proces, závisí na způsobu zpracování polymeru a vlastních technologických podmínkách (zejména teplotě taveniny). Obecně platí, že čím vyšší je teplota taveniny, tím nižší je daný obsah vlhkosti polymeru. Může nastat i jev, kdy je voda vázána kapilárními silami v celém objemu. V tomto případě je odpařování ztíženo, protože voda v kapilárách je jakoby pod vyšším tlakem a pro sušení se musí použít vyšší teploty, než je bod varu při atmosférickém tlaku.

Navlhavé polymery, materiál absorbující vlhkost, mezi které patří například polyamid (PA), polyoxymethylen (POM), polyvinylchlorid (PVC), polykarbonát (PC) a akrylonitril – butadien - styren (ABS), mají chemické složení, které je příčinou přitažlivosti a absorpce vlhkosti. Jestliže je polymer vystaven atmosférickému vzduchu, dojde k přesunu vodních par ze vzduchu do polymeru, přičemž se některé molekuly vody navážou na řetězec polymeru pomocí mezimolekulárních sil. Absorbování vlhkosti se mění v závislosti na čase a postupně se zpomalí, popřípadě zastaví, dosáhne - li

vlhkost granulátu rovnováhy s okolním vzduchem. V případě, že je vystaveno několik druhů navlhavých polymerů stejným podmínkám, budou některé vlhkost přijímat větší rychlostí než ostatní, tudíž dosáhnou rovnovážného stavu dříve. Polymery se také mohou lišit různým stupněm navlhnutí při identických podmínkách (viz tab. 1).

Tab. 1: Rozdělení polymerů dle obsahu vlhkosti

Skupina polymerů	Příklady polymerů	Obsah vlhkosti
NENAVLHAVÉ	PE, PP, PS, PTFE	méně než 0,1%
MÁLO NAVLHAVÉ	ABS, SAN, PC	0,1 až 0,5%
STŘEDNĚ NAVLHAVÉ	POM, PMMA, PVC, PA11	0,5 až 2%
SILNĚ NAVLHAVÉ	PA6, PA66, PUR	více než 2%

Obsah vlhkosti u navlhavých polymerů je především závislý na:

- druhu polymeru (viz tab. 1)
- době vystavení polymeru atmosférickému vzduchu
- teplotě prostředí (viz tab. 2)
- vlhkosti prostředí

Tab. 2: Hodnoty obsahu vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě

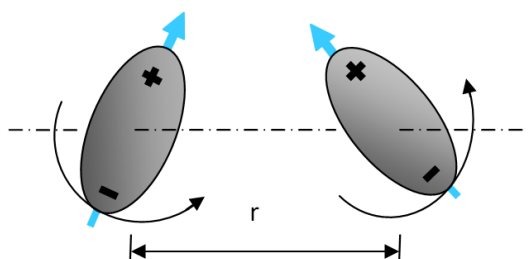
Období	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Obsah vlhkosti vzduchu [g/m ³]
Léto/vlhko	25	80	19,0
Léto	25	60	14,0
Jaro/podzim	10	70	6,7
Zima	0	80	3,9
Zima/mráz	-30	80	0,4

Schopnost přijímat a nepřijímat vlhkost závisí na přítomnosti elektrického dipólu v řetězci makromolekuly. Polární polymery, které mají díky své chemické podstatě v makromolekule obsaženou hydrofilní skupinu (-OH, -COOH, -NH, -O), jsou

navlhavé. Opakem jsou polymery bez přítomnosti trvalého dipólu a hydrofilních skupin, jejichž makromolekuly jsou tvořeny pouze atomy vodíku a uhlíku.

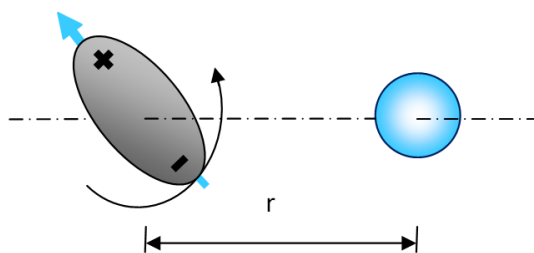
Jak již už bylo zmíněno, molekuly vody se mohou navázat na řetězec polymeru pomocí některých mezimolekulárních sil. Mezimolekulární síly se mohou vytvářet různými způsoby:

- Dipólové (Keesomovy) – Působí mezi makromolekulami s trvalým elektrickým dipólem (viz obr. 7), jsou to velmi silné přitažlivé síly. Polymery s těmito silami jsou označovány jako polární.



Obr. 7: Keesomovy interakce

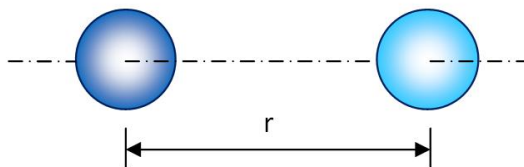
- Indukované (Debyeovy) – Působí mezi makromolekulami s trvalým a bez trvalého dipólu (viz obr. 8). Makromolekula bez trvalého dipólu se pod vlivem dipólu sousední makromolekuly polarizuje a získává indukovaný dipólový moment, přestože stálý dipól nemá. Velikost těchto sil je mnohem slabší.



Obr. 8: Debyeovy interakce

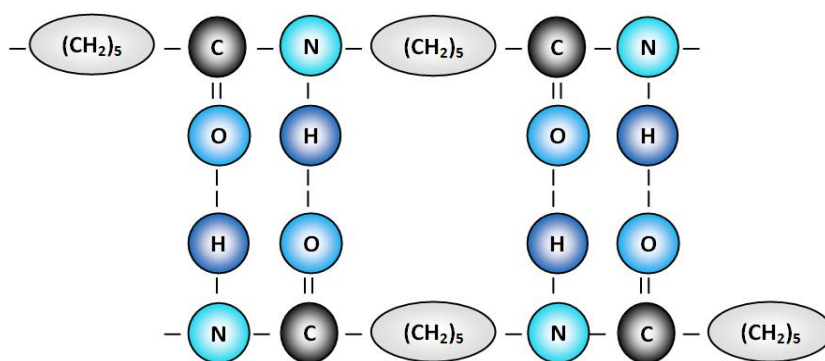
- Disperzní (Londonovy) – Působí mezi makromolekulami bez trvalého dipólu (viz obr. 9). Jejich původ spočívá také v polarizaci molekul, ale příčinou je pohyb elektronů kolem atomových jader a neustálá změna vzájemné polohy jader

a elektronů v atomech molekuly. Důsledkem je časově proměnlivý dipólový moment v molekule. Tyto slabé síly jsou typické pro nepolární polymery.



Obr. 9: Londonovi disperzní interakce

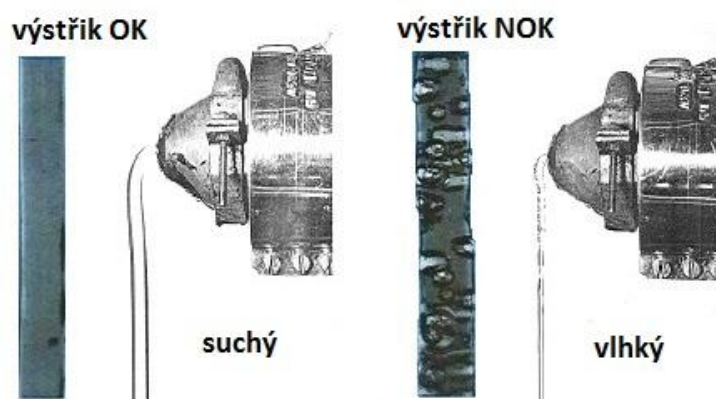
- Vodíkové můstky (viz obr. 10) – Jsou zvláštním případem fyzikální přitažlivosti molekul, kdy se přitahují atomy vodíku H^+ a atomy s volným elektronovým párem v sousedních makromolekulách (např. O^- , N^-). Taková vazba je nejpevnější mezimolekulární vazbou a je typická pro silně polární polymery.



Obr. 10: Vodíkový můstek materiálu PA6

2.2.2 Vliv vlhkosti na technologický proces [3], [6], [7]

Obsah vlhkosti v granulátu před zpracováním je při vstřikování termoplastů velice závažný problém. Pokud by totiž v polymeru zůstala i po plastikaci vlhkost ve formě vodních par, projeví se to zmenšením průměru struny a vznikem bublin během odstřiku taveniny polymeru (viz obr. 11). U výstřiků pak obsah vody i v malém množství může způsobovat nejen zhoršování mechanických vlastností (viz obr. 15), ale i snížení kvality povrchu výrobků, kde může dojít ke vzniku vzduchových bublin, vlhkostních šmouh, ale i k odlupování povrchové vrstvy na výrobku.



Obr. 11: Vliv vlhkosti v tavenině polymeru při odstříknutí

Vzduchové bubliny (viz obr. 12) se objevují na výrobku, případně uvnitř výrobku. Jsou to viditelné duté prostory, které vznikly nasáváním vzduchu nebo tvorbou plynu. Jejich fyzikální příčina spočívá v tom, že během zpracování tavenina uzavírá vzduch, který je na výstřiku patrný jako dutý prostor (vzduchová bublina). Za tuto vadu odpovídají různé příčiny, mezi které řadíme příliš rychlou dekompresi, malý plastikační výkon, polymer s nízkým indexem toku taveniny a vysokou zbytkovou vlhkostí v granulátu.



Obr. 12: Vzduchové bubliny

Vlhkostní šmouhy (viz obr. 13) se vyskytují na povrchu dílu jako otevřený profil ve tvaru U proti směru tečení. Výrobek vykazuje v oblasti stříbrné šmouhy s hrubým a porézním povrchem. Šmouhy vlhkostí, které vznikly díky vlhkosti na povrchu nástroje, se projevují jako velkoplošná, matná, pruhovitá oblast. Fyzikální příčinou vlhkostních šmouh je vlhkost granulátu, která vytváří v tavenině vodní páry. Přes rychlostní profil na čele toku jsou bubliny transportovány na povrch taveniny. Při jejich snaze vyrovnat tlak praskají, a jsou postupujícím čelem toku ochlazeny na stěně nástroje. Vlhkostní šmouhy mohou být způsobeny například netěsným systémem

temperance nástroje, zkondenzovanou vodou na stěnách nástroje, nedostatečným předsušením polymeru nebo špatným uskladněním polymeru.



Obr. 13: Vlhkostní šmouhy

Odlupování povrchové vrstvy (viz obr. 14) se projeví při nehomogenitě polymerních vrstev, dochází k jejich uvolňování. Tato vada se může vyskytovat u vtoku i na výrobku s rozdílným obsahem polymeru. Fyzikální příčiny jsou založeny na nespojení dvou vedle sebe ležících vrstev, které se tvoří za působení rozličných tokových efektů a chladících podmínek. Vlivem velkých napětí a teplotních poruch dojde k uvolnění vrstev. Tato napětí a poruchy jsou vyvolány vysokou vstřikovací rychlostí nebo vysokou teplotou hmoty. Nehomogenita vedoucí k odlupování může být způsobena nečistotami, cizím materiálem v granulátu, špatným barvicím prostředkem, vlhkostí uvnitř, nebo na povrchu granulátu, nebo špatně roztaveným polymerem.

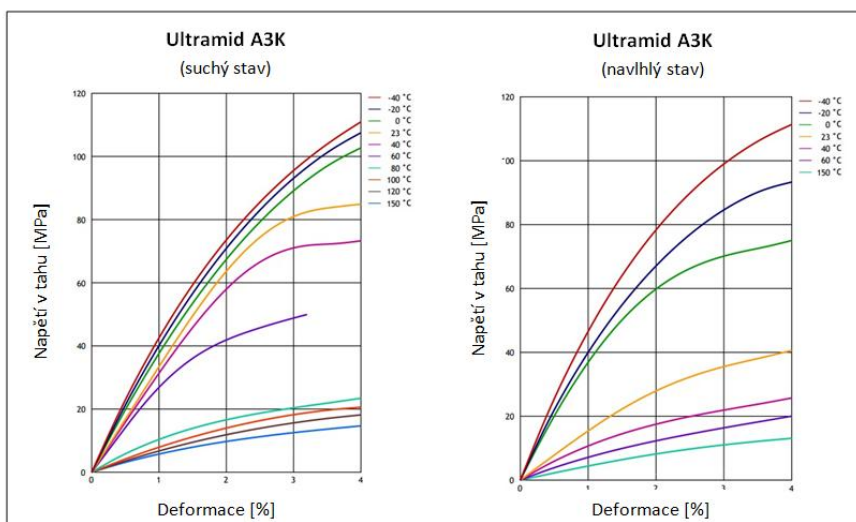


Obr. 14: Odlup povrchové vrstvy na díle

2.2.3 Vliv vlhkosti na vlastnosti polymeru [3], [8]

Vlhkost obsažená v polymeru má za následek změnu fyzikálních, mechanických, elektrických vlastností, apod. Dochází tedy např. k snižování pevnosti, modulu pružnosti, tvrdosti a elektrických izolačních vlastností, naopak se zvyšuje tažnost, rázová a vrubová houževnatost.

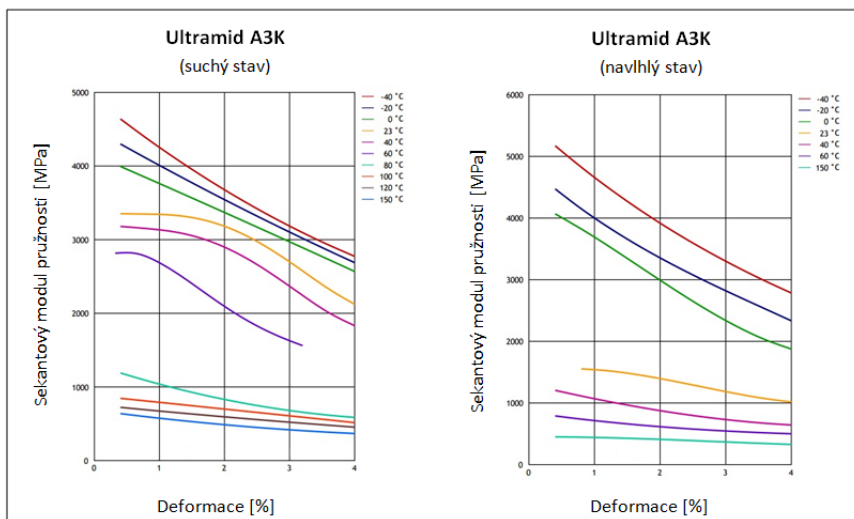
Na obr. 15 jsou znázorněny dva grafy se závislostí napětí v tahu na deformaci pro zkušební tělesa z polymeru PA66 (Ultramid A3K), kde na levé straně je uveden graf pro polymer zbavený vlhkosti a na pravé straně graf pro polymer v navlhhlém stavu. Z těchto grafických závislostí pro příslušnou teplotu měření je zřetelný pokles napětí v tahu v daném polymeru v případě, kdy nebyl zbaven vlhkosti sušením. Například u teploty 23°C u vysušeného polymeru při deformaci 4% je hodnota napětí v tahu 82MPa, zatímco u navlhhlého polymeru při téže teplotě a deformaci se hodnota napětí v tahu rovná 40MPa.



Obr. 15: Závislost napětí v tahu na deformaci,
(vysušený stav – sušeno 4 hod. při 80 °C vlevo, navlhlý stav vpravo)

Další důležitou mechanickou vlastností polymeru je modul pružnosti v tahu (sekantový modul pružnosti), který je znázorněn na obr. 16 v závislosti na deformaci. Z uvedených grafických závislostí je při srovnání modulu pružnosti u navlhhlého polymeru a u vysušeného polymeru v rozmezí teplot -20°C až 60°C viditelně značný rozdíl hodnot. Například u teploty 23°C u polymeru v suchém stavu při deformaci 4% je

sekantova hodnota 2150MPa a u polymeru v navlhhlém stavu při téže teplotě a deformaci je sekantova hodnota 1000MPa.



Obr. 16: Závislost sekantového modulu pružnosti na deformaci
(vysušený stav – sušeno 4 hod. při 80 °C vlevo, navlhhlý stav vpravo)

2.2.4 Metody stanovení obsahu vlhkosti polymeru [9], [2]

Při zpracování technických plastů je velice důležité znát hodnotu zbytkové vlhkosti pro kvalitu konečného produktu. Hodnota by měla být udržována pod přípustnou hranicí předepsanou v materiálovém listu daného polymeru. Měření by mělo dosahovat vysoké přesnosti, rychlosti a jednoduchosti, aby bylo možno operativně zasáhnout do procesu sušení, ale i do technologického procesu výroby polymerních dílů. V technické praxi lze k měření vlhkosti použít několik způsobů, ať už jsou podrobně popsány v normě ČSN EN ISO 15 512 (Plasty – Stanovení obsahu vody), nebo mimo ni.

2.2.4.1 Extrakce bezvodým metanolem [10]

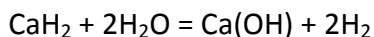
Jedná se o metodu extrakční, používající bezvodý metanol s následným stanovením extrahované vody titrací podle Karla Fischera. Lze ji použít pro všechny polymery a je použitelná pro granule menší než 4mm x 4mm x 3mm. Metoda se může použít např. pro předpolymerované materiály ve formě prášku, které jsou nerozpustné v metanolu.

2.2.4.2 Odpaření vody [10]

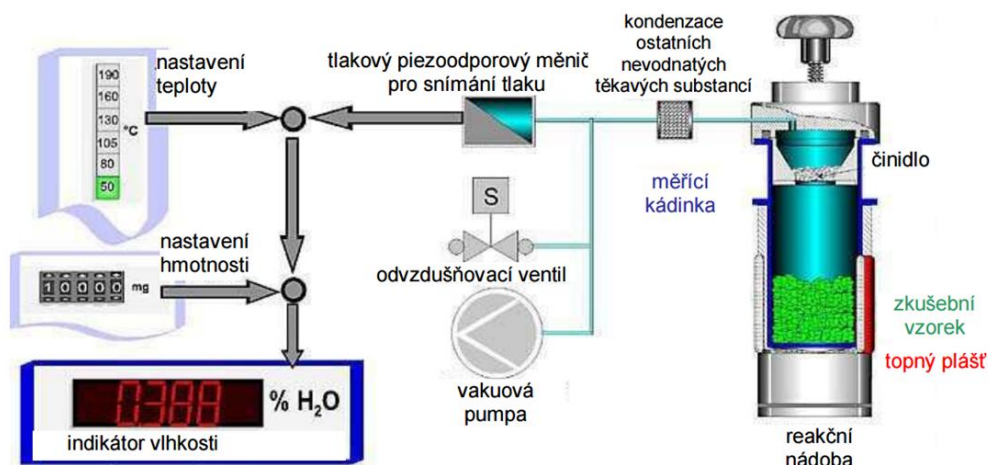
Tato metoda je založena na principu odpařování vody pomocí trubkové sušárny. Voda obsažená ve zkušebním vzorku se odpařuje a přivádí se do titrační nádoby pomocí suchého vzduchu nebo dusíku jako nosného plynu, s následným stanovením shromážděné vody titrací podle Karla Fischera. Lze použít pro všechny polymery a je použitelná pro granule menší než 4mm x 4mm x 3mm.

2.2.4.3 Manometrická metoda [6], [11], [12]

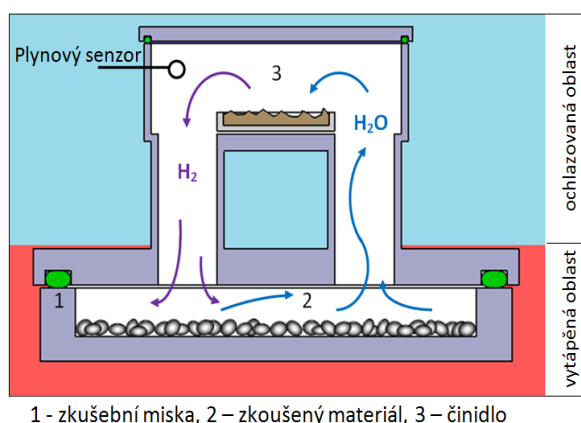
Jedná se o nej přesnější komerčně nabízené řešení stanovení vlhkosti polymerů, které se provádí díky zařízení Aquatrac. Principem této metody je chemická reakce vody obsažené v polymeru s chemickým činidlem, kterým je hydrid vápenatý (CaH_2), společně reagují podle rovnice



Tato reakce probíhá v přístroji v uzavřené reakční nádobce, do které se vkládá odvážený vzorek měřeného polymeru (viz obr 17). V nádobce je před začátkem měření pomocí zabudované vakuové pumpy vytvořené vakuum a během měření je nádoba se vzorkem ohřívána elektrickým topením. V důsledku zvýšení teploty se z polymeru uvolňují vodní páry, které reagují s hydridem a vyvíjí se vodík. Tlak v nádobce se zvyšuje a je přímo úměrný uvolněnému množství vody, neboť tato reakce je pro vodu specifická. Změna tlaku v systému se měří jako vlhkost obsažená v měřeném polymeru a je snímána piezodporovým měničem. Ostatní nevhodné substance, které se uvolňují při ohřevu měřeného vzorku, kondenzují ve speciální komůrce, takže nemají na měření žádný vliv. Chemická reakce probíhá v prostoru nad vyhřívaným měřeným vzorkem. Dílčí tlak vodních par v reakční nádobce je nulový. Průběh reakce je urychlen současným působením vakua a teploty, a jelikož proces měření probíhá pod vakuem, je vyloučena možnost rušivé přítomnosti kyslíku. Reakční schéma i zařízení je zobrazeno na obr. 17, 18.



Obr. 17: Reakční schéma manometrické metody měření vlhkosti polymeru



Obr. 18: Reakční schéma (vlevo), Analyzátor vlhkosti Aquatrak (vpravo)

Na počátku měření je odvážen vzorek granulátu, který musí odpovídat hmotnosti $1 \div 96\text{g}$, kde závisí na druhu polymeru. Navážená hmotnost se nastaví na přístroji, vzorek se vysype do nádobky a nad vzorek se umístí mistička s odměřenou dávkou činidla CaH_2 . Nádobka s polymerem a činidlem se vloží do zařízení, kde se celý měřicí systém vakuuje zabudovanou vakuovou pumpou. Dosažené vakuum v systému je ca. $5 \cdot 10^{-4}\text{MPa}$. Následně se reakční nádoba se vzorkem polymeru temperuje na odpovídající teplotu, dle druhu polymeru. Na výstupu z reakční nádoby je umístěna kondenzační komůrka, ve které kondenzují těkavé nevodnaté složky a výsledek měření není jimi ovlivněn, jak už již bylo zmíněno, v předešlém odstavci, dochází tedy pouze k měření obsahu vody v polymeru. Snímaný stoupající tlak v systému je převáděn na elektrický signál, který je korigován hodnotami navolené teploty a nastavené

hmotnosti vzorku a přepočítán přímo na obsah vody v polymeru a tato hodnota v % je zobrazena na displeji.

Zařízení Aquatrac s mikroprocesorovým řízením poskytuje výsledky měření zbytkové vlhkosti v granulátu srovnatelné s výsledky stanovenými metodou Karl-Fischer a to ve velmi krátkém čase ($15 \div 30 \text{ min.}$), což činí tuto metodu vhodnou k použití přímo ve výrobě.

2.2.4.4 Termogravimetrická metoda [6], [9]

Mezi nejnovější a efektivní způsoby stanovení vlhkosti u polymerů patří metoda stanovení vlhkosti pomocí halogenového analyzátoru. Přístroj (viz obr. 19) pracuje na základě termogravimetrického principu, kdy na začátku měření stanoví analyzátor vlhkosti hmotnost vzorku (minimální hmotnost vzorku je $1 \div 10 \text{ g}$), který je následně vestavěným halogenovým topným modulem (topnou spirálou) rychle zahříván a následně dochází k odpařování vlhkosti z daného vzorku polymeru. Přístroj během sušení stanovuje neustále hmotnost vzorku (aktuální úbytek vlhkosti je zobrazován na přístroji) a po ukončení sušení se zobrazí výsledná hodnota obsahu vlhkosti. Výhodou halogenového topného modulu je jeho rychlost zahřívání, neboť halogenový analyzátor potřebuje kratší dobu pro dosažení maximálního topného výkonu, ve srovnání s běžným infračerveným modulem nebo s metodou ztráty hmotnosti sušením.



Obr. 19: Halogenový analyzátor RADWAG

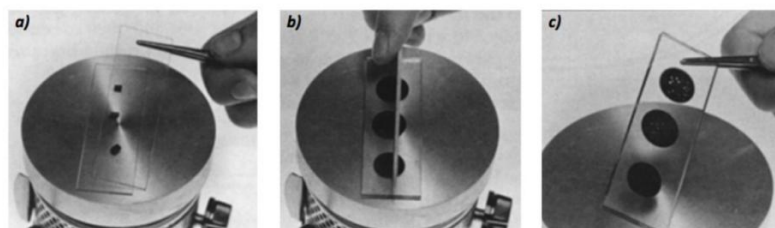
2.2.4.5 Extrakce vody xylénem [6]

Tato zkouška je vhodná zejména pro práškové lisovací hmoty a nedá se použít u polymerů, které se ve vroucím xylénu rozpouštějí, nebo jsou jím jinak napadány (např. PE, PP, PS, ABS, PVC, ad.). Princip metody spočívá v tom, že při teplotě varu xylénu (139°C) se v něm rozpustí několik procent vody, ale při standardní teplotě 20°C je rozpustnost zanedbatelná a voda se od xylénu oddělí. Zkouška se provádí v Aufhäuserově přístroji, který je sestaven z varné baňky, speciálního nástavce s odměrnou jímkou a zpětného chladiče.

Do baňky se vloží odvážené množství polymeru, přelije se nadbytkem xylénu a směs se přivede k varu. Páry xylénu strhávají páry vody uvolněné z polymeru. Po ochlazení par ve zpětném chladiči xylén i voda zkondenzují a současně dojde k oddělení vody od xylénu. Voda je těžší a proto se hromadí v odměrné části nástavce, zatímco přebytečný xylén stéká zpět do varné baňky.

2.2.4.6 Planimetrická metoda [2], [6]

Orientační zkouškou, kterou lze v praxi použít, je metodika TVI (Tomasetti's Volatile Indicator) firmy Bayer (viz obr. 20). TVI umožňuje přibližně zjistit, zda je polymer před vstřikováním dostatečně vysušený. Při testu se porovnávají obrazce vzniklé roztavením polymeru uzavřeného mezi dvě laboratorní sklíčka umístěné na topné desce.



Obr. 20: Postup ověření polymeru zbaveného vlhkosti metodikou TVI firmy Bayer
a) roztavení granulí, b) přitlak laboratorních sklíček pomocí pravítka, c) ochlazení a vyhodnocení

2.3 Sušení termoplastů [3], [4], [9]

Průběh sušení tuhých hmot závisí na charakteru spojení vlhkosti s polymerem. Voda může být vázána buď přilnavostí a jedná se o vlhkost povrchovou anebo kapilárními silami, kdy se nachází v mikrokapilárách v celém objemu hmoty.

Se sušením jako technologickou operací se musí počítat v případech, kdy polymer přišel v předchozí operaci do styku s vodou, jako je tomu u suspenzní nebo emulzní polymerace anebo granulace hmoty, kdy vytlačovaný profil prochází vodní chladicí lázní. A protože některé polymery jsou navlhavé čili hyroskopické, hydrofilní, je důležité sledovat i jejich manipulaci a skladování, jelikož skutečný obsah vody v polymeru závisí na relativní vlhkosti a teplotě prostředí, v němž je polymer uskladněn. Při přemístění granulátu z „chladného“ skladu do „teplé“ vstřikovny obvykle dochází k vysrážení vlhkosti na povrchu granulátu, vznikne povrchová vlhkost, kterou je nutné před vlastním zpracováním odstranit, aby bylo dosaženo požadovaných materiálových vlastností. Tento jev závisí i na tvaru a velikosti granulátu. Jsou – li polymery v práškové podobě, navlhají mnohem rychleji než granulát ve tvaru čoček, válečku, apod.

Polymery se dodávají v různých typech obalů např. PE pytle, několikavrstvé papírové pytle, žoky, oktabíny (viz obr. 21), cisterny atd. Někteří výrobci dopravují granuláty již vysušené (zejména PA, TPU, případně PC), hermeticky uzavřené do příslušných obalů. V těchto případech, za předpokladu neporušenosti obalu, je možné tyto polymery zpracovávat přímo bez předsušení. Pokud se po otevření obalu všechen polymer nezpracuje co nejdříve, je nutné v následném zpracování s ním zacházet jako s nevysušeným polymerem.



Obr. 21: Sila pro granulát (vlevo) a granulát v oktabínech (vpravo)

2.3.1 Princip sušení [3], [6]

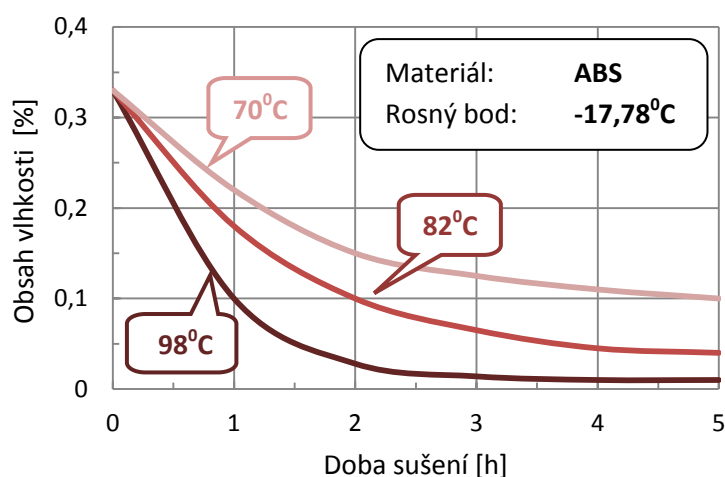
Má-li docházet k sušení, je nutné, aby tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem vlhkého polymeru, byl větší než parciální tlak páry v okolním prostředí. Sušení může probíhat jen do vyrovnaní těchto tlaků. Polymer je tedy možno vysušit jen do určité vlhkosti zvané rovnovážná vlhkost, která závisí na okolních podmínkách. A to na teplotě okolí a na relativní vlhkosti vzduchu. Jestliže se vysušený polymer vloží do prostředí s vyšší vlhkostí, než odpovídá rovnovážnému stavu, dojde naopak k navlhání. Tento proces může trvat několik minut, ale také i několik dní. Záleží na typu polymeru a na relativní vlhkosti vzduchu. Proces absorbování vlhkosti i proces sušení je vratný a je řízen tedy těmito základními parametry:

- teplotou polymeru
- relativní vlhkostí vzduchu (popř. rosným bodem vzduchu obklopující polymer)
- dobou sušení v předepsaném prostředí
- cirkulací vzduchu v sušárně
- velikostí granulátu

2.3.1.1 Teplota polymeru [6], [9]

Teplota polymeru má největší význam při procesu sušení. Ovlivňuje rychlost difúze molekul vody u navlhavých polymerů neboli rychlost ztráty vlhkosti (viz obr. 22). Jakmile teplota polymeru vzroste, nastane větší pohyb molekul a přitažlivost mezi polymerními řetězci a molekulami vody se sníží. To má za následek uvolnění molekul vody z řetězce polymeru. Obecně platí, že čím vyšší je teplota sušení, tím rychleji je polymer vysušen, avšak teplota zahřívání má své limity. Jestliže je polymer vystaven vysokým teplotám sušení na delší dobu, může dojít k:

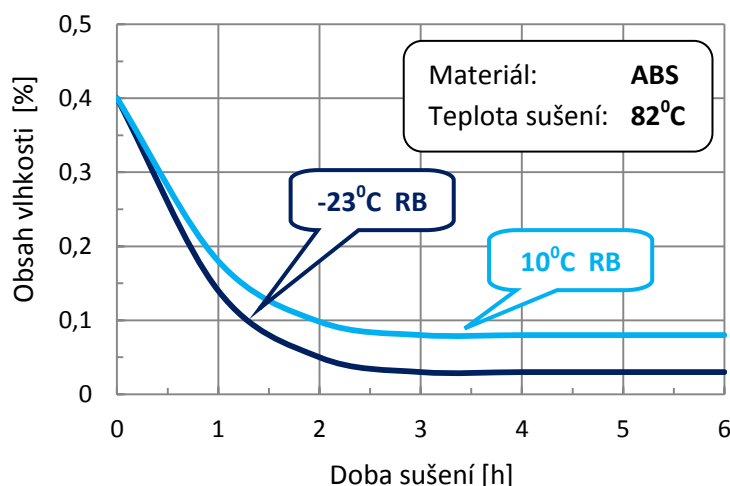
- tepelné degradaci polymeru (oxidaci, změně barvy, změně mechanických vlastností,)
- chemické degradaci polymeru (vyloučení zbytkového monomeru, aditiv,)
- fyzikální degradaci (menší nepravidelné granule, prach,)



Obr. 22: Vliv teploty na rychlost ztráty vlhkosti polymeru

2.3.1.2 Relativní vlhkost vzduchu [6], [9]

K udržení nízké vlhkosti polymeru je nutné jej ponechat v suchém prostředí. Relativní vlhkost a rosný bod tvoří druhý základní parametr pro sušení. 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. Rosný bod indukuje maximální množství vody ve vzduchu při určité teplotě. Polymer sušený při stejné teplotě, ale jiné hodnotě rosného bodu, bude mít po uplynutí doby sušení jiný obsah vlhkosti (viz obr. 23).



Obr. 23: Vliv rosného bodu na sušení polymeru

Jedna z cest k zvýšení schopnosti vzduchu sušit, je zvýšení jeho teploty. Jestliže se okolní vzduch ohřeje, dojde ke snížení relativní vlhkosti vzduchu. Množství vlhkosti

ve vzduchu se nemění, ale celkové množství se může zvyšovat. Pro představu si lze vzduch představit jako houbu s určitým množstvím vody, při zvyšování její teploty se množství vody nemění, ale spíše dochází ke zvětšení rozměrů houby. Například ohříváním okolního vzduchu s relativní vlhkostí 50% (z poloviny nasycený) na 88°C se sníží relativní vlhkost vzduchu na 2% (98% nenasycený). Tento princip se používá k sušení nenavlhavých polymerů.

2.3.1.3 Doba sušení [6], [9]

Při procesu sušení je rovněž velmi důležitý čas, neboť polymer nelze vysušit okamžitě. Jestliže je polymer (granulát plastu) obklopen teplým vzduchem v sušárně, je zapotřebí dostatek času, aby teplo proniklo 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 se mění s typem polymeru (viz tab. 3).

Tab. 3: Doporučená doba sušení pro vybrané polymery

POLYMER	PE	PP	ABS	SAN	PA6
Teplota sušení [°C]	50 - 70*	80	80	80	80 - 90
Doba sušení [hod]	0,5 až 1*	0,5 až 1*	3	3	4 až 12
POLYMER	PA12	PMMA	PC	POM	PBT
Teplota sušení [°C]	100	70 - 80	120	100 - 120	120
Doba sušení [hod]	2 až 6	2 až 12	4 až 12	4	2 až 8
Hodnoty označené * udávají teploty a doby sušení při nevhodném skladování, jinak se PE, PP nemusí sušit					

2.3.1.4 Cirkulace vzduchu v sušárně [6], [9]

Rovněž zajištění cirkulace vzduchu v sušárně je důležité pro rychlejší sušení polymeru. Díky cirkulaci dochází k většímu obtékání granulátu polymeru vzduchem, a tudíž je odebírání molekul vody více účinné. V ideálním případě by měly být granule polymeru celé obklopené proudícím vzduchem.

2.3.1.5 Velikost granulátu [6], [9]

Rychlost sušení závisí také na velikosti a tvaru granulí (viz obr. 24). Jestliže jsou granule příliš velké, je zapotřebí delšího času, aby teplo prostoupilo až do jádra granule. Poté co 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 granulátu různých tvarů.



Obr. 24: Příklady tvarů a velikostí granulí termoplastů

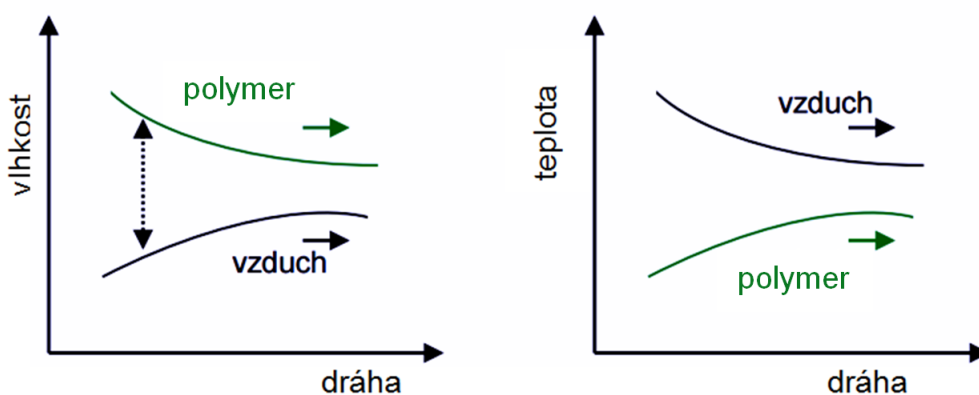
2.3.2 Druhy sušáren [4], [6]

Sušení granulátu může probíhat buď v samostatných sušících zařízeních, nebo v plastikačních jednotkách strojů, které jsou vybaveny odplyněním. Zatímco teplota sušeného granulátu v sušících zařízeních je od 70 do 120 °C při současném nízkém parciálním tlaku vodních par, tak v plastikačních jednotkách s odplyněním je teplota od 190 do 350 °C při vysokém parciálním tlaku vodních par.

Sušárny používané pro sušení granulátu lze rozdělit dle několika hledisek. Podle uspořádání vlastního procesu se dělí na sušárny s nepřetržitým a periodickým provozem, podle tlaku při němž probíhá sušení na atmosférické nebo vakuové. Podle vzájemného pohybu sušeného polymeru a média může sušení probíhat při souproudu, protiproudu anebo při zkříženém proudu. Podle oběhového systému je lze rozdělit na sušárny s uzavřeným oběhem, otevřeným oběhem, kdy vzduch nasycený vlhkostí se odvádí do volného prostoru, s nuceným oběhem a v neposlední řadě s přirozeným oběhem, kde není zaručena stejnoměrná teplota.

2.3.2.1 Souproudé sušení [6]

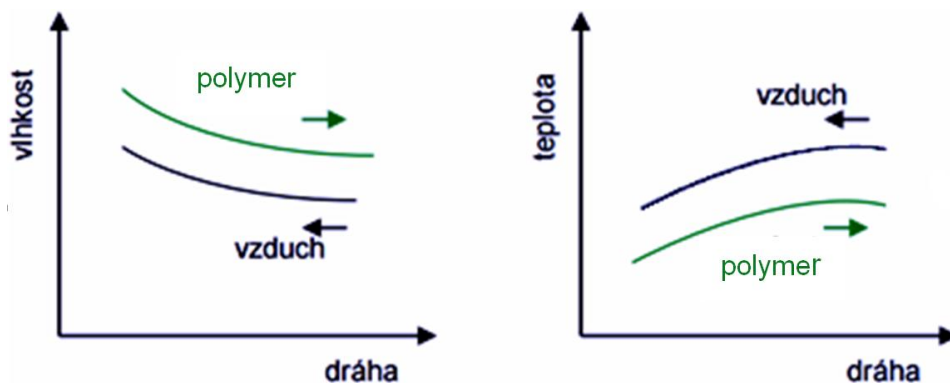
Při souproudu na sebe zpočátku působí polymer s nejvyšším obsahem vlhkosti a suchý vzduch s největší teplotou (viz obr. 25). Ze sušárny odchází polymer s nejnižší a vzduch s nejvyšší vlhkostí. Sušící potenciál se během sušení zmenšuje a tomu odpovídá i pokles rychlosti sušení. Hlavní přednost souproudu spočívá v tom, že teplota polymeru odcházejícího ze sušárny je poměrně nízká, protože nakonec přichází do styku s již ochlazeným vzduchem. Tento způsob sušení je vhodnější pro polymery snášející intenzivnější sušení a mající malou navlhavost.



Obr. 25: Vliv vlhkosti a teploty při sušení souproudem

2.3.2.2 Protiproudé sušení [6]

Při protiproudu se sušící médium s nejvyšší teplotou a nejnižší vlhkostí stýká s vysušeným polymerem, zatímco ochlazený vzduch s vysokou vlhkostí přechází do styku s vlhkým polymerem vstupujícím do sušárny. Sušící potenciál je po celé délce sušárny rozdělen rovnoměrně a neexistují velké rozdíly v teplotě ani v obsahu vlhkosti vzduchu (viz obr. 26). Přesto je doba sušení delší než u souproudu, což se vysvětluje právě malým potenciálem sušení zvláště na vstupu polymeru, kde až do jeho prohřátí může na něm dokonce kondenzovat voda. Hodí se pro polymery, které nesnášejí velkou rychlost sušení.



Obr. 26: Vliv vlhkosti a teploty při sušení protiproudu

2.3.2.3 Sušení se zkříženými proudy [6]

Kombinace souproudu a protiproudu, je dosahováno jak velkého sušícího potenciálu, tak vysoké rychlosti sušení.

2.3.2.4 Mikrovlnné sušení [6]

Při mikrovlnném sušení dochází k ohřevu uvnitř polymeru a tlakem vznikající páry je vlhkost rychleji dopravována k povrchu, zatímco při klasickém ohřevu je nejprve ohřán povrch, kde je vyšší teplota, z povrchu uniká vlhkost rychle, avšak vnitřní vlhkost postupuje k povrchu pomalu.

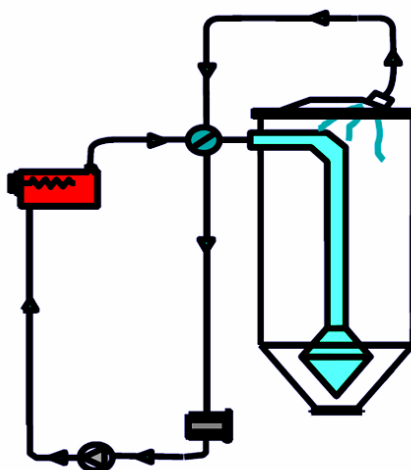
Výhody mikrovlnného sušení jsou přesné řízení teploty a rychlé dosažení teploty v celém objemu. Sušičky jsou vhodné pouze pro laboratorní použití, jelikož jsou omezené v množství polymeru, které může být sušeno.

2.3.2.5 Sušení horkým vzduchem [6], [9]

Sušárny jsou tvořeny zásobníkem granulátu, do něhož je okolní vzduch po ohřátí zespodu vháněn pomocí ventilátoru (viz obr. 27). Ohřátý vzduch, který prošel přes granulát, částečně odchází do okolní atmosféry a částečně je opět veden přes ohřev a ventilátor zpět do granulátu. V tomto případě se jedná o sušení s nuceným

oběhem ohřátého vzduchu. Při sušení se samovolnou cirkulací vzduch stoupá ke stropu sušárny a odchází všechen do volné atmosféry.

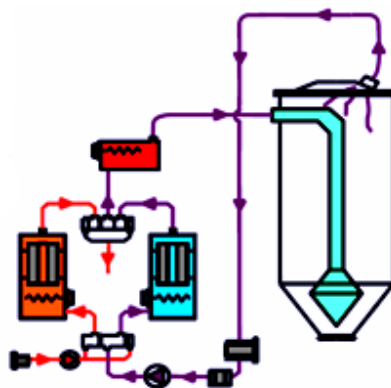
Tento způsob je vhodný pro odstranění povrchové vlhkosti granulátu. Jedná se o jednoduché, relativně levné a servisně nenáročné zařízení, ale na druhé straně dochází k velké spotřebě energie a kvalita sušení je závislá na vlastnostech (vlhkosti) vzduchu nasávaného do sušičky, které se mění se střídáním ročních období.



Obr. 27: Schéma sušení horkým vzduchem

2.3.2.6 Sušení suchým vzduchem [6], [9]

K sušení granulátu je používán ohřátý suchý vzduch, který obíhá v uzavřeném cyklu mezi násypkou s granulátem a sušičkou (viz obr. 28), ve které se regeneruje (je z něho odstraňována naadsorbovaná vlhkost). Po vysušení (průchodu adsorbérem) tzv. molekulovým sítem, je procesní vzduch přes ohřívač dmychadlem opět vháněn zespodu do násypky se sušeným granulátem. Množství vlhkosti adsorbované vysoušedlem vzduchu se postupně zvyšuje, a proto je také nutné vysoušedlo regenerovat. Zařízení má dvě sekce, v jedné adsorbér odjímá z procesního vzduchu vlhkost a ve druhé je „mokrý“ adsorbér regenerován (zbavován vlhkosti), regenerační vzduch je ohřát, po průchodu adsorbérem je přes rozdělovač část procesního vzduchu uvolněna do okolního prostředí, ohřáté vysoušedlo je zchlazeno do pracovního stavu a po prohození sekcí přijímá procesní vzduch po jeho průchodu granulátem a první sekce se regeneruje.

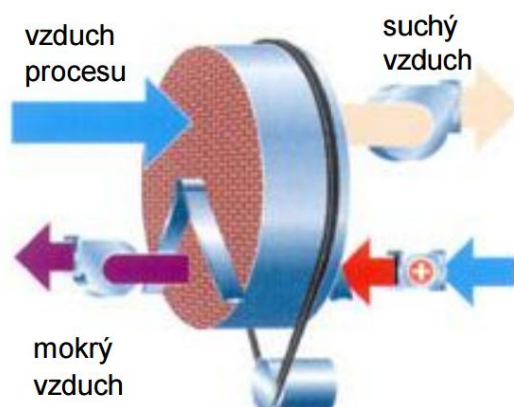


Obr. 28: Schéma sušení suchým vzduchem

Výhodou takových sušáren oproti sušárnám používající horký vzduch je, že procesní vzduch přiváděný do dna násypky s granulátem má nižší a mnohem stabilnější rosný bod než vzduch používaný v horkovzdušných sušičkách. Výsledkem je efektivnější sušení (kratší doba) a nižší zbytková vlhkost v sušeném polymeru. Nevýhodou je energetická náročnost na regeneraci vysoušedla a chod dmychadla. Další velkou nevýhodou je nutnost častého čištění filtrů, které se zanášejí prachem obsaženým v násypce s granulátem.

2.3.2.7 Sušení voštinovými kotouči [6], [9], [13]

Tento druh sušení využívá dvou navzájem propojených systémů. Týká se to uzavřeného sušicího systém a otevřeného sušicího systém pro regeneraci vzduchu. Rotor adsorpčního zvlhčovacího zařízení neboli voštinový kotouč (viz obr. 29) má malé vzduchové kanálky s velmi velkou kontaktní plochou. Uvnitř těchto kanálků je nanесena látka, která pohlcuje vlhkost např. silikagel, molekulární síto, atd.



Obr. 29: Schéma voštinového kotouče

Silikagel je zastoupen především v amorfnní formě SiO_2 . Je chemicky neutrální a odolný vůči většině kyselin, je však citlivý vůči zásaditým látkám. Silikagel je používán především ve formě granulátu a kuliček, což vede k příznivé tlakové ztrátě a minimálnímu otěru u dynamických sušících procesů. Na sušení se využívá silikagel typu N, což jsou normální zrna, která mají vysokou zádržnou kapacitu vody, ale při kontaktu s vodou v kapalném skupenství dochází k jejich destrukci a typu WS, voděodolná zrna, která mají stupeň adsorpce zhruba o 30% nižší (viz obr. 30). Odolávají přímému kontaktu s vodou, proto se používají jako zádržná vrstva na vstupní straně sušičce.



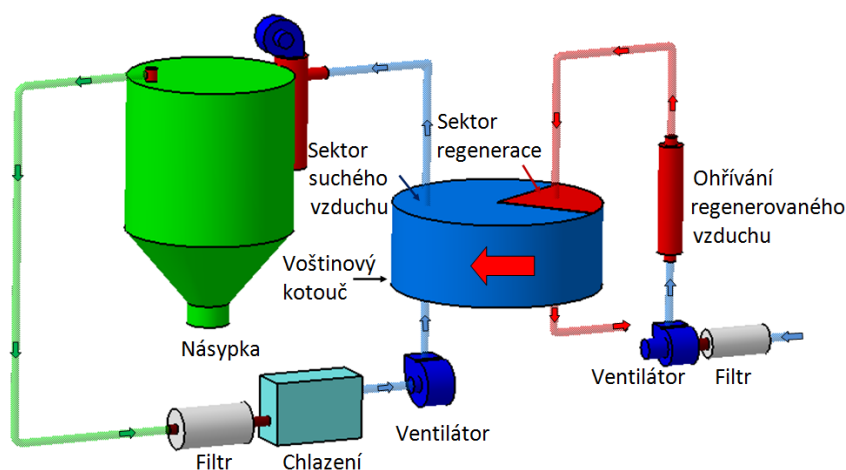
Obr. 30: Silikagel typu N (vlevo), a silikagel typu WS (vpravo)

Molekulární síta jsou kovové alumino silikáty krystalické struktury (viz obr. 31). V porovnání s ostatními adsorpčními agenty se liší definovanou velikostí pórů. Tato molekulární síta adsorbují pouze molekuly definované velikosti, adsorpce ostatních je vyloučena, jelikož neprojdou skrz póry. Mají stále dobrou adsorpční kapacitu i při vyšších teplotách a nízké relativní vlhkosti. Při sušení je dosaženo velmi nízké zbytkové vlhkosti.



Obr. 31: Molekulární síto

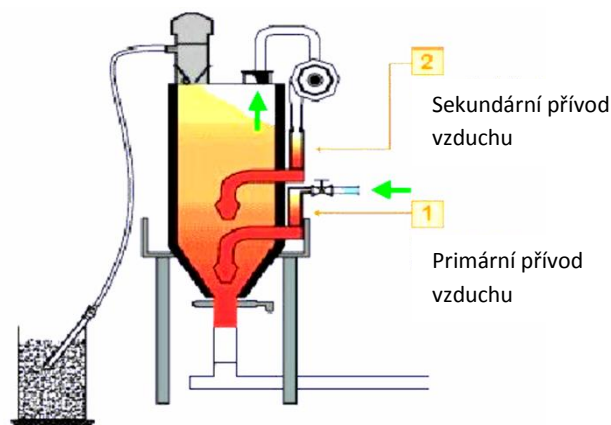
Je-li odvlhčovací zařízení v chodu, dva vzduchové proudy procházejí současně dvěma sektory tohoto rotoru (viz obr. 32). Jeden proud je odvlhčován, zatímco druhý proud je horký a regeneruje rotor. Vlhkost je pak odváděna ve formě vlhkého a teplého vzduchu ze zařízení ven. Jedná se o velmi kompaktní provedení sušárny. Velice pozitivní je poměrně nízká hodnota rosného bodu (-50°C), která má vliv na účinnost sušárny. Velkou nevýhodou těchto sušáren je nákladná výměna kotoučů v případě jejich znečištění.



Obr. 32: Princip sušení voštinovými kotouči

2.3.2.8 Sušení tlakovým vzduchem [6], [9]

Tento typ sušáren suší granulát v proudu suchého horkého vzduchu (viz obr. 33). Jako suchý vzduch je používán stlačený vzduch z vnějšího zdroje, který je dekomprimován a před vstupem do sušící násepky ohřát na sušící teplotu. Zdrojem tlakového vzduchu může být např. kompresor používaný i pro další účely.



Obr. 33: Schéma a princip sušení tlakovým vzduchem

Výhodou tlakovzdušných sušáren jsou nízké pořizovací náklady a dobré prohřátí granulátu do středu granulí bez nebezpečí degradace. Naopak nevýhodou jsou nízký výkon sušení, vysoké energetické náklady a nutnost sušení a čištění tlakového vzduchu.

2.3.2.9 Sušení ve vakuu [7], [9]

Vakuová sušička je konstruována jako třípolohový karusel se třemi polymerními komorami (viz obr. 34). Doba sušicího cyklu je čas setrvání polymerního zásobníku v jedné pozici a je dána sušeným granulátem a požadovaným výkonem sušičky. V pozici 1 karuselu se nadávkuje do zásobníku požadované množství granulátu a ten je v uzavřeném okruhu ohřát na sušicí teplotu odpovídající příslušnému polymeru. V pozici 2 je komora s teplým polymerem zatěsněna a je v ní vytvořen podtlak za současného odvádění vytěsněné vlhkosti do okolního prostředí. V pozici 3 je vysušený granulát dopravován (podtlakově) do násypky vstřikovacího stroje v množství, které zaručuje jeho zpětnou nenavlhavost. Oběh vzduchu v zařízení zajišťuje dmychadlo s příslušnými filtry.

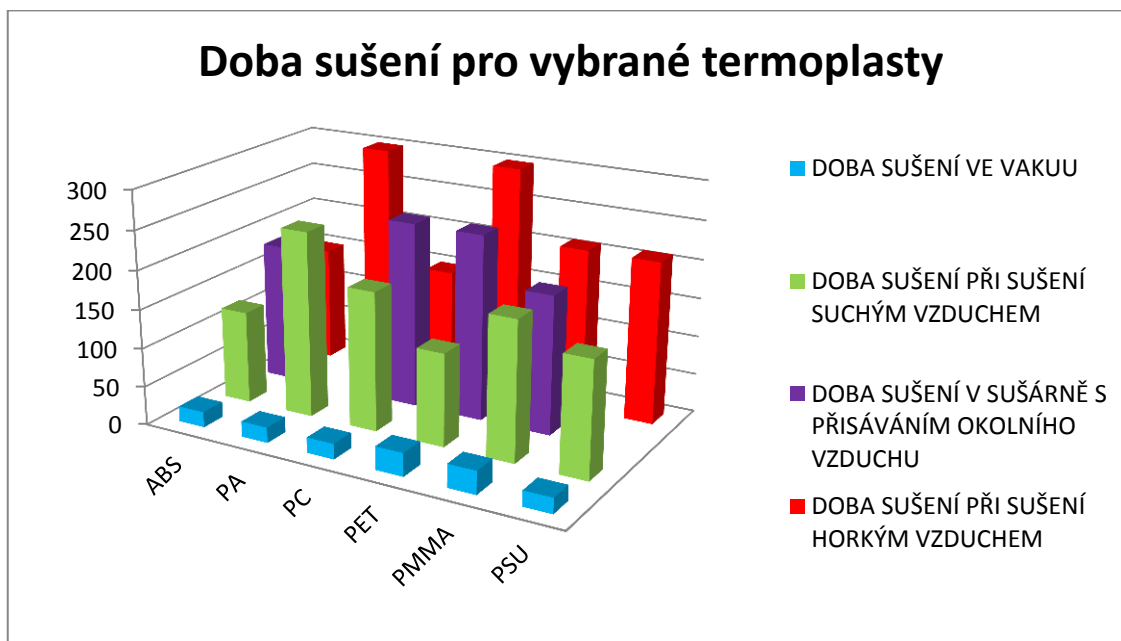


Obr. 34: Vakuová sušárna – princip činnosti (vlevo), schéma zařízení (vpravo)

Vakuové sušárny se používají k sušení granulátů, u kterých je nebezpečí termické oxidace polymeru (změna barvy, zhoršení mechanických vlastností, atd.) za zvýšených teplot. U vakuového sušení jsou molekuly vody vysávány z granulátu působením podtlaku. Výsledkem je zkrácení doby sušení (viz graf 1) a snížení energetické náročnosti sušení. Velmi dobrá účinnost vakuových sušáren je dána

snižováním bodu varu vody v důsledku snižování tlaku. Velkou nevýhodou těchto sušáren je nutnost potřeby vakua a složitost zařízení.

Graf 1: Doba sušení (min) pro vybrané termoplasty a typ sušárny



3. CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI Grupo Antolin s. r. o.

[14]

Grupo Antolin s. r. o. sídlící v Turnově je jednou z dceřiných společností španělské holdingové firmy Grupo Antolin. Firma Grupo Antolin byla založena v roce 1985, kde jejím cílem bylo řídit a koordinovat veškeré aktivity jednotlivých společností v rámci koncernu. Dnes je jednou z předních nadnárodních společností ve vývoji, konstrukci a výrobě interiérových dílů pro automobilový průmysl (stropní panely, výplně dveří, sedačky a osvětlení). Firma podniká v 26 zemích světa, konkrétně má 161 výrobních závodů a 25 technicko - administrativních budov.

Společnost Grupo Antolin s. r. o. v Turnově (viz obr. 35) byla v roce 2002 zapsána do obchodního rejstříku firem, kdy i započala výstavba závodu. V roce 2003 byla výstavba dokončena a zahájena výroba. Momentálně se zabývá především výrobou a kompletací dveřních výplní a interiérovým obložením, například obložení kufrů, sloupků a dalších pro ŠKODA AUTO a. s., Volkswagen, Ford, Hyundai, Audi, Volvo, PSA, TPCA, atd.



Obr. 35: Společnost Grupo Antolin s. r. o. v Turnově

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce se zabývá měřením a vyhodnocením obsahu vlhkosti vybraných polymerů v závislosti na jejich skladování, sušení a dopravě. Pro tento experiment byly zvoleny rozdílné polymery s různým druhem skladování. Pro hodnocení byla použita termogravimetrická zkouška měření obsahu vlhkosti. Na základě zjištěných výsledků je v závěru provedeno zhodnocení uvedených vlivů působících na zpravování granulátu.

4.1 Výběr polymeru

K experimentálnímu měření obsahu vlhkosti v granulátu v závislosti na vlivu skladování, sušení, dopravě a následnému vyhodnocení kvality vstřikovaných dílů byl jednak vybrán polypropylen s rozdílným obsahem talku a také směs polykarbonátu s akrylonitrilem – butadien – styrénem (viz tab. 4). Z řady polypropylénů byly zvoleny kopolymer polypropylenu s obchodním názvem HOSTACOM PPU X9067HS, kopolymer polypropylenu s obsahem 5% talku s obchodním názvem HOSTACOM TKC 2007N, polypropylen s obsahem 15% talku s obchodním názvem HOSTACOM EYC 136N, kopolymer polypropylenu s obsahem 16% talku s obchodním názvem HOSTACOM EKC 330N, kopolymer polypropylenu s etylen - propylen - dién - terpolymerovým kaučukem s přísadkou 25% talku s obchodním názvem HOSTACOM XBR 169G a polykarbonát s akrylonitril - butadien - styrénem s obchodním názvem BESTPOLUX PCA65. Polymery byly vybrány po konzultaci s firmou Grupo Antolin s. r. o. pro zjištění, zda nedoporučené parametry skladování a doprava materiálu má takový vliv na navlhání granulátu, aby musel být před samotným zpracováním sušen.

Tab. 4: Měřené polymery

Obchodní název	Typ	Obsah talku [%]	Odstín
BESTPOLUX PCA65UC	PC/ABS	0	charcoal black
HOSTACOM PPU X9067HS	PP+PE	0	titan black
HOSTACOM TKC 2007N	PP+PE - TD5	5	titan schwarz
HOSTACOM EYC 136N	PP - TD15	15	charcoal black
HOSTACOM EKC330N	PP+PE - TD16	16	natur
HOSTACOM EKC330N	PP+PE - TD16	16	satin schwarz
HOSTACOM XBR 169G	PP+EPDM - TD25	25	marble

BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS) [14]

BESTPOLUX PCA65 se vyznačuje vysokou tekutostí, nízkou hustotou a patří mezi izolační materiály. Mírně navlhá, proto se musí před zpracováním sušit, doporučené hodnoty sušení jsou 2-3hodiny při 100°C. Granulát je určený pro vstřikování při teplotách 245°C až 255°C.

Tab. 5: Vlastnosti polymeru BESTPOLUX PCA65

BESTPOLUX PCA65						
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu při přetržení [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Vrubová houževnatost IZOD [kJ/m ²]	Teplota měknutí podle Vicata [°C]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527	ISO 527	23°C ISO 180	ISO 306	0,4N/1,8N ISO 75/A
1,15	25	50	2200	38	125	120/100

HOSTACOM PPU X9067HS (PP+PE) [14]

HOSTACOM PPU X9067HS je kopolymer s vysokou tuhostí, houževnatostí a vysokou tekutostí. Je vhodný pro automobilový průmysl na interiérové aplikace.

Tab. 6: Vlastnosti polymeru HOSTACOM PPU X9067HS

HOSTACOM PPU X9067HS					
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu na mezi kluzu [MPa]	Vrubová houževnatost Charpy [kJ/m ²]	Teplota měknutí podle Vicata [°C]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527-1,2	23°C/0°C ISO 179	A50(10N) ISO 306	0,45MPa/1,80MPa ISO 75 B, A -1, 2
0,91	15	26	9,0/5,0	147	100/58

HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD5) [14]

HOSTACOM TKC 2007N je kopolymer s 5 % talku. Vyznačuje se malou hustotou, velmi dobrou tvarovatelností, vynikající tvarovou stálostí při zvýšených teplotách a odolností proti poškrábání. Používá se v automobilovém průmyslu pro interiérové aplikace.

Tab. 7: Vlastnosti polymeru HOSTACOM TKC 2007N

HOSTACOM TKC 2007N						
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu na mezi kluzu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Vrubová houževnatost Charpy [kJ/m ²]	Teplota měknutí podle Vicata [°C]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527-1,2	ISO 178/A1	23 ⁰ C/-30 ⁰ C ISO 179	A (10N) ISO 306	1,80MPa ISO 75 A, -1, 2
0,93	16	21	1650	30/4,8	142	56

HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15) [14]

HOSTACOM EYC 136N je UV stabilní s 15 % talku určený pro vstřikování. Spojuje v sobě vynikající tekutost s vysokou tuhostí, tepelnou a rozměrovou stálostí a skvělou odolností proti poškrábání.

Tab. 8: Vlastnosti polymeru HOSTACOM EYC 136N

HOSTACOM EYC 136N					
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu na mezi kluzu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Vrubová houževnatost IZOD [kJ/m ²]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527-1,2	ISO 178	23 ⁰ C/-40 ⁰ C ISO 180	0,45MPa/1,80MPa ISO 75 B, A -1, 2
1	22	22,5	2000	6/2,5	103/57

HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16) [14]

HOSTACOM EKC 330N je kopolymer s 16 % talku určený pro vstřikování. Vyznačuje se dobrou tekutostí, nízkou hustotou, dobrou tuhostí a odolností proti poškrábání. Je vhodný pro automobilový průmysl pro výrobky obložení interiéru

Tab. 9: Vlastnosti polymeru HOSTACOM EKC 330N

HOSTACOM EKC 330N						
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu na mezi kluzu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Vrubová houževnatost Charpy [kJ/m ²]	Teplota měknutí podle Vicata [°C]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527-1,-2	ISO 178/A	23°C/-30°C ISO 179	A(10N) ISO 306	1,80MPa ISO 75 A, -1, 2
1,02	19	21	1850	45/5	132	56

HOSTACOM XBR 169G (PP+EPDM – TD25) [14]

HOSTACOM XBR 169G je směs polypropylenu s etylen – propylen – dién - terpolymerovým kaučukem s přídavkem 25 % talku. Má nízkou hustotu, dobrou tvárnost, vynikající rázovou pevnost, dobrou tuhost a odolnost proti poškrábání. Je určen pro zpracování vstřikováním.

Tab. 10: Vlastnosti polymeru HOSTACOM XBR 169G

HOSTACOM XBR 169G						
Hustota [g/cm ³]	Index toku taveniny [g/10min]	Napětí v tahu na mezi kluzu [MPa]	Modul pružnosti v ohybu [MPa]	Vrubová houževnatost IZOD [kJ/m ²]	Teplota měknutí podle Vicata [°C]	Teplota průhybu při zatížení [°C]
ISO 1183	ISO 1133	ISO 527-1, 2	ISO 178	23°C/-40°C ISO 179	A50-10N/B50 -50N ISO 306	0,45MPa/1,80MPa ISO 75 B, A -1, 2
1	15	17	1700	25,0/4,0	130/48	110/53

4.2 Skladování granulátu

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. přichází polymery ve formě granulí. Jsou dodávány buď ve vakuovaných pytlích o hmotnosti 25kg, což jsou polymery s nízkou spotřebou, v oktabínech a nebo v cisternách, kde se nachází velkoobrátkový granulát.

Granulát v oktabínech a pytlích, který se v současné době nezpracovává ve výrobním cyklu, se skladuje ve venkovním přístřešku, který je uzavřený ze tří stran a tak chrání polymer před deštěm a povětrnostními vlivy. Granulát potřebný

pro bezprostřední výrobu se uskládá v požadovaném množství uvnitř haly. Pytle, jež se fixují smršťovací fólií a oktabíny, jsou umístěny na paletách (viz obr. 36), aby nedocházelo k zbytečnému navlhání a mohlo se s nimi snáze manipulovat.



Obr. 36: Skladování pytlů a oktabínů (vlevo venkovní přístřešek, vpravo uvnitř haly)

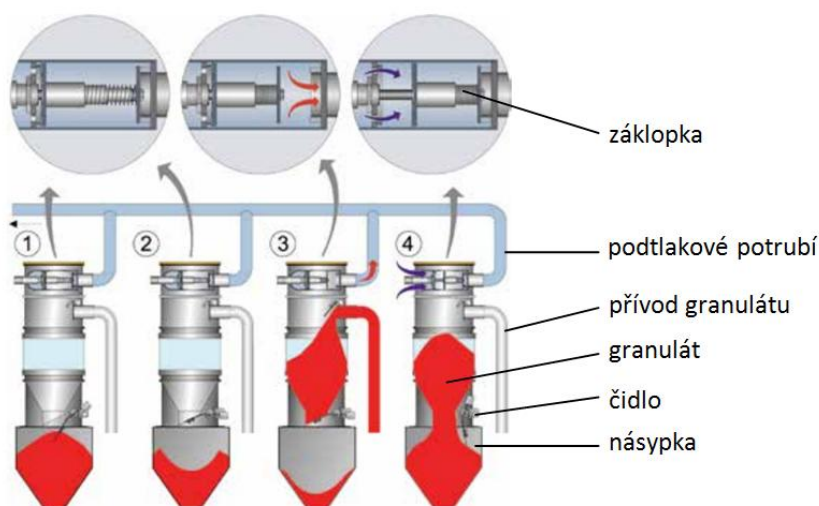
Granulát dopravovaný v cisternách je přečerpáván do sil o objemu 53m^3 (viz obr. 37), kde v horní části každého sila je víko, které není hermeticky uzavřeno, aby mohlo docházet k úniku přebytečného vzduchu. Nedílnou součástí sil jsou čidla pro určování výšky hladiny granulátu v silech a díky kterým je možno kontrolovat procentuální množství granulátu ať už při plnění, nebo samotném odsávání granulátu do výroby.



Obr. 37: Skladování granulátu v silech
(vlevo sila, vpravo přečerpání granulátu z cisterny do sila)

4.3 Doprava granulátu [20], [21]

Ve firmě Grupo Antolin s. r. o. je doprava granulátu ze sil, oktabínů a pytlů realizována pomocí podtlakového systému. Zdroj podtlaku, který je regulován pomocí záklopky (viz obr. 38), je připojen k násypce vstřikovacího stroje a k násypce sušícího zásobníku. Při odebrání granulátu na proces vstřikování v násypce klesne hladina granulátu a dojde k předání signálu pomocí čidla řídicí jednotce. Řídící jednotka vyšle pokyn k nasátí granulátu, otevře se záklopka a podtlak se rozšíří do násypky i do potrubí s granulátem, čímž dojde k nasátí granulátu. Nasávání je dáno dvěma časovými intervaly, kdy při prvním je nasát granulát ze sušárny a při druhém časovém úseku se přívod ze sušárny uzavře a je nasáván už jen zbylý granulát z potrubí. Po ukončení nasávání se záklopka uzavře.



Obr. 38: Princip nasávacího zařízení Colortronic

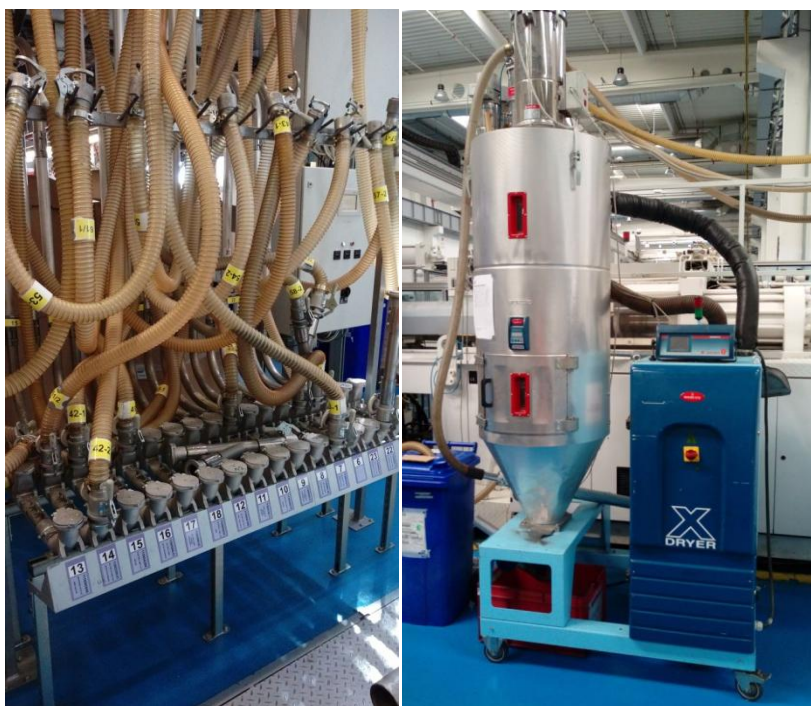
1 – klidový stav, 2 – signál z čidla, 3 – otevření záklopky a nasávání granulátu, 4 – konec nasávání a uzavření záklopky

Ve firmě jsou zdrojem podtlaku vývěvy se zásobníky od dvou dodavatelů, které jsou umístěné vždy u sušících systémů. Od firmy Colortronic je nainstalováno sedm vývěv s čtyřmi zásobníky používanými na dva okruhy dopravy pro vstřikovací stroje a jeden okruh dopravy pro sušící zásobníky. Od firmy Moretto mají tři vývěvy s dvěma zásobníky na jeden okruh dopravy pro vstřikovací stroje a jeden okruh dopravy pro sušící zásobníky. Jak v okruhu pro vstřikovací stroje, tak i v okruhu sušících zásobníků je připojeno několik zařízení najednou, ale vždy při nasávání je funkční jen jedna cesta

dopravy granulátu. Při dokončení nasávání jednoho zařízení je otevřena další cesta k jinému zařízení v okruhu, které vyslalo signál pro nasátí.

Granulát je nejprve nasáván z oktabínů nebo sil do sušícího zásobníku, kde je ponechán danou dobu na vysušení. Po minimální době sušení může granulát dále pokračovat přes „nádraží“ (viz obr. 39) potrubím do podzemí, kde je rozveden k určeným vstřikovacím strojům. Na „nádraží“ je možno měnit příchozí materiál ze sušících zásobníků s různými vstřikovacími stroji na hale.

Při zpracování vakuovaných pytlů se používá mobilní sušárna značky Moretto (viz obr. 39) umístěná přímo u vstřikovacího stroje, která nasává polymer z plastové popelnice, do které bylo nasypáno určené množství granulátu z výše zmíněných vakuovaných pytlů. Po vysušení je granulát nasáván přímo do stroje na zpracování.



Obr. 39: „Nádraží“ (vlevo), mobilní sušárna značky Moretto (vpravo)

4.4 Sušení granulátu [17], [18]

Ve firmě Grupo Antolin s. r. o. se využívají dva druhy systémů na sušení granulátu. První je od firmy Colortonic, kde je na sušení použit generátor na výrobu

suchého vzduchu Dry Flex L700, L800 a L1000 (označení 700, 800, 1000 značí množství vyrobeného suchého vzduchu v m³/hod), sušící zásobníky TT800 a TT400 (o objemu 800 a 400litrů) a sací dopravní zařízení. Druhý systém je od firmy Moretto, který obsahuje generátor ohřátého suchého vzduchu X DRYER 612, sušící zásobníky TT600 a TT800 (o objemu 600 a 800litrů) a sací dopravní zařízení.

Systém od firmy Colotronic (viz obr. 40) pracuje na principu absorpce vlhkosti pomocí nuceného proudícího suchého vzduchu, který je před vstupem do sušící násypky zahříván a jeho teplota je řízena a monitorována centrální sušičkou. Generátor suchého vzduchu má dvě buňky, které mohou dosáhnout rosného bodu až – 60°C. Konstantním prouděním vzduchu se docílí nulových teplotních změn v sušících zásobnících v průběhu sušení. Sušící zařízení dokáže vysušit granulát až na zbytkovou vlhkost 0,002%.



Obr. 40: Sušící systém od firmy Colotronic

Systém firmy Moretto (viz obr. 41) používá k sušení ohřátý suchý vzduch, který je vháněn zespodu do násypky, v horní části je zase odváděn a směřuje na regeneraci do sušičky, kde pomocí silikagelu je z něj odebrána vlhkost. Sušící zařízení obsahuje dvě komory se silikagelem, kdy při sušení jedna komora zbavuje vzduch vlhkosti a druhá je

sama regenerována (zbavována vlhkosti). Sušičky používají adaptivní proudění vzduchu a hodnota rosného bodu může dosáhnout až -75°C .



Obr. 41: Sušící systém od firmy Moretto

4.5 Příprava a odebrání vzorků [2], [9]

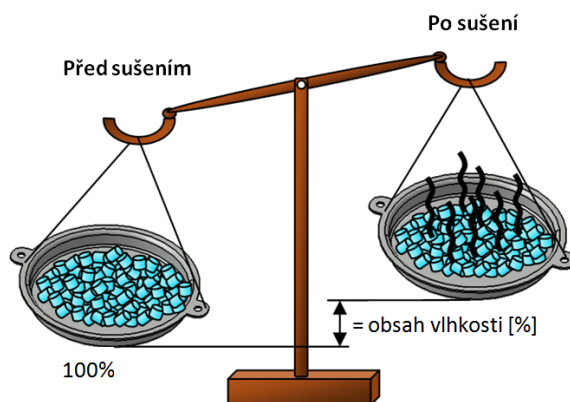
Měřené polymery ve formě granulátu (viz obr. 42), které byly vybrány ke stanovení množství vlhkosti v závislosti na vlivu způsobu skladování, byly postupně odebrány nádobkou s těsnícím víčkem z určeného místa skladování: jako jsou venkovní silo, oktabíny skladované ve venkovním přístřešku nebo uvnitř haly, vakuované pytle skladované uvnitř haly, a podrobeny měření. Granulát odebraný z venkovního oktabínu byl zhruba 30minut ponechán v místnosti v nádobce bez víčka odstát pro simulaci manipulace s oktabínem před vlastním zpracováním. Pro porovnání hodnot vlhkostí byl odebrán granulát i ze sušícího zásobníku. Přenos vzorků z oktabínů uvnitř haly, z vakuovaných pytlů, z venkovního sila a ze sušárny byl proveden s uzavřenou nádobkou, přičemž měření bylo uskutečněno hned po přenesení vzorku do laboratoře, aby se zamezilo zpětnému navlhnutí polymeru. Každý granulát, odebraný z daného místa uskladnění, byl vystaven pěti po sobě jdoucím měřením.

Podmínky měření byly pro všechny vzorky stejné, teplota 120°C , doba měření 20 minut a hmotnost vloženého materiálu byla cca. 10g.



Obr. 42: Halogenový analyzátor Moisture (vlevo), měřený granulát (vpravo)

Obsah vlhkosti byl měřen termogravimetrickou metodou s použitím halogenového analyzátoru MX-50 od firmy A&D Store (viz obr. 42). Přístroj pracuje na principu úbytku hmotnosti vzorku (viz obr. 43). Na začátku měření halogenový analyzátor stanoví pomocí zabudované váhy hmotnost vzorku (maximální hmotnost vzorku je 51g), který je následně vestavěnou halogenovou žárovkou rychle zahříván až na požadovanou hodnotu a poté dochází k odpařování vlhkosti z daného vzorku polymeru. Přístroj během sušení neustále stanovuje hmotnost vzorku a na displeji znázorňuje procentuální úbytek hmotnosti z počáteční hodnoty hmotnosti. Po uplynutí nastavené doby měření se na displeji zobrazí výsledná hodnota obsahu vlhkosti.



Obr. 43: Princip stanovení vlhkosti halogenovým analyzátozem

4.5.1 Měřené hodnoty vlhkosti

V této kapitole jsou uvedeny u každého měřeného granulátu informace o jeho dovozu, skladování a sušení ve firmě Grupo Antolin s. r. o. Následně jsou popsány podmínky měření se zpracovanou tabulkou naměřených hodnot a nakonec jsou uvedeny základní vstřikovací parametry, při kterých byl granulát testován, s obrázkem vstřikovaného dílu.

4.5.1.1 BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát BESTPOLUX PCA65 v odstínu charcoal black dováží ve vakuovaných pytlích o hmotnosti 25kg. Pytle se skladují uvnitř haly vyrovnané na paletách a fixované smršťovací fólií. Polymer se suší minimálně 4 hodiny při 110⁰C v mobilní sušárně XD25 od firmy Moretto se zásobníkem o objemu 400l.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z vakuovaných pytlů uvnitř haly bylo provedeno ve stejný den při teplotě 20⁰C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 9⁰C (viz tab. 11).

Tab. 11: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu BESTPOLUX PCA65 - charcoal black

BESTPOLUX PCA65 - odstín charcoal black		
Teplota: uvnitř 9 ⁰ C/ venku 20 ⁰ C		
Číslo měření	Sušený při 110 ⁰ C, minimálně 4hodiny	Skladovaný v PE BAG 25KG uvnitř haly
	Zbytková vlhkost [%]	
1	0,07	0,16
2	0,09	0,15
3	0,09	0,16
4	0,09	0,15
5	0,10	0,15
Průměrná hodnota	0,09	0,15

Polymer BESTPOLUX PCA65 ve vysušeném i v nesusušeném stavu byl zpracován na stroji KRAUSS MAFFEI KM 800 – 5000 MC a byly vystříknuté díly OHC PŘEDKOMPLET

KONZOLE LED SVĚTLO (viz obr. 44), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 265/ 265/ 260/ 260/ 260/ 255/ 245/ 225/ 195⁰C
- teplota HK: 250/ 250/ 265/ 265/ 265/ 265⁰C
- temperance formy :
 - pevná strana 65⁰C
 - pohyblivá strana 75⁰C
- čas vstřiku: 2,5 sekundy
- čas dotlaku: 6 sekund
- čas chlazení: 25 sekund
- čas cyklu: 52 sekund
- uzavírací síla: 500 tun



Obr. 44: Díl OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO

4.5.1.2 HOSTACOM PPU X9067HS (PP+PE) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát HOSTACOM PPU X9067HS v barvě titan black dováží v cisternách a přečerpává se do venkovního sila č. 4. Polymer se suší minimálně 1 hodinu při 80⁰C v sušícím zařízení Colortronic v sušícím zásobníku č. 9 o objemu 800l.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z venkovního sila bylo provedeno ve stejný den při teplotě 23⁰C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 9⁰C (viz tab. 12).

Tab. 12: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM PPU X9067HS – titan black

HOSTACOM PPU X9067HS – odstín titan black		
Teplota: uvnitř 23 ⁰ C/ venku 9 ⁰ C		
Číslo měření	Sušený při 80 ⁰ C, minimálně 1hodinu	Skladovaný ve venkovním sile
	Zbytková vlhkost [%]	
1	0,11	0,12
2	0,11	0,12
3	0,11	0,12
4	0,12	0,11
5	0,12	0,11
Průměrná hodnota	0,11	0,12

Polymer HOSTACOM PPU X9067HS ve vysušeném i nesusušeném stavu byl zpracován na stroji ENGEL DUO 5550/1500 a byly vystříknuté díly VW379 OBLOŽENÍ PRAHU (viz obr. 45), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 210/ 220/ 220/ 220/ 220/ 220/ 210/ 200⁰C
- teplota HK: 15 x 210⁰C
- temperance formy :
 - pevná strana 35⁰C
 - pohyblivá strana 25⁰C
- čas vstřiku: 4,8 sekund
- čas dotlaku: 10 sekund
- čas chlazení: 25 sekund
- čas cyklu: 58 sekund
- uzavírací síla: 600 tun



Obr. 45: Díl VW379 OBLOŽENÍ PRAHU

4.5.1.3 HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD5) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát HOSTACOM TKC 2007N v odstínu titan schwarz dováží v cisternách a přečerpává se do venkovních sil č. 9 a 14. Polymer se suší minimálně 1 hodinu při 80⁰C v sušícím zařízení Moretto v sušícím zásobníku č. 4 o objemu 800l.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z venkovního sila bylo provedeno ve stejný den při teplotě 21⁰C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 9⁰C (viz tab. 13).

Tab. 13: Zbytkový obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM TKC 2007N - titan schwarz

HOSTACOM TKC 2007N - odstín titan schwarz		
Teplota: uvnitř 21 ⁰ C/ venku 9 ⁰ C		
Číslo měření	Sušený při 80 ⁰ C, minimálně 1hodinu	Skladovaný ve venkovním sile
	Zbytková vlhkost [%]	
1	0,10	0,13
2	0,13	0,14
3	0,14	0,13
4	0,14	0,14
5	0,14	0,14
Průměrná hodnota	0,13	0,14

Polymer HOSTACOM TKC 2007N ve vysušeném i nesusušeném stavu byl zpracován na stroji ENGEL DUO 7050/1500 a byly vystříknuté díly B8 NOSIČ PP LŘ (viz obr. 46), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 250/ 255/ 255/ 250/ 250/ 245/ 230/ 215⁰C
- teplota HK: 24 x 220⁰C
- temperance formy :
 - pevná strana 35⁰C
 - pohyblivá strana 30⁰C
- čas vstřiku: 6 sekund
- čas dotlaku: 10 sekund
- čas chlazení: 24 sekund

- čas cyklu: 62 sekund
- uzavírací síla: 1350 tun



Obr. 46: Díl B8 NOSIČ PP LŘ

4.5.1.4 HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát HOSTACOM EYC 136N v odstínu charcoal black dováží v cisternách a přečerpává se do venkovních sil č. 12 a 15. Polymer se suší minimálně 1 hodinu při 80⁰C v sušícím zařízení Colortronic v sušícím zásobníku č. 22 a 23 o objemu 800l.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z venkovního sila bylo provedeno v rozdílných dnech. Vysušený granulát byl měřen při teplotě 23⁰C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 16⁰C, zatím co granulát nesusušený ze sila při vnitřní teplotě 20⁰C a venkovní teplotě 9⁰C (viz tab. 14).

Tab. 14: Zbytkový obsah vlhkosti v granulátu HOSTACOM EYC 136N – charcoal black

HOSTACOM EYC 136N – odstín charcoal black		
Teplota: uvnitř/venku	23 ⁰ C/16 ⁰ C	20 ⁰ C/9 ⁰ C
Číslo měření	Sušený na 80 ⁰ C, minimálně 1hodinu	Skladovaný ve venkovním sile
	Zbytková vlhkost [%]	
1	0,12	0,15
2	0,13	0,17
3	0,12	0,17
4	0,12	0,16
5	0,13	0,18
Průměrná hodnota	0,12	0,17

Polymer HOSTACOM EYC 136N ve vysušeném i nesusušeném stavu byl zpracován na stroji ENGEL DUO 5550/1500 a byly vystříknuté díly C346 PODPORA PLATA 5D (viz obr. 47), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 230 / 240 / 240 / 240 / 235 / 220 / 200⁰C
- teplota HK: 20 X 230⁰C
- temperance formy :
 - pevná strana 30⁰C
 - pohyblivá strana 20⁰C
- čas vstřiku: 9,7 sekund
- čas dotlaku: 7 sekund
- čas chlazení: 17,5 sekund
- čas cyklu: 52 sekund
- uzavírací síla: 1200 tun



Obr. 47: Díl C346 PODPORA PLATA 5D

4.5.1.5 HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát HOSTACOM EKC330N s odstínem satin schwarz dováží v cisternách a přečerpává se do venkovních sil č. 5 a 7. Polymer se suší minimálně 1 hodinu při 80°C v sušícím zařízení Colortronic v sušícím zásobníku č. 16 o objemu 800l.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z venkovního sila bylo provedeno v rozdílných dnech. Vysušený granulát byl měřen při teplotě 20°C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 9°C, zatímco nesusušený granulát ze sila při vnitřní teplotě 23°C a venkovní teplotě 16°C (viz tab. 15).

Tab. 15: Zbytkový obsah vlhkosti v granulátu HOSTACOM EKC 330N - satin schwarz

HOSTACOM EKC330N – odstín satin schwarz		
Teplota: uvnitř/venku	20°C/9°C	23°C/16°C
Číslo měření	Sušený při 80°C, minimálně 1 hodinu	Skladovaný ve venkovním sile
	Zbytková vlhkost [%]	
1	0,08	0,11
2	0,11	0,12
3	0,12	0,11
4	0,12	0,10
5	0,13	0,10
Průměrná hodnota	0,11	0,11

Polymer HOSTACOM EKC330N s odstínem satin schwarz ve vysušeném i nesusušeném stavu byl zpracován na stroji KRAUSS MAFFEI KM 2000 – 12000 MC a byly vystříknuté díly A7 Brüstung zadní LIM (viz obr. 48), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 230/ 230/ 230/ 230/ 230/ 230/ 230/ 215/ 210°C
- teplota HK: 32 x 230°C
- temperance formy :
 - pevná strana 40°C
 - pohyblivá strana 40°C
- čas vstřiku: 4,7 sekund
- čas dotlaku: 8 sekund

- čas chlazení: 18 sekund
- čas cyklu: 55 sekund
- uzavírací síla: 1300 tun



Obr. 48: Díl A7 Brüstung zadní LIM

Granulát HOSTACOM EKC330N v barvě natur do firmy Grupo Antolin s. r. o. přichází v oktabínech o hmotnosti 1100kg a skladuje se ve venkovním přístřešku. Suší se minimálně 1 hodinu při 80°C v sušícím zařízení Colortronic v sušícím zásobníku č. 19 o objemu 800l. Při zpracování granulátu dochází k barvení 2% MBT UCC Perlgrau přímo na stroji.

Měření vysušeného granulátu a měření nesusušeného granulátu odebraného z oktabínu bylo provedeno v rozdílných dnech. Vysušený granulát a granulát odebraný z oktabínu uvnitř haly byl měřen při teplotě 22,5°C uvnitř laboratoře a venkovní teplotě 15°C, zatímco nesusušený granulát z venkovního oktabínu při vnitřní teplotě 23°C a venkovní teplotě 9°C (viz tab. 16).

Tab. 16: Zbytkový obsah vlhkosti v granulátu HOSTACOM EKC 330N - natur

HOSTACOM EKC 330N – barva natur			
Teplota: uvnitř/venku,	22,5°C/15°C	22,5°C/15°C	23°C/9°C
Číslo měření	Sušený na 80°C, minimálně 1hodinu	Skladovaný v oktabínu uvnitř haly	Skladovaný v oktabínu ve venkovním přístřešku
	Zbytková vlhkost [%]		
1	0,09	0,11	0,13
2	0,09	0,12	0,12
3	0,11	0,12	0,13
4	0,10	0,13	0,13
5	0,11	0,13	0,12
Průměrná hodnota	0,10	0,12	0,13

Polymer HOSTACOM EKC 330N v barvě natur ve vysušeném i nesusušeném stavu byl zpracován na stroji KRAUSS MAFFEI 800 – 5000 MC a byly vystříknuté díly SK482 D SLOUPEK COMBI (viz obr. 49), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality

při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 220/ 220/ 220/ 220/ 220/ 220/ 200/ 180 °C
- teplota HK: 10 x 200 °C
- temperance formy :
 - pevná strana 30 °C
 - pohyblivá strana 30 °C
- čas vstřiku: 5,4 sekund
- čas dotlaku: 8,5 sekund
- čas chlazení: 22 sekund
- čas cyklu: 55 sekund
- uzavírací síla: 750 tun



Obr. 49: Díl SK482 D SLOUPEK COMBI

4.5.1.6 HOSTACOM XBR 169G (PP+EPDM – TD25) [19]

Do firmy Grupo Antolin s. r. o. se granulát HOSTACOM XBR 169G v odstínu marble dováží v oktabínech o hmotnosti 1100kg a je skladován uvnitř haly. Polymer se před samotným zpracováním nepředsuší.

Granulát byl měřen jen v nesusušeném stavu, jelikož firma Grupo Antolin s. r. o. tento polymer nesusí, při teplotě 22°C v laboratoři a venkovní teplotě 16°C (viz tab. 17). Zařazen do měření byl kvůli jeho vysokému obsahu talku, proto aby mohlo

dojít k porovnání obsahu vlhkosti s ostatním nesusušeným granulátem, který je také skladován v oktabínech (viz kapitola 4.6.7).

Tab. 17: Obsahu vlhkosti v granulátu HOSTACOM XBR 169G - odstín marble

HOSTACOM XBR 169G – odstín marble	
Teplota: uvnitř/venku	22 ⁰ C/16 ⁰ C
Číslo měření	Skladovaný v oktabínu uvnitř haly
	Zbytková vlhkost [%]
1	0,10
2	0,11
3	0,11
4	0,11
5	0,11
Průměrná hodnota	0,11

Polymer HOSTACOM XBR 169G byl zpracován v nesusušeném stavu na stroji ENGEL DUO 4550/1000 a byly vystříknuté díly C346 B SLOUPEK HORNÍ (viz obr. 50), které byly podrobeny vizuálnímu hodnocení povrchové kvality, při vstřikovacích parametrech:

- teploty šneku: 220 / 240 / 240 / 240 / 240 / 240 / 200 ⁰C
- teplota HK: 7 x 240 ⁰C
- temperance formy :
 - pevná strana 30 ⁰C
 - pohyblivá strana 45 ⁰C
- čas vstřiku: 4 sekundy
- čas dotlaku: 12 sekund
- čas chlazení: 20 sekund
- čas cyklu: 55 sekund
- uzavírací síla: 1000 tun



Obr. 50: Díl C346 B SLOUPEK HORNÍ

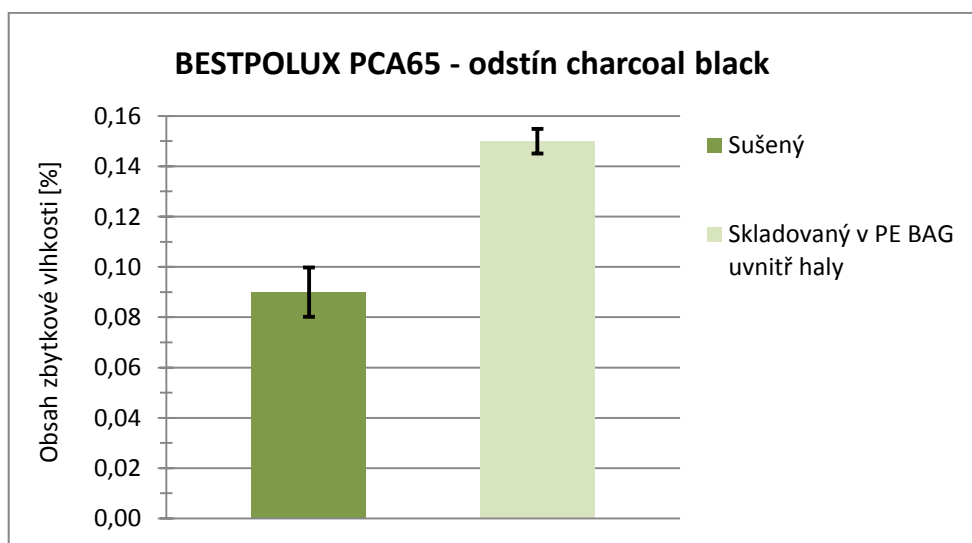
4.6 Vyhodnocení výsledků

Na základě provedeného experimentálního měření je v této kapitole popsáno, které polymery se před vlastním zpracováním nemusí sušit, a které naopak proces sušení vyžadují. Hodnocení proběhlo na základě povrchové kvality dílů, která by mohla být v důsledku vyšší vlhkosti granulátu snížena v důsledku vzniku povrchových vad (vlhkostní šmouhy, odlup povrchové vrstvy, atd.). Na závěr jsou porovnány a vyhodnoceny nesusušené polymery, které mají společný druh skladování.

4.6.1 BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS)

U směsi BESTPOLUX PCA65 patřící do skupiny málo navlhavých polymerů, u nichž se předpokládá navlhavost v rozmezí 0,1 až 0,5 %, je z naměřených hodnot vynesných do grafické závislosti patrné zvýšení zbytkového obsahu vlhkosti u nesusušeného granulátu o 66,7% oproti vysušenému (viz graf č. 2).

Graf 2: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru BESTPOLUX PCA65



Dalo by se předpokládat, že když se granulát do firmy Grupo Antolin s. r. o. dopravuje ve vakuovaných pytlích, které se plní předsušeným granulátem, že by se naměřené hodnoty neměly od sebe tolik odlišovat. Ale při manipulaci s pytli dochází k nešetrnému zacházení a tak k jejich poškození. Při protržení se do pytle dostane okolní vzduch a tím začíná navlhání granulátu uvnitř pytle až do rovnovážného stavu

navlhnutí. Potom má značný vliv na obsah vlhkosti v granulátu prostředí, ve kterém se nachází.

Díly OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO ze sušeného i nesusušeného granulátu po vystříknutí byly podrobeny vizuálnímu hodnocení oddělením kvality firmy Grupo Antolin s. r. o. Na dílech z vysušeného granulátu nebyly viditelné žádné povrchové vady, zatímco u dílů z nesusušeného granulátu byly na povrchu patrné vlhkostní šmouhy (viz obr. 51). Na základě tohoto zjištění je firma Grupo Antolin s. r. o. nucena polymer před samotným procesem vstřikování sušit, pokud nedokáže zabezpečit neporušení vakuovaných pytlů a správné zacházení s granulátem, aby nedocházelo k výše zmiňované vadě na dílech. U neporušených pytlů totiž nezáleží na prostředí, ve kterém se skladují, jelikož u nich k žádnému navlhání granulátu nedochází.

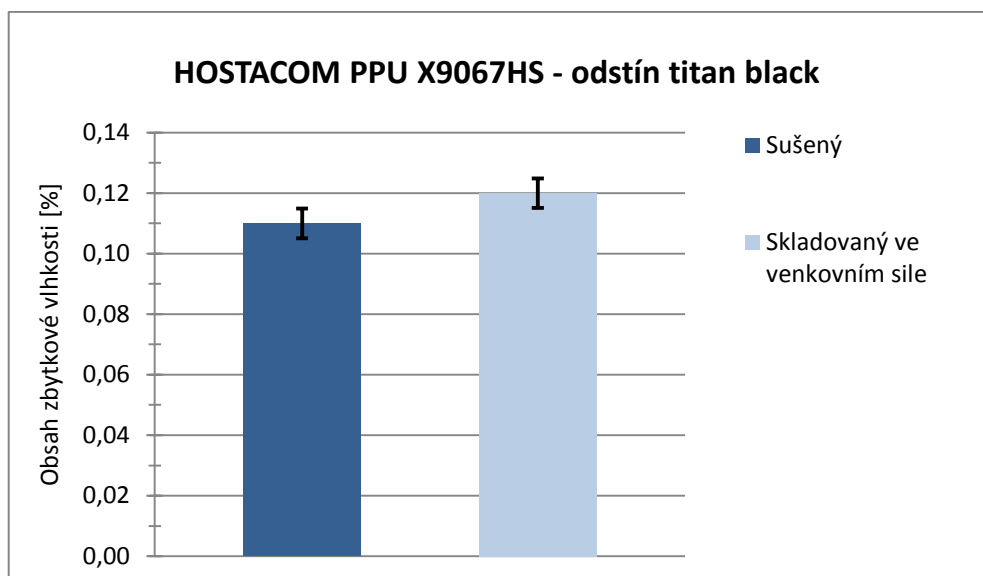


Obr. 51: Vlhkostní šmouhy na díle OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO

4.6.2 HOSTACOM PPU X9067HS (PP+PE)

U polymeru HOSTACOM PPU X9067HS řadí se do skupiny nenavlhavých polymerů, u nichž se předpokládá obsah vlhkosti do 0,1 %, je z naměřených hodnot vynesných do grafické závislosti vidět, vlivem venkovního prostředí, nárůst zbytkové vlhkosti u nesusušeného granulátu skladovaného ve venkovním síle o 9,1% oproti vysušenému granulátu (viz graf č. 3).

Graf 3: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM PPU X9067HS

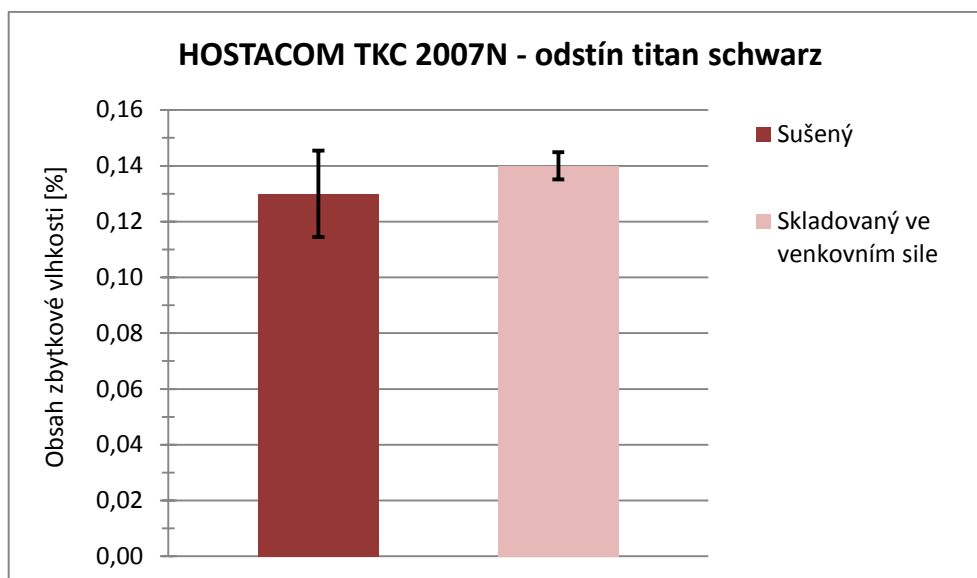


Díly VW379 OBLOŽENÍ PRAHU z vysušeného i nesusušeného granulátu po vystříknutí byly podrobeny vizuálnímu hodnocení oddělením kvality firmy Grupo Antolin s. r. o. Na dílech z vysušeného i nesusušeného granulátu nebyly viditelné žádné vzhledové vady. Z toho lze usuzovat, že firma Grupo Antolin s. r. o. může granulát přestat sušit, ale jen za předpokladu, že granulát bude zpracováván při stejných vstřikovacích parametrech, jako tomu bylo při testování a jeho maximální obsah vlhkosti před zpracováním bude dosahovat hodnoty 0,12%. Sušicí zásobník č. 9 o objemu 800l sušárny Colotronic může být pak využíván pro jiný druh granulátu.

4.6.3 HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD5)

U polymeru HOSTACOM PPU X9067HS řadí se do skupiny nenavlhavých polymerů, u nichž se předpokládá obsah vlhkosti do 0,1%, je z naměřených hodnot vynesných do grafické závislosti vidět nárůst zbytkové vlhkosti u nesusušeného granulátu skladovaného ve venkovním síle o 7,7% oproti vysušenému granulátu. Vzhledem k velké odchylce naměřených hodnot u vysušeného granulátu lze rozdíl zbytkové vlhkosti mezi vysušeným a nesusušeným granulátem zanedbat (viz graf č. 4).

Graf 4: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM TKC 2007N

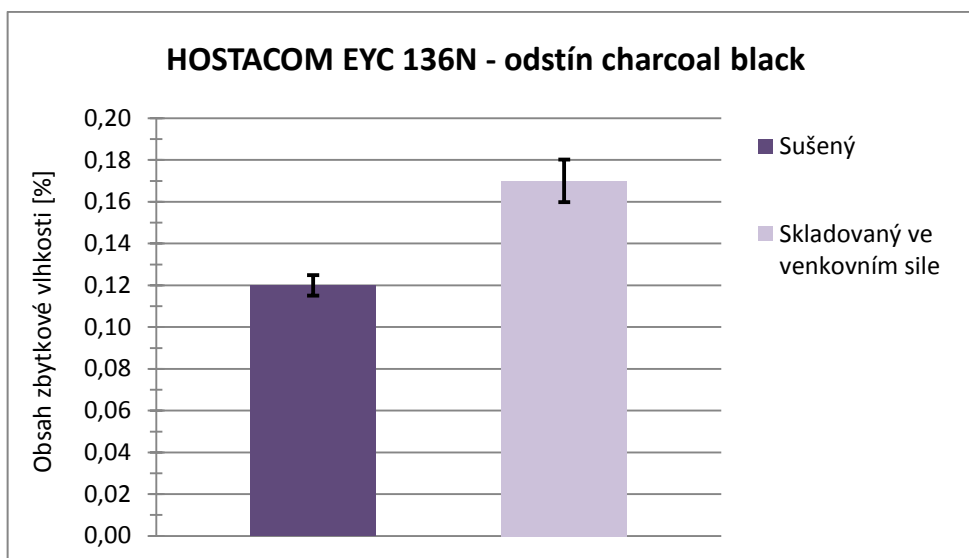


Díly B8 NOSIČ PP LŘ z vysušeného i nesusušeného granulátu po vystříknutí byly podrobeny vizuálnímu hodnocení oddělením kvality firmy Grupo Antolin s. r. o. Na dílech z vysušeného i nesusušeného granulátu nebyly viditelné žádné vzhledové vady. Na základě toho zjištění lze usuzovat, že firma Grupo Antolin s. r. o. může granulát přestat sušit, ale jen za předpokladu, že polymer bude zpracováván při stejných vstřikovacích parametrech, jako tomu bylo při testování a jeho maximální obsah vlhkosti před zpracováním bude dosahovat hodnoty 0,14%. Sušicí zásobník č. 4 o objemu 800l sušárny Moretto může být pak využíván pro jiný druh granulátu.

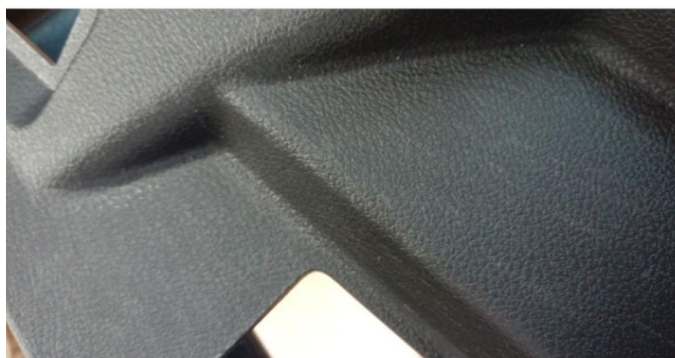
4.6.4 HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15)

U polymeru HOSTACOM EYC 136N řadící se do skupiny nenavlhavých polymerů, u nichž se předpokládá obsah vlhkosti do 0,1%, je z naměřených hodnot vyneseny do grafické závislosti vidět, vlivem venkovního prostředí, nárůst zbytkové vlhkosti u nesusušeného granulátu skladovaného ve venkovním síle o 33,3% oproti vysušenému granulátu (viz graf č. 5).

Graf 5: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EYC 136N



Díly C346 PODPORA PLATA 5D z vysušeného i nesusušeného granulátu po vystříknutí byly podrobeny vizuálnímu hodnocení oddělením kvality firmy Grupo Antolin s. r. o. Na dílech z vysušeného granulátu nebyly viditelné žádné povrchové vady, zatímco u dílů z nesusušeného granulátu byly na povrchu patrné vlhkostní šmouhy (viz obr. 52). Na základě tohoto zjištění je firma Grupo Antolin s. r. o. nucena při stejných podmínkách skladování, které byly při měření, polymer před samotným procesem vstřikování sušit, aby nedocházelo k výše zmiňované vadě na dílech.



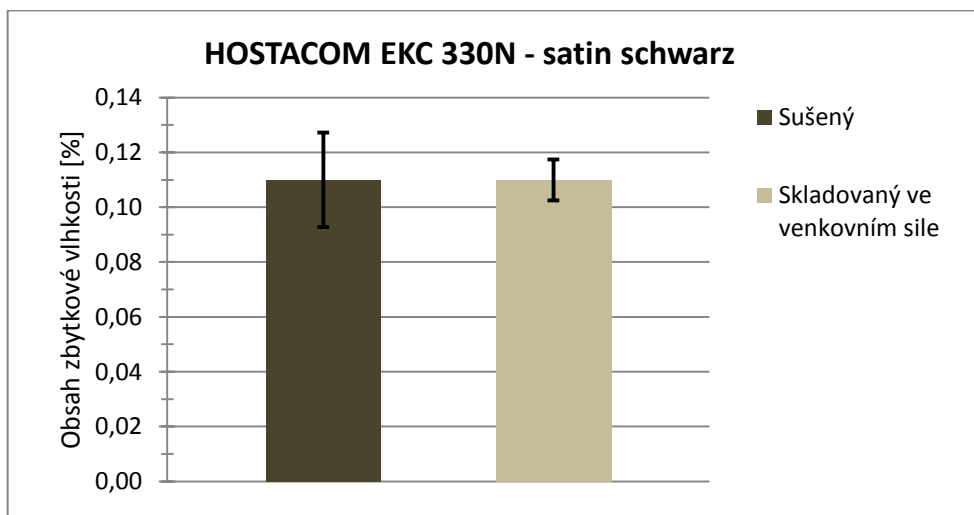
Obr. 52: Vlhkostní šmouhy na díle C346 PODPORA PLATA 5D

4.6.5 HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16)

U polymeru HOSTACOM EKC 330N v odstínu satin schwarz řadí se do skupiny nenavlhavých polymerů, u nichž se předpokládá obsah vlhkosti do 0,1%, je z naměřených hodnot vynesných do grafické závislosti vidět, že hodnota zbytkové

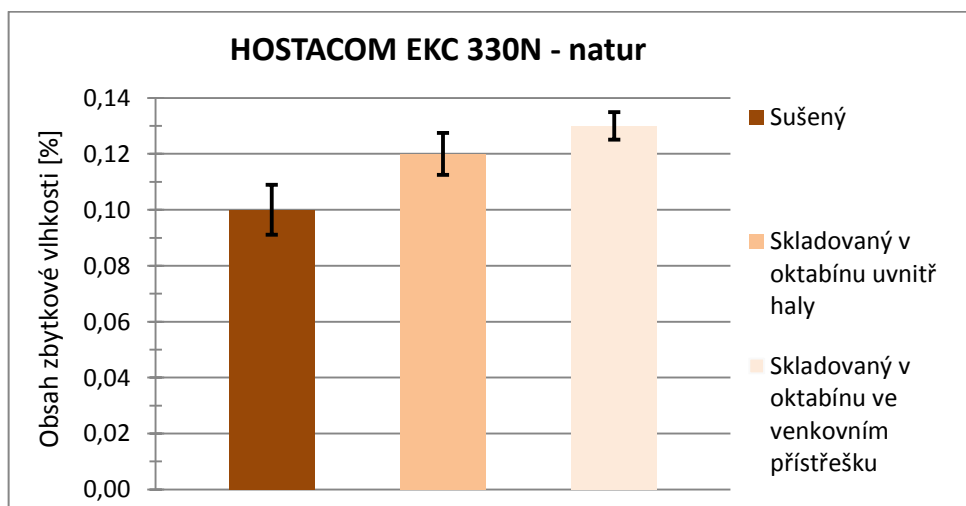
vlhkosti u nesusušeného granulátu skladovaného ve venkovním síle se rovná hodnotě zbytkové vlhkosti vysušeného granulátu (viz graf č. 6).

Graf 6: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EKC 330N – satin schwarz



U polymeru HOSTACOM EKC 330N v barvě natur řadí se do skupiny nenavlhavých polymerů, u nichž se předpokládá obsah vlhkosti do 0,1 %, je z naměřených hodnot vynesných do grafické závislosti vidět, vlivem okolního prostředí, nárůst zbytkové vlhkosti u nesusušeného granulátu oproti sušenému granulátu. U granulátu skladovaného v oktabínu uvnitř haly se hodnota zbytkové vlhkosti zvýšila o 20% v porovnání s vysušeným polymerem a u granulátu skladovaného v oktabínu ve venkovním přístřešku došlo k nárůstu zbytkové vlhkosti o 30% oproti sušenému polymeru (viz graf 7).

Graf 7: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru HOSTACOM EKC 330N - natur

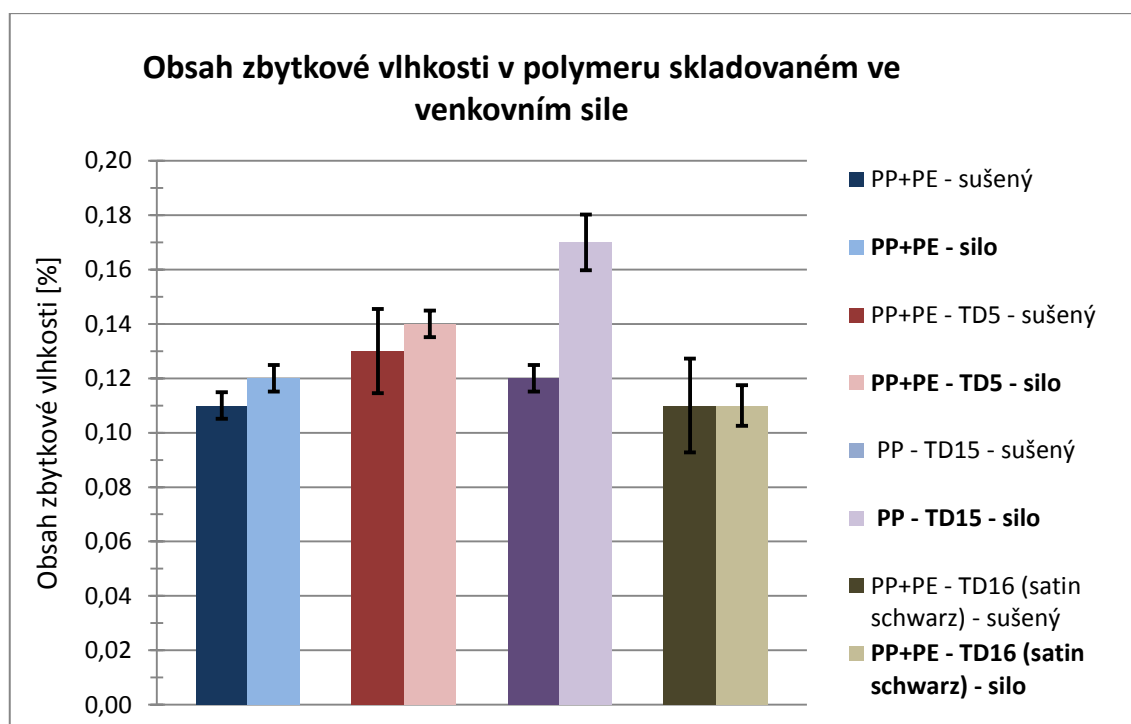


Díly A7 Brüstung zadní LIM a SK482 D SLOUPEK COMBI z vysušeného i nesusušeného granulátu byly po vystříknutí podrobeny vizuálnímu hodnocení oddělením kvality firmy Grupo Antolin s. r. o. Na dílech z vysušeného i nesusušeného granulátu nebyly viditelné žádné vzhledové vady. Na základě tohoto zjištění lze usuzovat, že firma Grupo Antolin s. r. o. může granulát přestat sušit, ale jen za předpokladu, že polymer bude zpracováván při stejných vstřikovacích parametrech, jako tomu bylo při testování a jeho maximální obsah vlhkosti před zpracováním bude dosahovat hodnoty 0,11% u odstínu satin schwarz a 0,13% u granulátu v barvě natur. Sušící zásobníky č. 16 a 19 o objemu 800l sušárny Colortronic mohou být pak využívány pro jiný druh granulátu.

4.6.6 Porovnání polymerů skladovaných v silech

Granuláty HOSTACOM PPU X9067HS [PP+PE], HOSTACOM TKC 2007N [PP+PE – TD5], HOSTACOM EYC 136N [PP – TD15] a HOSTACOM EKC 330N [PP+PE – TD16] byly skladované v sile a jejich naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu č. 8.

Graf 8: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru skladovaném ve venkovním sile

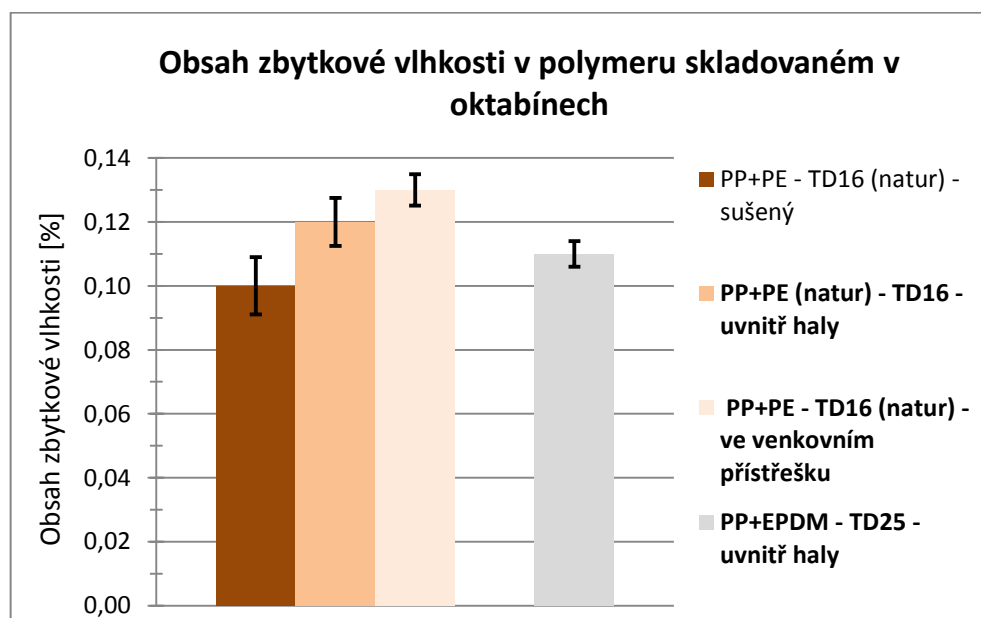


Při měření nesusušeného granulátu skladovaného ve venkovním síle bylo očekáváno, že s rostoucím obsahem talku v polypropylénové matrici poroste i obsah vlhkosti v granulátu. Z grafických závislostí (viz graf 8) je patrné, že v našem případě tomu tak nebylo. Největší obsah vlhkosti v granulátu měl polymer HOSTACOM EYC 136N který obsahuje 15% talku a naopak nejmenších hodnot dosáhl kopolymer HOSTACOM EKC 330N s největším obsahem talku (16% talku). U polymeru HOSTACOM EYC 136N mohly být vysoké naměřené hodnoty vlhkosti způsobeny špatnou šarží polymeru, kdy nedošlo při výrobě granulátu ke správnému obalení částic přísady (15 % talku) polymerní matricí a tak došlo k částečnému objemovému navlhnutí.

4.6.7 Porovnání polymerů skladovaných v oktabínech

Granuláty HOSTACOM XBR 169G [PP+EPDM – TD25] a HOSTACOM EKC 330N [PP+PE – TD16] v barvě natur byly skladovány v oktabínech buď ve venkovním přístřešku, nebo uvnitř haly a jejich naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu č. 9.

Graf 9: Obsah zbytkové vlhkosti v polymeru skladovaném v oktabínech



Při porovnání naměřených hodnot uvedených v grafu č. 9, se opět nedá říci, že by s obsahem talku v nesusušeném polymeru rostla i hodnota vlhkosti. Nejmenší hodnoty zbytkové vlhkosti v granulátu měl kopolymer HOSTACOM XBR 169G s největším obsahem talku (25% talku).

4.6.8 Souhrn výsledků s doporučením pro praxi

V této kapitole jsou shrnuté výsledky všech měřených polymerů do tabulky (viz tab. 18). Z tabulky je zřejmé, který druh polymeru je potřeba sušit před vlastním zpracováním a které sušení nevyžadují a při jakých maximálních hodnotách vlhkosti se dají zpracovávat, aby na povrchu dílu nevznikali žádné povrchové vady. Zmíněné jsou i sušící zásobníky, které mohou být uvolněny pro jiný polymer.

Tab. 18: Souhrn výsledků s doporučením pro praxi

Název polymeru	Maximální přípustná vlhkost [%]	Sušení	Vstřikovaný díl	Sušící zásobník (objem [l])
BESTPOLUX PCA65UC - charcoal black (PC/ABS)	-	ANO	OHC PŘEDKOMPLET KONZOLE LED SVĚTLO	Moretto - mob. sušárna (400)
HOSTACOM PPU X9067HS - titan black (PP+PE)	0,12	NE	VW379 OBLOŽENÍ PRAHU	Colortronic - č.9 (800)
HOSTACOM TKC 2007N - titan schwarz (PP+PE - TD5)	0,14	NE	B8 NOSIČ PP LŘ	Moretto - č.4 (800)
HOSTACOM EYC 136N - charcoal black (PP – TD15)	-	ANO	C346 PODPORA PLATA 5D	Colortronic - č.22,23 (800)
HOSTACOM EKC330N - natur (PP+PE - TD16)	0,13	NE	SK482 D SLOUPEK COMBI	Colortronic - č.19 (800)
HOSTACOM EKC330N - satin schwarz (PP+PE - TD16)	0,13	NE	A7 Brüstung zadní LIM	Colortronic - č.16 (800)
HOSTACOM XBR 169G - marble (PP+EPDM - TD25)	0,11	NE	SK482 D SLOUPEK COMBI	-

Ze všech měřených polymerů se jen u dvou druhů (PC/ABS, PP – TD15) nesusšeného granulátu objevily na dílech vlhkostní šmouhy, kde bylo doporučeno ponechat sušení granulátu před vlastním procesem vstřikování. U ostatních nesusšených polymerů může být proces sušení vynechán a tím se uvolní tři zásobníky sušárny Colortronic o objemu 800l a jeden zásobník sušárny Moretto o objemu 800l pro jiný typ polymeru.

5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo posouzení vlivu vlhkosti, v závislosti na druhu dopravy a na druhu skladování granulátu, na zpracování polypropylenů s různým obsahem talku a také na směsi polykarbonátu s akrylonitrilem – butadien - styreném pro vzhledově náročné vstřikované díly.

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývala obecnými informacemi o polymerech, dále pak o popisu příčin a důsledků navlhání termoplastů. Následně byly charakterizovány způsoby analýz obsahu vlhkosti v polymeru a popsány metody a principy sušení. Experimentální část se zabývala měřením a vyhodnocením obsahu vlhkosti vybraných polymerů v závislosti na jejich skladování, sušení a dopravě.

Měření zbytkové vlhkosti bylo provedeno jednak na materiálech polypropylenů s rozdílným obsahem talku (HOSTACOM PPU X 906 7HS bez talku, HOSTACOM TKC 2007N s obsahem 5% talku, HOSTACOM EYC 136N s obsahem 15% talku, HOSTACOM EKC 330N s obsahem 16% talku, HOSTACOM XBR 169 G s obsahem 25% talku) a také na směsi polykarbonátu s akrylonitrilem – butadien – styreném (BESTPOLUX PCA65). Téměř u každého polymeru bylo provedeno měření zbytkové vlhkosti v nesusušeném i vysušeném stavu, u něhož bylo zaznamenáno, kde se polymer skladoval (oktabín uvnitř haly nebo ve venkovním přístřešku, venkovní silo a vakuované pytle). Dále byly z vysušených a nesusušených polymerů vystříknuté díly, které byly podrobeny hodnocení povrchové kvality.

U dílů z nesusušených polymerů BESTPOLUX PCA65 (PC/ABS) a HOSTACOM EYC 136N (PP – TD15) byly na povrchu patrné vlhkostní šmouhy, které vypovídají o tom, že granulát obou polymerů musí být před vlastní zpracováním sušen. Naopak u dílů z nesusušených polymerů HOSTACOM PPU X 906 7HS (PP+PE), HOSTACOM TKC 2007N (PP+PE – TD), HOSTACOM EKC 330N (PP+PE – TD16) a HOSTACOM XBR 169 G (PP+EPDM – TD25) nebyly viditelné žádné povrchové vady. Na základě tohoto zjištění bylo firmě Grupo Antolin s. r. o. navrženo u zmíněných polymerů, kromě HOSTACOM XBR 169 G (PP+EPDM – TD25), který už se zpracovává v nesusušeném stavu, vynechání operace sušení před vlastním vstřikováním. Při realizaci návrhu by došlo k uvolnění tří

zásobníků sušárny Colortronic o objemu 800l a jednoho zásobníku sušárny Moretto o objemu 800l pro jiný typ polymeru.

Tato práce může sloužit jako první krok k tomu, aby se firma Grupo Antolin s. r. o. začala hlouběji věnovat problematice navlhání polypropylénů obsahující talek. Veškerá měření byla prováděna jen v dubnu, ale pro podrobnější náhled by bylo zapotřebí provádět tato měření během celého roku, jelikož dochází ke změnám klimatických podmínek. Při detailnějším a podrobnějším měřením by firma mohla značně uspořit náklady tím, že by nemusela zbytečně sušit polymery, které to nevyžadují.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

Seznam použité literatury

- [1] MM Průmyslové spektrum. *Plasty v automobilovém průmyslu*. [Online]. 2016 [cit. 30. 4. 2016]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Liberec: TU v Liberci, 2014, 147 s.
- [3] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. 3. vyd. TU v Liberci, 2016, 250 s. ISBN 80-7372-133-3.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Liberec: TU v Liberci, 2014, 166 s.
- [5] HARPER, C. A. *Modern plastics handbook*. [Online]. 2016 [cit. 2. 5. 2016]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/0B_3LThyJViuMRnY4MHZqYzZTSEE/view
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. *Navlhavost a sušení plastů*. TU v Liberci, výukový text (nepublikováno)
- [7] LENFELD, Petr. *Vady vstřikovaných dílů z plastu*, TU v Liberci, výukový text (nepublikováno)
- [8] Campusplastics, *Ultramid A3K*, [Online]. 2016 [cit. 24. 3. 2016]. Dostupné z:
<http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Ultramid%C2%AE+A3K/BA SF/20/268755c6/SI?pos=41>
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. nakladatelství BEN, 2009, 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [10] ČSN EN ISO 15512. *Plasty – Stanovení obsahu vody*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 28 s.
- [11] Studijní materiály, *Stanovení vlhkosti pomocí hydridu vápenatého*. [Online]. 2016 [cit. 26. 2. 2016]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c5/aquatrac.pdf
- [12] MM Průmyslové spektrum, *Snížení rizika vzniku vad při vstřikování plastových dílů*. [Online]. 2016 [cit. 26. 2. 2016]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html>
- [13] Filtry, sušiče vzduchu a plynů, *Sorbety*. [Online]. 2016 [cit. 30. 2. 2016]. Dostupné z:
<http://www.filco.cz/ostatni-technika/sorbenty/>

- [14] Grupo Antolin. [Online]. 2016 [cit. 11. 5. 2016]. Dostupné z:
<http://www.grupoantolin.com/>
- [15] Triesa. [Online]. 2016 [cit. 13. 5. 2016]. Dostupné z:
<http://www.triesa.es/productos.php>
- [16] Lyondellbasell. [Online]. 2016 [cit. 13. 5. 2016]. Dostupné z:
<https://www.lyondellbasell.com/en/products-technology/polymers/>
- [17] Moretto. [Online]. 2016 [cit. 28. 4. 2016]. Dostupné z:
<http://www.moretto.com/en/drying>
- [18] Colortonic. [Online]. 2016 [cit. 28. 4. 2016]. Dostupné z:
<http://www.motan-colortronic.com/products.html>
- [19] Interní materiály firmy Grupo Antolin s. r. o.

Přílohy

PŘÍLOHA A1

Měření zbytkové vlhkosti

BESTPOLUX PCA65UC - odstín charcoal black (PC/ABS)

Datum: 12.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO, na 110°C minimálně 4h

Teplota: uvnitř 20°C/ venku 9°C

Skladování: PE BAG 25KG, uvnitř haly

Vlhkost vzduchu: 76%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
2	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
3	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08
4	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09
6	0,07	0,09	0,08	0,09	0,09
7	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09
8	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09
9	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
10	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
11	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
12	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
13	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
14	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
15	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
16	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
17	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
18	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
19	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
20	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10

PŘÍLOHA A2

Měření zbytkové vlhkosti

BESTPOLUX PCA65UC - odstín charcoal black (PC/ABS)

Datum: 12.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 20°C/ venku 15°C

Skladování: PE BAG 25KG, uvnitř haly

Vlhkost vzduchu: 76%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,09	0,07	0,08	0,08	0,05
2	0,11	0,09	0,10	0,09	0,06
3	0,12	0,10	0,12	0,10	0,07
4	0,13	0,11	0,13	0,11	0,08
5	0,14	0,12	0,13	0,12	0,09
6	0,15	0,13	0,14	0,13	0,10
7	0,15	0,13	0,14	0,13	0,11
8	0,15	0,14	0,14	0,14	0,11
9	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12
10	0,16	0,14	0,15	0,14	0,12
11	0,16	0,14	0,15	0,14	0,13
12	0,16	0,14	0,15	0,14	0,13
13	0,16	0,14	0,15	0,14	0,14
14	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14
15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14
16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14
17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
18	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
19	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15
20	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15

PŘÍLOHA B1

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM PPU X9067HS - odstín titan black (PP+PE)

Datum: 11.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO, na 80°C minimálně 1h

Teplota: uvnitř 23°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 71%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
3	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08
6	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
7	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
8	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,11
11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12
13	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12
14	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
15	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
16	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
17	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
18	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
19	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
20	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12

PŘÍLOHA B2

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM PPU X9067HS - odstín titan black (PP+PE)

Datum: 11.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 23°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 71%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
2	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06
3	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07
4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08
6	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08
7	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09
8	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09
9	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10
10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10
11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10
12	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
13	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
14	0,11	0,12	0,12	0,10	0,10
15	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
16	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
17	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
18	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
19	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
20	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11

PŘÍLOHA C1

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM TKC 2007N - odstín titan schwarz (PP+PE-TD5)

Datum: 19.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO, na 80°C minimálně 1h

Teplota: uvnitř 21°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 62%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
2	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06
3	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
4	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08
5	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10
6	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
7	0,08	0,10	0,11	0,10	0,11
8	0,09	0,11	0,12	0,11	0,11
9	0,09	0,11	0,12	0,11	0,11
10	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12
11	0,09	0,11	0,13	0,12	0,12
12	0,09	0,12	0,13	0,12	0,12
13	0,09	0,12	0,13	0,13	0,12
14	0,09	0,12	0,13	0,13	0,13
15	0,10	0,12	0,14	0,14	0,13
16	0,10	0,13	0,14	0,14	0,13
17	0,10	0,13	0,14	0,14	0,14
18	0,10	0,13	0,14	0,14	0,14
19	0,10	0,13	0,14	0,14	0,14
20	0,10	0,13	0,14	0,14	0,14

PŘÍLOHA C2

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM TKC 2007N - odstín titan schwarz (PP+PE-TD5)

Datum: 19.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 21°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 62%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
2	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06
3	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
4	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
5	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
6	0,09	0,10	0,09	0,11	0,10
7	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
8	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11
9	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11
10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
11	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12
12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12
13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13
14	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13
16	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14
17	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14
18	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14
19	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14
20	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14

PŘÍLOHA D1

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EYC 136N - odstín charcoal black (PP-TD15)

Datum: 11.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO, na 80°C minimálně 1h

Teplota: uvnitř 23°C/ venku 16°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 71%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05
2	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06
3	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07
4	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08
5	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09
6	0,08	0,10	0,09	0,09	0,09
7	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10
8	0,09	0,11	0,10	0,10	0,10
9	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11
10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11
11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11
12	0,10	0,11	0,11	0,10	0,12
13	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12
14	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12
15	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
16	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13
17	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13
18	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13
19	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13
20	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13

PŘÍLOHA D2

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EYC 136N - odstín charcoal black (PP-TD15)

Datum: 12.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 20°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 76%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,05	0,06	0,04	0,06
2	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08
3	0,08	0,09	0,09	0,07	0,09
4	0,09	0,10	0,09	0,09	0,11
5	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11
6	0,11	0,12	0,12	0,10	0,12
7	0,12	0,13	0,12	0,11	0,13
8	0,12	0,14	0,12	0,12	0,14
9	0,12	0,14	0,13	0,12	0,14
10	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15
11	0,13	0,15	0,15	0,13	0,15
12	0,13	0,15	0,15	0,14	0,16
13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,16
14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,17
15	0,14	0,16	0,16	0,15	0,17
16	0,14	0,16	0,16	0,15	0,17
17	0,15	0,16	0,16	0,15	0,17
18	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18
19	0,15	0,17	0,17	0,16	0,18
20	0,15	0,17	0,17	0,16	0,18

PŘÍLOHA E1

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EKC330N - odstín natur (PP+PE - TD16)

Datum: 07.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO, na 80°C minimálně 1h

Teplota: uvnitř 22,5°C/ venku 15°C

Skladování: oktabín, uvnitř haly

Vlhkost vzduchu: 57%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
2	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06
3	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07
4	0,07	0,06	0,09	0,07	0,08
5	0,07	0,07	0,09	0,07	0,08
6	0,07	0,07	0,10	0,08	0,09
7	0,07	0,08	0,10	0,08	0,09
8	0,08	0,08	0,10	0,09	0,09
9	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10
10	0,08	0,09	0,11	0,09	0,10
11	0,08	0,09	0,11	0,09	0,10
12	0,08	0,09	0,11	0,09	0,11
13	0,08	0,09	0,11	0,10	0,11
14	0,08	0,09	0,11	0,10	0,11
15	0,08	0,09	0,11	0,10	0,11
16	0,08	0,09	0,11	0,10	0,11
17	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11
18	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11
19	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11
20	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11

PŘÍLOHA E2

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EKC330N - odstín natur (PP+PE - TD16)

Datum: 07.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 22,5°C/ venku 15°C

Skladování: oktabín, uvnitř haly

Vlhkost vzduchu: 57%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
2	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
3	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07
4	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08
5	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09
6	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10
7	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10
8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
9	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
12	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
13	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12
14	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12
15	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12
16	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12
17	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12
18	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13
19	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13
20	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13

PŘÍLOHA E3

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EKC 330N - odstín natur (PP+PE - TD16)

Datum: 11.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 23°C/ venku 9°C

Skladování: oktabín, venkovní přístřešek

Vlhkost vzduchu: 71%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04
2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
3	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
4	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08
5	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
7	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10
8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10
9	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11
10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11
11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11
12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11
13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
14	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
15	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
16	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12
17	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12
18	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12
19	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12
20	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12

PŘÍLOHA E4

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EKC 330N - odstín satin schwarz (PP+PE - TD16)

Datum: 18.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: ANO

Teplota: uvnitř 20°C/ venku 9°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 61%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
2	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
3	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07
4	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08
5	0,08	0,09	0,10	0,09	0,08
6	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09
7	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09
8	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09
9	0,08	0,10	0,11	0,10	0,10
10	0,08	0,10	0,11	0,11	0,11
11	0,08	0,10	0,11	0,11	0,11
12	0,08	0,11	0,11	0,11	0,11
13	0,08	0,11	0,11	0,11	0,12
14	0,08	0,11	0,11	0,12	0,12
15	0,08	0,11	0,12	0,12	0,12
16	0,08	0,11	0,12	0,12	0,13
17	0,08	0,11	0,12	0,12	0,13
18	0,08	0,11	0,12	0,12	0,13
19	0,08	0,11	0,12	0,12	0,13
20	0,08	0,11	0,12	0,12	0,13

PŘÍLOHA E5

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM EKC 330N - odstín satin schwarz (PP+PE - TD16)

Datum: 18.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 23°C/ venku 16°C

Skladování: venkovní silo

Vlhkost vzduchu: 60%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05
2	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06
3	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07
4	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07
5	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08
6	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08
7	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08
8	0,09	0,11	0,09	0,09	0,08
9	0,10	0,11	0,09	0,09	0,08
10	0,10	0,12	0,09	0,10	0,08
11	0,10	0,12	0,10	0,10	0,09
12	0,10	0,12	0,10	0,10	0,09
13	0,10	0,12	0,11	0,10	0,09
14	0,10	0,12	0,11	0,10	0,09
15	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10
16	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10
17	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
18	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
19	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
20	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10

PŘÍLOHA F

Měření zbytkové vlhkosti

HOSTACOM XBR 169G - odstín marble (PP+EPDM-TD25)

Datum: 12.04.2016

Měření: T=120°C/20min

Sušení: NE

Teplota: uvnitř 22°C/ venku 16°C

Skladování: oktabín, uvnitř haly

Vlhkost vzduchu: 76%

[min]	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5
	zbytková vlhkost v granulátu [%]				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
2	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
4	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
5	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08
6	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08
7	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09
8	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
9	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10
10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
12	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
13	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
14	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
16	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
17	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
18	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
19	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
20	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11