

WHITEPAPER

Výzkum škodlivých účinků
vlhkosti na hygroskopické
polymery a metody sušení
vláken (filamentů)



Obsah

- 01** Výzkum provedený týmem BCN3D Engineering
s 3D tiskovými vlákny se zvýšenou vlhkostí
Strana 4
- 02** Materiály a podmínky pokusů
Strana 5
- 03** Test 1: Mez tisknutelnosti
Strana 5
- 04** Test 1: Kinematika absorpce
Strana 9

Výzkum škodlivých účinků vlhkosti na hygroskopické polymery a metody sušení vláken (filamentů)

Hygroskopičnost - sklon tuhých látek k absorpci vlhkosti - je velkým nepřítelem 3D tisku. Je přirozenou vlastností téměř všech termoplastických materiálů. Dokonce i malé procento vlhkosti může negativně ovlivnit většinu tiskových strun a tím i konečný výsledek tisku.

Tento dokument zkoumá škodlivé vlivy vlhkosti na polymery a porovnává tradiční metody sušení 3D tiskových strun s účinností BCN3D Smart Cabinetu.



Voda je jednou z nejdůležitějších složek atmosféry a v závislosti na geografických faktorech a počasí může tvořit až více než 2% objemu vzduchu, který dýcháme.

Většina polymerních materiálů je ovlivněna vlhkostí tak, že ji absorbuje bez ohledu na její fyzikální stav. Proto jsou surové termoplastické materiály normálně podrobované takzvané dehydratační fázi (sušení), kdy jsou před použitím zpracovávány při vysoké teplotě. To zajistí, aby v nich nezbyla žádná voda / respektive vlhkost ve formě bublin. Bez toho mohou tyto bubliny zůstat zachycené ve struktuře polymeru a mohou způsobit vznik lokálních vad 3D výtisku. Negativně tak ovlivní estetické a mechanické vlastnosti 3D tiskem vyrobených plastových výtisků.

V závislosti na své povaze a chování v prostředí bohatém na vodu mohou být polymery charakterizované jako hygroskopické nebo nehygroskopické. Nehygroskopické materiály mají sklon k absorpci vlhkosti jen na svém povrchu, což usnadňuje její odstranění jednoduchým zahřátím. Naproti tomu hygroskopické materiály jsou schopné absorbovat velká množství vlhkosti ze vzduchu a ukládat ji hluboko ve své struktuře. Zahřívání hygroskopických plastů pomáhá odstranit vlhkost absorbovanou na povrchu, nikoli vlhkost uloženou hluboko v jejich struktuře. Proto je nezbytné hygroskopické polymery před jejich zpracováním kontrolovat a skladovat mnohem pečlivěji a uchovávat je v suchém a utěsněném prostředí.

Nejběžnější 3D tiskové struny z hygroskopických materiálů jsou PA, TPU, PVA, PET nebo ABS.

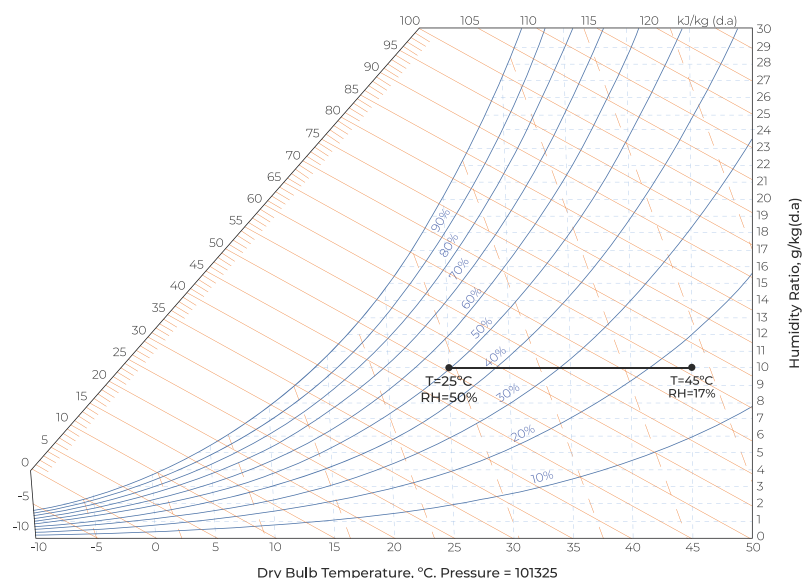
Výzkum prováděný na strunách se zvýšenou vlhkostí pro 3D tisk týmem BCD3D Engineering

Tým BCN3D Engineering prováděl výzkum vlivů vlhkosti na 3D tiskové struny se zaměřením na získání základních znalostí o tom, jak různé materiály absorbují vlhkost. Jak to ovlivňuje jejich vlastnosti a jaké jsou nejlepší metody pro jejich udržení v suchém a tím optimálním stavu pro 3D tisk. Nejdříve zkoumal charakteristiky absorpce vlhkosti u tiskových strun z PA, PVA a TPU a jejich schopnost produkovat spolehlivé konečné výsledky po snížení určité úrovně relativní vlhkosti. Toto jsou nejvíce hygroskopické materiály v našem portfoliu tiskových strun, a jsou proto nejcitlivější na nesprávné skladovací podmínky.

Psychrometrický diagram: graf a popis

Psychrometrický diagram je nejlepší způsob zobrazení vztahu mezi absolutní vlhkostí (Absolute Humidity - AH), relativní vlhkostí (Relative Humidity - RH) a teplotou (T): je tvořený vícerozměrnou projekcí těchto tří proměnných a může být významným pomocníkem pro pochopení fenoménu sušení pevných látek teplým vzduchem.

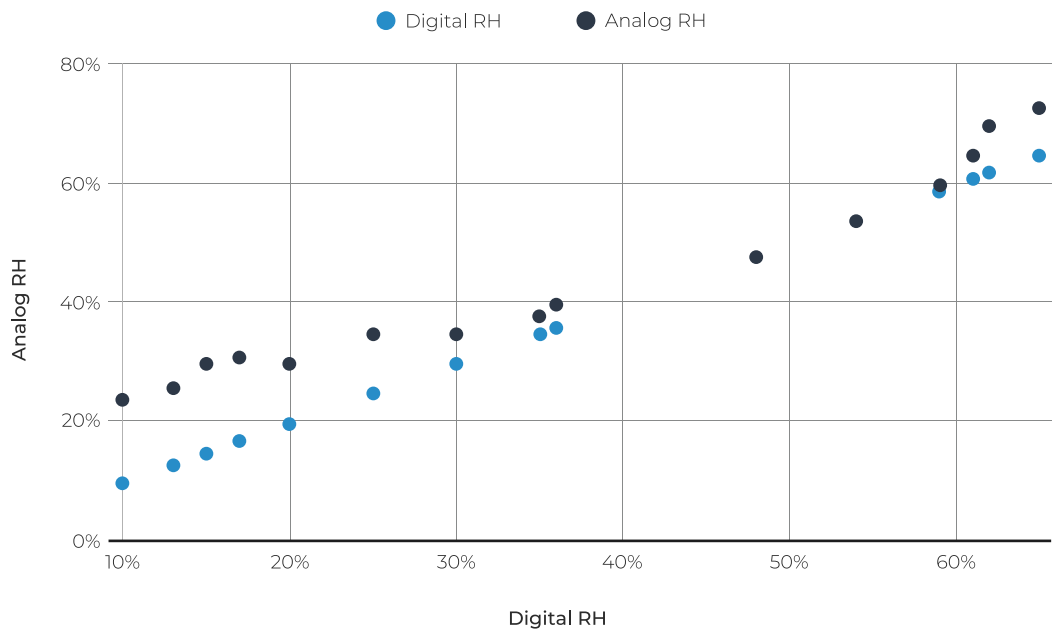
Ohřev je totiž nejsnadnějším způsobem snížení relativní vlhkosti v objemu vzduchu. To je důvod, proč se proud teplého vzduchu standardně používá k sušení potravin a šatů. Jako příklad použití psychrometrického diagramu představuje níže uvedený graf fyzikální transformaci typického atmosférického vzduchu (teplota 25°C a relativní vlhkost 50%). Při zahřátí tohoto vzduchu na 45°C se jeho absolutní vlhkost (vyjádřená v grafu jako poměr vlhkosti) nezmění, avšak relativní vlhkost systému klesne z 50% na 17% (transformace je představována vodorovnou růžovou čarou). Když je relativní vlhkost proudu vzduchu tímto způsobem snížena, jeho sušící výkon se silně zvýší: to je důvod, proč je horký proud vzduchu nejběžnějším způsobem sušení hygroskopických pevných látek, jako jsou plastové pelety a tisková vlákna, potraviny, dřevo a rostliny.



Graf 1: Psychrometrický diagram pro relativní vlhkost. Růžová čára představuje vliv ohřevu na relativní vlhkost proudu vzduchu. Zdroj: <http://www.flycarpet.net/en/PsyOnline>

Materiály a podmínky pokusů

Tým BCN3D Engineering vytvořil prostředí, ve kterém může regulovat vlhkost a stav cívek s tiskovou strunou, pro které se v tomto dokumentu používá označení vlhkostní komora. Pro měření relativní vlhkosti uvnitř komory tým používal dva hygrometry, analogový a digitální. Aby bylo možné porovnávat data získaná ze dvou různých přístrojů, prováděl se experiment se vzájemnou kalibrací a vynesemím relativní vlhkosti změřené dvěma hygrometry při různých podmínkách vlhkosti (Graf 2).



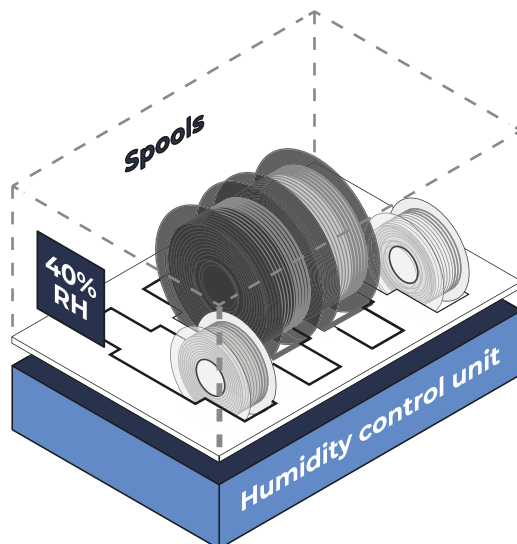
Graf 2: Hodnoty relativní vlhkosti (RH) z analogového hygrometru (AN) a digitálního hygrometru (DG) za různých podmínek. Digitální hygrometr byl používán jako dodatečná reference.

Z Grafu 2 je jasně vidět, že se křivka analogového přístroje zplošťuje u hodnot okolo 20%. Proto je možno stanovit, že jeho spodní mez použitelného rozsahu je 20% relativní vlhkosti. Uprostřed rozsahu poskytovaly oba přístroje srovnatelné výsledky. V horní části rozsahu Grafu 2 se zdá, že analogový přístroj má značnou kladnou odchylku. Tým však toto nebral v úvahu, neboť tyto datové body byly pořízeny velmi vzdáleně od rovnovážného stavu a také proto, že do systému byla přidávána voda v kapalném stavu, a čas odezvy jednotlivých přístrojů mohl ovlivnit naměřené hodnoty.

Test 1: Mez tisknutelnosti

Každý materiál reaguje na vlhkost různým způsobem. Vysoce hygroskopické plasty jsou schopné absorbovat až 10% vlhkosti v porovnání se svou hmotností. Tato absorbovaná vlhkost má negativní vliv na 3D tiskový proces, neboť vede ke vzniku estetických a mechanických vad. Z tohoto důvodu se tým BCN3D Engineering snažil o zjištění maximálního množství absorbované vlhkosti, která nebude negativně ovlivňovat tiskový proces u většiny hygroskopických materiálů dostupných v portfoliu tiskových strun BCN3D. Z těchto důvodů byly pro následující experiment zvoleny tiskové struny materiálů PA, PVA a TPU.

Otevřeli jsme novou cívku tiskové struny každého materiálu. Během noci byly usušeny a následně ponechány 4 dny v prostředí stanoveného procenta relativní vlhkosti a teploty v uzavřeném prostředí. Pro obnovení požadovaných podmínek testu byla použita hermetická vlhkostní komora: toto zařízení bylo vybaveno digitálním hygrometrem, teploměrem a přístrojem pro regulaci vlhkosti, který byl schopen uvolňovat nebo absorbovat vlhkost pro uchování komory a vybalených cívek ve stálých hodnotách relativní vlhkosti.



Obr. 1: Vnitřek hermeticky uzavřené vlhkostní komory

Po 4 dnech v komoře byly tiskové struny vyjmuty a byly použity pro tisk několika zkušebních vzorků pro posouzení poškození důsledkem vlhkosti.

Tabulka 1: Hmotnostní odchylka různých cívek materiálu po 4 dnech aklimatizace

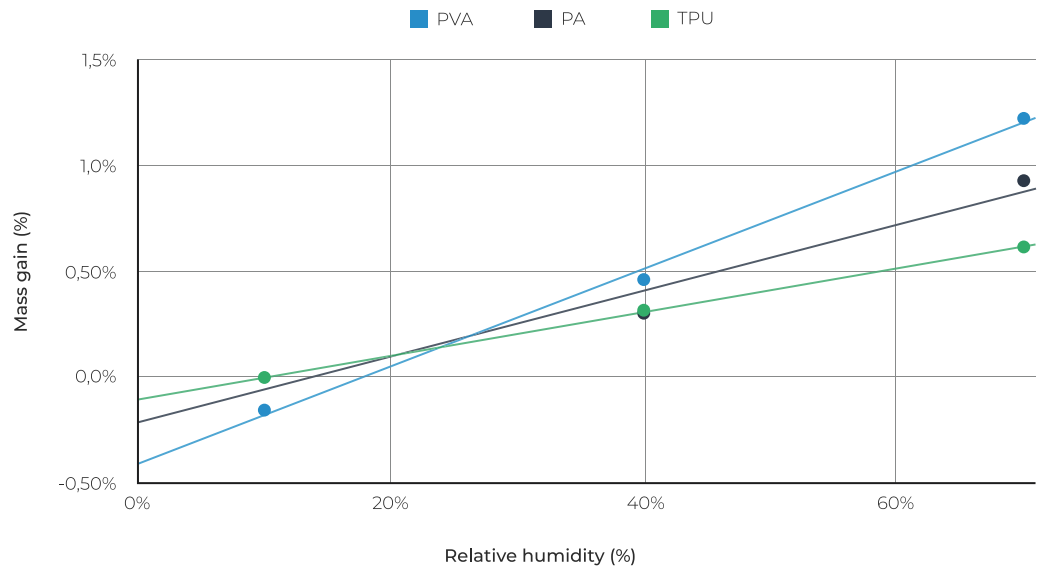
Pořadí hodnot	RH	PVA	PA	TPU
1	<10%	-0,15%	0,00%	0,00%
2	12%	0,20%	0,10%	0,11%
3	30%	0,32%	0,31%	0,32%
4	40%	0,47%	0,31%	0,32%
5	70%	1,22%	0,92%	0,61%

Tabulka 1: Změna hmotnosti různých 3D tiskových materiálů při odlišných hodnotách relativní vlhkosti.

Výsledky uvedené v tabulce 1 ukazují obsah vlhkosti v těchto cívkách pro 3D tisk, absorbované v poměru k vlhkosti v okolním prostředí. Když byly cívky uloženy v suchém uzavřeném prostředí (hodnota 1, tabulka 1), nebyl zaznamenán žádný relevantní nárůst hmotnosti, avšak když byly vystaveny vysokým hodnotám vlhkosti, cívky absorbovaly úměrně vyšší množství vlhkosti.

Jak je vidět z tabulky, vytvořil se u každého materiálu jedinečný absorpční profil: PVA je nejhygroskopičtějším z testovaných materiálů a při uložení v 70% relativní vlhkosti po dobu 4 dní absorboval ekvivalent množství vlhkosti 1,22% své původní hmotnosti. PA a TPU se chovaly podobným způsobem při vystavení nízkým hodnotám okolní vlhkosti (hodnota 1-4, tabulka 1, relativní vlhkost 10-40 %) a absorbovaly stejná množství vlhkosti. Naproti tomu absorpční schopnost TPU se zploštila nad relativní vlhkostí 40%. PA vykázal vyšší hygroskopické vlastnosti v prostředí s vysokou vlhkostí (hodnota 5, tabulka 1).

V následujícím grafu (Graf 3) jsou vidět vynesena data bodů z tabulky 1, která vykazují zvýšené hodnoty relativní vlhkosti (osa X) a nárůst hmotnosti materiálů v důsledku absorpce vlhkosti (osa Y).



Graf 3: Hmotnostní odchylka tří různých cívek materiálu po 4 dnech v prostředí s různou vlhkostí

Potom tým zahájil tisk několika modelů jednoduchých geometrických tvarů s těmito tiskovými strunami, které jsou předmětem porovnání a ověření vlivu (vystavení vlhkosti) na tiskové vlastnosti materiálů. Zkušební výtisky byly tvořené tenkostěnným válcem s hranolovitým tvarem. Tvar je ideální pro kontrolu přítomnosti bublin, prohlubní a stringování.

Tabulka 2: Výsledky zkušebních výtisků z testovaných materiálů (ovlivněné vzdušnou vlhkostí) s hodnocením kvality: Dobrá - Střední - Špatná.

Pořadí hodnot	RH (relativní vlhkost)	PVA	PA	TPU
1	<10%	Dobrá	Dobrá	Dobrá
2	12%	Dobrá	Dobrá	Střední
3	30%	Dobrá	Střední	Špatná
4	40%	Dobrá	Špatná	Špatná
5	70%	Špatná	Špatná	Špatná

Při kontrolním pokusu, kdy vlhkost byla udržovaná pod 10%, všechny cívky vytvořily kvalitní výtisky, jak je vidět na následujícím obrázku. Vytištěné vzorky nevykazují žádné faktické a estetické nedokonalosti (Foto 1; pořadí hodnot 1 z tabulky 2).



Foto 1: Zkušební výtisk z PVA, PA a TPU (Zleva doprava) po 4 dnech v relativní vlhkosti <10%.

Při 12% vlhkosti, kdy PA a PVA stále dokázaly vytvořit stejně dobré výtisky jako při předchozím pokusu, TPU již vykazoval významný stringing. To znamená, že viskozita tavení struny byla snížena přítomností vlhkosti a působila jako plastifikátor (Foto 2; pořadí hodnot 2 z tabulky 2).



Foto 2: Meze tisknutelnosti (zleva doprava), PVA při relativní vlhkosti 40%, PA při relativní vlhkosti 30% a TPU při relativní vlhkosti 12%.

PA začíná vytvářet zamlžené povrchy a vyazuje stringing při relativní vlhkosti 30%, zatímco PVA, ač je nejvíce hygroskopický, z těchto tří testovaných materiálů odolává vysokým hodnotám vlhkosti a zachovává si tisknutelnost až do relativní vlhkosti 40% (Foto 3; pořadí hodnot 4 z tabulky 2).



Foto 3: Zkušební výtisk z PVA, PA a TPU (zleva doprava) po 4 dnech v relativní vlhkosti = 70%.

Tabulka 3: Meze tisknutelnosti pro testované tiskové struny

	PVA	PA	TPU
Hygroskopičnost	Nejvyšší	Střední	Nejnižší
Odolnost špatného skladování	Vysoká	Špatná	Velmi špatná
Meze vlhkosti (4 dny)	40%	30%	12%
Meze absorpce vlhkosti	0.47%	0.10%	0.05%

Tabulka 3: Meze tisknutelnosti pro testované materiály

Tento experiment vrhá světlo na důležité informace o chování tiskových strun z PA, PVA a TPU při jejich skladování v prostředí s různými hodnotami relativní vlhkosti. Měřením množství absorbované vlhkosti byl tým BCN3D Engineering schopný označit PVA jako nejhygroskopičtější materiál, následovaný PA a nakonec TPU. Naproti tomu ale TPU, který je nejméně hygroskopický z těchto tří materiálů, je také nejcitlivější na nesprávné skladování. Zvláště TPU byl považován za nepoužitelný pro tisk při vystavení relativní vlhkosti 12% po dobu 4 dní, což odpovídalo jen 0,05 % hmotnostní absorpce vlhkosti (tabulka 3). PA vykázal schopnost absorbovat vyšší množství vlhkosti, což ho dělá hygroskopičtější než TPU. PA však byl méně citlivý na vlhkost a byl použitelný pro tisk s dobrými výsledky i při vystavení relativní vlhkosti 30% po dobu 4 dní. Naměřená mez tisknutelnosti pro PA je 10% hmotnostní absorpce vlhkosti.

PVA se ukázal jako nejhygroskopičtější tisková struna v této studii se schopností absorbovat vlhkost až 1,22% své hmotnosti, při uložení v relativní vlhkosti 70%. Při tisku PVA byly ve většině případů dosažené uspokojivé výsledky, které se drasticky zhoršovaly jen u cívky vystavené relativní vlhkosti 70%. Můžeme tedy stanovit mez tisknutelnosti PVA na 0,47 % hmotnostní absorpce vlhkosti.

Test 2: Kinematika absorpce

Druhý experiment, který tým BCN3D Engineering prováděl, byl zaměřený na zjištění vlivu času na množství vlhkosti absorbované různými materiály. Hodnota relativní vlhkosti ve vlhkostní komoře byla nastavena na 60 % pro simulaci celkem běžných podmínek, jaké se vyskytují v kanceláři nebo v domácnosti. Test spočíval v měření přírůstku hmotnosti v průběhu času u sady suchých cívek tiskové struny. Komora byla zároveň vybavena vnitřním ventilátorem pro urychlení testu a pro zajištění trvalých, zcela homogenních podmínek stavu vzduchu.

Cívky byly předsušené přes noc ve ventilované kuchyňské troubě při teplotě 70 °C. Usušené cívky pak byly umístěny ve vlhkostní komoře a jejich hmotnost byla měřena přibližně jednou za hodinu během prvního dne a každý následující den po dobu 6 dní (tabulka 4, 5).

Tabulka 4: Kinetická data pro PVA, PA, and TPU

Čas [hod]	PVA (g)	PVA %	PA (g)	PA %	TPU (g)	TPU %
0,00	709,42	0,00%	946,97	0,00%	959,67	0,00%
0,50	709,66	0,03%	947,12	0,02%	959,87	0,02%
1,00	709,80	0,05%	947,23	0,03%	960,02	0,04%
1,50	709,94	0,07%	947,37	0,04%	960,14	0,05%
2,00	710,17	0,11%	947,54	0,06%	960,27	0,06%
2,50	710,24	0,12%	947,59	0,07%	960,33	0,07%
3,00	710,48	0,15%	947,74	0,08%	960,51	0,09%
4,00	710,77	0,19%	947,95	0,10%	960,70	0,11%
5,17	711,07	0,23%	948,15	0,12%	960,92	0,13%
6,00	711,28	0,26%	948,32	0,14%	961,05	0,14%
6,92	711,49	0,29%	948,47	0,16%	961,18	0,16%
23,78	714,11	0,66%	950,53	0,38%	963,15	0,36%
27,85	714,51	0,72%	950,86	0,41%	963,4	0,39%
48,00	715,33	0,83%	951,9	0,52%	964,04	0,46%
144,00	716,09	0,94%	952,84	0,62%	964,28	0,48%
360,00	717,18	1,09%	954,69	0,82%	964,55	0,51%

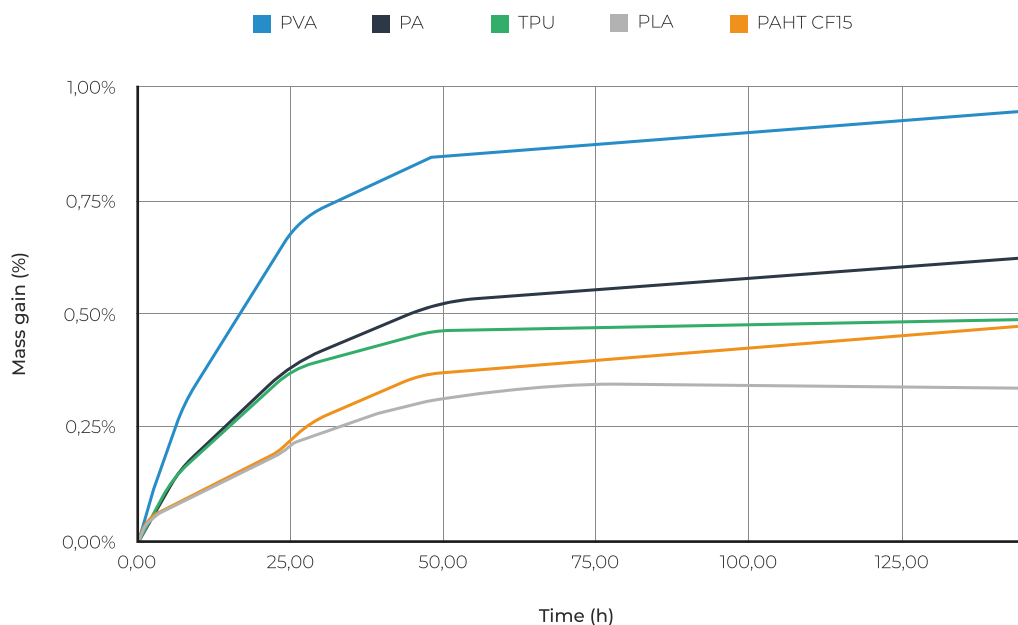
Tabulka 5: Kinetická data pro PLA and PAHT CF15

Čas [hod]	PLA (g)	PLA %	PAHT CF15 (g)	PAHT CF15 %
0,00	974,05	0,00%	700,52	0,00%
0,50	974,36	0,03%	700,76	0,03%
1,50	974,44	0,04%	700,87	0,05%
2,15	974,56	0,05%	700,92	0,06%
2,75	974,62	0,06%	700,96	0,06%
18,73	975,67	0,17%	701,66	0,16%
22,73	975,91	0,19%	701,90	0,20%
24,50	976,07	0,21%	702,07	0,22%
27,50	976,26	0,23%	702,29	0,25%
45,00	976,98	0,30%	703,02	0,36%
72,00	977,36	0,34%	703,31	0,40%
144,00	977,34	0,34%	703,8	0,47%

Tabulka 4 ukazuje, že PVA je nejhygroskopičtější materiál z pěti testovaných. Nejrychleji pohlcuje vlhkost a také nejvíce v dlouhodobém průběhu, kdy dosahuje téměř 1% nárůstu hmotnosti po 6-ti dnech. PA a TPU jsou pomalejší absorbenty. TPU je o něco rychlejší, ale jeho absorpční křivka se zploštuje dříve a dosahuje nasycení po 50 hodinách. Tento jev byl také viditelný na výsledcích testu 1. PLA rovněž dosáhl nasycení poměrně brzy - asi po 75 hodinách - a po více dnech, kdy byl vystaven vlhkosti prostředí, již nebyl zjištěn žádný nárůst hmotnosti.

Tabulka 5 ukazuje, že PAHT CF15 díky své kompozitní povaze vykázal nižší hygroskopičnost než PA a potřeboval delší čas pro dosažení stejné úrovně absorpce. Tento materiál však podobně jako PA má vysokou schopnost absorpce vlhkosti a nedosáhl nasycení v čase tohoto pokusu.

V následujícím zobrazení (Graf 5) je vidět zvýšení hmotnosti tiskových strun v závislosti na čase při vystavení stálé relativní vlhkosti 60%.



Graf 4: Zvýšení hmotnosti tiskové struny v závislosti na čase při vystavení stálé hodnotě relativní vlhkosti 60%

Z nashromážděných dat byl tým BCN3D Engineering schopen vypočítat přibližnou hodnotu absorpce s nárůstem hmotnosti o 0,05% / hod u PVA a 0,10% / hod u TPU, PA, PLA a PAHT-CF.

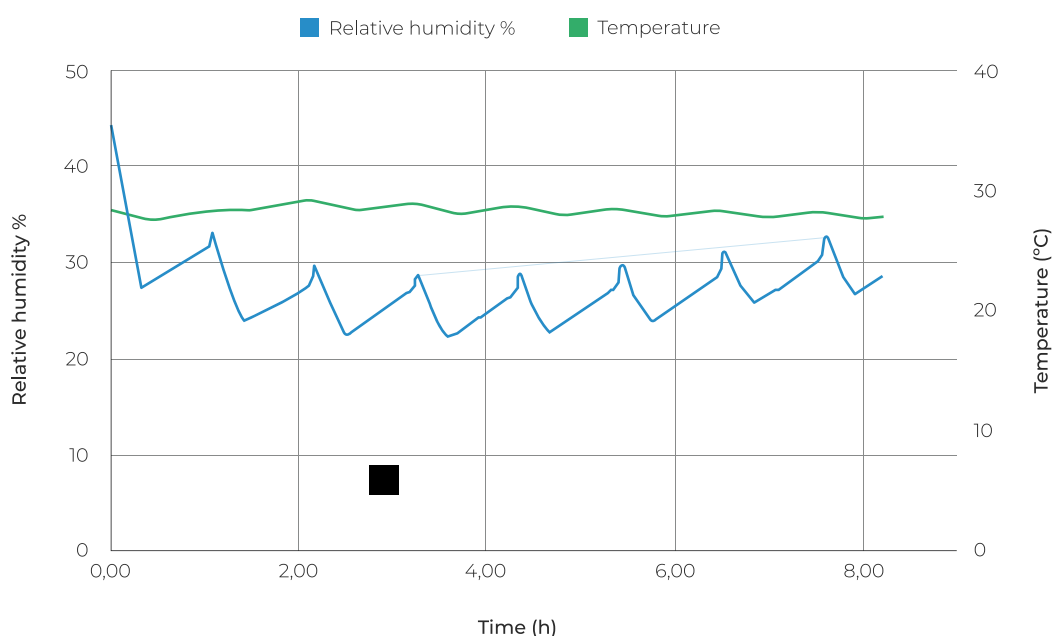
Tabulka 6: Závěry, meze tisknutelnosti a odolnosti skladování rozbaleného materiálu

	PVA	PA	TPU	PLA	PAHT
Hygroskopičnost	Nejvyšší	Střední	Nejnižší	Nízká*	Střední*
Odolnost špatného skladování	Vysoká	Špatná	Velmi špatná	Dobrá*	Špatná*
Meze vlhkosti (4 dny)	40%	30%	12%	-	-
Mezní hmotnostní absorpce vlhkosti	0.47%	0.10%	0.05%	-	-
Skladovatelnost po sušení při 60% RH	12hod	4hod	1.5hod	-	-
Přibližná rychlost absorpce (% / hod)	0.05%/hod	0.10%/hod	0.10%/hod	0.10%/hod	0.10%/hod

* Odhadovaná, netestovaná.

Tým BCN3D Engineering byl tak schopen vypočítat teoretickou skladovatelnost při relativní vlhkosti 60 % v dobře větrané místnosti pomocí dat z testu 1 a 2. Z tohoto výpočtu zjistil, že PVA vyžaduje 12 hodin pro dosažení kritického obsahu vlhkosti 0,47%, který vede k neúspěšným výtiskům (tabulka 6). U PA je tento čas nižší, tj. 4 hodiny pro dosažení jeho kritického obsahu vlhkosti 0,10%. Dle tohoto výpočtu potřebuje TPU pouze 1,5 hodiny při relativní vlhkosti 60% aby již selhal v tiskovém testu (tabulka 6). Tyto hodnoty jsou značně alarmující a ukazují, jak snadno může vlhkost a nesprávné skladování materiálů ovlivnit výsledek a konzistentnost tiskového procesu FFF 3D.

Tým také zkoumal chování materiálů uvnitř Smart Cabinetu v prostředí chráněném proti vlhkosti, jak je vysvětleno dále v tomto dokumentu. Následující graf (Graf 5) ukazuje provozní parametry prostředí Smart Cabinetu při venkovní relativní vlhkosti 55 %.



Graf 5: Smart Cabinet BCN3D udržuje vnitřní vlhkost mezi 20-35 % i při venkovní relativní vlhkosti 55 %.

BCN3D Smart Cabinet udržuje tiskové struny v prostředí s nízkou vlhkostí a významně snižuje riziko tiskových vad způsobených nadměrným obsahem vlhkosti. Jak je vidět v grafu 5, i při venkovní vlhkosti 55% Smart Cabinet zaručuje vnitřní hodnotu vlhkosti 20-35%. Uchovává tak tiskové struny ve velmi dobré kondici po celou dobu i velmi dlouhých tisků a snižuje resp. eliminuje faktické a estetické vady dosaženého výtisku.

Účinnost tradičních metod sušení tiskových strun v porovnání se Smart Cabinetem BCN3D

Existuje řada metod sušení tiskových strun, které jsou dobře známé v průmyslovém 3D tisku. Tyto metody však mají různé nevýhody, které mohou vést i k poškození vlastností polymeru.

Tradiční metody sušení tiskové struny

■ Ohřev v běžné domácí troubě

Ohřev tiskových strun v troubě může vést k vysokým nákladům za energii při doprovodném snížení pevnosti v tahu a případně i roztavení tiskové struny při příliš vysoké teplotě. Tento proces může také být velmi časově náročný.

■ Klimatizace nebo odvlhčovač

Použití klimatizace nebo odvlhčovače k sušení tiskových strun může být rovněž dosti nákladné, přičemž není dosažitelné tiskovou strunu usušit pod 40% relativní vlhkosti. Je zároveň neúčinné při nízké teplotě okolního prostředí.

■ Sušící prostředky

Hodnota relativní vlhkosti se nedá kontrolovat a tato metoda vyžaduje stálé výměny a údržbu.

■ Obecně o běžném povědomí metod sušení tiskové struny

Trvalé udržování kondice tiskových strun při zvýšené teplotě (např. v troubě), jejich sušení v dalších zařízeních bez správné kontroly často vede k vysokým nákladům na energii, nejistým výsledkům a omezené kapacitě.

Profesionální metody sušení tiskové struny

■ Adsorpční sušičky

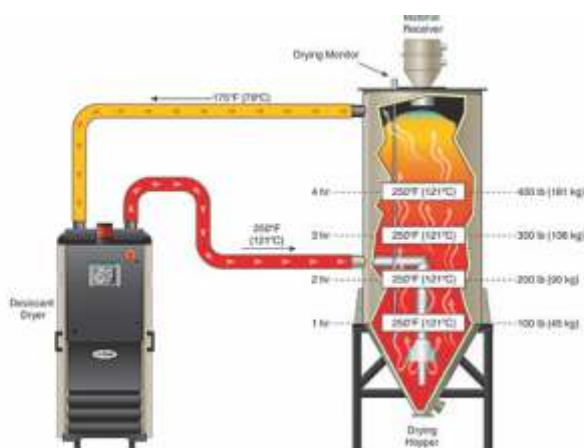
Adsorpční sušičky představují běžný způsob sušení pevných látek a polymerů, které mají sklon k pohlcování vlhkosti. Jejich způsob funkce je založený na slučitelnosti adsorpčních látek s vodou, jež účinně vážou molekuly vody ze vzduchu a značně tak snižují vlhkost vzduchu. Tyto adsorpční materiály se běžně dodávají ve formě pelet nebo kuliček a jsou vyrobené z křemíku, kysličníku hlinitého nebo speciálních jíílů, které mají schopnost absorbovat velká množství vody ze vzduchu a dají se regenerovat. Sušící proces následně zvyšuje výpar vody z okolních pevných povrchů a tím snižuje jejich celkový obsah vody. Po absorpci daného množství vody ze vzduchu je adsorpční materiál nasycen a jeho účinnost rychle klesá.

Vyjmutím adsorpčního materiálu ze zahřívací komory a zvýšením jeho teploty je možné uvolnit veškerou absorbovanou vlhkost do okolního prostředí a materiál tak regenerovat.

BCN3D Smart Cabinet pracuje právě na tomto principu se střídáním sušících a regeneračních cyklů. Udržuje tak konstantní suché prostředí okolo uskladněných cívek s materiálem a chrání jej před náhlými vnějšími změnami vlhkosti.

■ Sušící proces s horkým vzduchem

Tento jednoduchý proces je tvořený cirkulací horkého a suchého vzduchu ložem z plastových pelet. Pelety se normálně pohybují prostředky a jejich konečný obsah vody závisí na teplotě vzduchu a čase ponechání v zásobníku (obr. 2). Tento proces je nejúčinnější při použití nehygroskopických materiálů s vysokým bodem tání. Materiály jako je PLA, by byly ovlivněny tepelným sušícím procesem.



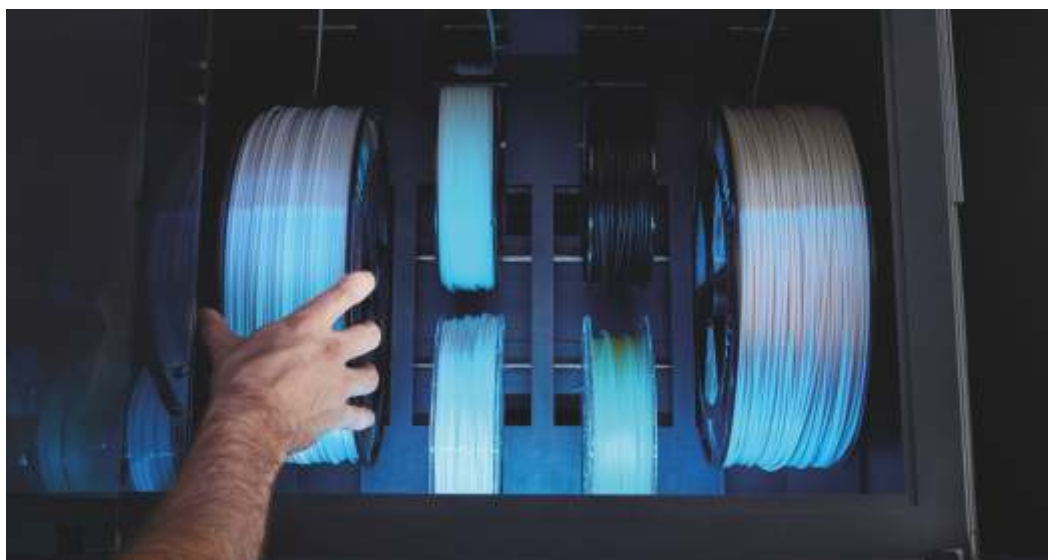
Obr. 1: Sušící proces s horkým vzduchem - zdroj:

<https://www.process-heating.com/articles/89743-monitoring-the-drying-process-in-plastics-processing>

■ Vakuový proces

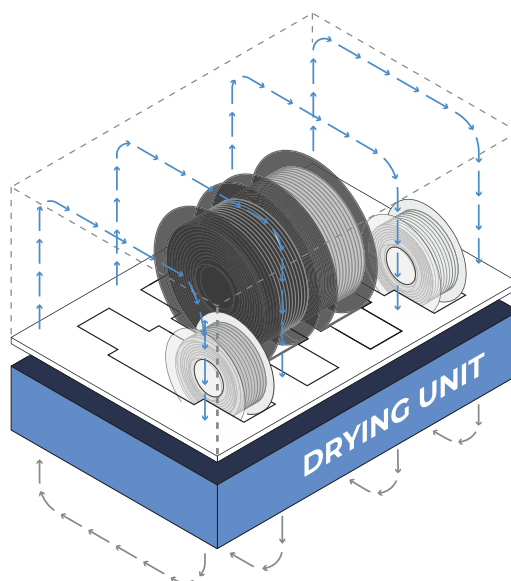
Vakuové sušení je založeno na skutečnosti, že tlak par a bod varu kapalin je závislý na okolním tlaku. Voda není žádnou výjimkou tohoto principu a i když může za normálních podmínek (25°C a 1 bar) existovat jak ve formě páry, tak i ve formě kapaliny, je možné relativní poměr obou skupenství v rovnovážném stavu regulovat teplotou nebo tlakem. Snížením atmosférického tlaku je možné snížit bod varu vody. Například při snížení tlaku na jednu desetinu normálního atmosférického tlaku (z 1,0 na 0,1 atm) klesne bod varu vody ze 100 °C na 33 °C. Tímto způsobem je možné odstraňovat kapaliny z pevných látek, aniž by je bylo nutné zahřívat. Z tohoto důvodu je vakuové sušení považováno za velmi mírný a účinný způsob snižování obsahu vody v pevných látkách. Je to také vhodná metoda pro dosažení velmi nízkého obsahu vlhkosti u vysoce hygroskopických pevných látek. Velkou nevýhodou vakuového sušení jsou však náklady na zařízení a nutnost stálé údržby, nutné pro zajištění bezpečného a dlouhodobého provozu.

BCN3D Smart Cabinet



V porovnání se všemi výše zmíněnými metodami má BCN3D Smart Cabinet nízkou spotřebu energie (průměrně 12 W / max. 100 W), přičemž dokáže udržet tiskovou strunu na hodnotách relativní vlhkosti pod 40 %, což je optimální pro většinu materiálů pro 3D tisk. Je schopný sušit až 8 malých cívek tiskové struny (750 g až 1 kg) nebo 4 velké cívky (až 2,7 kg) bez zahřívání a se zachováním pevnosti materiálu v tahu.

BCND Smart Cabinet dlouhodobě chrání tiskové struny a významně snižuje tiskové vady způsobené vlhkostí. Uvnitř použitý silika gel určený k odvlhčování prostředí absorbuje vlhkost ze vzduchu v komoře. Jakmile se nasýtí, izoluje se od prostředí materiálů. Následně se zahřeje dokud neztratí vlhkost, jež je poté odstraněna ventilací ze systému Smart Cabinet. Po usušení je silika gel regenerovaný a připravený k pohlcování další vlhkosti. Tento automatický proces účinně udržuje tiskové struny suché a v optimálním stavu pro jejich použití.



Obr. 1: BCN3D Smart Cabinet

Kromě umožnění ochrany materiálu Smart Cabinet nabízí další výhody, jako je nepřerušitelné elektrické napájení (Uninterruptible Power Supply - UPS), které chrání zařízení a práci před výpadky energie, které mohou zničit výsledek vícehodinového tisku.

Závěr

Data získaná během testu 1 byla zásadní pro pochopení hygroskopického chování tiskových strun BCN3D PA, PVA a TPU. Test umožnil klasifikovat tři tiskové struny na základě jejich hygroskopičnosti, přičemž nejhygroskopičtější je PVA, následovaná PA a TPU. I když PVA absorbovala vlhkost nejsnadněji, ukázala se jako nejméně ovlivněná tímto jevem při 3D tisku. Naproti tomu TPU, která byla klasifikovaná jako nejméně hygroskopická, nebyla schopná produkovat uspokojivé výtisky již při hmotnostním podílu vlhkosti 0,10 %.

Na základě tiskového testu můžeme stanovit maximální obsah vlhkosti pro každý materiál. Tato hodnota se dá snadno odhadnout zjištěním hmotnosti cívky po sušení a před tiskem.

Na základě tiskového testu můžeme stanovit maximální obsah vlhkosti pro každý materiál. Tato hodnota se dá opět snadno odhadnout zjištěním hmotnosti cívky po sušení a před tiskem.

Test 2 ukázal, jak rychle různé materiály pohlcovaly vlhkost v prostředí s relativní vlhkostí 60 %. Z těchto dat mohl tým BCN3D Engineering vypočítat, jak dlouho trvá každému materiálu, než se stane nepoužitelným a než je nutné další sušení před tiskem. Výsledky této studie ukázaly, jak kritické je správné skladování cívek pro estetickou a mechanickou integritu tištěného dílu. TPU je nutno věnovat zvláštní péči, neboť se ukázal jako nejcitlivější materiál ze všech týmem testovaných materiálů.

Jak vyplývá z výše zmíněných výsledků všech experimentů provedených týmem BCN3D Engineering, navlhle tiskové struny mohou zničit konečné výsledky 3D tisku a mohou také vážně poškodit některé komponenty 3D tiskárny.

Proto je zásadně důležité vždy uchovávat 3D tiskové materiály na utěsněném místě, kde je možné řídit relativní vlhkost vzduchu. K tomu se může hodit BCN3D Smart Cabinet, neboť účinně prodlužuje provozní životnost materiálů jejich uskladněním za optimálních podmínek, a to i během tiskového procesu, což vede k dosažení dokonalých výsledků 3D tisku.

Máte zájem o rozšíření svého 3D tiskového ekosystému o Smart Cabinet? Získejte ho dnes!

Maximalizace produktivity s nejuniverzálnějšími 3D tiskárnami

Pokud uvažujete o využití technologií 3D tisku do vašeho pracovního procesu, vyžádejte si své vzorky BCN3D na následujícím odkazu pro ověření výsledků tisku na profesionální FFF 3D tiskárně. Vyžádejte si bezplatný vzorek svého 3D modelu >[zde](#)

Zjistěte více o 3D tisku > [zde](#)

Chcete dostávat informace o novinkách a zkušenostech světa 3D tisku > [Ano to chci](#)

Vyžádejte si kontakt našeho specialisty pro nabídku profesionální 3D tiskárny > [Kontaktujte mne](#)

