

Bakalářská práce

Nové konstrukčních řešení zařízení pro proces zvlákňování

Studijní program:

B0414A270001 Textilní marketing

Autor práce:

Ondřej Knižek

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Nové konstrukčních řešení zařízení pro proces zvlákňování

Jméno a příjmení:

Ondřej Knížek

Osobní číslo:

T22000156

Studijní program:

B0414A270001 Textilní marketing

Zadávající katedra:

Katedra hodnocení textilií

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. V teoretické části popište a analyzujte různé metody zvlákňování.
2. Optimalizujte proces zvlákňování a navrhňte vlastní konstrukční řešení.
3. Pomocí nového zařízení vyrobte nanovláknennou membránu. Porovnejte vlastnosti vyrobeného produktu s produktem komerčním

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. RAMAKRISHNA, S., FUJIHARA, K., TEO, W., LIM, T. and MA, Z. An introduction to electrospinning and nanofibres. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2005. ISBN 981-256-415-2
2. JÄGER, A a GÄRTNEROVÁ, V. Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. In: Fyzikální ústav AV ČR [online]. 8. 9. 2017 [cit. 5. 2. 2023].

Vedoucí práce: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce: 17. března 2023

Předpokládaný termín odevzdání: 2. června 2023

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

Ing. Roman Knížek, Ph.D., MBA
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. května 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vymyšlením nového konstrukčního řešení zařízení pro proces zvlákňování. Teoretická část práce je především seznámení s tematikou již existujících zvlákňovacích strojů, popisem jejich výhod a nevýhod vyplývajících z jejich konstrukčního řešení. Zaměřuje se také na obeznámení s výrobou nanovláknenných vrstev elektrostatickým zvlákňováním. Tato práce také obsahuje experimentální část, která se zabývá vyhodnocením vyrobené nanovláknenné vrstvy na novém zvlákňovacím stroji – Nanostroj. Dále se také zabývá testováním zvolených užitečných vlastností vybraných plošných textilií podle předepsané technické normy a navržením způsobu hodnocení těchto užitečných vlastností pomocí systému analýzy obrazu, měření prodyšnosti, výšky vodního sloupce, výparného odporu a zpracováním vhodnou metodikou.

Klíčová slova: Elektrostatické zvlákňování, nanovláknena, Nanospider, Nanostroj, Force spinning, SPUR – line, oděvní membrána.

Annotation

This bachelor thesis deals with inventing a new design solution for equipment for the spinning process. The theoretical part of the work is primarily an introduction to the topic of already existing spinning machines, a description of their advantages and disadvantages resulting from their design solution. It also focuses on familiarization with the production of nanofibrous layers, electrospinning. This bachelor thesis also contains an experimental part that deals with the evaluation of the produced nanofibrous layer on a new spinning machine - Nanostroj. Furthermore, it also deals with the testing of the selected utility properties of selected surface textiles according to the prescribed technical standard and further by designing a method of evaluating these useful properties using an image analysis system, measurement of breathability, height of the water column, evaporative resistance and processing with a suitable methodology.

Key Words: Electrostatic spinning, nanofibers, Nanospider, Nanostroj, Force spinning, SPUR – line, clothing membrane.

Poděkování

Rád bych poděkoval své vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D., dále svému bratrovi Ing. Romanu Knížkovi, Ph.D. a dalším pedagogům a pracovníkům TUL za jejich vstřícnost, ochotu, rady, návrhy a odborné konzultace v dané problematice. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu během mého studia a psaní závěrečné práce.

Obsah

Seznam použitých zkratk, značek, symbolů	9
Úvod	10
1 Analytická část.....	11
1.1 Dosavadní stav výroby nanovláken	11
1.2 Nanovláknno	12
1.3 Historie výroby nanovláken	12
1.4 Zvlákňovací technologie	12
1.5 Elektrostatické zvlákňování	13
1.6 Zvlákňování z jehly.....	14
1.7 Zvlákňování SPUR-line	15
1.8 Zvlákňování z „válečku“ – princip technologie Nanospider první generace	16
1.9 Zvlákňování ze „struny“ – princip technologie Nanospider druhá generace.....	17
1.10 Forcespinning.....	19
1.11 Zhodnocení dosavadního stavu uvedených technologií.....	22
1.12 Cíl práce.....	23
1.13 Polyuretan.....	24
1.14 Elektronový mikroskop	24
1.15 Používání membrán v oděvním průmyslu	26
2 Nanostroj.....	29
2.1 Zvlákňování z „lišty“ – princip technologie Nanostroje.....	29
2.2 Návrh zvlákňovacího prostředku pro Nanostroj - lišty.....	31
2.3 Návrh nádoby a víka	33
2.4 Pouzdra pro táhla pohonu lišt	36

2.5	Pohon pro pohyb zvlákňovacích prostředků - lišt	37
2.6	Pohybové ústrojí zkušebního Nanostroje.....	38
2.7	Kompletace prototypu.....	39
2.8	Vyzkoušení prototypu zvlákňování z lišty - Nanostroje.....	40
2.9	Popis stroje Nanostroj	41
2.10	Popis jednotlivých částí stroje Nanostroj	43
2.10.1	Nosný rám stroje	43
2.10.2	Kryt stroje	45
2.10.3	Rozvod polymeru	46
2.10.4	Zvlákňovací hlava	47
2.10.5	Pohon a zdvihový mechanismus zvlákňovacích lišt	49
2.10.6	Zvlákňovací lišta	50
2.10.7	Zdvihací mechanismus hlavy.....	51
2.10.8	Podklad s vedením	52
2.10.9	Ventilace.....	54
2.10.10	Zvlákňovací prostor	55
2.10.11	Vybíječe.....	56
2.11	Podstata stroje	57
2.12	Způsob práce.....	57
3	Diskuse výsledků	61
3.1	Výroba nanovlákněné vrstvy	61
3.2	Obrazová analýza.....	62
3.3	Výparný odpor	63
3.4	Měření vodního sloupce	64
3.5	Měření prodyšnosti	65

4	Závěr	67
	Seznam použité literatury	70
	Seznam obrázků	72
	Seznam tabulek	74
	Seznam grafů	75
	Seznam příloh	76
	Přílohy.....	77

Seznam použitých zkratek, značek, symbolů

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>popis</i>
m	[g]	hmotnost
F	[N]	síla
Ret	[Pa.m ² /W]	výparný odpor
PP	[-]	polypropylen
PES	[-]	polyester
PTFE	[-]	polytetrafluoretylen
PUR	[-]	polyuretan

Úvod

Cílem práce je navrhnout způsob průmyslové výroby nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru v elektrickém poli o vysoké intenzitě vytvořeným mezi sběrnými elektrodami a roztokem nebo taveninou polymeru uloženým na zvlákňovacích prostředcích. Navržený stroj pro výrobu nanovláken by měl dosáhnout minimálně stejných, nebo lepších výsledků, než je tomu u současných zařízení. Navržený stroj, který se nazývá Nanostroj, bude pro potřeby této bakalářské práce zatím využívat pouze jednu zvlákňovací hlavu a jednu sběrnou elektrodu. Dále bude porovnán s Nanospiderem, obdobným zařízením, již fungujícím ve výrobě. V budoucnosti by mohl Nanostroj využívat až šest sběrných elektrod a šest zvlákňovacích hlav, umístěných pod nimi, což by výrazně zrychlilo výrobní proces. Stroj by také mohl využívat jen některé hlavy a variabilně se tak přizpůsobit potřebám výroby. Nanostroj by se mohl vyrábět s jednou nebo více zvlákňovacími hlavami (maximálně šesti), čímž se výrazně liší od konkurence. Potencionálním zákazníkům by tak mohl být vyroben přesně podle jejich představ a finančních možností.

Výroba nanovláken a strojů pro jejich výrobu je dnes aktuálním tématem. Práce se bude dále zabývat zhodnocením a porovnáním s dosavadními technologiemi a výrobními stroji.

1 Analytická část

1.1 Dosavadní stav výroby nanovláken

V současné době je známá řada způsobů pro výrobu nanovláken, které jsou založeny na různých fyzikálních, anebo chemických principech. Nejvýhodnější z nich se v průmyslovém měřítku osvědčilo tzv. beztryskové elektrostatické zvlákňování, u kterého se nanovlákná vytváří silovým působením elektrického pole o vysoké intenzitě z roztoku nebo taveniny polymeru, který se do tohoto elektrického pole vynáší na povrchu rotující zvlákňovací elektrody protáhlého tvaru – například válce (viz např. EP 1673493) [1] nebo struny (viz např. EP 2059630), apod. Nevýhodou tohoto způsobu je, že zvlákňovací elektroda, která se brodí v roztoku nebo tavenině polymeru uloženém v zásobníku, není schopná díky své nízké rychlosti (jednotky otáček za minutu) a/nebo díky svým malým rozměrům (např. struna o průměru desetin až jednotek milimetrů) roztok nebo taveninu polymeru v celém objemu zásobníku dostatečně intenzivně promíchávat. Díky tomu pak zejména roztok polymeru poměrně rychle houstne a případně i chemicky degraduje, takže postupně klesá jeho ochota ke zvlákňování a dochází ke snižování výkonu elektrostatického zvlákňování až do jeho úplného zastavení. K řešení této nevýhody bylo např. v CZ 2006-359 navrženo řešení, kdy se do zásobníku roztoku nebo taveniny polymeru instaluje pohyblivý element/elementy, jako např. šnek, který roztok nebo taveninu polymeru průběžně promíchává. Jeho nevýhodou je, vedle nutnosti montáže tohoto/těchto pohyblivého elementu/elementů a jeho/jejich pohonu/pohonů, a s tím souvisejících zvýšených nákladů, zejména nutnost podstatného zvětšení objemu zásobníku a množství v něm uloženého roztoku nebo taveniny polymeru, aby bylo možné tento/tyto pohyblivý element/elementy uložit mimo kontakt se zvlákňovací elektrodou/elektrodami.

Cílem vynálezu je navrhnout způsob pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru, který by odstranil nevýhody stavu techniky a také zařízení k jeho provádění.

1.2 Nanovlákn

Nanovlákn je délkový útvar o charakteristických rozměrech a vlastnostech.

Mají obrovský měrný povrch, vysokou pórovitost a vynikající mechanické vlastnosti v poměru k jejich váze.

Nanovlákn není viditelné lidským okem. Jejich průměr je v rozmezí několika nanometrů až stovek nanometrů. Jeden nanometr je 0,000000001 m, tedy 10^{-9} m. [2]

1.3 Historie výroby nanovláken

Historie využití nanotechnologie sahá až do starověku. Již ve 4. století tehdejší skláři přidávali při výrobě skla k dosažení barevných efektů různé prášky kovů a jiných látek. Nejvíce využívali zlato a stříbro.

V renesanci ve 14. - 16. století se při výrobě glazur keramiky používaly částice mědi a stříbra o průměru 5–100 nm. Soli stříbra a mědi hrnčíři míchali s octem, okrem a jílem a vzniklou směsí natírali nádoby, které již měly na svém povrchu jednu glazuru vypálenou a znovu ji vypalovali. [3]

1.4 Zvláknovací technologie

Jak už bylo zmíněno v úvodu, existuje celá řada výrobních zařízení na výrobu nanovláken a různí výrobci využívají různé výrobní postupy. Nutno však podotknout, že většina výrobních zařízení využívá elektrospinning (viz níže). V jedné z kapitol se chci věnovat přístroji Nanospider, který vznikl ve spolupráci s TU v Liberci a firmou Elmarco, s. r. o. a porovnat jej s vlastním projektem. Jedná se také o zařízení, které využívá principu elektrospinningu. Firma Elmarco, s. r. o. vznikla v roce 2008 v Liberci. Další stroj, kterému chci věnovat pozornost je SPUR-line vyráběn českou firmou SPUR, a. s., která též využívá metody elektrospinningu. Zcela odlišný způsob výroby nanovláken využívá americká firma FibeRio Technology Corporation. V tomto případě se jedná o technologii forcespinning.

1.5 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování (anglicky electrospinning) je metoda výroby nanovláken. První patent tohoto principu pochází již z roku 1902 od J. F. Cooleyho z univerzity v Bostonu. Tato metoda je pro svou nízkou energetickou náročnost a vysokou produkci nanovláken vhodná pro průmyslové využití. Mezi další výhodu patří i možnost využívat přírodně rozložitelné materiály. [4]

Elektrostatické zvlákňování probíhá tak, že elektrické síly na povrchu polymerního roztoku překonají síly vytvořené povrchovým napětím. Poté vzniká Taylorův kužel (obr. 1) a dochází k vypuzení proudu elektricky nabitého roztoku polymeru. V této fázi se polymerní proud postupně velmi napíná a dochází k vytvoření ultrajemných vláken (obr. 2). [4]



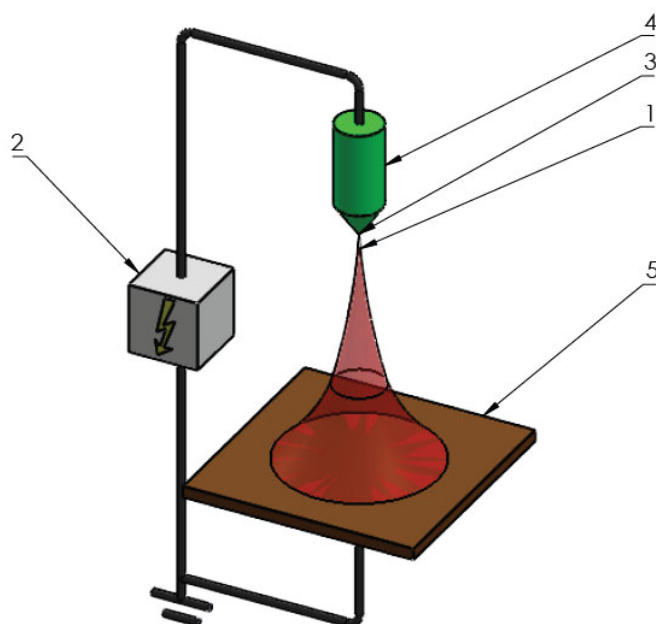
Obrázek 1 - Taylorovy kužely [5]



Obrázek 2 - Tvorba nanovláken [6]

1.6 Zvlákňování z jehly

Zařízení se skládá z dávkovací pumpy, injekční stříkačky s polymerem, jehly, kolektoru, na který se nanáší nanovláknenná vrstva, a zdroje vysokého napětí. Tento princip je světově nejrozšířenější. Vzhledem ke svým malým rozměrům vhodný pro laboratoře.



Obrázek 3 - Zvlákňování z trysky

Legenda:

1.....proud roztoku

2.....zdroj vysokého napětí

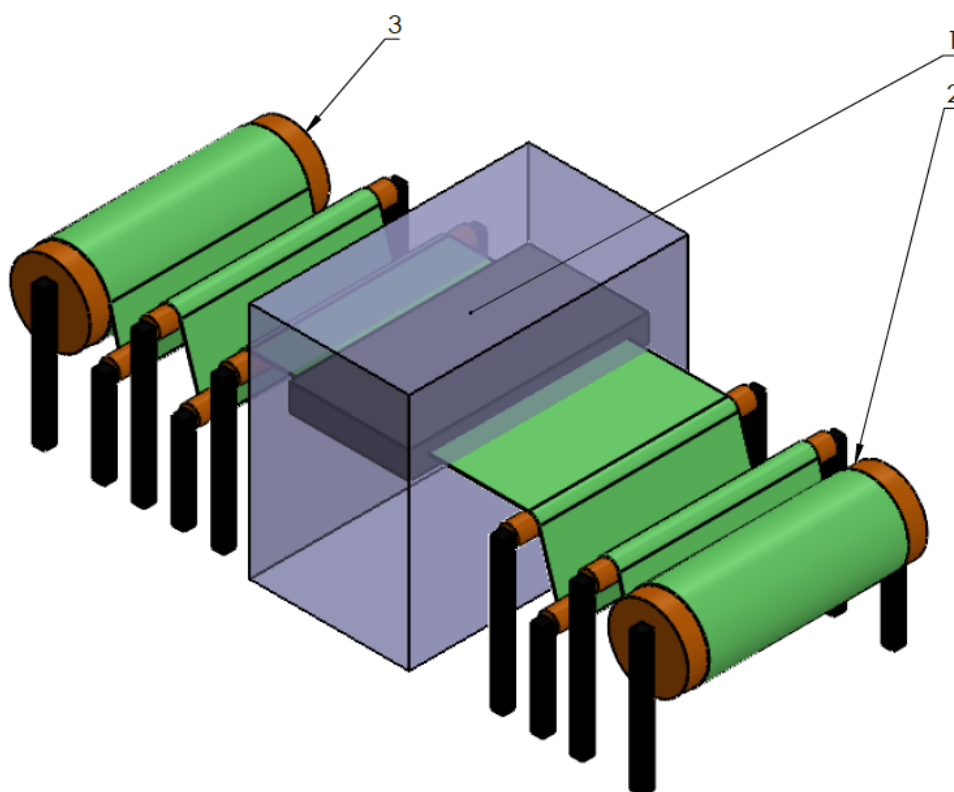
3.....Taylorův kužel

4.....kapilára

5.....uzemněný kolektor, zachytávající nanovláknna

1.7 Zvlákňování SPUR-line

Příkladem průmyslové výroby z trysky může být např. česká firma SPUR a. s. Jedná se o nejvíce rozšířenou metodu výroby nanovláken. Zařízení využívá metody zvlákňování: elektrostatické zvlákňování, zvlákňování z taveniny a electroblowing. Electroblowing je proces, který kombinuje elektrostatické zvlákňování za současného foukání vzduchu. Jedná se tedy o zvlákňování z trysky, jak již bylo výše zmíněno.



Obrázek 4 - SPUR-line

Legenda:

1.....zvlákňovací prostor

2.....navíjení

3.....odvíjení

1.8 Zvlákňování z „válečku“ – princip technologie Nanospider první generace

Zařízení se skládá z válečku, který se otáčí v polymerním roztoku, do kterého je přivedeno vysoké napětí. Na válečku se vytvářejí Taylorovy kužely, ze kterých vznikají vlákna, která se vlivem elektrostatického pole prodlužují a ukládají se na kolektor. Zde byl zjištěn zásadní fakt, že není potřeba zvlákňovat z kapiláry, ale je možné zvlákňovat i z vhodně tvarovaného zvlákňovacího prostředku, jak již bylo uvedeno výše, tedy válečku. Jeho předností je, že lze zvlákňovat v průmyslové šířce, která činí 1,6 m. Je schopen zvlákňovat organické i anorganické polymery. Tato technologie podléhá světovému patentu prof. Oldřicha Jirsáka z Technické univerzity v Liberci a firmy Elmarco z roku 2004: Kontinuální výroba nanovlákných vrstev elektrostatickým zvlákňováním – TECHNOLOGIE NANOSPIDER.

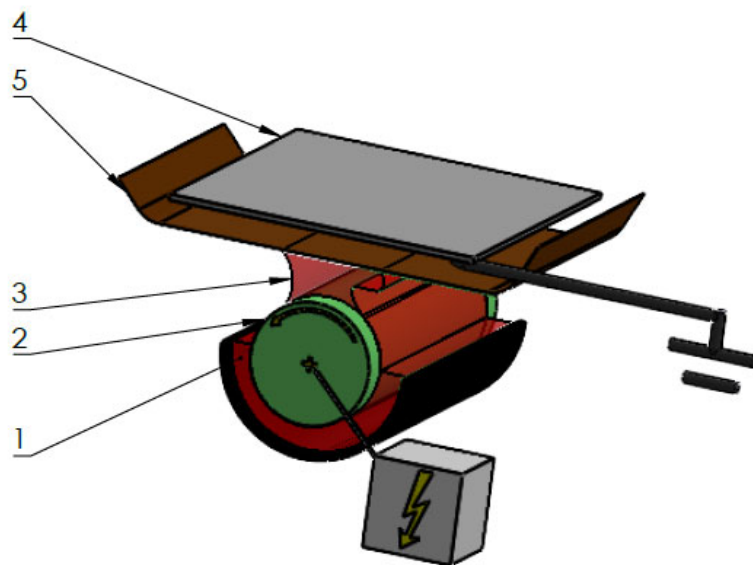
Výsledek procesu ovlivňuje:

- složení polymerního roztoku – jeho vodivost a viskozita (potřeba velkého množství rozpouštědel),
- velikost napětí a proudu mezi zvlákňovacími elektrodami,
- kvalita vzduchu v komoře (vlhkost a teplota),
- velikost odtahu vzduchu z komory,
- vzdálenost elektrod,
- rychlost otáčení elektrody a posunu sběrné textilie.

Princip:

Na rozdíl od ostatních předchozích metod Nanospider nepoužívá žádnou trysku ani kapiláru pro tvorbu nanovláken, ale používá válec. Válec je částečně ponořený v roztoku polymeru a jak se otáčí, nanáší na sebe určité množství roztoku polymeru. Na vrchní části válce se tvoří Taylorův kužel – počátek tvorby nanovláken.

Taylorovy kužely jsou vytvářeny blízko sebe po celé délce válce, čímž je dosaženo vysoké výrobní kapacity zvlákňovací hlavy Nanospideru. Proudění roztoku polymeru jsou poté odpařením rozpouštědla přeměňovány a stávají se nanovláknem, než dosáhnou protější sběrné elektrody.



Obrázek 5 - Nanospider

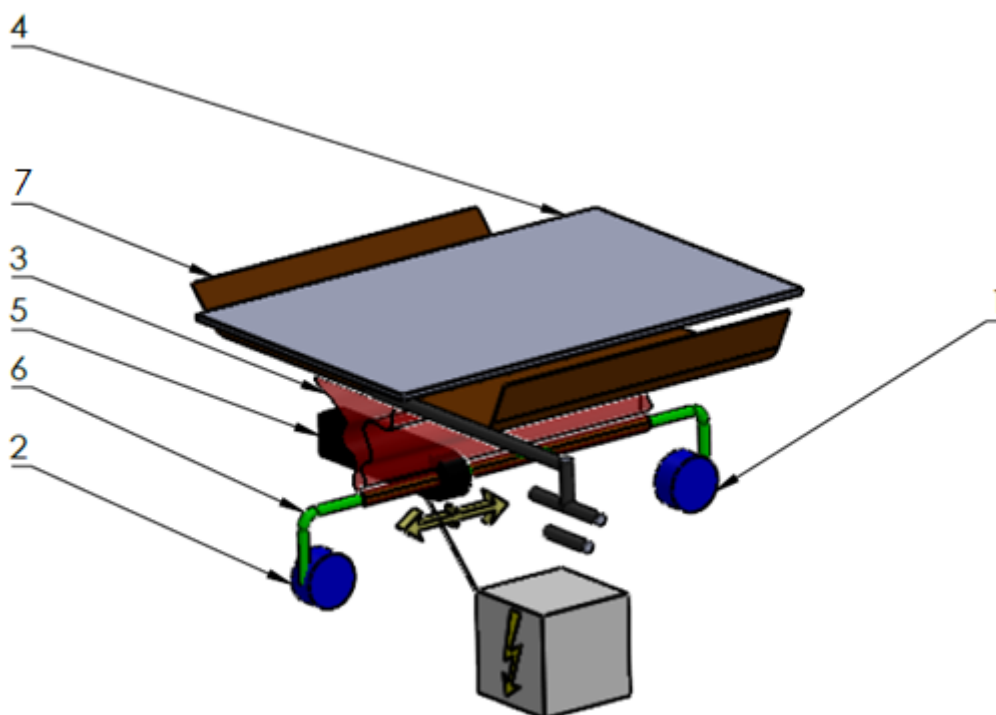
Legenda:

- 1.....roztok polymeru, nebo taveniny
- 2.....váleček, zdroj vysokého napětí
- 3.....vznikající nanovláčna
- 4.....uzemněný kolektor, zachytávající nanovláčna
- 5.....podklad pro nanovláčna

1.9 Zvlákňování ze „struny“ – princip technologie Nanospider druhá generace

Nanospider druhé generace využívá na místo válečku jako zvlákňovacího prostředku strunu. I zde se využívá elektrospinningu. Jedná se v podstatě o nekonečný zvlákňovací prostředek, kdy je struna převíjena v šíři stroje a po úplném převinutí je nahrazena novou strunou. Na strunu se nanáší roztok polymeru pomocí mechanického zařízení, které přejíždí po šíři struny a postupně na ni nanáší polymer. Největší výhodou spočívá v jednoduchosti údržby. Není nutné pravidelně složitě a chemicky čistit zvlákňovací prostředek, pouze jej vyměníme.

Nevýhodou je, že při nanášení roztoku polymeru přebytky stékají ze struny na stroj a je nutné jej čistit a současně je potřeba vhodně nastavit dávkování polymeru.



Obrázek 6 - Zvlákňování ze struny

Legenda:

- 1.....navíjení struny
- 2.....odvíjení struny
- 3.....vznikající nanovlákná
- 4.....uzemněný kolektor, zachytávající nanovlákná
- 5.....nádobka s polymerem
- 6.....struna
- 7.....podklad pro nanovlákná



Obrázek 7 - Nanospider druhé generace [7]

1.10 Forcespinning

Forcespinning je další metoda kontinuální výroby nanovláken. Tento způsob využívá společnost Fiberio, stroj se nazývá FiberLab.

Pomocí odstředivé síly může stroj pracovat s roztoky, nebo čistými taveninami materiálů. Při Forcespinningu není nutné používat rozpouštědla, což je efektivnější než u elektrostatického zvlákňování. Další výhodou je, že není třeba používat vyhřívanou vzduchovou trysku, proces je tedy levnější.

Zvlákňuje:

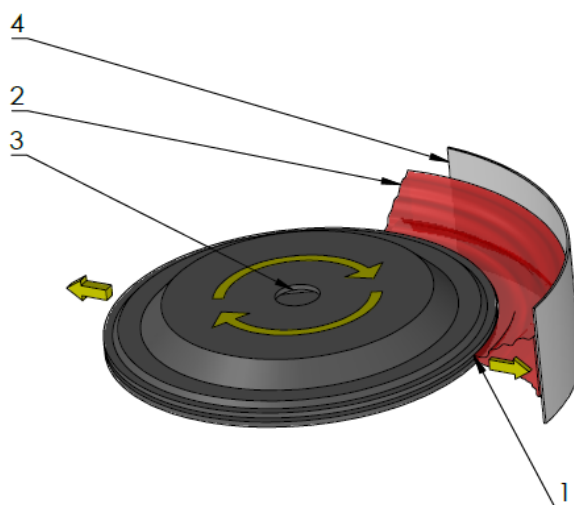
- organické polymery,
- anorganické polymery,
- taveniny (kovy s bodem tání do 450°C).

Výsledek procesu ovlivňuje:

- složení polymerního roztoku – jeho viskozita a molekulární hmotnost, (potřeba menšího množství rozpouštědel – vyšší koncentrace a výtěžnost procesu)
- rychlost otáček zvlákňovací hlavy a její tvar (trysky).

Princip

Stroj využívá vysokootáčkového spinneretu, který je současně ohříván. Při ohřevu dochází k tavení polymeru, který je pomocí odstředivé síly vytlačován skrz trysku spinneretu. Vysoké otáčky vlákna dále prodlužují a ztenčují. Vzniklé nanovláknو je poté zachycováno na zachytávači vláken. Kombinuje se tu tedy využití tepelné energie s odstředivou silou. Výhodou je, že získáváme dlouhé vlákno. Nevýhodou je vysoká energetická náročnost výroby. Mezi nevýhody forspinnigu patří: špatná distribuce průměru nanovláken, a tudíž nežádoucí lokální hromadění nanomateriálu.



Obrázek 8 - Spinneret

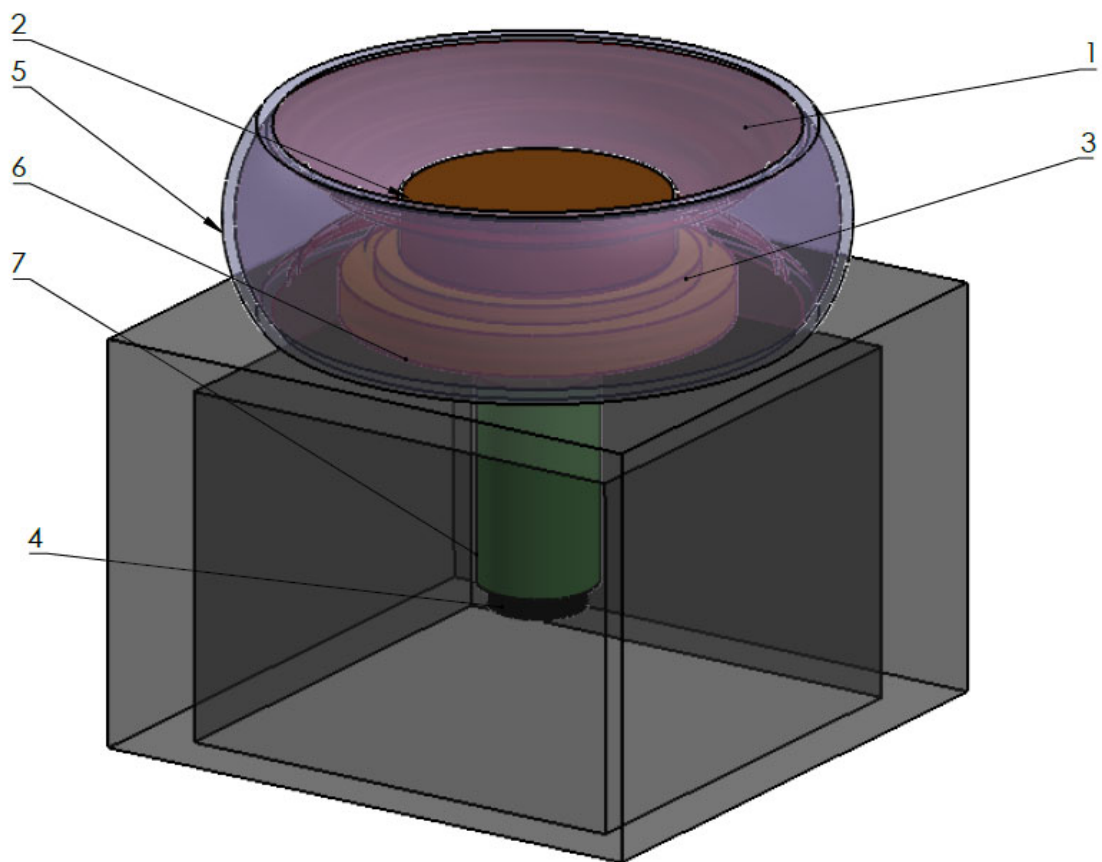
Legenda:

1.....otvor

2.....vznikající nanovláknو

3.....zásoba materiálu

4.....zachytávač nanovláken



Obrázek 9 - FiberLab

Legenda:

1.....vznikající nanovláknno

2.....spineret

3.....pec

4.....brzda

5.....zachytávač nanovláken

6.....ohříváč

7.....motor

1.11 Zhodnocení dosavadního stavu uvedených technologií

V průmyslovém měřítku se v současné době jeví jako nejvýhodnější elektrospinning, a to díky velmi malému rozptylu a stejnoměrnosti nanovlákněné vrstvy. Využívá beztryskové elektrostatische zvlákňování, kde se nanovláknena z roztoku polymeru, či jeho taveniny vytváří pomocí silového působení vysokonapěťového elektrického pole, jak již bylo zmíněno u popisů jednotlivých technologií výše. Zde se tedy nabízí možnost využívat pro zvýšení efektivity a hospodárnosti výroby zvlákňovací elektrody vhodného tvaru. Ovšem i ty mají své nevýhody. Váleček, který se pomalu otáčí v roztoku polymeru, je výhodný z hlediska mechanické jednoduchosti, ale jako jeho největší nevýhoda je nedostatečné promíchání roztoku. Roztok tak houstne a je více náchylný k chemické degradaci a dochází ke snižování výkonu výroby. Je nutné váleček pravidelně čistit, čímž se snižuje hospodárnost výroby. Tento problém byl částečně odstraněn použitím struny jako zvlákňovacího prostředku u Nanospideru druhé generace. U tohoto způsobu je ale složité nastavení dávkování roztoku polymeru, který tak může zasychat na částech stroje, které je nutné důkladně čistit. U zvlákňování využívající strunu je velkou nevýhodou samotné dávkovací zařízení, které se pohybuje mezi strunou a sběrnou elektrodou a dochází tak k nestejnoměrnosti nanovlákněné vrstvy. Další nevýhodou, jak u strunového, tak u válečkového zařízení je špatně vyřešené proudění klimatizovaného vzduchu, který má na začátku jiné parametry než na konci stroje, což též ovlivňuje stejnoměrnost nanovlákněné vrstvy.

U tryskových zařízení je zase nevýhodou samotná tryska. Jeli více trysek vedle sebe, dochází ke vzájemnému ovlivňování těchto trysek během zvlákňování, a tím pádem k velké nestejnoměrnosti, a to hlavně při vyšších plošných hmotnostech nanovlákněné vrstvy. Další nevýhodou trysek je, že každá je určená pro jiný druh materiálu a teploty. Údržba takových trysek není jednoduchá.

Forcespinnig pracuje na odlišném principu, tudíž u tohoto způsobu výroby nedochází k výše zmíněným problémům, ovšem jeho největší nevýhodou je velmi špatný rozptyl průměru nanovláken a přílišné hromadění materiálu, které může být v některých případech nežádoucí. Kapitola 2 je věnována Nanostroji, který pracuje na podobném principu jako nanospider, tedy na bázi elektrospinningu, avšak se snahou eliminovat či dokonce odstranit výše zmíněné nevýhody.

1.12 Cíl práce

U výše uvedených technologií byly v předchozí kapitole zmíněné hlavní nevýhody, které budou v nově vzniklém stroji eliminovány a poté proběhne výroba nanovlákněné membrány a její porovnání s jinou komerčně vyráběnou. Nový stroj budeme v této práci dále nazývat Nanostroj.

Postup při návrhu stroje:

- 1) navrhnout vhodný zvlákňovací prostředek,
- 2) odstranit problém s tuhnutím polymeru,
- 3) zajistit stabilní výrobní prostředí,
- 4) jednoduchost mechanického ústrojí,
- 5) snadná údržba stroje,
- 6) snadné ovládání.

Než bude možné navrhnout samotný Nanostroj, bude potřeba nejprve připravit prototypové zařízení, na kterém bude možné ověřit nově zamýšlený princip elektrostatického zvlákňování a zda tato nová myšlenka bude vhodná a správná. Z ekonomického hlediska by si stavba celého kompletního stroje vyžádala nemalé finanční investice. Z těchto důvodů bude nutné nejprve nový systém vyzkoušet v menším měřítku – prototypu. V laboratoři TUL bude možné prototyp vyzkoušet v již používaném laboratorním Nanospideru. V rámci zamýšleného testu bude využito rámu současného zařízení a jeho elektro vybavení nezbytného pro generování elektrického pole o vysoké intenzitě. Dále zde bude možné vyrobit nanovlákněnou membránu u které budeme zjišťovat její parametry a kvalitu zhotovení.

Postup při návrhu a výrobě prototypu:

- 1) návrh zvlákňovacího prostředku,
- 2) návrh zásobníku polymeru,
- 3) návrh pohonu,
- 4) výroba jednotlivých dílčích komponent,
- 5) zkušební provoz,
- 6) výroba nanovlákněné vrstvy.

1.13 Polyuretan

Polyuretan patří mezi polymery. Jeho výroba probíhá polyadící diisokyanátů s dvojsytnými nebo vícesytnými alkoholy za vzniku uretanové vazby. Charakteristickým znakem všech polyuretanů je skupina uretanů (-NH-CO-O-).

Polyuretany jsou lehké, pevné, pružné, otěruvzdorné. [8]

Užitné vlastnosti: Velmi vysoká tažnost 100-700%, dobrá stálost proti potu, tukům, čistícím prostředkům, velká hořlavost, malá stálost na světle a vůči povětrnostním vlivům

Použití: ve formě nekonečného vlákna opředeného bavlněnými, viskózovými nebo polyamidovými vlákny. Stále širší použití na elastické spodní prádlo, pružné tkaniny, punčochy, sportovní oděvy, plavky, zdravotnické textilie apod.

Obchodní názvy: Spandex, Virene, Lycra, Elastan [9]

PUR bylo zmíněno z důvodu porovnávání a vyhodnocení zvlákněných struktur ze stroje Nanospider a Nanostroj.

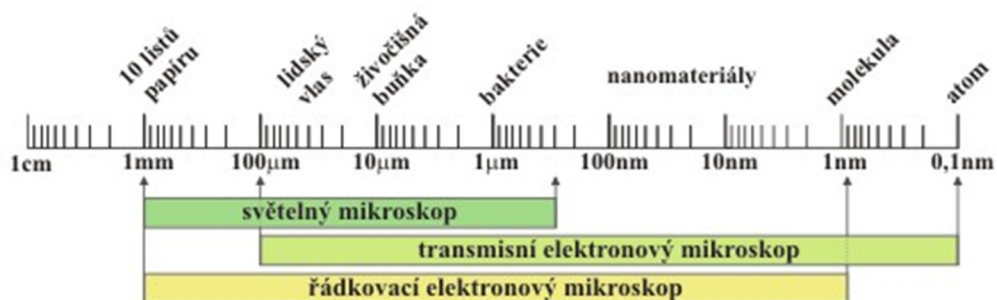
1.14 Elektronový mikroskop

Elektronový mikroskop již není optický přístroj. Namísto fotonů využívá elektrony a elektromagnetické čočky, což jsou v podstatě cívky, které vytvářejí elektromagnetické pole s vhodným tvarem. Aby se předešlo vlivu atmosféry, která ovlivňuje dráhu letících elektronů, musí být vzorek umístěn ve vakuu. Nejdůležitějším parametrem mikroskopu je rozlišovací schopnost, která je mnohem vyšší než u světelného mikroskopu, zvětšení může být i vyšší než 800 000ti násobek. Je to dáno vlnovou délkou záření elektronů, která je kratší, než je tomu u lidským okem viditelného světla. Nejmenší rozlišitelná vzdálenost dvou bodů je 0,1 nm. Tato velikost objektů, které lze pomocí elektronových mikroskopů pozorovat je znázorněna na obrázku 10. [10]

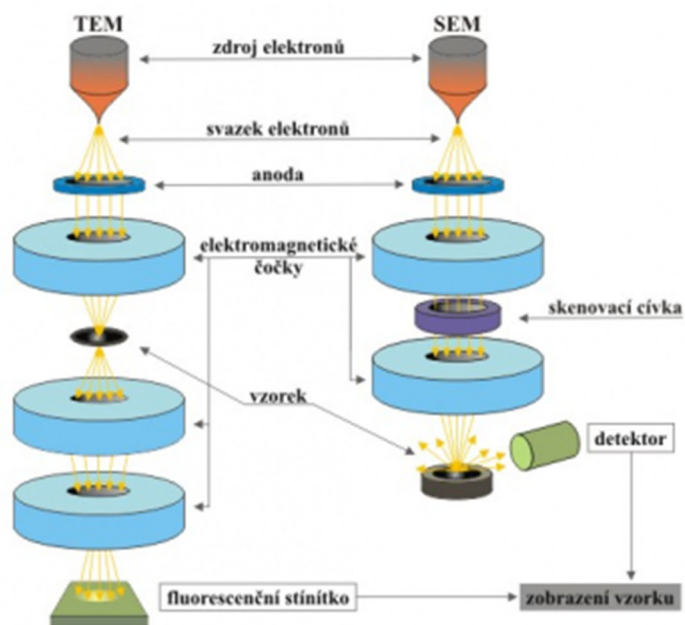
Typy elektronových mikroskopů jsou rozděleny na dvě kategorie:

- **transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop** (TEM - transmission electron microscope): zobrazování vzorku pomocí prošlých elektronů,
- **skenovací (rastrovací, řádkovací) elektronový mikroskop** (SEM - scanning electron microscope): zobrazování vzorku pomocí prošlých elektronů.

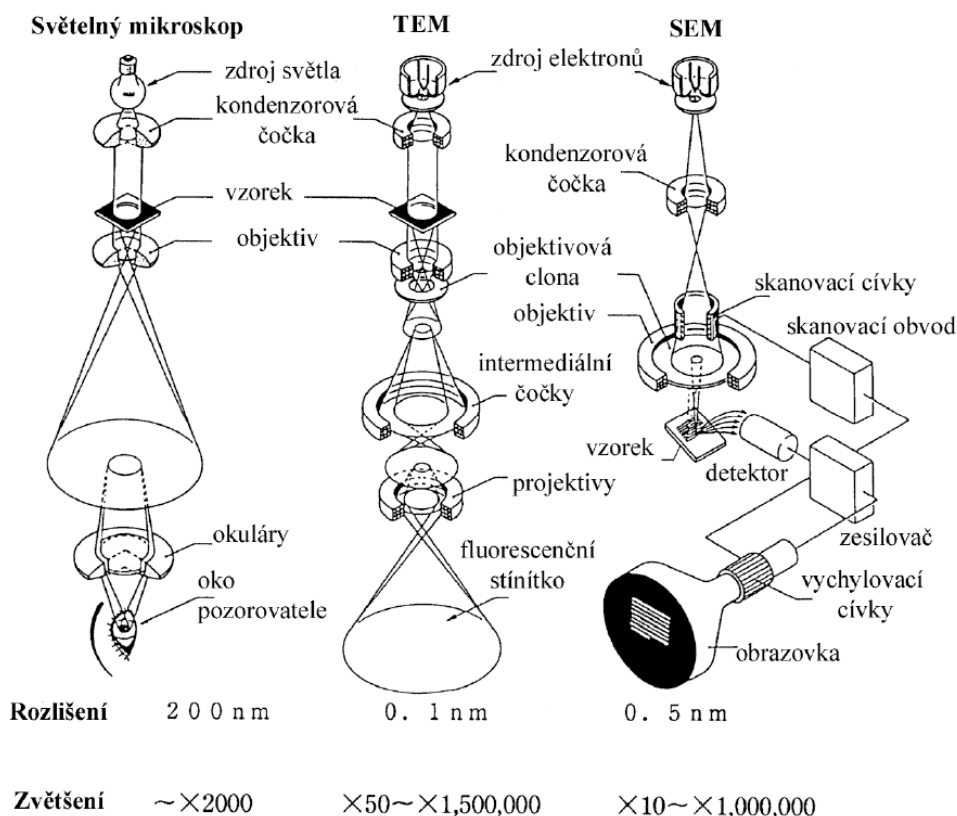
Schéma jejich optických soustav je uvedeno na obrázku 11 a 12. [10]



Obrázek 10 - Typická velikost objektů, které lze pozorovat elektronovým mikroskopem (pro srovnání je uveden i rozsah světelného mikroskopu) [11]



Obrázek 11 - Schématické znázornění principu transmisního (vlevo) a řádkovacího (vpravo) elektronového mikroskopu [11]

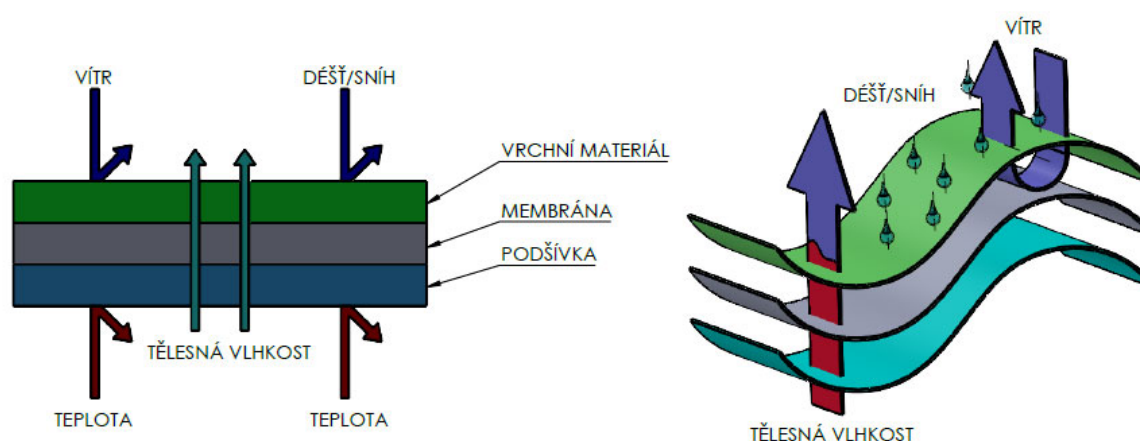


Obrázek 12 - Porovnává stavbu světelného, transmisního a skenovacího elektronového mikroskopu. [12]

1.15 Používání membrán v oděvním průmyslu

Hlavním úkolem membrány je zvýšit naše pohodlí v oděvní textilií, ať už se jedná o bundu, kalhoty apod. Veškerý oděvní materiál má určité limity, proto se vkládá mezi podšívkový a vrchní oděvní materiál membrána. Podšívkový materiál nemusí být v oděvu vždy. Tyto limity se tímto zvyšují a pomohou utvořit textilií pro zákazníka co nejvíce pohodlnou a funkční. Uvedeme zde tři nejdůležitější funkce membrány: paropropustnost, nepromokavost a větruodolnost. Nepromokavost a větruodolnost jsou vlastnosti, které již může mít určitý druh oděvu. Např. běžná pláštěnka, která tyto dvě funkce splňuje, ale již nemá funkci paropropustnosti a člověk se v takovémto oděvu potí a tím se tedy jeho fyziologický komfort snižuje. Proto přední výrobci outdoorového oblečení běžně používají membrány pro docílení těchto tří parametrů. [13]

Funkce membrány v oděvu je znázorněna na obr. 13. Na svrchní materiál dopadá voda v podobě kapek vody, ale může to být i déšť, nebo sníh. Na schématu je možné pozorovat, jak se vrchní oděvní materiál snaží zamezit pronikání dopadajících vodních kapek na vrchní plochu pod textilií. Většinou bývá vrchní materiál velmi často chemicky zušlechťený a naimpregnovaný. Snahou těchto úprav je, aby zůstal i nadále paropropustný. Ale i takto ošetřený vrchní materiál má určité limity, proto bývá membrána zalaminována mezi vrchní materiál a podšívku. Ta zvyšuje hodnotu vodního sloupce, je paropropustná a větruodolná, čímž využíváme její důležité vlastnosti. Jednou z možností laminace může být laminace membrány jen s vrchním oděvním materiálem. Takový výrobek je velmi lehký a může dosahovat vysokých požadovaných hodnot. Z toho vyplývá, že nezáleží jen na kvalitě samotné membrány, ale i na podšívkovém a vrchním oděvním materiálu. Pro zajištění co nejvyššího možného komfortu je také potřeba používat funkční oblečení (spodní prádlo, mikina atd.). [13]



Obrázek 13 - Funkce membrány

Membrány jsou nejčastěji vyráběny z polymerních materiálů, a to z PTFE, PES nebo PUR. Tloušťka takových membrány je řádově v jednotkách mikrometrů. V současné době se vyskytují na trhu dva druhy membrán, a to mikroporézní membrána a hydrofilní membrána.

Mikroporézní membrána obsahuje velké množství mikroskopických pórů, které jsou dostatečně veliké k prostupu molekul vodní páry, ale jsou zároveň malé pro zkondenzované kapky vody. Známým výrobcem mikroporézní membrány je například firma Gore-tex.

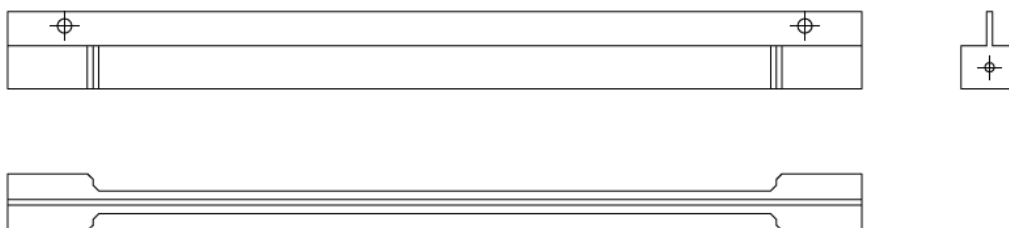
Hydrofilní membrána, jejíž hlavní odlišností od mikroporézní membrány tkví v tom, že neobsahuje žádné póry. Přenos vlhkosti je založen pouze na chemickém principu, kdy se voda po určité době absorbuje do membrány, resp. stává se její součástí. Tím je umožněno odvádět vodu nejen jako vodní páru, ale i ve zkondenzované podobě. Známymi výrobci hydrofilních nepropustných membrány jsou například firmy: Gelanots, BlokVent a Diaplex. [14]

Jak již bylo zmíněno výše u rozdělení, hydrofilní membrána se od mikroporézní membrány liší v tom, že neobsahuje žádné póry a její přenos vlhkosti je založen pouze na chemickém transportu kondenzující vody navenek. Výhoda tedy neporézních membrán je minimální zanášení pórů a její lepší možnosti elasticity. Té je dosaženo díky často použitému polyuretanu. Nevýhodou těchto membrán je nulový přenos plynů a tím tedy obecně horší paropropusnost oproti mikroporézním membránám. [13]

2 Nanostroj

2.1 Zvlákňování z „lišty“ – princip technologie Nanostroje

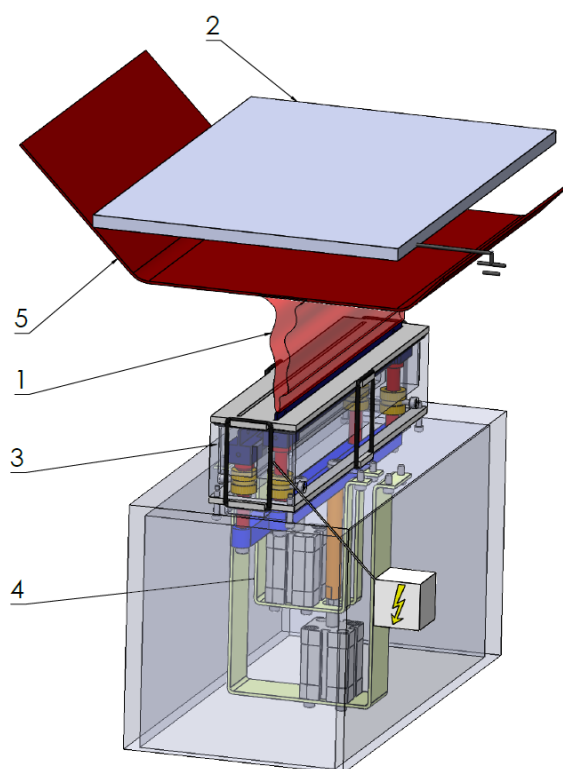
Z již zmíněných principů zvlákňovacích technologií bude vhodné navrhnout takový zvlákňovací prostředek, který obsáhne svým rozměrem celou šíři podkladu, což je v průmyslovém měřítku běžná šíře 1600 mm. Zároveň takový zvlákňovací prostředek, který bude pracovat, nebo se pohybovat přímo v nádobě s polymerním roztokem. Jako nejvýhodnější se jeví využití lišty zobrazené na obr. 14 (vyobrazení tvaru lišty využitě v prototypovém Nanostroji). Její vrchní hrana bude využita ke vzniku Taylorova kužele. Zároveň její zamýšlený přímočarý horizontální pohyb přispívá k promíchávání roztoku nebo taveniny polymeru, který nebude mít tendence k degradaci a zajistí delší využití polymerního roztoku ke zvlákňování. V přiloženém pohledu na navržený prototyp (obr. 15) je znázorněno vymyšlené prototypové zařízení neboli Nanostroj pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru v provedení se dvěma zvlákňovacími prostředky, které pracují přímočarým vratným pohybem v nádobce s polymerním roztokem.



Obrázek 14 - Tvar lišty použitý v prototypu Nanostroj

Důležitou součástí stroje musí být i vhodný ventilační systém, který zajistí stabilní prostředí v pracovní části stroje. Je potřeba během procesu přivádět do zařízení klimatizovaný vzduch, ale zároveň i odsávat výpary, které vznikají během výrobního procesu.

Během návrhu bude počítáno se snadnou údržbou a servisem celého zařízení.



Obrázek 15 - Nanostroj

Legenda:

- 1.....vznikající nanovláknna
- 2.....uzemněný kolektor, zachytávající nanovláknna
- 3.....roztok polymeru, nebo taveniny v nádobce
- 4.....lišty s pohony
- 5.....podklad pro nanovláknna

Zvlákňuje:

- organické polymery,
- anorganické polymery.

2.2 Návrh zvlákňovacího prostředku pro Nanostroj - lišty

Požadované vlastnosti:

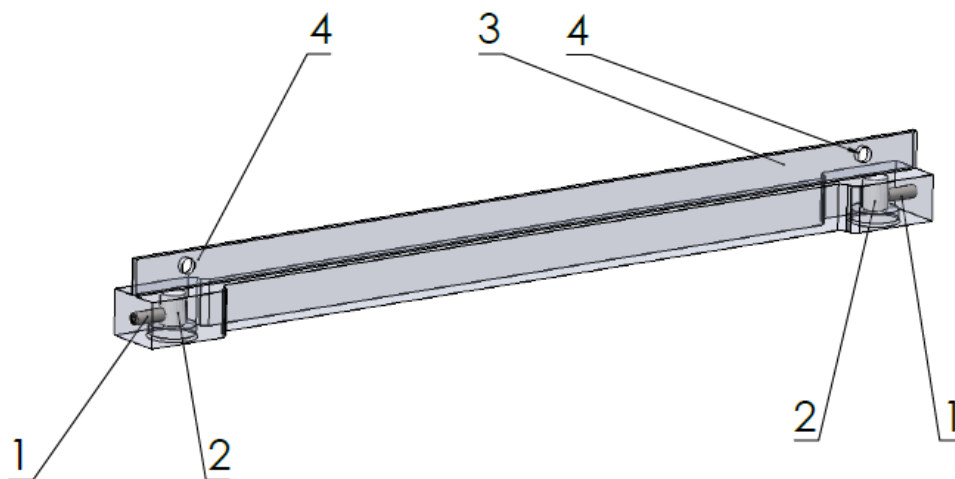
- 1) chemická odolnost,
- 2) nízká hmotnost,
- 3) dostatečná tuhost,
- 4) snadné propojení s pohonem a její vyjmutí z lázně v případě potřeby,
- 5) snadná a hospodárná výroba.

V prototypu budeme využívat hraniční délku zvlákňovacího prostředku 300 mm, tento rozměr vychází z velikosti laboratorního zařízení v laboratoři TUL. Lišta je navržena s ohledem na její délku 300 mm z materiálu PP (Polypropylen), vzhledem ke jeho dobré odolnosti vůči chemikáliím a dobré obrobitelnosti. Katalogový list k uvedenému materiálu je v příloze č. 1, 2. Lišta bude překonávat pouze odpor kladený roztokem polymeru, proto můžeme její pevnostní výpočet zanedbat. Lištu bude třeba doplnit o manipulační otvory, aby šla snadno vyjmout z lázně, aniž by muselo dojít jejímu kontaktu s obsluhou zařízení, která ji bude vyjímat. Je navrženo využít pomocné otvory v horní části lišty. Pro vyjmutí musí být obě lišty v horní pracovní poloze neboli v horní úvrati. Pro vyjmutí bude možné použít např. háčky z kovového drátu. Ideální propojení pohonného ústrojí s táhly bude pomocí magnetického spoje. Byl vybrán Neodymový magnet „Neodymový magnet válec D 8x10 mm, Neodym, N38, poniklovaný“ od firmy SOLLAU. Níže je uvedena tabulka s vybranými parametry:

Tabulka 1. Parametry magnetu N38 [15]

Kategorie:	Neodymové NdFeB magnety válce
Přidržná síla F:	24 N
Průměr D:	8 mm
Výška H (mm):	10 mm
Kvalita:	N38
Tolerance:	+0.1/-0.1 mm
Hmotnost (g):	3,76 g
Povrch:	poniklovaný (Ni-Cu-Ni)
Teplota (°C):	80°C

Tento magnet bude zajištěn pomocí stavěcího šroubu z čela lišty obr. 16. Magnet zajistí dostatečnou přídržnou sílu lišty vůči táhlu během pracovního cyklu, ale zároveň je vhodný pro případnou montáž a demontáž lišty během údržby a čištění zařízení. V liště bude malé navedení pro táhla v podobě zahloubeného otvoru. Tím bude dosaženo přesného uložení táhla bez nutnosti dalších přípravků, nebo složitého polohování.



Obrázek 16 - 3D průřez kompletní lištou
(výrobní výkres k navržené liště je uveden v příloze č. 3.)

Legenda:

- 1.....stavěcí šroub
- 2.....neomidový magnet
- 3.....tělo lišty
- 4.....otvory pro manipulaci s lištou.

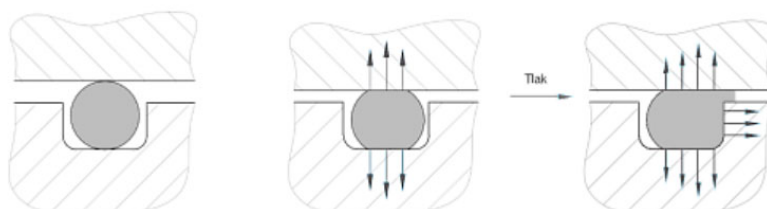
Hmotnost samotné lišty je 50 g. Tvar byl dále navrhován s ohledem na hospodárnost a snadnou obrobiteľnosť. V podobě technologických rádiusů apod.

2.3 Návrh nádoby a víka

Požadované vlastnosti na nádobku a její víko:

- 1) chemická odolnost,
- 2) snadné uzavření,
- 3) těsnost,
- 4) snadná a hospodárná výroba.

Nádobka pro zvláknovací roztok polymeru musí být rozdělena. Tento vnitřní prostor musí být oddělený přepážkou, předejde se tím nežádoucímu „rozvlnění“ náplně. Její horní část musí být také opatřena drážkou pro umístění těsnění, aby bylo možné nádobku těsně uzavřít víkem. Pro tento účel bude využito běžně dostupného EPDM (Etylen-propylen-dienového kaučuku) těsnění, které lze zakoupit v podobě O-kroužků, nebo metráži. Vlastnosti tohoto materiálu jsou pro použití dostatečné viz. níže. Na obr. 17 je znázorněno využití kruhového profilu těsnění.



Obrázek 17 - Uložení těsnění [16]

Vlastnosti materiálu EPDM:

Tvrdość ShA	Provozní teplota
EPDM 70	-45 °C až +130 °C

Materiál EPDM (Etylen-propylen-dienový kaučuk) má středně dobrou mechanickou pevnost. Je odolný horké vodě a pracím prostředkům. [16]

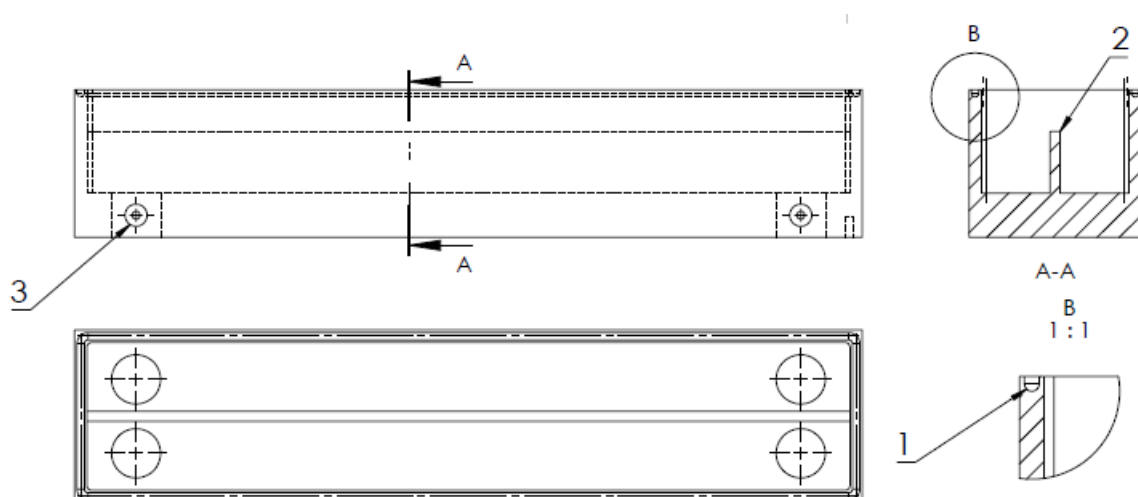
Je odolný:

Horká voda a pára, ozon, počasí stárnutí. Mycí a prací prostředky, hydroxid sodný, draselný louh. Silikonové tuky a oleje, polární rozpouštědla, mnoho organických a anorganických zředěných kyselin a chemikálií. Brzdové kapaliny na bázi glykolu až do +150 °C. Hydraulické kapaliny HFD-R. [16]

Není odolný:

Všechny minerální produkty (oleje, maziva, paliva). [16]

Materiál pro nádobku a víka bude použit stejný jako u lišt, tedy PP (Polypropylen). Vzhledem k opotřebitelnosti bude vhodná nádobka a úchyty potřebné pro přichycení víka rozdělit na dva samostatné díly. Tím to se předejde v případě poškození úchytového bodu(ů) výrobě celé nové nádobky. Tento poznatek bude zahrnut i do finální, tedy průmyslové podoby Nanostroje. K nasazení a sejmutí víka bude opět využito O-kroužků z EPDM materiálu, které jsou běžně dostupné a toto navržené řešení je výhodné tedy i z ekonomického hlediska. V těle nádobky budou připraveny kromě dělicí přepážky pouze otvory pro zalisování pouzder táhel pohybu (obr. 18). Tímto rozdělením vznikne jednoduchý vkládaný díl, který bude možné v případě potřeby jednoduše nahradit novým. K zajištění budou opět využity šroubové spoje. Spodní část s úchyty pro zajištění a přitlačení víka bude spojeno s nádobkou rovněž šroubovým spojením. Celkem bude využito čtyř úchytových/spojovacích bodů víka a nádobky, které jsou vzhledem k velikosti nádobky dostatečné. Nádobka s víkem a spodním odjímatelným dílem je znázorněna na obr. 19. Všechny tyto díly jsou vyrobeny ze stejného materiálu PP.

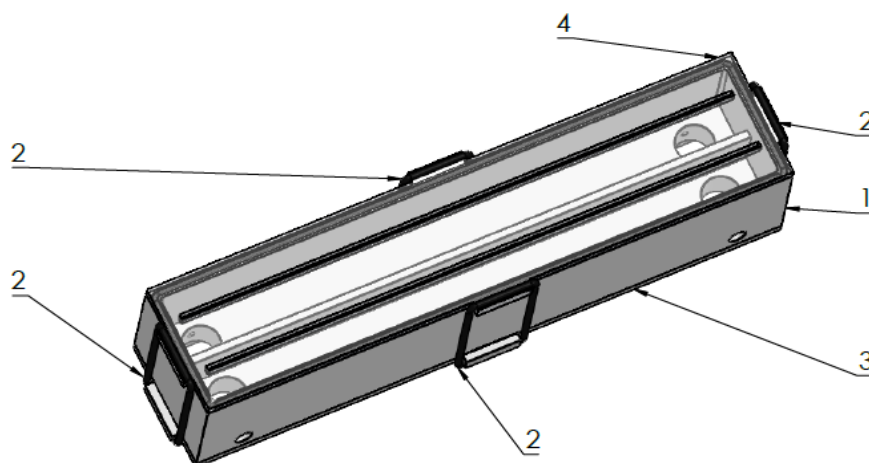


Obrázek 18 - Nádobka pro roztok nebo taveninu polymeru

Legenda:

- 1.....detail drážky pro EPDM těsnění
- 2.....přepážka rozdělující nádobku
- 3.....otvory se závity pro zajištění pouzdra

Výrobní výkres nádobky je v příloze č. 4.



Obrázek 19 - Kompletní sestavená nádobka s víkem a úchytovým dílcem
(výrobní výkresy víka a spodního dílu jsou v příloze č. 5 a č. 6.)

Legenda:

- 1.....nádobka s vloženým těsněním v drážce

2.....O-kroužky pro zajištění víka

3.....spodní díl s úchyty

4.....víko

2.4 Pouzdra pro táhla pohonu lišt

Požadované vlastnosti na pouzdra a táhla:

- 1) chemická odolnost,
- 2) těsnost,
- 3) snadná a hospodárná výroba.

Pouzdra budou vyrobena z nerezové oceli ČSN 17 348 W Nr. 1.4404 AISI 316 L.

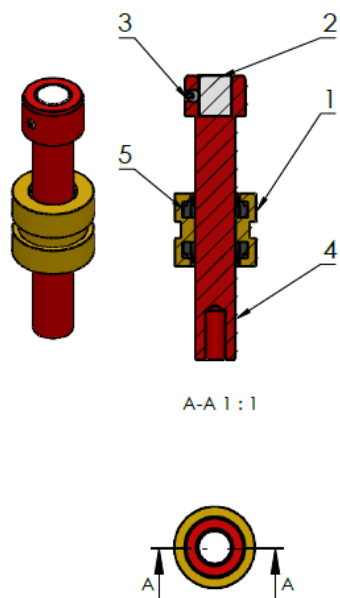
Vlastnosti vybraného materiálu:

Austenitická kyselinovzdorná chrómnikelmolybdénová ocel, s obsahem uhlíku do 0,03 %, vysoce odolná proti kyselinám a korozi, s mírným sklonem k důlkové korozi v roztocích s obsahem chloru. Ocel je velmi dobře svařitelná bez potřeby dodatečné tepelné úpravy po svařování, s vysokou odolností proti mezikrystalové korozi, leštitelná až do zrcadlového lesku a mimořádně dobře tvárná (ohýbání, zakružování, hluboké tažení, lisování apod.). Použití: Konstrukční díly, přístroje a aparáty chemického průmyslu s vysokým chemickým namáháním (přítomnost chloridů), při výrobě zařízení pro úpravu teplé vody a konstrukčních dílů, které přicházejí do styku s mořskou vodou. [17]

Pouzdra budou vybavena zápichem ve střední části pro zajištění jejich pozice po zalisování do nádoby. Pro utěsnění pouzdra a táhla budou využity stírací kroužky typu 10x16x3/5 AU90, které je možné nahradit O-kroužky z materiálu EPDM. Během testu prototypu byly stírací kroužky dostatečné a nejevily žádné známky degradace.

Na níže uvedeném obrázku č. 20 je uvedeno sestavení pouzdra s propojovacím táhlem, které je navíc opatřeno Neodymovým magnetem N38, stejným jako u táhla. Ten bude zajištěn

stejným osvědčeným způsobem v táhlu, jako je tomu u lišty, tedy šroubovým spojem. Vrchní část táhla má úkos pro snadné pozicování a navedení s lištou.



Obrázek 20 - Sestava pouzdra a táhla
(výrobní výkresy pouzdra a táhla jsou v příloze č. 7 a č. 8.)

Legenda:

- 1.....pouzdro
- 2.....magnet
- 3.....zajišťovací šroub
- 4.....táhlo
- 5.....stírací kroužek

2.5 Pohon pro pohyb zvlákňovacích prostředků - lišt

Požadované vlastnosti na pohon:

1. jednoduché ovládání,
2. využití pneumatického pohonu.

Potřebný zdvih je 17 mm. Potřebná síla pro pohyb je v podstatě zanedbatelná vzhledem k nízkým hmotnostem dílů, jejichž celková hmotnost je 0,2 kg. Zvolen byl jednočinný pneumatický píst firmy FESTO typ: EAN-25-17-I-P-A, který nejlépe odpovídal zástavbovým rozměrům.

Tabulka 2. Vybrané parametry zvoleného pneumatického pístu [18]

Parametr	Hodnota
zdvih	17 mm
průměr pístu	25 mm
snímání poloh	přibližovací čidlo
provozní tlak	0.1 MPa až 1.0 MPa
okolní teplota	20°C až 120 °C
teoretická síla při 0.6 MPa, pohyb vpřed	246 N

Zvolený píst má vyšší hodnoty, než jsou v této aplikaci požadovány, což zvyšuje jeho životnost. Jednočinný píst má hlavní výhodu v řízení, kdy stačí pouze přivádět vzduch pro pohyb vzhůru (u zvoleného typu) a pohyb dolů vykoná pomocí vnitřního odpružení a odvětrání komory válce. Z výše uvedeného popisu je tato komponenta ideální pro použití ve zkušebním zařízení. U zvolené varianty pístu byl vybrán možný vyráběný vnitřní závit na pístní tyči, který zjednoduší jeho montáž s táhly.

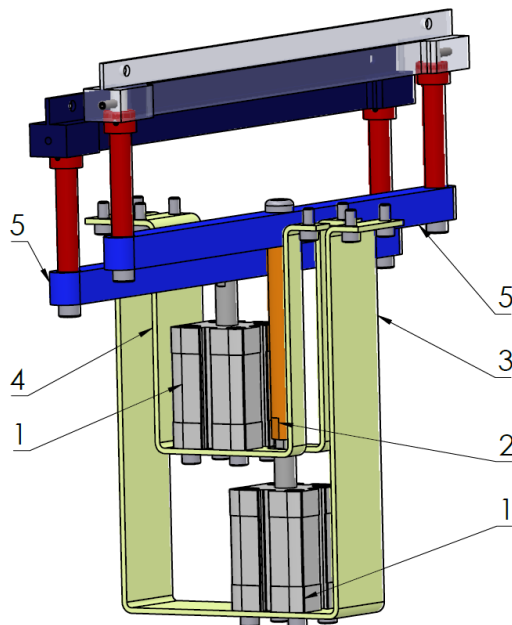
2.6 Pohybové ústrojí zkušebního Nanostroje

Požadované vlastnosti na pohybové ústrojí:

- 1) snadné propojení se základnou,
- 2) malá zástavbová velikost.

Pro uchycení pneumatických pohonů bude využito běžně výrobcí používaných nerezových plechů z materiálu AISI 304. Tyto plechy budou vypáleny na laserovém stroji a ohraněny do požadovaných tvarů. Pro malé zástavbové velikosti bude jeden z pneumatických válců doplněn o prodlužovací díl. Díky tomu bude možné použít pro obě lišty stejné standardní pneumatické válce. Materiál pro propojovací díly pro spojení táhel s písty bude rovněž AISI 304. Tyto však budou obrobene. Zde je zapotřebí přesnost výroby a dostatečné tuhosti dílů, aby byl zajištěn

plynulý chod dvojice lišt, které prochází roztokem polymeru. Veškeré díly a komponenty budou spojeny standardními šroubovými spoji.



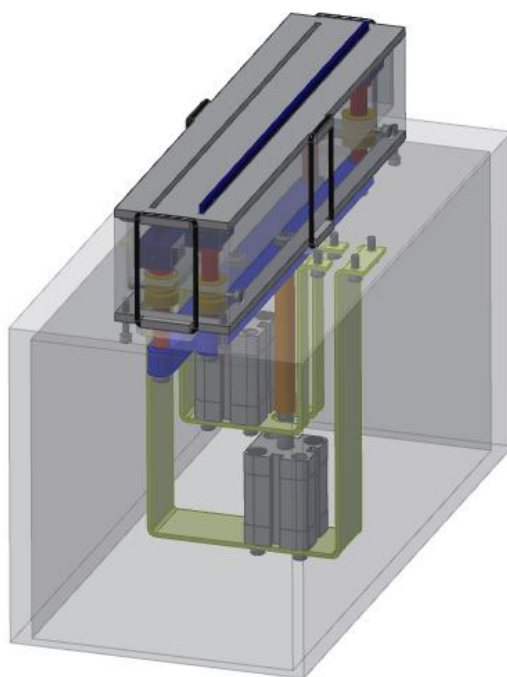
Obrázek 21 - Pohybové ústrojí s osazenými lištami a táhly

Legenda:

- 1.....pneumatický pohon
- 2.....nástavec pístnice
- 3.....uchycení pneumatického pohonu
- 4.....uchycení pneumatického pohonu
- 5.....propojovací díl táhel

2.7 Kompletace prototypu

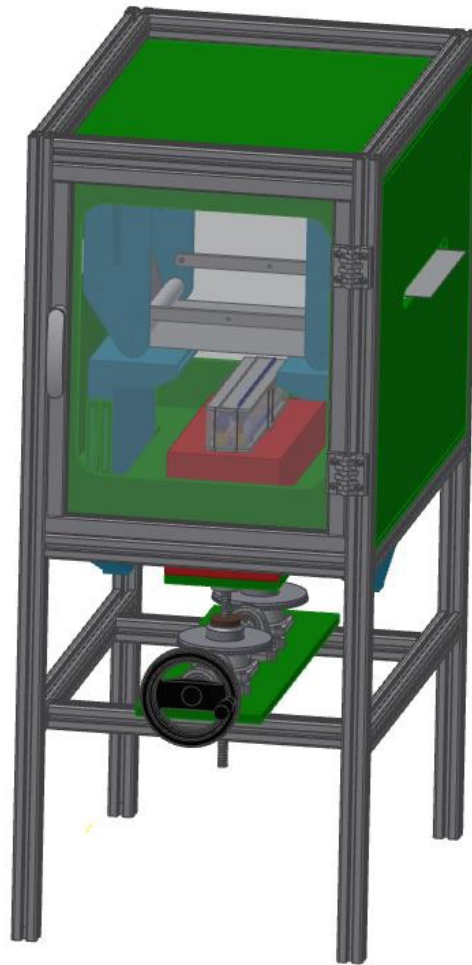
Z výše uvedených komponent a podsestav byl vyroben a smontován prototyp potřebný pro ověření funkce a správnosti vynálezu na kterém proběhne i zkušební výroba, jejíž výstupem bude výroba vlastní nanovlákněné membrány. Po smontování všech dílčích sestav můžeme vidět zkušební stroj na obr. 21. Takto zkompletované zařízení bude možné osadit do stávajícího zařízení v laboratoři TUL, které je využíváno jako Nanospider první generace.



Obrázek 22 - Pohled na prototyp samotného Nanostroje
(výkres sestavy je v příloze č. 9)

2.8 Vyzkoušení prototypu zvlákňování z lišty - Nanostroje

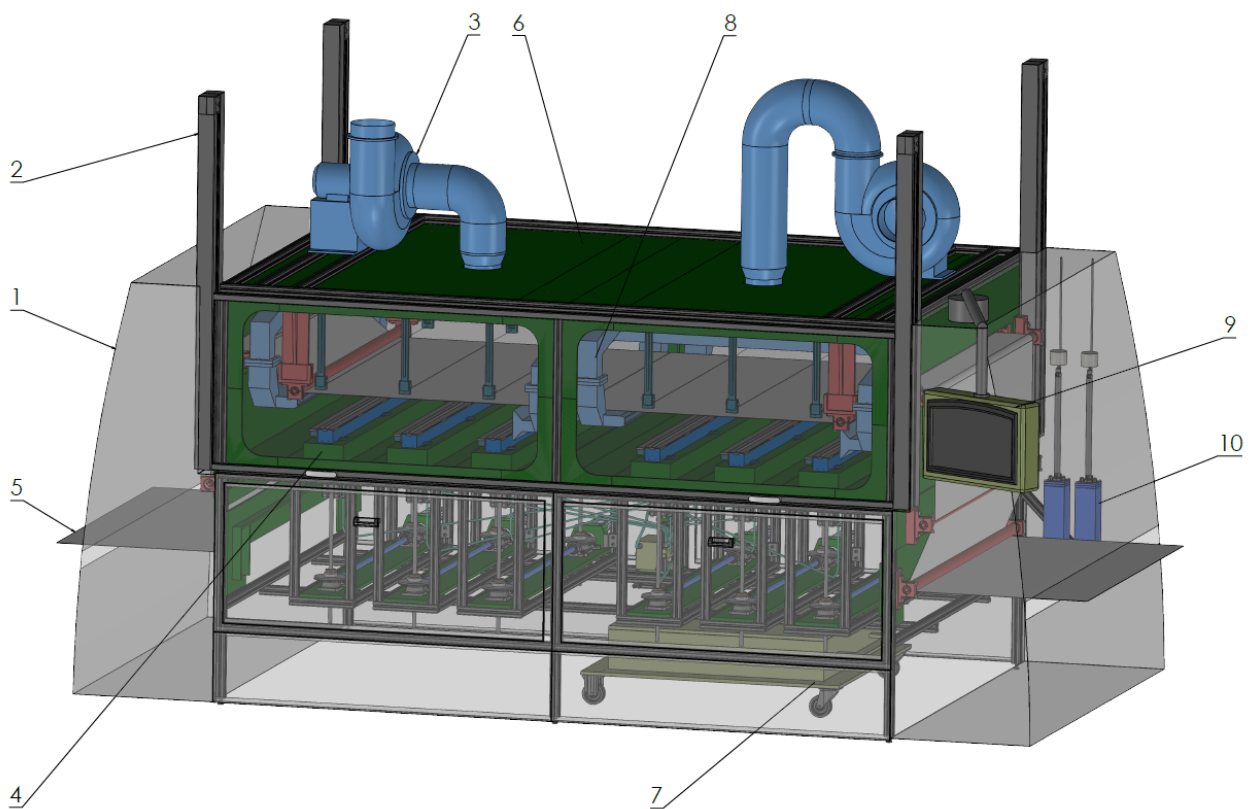
Dva nové zvlákňovací prostředky byly využity při testech v laboratoři na TUL, kde byl prototyp zvlákňovacího nanostroje vložen do Nanospideru (obr. 22). Rám zkušebního zařízení, dvířka a další části viditelné na obr. 22 nebyly pro tento účel navrhovány ani vyráběny, Ale byly použity z právě zkušebního Nanospideru, který se zaměnil za rozměrově totožný prototyp navrženého Nanostroje.



Obrázek 23 - Prototyp Nanostroje v Nanospideru

2.9 Popis stroje Nanostroj

V této části se bude práce zabývat konceptem, jak by mohl celý stroj vypadat a z jakých částí by mohl být složen. Pro tento účel bude v návrhu šest zvlákňovacích hlav, jako je tomu u Nanospideru. Na níže uvedeném obrázku č. 23 je celkový pohled na zamýšlený design stroje s jeho hlavními komponentami nezbytnými pro práci a ovládaní celého zařízení. V návrhu bude využito poznatků z návrhu a testu prototypového zařízení popsáno v předchozí části této práce, vyjma elektrozařízení.



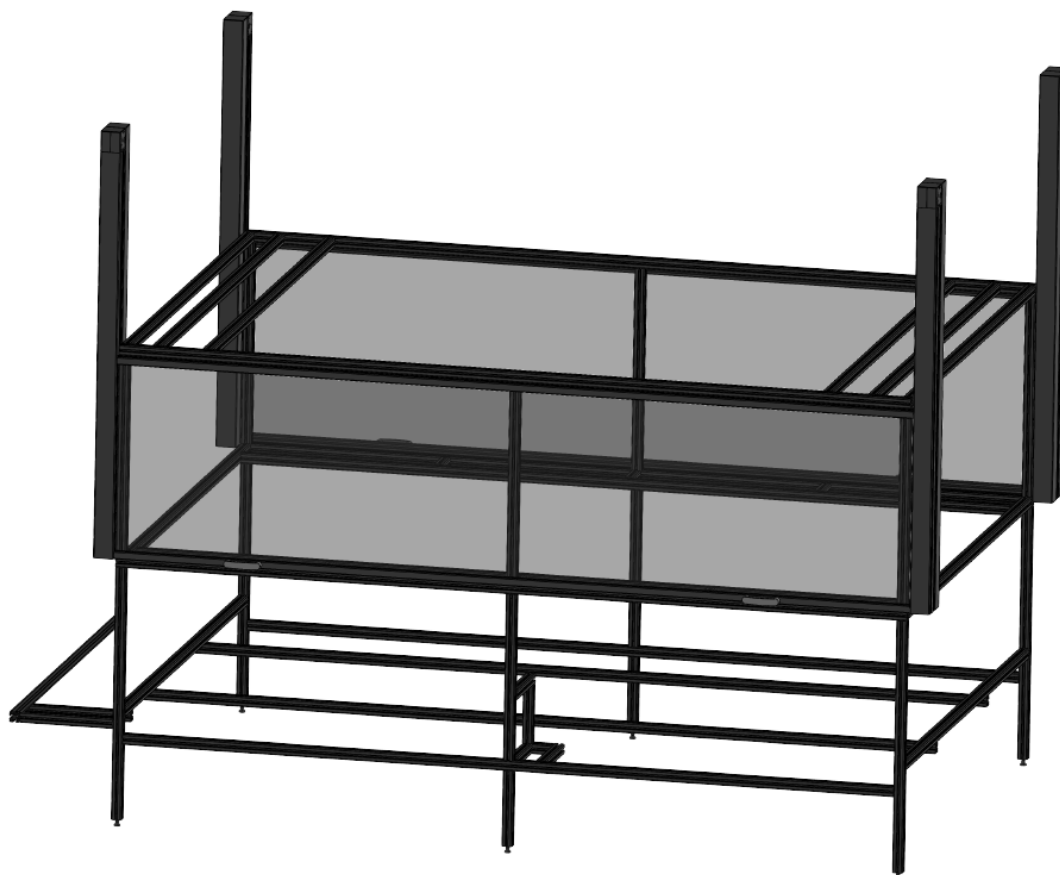
Obrázek 24 - Nanostroj

Legenda:

- 1.....kryt stroje
- 2.....rám stroje
- 3.....kyselinovzdorný ventilátor
- 4.....zvlákňovací hlava
- 5.....podklad
- 6.....zvlákňovací prostor
- 7.....rozvod polymeru
- 8.....ventilace
- 9.....ovládací panel
- 10.....vybíječe

2.10 Popis jednotlivých částí stroje Nanostroj

2.10.1 Nosný rám stroje



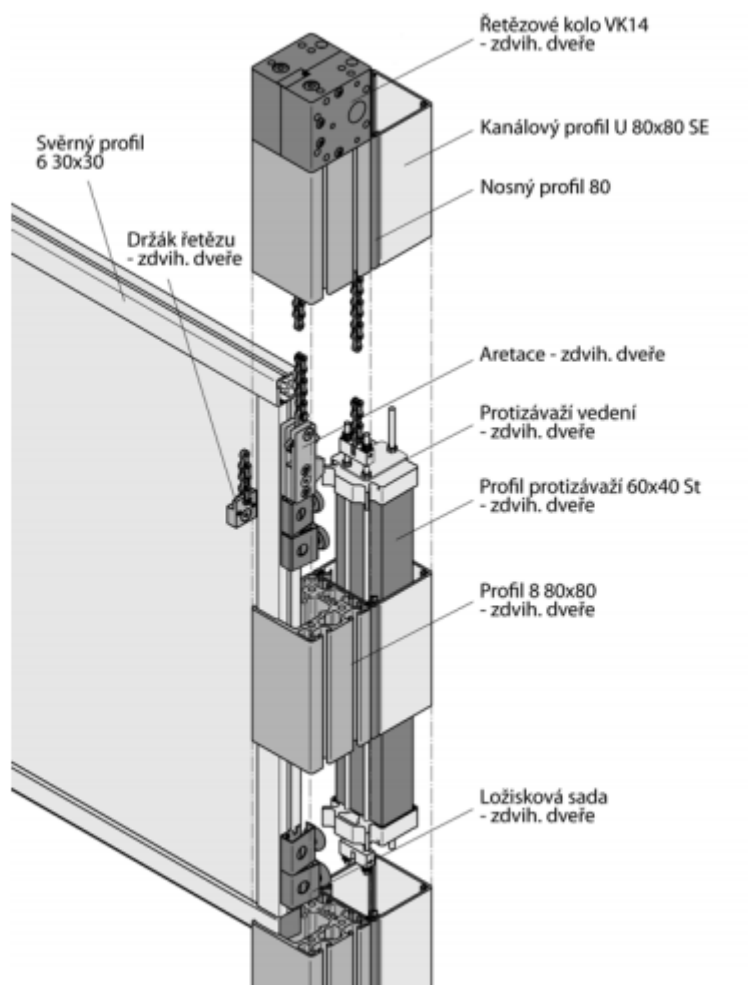
Obrázek 25 - Nosný rám Nanostroje

Rám stroje by mohl být celý složený ze stavebnicových prvků Haberkorn, tedy eloxovaných hliníkových profilů. Profily mají výhodu v jednoduchosti montáže a lehkosti celé konstrukce. Pro tento stroj budou zvoleny profily dostatečně tuhé – společnost Haberkorn nabízí široké spektrum velikostí a tuhostí. Jednotlivé hlavy stroje budou navíc navrženy jako vyztužené a samonosné. Celá konstrukce pomocí stavitelných noh umožní ustavit stroj do vodorovné polohy, popřípadě jimi upravit jeho výšku. Tím bude docíleno jednoduššího ustavení stroje vůči ostatním částem linky, které se mohou skládat z navíjení, odvíjení a kontrolní části. Díky drážkám v hliníkovém profilu viz obrázek 21 bude možné jednoduše připevnit kryt stroje a jednotlivé části stroje sloužících k jeho provozu. Montáž se provádí pomocí tzv. „kamenů“, které se vkládají do podélných drážek v profilu a jsou opatřeny vnitřním závitem. Rám stroje bude navrhován jako samonosný.



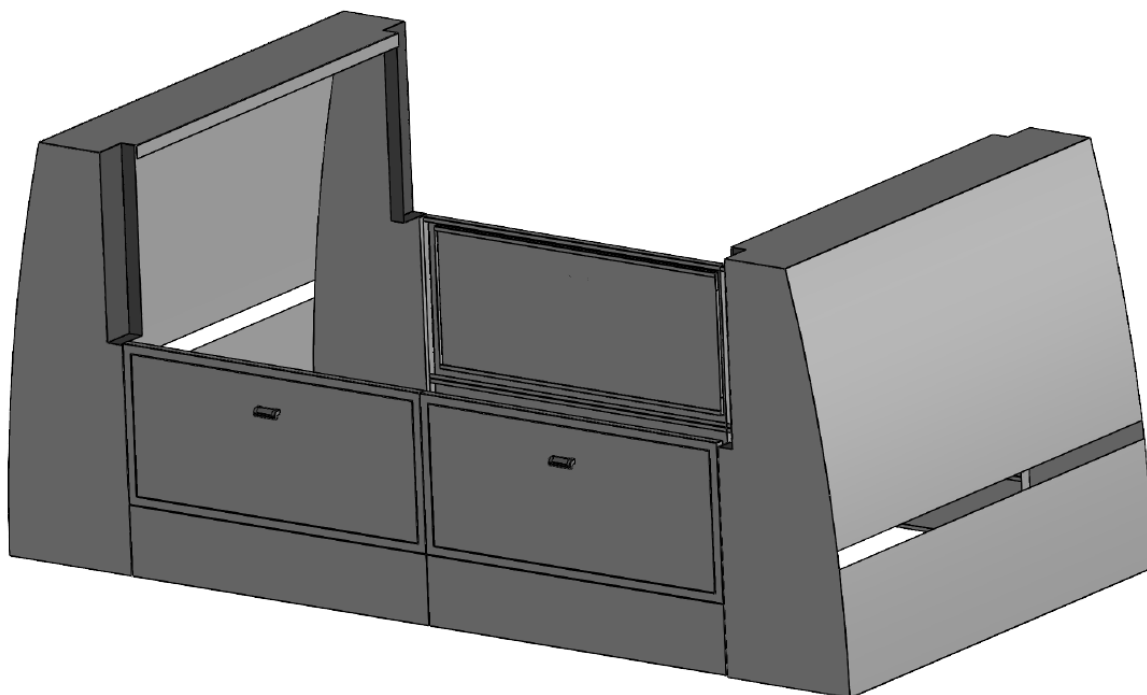
Obrázek 26 - Průřez hliníkovým profilem Haberkorn

Rám stroje navíc bude obsahovat mechanismus otevírání posuvných dveří, které budou oddělovat zvlákňovací prostor od okolního prostředí. Mechanismus s využitím vývažku pro snadnější manipulaci je znázorněn na obr. 26. Jedná se o stavebnicový prvek společnosti Haberkorn. Vzhledem k profilovému rámu dveří bude možné využít těsnění. Tím se jen zvyšuje vhodnost použití tohoto potenciálního dodavatele stavebnicových prvků.



Obrázek 27 - Mechanismus otevírání dveří [19]

2.10.2 Kryt stroje

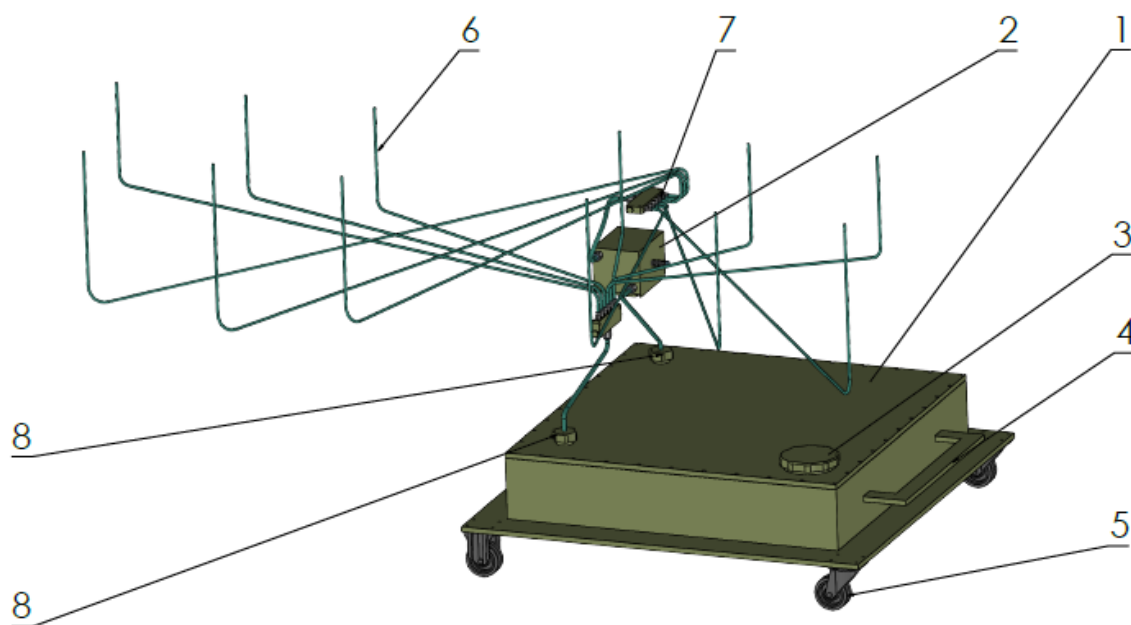


Obrázek 28 - Opláštění stroje

Krytování stroje se bude skládat z několika vzájemně šroubovatelných dílů, které bude pomocí šroubů možné připevnit k základnímu rámu stroje z již zmíněných hliníkových profilů. V jednotlivých částech stroje budou připraveny otvory s označením pro snadnější rozpoznání a montáž dílů na správná místa. Jako materiál krytu bude především používán ocelový plech zinkovaný a lakovaný dle požadovaného odstínu či zbarvení výsledného stroje. Tím vznikne design stroje, který bude možné upravit dle přání a požadavků zákazníka. Kryt má pouze úlohu zakrýt pohyblivé části stroje, nebo oddíly obsahující nebezpečné látky. Chrání tedy obsluhu před zraněním.

Pro krytování stroje lze využít i plast, ale zvlákňovací prostor stroje bude i tak dobře elektricky odizolovaný. Zvolené plechové dílce budou tedy v případě výroby hospodárné.

2.10.3 Rozvod polymeru



Obrázek 29 - Rozvod polymeru

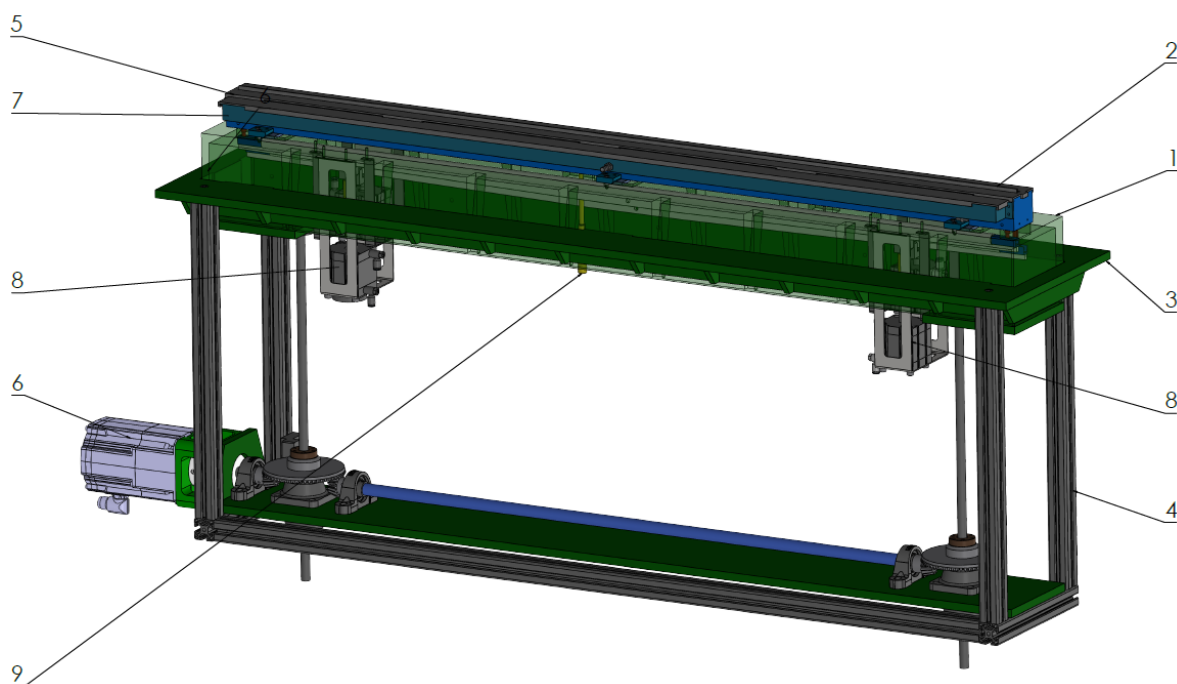
Legenda:

- 1.....odnímatelný kryt
- 2.....vzduchové čerpadlo
- 3.....uzavírací nalévací/vylévací otvor
- 4.....manipulační madlo
- 5.....manipulační kolečka
- 6.....rozvodná hadička uzavíratelná
- 7.....rozvodná kostka
- 8.....uzavírací vtokový/odtokový otvor

Rozvod kapaliny polymeru bude složen z několika součástí, které utvoří rozvodný celek. Všechny části budou kyselinovzdorné. Rozvodné hadičky budou vzájemně propojeny bezodpadovými rychlospojky s jednocestnými ventily. Volné konce po odpojení od jednotlivých částí činných ve zvláknovací hlavě, budou vybaveny uzávěry, které zabrání

samovolnému úniku par a kapalin do prostředí stroje. Veškeré uzávěry budou vybaveny teflonovým těsněním, které bude mít předepsanou životnost. Po každém otevření těchto uzávěrů bude třeba těsnění vizuálně kontrolovat, zda není mechanicky poškozeno. Celý rozvod kapaliny bude pracovat kontinuálně. Bude zde využito případů jednotlivých zvláknovacích hlav. Tato nucená cirkulace bude přispívat k neustálému promíchávání zvláknovacího roztoku. Rychlost průtoku se bude regulovat pomocí vstupního tlakového vzduchu k čerpadlu na ovládacím panelu. Čerpadlo tedy bude použito membránové se vzduchovým pohonem.

2.10.4 Zvláknovací hlava



Obrázek 30 - Hlava

Legenda:

1.....zdvihací kryt

2.....zvláknovací lišta

3.....stůl hlavy

4.....hliníkový rám

5.....vanička s vtokem polymeru

6.....zdvihací mechanismus hlavy

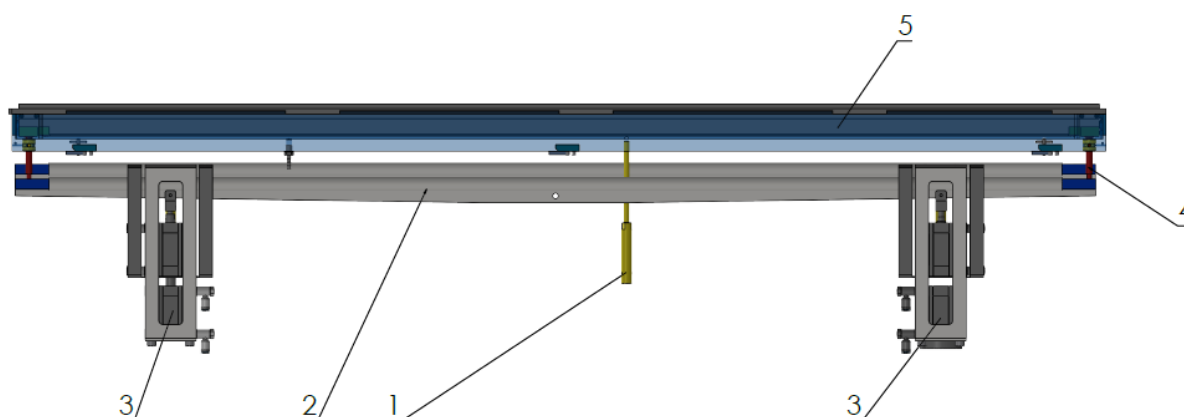
7.....vanička s přetokem a odtokem

8.....pohon zvlákňovacích lišt

9.....přívod vysokého napětí

Zvlákňovací hlava bude sestavena z těchto hlavních dílů: zdvihacího krytu, zvlákňovací lišty, stolu hlavy, vaničky s vtokem polymeru a vaničky s přetokem a odtokem, které musí být odolné vůči vysokému napětí, ale zároveň i kyselinovzdorné. Vyrobené budou z polypropylenu. Stroj bude obsahovat celkem šest těchto jednotlivých hlav s dvojicí zvlákňovacích lišt. Hlava stroje bude samonosná konstrukce, která bude do stroje vložena tak, aby byla elektricky odizolována. Napětí se nesmí přenášet do žádné části stroje, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. K hliníkovému rámu je připojen zdvihací mechanismus, který manipuluje zdvihacím krytem, k němuž bude připojen pohon, pákový mechanismus, přívod vysokého napětí, vanička polymeru, vanička s přetokem a odtokem a zvlákňovacími prostředky (zvlákňovací lišty). Ke zdvihu a nastavení zvlákňovacích hlav proti podkladu pro nanovlákná zde bude vhodné využití vhodného servomotoru s převodovkou. Zdvihací mechanismus bude více popsán v kapitole 2.10.7.

2.10.5 Pohon a zdvihový mechanismus zvlákňovacích lišt



Obrázek 31 - Pohon a pákový mechanismus

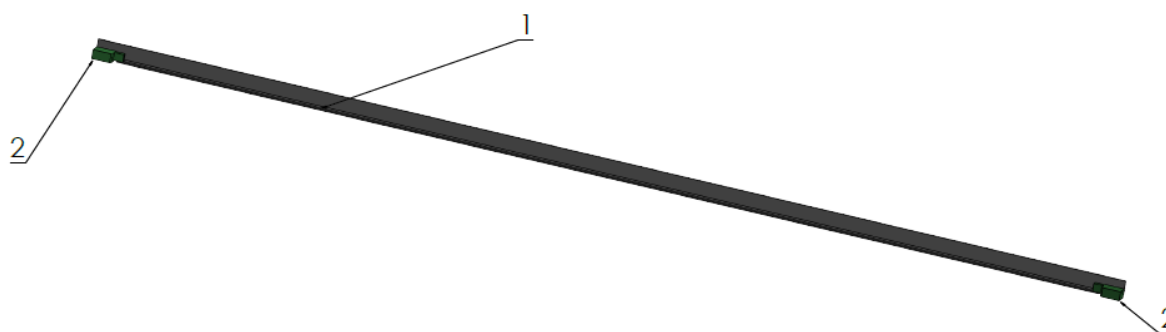
Legenda:

- 1.....přívod vysokého napětí
- 2.....pákový mechanismus
- 3.....dva dvojčinné pneumatické válce
- 4.....táhla s magnetem
- 5.....zvlákňovací lišta

Zde bude vhodnější využívat oproti prototypu dvojčinný pneumatický válec, který je vzhledem k jeho funkci ovládání obou poloh zdvihu vhodnější k průmyslové aplikaci a následnému programování. V pracovním cyklu bude vždy poskytovat prostřednictvím čidla informaci průmyslovému počítači o své aktuální poloze. Jednočinný válec se proto do průmyslové aplikace tohoto typu příliš nehodí. Zvolený pohon bude propojen s táhly lišty, které zajišťují pohyb pneumatickým pohonem. Zde bude v bližší studii nutné zohlednit celou průmyslovou šíři 1600 mm, kterou bude potřeba obsáhnout. Prototyp byl navržen pro šíři 300 mm, proto je zde navržena změna oproti prototypu, kde vzhledem k jeho velikosti bylo využito jednoduchého „pákového“ mechanismu. V zamýšlené délce lišty by takový princip nebyl zcela jistě dostatečný. Zde je tedy znázorněn vylepšený typ, který by mohl obsahovat dva páry pneumatických pohonů, umístěných do krajů.

V horní poloze lišty pák bude možné zasunout vaničku, která obsahuje zvlákňovací lištu připojenou magneticky s táhly, která budou umístěna na koncích lišty. Táhla budou procházet pouzdry s pryžovým těsněním s danou životností. Pouzdra budou obsahovat otvory pro přivedení maziva. Zde je tedy další rozdíl oproti návrhu prototypu, kde bylo počítáno s ověřovacím počtem cyklů, nýbrž u průmyslového zařízení je žádoucí téměř nepřetržitý provoz. Zde by se vanička mohla připojovat pohybem dolů a zasunutím do strany, poté by se celá vanička připevnila ke zdvihacímu krytu například bajonetovým spojem, popřípadě aretačním šroubem, a to s ohledem na konkrétní zástavbové možnosti a přístupnost obsluhy stroje.

2.10.6 Zvlákňovací lišta



Obrázek 32 - Zvlákňovací lišta

Legenda:

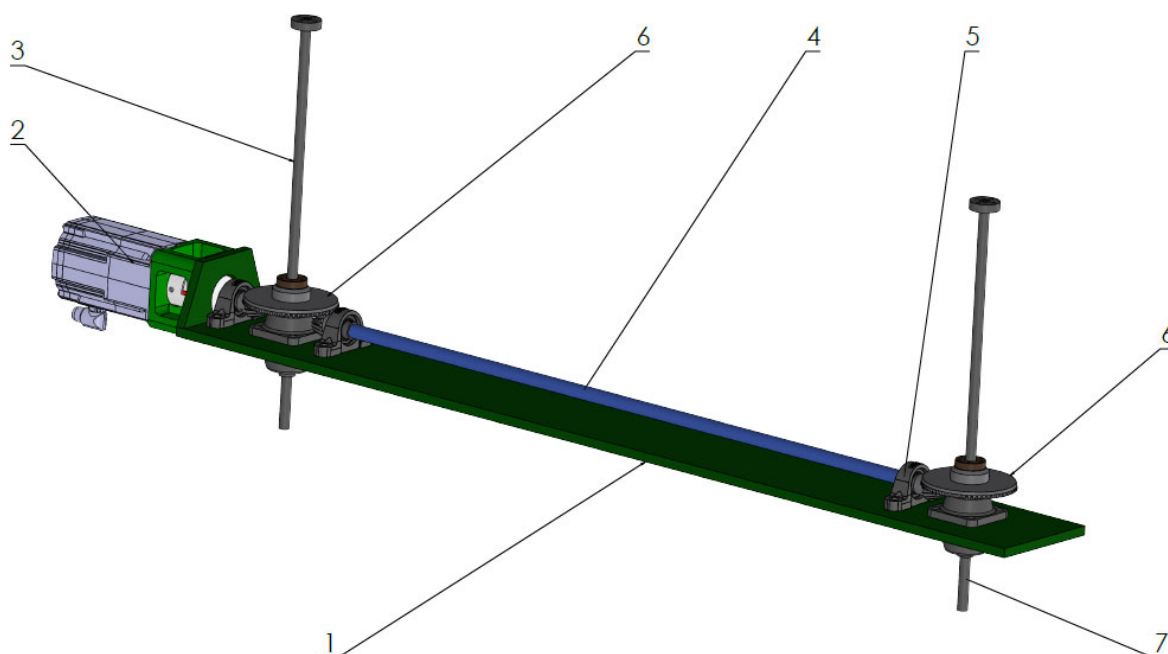
1.....profil lišty

2.....spojovací kostky s magnety

Materiál všech dílů lišty bude z nerezové oceli ČSN 17 348 W Nr. 1.4404 AISI 316 L. Tento materiál se již osvědčil pro své vhodné vlastnosti pro daný typ zařízení. Lišta se bude spojovat pomocí šroubů ke spojovacím kostkám obsahujícím magnety, které budou pojištěny proti pohybu stavěcími šrouby (opět ověřené poznatky z prototypového zařízení). Zde bude v bližší studii nutné zohlednit celou průmyslovou šíři 1600 mm, kterou bude potřeba obsáhnout. Prototyp byl navržen pro šíři 300 mm. Profil lišty by mohl být přesně vyříznutý laserem a ohraněný do tvaru písmene L. Je nutné při návrhu zohlednit hospodárnost výroby. Tenký podlouhlý obrobek z polypropylenu by byl příliš nákladný a náchylný k poškození. Nerezový

plech by tedy mohl být dostatečný. Bude ovšem nutné u tohoto výrobku předepsat rovinnost jeho vrchní hrany, důležité pro celý proces zvlákňování. Takto by mohla tedy vzniknout přesná hrana zvlákňovacího prostředku bez nutnosti obrábění. Díky těmto pěti hlavním dílům, profil lišty a dvě spojovací kostky s magnety, bude možné lištu správně nastavit do roviny vůči nádobce s polymerem. Zároveň bude mít zvlákňovací prostředek nízkou hmotnost při dostatečné tuhosti, která je žádoucí pro následné manipulace, jak ze strany obsluhy, tak i údržby.

2.10.7 Zdvihací mechanismus hlavy



Obrázek 33 - Zdvihací mechanismus hlavy

Legenda:

- 1.....základová deska
- 2.....servo motor
- 3.....trapezový šroub pravý
- 4.....spojovací hřídel

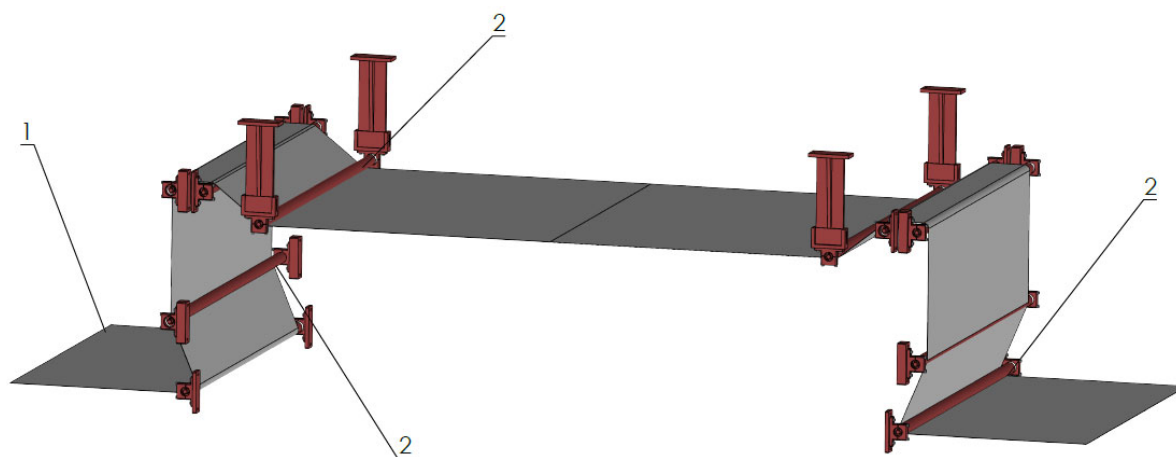
5.....ložiskový domek

6.....kuželové soukolí

7.....trapézový šroub levý

Mechanismus bude uložený na plastové desce, aby se nepřenášel elektrický proud do rámu stroje. Pohon by mohl zajišťovat servomotor s čelní převodovkou, který pomocí kuželových soukolí mezi spojovacími hřídelemi bude otáčet trapézovými šrouby. Spojovací hřídel bude obalena izolačním materiálem právě kvůli vysokému napětí. Trapézové šrouby musí mít opačný závit, protože na druhém soukolí se mění směr otáčení. Na zdvihacím krytu každé hlavy bude umístěno pravítko, aby obsluha viděla, v jaké výšce je každá hlava stroje. Pravítko by zde mělo pouze informativní funkci. Přesnou hodnotu zdvihu bude možné vyčítat přímo z pohonu a zobrazovat ji na dotykovém ovládacím panelu. Vzhledem k vysokému přenosu síly trapézovým šroubem snižujeme požadavky na příkon a krouticí moment servopohonu a jeho převodovky. Další výhodou je jeho samosvornost, tedy nastavená výška zůstane i po odpojení pohonu. A nebude tedy nutné zvláštní zajištění pozice v případě údržby, servisu, nebo výměny pohonné jednotky.

2.10.8 Podklad s vedením



Obrázek 34 - Podklad s vedením

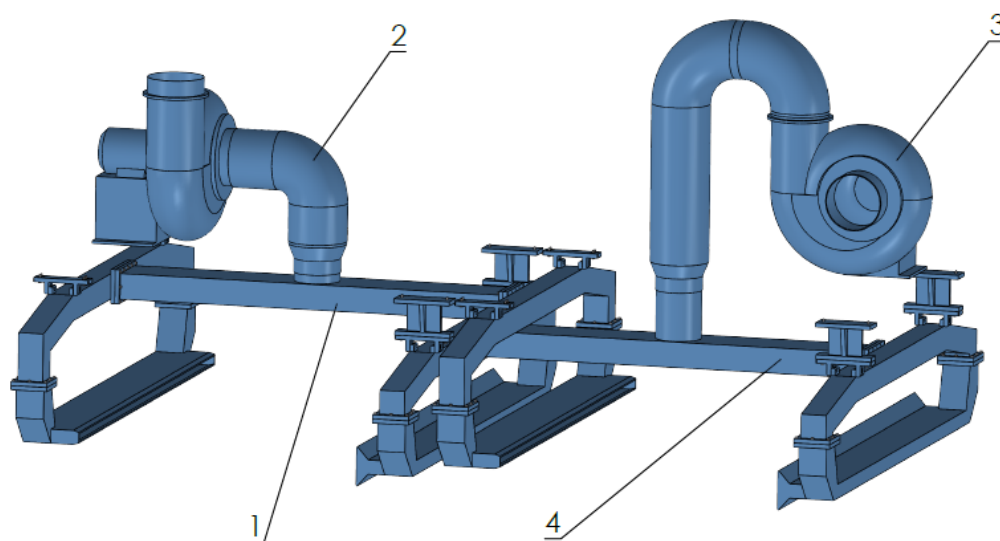
Legenda:

1.....podklad

2.....vodící válce

Vedení podkladu se bude skládat ze soustavy válců, nejspíše z deseti. Přesný počet vyplyne z přesného návrhu. Válce musí mít hladký povrch s ošetřením proti korozi. Jednotlivé válce budou opatřeny ložiskovými domečky, které budou umístěny na polohovacích konzolách s možností přimazávání. Tyto konzole budou muset být polohovatelné ve třech osách. Podklad bude možné seřídít a nastavit tak, aby nebyl unášen do jedné, či druhé strany a ze stroje vycházel ve stejné poloze jako na vstupu. Jako podkladu se běžně využívá papíru, ale bude možné využít i jakýkoli jiný textilní materiál. Omezení bude vycházet z maximální zamýšlené konstrukční šíře stroje 1620 mm. Přičemž bude zvlákňováno pouze 1600 mm, tato šíře se rovná šířce zvlákňovacího prostředku. Tloušťka podkladu bude omezena maximálním průměrem role, který je zvolen na 700 mm s ohledem na budoucí manipulaci a její hmotnost. Z toho plyne, že silnější materiál, než je papír, by zkracoval délku podkladu. Navíjení, odvíjení a výstupní kontrola nebude součástí stroje. Zde se nabízí poptat na trhu běžně dostupné zařízení, jejich vývoj by nebyl hospodárný.

2.10.9 Ventilace



Obrázek 35 - Ventilace

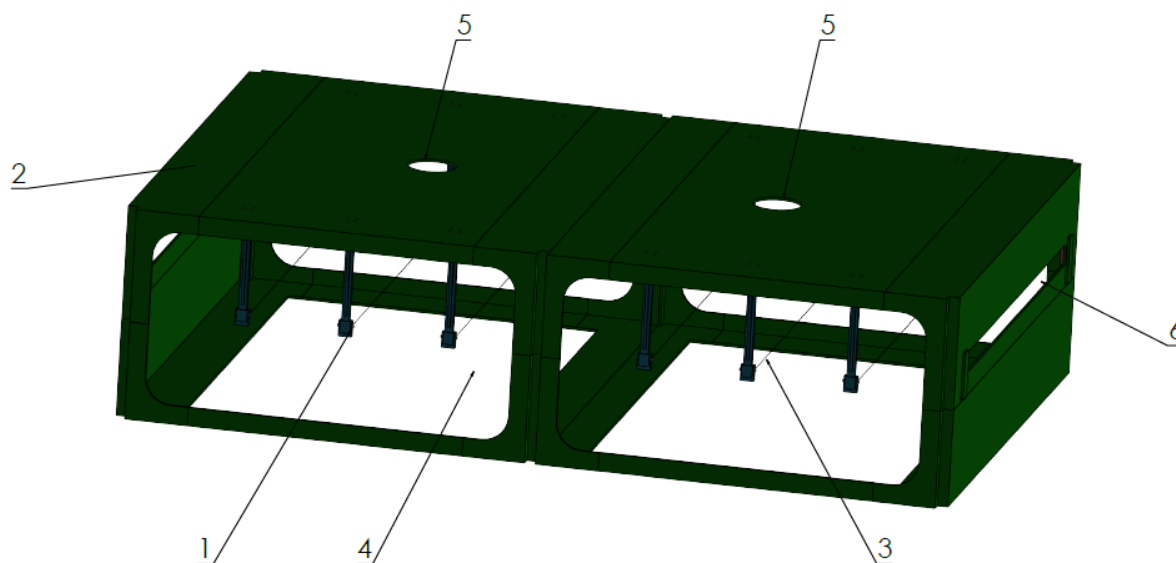
Legenda:

- 1přívodní potrubí
- 2.....přívodní ventilátor
- 3.....odtahový ventilátor
- 4.....odtahové potrubí

Ventilace bude sloužit k přívodu klimatizovaného vzduchu do zvláknovacího prostoru stroje pro zajištění stabilních podmínek během pracovního cyklu stroje. Další funkcí bude odvod výparů po procesu zvláknování, které mohou obsahovat výpary kyselin. Ty budou odvedeny do Scruberu, kde se následně neutralizují. Scruber je sběrné zařízení umístěné na konci odsávání ze stroje, kde se neutralizují kyseliny, obsažené ve vzduchu ze stroje pomocí vody a teprve poté je možné „neškodný“ vzduch uvolnit do okolního prostředí. Celá ventilační soustava musí být kyselinovzdorná včetně ventilátorů. Ventilátory budou opatřeny frekvenčními měniči pro regulaci otáček ventilátorů, aby bylo možné regulovat průtok vzduchu. Průtok vzduchu by se ovládal z hlavního panelu stroje. Odtahový ventilátor bude mít nastaveno vždy více otáček než přívodní, aby bylo dosaženo mírného podtlaku ve

zvlákňovacím prostoru. Díky tomuto mírnému podtlaku bude možné eliminovat úniky nebezpečných a nežádoucích výparů do okolního prostředí. Odtahové potrubí bude muset obsahovat filtr. Celý stroj totiž není možné hermeticky uzavřít, musí se do něj přivádět a odvádět podkladový materiál, ale je nutné v návrhu minimalizovat škodlivý vliv na okolní prostředí.

2.10.10 Zvlákňovací prostor



Obrázek 36 - Zvlákňovací prostor

Legenda:

1 konzole drátu vysokého napětí

2.....kryt zvlákňovacího prostoru

3.....drát vysokého napětí

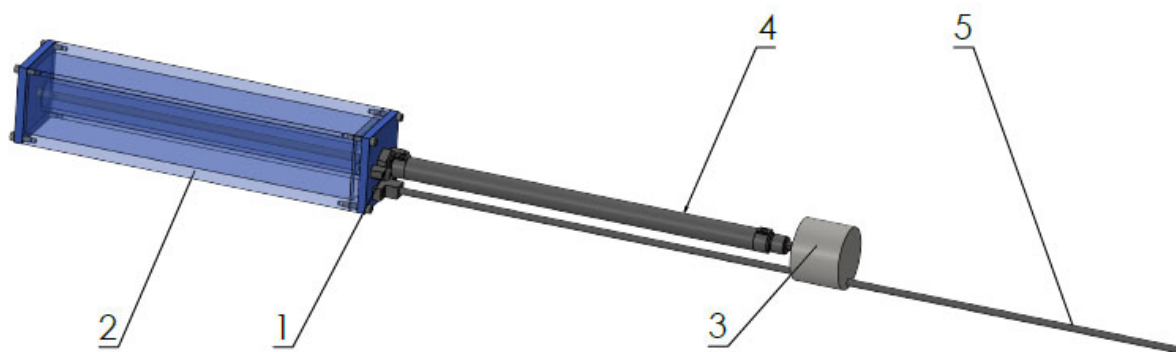
4.....prostor pro pracovní hlavy

5.....otvor pro vstup/výstup ventilace

6.....otvor pro vstup/výstup podkladu

Zvlákňovací prostor bude kyselinovzdorný a zároveň dostatečně veliký pro zvlákňování. Dále musí zajišťovat ochranu obsluze před úrazem elektrickým proudem. Budou v něm přetavitelné konzole připevněné dráty s opačnou polaritou oproti zvlákňovací hlavě. Pro zajištění bezpečnosti při případném přepětí během pracovního cyklu stroje. Zvlákňovací prostor nebude uvažován jako samonosný a mohl by být přes izolaci přišroubován k základnímu rámu stroje, který svými drážkami takové spojení umožňuje. Rám bude využívat stavebnicové profily od společnosti Haberkorn.

2.10.11 Vybíječe



Obrázek 37 - Vybíječe

Legenda:

1.....vstup/výstup drátu vysokého napětí

2.....kryt vybíječe

3.....závaží

4.....pneumatický motor dvojčinný

5.....vedení závaží

Stroj by měl také obsahovat dva vybíječe, jeden je pro kladné vysoké napětí a druhý pro vysoké napětí s opačnou polaritou. Ve stroji budou umístěny horizontálně (viz obr. 23). Jejich hlavní

funkcí je vybití zbytkové napětí ve stroji po skončení práce. Skládat se bude z elektricky odizolovaného krytu, ke kterému bude připevněn pneumatický dvojčinný motor s průběžnou hřídelí, na jejímž konci bude možné umístit závaží s vedením. Závaží stlačí píst válce s kostrou i bez přívodu elektrické energie, nebo stlačeného vzduchu. Tím dojde k vybití zbytkového proudu a zvýšení bezpečnosti celého zařízení při nouzovém zastavení, nebo výpadkům proudu, popřípadě stlačeného vzduchu.

2.11 Podstata stroje

Na obr. 37 je schematický průřez zařízením pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru s jedním zvlákňovacím prostředkem a na obr. 38 je znázorněn průřez zařízením pro výrobu nanovláken se dvěma zvlákňovacími prostředky, který využívá stroj Nanostroj.

2.12 Způsob práce

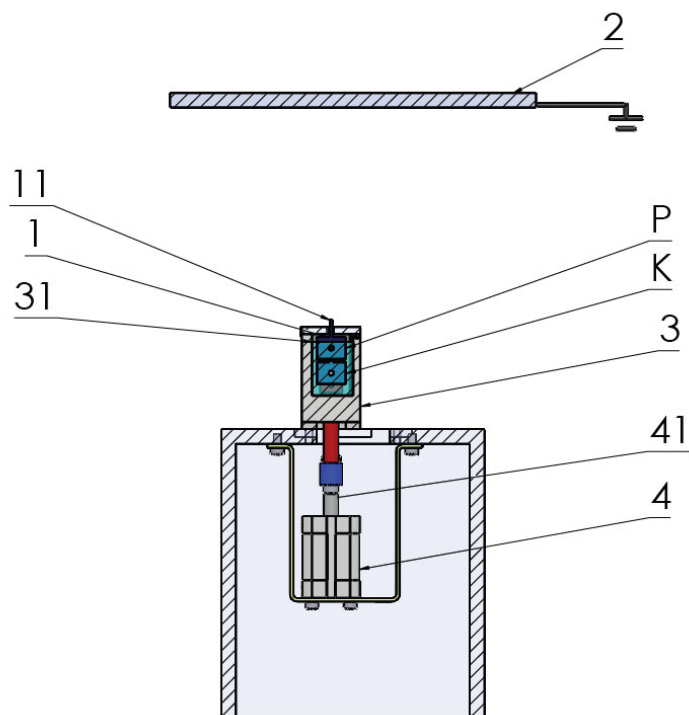
Na obr. 38 je průřez variantou zařízením pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním roztoku nebo taveniny polymeru směrem nahoru s dvěma zvlákňovacími prostředky. Tento zvlákňovací prostředek je tvořen deskou z elektricky nevodivého materiálu, kdy v případě Nanostroje se jedná o nerez, které jsou orientovány svojí horní hranou směrem k nad ní uložené sběrné elektrodě. Jsou uspořádány v zásobníku roztoku přestavitelně mezi pracovní polohou (tečkovaně vyznačená poloha P). Hrana je nejbližší sběrné elektrodě a klidové poloze (tečkovaně vyznačená poloha K), kdy je nejdále od sběrné elektrody. Roztok polymeru se nanáší na zvlákňovací prostředek tak, že je v klidové poloze ponořený pod hladinou a druhý je v pracovní pozici. Pohyb zvlákňovacích prostředků je přímočarý. V tomto případě lze využít jednoho pneumatického válce pro každý zvlákňovací prostředek umístěný pod zásobníkem, který uvádí do pohybu zdvihací mechanismus. Zdvihací mechanismus musí být dokonale utěsněn pryžovým těsněním, protože prochází zásobníkem polymeru. Zdvihací mechanismus tedy současně tvoří uložení zvlákňovacího prostředku. Vedení zvlákňovacího prostředku je kluzné.

Zvlákňovací prostředek je opatřen bočními otvory pro snadnou manipulaci, tedy vyjmutí a uložení. Při pokusech se nejlépe osvědčila jeho rovná hrana., její čištění je jednodušší a polymer nabírá rovnoměrně.

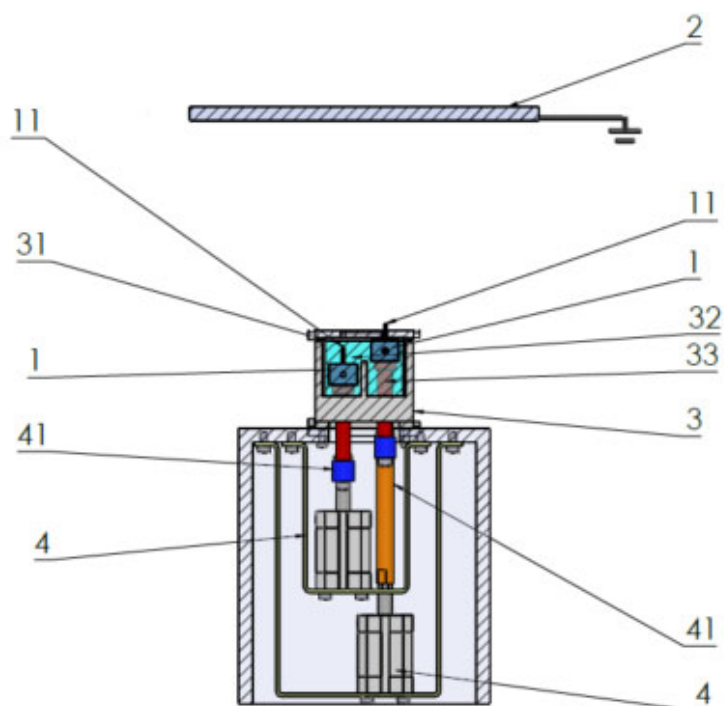
Zásobník roztoku nebo taveniny polymeru je pro udržování konstantní hladiny roztoku nebo taveniny polymeru s výhodou opatřen neznázorněným přívodem a odvodem, který je tvořený přepadem.

Při elektrostatickém zvlákňování roztoku nebo taveniny polymeru se na sběrnou elektrodu přivede z neznázorněného zdroje vysokého stejnosměrného napětí vysoké napětí záporné polaritě a do roztoku nebo taveniny polymeru z jiného zdroje vysokého napětí opačné polaritě. Po nabrání roztoku nebo taveniny polymeru se zvlákňovací prostředek působením svého pohonu přesune do své pracovní polohy – tj. přiblíží se ke sběrné elektrodě. V pracovní poloze, nebo ještě před jejím dosažením pak dochází k tomu, že elektrostatické síly vytvářejí mezi sběrnou elektrodou a roztokem nebo taveninou polymeru Taylorovy kužely. Následuje prodlužování jednotlivých nanovláken. Tento proces přitom probíhá po celé délce, nebo větší části hrany konstantně. Vytvářená polymerní nanovlákna se pak ukládají přímo na povrchu vedeného vhodného (obvykle plošného) podkladu

Po uplynutí předem nastaveného časového intervalu a po zvlákňování předem daného množství roztoku nebo taveniny polymeru se zvlákňovací prostředek působením svého pohonu přesune do své klidové polohy, resp. se ponoří svou hranou přivrácenou ke sběrné elektrodě pod hladinu roztoku nebo taveniny polymeru. Dochází tedy k opakovanému procesu nanášení roztoku, nebo taveniny polymeru. Při pohybu zvlákňovacích prostředků roztokem nebo taveninou polymeru přitom dochází k jeho promíchávání v celém objemu zásobníku a v důsledku toho ke zvýšení doby jeho použitelnosti.



Obrázek 38 - Nanostroj s jedním zvlákňovacím prostředkem



Obrázek 39 - Nanostroj se dvěma zvlákňovacími prostředky

Legenda:

1 zvlákňovací prostředek

2.....sběrná elektroda

3.....zásobník polymeru

4.....pneumatický motor dvojčinný

11.....hrana zvlákňovacího prostředku

31.....hladina polymeru, nebo taveniny

32.....přepážka

33.....roztok polymeru, nebo taveniny

41.....pohybový mechanismus

P.....pracovní poloha

K..... klidová poloha

3 Diskuse výsledků

3.1 Výroba nanovláknenné vrstvy

K výrobě nanovláknenné vrstvy byl využitý roztok z polymeru PUR.

Příprava polymerního roztoku:

Polymerní roztok pro výrobu polyuretanových nanovláknenných membrán byl připraven rozmícháním 115 g Larithane LS 14086 v roztoku, který obsahoval 50 g dimethylformamidu (DMF), 55 g nasyceného roztoku bromu v DMF a 5 g destilované vody. Takto připravený polymerní roztok bylo nutné promíchat pomocí elektricky poháněné míchačky.

3.2 Obrazová analýza

V níže uvedené tabulce je uvedeno vyhodnocení nanovlákněné vrstvy z Nanospideru a Nanostroje. K vyhodnocení bylo využito obrazové analýzy.

Obrazová analýza převádí tzv. nestrukturovaná data do strukturované informace. Součástí tohoto systému je zpracování obrazu, který se ukládá, strukturuje a obnovují se veškeré obrazy a tomu i odpovídající informace. Obrazová analýza probíhá takto: snímání obrazu, transformace (převod) obrazu, segmentace a vlastní měření. [20]

Tabulka 3. Vyhodnocení hodnot Nanospideru a Nanostroje.

		Nanospider	Nanostroj
Počet pórů na 1cm ²	Průměr	89 563 758	87 235 952
	Směr. odchylka	2 526 152	2 052 649
Maximální feret	Průměr	0,870271	0,668880
	Směr. odchylka	0,583795	0,298950
Ekvivalentní průměr	Průměr	0,56258	0,52158
	Směr. odchylka	0,295812	0,254778
Průměr vlákna [nm]	Průměr	625	715
	Směr. odchylka	0,195268	0,185426

(fotografie nanovlákněných vrstev jsou uvedeny v přílohách č. 10, 11, 12 a 13)

3.3 Výparný odpor

Níže v tabulce je uvedeno vyhodnocení výparného odporu nanovlákněné vrstvy z Nanospideru a Nanostroje.

Výparný odpor RET je možné zjistit nedestruktivní zkouškou na zařízení Permetest. Tato jednotka je využívána pro textilní materiály, nebo jejich kompozity. Jeho výsledkem je přenos vodních par difuzí, sorpcí a kapilárně. Výparný odpor definujeme jako tzv. „latentní“ výparný tepelný tok, který prochází danou zkoušenou plochou za ustáleného tlakového gradientu vodní páry. [21]

Tabulka 4. Vyhodnocení výparného odporu Nanospideru a Nanostroje.

	Výparný odpor RET [Pa.m ² .W ⁻¹] dle ISO 11 092	
	Nanospider	Nanostroj
	0,1	0,1
	0,1	0,2
	0,1	0,1
	0,1	0,1
	0,1	0,1
průměr	0,100	0,120
směrodatná odchylna	0,000	0,037
hranice CI	0,000	0,032

3.4 Měření vodního sloupce

Níže v tabulce je uvedeno vyhodnocení výšky vodního sloupce nanovlákněné vrstvy z Nanospideru a Nanostroje.

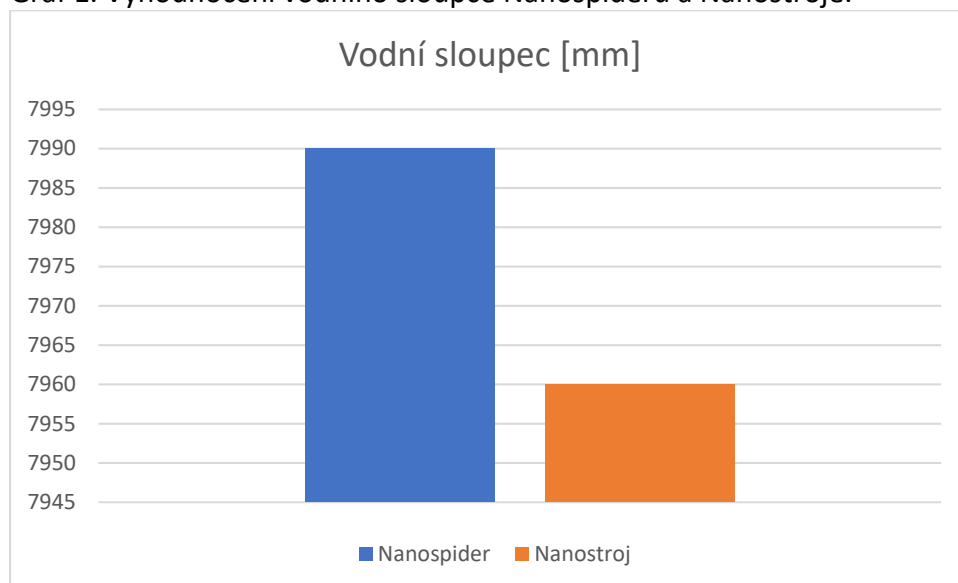
Měření výšky vodního sloupce proběhla podle normy ČSN EN 20811, ISO 811:1981. Jejím přesným názvem je: „Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody.“ [22]

Jedná se o zkoušku, kdy zrakem detekujeme kapky vody, které pronikly zkoušeným vzorkem za současného zaznamenávání v jednotkách cm H₂O/min. Pro měření bylo využito přístroje SDL Atlas.

Tabulka 5. Vyhodnocení vodního sloupce Nanospideru a Nanostroje.

	Vodní sloupec [mm] (s krycí mřížkou dle ISO 811)	
	Nanospider	Nanostroj
	7850	7580
	8010	8200
	7950	7990
	8150	8020
	7990	8010
průměr	7990	7960
směrodatná odchylka	88,7	186,6
hranice CI	77,7	163,6

Graf 1. Vyhodnocení vodního sloupce Nanospideru a Nanostroje.



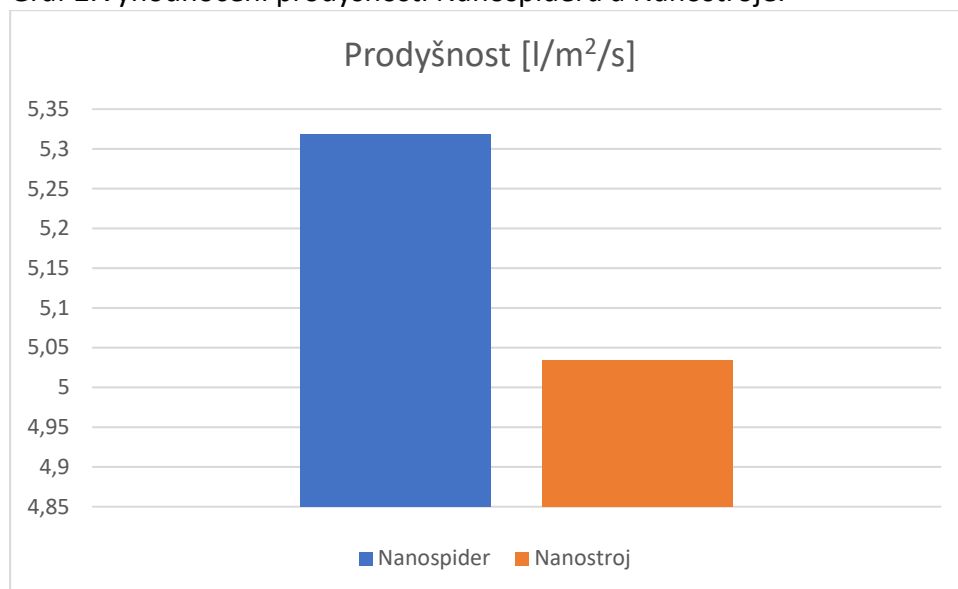
3.5 Měření prodyšnosti

Další ze základních vlastností plošných textilií je jejich prodyšnost. Jedná se o schopnost propouštět vzduch za definovaných podmínek skrz plošnou textilii. Tato vlastnost je velmi žádána hlavně v oblasti sportovního a volnočasového oblečení. V rámci této práce byl využit přístroj TEXTTEST FX 3300, který je k dispozici v laboratořích na Katedře hodnocení textilií. [23]

Tabulka 6. Vyhodnocení prodyšnosti Nanospideru a Nanostroje.

	Prodyšnost [$l/m^2/s$] (tlak 100 Pa dle ISO 9237)	
	Nanospider	Nanostroj
	5,25	5,10
	5,36	4,99
	5,41	5,14
	5,28	4,89
	5,29	5,05
průměr	5,318	5,034
směrodatná odchylka	0,058	0,088
hranice CI	0,051	0,077

Graf 2. Vyhodnocení prodyšnosti Nanospideru a Nanostroje.



Z výsledků je patrné, že hodnoty ze stroje Nanospider jsou srovnatelné s Nanostrojem.

Podařilo se tedy vyrobit srovnatelnou membránu novým principem zvlákňování z lišty.

V tabulkách uvedených níže je rozpočet nakupovaných a vyráběných dílů potřebných k realizaci prototypu Nanostroje (tabulka č. 7) a výroba celého zařízení (tabulka č.8).

Tabulka 7. Ceny komponent pro výrobu prototypu Nanostroje

PROTOTYP NANOSTROJE			
POPIS	POČET KS	FIRMA	KČ BEZ DPH
VŠECHNY VYRÁBĚNÉ DÍLY	1 SADA	LINAST s.r.o.	11 471
MAGNETY SOLLAU	8	SOLLAU s.r.o.	184
PNEUMATICKÉ KOMPONENTY	1 SADA	FESTO s.r.o.	5 875
SPOJOVACÍ MATERIÁL	1 SADA	KILLICH s.r.o.	154
SOUČET			17 684

Tabulka 8. Poptané ceny komponent pro kompletní výrobu stroje Nanostroj, dle konceptu uvedeného v této práci.

KONCEPT NANOSTROJE		
POPIS	POČET KS	KČ BEZ DPH
PNEUMATICKÉ KOMPONENTY	1	220 000
RÁM STROJE	1	240 000
OPLÁŠTENÍ STROJE – ZINKOVÝ PLECH	1	60 000
ROZVOD POLYMERU	1	120 000
ČERVAPDLO POLYMERU	1	25 000
ZVLÁKŇOVACÍ HLAVA – VYRÁBĚNÉ DÍLY	6	420 000
SERVOMOTOR ZDVIHU ZVLÁKŇOVACÍCH HLAV	6	180 000
SERVOMĚNIČ ODTAHOVÉ ROLE	1	22 000
MOTOR S PŘEVODOVKOU PRO POHON ODTAHOVÉ ROLE	1	20 000
ČIDLO RYCHLOSTI ODTAHU TEXTILIE	1	10 000
ZDROJ SPELLMAN SL60P600 (60IV/600W/+POLARITA)	1	120 000
ZDROJ SPELLMAN SL40N600 (40IV/600W/-POLARITA)	1	110 000
S7-300 PN + DIG./ANALOG. VSTUPY/VÝSTUPY	1	60 000
MULTIPANEL TOUCH SIEMENS	1	70 000
FREKVENČNÍ MĚNIČ PRO VENTILÁTORY	2	30 000
VENTILÁTORY CMPT/2-200	2	85 000
BEZPEČNOSTNÍ RELÉ	1	5 000
BEZPEČNOSTNÍ KONCOVÉ SPÍNAČE MECH./IND. 2 KS	2	5 000
BEZPEČNOSTNÍ DVEŘNÍ SPÍNAČE	2	10 000
ZDROJ 24VDC	1	5 000
SKŘÍŇ RITTAL	2	10 000
RAMENO KLOUBOVÉ SE SKŘÍŇKOU NA OVL. PANEL	1	25 000
ČIDLA		25 000
OSTATNÍ MATERIÁL ROZVADĚČE (HL. VYP., JISTIČE SVORKY...)		20 000
OSTATNÍ MATERIÁL (KABELÁŽ, ŽLABY...)		15 000
SOUČET		1 912 000

4 Závěr

V dnešní době je neustále rostoucí poptávka po výrobcích z nanovláken. Především z odvětví textilního, zdravotnického, automobilového. S touto poptávkou vzrůstá i potřeba po moderních, rychlých a efektivních strojích pro jejich výrobu. Nejedná se tedy pouze o cenu stroje, ale i efektivitu výroby a relativně rychlou návratnost.

Tato práce se zabývala zhodnocením současného stavu výroby nanovláken, porovnáním jednotlivých známých výrobců a jejich technologií výroby. Pro průmyslovou výrobu nanovláken je výhodné využívat beztryskové elektrostatické zvlákňování. Ať se jednalo o zvlákňovací prostředek ve tvaru válečku Nanospider 1. generace, nebo struny Nanospider 2. generace, byly u nich zjištěny určité nevýhody. Váleček, který se pomalu otáčí v roztoku polymeru je výhodný z hlediska mechanické jednoduchosti, ale jako jeho největší nevýhoda je nedostatečné promíchání roztoku. Roztok tak houstne a je více náchylný k chemické degradaci a dochází ke snižování výkonu výroby. Je nutné váleček pravidelně čistit, čímž se snižuje hospodárnost výroby. Tento problém byl částečně odstraněn použitím struny jako zvlákňovacího prostředku u Nanospideru druhé generace. U tohoto způsobu je ale složité nastavení dávkování roztoku polymeru, který tak může zasychat na částech stroje, které je nutné důkladně čistit.

Cílem tedy bylo nalézt odlišný a optimálnější způsob výroby, který funguje na odlišném principu a odstraňuje většinu nedostatků ostatních typů strojů nebo zařízení v současné době používaných.

Bylo využito úplně nového principu výroby založeném na známém principu elektrostatického zvlákňování. Ve spolupráci s laboratoří katedry hodnocení textilií se podařilo porovnat zvlákňovací technologii známou jako Nanospider 1. generace s prototypem zvlákňování z lišty. Následně bylo vytvořeno několik funkčních vzorků nanovláknenné membrány, které byly porovnány se vzorky z Nanospideru. Z nichž vyšlo, že je možné vyrobit kvalitně srovnatelnou nanovláknennou vrstvu i na Nanostoji.

Samotná realizace celého komplexního zařízení zatím neproběhla vzhledem k jeho vysoké finanční náročnosti. Během návrhu stroje byla možná výroba jednotlivých komponent

diskutována u známých a technologicky dobře vybavených obráběcích a elektro společností. Samotný stroj se skládá z různých typů materiálu od nerez ocele (AISI 316) až po plastové díly z polypropylénu a dalších. Z tohoto důvodu tedy nelze všechny díly nechat vyrobit u jednoho dodavatele. Tento fakt se promítá do celkových nákladů zařízení. Byly vypracovány poptávky pro kompletaci celého zařízení z mechanického hlediska, tedy jak obráběných a nakupovaných dílů. Elektro výzbroj a software byly také poptány u předních výrobců a dodavatelů v tomto odvětví. Takto komplexní stroj nelze ovládat pouze jednoduchými jednotlivými tlačítky, ale vyžaduje využití vizuálního a dotykového ovládacího rozhraní, které umožňuje adaptaci na různé druhy požadované výroby a jakosti. Samotné ovládání tedy musí být jednoduché a intuitivní. Byla provedená výběrová řízení koncepčního řešení stroje, kdy cena tohoto zařízení pouze za materiál odpovídala ceně 1 912 000,- Kč.

Na základě ověření této technologie a způsobu výroby, který bylo možné otestovat v laboratoři TUL vznikl uvedený patent:

(21) Číslo přihlášky	2014-29686
(11) Číslo zápisu	27438
(22) Datum podání	18.06.2014
Priorita	
(54) Název	CS: Zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákněním roztoku nebo taveniny polymeru EN: Apparatus for producing nanofibers by electrostatic spinning of a polymer solution or polymer melt
(71/73) Přihlašovatel/Majitel	Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Česká republika SVITAP J. H. J. spol. s r.o., Kijevská 8, 568 02 Svitavy, Česká republika
(72/75) Původce	Ing. Bc. Roman Knížek, Liberec 30, Česká republika Ing. Denisa Karháňková, Smržice, Česká republika Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D., Liberec, Česká republika Ondřej Knížek, Liberec 30, Česká republika Filip Sanetrník, Liberec 14, Česká republika Prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc., Liberec 20, Česká republika Miroslava Knížková, Liberec 30, Česká republika

Seznam použité literatury

1. ELMARCO s.r.o. Lineární útvary obsahující nanovlákná a způsob a zařízení pro jeho výrobu. JIRSÁK, O., SANETRŇÍK, F., MAREŠ, L. CZ 2009-797. 2011-06- 08.[také EP 2504471(A1). 2012-10-03.]
2. RAMAKRISHNA, S., FUJIHARA, K., TEO, W., LIM, T. and MA, Z. An introduction to electrospinning and nanofibres. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2005. ISBN 981-256-415-2
3. Historie výroby nanovláken [online] Dostupné z <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/nano/nano2.pdf>
4. RŮŽIČKOVÁ, Jana. Elektrostatické zvlákňování nanovláken. 2. nezm. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. Skriptum. ISBN 80-7372-066-3.
5. LUKÁŠOVÁ, I.: Taylor, prezentace, Dostupné z: http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/index.php?obsah=studium/stranky_predmetu/mit <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/nano/nano2.pdf>
6. Commercial nanofibre production: Stellenbosch University [online] Dostupné z: <https://innovation.ox.ac.uk/success-stories/commercial-nanofibre-production-stellenbosch-university/>
7. Nanospider druhé generace [online] Dostupné z: <https://www.elmarco.com/cs/produktove-rady/linea>
8. Polyuretan - Wikipedia [online] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyuretan>
9. Textilní zbožíznalství 1 [online] Dostupné z: <https://turbo.cdv.tul.cz/mod/book/view.php?id=2363&chapterid=3449>
10. JÄGER, Aleš a GÄRTNEROVÁ, Viera. Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. In: Fyzikální ústav AV ČR [online]. 8. 9. 2017 [cit. 5. 2. 2023]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
11. FZU – Fyzikální Akademie věd České republiky [online] Dostupné z: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jak-vypada-jejich-struktura>
12. Elektronová mikroskopie transmisní a rastrovací [online] Dostupné z: http://jointlab.upol.cz/soubusta/OSYS/El_mikr/El_mikr.html
13. KNÍŽEK R.: Polopropustné nanovláknenné membrány pro oděvní účely [online] Dostupné z: https://dSPACE.tul.cz/bitstream/handle/15240/4306/mgr_18482.pdf?sequence=1
14. Svět outdooru [online] Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/>
15. Sollau [online] Dostupné z <https://eshop.sollau.cz/neodymovy-magnet-valec-d-8x10-mm-neodym-n38-poniklovany/>
16. Pikron [online] Dostupné z: <https://www.pikron.cz/produkty/tesneni/o--x-krouzky/o-krouzky>
17. NerezInox [online] Dostupné z: <https://nerezinox.cz/jakosti-materialu/>
18. FESTO [online] Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/536417/?tab=TECHNICAL_DATA&jumpToAnchor=true&identCode1=AEN-25-17-I-P-A

19. Obr. 26 Přejato z: katalog Haberkorn MB-8 [online] Dostupné z www.haberkorn.cz
20. JALŮVKOVÁ, Kateřina. Obrazová analýza delaminačních trhlin v tkanině. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. Svoboda, M., Homuta, L., Mikeš, J.: Analýza obrazu počítačem, Medsoft, DT ČSUTS, Praha, 1989
21. ISO 11092: 1993. Textiles - Physiological effects - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test). [s.l.] : [s.n.], 1993. 10 s.
22. ČSN EN 20811, ISO 811:1981: Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody – zkouška tlakem vody. Praha: Český normalizační institut, 1994
23. HES, L., SLUKA, P.: Úvod do komfortu textilií. Vydání první, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0 (brož.)

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Taylorovy kužely [5]	13
Obrázek 2 - Tvorba nanovláken [6]	13
Obrázek 3 - Zvlákňování z trysky	14
Obrázek 4 - SPUR-line.....	15
Obrázek 5 - Nanospider.....	17
Obrázek 6 - Zvlákňování ze struny.....	18
Obrázek 7 - Nanospider druhé generace [7].....	19
Obrázek 8 - Spinneret.....	20
Obrázek 9 - FiberLab.....	21
Obrázek 10 - Typická velikost objektů, které lze pozorovat elektronovým mikroskopem.....	25
Obrázek 11 - Schématické znázornění principu transmisního (vlevo) a řádkovacího (vpravo) elektronového mikroskopu [11].....	25
Obrázek 12 - Porovnává stavbu světelného, transmisního a skenovacího elektronového mikroskopu. [12]	26
Obrázek 13 - Funkce membrány	27
Obrázek 14 - Tvar lišty použitý v prototypu Nanostroj	29
Obrázek 15 - Nanostroj	30
Obrázek 16 - 3D průřez kompletní lištou	32
Obrázek 17 - Uložení těsnění [16].....	33
Obrázek 18 - Nádobka pro roztok nebo taveninu polymeru	35
Obrázek 19 - Kompletní sestavená nádobka s víkem a úchytovým dílcem	35
Obrázek 20 - Sestava pouzdra a táhla	37
Obrázek 20 - Pohybové ústrojí s osazenými lištami a táhly	39
Obrázek 21 - Pohled na protoyp samotného Nanostroje	40
Obrázek 22 - Prototyp Nanostroje v Nanospideru.....	41
Obrázek 23 - Nanostroj	42
Obrázek 24 - Nosný rám Nanostroje	43
Obrázek 25 - Průřez hliníkovým profilem Haberkorn	44
Obrázek 26 - Mechanismus otevírání dveří [19]	44

Obrázek 27 - Opláštění stroje.....	45
Obrázek 28 - Rozvod polymeru	46
Obrázek 29 - Hlava	47
Obrázek 30 - Pohon a pákový mechanismus	49
Obrázek 31 - Zvlákňovací lišta	50
Obrázek 32 - Zdvihací mechanismus hlavy	51
Obrázek 33 - Podklad s vedením	52
Obrázek 34 - Ventilace	54
Obrázek 35 - Zvlákňovací prostor.....	55
Obrázek 36 - Vybíječe.....	56
Obrázek 37 - Nanostroj s jedním zvlákňovacím prostředkem	59
Obrázek 38 - Nanostroj se dvěma zvlákňovacími prostředky	59

Seznam tabulek

Tabulka 1. Parametry magnetu N38 [15]	31
Tabulka 2. Vybrané parametry zvoleného pneumatického pístu [18].....	38
Tabulka 3. Vyhodnocení hodnot Nanospideru a Nanostroje.....	62
Tabulka 4. Vyhodnocení výparného odporu Nanospideru a Nanostroje.	63
Tabulka 5. Vyhodnocení vodního sloupce Nanospideru a Nanostroje.	64
Tabulka 6. Vyhodnocení prodyšnosti Nanospideru a Nanostroje.	65
Tabulka 7. Ceny komponent pro výrobu prototypu Nanostroje.....	66
Tabulka 8. Poptané ceny komponent pro kompletní výrobu stroje Nanostroj, dle konceptu uvedeného v této práci.	66

Seznam grafů

Graf 1. Vyhodnocení vodního sloupce Nanospideru a Nanostroje.....	64
Graf 2.Vyhodnocení prodyšnosti Nanospideru a Nanostroje.....	65

Seznam příloh

Příloha č. 1 Polypropylen vlastnosti a polotovary.....	77
Příloha č. 2 Polypropylen vlastnosti a polotovary.....	78
Příloha č. 3 Výkres – Lišta.....	79
Příloha č. 4 Výkres - Vanička.....	80
Příloha č. 5 Výkres - Kryt Catridge.....	81
Příloha č. 6 Výkres - Úchyt cartridge.....	82
Příloha č. 7 Výkres - Pouzdro vedení píst.....	83
Příloha č. 8 Výkres - Vodící tyčka píst.....	84
Příloha č. 9 Výkres - Nano cartidge.....	85
Příloha č. 10 Nanovláknenná vrstva Nanospider (SEM 50x).....	86
Příloha č. 11 Nanovláknenná vrstva Nanospider (SEM 3000x).....	86
Příloha č. 12 Nanovláknenná vrstva Nanostroj (SEM 50x).....	86
Příloha č. 13 Nanovláknenná vrstva Nanostroj (SEM 3000x).....	86

Přílohy

Příloha č. 1 Polypropylen vlastnosti a polotovary

Plasty pro svařování nádrží
a pro stavbu technologických zařízení
DESKY, TYČE, PROFILY
POLYPROPYLEN PP-H

ZÁKLADNÍ INFORMACE

Polypropylenové homopolymerové desky (PP-H) jsou jedním z nejvíce používaných druhů plastů v chemickém, galvanickém a elektrotechnickém průmyslu. Kombinace výborných mechanických vlastností, chemické odolnosti a odolnosti vůči korozi a opotřebení zajišťuje polypropylenovým deskám Polystone P široké uplatnění v různých oborech.

DESKY

Typ	Tloušťka (mm)	Formát (mm)	Odstín
Extrudované	1-50	2000 x 1000	natur šedá RAL7032
		3000 x 1500	
Lisované	8-200	2000 x 1000	
		3000 x 1250	
		4000 x 2000 6000 x 2000	

TYČE

Tloušťka (mm)	Formát (mm)	Odstín
8-300	2000	natur šedá RAL7032

PROFILY

Typ	Formát (mm)	Odstín
U-profil jáckely plně profily	5000	natur šedá RAL7032

DOPLŇKOVÝ SORTIMENT SVAŘOVACÍ DRÁTY

■ kulaté ■ oválné ■ trojúhelníkové



VLASTNOSTI

- vysoká odolnost proti chemikáliím
- výborná zpracovatelnost a svařitelnost
- zdravotní nezávadnost
- možnost použití 0 až +115 °C
- vhodný pro stavbu nádrží
- vhodný pro chemického průmyslu a ostatní technologická zařízení
- úprava PP s (speciální těžce vzňitelný typ) do náročných provozů a vzduchotechniky
- úprava PP s EL se zvýšenou elektrickou vodivostí (antistatika)
- úprava PP kaširovaný (s koextrudovanou tkaninou pro lepení a laminaci)






**TITAN
MULTIPLAST**

PLAST CENTRUM WWW.TITAN-MULTIPLAST.CZ SPECIALISTA NA PLASTY

5/2018 © 2018 TITAN-MULTIPLAST s.r.o.

STAVEBNICTVÍ
PRŮMYSL - A STROJIRENICTVÍ
REKLAMA
OBALY A LOGISTIKA

Příloha č. 2 Polypropylen vlastnosti a polotovary

Plasty pro svařování nádrží
a pro stavbu technologických zařízení
DESKY, TYČE, PROFILY
POLYPROPYLEN PP-H

**TECHNICKÉ
INFORMACE**

TECHNICKÉ PARAMETRY



MECHANICKÉ VLASTNOSTI

	Norma	Jednotka	Hodnota
Hustota	ISO 1183	g / cm ³	0,92
Pevnost v tahu	ISO 527-1	N / mm ²	32
Tažnost	ISO 527-1	%	>50
Modul pružnosti v tahu (E modul)	ISO 527-1	N / mm ²	1700
Vrbová houževnatost	ISO 179	mJ / mm ²	8
Tvrdost kuličkou 30s	ISO 2039-1	N / mm ²	65
Tvrdost Shore D	ISO 868		72

TEPELNÉ VLASTNOSTI

	Norma	Jednotka	Hodnota
Koeficient lineární tepelné roztažnosti mezi 20 - 100°C	DIN 53752	10 ⁻⁶ / K	120-190
Teplota tání	DIN 53736	°C	160 - 168
Vicat - VSP/B/50	ISO 306	°C	90
Tepelná vodivost	DIN 52612	W / m.k	0,2

ELEKTROIZOLAČNÍ VLASTNOSTI

	Norma	Jednotka	Hodnota
Specifický vnitřní odpor	IEC 60093	Ω.cm	>10 ¹⁴
Povrchový odpor	IEC 60093	Ω	>10 ¹⁴
Dielektrická pevnost	IEC 60243	kV / mm	45
Dielektrický ztrátový faktor při 10 ⁶ Hz	IEC 60250		3,5 · 10 ⁻⁴
Odolnost proti e.l. oblouku	DIN VDE 0303	stupeň	L4

ZPRACOVÁNÍ

REZÁNÍ: kotoučovou pilou na plasty

VRTÁNÍ: pomocí běžných vrtáků bez změněného nábrusu

SPOJOVÁNÍ: svařování horkým vzduchem, extrudery i metodou na tupo



STAVEBNICTVÍ

PRŮMYSL A STROJÍRENSTVÍ

REKLAMA

OBALY A LOGISTIKA

TITAN-MULTIPLAST s.r.o.

Jablonecká 1379, 468 51 Smržovka
Czech Republic

tel.: +420 483 360 060
fax: +420 483 360 063

email: info@titan-multiplast.cz
web: www.titan-multiplast.cz

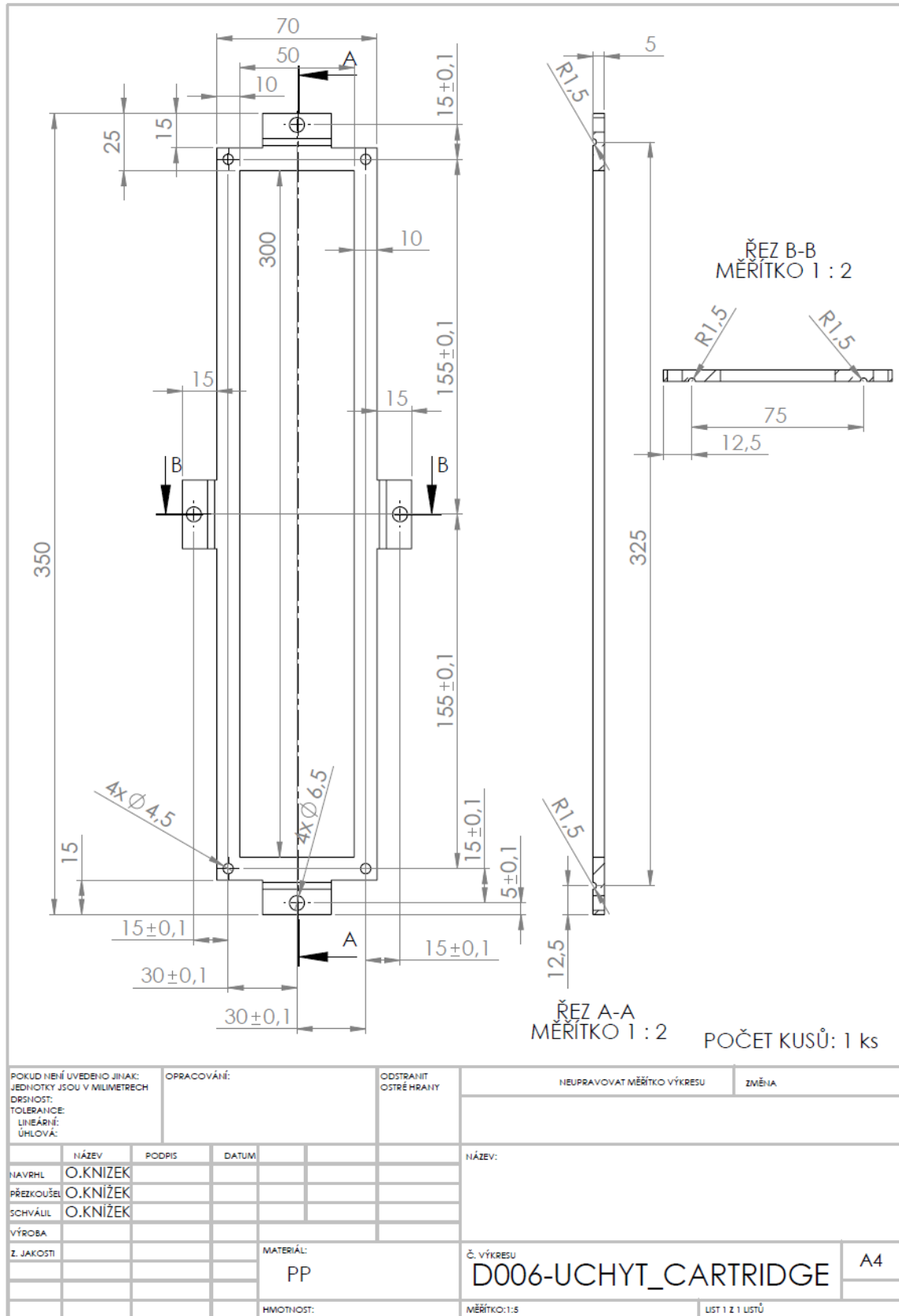
PLAST CENTRUM

WWW.TITAN-MULTIPLAST.CZ ■ SPECIALISTA NA PLASTY

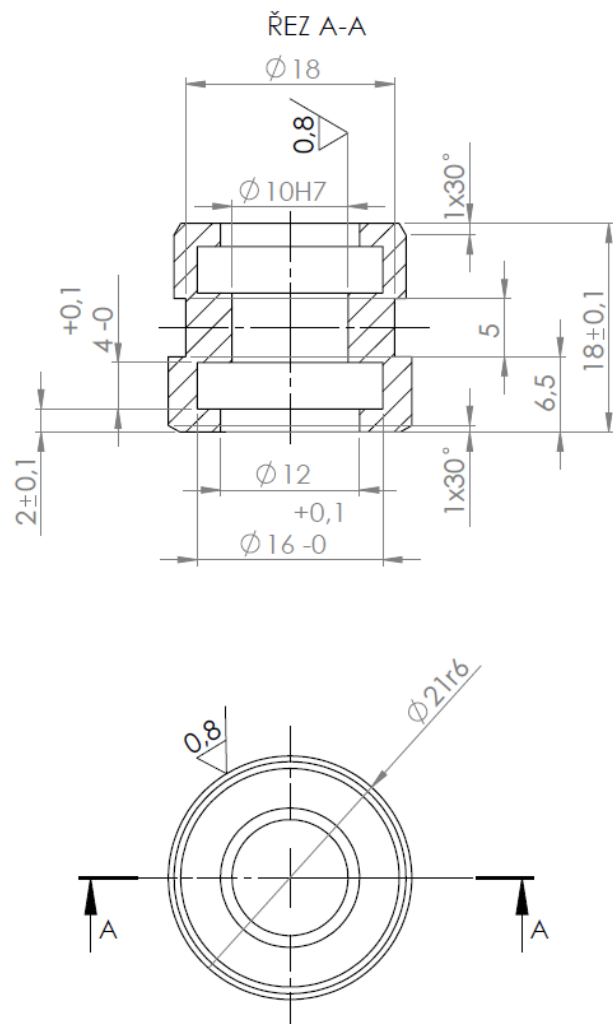
**TITAN
MULTIPLAST**

5/2018 © 2018 TITAN-MULTIPLAST s.r.o.

Příloha č. 6 Výkres - Úchyt cartridge



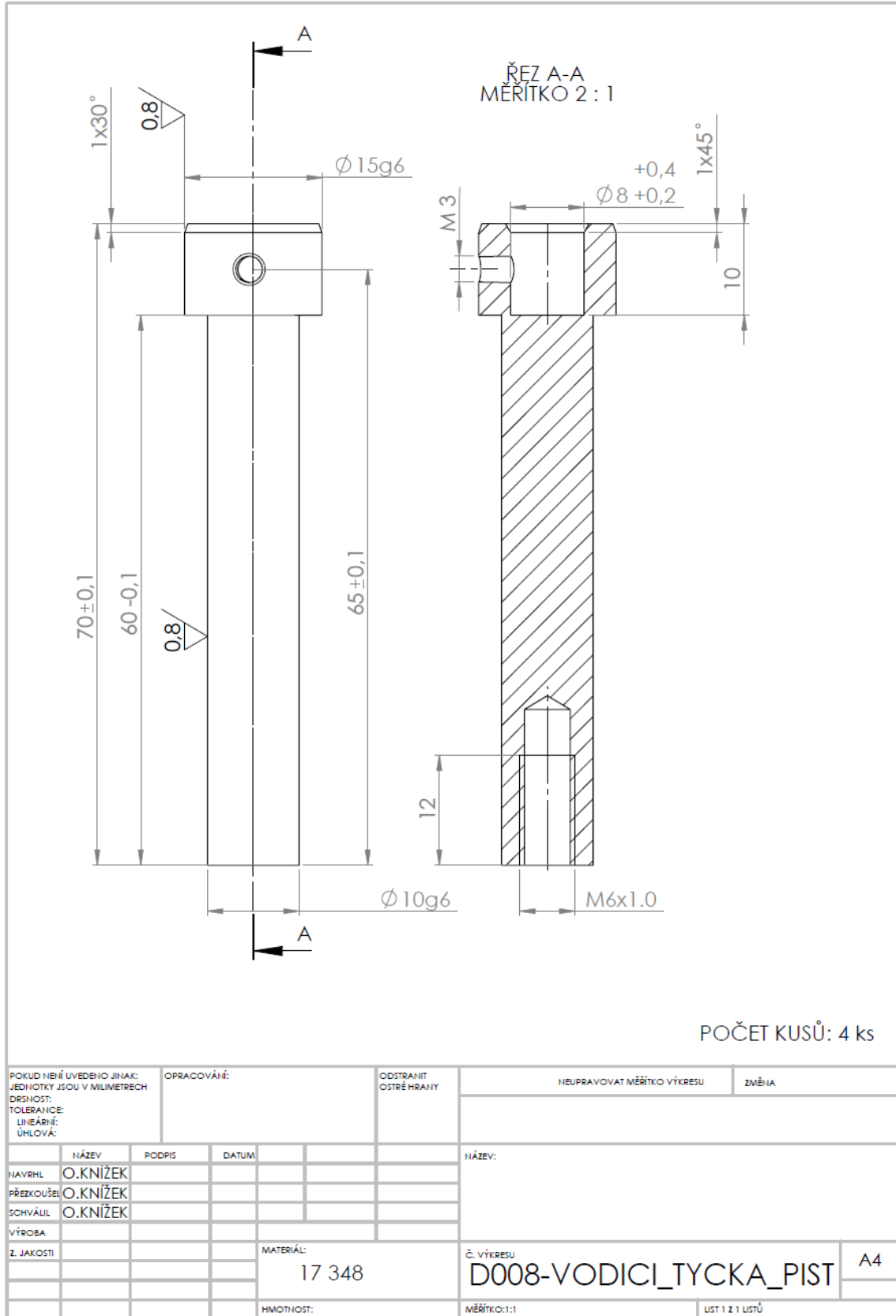
Příloha č. 7 Výkres - Pouzdro vedení píst



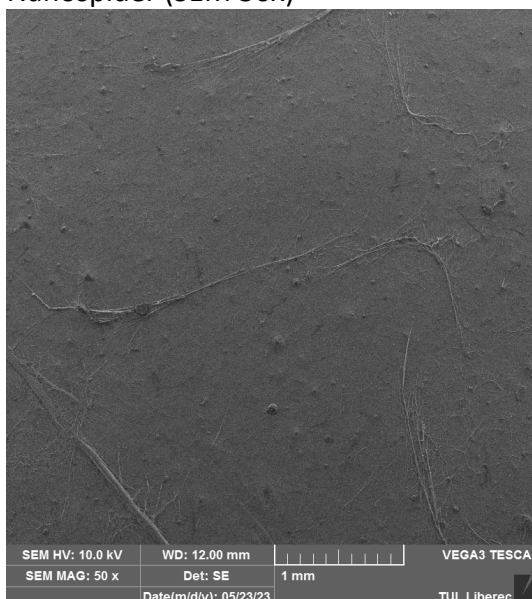
POČET KUSŮ: 4 ks

POKUD NEBŮJE UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH DRŠNOST: TOLERANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:		OPRACOVÁNÍ:		ODSTRANIT OSTŘE HRANI	NEUPRAVOVAT MĚŘITKO VÝKRESU	ZMĚNA
NAVRHL	O.KNÍŽEK	PODPIS	DATUM		NÁZEV:	
PŘEZKOUSEL	O.KNÍŽEK					
SCHVÁLIL	O.KNÍŽEK					
VÝROBA						
Z. JAKOSTI				MATERIÁL:	č. VÝKRESU	A4
				17 348	D007-POUZDRO_VEDENI_PIST	
				HMOTNOST:	MĚŘITKO:2:1	LIST 1 Z 1 LISTŮ

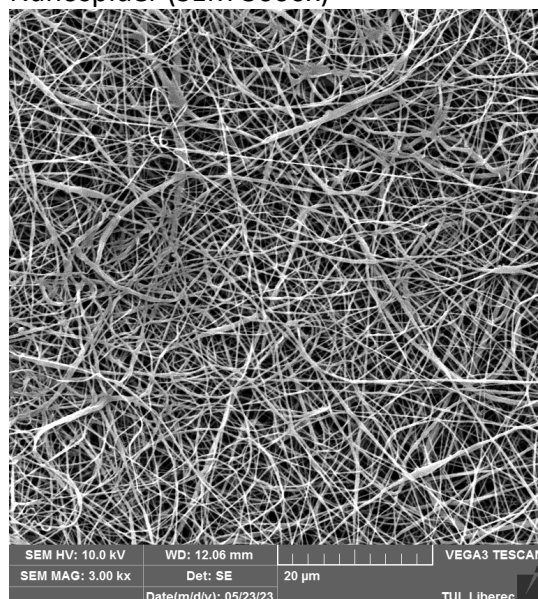
Příloha č. 8 Výkres - Vodící tyčka píst



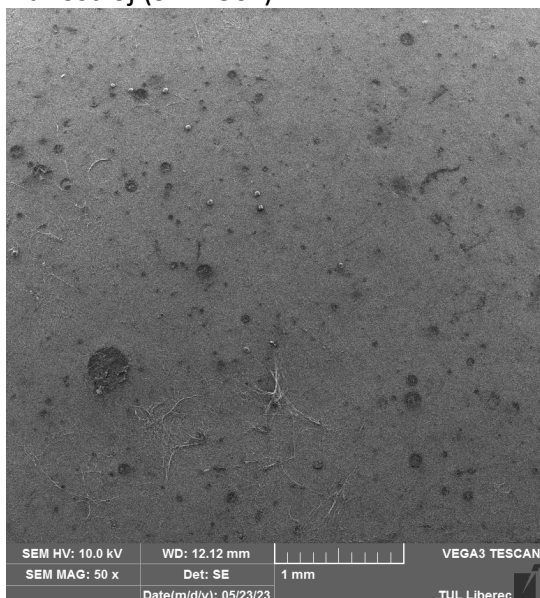
Příloha č. 10 Nanovláknenná vrstva Nanospider (SEM 50x)



Příloha č. 11 Nanovláknenná vrstva Nanospider (SEM 3000x)



Příloha č. 12 Nanovláknenná vrstva Nanostroj (SEM 50x)



Příloha č. 13 Nanovláknenná vrstva Nanostroj (SEM 3000x)

