



Návrh konstrukčního řešení ochranného krytu pro výrobu vláknenných vrstev kombinací technologií melt-blown a střídavého elektrostatického zvlákňování

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Autor práce: **Petr Hornych**
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





The proposal of design the protective cover for the production of fibrous layers by combination of melt-blown and AC spinning technology

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil

Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials

Author: **Petr Hornych**

Supervisor: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Hornych**

Osobní číslo: **T13000315**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**
Název tématu: **Návrh konstrukčního řešení ochranného krytu pro výrobu vlákných vrstev kombinací technologií melt-blown a střídavého elektrostatického zvlákňování**

Zadávací katedra: **Katedra netkaných textilií a nanovlákných materiálů**

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

1. Studujte procesní a technologické parametry procesu melt-blown a střídavého zvlákňování.
2. Vyberte parametry, mající vliv na zvlákňovací proces výše zmíněných technologií na případné zakrytování.
3. Proveďte experimentální stanovení potřebných veličin a definujte požadavky na zakrytování.
4. Zdokumentujte stávající stav zařízení a na základě experimentálních dat a definovaných požadavků navrhnete varianty řešení a vyberte vhodné provedení.
5. Realizujte vybraný návrh do podoby konstrukčního řešení.



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- 1) WANG, Yudong a Xinhou WANG. Numerical Analysis of New Modified Melt-Blowing Dies for Dual Rectangular Jets: Department of Textile Engineering, College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, People's Republic of China. DOI: DOI 10.1002/pen.
- 2) Jirsák, Oldřich a Klára Kalinová. Netkané textilie. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- 3) Pokorný, P., E. Kostakova, F. Sanetrnik, P. Mikes, J. Chvojka, T. Kalous, M. Bilek, K. Pejchar, J. Valtera, et al. Effective AC needleless and collectorless electrospinning for yarn production. Phys. Chem. Chem. Phys [online]. 2014, 16(48): 26816-26822 [cit. 2015-12-08]. DOI: 10.1039/C4CP04346D. ISSN 1463-9076.
- 4) Kovačičin, Jan. Kombinace výroby vlákněných vrstev technologií melt-blown a střídavého elektrostatického zvlákňování. Liberec, 2015. Diplomová Práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovlákněných materiálů

Datum zadání bakalářské práce: **26. března 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom 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.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

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

Datum: 10. 5. 2016

Podpis:



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ondřejovi Novákovi, Ph.D., z Katedry netkaných textilií TU Liberec, za poskytnutý čas a připomínky. Dále mé poděkování patří panu Filipovi Sanetníkovi za pomoc při praktickém experimentálním měření v poloprovozu KNT a panu Ing. Pavlovi Pokornému, Ph.D. za odbornou konzultaci na téma elektrostatického zvlákňování.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení ochranného krytu pro výrobu netkaných vlákných vrstev technologií melt-blown a elektrostatického zvlákňování pomocí střídavého proudu. Cílem práce je výběr a následná konstrukce nejvhodnějšího návrhu zakrytování, které musí splňovat předem určené podmínky.

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the project of structural solution of the protective cover for production the structural solution of the protective cover for the production of fibrous layers by application of melt-blown technology and AC spinning technology. The aim of the thesis is to choose the most suitable project of protective cover and its following construction which must fulfil given conditions.

KLÍČOVÁ SLOVA

Melt-blown, elektrostatické zvlákňování, zakrytování

KEY WORDS

Melt-blown, AC spinning, protective cover

OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	8
2. REŠERŠNÍ ČÁST.....	10
2.1. Studium procesních a technologických parametrů.....	10
2.1.1. Zvlákňovací metoda melt-blown.....	10
2.1.2. Elektrostatické zvlákňování pomocí střídavého napětí.....	14
3. Parametry zařízení ovlivňující konstrukci zakrytování a metody jejich stanovení	16
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	20
4.1. Popis použitých zařízení	20
4.2. Metoda stanovení a vyhodnocení sledovaných parametrů.....	21
4.3. Zpracování naměřených dat	23
4.4. Požadavky na vlastnosti zakrytování	29
5. NÁVRHY KONCEPTŮ	33
5.1. DOKUMENTACE AKTUÁLNÍHO STAVU	33
5.2. Návrh konceptů	38
5.3. Výběr nejvhodnějšího návrhu	42
5.4. Konstrukční návrh.....	46
5.4.1. Zakrytování	46
5.4.2. Nosná sestava	54
6. DISKUZE.....	61
7. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....	62
8. LITERATURA.....	63

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Cílem této práce je návrh konstrukčního řešení ochranného krytu pro kombinaci výroby vlákněné vrstvy pomocí melt-blown technologie a technologie střídavého elektrostatického zvlákňování. Práce obsahuje rešeršní přehled fyzikálních veličin, který je nutno brát během návrhu v potaz, a také představuje technologii melt-blown a elektrostatické zvlákňování z pohledu uspořádání, geometrie, procesních parametrů a rozměrů. Práce navazuje na již vyvinuté technologie a zaměřuje se na vhodný návrh ochranného krytu, který bude splňovat stanovená kritéria a umožní zástavbu do již použitých technologií bez větších úprav. Dalším cílem je také možnost konstrukce z unifikovaných dílů pro jednoduchost výroby a následného provozu. Vhodná je i možnost budoucích modifikací.

POUŽITÉ ZKRATKY A VÝRAZY

PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PL	Polyester
PA	Polyamid
PMMA	Polymethylmetakrylát
°C	Stupeň Celsia
K	Stupeň Kelvina
m	Metr, jednotka délky
μm	Mikrometr
m	Hmotnost
v	Rychlost
m.s ⁻¹	Jednotka rychlosti
kV	Kilovolt
f	Frekvence
Hz	Hertz, jednotka frekvence
g	Tíhové zrychlení
N	Newton, jednotka síly
Nm	Newtonmetr, jednotka ohybového momentu
J	Moment setrvačnosti
kg	Kilogram, jednotka hmotnosti
kg.m ⁻³	Jednotka hustoty
Ω·m	Ohmmetr, jednotka měrného odporu
kPa	Kilopascal, jednotka tlaku
PSI	Jednotka tlaku
Al	Zkratka hliníku
Fe	Železo
AC	Zkratka střídavého napětí
CAD	3D počítačové projektování
3D	Trojrozměrné zobrazení

2. REŠERŠNÍ ČÁST

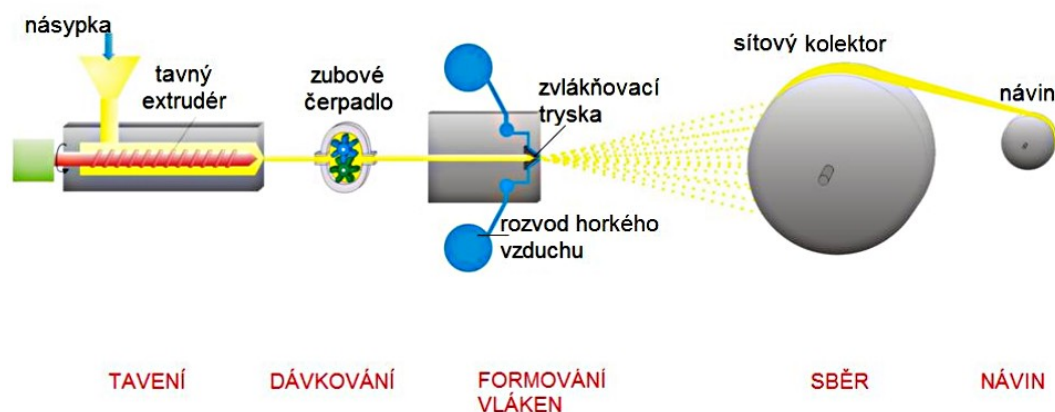
Tato část práce se zabývá studiem parametrů technologií, které jsou uvažovány pro zkombinování za účelem dosažení lepších vlastností materiálu. To vyžaduje úpravu stávajícího provedení technologie. Absence krytu vede ke značnému ovlivnění vznikající AC vrstvy zejména vlivem proudění vzduchu v okolí, které narušuje dopravu vlákenné vrstvy na kolektor.

2.1. Studium procesních a technologických parametrů

Procesní a technologické parametry jsou parametry ovlivňující samotnou metodu zvlákňování. Metoda zvlákňování melt-blown i metoda elektrostatického zvlákňování jsou citlivé na vstupní parametry zasahující do procesu technologie výroby a je tedy nutné, aby byly dodrženy veškeré technologické náležitosti pro zajištění správné funkčnosti obou zařízení.

2.1.1. Zvlákňovací metoda melt-blown

Technologie melt-blown je charakterizována svým názvem složeným z anglických slov „melt“ – tavit a „blown“ – foukat. Při této technologii vzniká netkaná textilie tvořená náhodně orientovanými vlákny. Výrobky zhotovené technologií melt-blown jsou skládány z vláken volitelných průměrů. Typickým rozměrem vláken jsou mikroválka o průměrech 2 – 4 μm . Tato vlákna se vyznačují velkým měrným povrchem, kterého je využíváno v řadě aplikací. Lze však také vyrobit vlákna standardních textilních průměrů o rozměrech 10 – 15 μm .

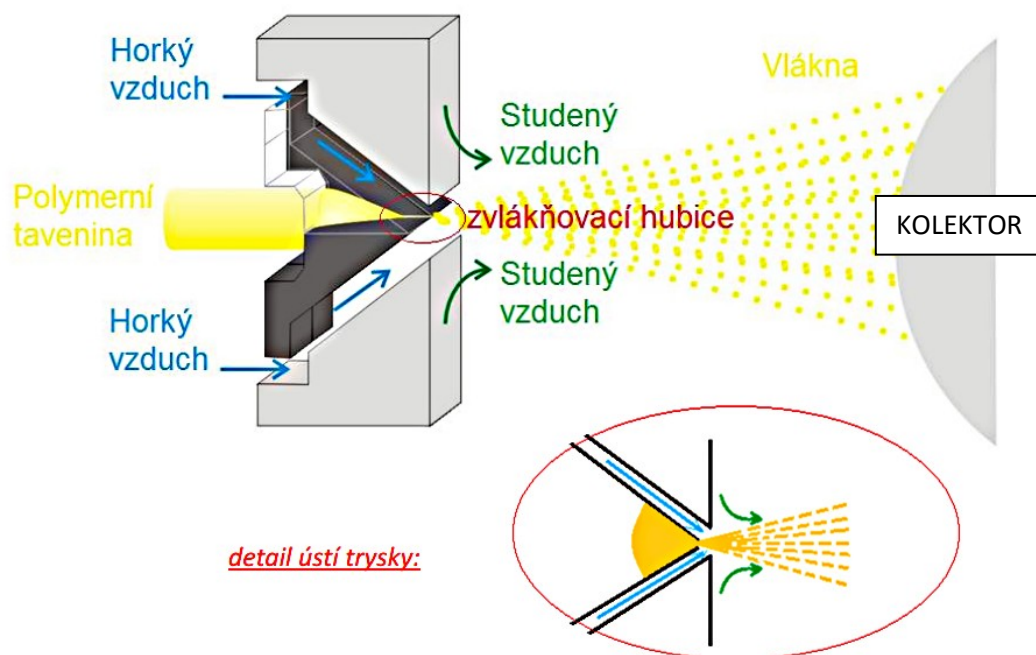


Obr. 01 – schéma výrobní linky melt-blown [01]

Výrobní proces je složen z více operací a je detailněji popsán v následujících kapitolách:

Polymer (nejčastěji ve formě granulí/kuliček) je přemístěn ze zásobníku do tavného extruderu. Zde je polymer transportován pomocí šnekového dopravníku, který je přehříván a postupně zde dochází k natavení polymeru za současného transportu ke zvlákňovací hubici.

Tvorbu vláken zajišťuje výtlačná hubice obsahující řadu zvlákňovacích trysek. Zvlákňovací trysky jsou umístěny na hraně hubice, která je ofukována horkým vzduchem ve směru vytlačované taveniny. Tavenina je proudem horkého vzduchu unášena a tažena od trysky. Tento jev způsobuje formování vlákna do jeho tvaru. Síla potřebná na odtah vlákna se zvyšuje s jeho rostoucí délkou. Během tohoto procesu dochází k postupnému a nepravidelnému dloužení, které vede až k samotnému odtržení vlákna od trysky.



Obr. 02 – schéma zvlákňovací hubice melt-blownu [01]

Održené vlákno od trysky je unášeno proudem vzduchu a transportováno na kolektor, který je konstrukčně řešen buď jako porézní buben, nebo jako pás. Plošná hmotnost textilie je ovlivněna rychlostí otáčení sběrného bubnu (rychlost odtahu podkladové textilie) a zároveň vzdáleností mezi zvlákňovací hubicí a kolektorem.

Ke zpevnění netkané textilie vytvořené nahodilým uspořádáním vláken se využívá nejčastěji kalandrování. Během tohoto procesu dojde k lokálním nebo plošným spojům a zachování soudržnosti vlákenné vrstvy.

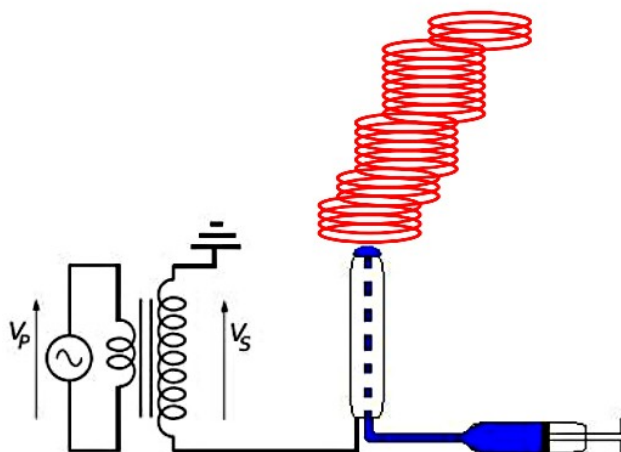
Surovinou pro tvorbu vláken pomocí technologie melt-blown je polymerní granulát. Nejpoužívanějšími polymery jsou polypropylen (PP), polyetylen (PE), polyester (PL) a polyamid (PA). Proto jsou použity polymery o nízké molekulové hmotnosti, vysoce tekuté polymery s vysokým indexem toku. Takový polymer má obvykle lineární řetězec (krátký, nerozvětvený). Tato vlastnost dovoluje rychlé a snadné urovnání řetězců ve směru toku taveniny a definuje se např. indexem toku (MFR – melt flow ratio), které lze stanovit např. dle [10] a [11].

Základními parametry pro technologii melt-blown jsou: teplota vzduchu v rozpětí 280 – 400 °C, teplota taveniny 290 – 400 °C dle použitého polymeru a rychlost proudění vzduchu dosahující v trysce hodnot 100 – 300 m/s. Těmito parametry se zabývají ve zdroji [02]. Dalšími parametry ovlivňující zvláknění jsou: rychlost výtoku polymeru v hodnotách 0,5 – 1 g/min/otvor, hmotnostní poměr mezi hmotností vzduchu a hmotností polymeru oscilující okolo hodnoty 100:1 a vzdálenost hubice od kolektoru standardně v hodnotách 0,2 – 0,6 m [03].

Procesními parametry lze ovlivňovat vlastnosti výrobku, především průměrnou jemnost a délku vláken. Technologie melt-blown je energeticky náročná, dochází k vysoké spotřebě energie zejména v ohřevu velkého objemu vzduchu a jeho transportu vysokým tlakem.

2.1.2. Elektrostatické zvlákňování pomocí střídavého napětí

Elektrostatické zvlákňování je jednou z metod, které jsou současně k dispozici pro výrobu vláknitých nanostruktur. Vyniká svou jednoduchostí a možností pro budoucí průmyslové využití. Elektrostatické zvlákňování pomocí AC proudu má obvykle dvě možnosti: zvlákňování z jehly a metodu bezjehlovou.



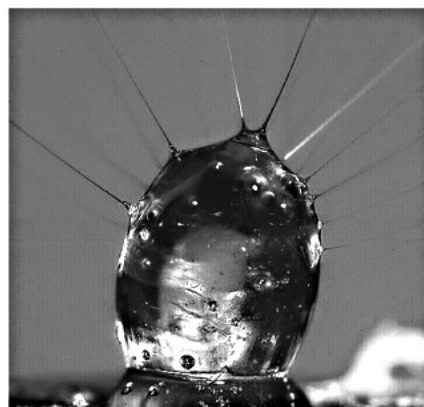
Obr. 03 – schéma AC spinningu metodou zvlákňování z tyčky [04]

Zvlákňování z jehly je omezeno produkcí v jednotkách gramů za hodinu. Tato technologie využívá napětí v rozpětí 5 – 10 kV. Bezjehlová metoda je technologie založená na tvorbě mnoha Taylerových kuželů z hladiny polymerního roztoku.

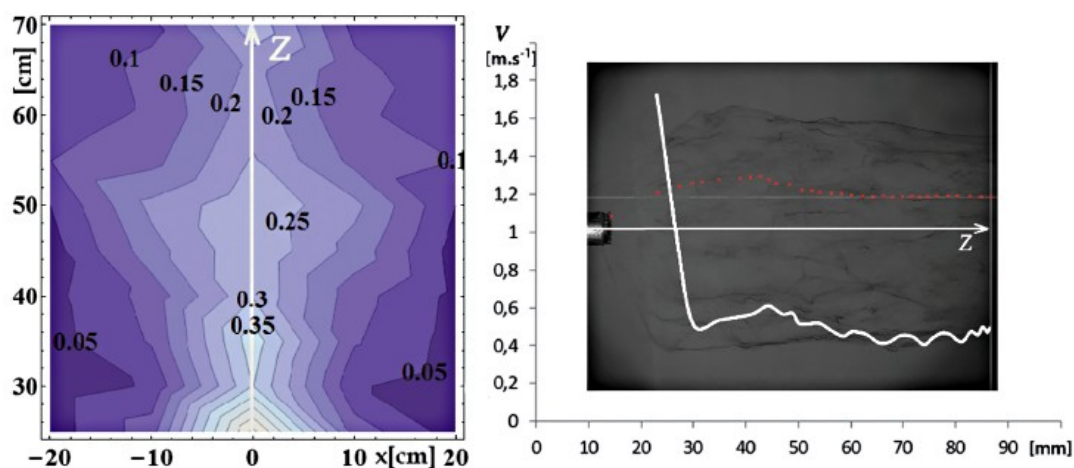
K tomuto laboratornímu postupu se využívá kovové tyčky o vhodném průměru, která je připojena k napětí a slouží jako zvlákňovací elektroda. Na vrchol tyčky je dodáván polymerní roztok pomocí čerpadla. Pro tuto technologii je použit zdroj střídavého proudu (AC) o frekvenci 50 Hz s výstupním napětím okolo 30 kV.

Ke zvlákňování není použit kolektor (druhá elektroda). Protielektroda je tvořena opakovaně dle použité frekvence v bezprostřední blízkosti zvlákňovací elektrody a je tvořena z elektricky nabitých čerstvě vytvořených nanovláken. Její náboj se mění dle použité frekvence, například při použití $f = 50$ Hz dojde ke změně polarity 50x za sekundu. Tento jev je nazýván také jako virtuální kolektor.

Rychlost odvodu vláken od elektrody je 0,25 – 0,6 m/s. Vlákna jsou unášena tzv. elektrickým větrem, který je důležitou součástí této zvlákňovací technologie. Ten zamezuje nově vytvořeným vláknům zpětnému pohybu k elektrodě. Rychlost elektrického větru je závislá na použité frekvenci AC proudu.



Obr. 04 – detail zvlákňování z polymerní kapky – [05]



Obr. 05 - grafy znázorňující rychlost elektrického větru od zvlákňovací tyčky [05]

Tvorba elektrického větru je způsobena ionty, které mají stejný náboj jako elektroda a jsou tedy od ní odpuzovány. Přitom s sebou strhávají okolní molekuly vzduchu a tím dochází k tvorbě elektrického větru. Studie a popis tohoto jevu viz.: [07].

Obr. 05 specifikuje proudění vzniklé elektrickým větrem a bude tedy spoluurčovat geometrii krytu.

Zvlákňováním pomocí AC proudu, rychlostí elektrického větru i zvlákňováním z tyčky se zabývají na Technické Univerzitě v Liberci, viz.: [05].

3. Parametry zařízení ovlivňující konstrukci zakrytování a metody jejich stanovení

Tato část obsahuje popis fyzikálních veličin a parametrů, které jsou pro tuto práci významné. Vyskytují se v části rešeršní i v části experimentální, v které jsou některé z nich měřeny. Zasahují také do návrhu konstrukčního řešení, kde představují významná kritéria pro návrh zejména geometrie zakrytování.

Rychlost

Je charakteristika pohybu sdělující změnu polohy tělesa (bodu) v čase. Je definována jako vzdálenost uražená za určitý čas.

Průměrná rychlost je definována jako celková vzdálenost uražená za jednotku času. Oproti tomu okamžitá rychlost je rychlost v daném časovém okamžiku. Časový okamžik je nekonečně krátký, proto se okamžitá rychlost vypočte jako první derivace dráhy podle času.

značka: v

základní jednotka: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

výpočet průměrné rychlosti: $v = \frac{s}{t}$

výpočet okamžité rychlosti: $v = \frac{ds}{dt}$

Rychlost proudění je rychlost proudícího média, které je ve formě tekutiny. V případě experimentální části (viz. bod 3) je médiem proudící vzduch. Rychlost vzduchu je měřitelná pomocí anemometru. Klíčovým dílem anemometru je vrtulka o velmi malé hmotnosti s několika listy a daném úhlu stoupání. Se zvyšující se citlivostí anemometru roste také požadavek na nižší hmotnost vrtulky, precizní vyvážení a velmi malé třecí odpory v jejím uložení. Detailnější popis použitého anemometru v experimentální části viz. 3. 1. Popis použitých zařízení.

Teplota

Teplota je základní fyzikální veličina SI soustavy. K měření teploty se používají teploměry. Základní jednotkou je Kelvin (K) a vedlejší jednotkou stupeň Celsia (°C). Nejnižší možná teplota je absolutní nula. Definuje se jako 0 K, ve stupních Celsia -273,15 °C.

značka: T jednotka: K
značka: t jednotka: °C

Určení teploty lze dosáhnout pomocí fyzikálních veličin, jako jsou: teplotní roztažnost, měnicí se odpor elektrických vodičů se změnou jejich teploty či elektromagnetické napětí. Teplotní roztažnost je principem funkce rtuťových a lihových teploměrů, kde je kapalina umístěna v tenké kapiláře a se vzrůstající teplotou dochází k jejímu rozpínání. To vede ke vzlínání kapaliny kapilárou a poté se již na kalibrované stupnici odečte hodnota naměřené teploty. Změna odporu vodiče s měnicí se teplotou je velmi přesnou a rychlou metodou pro určení hodnoty teploty. Se vzrůstající teplotou roste také odpor vodiče, který je měřicím zařízením zaznamenán. Tyto teploměry se nazývají teploměry odporové.

Tlak

Tlak je fyzikální veličina vyjádřená velikostí síly působící kolmo na plochu o daném obsahu. Základní jednotkou je Pascal (Pa). Vedlejšími jednotkami jsou např.: atm, psi, bar.

značka: p
základní jednotka: $Pa \rightarrow \frac{N}{m^2}$
výpočet tlaku: $p = \frac{F}{S}$

Převod jednotek tlaku		
1 Pa	$9,869 \times 10^{-6}$	atm
	$1,450 \times 10^{-4}$	psi
	$1,000 \times 10^{-5}$	bar

Tab. 1 – převod jednotek tlaku

Tlak se měří pomocí měřicího zařízení, které se nazývá manometr. Jedním z principů funkce manometru je deformace deformačního členu. Ten je buď ve formě trubice stočené do kruhu, nebo ve formě membrány. Měření tlaku je relativní nebo absolutní. Relativní měření měří rozdíl tlaku od tlaku atmosférického. Absolutní měření měří tlak celkový, včetně atmosférického tlaku. Hodnota atmosférického tlaku závisí na klimatických podmínkách a nadmořské výšce. Osciluje okolo hodnoty 0,1 MPa.

Chemická a termická odolnost

Chemická odolnost není fyzikální veličinou a musí se zjišťovat laboratorním testem. Hodnotí se pomocí tří až pěti bodové stupnice. Chemická odolnost je závislá na aktuální teplotě. Se vzrůstající teplotou chemická odolnost klesá.

Termická odolnost je schopnost materiálu dlouhodobě odolávat teplotě o dané hodnotě bez ztráty mechanických vlastností.

Elektrická vodivost

Je fyzikální veličinou vyjadřující schopnost materiálu vést elektrický proud. Udává velikost proudu procházejícího vodičem při daném napětí. Elektrická vodivost je tedy převrácenou hodnotou elektrického odporu. Základní jednotkou je Siemens.

značka: G

základní jednotka: S

výpočet vodivosti:

$$G = \frac{I}{U}$$

I - elektrický proud [A] U – napětí [V]

Tvar, teplota a rychlost proudícího média zařízení melt-blown

Dopravním médiem pro transport vláken na kolektor je proudící vzduch, který je nutný pro funkčnost melt-blownu. Rychlost vzduchu je dána použitým pracovním tlakem a konstrukcí trysky, jenž je součástí zvlákňovací hubice. Ta také určuje tvar vytvářejícího se proudění. Předpokládaný tvar proudění vzhledem ke konstrukci použité zvlákňovací hubice bude nabývat tvaru kužele, tedy bude se rozšiřovat do všech třech směrů od zvlákňovací hubice.

Teplota vzduchu na výstupu hubice se bude blížit k použité pracovní teplotě extruderu a teplotě hubice. Také vzduch je před vstupem do hubice přehříván na pracovní teplotu. Předpokladem je tedy vysoká teplota proudícího média na výstupu ze zvlákňovací hubice a jeho postupné ochlazování se zvyšující se vzdáleností od hubice.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části jsou popsána experimentální měření nutná k získání potřebných dat včetně jejich postupů, popisu vybraných zařízení a přístrojů určených k měření.

4.1. Popis použitých zařízení

Použitá zařízení jsou podrobně popsány v části 4.1. Dokumentace aktuálního stavu. Zařízení se skládá ze dvou samostatně stojících částí a to melt-blown jednotky a sběrného bubnu, který umožňuje rotačním pohybem tvorbu vláknenné vrstvy. Povrch bubnu je tvořen síťovým prodyšným materiálem, který zajišťuje správnou funkci kolektoru. AC spinning je realizován pouze vyvedením zvláknovacího zařízení, které je ve formě trysky připojené na vysokonapěťový střídavý zdroj pomocí vhodného vysokonapěťového vodiče buď ve formě kabelu, nebo pomocí měděných trubiček, které jsou snadno dostupné.

Geometrie a uspořádání zvláknovacího zařízení

Klíčovou součástí zvláknovacího zařízení je hubice o šířce 150 mm, jež je součástí zařízení melt-blown. Transportním médiem pro přenos vláken je proudící vzduch, který překonává vzdálenost mezi hubicí a kolektorem. Tato vzdálenost je na laboratorní melt-blown lince přibližně 600 mm. V tomto prostoru, mezi zvláknovací hubicí a kolektorem, bude umístěna AC elektroda vytvářející pavučinku z nanovláken. Ta bude transportním médiem unášena a mísená s vlákny vytvořených melt-blownem. Na kolektor válcového tvaru o šířce 700 mm a průměru 560 mm bude dopadat směs náhodně orientovaných vláken tvořících netkanou textilií. Rozměry jednotlivých částí linky viz.: 4.1. Popis použitých zařízení.

4.2. Metoda stanovení a vyhodnocení sledovaných parametrů

Pro správné navržení zakrytování je nutné vycházet z dat, která byla získána během experimentálního měření. Tato měření byla provedena na laboratorním melt-blownu, pro který bude zakrytování navrženo. Pro měření požadovaných charakteristik byly využity níže popsané přístroje, které umožní, vzhledem k charakteru procesu, potřebná data získat.

Byl sledován průběh teplot a rychlosti proudění vzduchu vycházejícího ze zvlákňovací hubice. Tato měření byla provedena již dříve v diplomové práci Jana Kovačičina [08], ale měření neobsahovala detailní soubor dat. Chybělo přesné určení rychlosti proudění v daném bodě dle souřadnic a také teploty proudícího vzduchu. Z tohoto důvodu bylo celé měření realizováno znovu k získání požadovaných dat.

Měření teploty vzduchu i rychlosti proudění probíhalo simultánně pro dosažení přesných výsledků. Cílem tohoto měření bylo zmapování prostoru před zvlákňovací hubicí, respektive prostoru mezi hubicí a kolektorem. Měření probíhalo v klidných laboratorních podmínkách s minimalizací proudění z okolí např. otevřenými okny, dveřmi, aby nebyly do měření vnášeny chyby.

Teplota vzduchu byla měřena pomocí digitálního měřicího zařízení značky Omegaette typ HH311 Temperature meter. Rozsah zařízení udávaný výrobcem je $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ s odchylkou měření $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

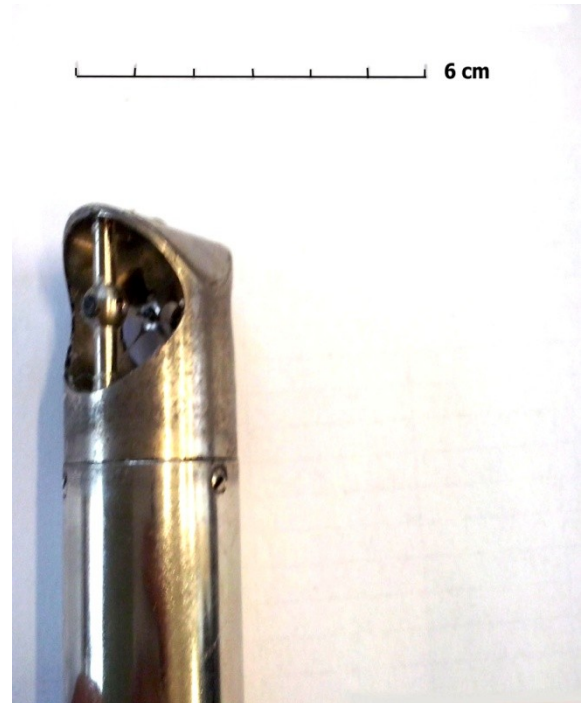


Obr. 6 – digitální teploměr HH31

Rychlost vzduchu byla měřena pomocí anemometru značky Omega typ HHF710. Součástí tohoto zařízení je sonda s vestavěnou vrtulkou, která je velmi citlivá na okolní proudění. Výrobce udaná odchylka měření je 0,01 m/s.



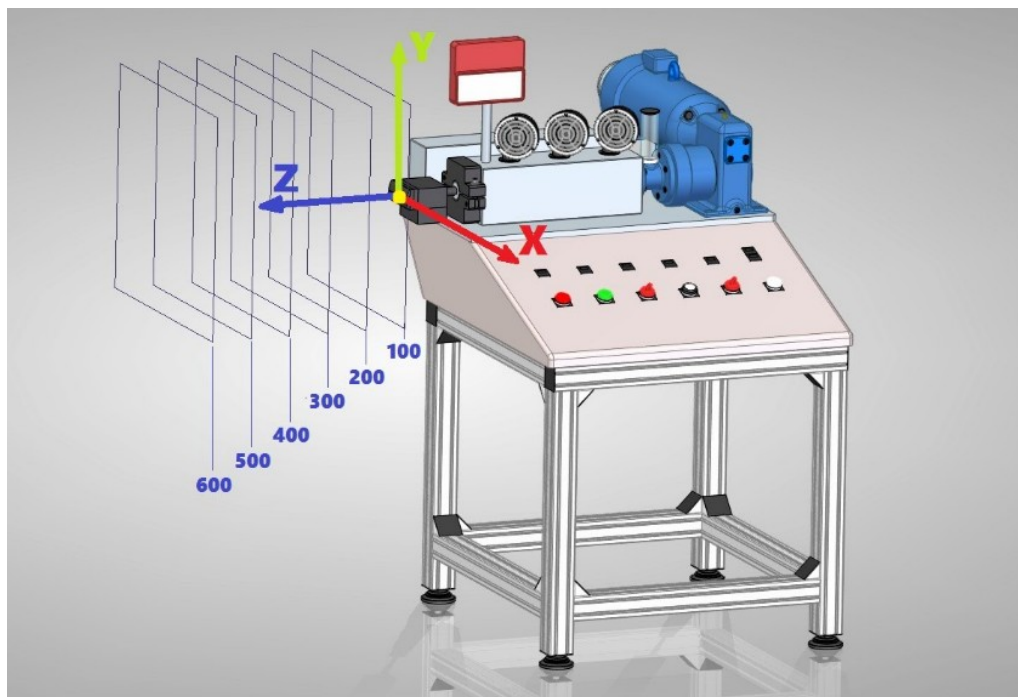
Obr. 7 – anemometr



Obr. 8 – měřící sonda anemometru

Před měřením bylo nutno v dostatečném předstihu zapnout vyhřívání melt-blownu a docílit tak požadované pracovní teploty. Tlak vzduchu byl nastaven na 21 PSI \sim 145 kPa. Okolní vlhkost vzduchu byla 34,6 % a teplota 23 °C.

Pro snadné zmapování prostoru byl použit tříosý kartézský souřadnicový systém s nulovým bodem umístěním uprostřed zvláknovací hubice (viz. Obr. 9).



Obr. 9 – souřadnicový systém

Měření bylo prováděno celkem šestkrát, vždy s posunem v Z ose o 100 mm. První měření bylo započato na souřadnicích $(0, 0, 100) - (x, y, z)$. Důvodem je vysoká teplota v bezprostřední blízkosti zvlákňovací hubice přesahující rozsah použitých měřidel a zároveň fakt, že zmapování proudění těsně před hubicí je z pohledu návrhu zakrytování irelevantní. Během měření bylo třeba neustále kontrolovat čistotu zvlákňovací hubice. Odlétávající zbytky roztaveného polymeru by mohly poškodit či znečistit sondu anemometru.

4.3. Zpracování naměřených dat

Během měření byla získaná data zapsána do tabulky. Pokud na daných souřadnicích nebyly měřitelné hodnoty proudění, nebo byla naměřena teplota okolí, pak je v tabulce místo hodnoty uveden symbol „---“. Tabulka je barevně oddělena dle změny parametru v Z ose pro zajištění vyšší přehlednosti dat. Všechna měření byla opakována 3 krát a získané výsledky jsou doplněny o směrodatnou odchylku.

X	Y	Z	t [°C]	v [m/s]
0	0	100	43,0 ± 1,3	4,5 ± 0,2
0	50		27,2 ± 1,1	---
0	100		---	---
0	150		---	---
0	200		---	---
0	-50		27,5 ± 0,7	0,3 ± 0,1
0	-100		---	---
0	-150		---	---
0	-200		---	---
50	0		48,0 ± 1,1	4,2 ± 0,3
100	0		24,5 ± 0,6	---
150	0		---	---
200	0		---	---
-50	0		47,6 ± 0,8	4,3 ± 0,2
-100	0		24,0 ± 1,3	---
-150	0		---	---
-200	0		---	---
50	50		26,5 ± 0,6	---
100	100		---	---
150	150		---	---
200	200		---	---
-50	-50		26,7 ± 1,2	---
-100	-100		---	---
-150	-150		---	---
-200	-200		---	---
50	-50		28,5 ± 0,3	1,5 ± 0,4
100	-100		23,0 ± 0,6	---
150	-150		---	---
200	-200		---	---
-50	50		26,0 ± 0,9	---
-100	100		---	---
-150	150		---	---
-200	200	---	---	
0	0	200	36,5 ± 1,3	6,6 ± 0,2

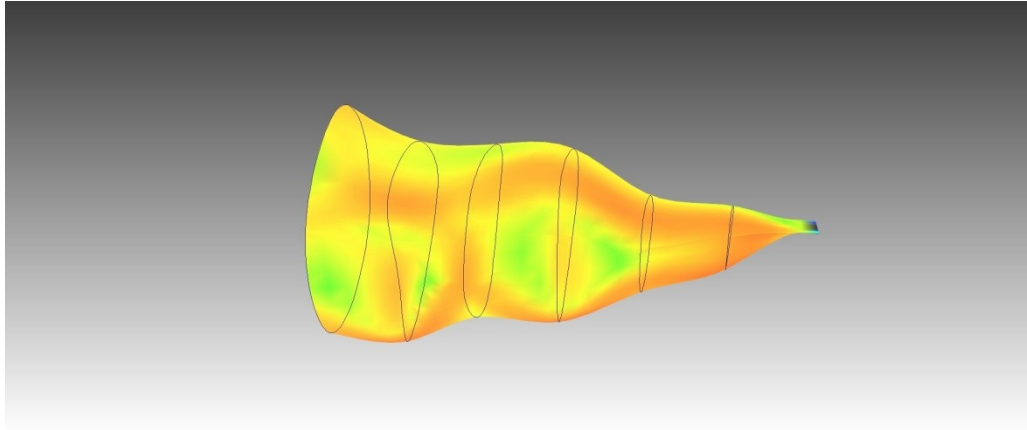
0	50		$24,5 \pm 1,0$	---
0	-50		$38,8 \pm 1,2$	$10,1 \pm 0,3$
0	-100		$28,9 \pm 0,7$	$11,7 \pm 0,4$
0	-150		$25,1 \pm 0,6$	---
50	0		$36,5 \pm 0,8$	$4,2 \pm 0,3$
100	0		$25,3 \pm 1,1$	---
-50	0		$37,2 \pm 1,0$	$4,3 \pm 0,2$
-100	0		$24,9 \pm 0,4$	---
50	50		$26,5 \pm 0,6$	---
-50	-50		$25,6 \pm 0,5$	$3,9 \pm 0,2$
-50	-100		$24,7 \pm 1,2$	---
50	-50		$28,1 \pm 0,6$	$1,1 \pm 0,2$
100	-100		$23,0 \pm 0,8$	---
-50	50		$25,0 \pm 1,3$	---
0	0	300	$35,0 \pm 0,4$	$6,9 \pm 0,4$
0	50		$27,9 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,1$
0	100		$25,3 \pm 0,5$	---
0	-50		$35,6 \pm 0,9$	$9,7 \pm 0,5$
0	-100		$27,5 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,3$
0	-150		$25,5 \pm 0,6$	$0,4 \pm 0,1$
50	0		$36,1 \pm 0,7$	$4,7 \pm 0,4$
100	0		$25,0 \pm 1,1$	---
-50	0		$24,4 \pm 1,3$	$1,2 \pm 0,2$
50	50		$28,5 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,3$
100	100		$25,2 \pm 0,8$	---
-50	-50		$26,7 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,2$
-100	-100		$23,0 \pm 0,6$	---
50	-50		$30,2 \pm 1,1$	$2,1 \pm 0,3$
100	-100	$23,0 \pm 0,2$	---	
-50	50	$24,7 \pm 0,4$	---	
0	0	400	$33,2 \pm 0,7$	$5,8 \pm 0,5$
0	50		$28,2 \pm 0,6$	$2,1 \pm 0,2$
0	100		$25,2 \pm 0,2$	---
0	-50		$34,1 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,4$
0	-100		$28,5 \pm 0,6$	$4,2 \pm 0,3$

0	-150		$25,5 \pm 0,3$	$0,9 \pm 0,2$	
0	-200		$23,0 \pm 0,4$	---	
50	0		$35,5 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,4$	
100	0		$25,9 \pm 0,5$	$0,4 \pm 0,1$	
-50	0		$27,8 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,2$	
-100	0		$23,5 \pm 0,2$	---	
-50	-50		$23,0 \pm 0,3$	---	
50	50		$28,5 \pm 0,6$	$1,8 \pm 0,2$	
100	100		$25,5 \pm 0,7$	---	
50	-50		$36,0 \pm 1,3$	$6,8 \pm 0,5$	
100	-100		$25,5 \pm 0,6$	$0,4 \pm 0,2$	
-50	50		$25,5 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,1$	
0	0		500	$30,7 \pm 1,1$	$4,6 \pm 0,4$
0	50			$27,3 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,2$
0	100	$24,5 \pm 0,6$		---	
0	-50	$31,2 \pm 0,4$		$5,9 \pm 0,3$	
0	-100	$31,5 \pm 1,2$		$5,8 \pm 0,3$	
0	-150	$29,2 \pm 0,8$		$4,4 \pm 0,2$	
50	0	$32,0 \pm 0,9$		$3,8 \pm 0,4$	
100	0	$27,8 \pm 1,0$		$0,9 \pm 0,2$	
150	0	$24,1 \pm 0,7$		---	
-50	0	$27,5 \pm 0,4$		$2,1 \pm 0,3$	
-100	0	$24,2 \pm 0,6$		$0,5 \pm 0,1$	
-50	-50	$23,7 \pm 0,3$		$0,4 \pm 0,2$	
-100	-100	$23,0 \pm 0,2$		---	
50	50	$28,9 \pm 0,5$		$1,5 \pm 0,3$	
100	100	$24,5 \pm 0,5$		---	
50	-50	$33,7 \pm 0,9$		$4,6 \pm 0,5$	
100	-100	$25,0 \pm 0,3$		$0,8 \pm 0,2$	
-50	50	$25,4 \pm 0,8$		$1,1 \pm 0,3$	
-100	100	$24,1 \pm 0,4$		---	
0	-200	$26,0 \pm 0,6$		$1,7 \pm 0,3$	
0	0	600	$29,5 \pm 0,3$	$5,1 \pm 0,4$	
0	50		$27,4 \pm 0,7$	$2,4 \pm 0,3$	
0	100		$25,2 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,1$	

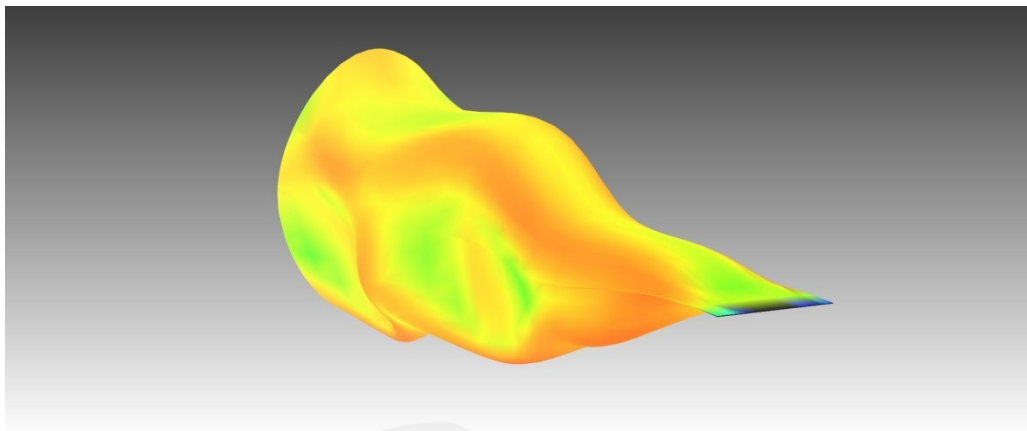
0	-50		$31,1 \pm 0,6$	$5,9 \pm 0,4$
0	-100		$28,2 \pm 0,6$	$5,0 \pm 0,4$
0	-150		$26,1 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,2$
0	-200		$23,8 \pm 0,7$	$0,8 \pm 0,3$
0	-250		$23,0 \pm 0,5$	---
50	0		$31,8 \pm 0,3$	$5,1 \pm 0,4$
100	0		$29,3 \pm 0,6$	$2,1 \pm 0,2$
150	0		$25,1 \pm 0,5$	---
200	0		---	---
-50	0		$25,9 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,1$
-100	0		$24,2 \pm 0,5$	$0,8 \pm 0,2$
-150	0		$23,0 \pm 0,5$	---
-50	-50		$26,2 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,3$
-100	-100		$23,5 \pm 0,3$	$0,4 \pm 0,2$
-150	-150		$23,0 \pm 0,5$	---
50	50		$28,1 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,3$
100	100		$24,4 \pm 0,8$	---
150	150		$23,0 \pm 0,2$	---
50	-50		$30,7 \pm 0,4$	$4,1 \pm 0,4$
100	-100		$26,1 \pm 0,6$	$1,1 \pm 0,3$
150	-150		$23,0 \pm 0,5$	---
-50	50		$25,8 \pm 0,4$	$1,9 \pm 0,3$
-100	100		$23,5 \pm 0,7$	---
-150	150		$23,0 \pm 0,2$	---

Tab. 2 – naměřená data

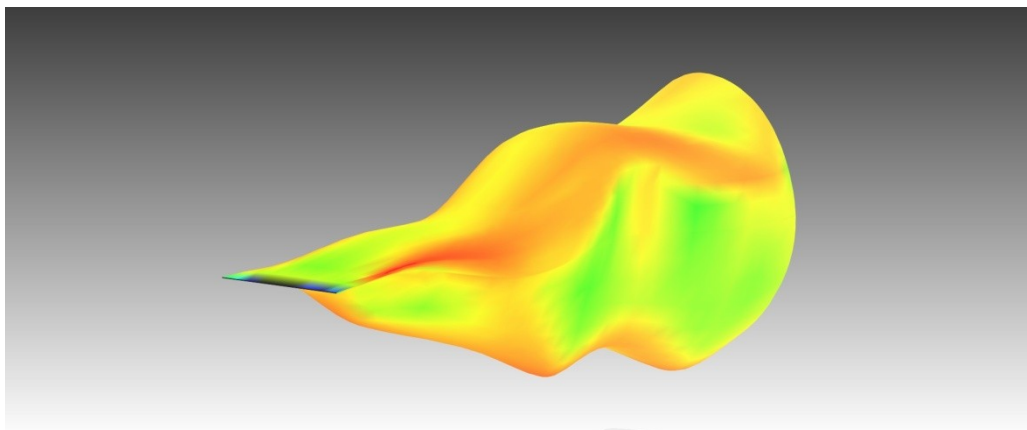
Pomocí naměřených dat bylo zmapováno proudění mezi zvlákňovací hubicí a kolektorem. Z těchto dat byl vytvořen 3D model znázorňující velikost a tvar proudícího vzduchu. Nejprve bylo zhotoveno šest skic. Každá skica je tvořena daty z dané Z hladiny (100 – 600 mm). Těchto nově vytvořených šest skic bylo poté spojeno funkcí „tažení profilů“ pro získání kompletního 3D modelu. Na daný model byla posléze použita funkce „analýza zešíkmení“ pro zvýraznění nerovností v daném proudění.



Obr. 10 – 3D model proudění se znázorněnými skicami

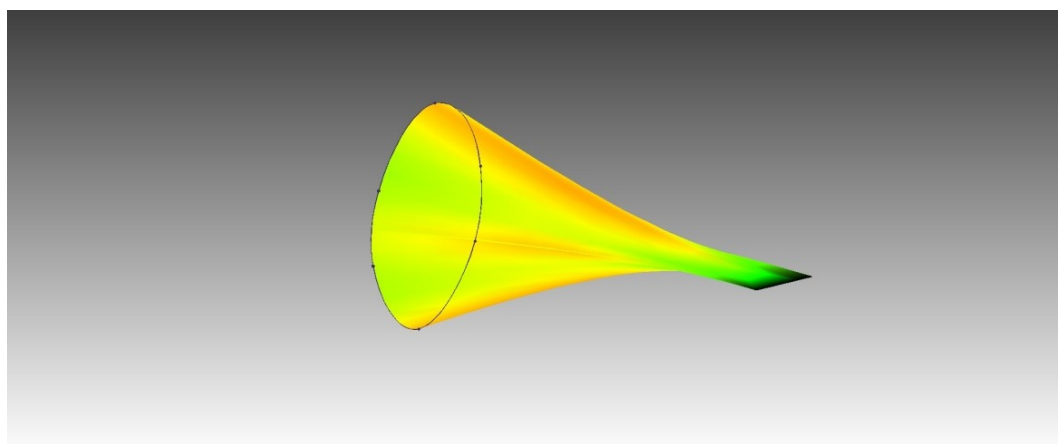


Obr. 11 – 3D model proudění



Obr. 12 – 3D model proudění

Na předchozích snímcích (Obr. 10 - 12) je vidět jistá nerovnoměrnost proudění. Tento jev může být způsoben metodou měření, kdy bylo měřeno v Z ose po 100 mm a poté byly jednotlivé skici plynule spojeny. Druhou a také pravděpodobnější možností je omezený rozsah měřidla, respektive požadavek na minimální počáteční rychlost proudění, která je nenulová. Výrobce použitého anemometru udává citlivost 0,01 m/s, avšak během experimentální části byl zpozorován fakt, že proudění pod 0,3 m/s bylo neměřitelné. Dosažená citlivost anemometru je ale pro naše použití dostačující a 3D model zhotovený z naměřených dat vhodně poslouží k určení rozměrů zakrytování.



Obr. 13 – vyhlazený model proudění se zachováním koncového profilu

4.4. Požadavky na vlastnosti zakrytování

Na zařízení je kladeno velké množství požadavků, které lze rozdělit např. na geometrické, materiálové a další. Z hlediska použitých materiálů jsou důležité především tyto informace a to:

Materiálové parametry

Elektrostatické zvlákňování používá rozpouštědla, která mohou být agresivní a mohou poškodit povrch a strukturu konstrukčních materiálů. Zařízení navíc pracuje s taveninami polymerů a k dloužení využívá extrémně horký vzduch, proto je nutné, aby použité konstrukční materiály měly odpovídající termickou odolnost. Vzhledem k tomu, že do zakrytování bude implementována elektroda připojená na vysoké napětí, je nutné zajistit galvanické oddělení od zbytku konstrukce, aby nemohlo dojít k úrazu vysokým napětím během provozu a zároveň případnému

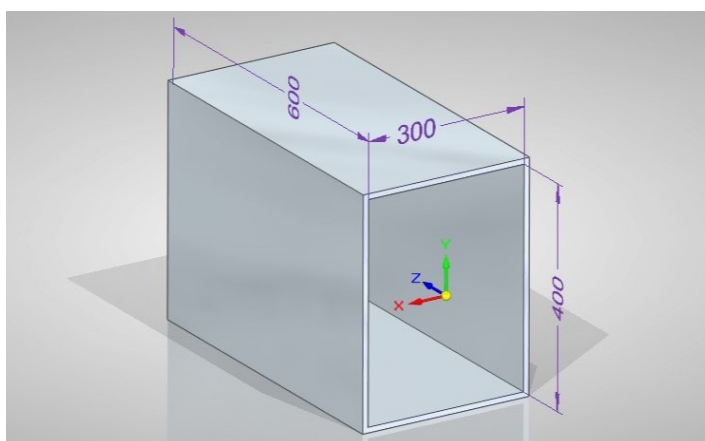
poškození ostatních elektronických součástí. Tyto požadavky budou řešeny vhodnou volbou materiálu.

Geometrické požadavky

Z analýzy tvaru proudění vyplývá, že požadovaný minimální vnitřní rozměr zakrytování by měl splňovat požadavky dle tab. 2.

Předpokládané parametry zakrytování			
Parametr	Osa	Hodnota	Jednotka
Šířka	X	300	mm
Výška	Y	400	mm
Délka	Z	600	mm

Tab. 2 – minimální parametry zakrytování



Obr. 14 – minimální parametry zakrytování

Konstrukční a technologické parametry

Vlastnosti budoucí konstrukce související s konstrukčními a technologickými parametry budou řešeny podrobněji a budou předmětem výběru optimálního konstrukčního návrhu.

Změna průřezu v obou rovinách

Zařízení MB je schopno pracovat za různě vysokých tlaků vzduchu, což ovlivňuje výsledný tvar proudění. Je zřejmé, že nižší tlak povede k nižším rychlostem proudění a tím i zmenšení jeho průřezu. Měření proběhlo při maximálním

pracovním tlaku a tím bylo dosaženo maximálního možného průřezu proudění. V případě menších pracovních tlaků je vhodné, aby průřez zakrytování byl zmenšen. **Z toho důvodu je vhodné navrhnout zařízení tak, aby jeho rozměry byly variabilní a umožnily dostatek prostoru pro budoucí modifikace.**

Snadná změna umístění AC elektrody

Tvar proudění v Z ose se mění a s ním i jeho rychlost. Kvalita výsledné vrstvy kombinující obě technologie bude záviset na poloze AC trysky v Z ose. Vzhledem k tomu, že přesná pozice není známá, **je vhodné navrhnout takový způsob umístění trysky, který by umožňoval variabilní pozici vzhledem k Z ose.**

Možné budoucí modifikace

Umístění teplotních čidel, použití vysokorychlostních kamer, montáž pomocných ventilátorů či větrných deflektorů pro dosažení cílených změn proudění vzduchu s ohledem na zachování funkčnosti změny průřezu. **V případě potřeby by zakrytování mělo umožnit zvlákňování AC ve směru gravitace nebo naopak.**

Výroba z běžně dostupných polotovarů

Pro zajištění snadné výroby je žádoucí **využití běžně dostupných polotovarů**. Zastoupení výrobce na českém trhu = nízká cena dopravy, krátká doba dodání, dostupnost servisu pro případ poškození dílů.

Snadná manipulace při změně průřezu

Je žádoucí, aby změna průřezu zakrytování nevyžadovala použití nástrojů, použití velkých sil, časovou náročnost a byla realizovatelná v co nejmenším počtu obsluhujících osob.

Dostatečná tuhost konstrukce

Je nutné, aby konstrukce vykazovala dostatečně velkou **tuhost pro bezproblémovou změnu průřezu bez rizika poškození konstrukce.**

Transparentnost zakrytování

Optimalizace procesu kombinování technologií MB + AC vyžaduje vizuální kontrolu, která může být zajištěna pouze v případě, že alespoň **některé části**

konstrukce budou transparentní. Je také vhodné umožnit umístění např. kamery či fotoaparátu pro získání obrazu a jeho dalšího zpracování např. pomocí obrazové analýzy. Zakrytování umožní oddělení zvlákňovacího prostoru od záznamového zařízení a tím jeho ochranu před vysokou teplotou, elektrickým napětím, rozpouštědly, taveninami apod.

Profesionalita provedení

Volba konstrukce by měla zajistit vysokou mechanickou a termickou odolnost, čistý způsob provedení, pevné rozebíratelné spojení a vysokou životnost sestavy.

Nízká výrobní cena

Je důležitým parametrem zejména u hromadné výroby. V případě kusové výroby by však neměla být klíčovou vlastností. Je však důležité ji při výběru vhodné varianty zohlednit.

Zamezení kumulace vlákně vrstvy

Konstrukční řešení předpokládá možnost dostatečného prostoru eliminující záchyt vláken na vnitřní stěny zakrytování. Zároveň je navrženo bez zbytečných příčných hran, výstupků apod.

Nenáročnost konstrukce na její výrobu

Navržené řešení by mělo **splňovat minimální nároky na náročné technologické operace** nebo použití speciálních nástrojů či zařízení.

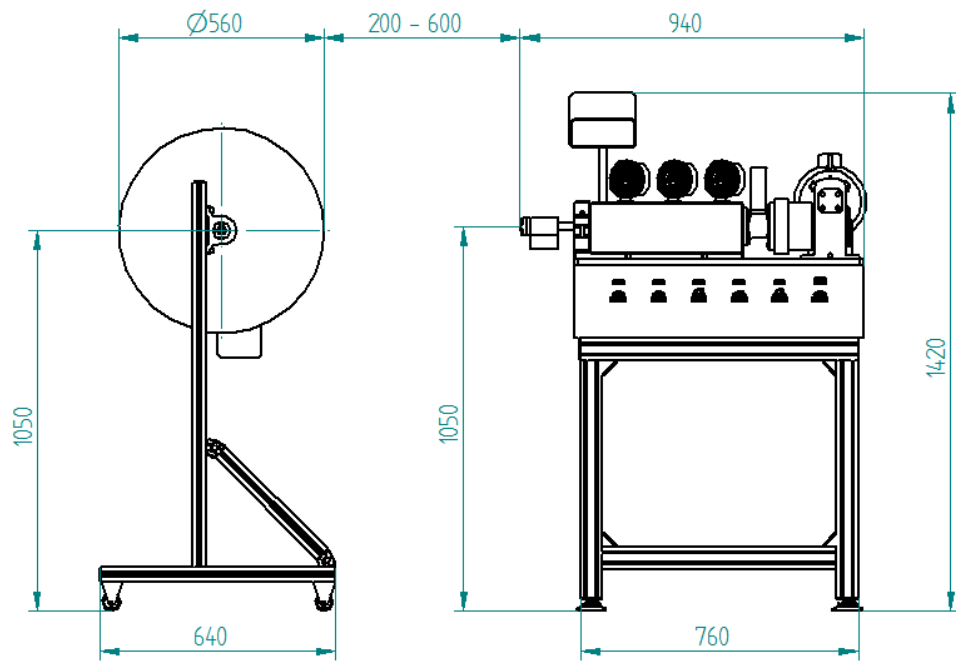
5. NÁVRHY KONCEPTŮ

Základem pro návrh konceptů je zdokumentování aktuálního stavu výrobní linky umístěnou v poloprovozu KNT, na kterou bude zakrytování aplikováno. Poté jsou navrženy jednotlivé konstrukční koncepty, které jsou vyhodnoceny pomocí znaménkové metody pro výběr nejvhodnější konstrukce vhodné k dalšímu zpracování.

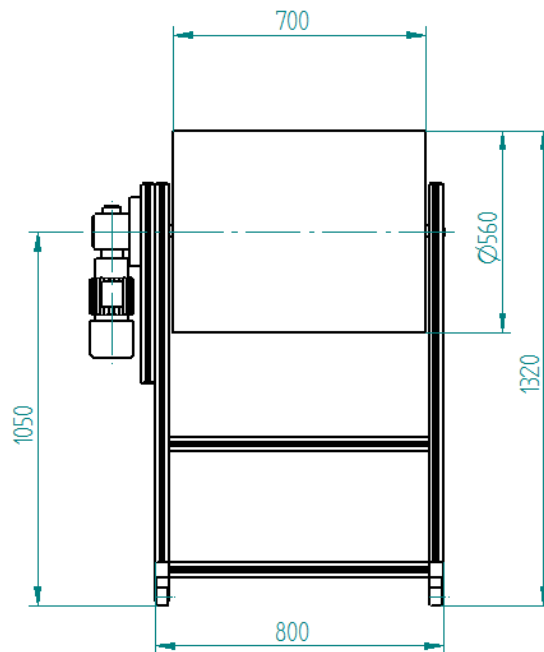
5.1. DOKUMENTACE AKTUÁLNÍHO STAVU

Jedním z bodů zadání bylo provedení dokumentace současného stavu výrobní linky (používaných technologií melt-blown a AC spinningu). Zdokumentování bylo řešeno vytvořením 3D modelu. Za tímto účelem byla provedena potřebná měření všech rozměrů zařízení a jejich částí a na jejich základě vznikly 3D modely. To je nutné z důvodu pevného spojení zakrytování s ostatními částmi linky. Musí tedy respektovat jejich geometrii a rozměry. Strojní zařízení je virtuálně zkresleno v 3D CAD programu Solid Edge ST6. Pro autentičnost celého projektu byla zpracována vizualizace (render) všech strojních zařízení. Veškeré zařízení je detailně zpracováno dle reálné předlohy včetně dodržení všech zásadních rozměrů tak, aby byla tato data využitelná při návrhu zakrytování.

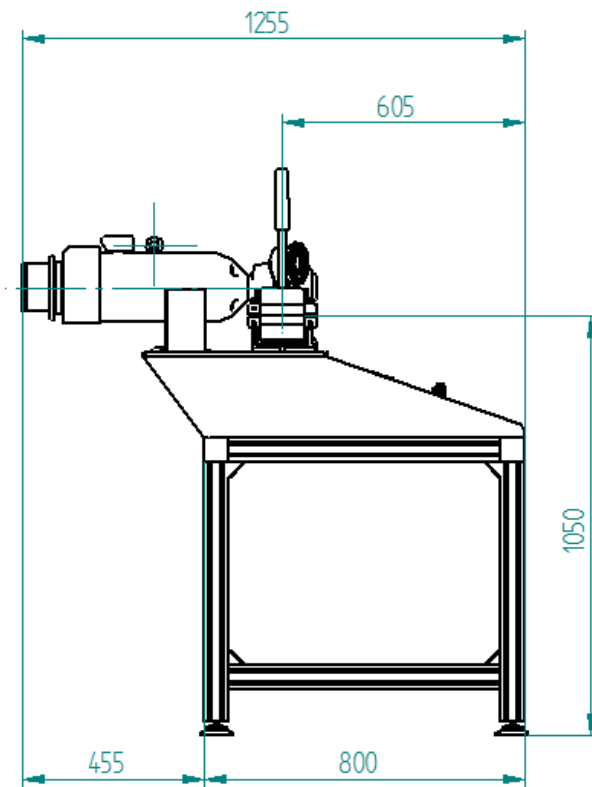
Základní rozměry melt-blown linky určené k aplikaci ochranného krytu jsou zobrazeny na následujících obrázcích (Obr. 15 – Obr. 21) včetně jejího uspořádání a geometrie.



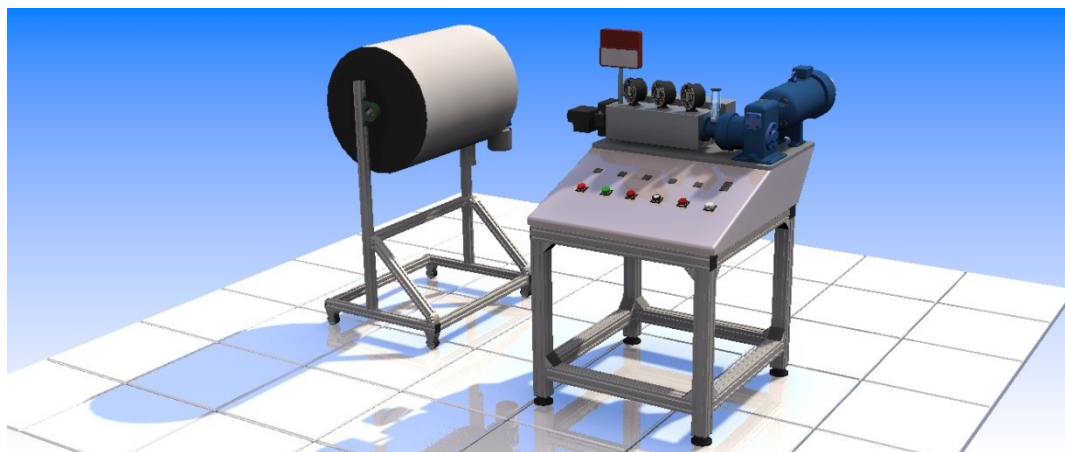
Obr. 15 – rozměrový nárys výrobní linky melt-blown včetně kolektoru



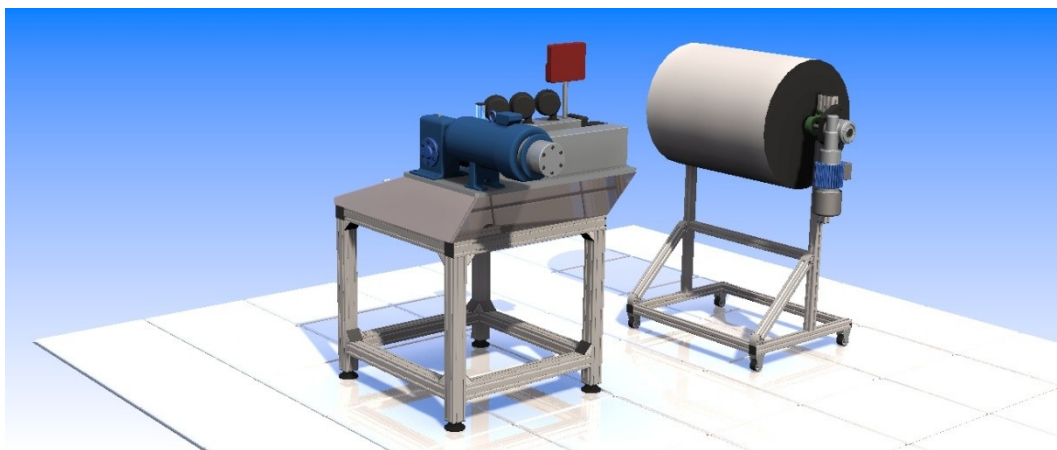
Obr. 16 – rozměrový bokorys válcového kolektoru



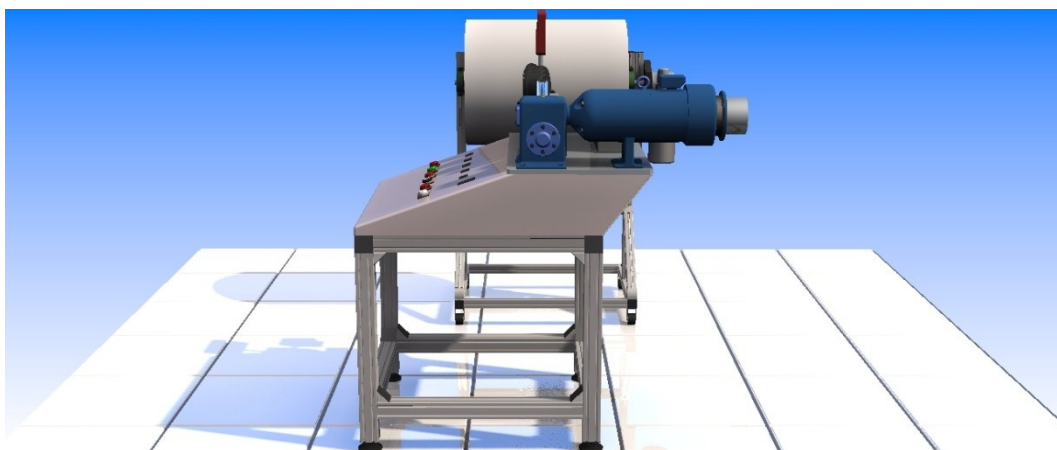
Obr. 17 – rozměrový bokorys melt-blownu (pohled ke zvlákňovací hubici)



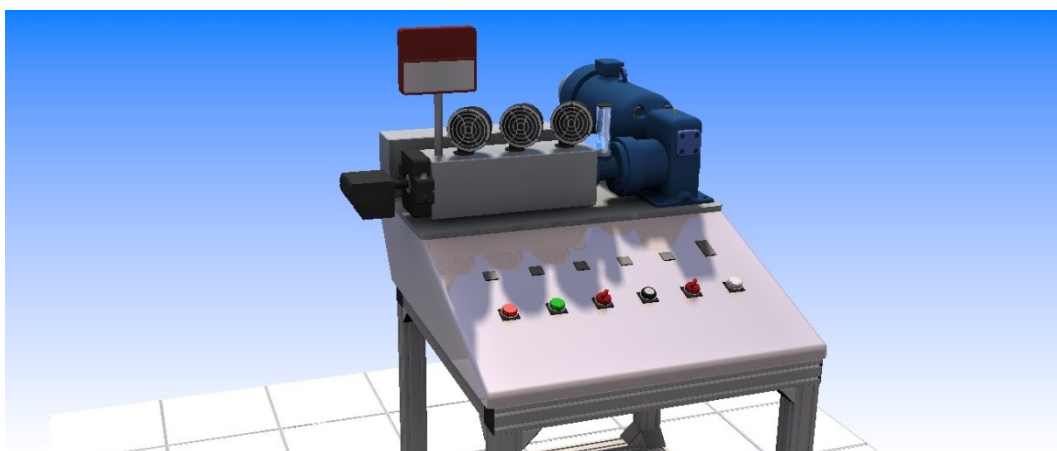
Obr. 18 – render výrobní linky melt-blown



Obr. 19 – render výrobní linky melt-blown

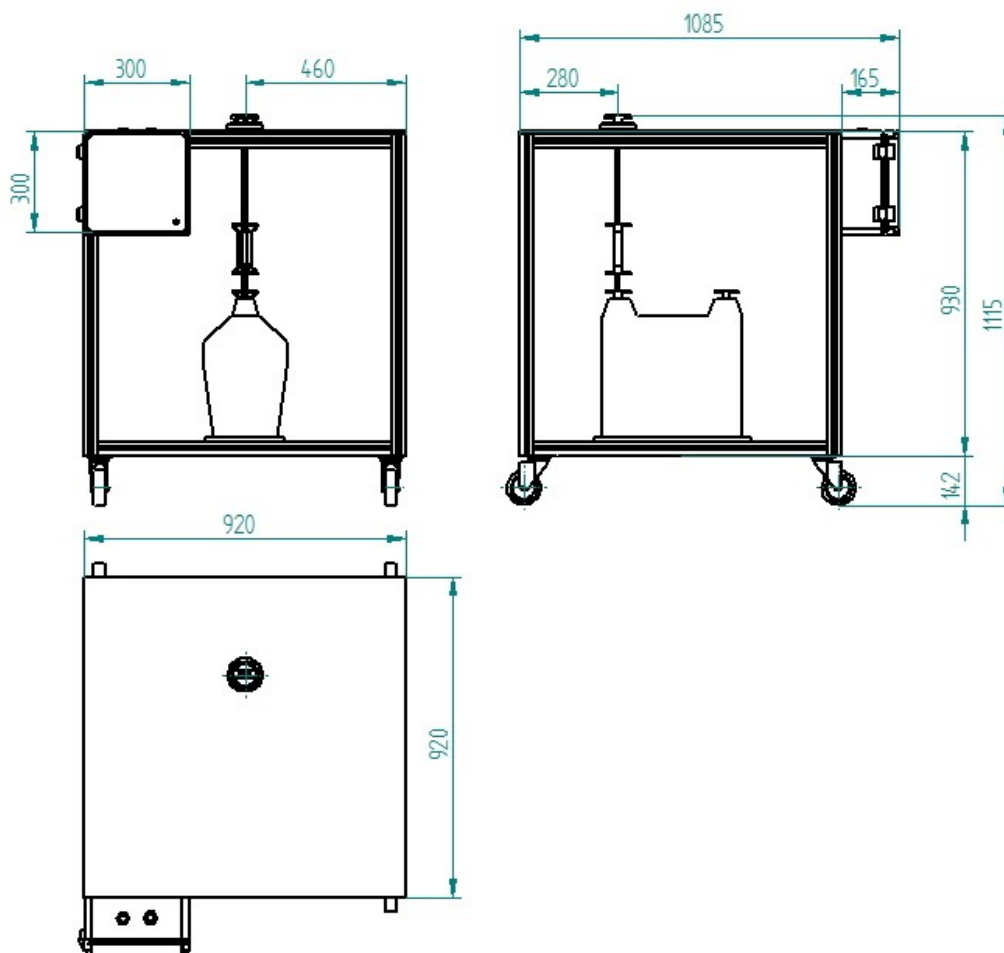


Obr. 20 – render výrobní linky melt-blown

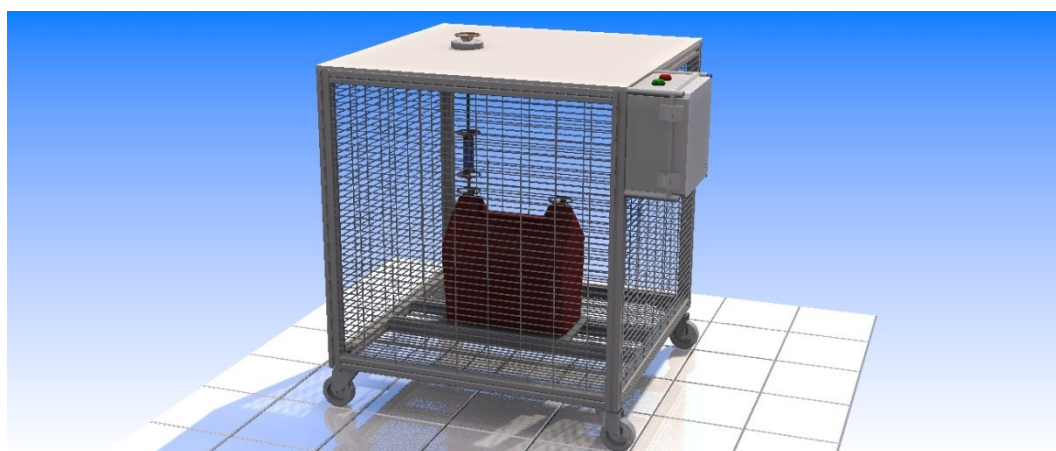


Obr. 21 – render zvláknovacího zařízení melt-blown

Základní rozměry AC zdroje určeného k elektrostatickému zvlákňování jsou znázorněny na následujících obrázcích. K realizaci projektu je použit již navržený a postavený zdroj, který plně vyhovuje našim požadavkům.



Obr. 22 – nárys, bokorys a púdorys AC zdroje



Obr. 23 – render AC zdroje

5.2. Návrh konceptů

Obsahuje představení třech typů konstrukčních řešení zakrytování, jejich popis, zjednodušené skici a seznam výhod a nevýhod jednotlivých návrhů.

a) Konstrukce_01

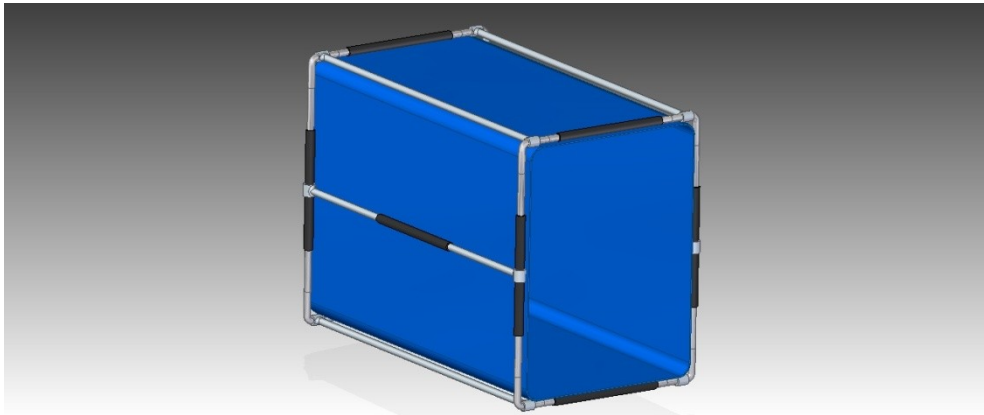
Nosným prvkem konstrukce je sestava z trubek vhodných rozměrů. Trubky jsou běžným metrážním materiálem, jsou snadno dostupné, nejsou finančně náročné a dají se snadno upravovat pomocí řezání, broušení, či ohýbání pro získání požadovaného tvaru. Obsahují pouzdra, která jsou osazena aretačními šrouby pro upnutí v požadované poloze. V pouzdrech jsou kluzně uloženy nosné trubky. Na této konstrukci je z vnitřní strany upnuta pružná textilie, která tvoří stěny zakrytování. Důvodem použití pružné textilie, např. okrouhlé pleteniny, je fakt, že není třeba řešit spojení jejich konců pro získání hadicového tvaru.

Výhody (+) :

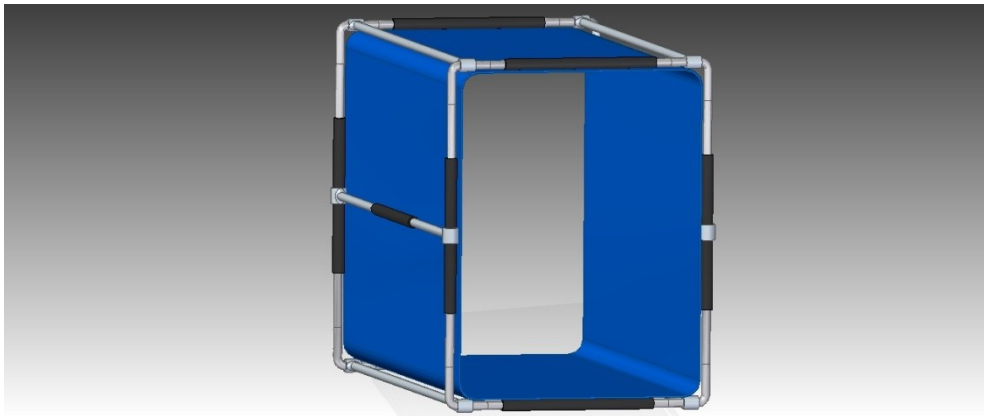
- snadná konstrukce
- nízká výrobní cena
- možnost rozdílného průřezu zakrytování na vstupu a výstupu

Nevýhody (-) :

- subtilní konstrukce
- obtížná manipulace během změny průřezu vlivem pnutí pleteniny
- prodyšnost pleteniny měnící se v závislosti jejího natažení vlivem změny průřezu zakrytování
- možné zachytávání vlákných vrstev na porézním povrchu pleteniny
- obtížné umístění AC elektrody do konstrukce zakrytování



Obr. 24 – návrh zakrytování_01



Obr. 25 – návrh zakrytování_01

b) Konstrukce_02

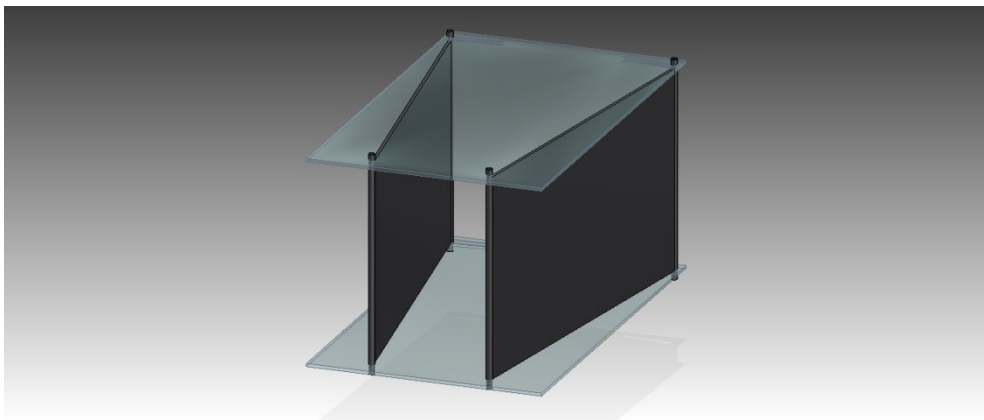
Zakrytování 02 je tvořeno pomocí PMMA či PP desek. Z důvodu zachování transparentnosti celé konstrukce je vhodnější použití PMMA na desku horní a desky boční. Spodní deska je z důvodu upnutí AC elektrody navržena z PP. Spodní a horní deska jsou opatřeny otvory pro uložení čepu bočních desek a zároveň frézovanou drážkou pro uložení druhého čepu boční desky. Tato konstrukce dovoluje změnu průřezu zakrytování pouze na jeho výstupu.

Výhody (+) :

- snadná konstrukce
- nízká výrobní cena
- možnost rozdílného průřezu zakrytování na vstupu a výstupu
- snadné umístění AC elektrody

Nevýhody (-) :

- změna průřezu pouze na výstupu
- změna průřezu pouze v jedné ose



Obr. 26 – návrh zakrytování_02



Obr. 27 – návrh zakrytování_02

c) Konstrukce_03

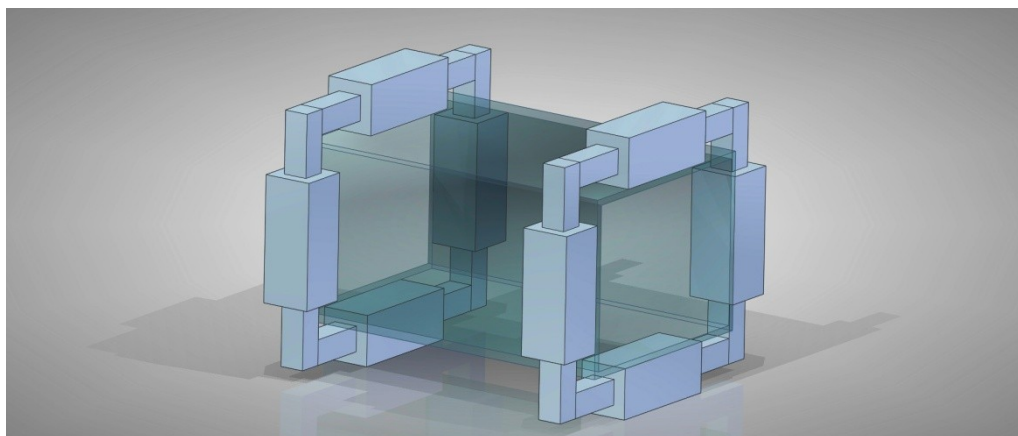
Třetí návrh zakrytování je založen na konstrukci pomocí ALU profilů, které tvoří nosný rám celé konstrukce. Vhodným využitím se zde jeví použití teleskopických systémů těchto profilů. Samotné zakrytování je tvořeno pomocí PMMA desek z důvodu transparentnosti celého zakrytování. Je zde použit systém zasouvání desek pod sebe pro zajištění možnosti plynulé změny průřezu v předem daném rozsahu. Nosná konstrukce je navržena z běžně dostupných ALU dílů a příslušenství k nim určeným.

Výhody (+) :

- tuhost konstrukce
- výroba z běžně dostupných ALU profilů
- změna průřezu zakrytování v daném rozsahu
- variabilita umístění AC-spinningu
- transparentnost zakrytování
- profesionalita provedení
- velký výběr ALU příslušenství pro případné modifikace zakrytování

Nevýhody (-) :

- vyšší pořizovací cena



Obr. 28 – návrh zakrytování_03

5.3. Výběr nejvhodnějšího návrhu

Pro vhodnou volbu konceptu byla vytvořena metoda výběru, která je založena na plnění požadavků budoucího zakrytování. Jednotlivé návrhy jsou vyhodnoceny na základě požadovaných kritérií. Ta jsou řazena dle jejich významnosti. Pro posouzení výsledků byl použit znaménkový test, který přiřazuje ke každé vlastnosti její důležitost dle počtu dosažených znamének. Pokud konstrukce danou vlastnost splňuje, je hodnocena kladnými znaménky. Pokud nesplňuje, tak zápornými. Na závěr se sečte počet získaných kladných znamének každé konstrukce. Následující tabulka (tab. 3) zobrazuje vhodný koncept k dalšímu zpracování.

VLASTNOSTI	MOŽNOST HODNOCENÍ	KONSTRUKCE_01	KONSTRUKCE_02	KONSTRUKCE_03
Změna průřezu v obou rovinách	+++++ / --- --	+++++	-----	+++++
Snadná montáž AC elektrody	+++ / ---	---	+++	+++
Možné budoucí modifikace	+++ / ---	---	---	+++
Výroba z běžně dostupných polotovarů	++ / --	--	++	++
Snadná manipulace při změně průřezu	++ / --	-	++	--
Dostatečná tuhost konstrukce	++ / --	+	+	++
Transparentnost zakrytování	++ / --	--	++	+
Profesionalita provedení	++ / --	-	+	++
Nízká výrobní cena	++ / --	++	++	--
Zamezení kumulace vlákněné vrstvy	++ / --	--	++	++
Nenáročnost konstrukce na její výrobu	+ / -	-	+	-
SOUČET +	MAX 26 +	8 +	16 +	20 +

Tab. 3 – výběr dle kritérií

Z uvedeného hodnocení vyplývá vhodné použití konstrukce 02 a 03. Pro jednoznačné rozhodnutí jsou následně kritéria modifikována a opět je proveden znaménkový test pro určení vhodného typu konstrukce.

Pro závěrečný test byla upravena následující kritéria:

- *Snadná montáž AC elektrody*

Konstrukce 02 a 03 dosahují stejného hodnocení v této kategorii a proto bylo toto kritérium vyřazeno.

- *Termická a chemická odolnost*

Je jednou z klíčových vlastností pro správnou funkci zakrytování, proto byla do následujícího výběru tato vlastnost zařazena.

- *Tuhost konstrukce*

Je nutná k zajištění dlouhé životnosti konstrukce během jejího provozu.

- *Manipulace jednou osobou*

Vlastnost reprezentující nenáročnost na počet obsluhujících osob během provozu.

- *Montáž do laboratorní linky melt-blownu*

Pro realizaci je nutno zajistit snadnou montáž do již stávající melt-blown linky v poloprovozu KNT.

- *Nízká hmotnost*

Souvisí se snadnou montáží do stávající melt-blown linky v poloprovozu KNT, kdy je nutno zajistit dostatečně dimenzované upnutí konstrukce, aby nedošlo k jejímu poškození.

VLASTNOSTI	MOŽNOST HODNOCENÍ	KONSTRUKCE_02	KONSTRUKCE_03
Změna průřezu v obou rovinách	+++++ / - - - - -	- - - - -	+++++
Možnost modifikace	+++ / - - -	- - -	+++
Termická a chemická odolnost	+++ / - - -	+++	+++
Tuhost konstrukce	++ / - -	- -	++
Manipulace jednou osobou	++ / - -	++	- -
Montáž do laboratorní linky melt-blownu	++ / - -	++	++
Nenáročnost konstrukce na její výrobu	+ / -	+	-
Nízká hmotnost	+ / -	+	-
SOUČET +	MAX 19 +	9 +	15 +

Tab. 4 – finální výběr dle kritérií

Nejvhodnějším návrhem pro konstrukci zakrytování je návrh 03. Dosahuje nejlepších výsledků v klíčových vlastnostech. Za zmínku také stojí fakt, že tato konstrukce nabízí největší možnost modifikací.

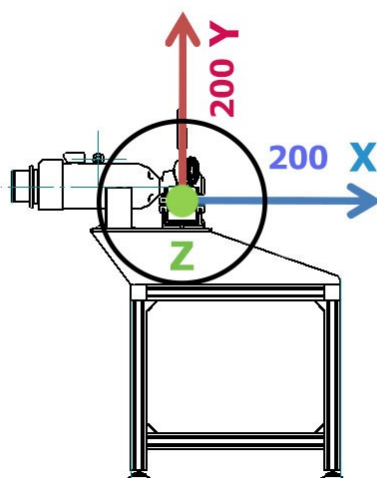
5.4. Konstrukční návrh

Konstrukční návrh je rozdělen do dvou kapitol. První kapitola je zaměřena na samotné zakrytování, výběr vhodných materiálů, volbu rozměrů a následnou konstrukci. Druhá kapitola pojednává o způsobu upnutí zakrytování a tím jeho zařazení do laboratorní melt-blown linky s možností pohyblivého uložení.

5.4.1. Zakrytování

Experimentálním měřením (viz. kapitola 3.2) byl zjištěn jeden ze zásadních požadavků na konstrukci zakrytování. Tím je volba vhodné velikosti zakrytování s ohledem na proudění, vytvářené zvlákňovací hubicí melt-blownu. Délka zakrytování byla určena na $l = 600$ mm. Tento rozměr byl zvolen s ohledem na správnou funkci melt-blown linky, při které je vzdálenost mezi zvlákňovací hubicí a kolektorem nejčastěji nastavena právě na tuto hodnotu. Určení dalších dvou rozměrů, tedy jeho šířky a výšky, je poněkud složitější a vyžaduje hlubší studii.

Analýza proudění a následně jeho 3D model naznačily vhodný průřez zakrytování. Usměrněný proud vzduchu, vystupující ze zvlákňovací hubice, dosahuje rozměrů v ose X $150 \sim 200$ mm a v ose Y nabývá hodnot 200 mm.

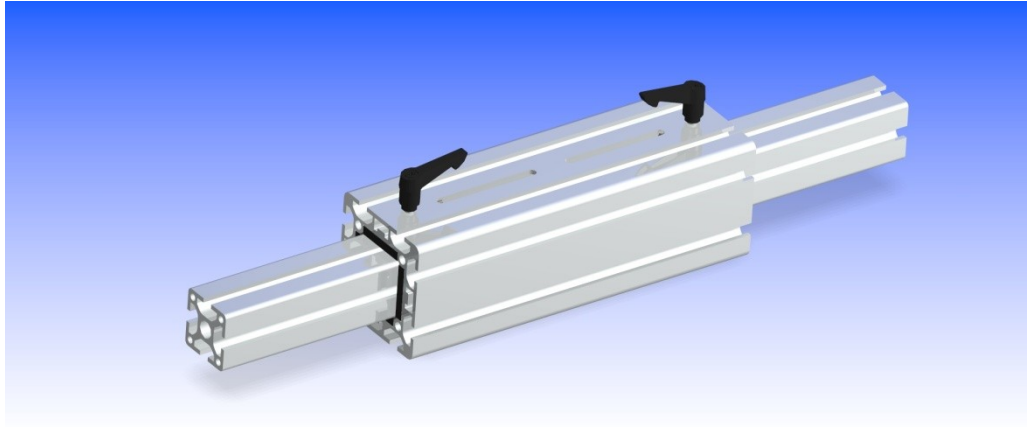


Obr. 29 – rozměrová skica melt-blown proudění

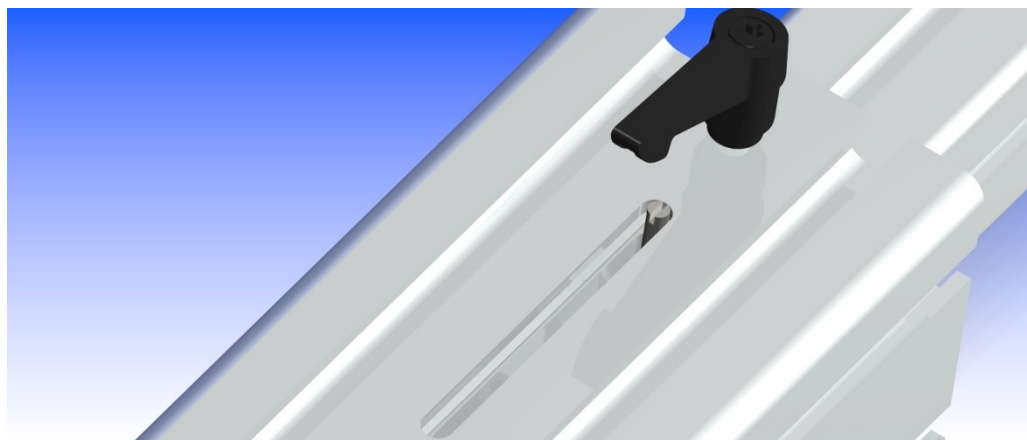
Zakrytování tohoto proudění bez jeho ovlivnění lze dosáhnout při použití rozměrů 400 x 400 mm a stanovené délce 600 mm. Tyto hodnoty jsou výchozím průřezem pro tvorbu krytu. Avšak pevné rozměry zakrytování nenabízí příliš možností následných modifikací či úprav výrobní linky. Z tohoto důvodu byl vytvořen další požadavek na konstrukci, kterým je variabilita průřezu v maximálním rozsahu, jenž dovolí samotná konstrukce zakrytování.

Možností pro tvorbu nosné konstrukce je hned několik. Nerozebíratelná svařovaná konstrukce z oceli, šroubovaná z oceli, plastových dílců či hliníku. S ohledem na snadnou montáž byly zvoleny hliníkové profily (dále jen alu-profily), díky kterým bude pro pracoviště snadné celou sestavu smontovat na základě zhotovené dokumentace bez dalších nutných operací, jako je frézování, soustružení či tvorba povrchových a antikoročních úprav. Další výhodou je možnost rozebrání konstrukce z důvodu uskladnění či snadnějšího transportu.

Pro tvorbu rámu byly použity alu-profily značky Maytec. Sortiment profilů je široký a nabízí řadu konstrukčních možností. Toho bylo využito i v samotném návrhu. Základem konstrukce je využití teleskopických systémů, které umožní změnu rozměrů zakrytování a tím splnění jedné z hlavních podmínek. Vzhledem k nulovému mechanickému namáhání zakrytování byla zvolena nejmenší rozměrová řada teleskopického systému. Návrh teleskopu (viz. příloha BP. 000. 02 a BP. 000. 03) naznačuje jednoduchost a funkčnost této sestavy. Základním prvkem je alu-profil z teleskopické řady Maytec o vnějších rozměrech 80 x 80 mm. Na koncích tohoto profilu jsou umístěny vložky vytvářející vsuvné uložení pro dva alu-profily o rozměrech 40 x 40 mm. Každý z těchto profilů (dále již kluzáků) je zajištěn v dané poloze aretačním šroubem, které jsou také v sortimentu výrobce. Sestava obsahuje dorazy, které dovolují pohyb v předem vyfrézované drážce a zabraňují tak nechtěnému rozpadu sestavy během její manipulace či změny rozměru.

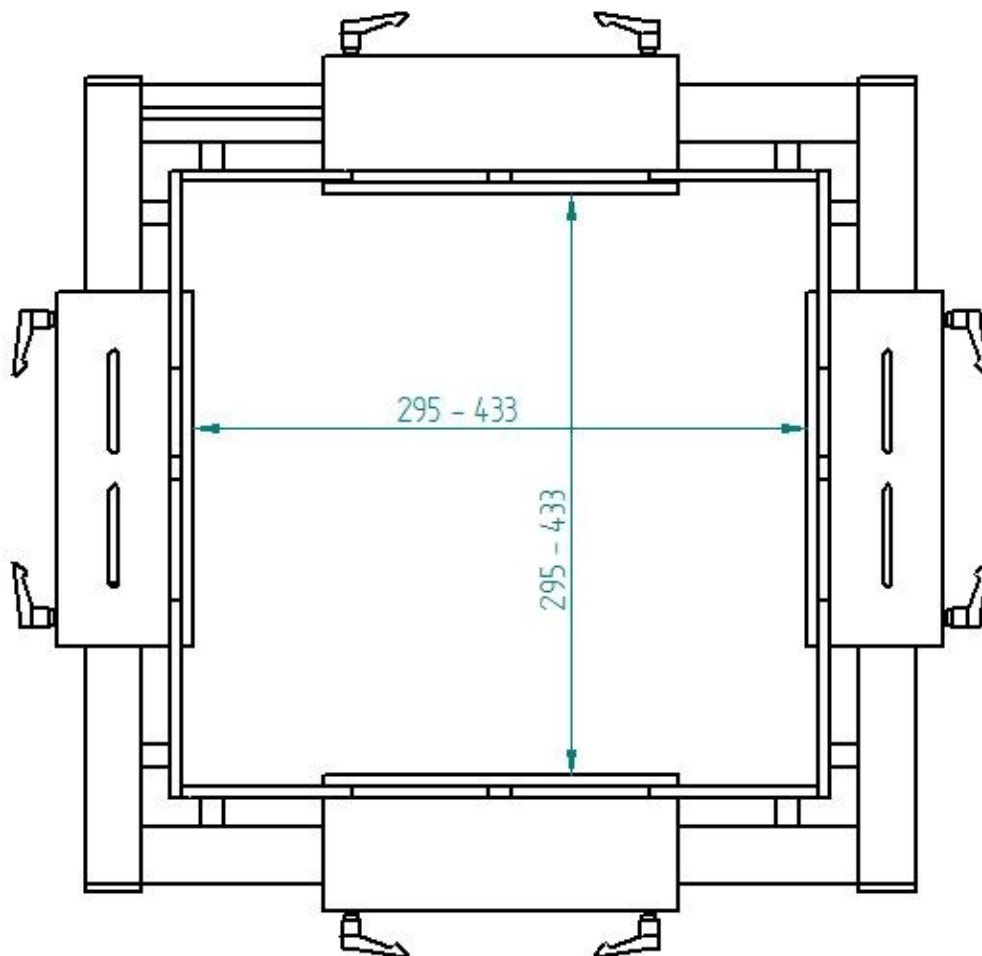


Obr. 30 – sestava teleskopu



Obr. 31 – detail dorazu teleskopu

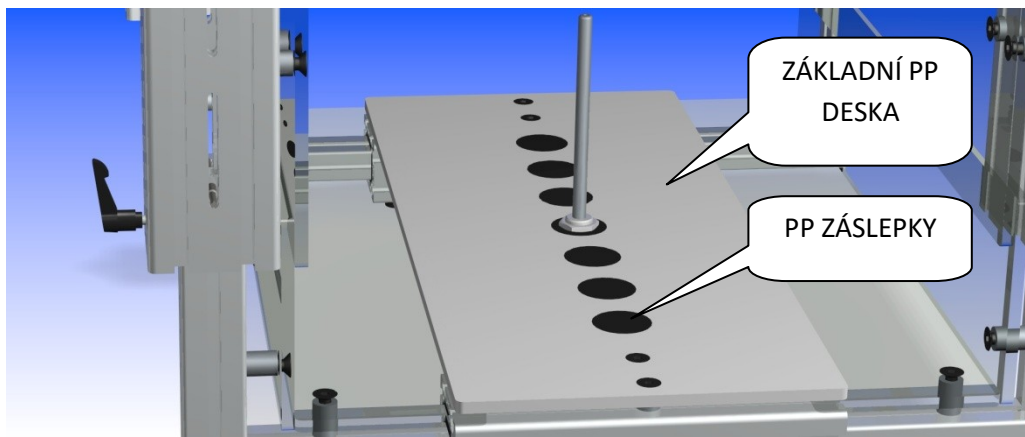
Tyto teleskopické systémy jsou umístěny v horizontální i vertikální rovině na obou čelech zakrytování a dovolují nezávislou změnu průřezu v rozmezí 295 až 433 mm v obou rovinách.



Obr. 32 – rozměrové schéma čela zakrytování

Spojení čel je řešeno nosníky z alu-profilů o rozměrech 40 x 40 mm umístěnými na horní a spodní straně zakrytování. Na těchto nosnících je přes distanční kroužky pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou upnuta základní deska. Horní deska je z důvodu transparentnosti zhotovena z PMMA desky o tloušťce 8 mm. Spodní deska je zhotovena z PP desky o tloušťce stěny 8 mm. Deska má v sobě řadu montážních otvorů určených k montáži AC elektrody (viz. příloha BP. 000. 04). Montážní otvory obsahují PP záslepky (příloha BP. 000. 05), aby nemohlo dojít k narušení aerodynamického proudění melt-blownu vlivem přísávání okolního vzduchu skrz otvory. Toto provedení umožňuje variabilitu umístění AC elektrody dle potřeby. Volba materiálu byla zohledněna s ohledem na AC spinning, který pracuje s vysokým elektrickým napětím. PP má dobrou chemickou odolnost a zároveň elektrické izolační vlastnosti. Minimální

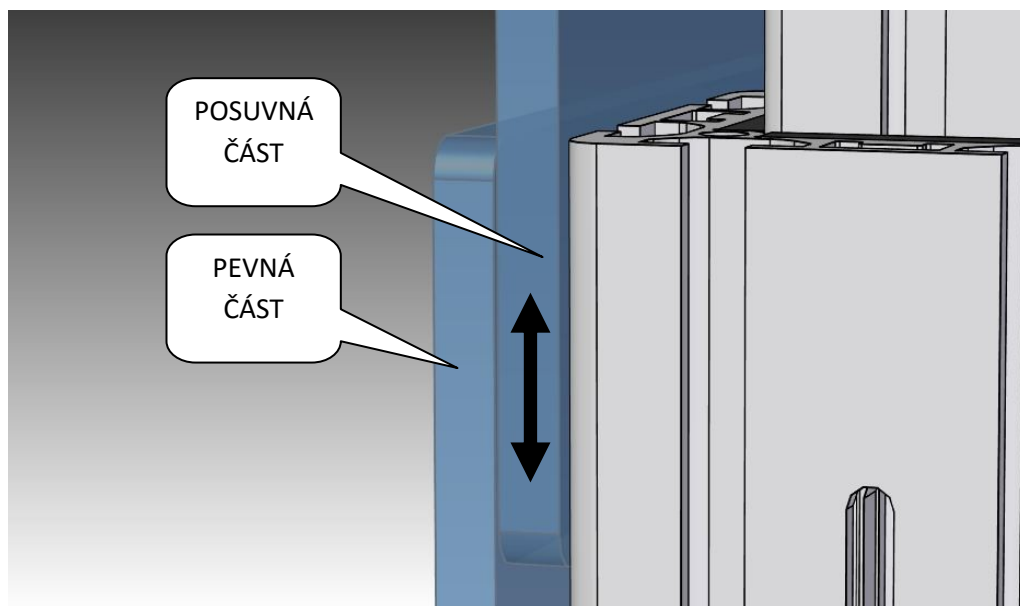
elektrický odpor PP je $10^{18} \Omega \cdot \text{m}$. [09] Pro porovnání surové železo (Fe) má elektrický odpor $9,96 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Umístění AC elektrody je možné pouze do míst s elektricky nevodivým prostředím. Nejen z důvodu bezpečnosti, ale také minimálního ovlivnění elektrickým polem. Permittivita materiálu (vztah mezi elektrickou indukcí a intenzitou elektrického pole) značně ovlivňuje tvar a tvorbu elektrického pole včetně jeho intenzity. Upnutí elektrody do PP základní desky je tedy vhodným řešením.



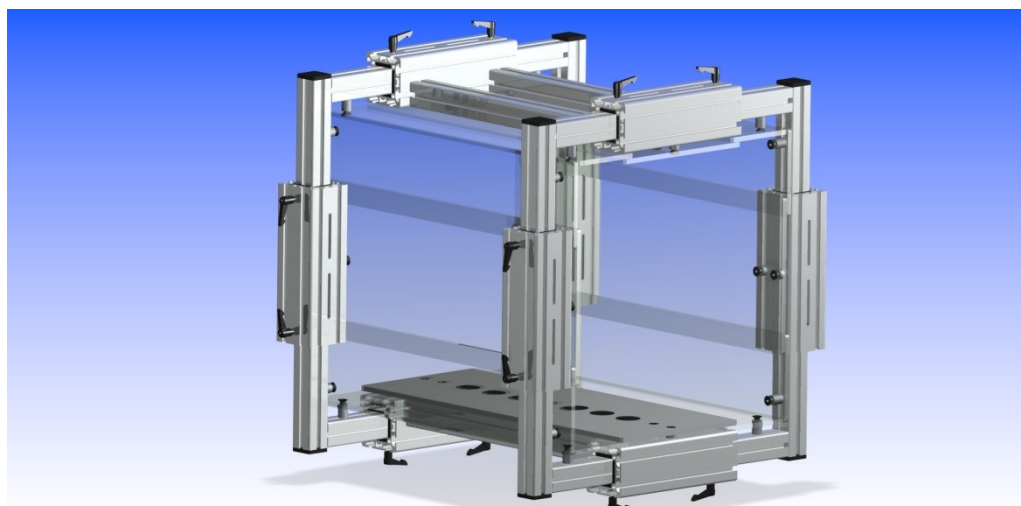
Obr. 33 – detail základové PP desky

Ke kompletaci celé sestavy je ještě zapotřebí zakrytování zvláknovacího prostoru. To je řešeno opět PMMA deskami tloušťky 8 mm, které byly zvoleny s ohledem na transparentnost celé konstrukce. Desky jsou jednotlivě upevněny na rám pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou a distančních sloupků. Volba šroubů se zapuštěnou hlavou je z důvodu čistoty provedení a hlavně z důvodu zajištění rovných vnitřních ploch zakrytování. Jakékoli příčné hrany by na těchto vnitřních plochách mohly způsobovat postupné ulpívání vláken a docházelo by zde k jejich kumulaci.

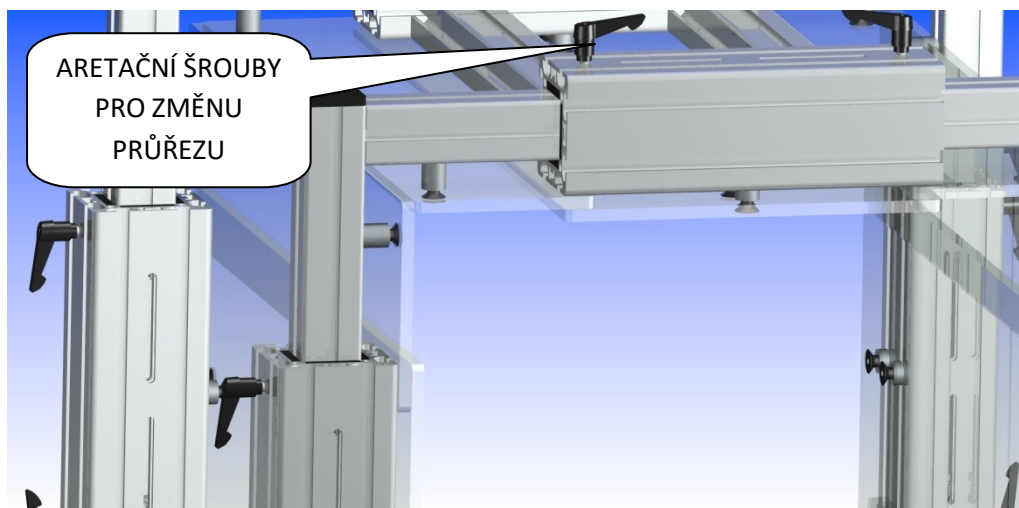
Základní desky, spodní i horní, jsou pevně uloženy na základním prvku teleskopu o rozměrech 80 x 80 mm, stejně jako desky boční. Ty slouží nejen jako část zakrytování, ale také jako vedení pro zbylé desky zakrytování montované na kluzácích teleskopu o rozměrech 40 x 40 mm. Pod tyto základní desky vsuvně zajíždí desky krycí a společně tak vytváří kompletní systém zakrytování umožňující změny rozměrů.



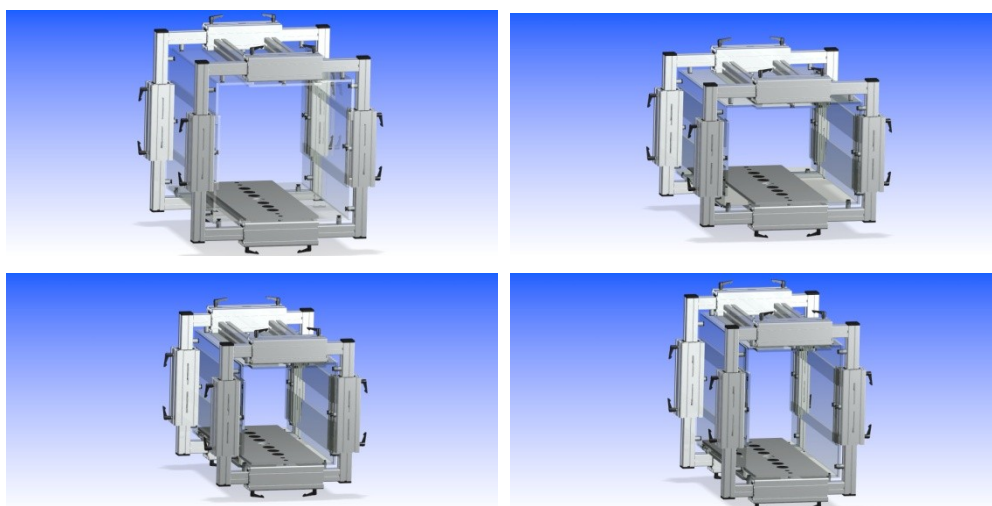
Obr. 34 – detail vsuvného uložení krycích desek



Obr. 35 – render kompletní sestavy zakrytování



Obr. 36 – detail sestavy zakrytování



Obr. 37 – možnosti rozměrové variability zakrytování

Seznam použitých dílů, jejich množství a hmotnosti jsou sepsány v následující tabulce.

ROZPAD KUSOVNÍKU ZAKRYTOVÁNÍ					
SOUČÁST	MNOŽSTVÍ [-]	MATERIÁL [-]	HUSTOTA [kg/m ³]	HMOTNOST [kg]	HMOTNOST x MNOŽSTVÍ [kg]
Cep_doraz	16	Steel	7833	0,013	0,208
Deska_zakladni_plexi_250x600x8	3	PMMA	1180	1,413	4,239
Deska_zakladni_polypropylen_250x600x8	1	PP	946	1,091	1,091
Deska_zakrytovani_plexi_120x600x8	4	PMMA	1180	0,678	2,712
Deska_zakrytovani_plexi_140x600x8	4	PMMA	1180	0,791	3,164
Distancni_sloupek_prum8x16x20	16	Aluminium	2712	0,008	0,128
Distancni_sloupek_prum8x16x8,5	16	Aluminium	2712	0,003	0,048
May Tec 1_29_500620_Clamping lever 40, M6x20	16	PP	946	0,008	0,128
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40x178	8	Aluminium	2712	0,325	2,6
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40x218	8	Aluminium	2712	0,398	3,184
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40x440_nosnik	4	Aluminium	2712	0,804	3,216
MayTec 1_42_20404_1_Cover cap square 40x40	8	PP	946	0,011	0,088
MayTec 9_11_080080_83SBP_Telescopic_80x80x250	8	Aluminium	2712	1,253	10,024
MayTec 9_67_1014036 Sliding block 40x36	64	PP	946	0,007	0,448
MayTec 9_67_1024_Bush for sliding block	64	PP	946	0,001	0,064
Spojovaci_material_L	16	Steel	7833	0,035	0,56
Sroub_M8x20_zapustny	32	Steel	7833	0,01	0,32
Zaslepka	6	PP	946	0,006	0,036
HMOTNOST CELÉ SESTAVY [kg]					32,26

Tab. 5 – rozpad kusovníku zakrytování

Z tabulky je patrné, že největší hmotnostní podíl na celé sestavě mají teleskopické alu-profilky o rozměrech 80 x 80 mm. Dalším významným hmotnostním prvkem jsou PMMA desky o tloušťce stěny 8 mm.

Hmotnost celé sestavy zakrytování činí cca 32 kg. Tuto hmotnost je třeba zohlednit při návrhu nosné konstrukce, kterou je třeba dimenzovat pro nosnost této zátěže s bezpečnou rezervou.

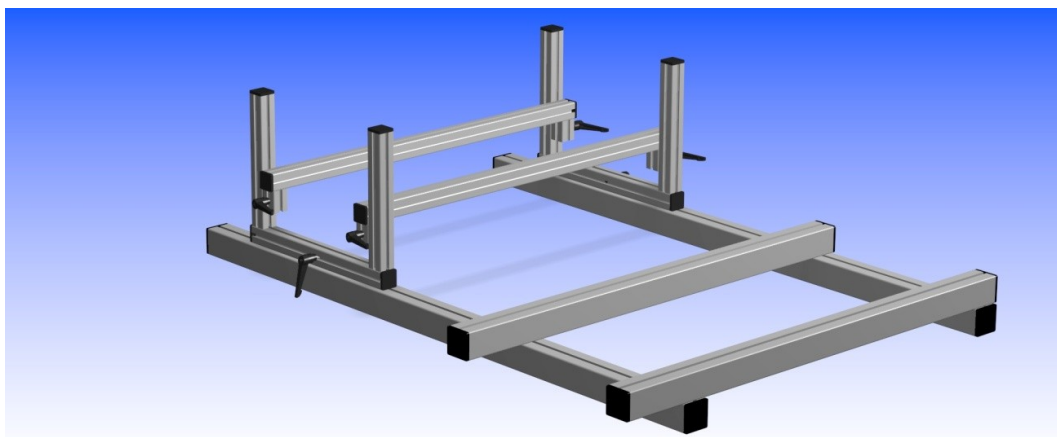
5.4.2. Nosná sestava

Pro umístění zakrytování do vhodné pozice je nutno zhotovit nosnou konstrukci. Hliníkové profily značky Maytec jsou vhodným polotovarem pro tvorbu této sestavy, kde je vzhledem k loajálnosti značky zajištěna také kompatibilita se sestavou zakrytování.

Návrh konstrukce je zhotoven s ohledem na dodržení variability umístění zakrytování. Požadavkem je posuv zakrytování ve dvou osách, tedy posuv ve směru mezi zvlákňovací hubicí a kolektorem (osa Z), a také posuv ve směru vertikálním vůči ose zvlákňovací hubice (osa Y). Konstrukce je navržena i pro stranový posuv (osa X) a lze ji snadno modifikovat sortimentem Maytec i pro tento požadavek.

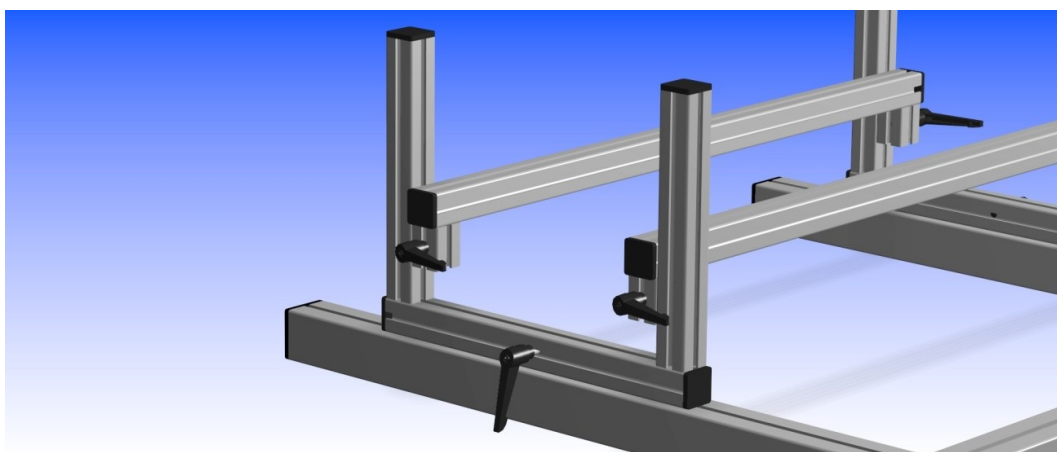
Nosná konstrukce je pevně upnuta pomocí Maytec spojovacího materiálu ke konstrukci melt-blownu. Nabízí se zde také možnost samostatné nosné konstrukce opatřené transportními kolečky pro snadnou manipulaci, nicméně vhodnějším řešením je zde právě pevné spojení se stolem melt-blownu, který je též zhotoven z alu-profilů. Důvodem této volby je zajištění osové souměrnosti mezi zakrytováním a zvlákňovací hubicí, která by vzhledem ke spádování podlahy laboratoře nebyla samostatnou konstrukcí zajištěna.

Výkres sestavy nosné konstrukce (viz. příloha BP. 001. 00) detailně popisuje konstrukční řešení, které splňuje všechny podmínky směrové variability.



Obr. 38 - render nosné konstrukce

Uložení pohyblivých dílů je kluzné, s vedením zajišťující pohyb v dané ose a s použitím aretačních šroubů pro upnutí v žádané poloze. Konstrukce umožňuje vertikální pohyb zakrytování v rozsahu 260 mm. Pohyb v ose Z není pevně stanoven a je možný v rozsahu, který dovolí rozměry mel-blown linky.



Obr. 39 – detail nosné konstrukce

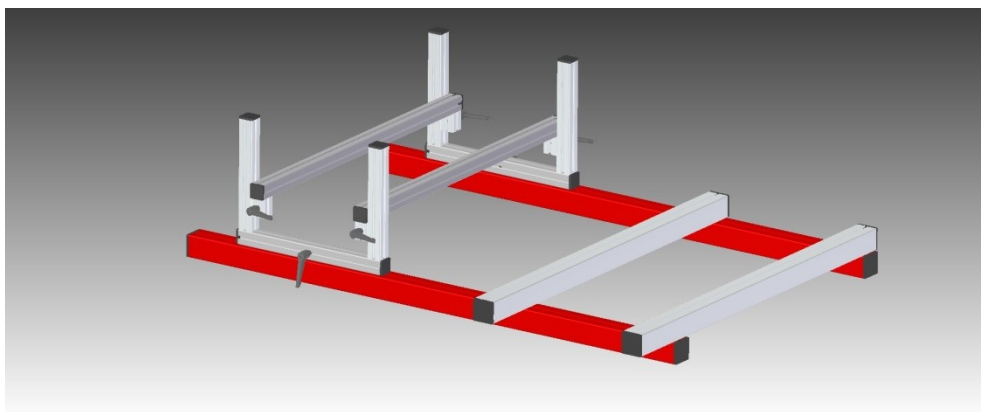
Seznam použitých dílů nosné konstrukce, jejich množství a hmotnosti jsou sepsány v následující tabulce.

ROZPAD KUSOVNÍKU NOSNÉ KONSTRUKCE					
SOUČÁST	MNOŽSTVÍ [1]	MATERIÁL [-]	HUSTOTA [kg/m³]	HMOTNOST [kg]	HMOTNOST x MNOŽSTVÍ [kg]
May Tec 1_29_801030_Clamping lever 80, M10x30	6	PP	946	0,018	0,108
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_900	2	Aluminium	2712	1,645	3,29
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_kluzak	4	Aluminium	2712	0,091	0,364
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_nosnik	4	Aluminium	2712	0,548	2,192
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40x440	2	Aluminium	2712	0,803	1,606
MayTec 1_11_060060_23LP_Profile 60x60, 2E, LP_1065	2	Aluminium	2712	2,922	5,844
MayTec 1_11_060060_23LP_Profile 60x60, 2E, LP_1505	2	Aluminium	2712	4,129	8,258
MayTec 1_42_20404_1_Cover cap square 40x40	12	PP	946	0,011	0,132
MayTec 1_42_2060060_2_Cover cap square 60x60	8	PP	946	0,022	0,176
HMOTNOST CELÉ SESTAVY [kg]					21,97

Tab. 6 – rozpad kusovníku nosné konstrukce

Pevnostní výpočet

Vzhledem k hmotnosti zakrytování je třeba provést kontrolní výpočet některých částí nosné konstrukce, aby nedošlo k nežádoucí deformaci. Nejvíce namáhanými součástmi jsou dva hlavní nosníky o rozměrech 60 x 60 mm, na kterých je uložen zbytek sestavy a celá sestava zakrytování (pozice 2 viz. příloha BP. 001. 00). Tyto nosníky jsou namáhány na ohyb a zároveň zde dochází k tvorbě sil v místě upnutí ke konstrukci melt-blownu.



Obr. 40 – barevné zvýraznění namáhaných nosníků konstrukce

Síla působící na oba nosníky je dána hmotností konstrukce, tedy tíhovou silou. Hmotností konstrukce je myšlena hmotnost zakrytování (viz. Tab. 2) a také část nosné konstrukce zajišťující pohyb, tedy kluzná část (viz. Tab. 4). Vzhledem k velikosti zatěžující síly lze ve výpočtu hmotnost nosníků zanedbat.

ROZPAD KUSOVNÍKU KLUZNÉ ČÁSTI KONSTRUKCE					
SOUČÁST	MNOŽSTVÍ [1]	MATERIÁL [-]	HUSTOTA [kg/m ³]	HMOTNOST [kg]	HMOTNOST x MNOŽSTVÍ [kg]
May Tec 1_29_801030_Clamping lever 80, M10x30	6	PP	946	0,021	0,126
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_900	2	Aluminium	2712	1,645	3,29
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_kluzak	4	Aluminium	2712	0,091	0,364
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40_nosnik	4	Aluminium	2712	0,548	2,192
MayTec 1_11_040040_43SP_Profile 40x40x440	2	Aluminium	2712	0,803	1,606
MayTec 1_42_20404_1_Cover cap square 40x40	12	PP	946	0,011	0,132
HMOTNOST CELÉ SESTAVY [kg]					7,71

Tab. 7 – rozpad kusovníku kluzné části konstrukce

1) Výpočet působící síly:

$$F = (m_z + m_k) \times g$$

$$F = (32,26 + 7,71) \times 9,81$$

$$F = 392,105 \sim 392 \text{ N}$$

m_z – hmotnost zakrytování

m_k – hmotnost kluzné části nosné konstrukce

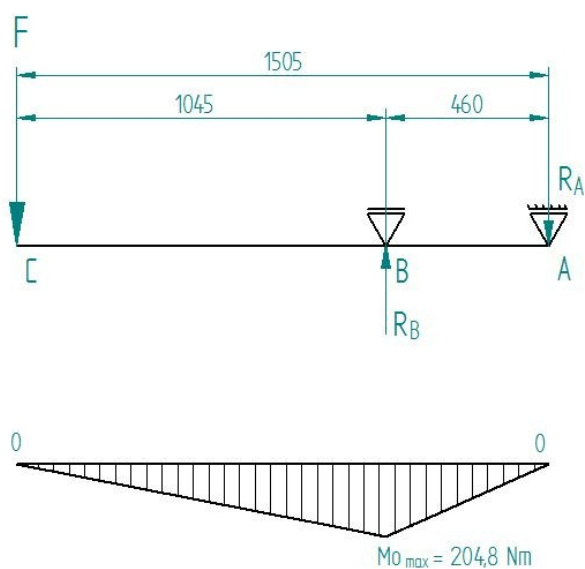
g – tíhové zrychlení

Síla působící na oba nosníky je přibližně 392 N.

2) Výpočet reakcí v místě upnutí nosníku:

Výpočet reakcí je aplikován na jednotlivý nosník, je tedy nutno počítat s poloviční působící silou $F/2$.

Pro určení reakcí a ohybového momentu je nasimulována situace největšího zatížení, kterého lze posunem zakrytování po nosnících dosáhnout. Metoda výpočtu – nosník o dvou podporách zatížený silou v jednom bodě.



Obr. 41 – výpočet nosníku na ohyb

Výpočet reakcí v podporách A a B:

$$F + R_A - R_B = 0$$

$$A: - R_B \times 460 + F \times 1505 = 0$$

$$R_B = \frac{F \times 1505}{460} = \frac{196 \times 1505}{460} = 641 \text{ N}$$

$$R_A = R_B - F = 641 - 196 = 445 \text{ N}$$

Výpočet ohybových momentů v daných bodech:

$$M_{(A)} = 0$$

$$M_{(B)} = 1,045 \times 196 \text{ N} = 204,8 \text{ Nm}$$

$$M_{(C)} = 0$$

V bodě B působí síla o velikosti 641 N směrem k zemi. Touto silou je namáháno uložení nosníku tvořené spojovacím materiálem značky Maytec. Maximální síla ve spoji tohoto typu je dle výrobce 18 000 N [06]. Navržený spoj tedy plně vyhovuje předepsaným limitům.

3) Určení ohybu

Je určeno grafickou metodou pomocí katalogu Maytec. Vstupními hodnotami jsou síla a rameno, na které síla působí. Výpočet reakcí ukázal, že místem s maximální ohybovým momentem je podpora B. Z tohoto důvodu je průhyb určen pouze na intervalu (C, B).

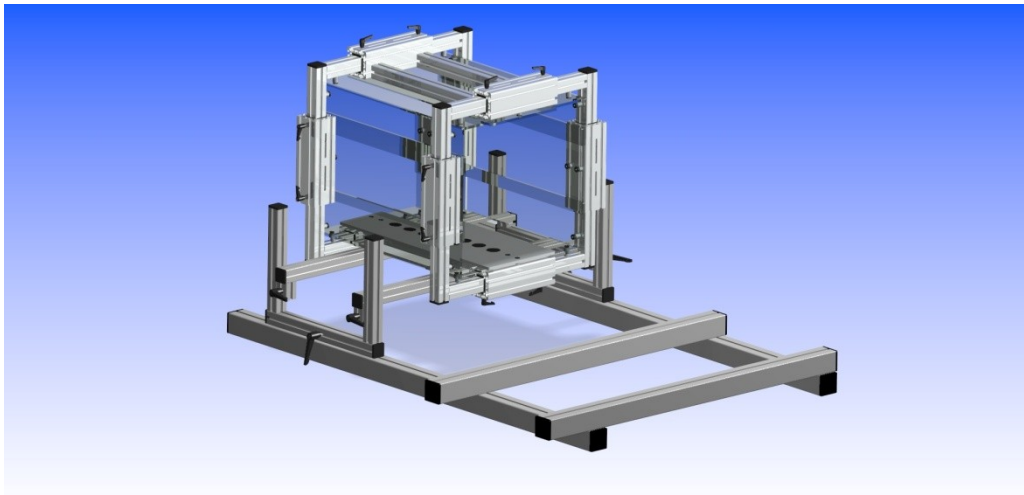
Profil 60x60 typ 2E

$$l = 1045 \text{ mm}$$

$$F = 196 \text{ N}$$

$$J = 35,1 \text{ cm}^4 \text{ - moment setrvačnosti k ose ohybu viz příloha [Maytec - 01]}$$

Grafické řešení průhybu dle grafu Maytec (viz. Příloha Maytec – 02) na délce ramene $l = 1045$ mm je určeno orientačně pomocí nomogramu. Na této vzdálenosti dojde k průhybu nosníků během jejich zatížení o přibližně 3 mm. Navržený typ profilů tedy zatížení vyhoví.



Obr. 42 – sestava zakrytování + nosné konstrukce

Návrh celé konstrukce je dle kontrolních výpočtů dimenzován s dostatečnou rezervou a je tedy plně vyhovující.

6. DISKUZE

Experimentální měření prokázalo, že podmínka termické odolnosti materiálu zakrytování není klíčová. Nejvyšší naměřená teplota byla ve vzdálenosti 100 mm od zvlákňovací hubice a dosahovala hodnoty 48 °C. V místech, kde bude docházet ke kontaktu proudění se zakrytováním, osciluje teplota okolo 30 °C a dovoluje tak použít k zakrytování prakticky jakýkoliv materiál bez nutnosti vyšší termické odolnosti. Použití PMMA desek s teplotou měknutí okolo 105 °C a PP s teplotou měknutí okolo 140 °C je tedy plně vyhovující.

Pevnostní kontrola namáhaných nosníků konstrukce zakrytování byla provedena výpočtem na ohyb. Nosníky jsou namáhány hmotností samotné konstrukce, která dosahuje hodnoty přibližně 40 kg. Při nasimulování situace, kdy dochází k největšímu namáhání nosníků, je jejich průhyb cca 3 mm. Můžeme tedy konstatovat, že návrh nosníků je plně vyhovující.

Pokud by byl požadavek na odstranění těchto nosníků, je zde ještě možnost zhotovení samotné nosné konstrukce s osazenými transportními kolečky. Tato možnost by také dovozovala změnu umístění polohy zakrytování ve všech směrech pomocí posunu konstrukce po podlaze. Zásadní nevýhodou tohoto systému je ale požadavek na rovinnost podlahy.

Také uložení nosníků je značně namáháno, a proto i zde byla provedena pevnostní kontrola. V nejvíce namáhaném uložení nosníku vzniká síla o velikosti 641 N. Všechny spoje alu-profilů jsou navrženy na použití spojovacího materiálu Maytec, kde je limitním zatížením v tomto spoji síla o velikosti 18 000 N. Navržený spoj tedy plně vyhovuje předepsaným limitům.

Použité transparentní PMMA desky by také mohly být nahrazeny deskami z tvrzeného skla, které má ještě větší termickou i chemickou odolnost. Nevýhodou při použití skleněných desek by byla vyšší hmotnost, křehkost, náročnost na zhotovení montážních otvorů a s tím také spojená vyšší pořizovací cena.

7. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Cílem práce bylo navrhnout konstrukční řešení zakrytování výrobní linky melt-blown ve spojení s elektrostatickým zvlákňováním. Při návrhu konstrukce byl brán zřetel na splnění několika podmínek ze strany technologie melt-blown, technologie elektrostatického zvlákňování a také samotné konstrukce zakrytování.

Prvním krokem bylo seznámení s problematikou technologií melt-blown a elektrostatického zvlákňování. Pro vhodný návrh zakrytování bylo třeba stanovit tvar proudění vzduchu melt-blownu. Měření bylo realizováno v poloproduktu KNT na laboratorní melt-blown lince. Po zjištění potřebných dat byly navrženy tři koncepty možných řešení a na základě porovnání dosažených výsledků byl vybrán nejvhodnější koncept metodou znaménkového testu. Nejvhodnější návrh byl následně podrobně zpracován včetně podkladů pro jeho výrobu.

Výstupem práce je technicky zpracovaný návrh zakrytování obsahující výrobní výkresy potřebné k jeho realizaci.

8. LITERATURA

- [01] *Nanoed.tul.cz* [online]. Technická univerzita v Liberci [cit. 2015-12-09].
Dostupné:https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/2586/mod_resource/content/0/%C5%A1est%C3%A1%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka.pdf
- [02] WANG, Yudong a Xinhou WANG. Numerical Analysis of New Modified Melt-Blowing Dies for Dual Rectangular Jets: Department of Textile Engineering, College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, People's Republic of China. DOI: DOI 10.1002/pen.
- [03] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [04] Pokročilé techniky elektrostatického zvlákňování. *Nanoed.tul.cz* [online]. Technická univerzita v Liberci [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/689/course/section/1113/Prezentace%204.pdf>
- [05] POKORNY, P., E. KOSTAKOVA, F. SANETRNÍK, P. MIKES, J. CHVOJKA, T. KALOUS, M. BILEK, K. PEJCHAR, J. VALTERA, et al. Effective AC needleless and collectorless electrospinning for yarn production. *Phys. Chem. Chem. Phys* [online]. 2014, 16(48): 26816-26822 [cit. 2015-12-08]. DOI: 10.1039/C4CP04346D. ISSN 1463-9076.
- [06] MayTec. *The Profile System*. Germany, Dachau, 2011
- [07] POKORNÝ, Pavel. *Analýza procesu elektrostatického zvlákňování a možnosti jeho řízení*. 2011. Autoreferát disertační práce. Ústav mechatroniky a technické informatiky Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technická univerzita v Liberci Studentská 2 416 17 Liberec.

[08] KOVAČIČIN. *Kombinace výroby vlákných vrstev technologií melt blown a střídavého elektrostatického zvlákňování*. Liberec, 2015. Diplomová Práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

[09] *Professionalplastics* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.professionalplastics.com/professionalplastics/ElectricalPropertiesofPlastics.pdf>

[10] ISO 1133:2005 "Plastics - Determination of the Melt Mass-Flow Rate (MFR) and Melt Volume-Flow Rate (MVR) of Thermoplastics"

[11] ASTM D1238-10 "Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer"

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy obsahují montážní výkresy sestav, výkresy pro výrobu jednotlivých dílců a vybrané strany katalogu Maytec.

BP.000.01	Sestava zakrytování
BP.000.02	Podsestava teleskopu – horní, dolní
BP.000.02-01	Teleskopický profil 80x80 – horní, dolní
BP.000.03	Podsestava teleskopu – boční
BP.000.03-01	Teleskopický profil 80x80 – boční
BP.000.04	Deska základní PP
BP.000.05	Záslepka PP
BP.001.00	Sestava nosné konstrukce
Maytec – 01	Určení momentu setrvačnosti – katalog Maytec
Maytec – 02	Grafické určení průhybu – katalog Maytec