



Mechanické zpevňování povrchu plošných netkaných textilií

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce: **David Včeliš**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



Mechanical reinforcement of surface nonwoven fabrics

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials
Author: **David Včeliš**
Supervisor: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Včeliš**

Osobní číslo: **T15000473**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**

Název tématu: **Mechanické zpevňování povrchu plošných netkaných textilií**

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

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

1. Seznamte se s problematikou zpevňování netkaných textilií. Zaměřte se především na zpevňování povrchu za pomoci papříze.
2. Vytvořte sérii vzorků a navrhnete experiment měření mechanických vlastností vytvořených spojů. Hodnoťte vytvořené papříze pomocí obrazové analýzy.
3. Vypracujte metodiku experimentu a jeho hodnocení.
4. Diskutujte výsledky a navrhnete další postupy řešení daného problému.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: 40-60 dle potřeby

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. W. Albrecht, H. Fuchs, W. Kittelmann: Nonwovens Fabrics, Wiley-VCH, Weinheim 2003, ISBN: 3-527-30406-1
2. HANUŠ, Jaroslav. Příspěvek k mechanickému zpevnování 3D textilních vrstev. In: Struktura a strukturní mechanika textilií: (Sborník referátů). Liberec: Fakulta textilní, Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, 1994, s. 10.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání bakalářské práce: 13. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 4. května 2018



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 13. října 2017

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: 3.5. 2018

Podpis: 

Tímto bych chtěl poděkovat panu doktoru Jiřímu Chaloupkovi za cenné rady a za vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Filipu Sanetníkovi za poskytnuté vybavení, panu doktoru Ondřeji Novákovi za umožnění práce na laboratorním měřicím zařízení a paní inženýrce Janě Čandové za pomoc s prací v laboratoři. Nakonec děkuji i mé rodině za podporu.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit vliv rotačních prvků na netkané textilie metodou ROTIS. Hodnocení zahrnuje měření pevnosti výsledných spojů na zkušebním stroji "Lab Test 4.20.02" a použití analýzy obrazu vazebných struktur nazývaných kvazi-příze. Analýza obrazu byla umožněna nástrojem "Nikon Instruments Software - Elements Advanced Research". Zpevnění povrchu netkané textilie metodou ROTIS nebylo plně prozkoumáno a metodika není jasně definována. Práce se proto zaměřuje především na návrh metodiky pro tvorbu vzorků. Na závěr byly analyzovány tendence chování kvazi-příze v různých situacích a použity také základní statistické výpočty.

KLÍČOVÁ SLOVA

kvazi-příze, metoda ROTIS, netkané textilie, zpevnění povrchu.

Annotation

The aim of this bachelor work is to evaluate the effect of various rotating elements on nonwoven fabrics using the ROTIS method. The evaluation comprises strength measurement of the resulting connections on the "Lab Test 4.20.02" test machine and the use of an image analysis of the bonding structures called quasi-yarn. The image analysis was made possible by "Nikon Instruments Software - Elements Advanced Research". The reinforcement of the non-woven fabric surface by the ROTIS method has not been fully explored and the methodology is not clearly defined. That is why the work focuses primarily on designing methodology for producing samples. At the end, quasi-yarn behaviour trends were analysed at different settings and basic statistical calculations were also used.

KEYWORDS

quasi-yarn, ROTIS method, nonwoven fabrics, surface strengthening.

Obsah

Seznam zkratek	10
1 Úvod.....	11
2 Teoretická část	12
2.1 Vymezení základních textilních pojmů	12
2.1.1 Jemnost	12
2.1.2 Vlákno.....	12
2.1.3 Pavučina a rouno.....	12
2.1.4 Netkaná textilie	12
2.2 Použité materiály	13
2.2.1 Polyester.....	13
2.2.2 Polypropylen.....	14
2.3 Technologie netkaných textilií.....	15
2.3.1 Mechanická příprava vlákenné vrstvy	17
2.3.1.1 Proces mykání	17
2.3.1.2 Kladení vlákenné pavučiny	18
2.3.1.2.1 Podélné kladení	18
2.3.1.2.2 Příčné kladení.....	19
2.3.1.2.3 Kolmé kladení	19
2.3.2 Mechanické zpevnění vlákenné vrstvy	21
2.3.2.1 Technologie vpichování	21
2.3.2.2 Technologie spunlace	23
2.3.2.3 Technologie proplétání.....	24
2.4 Technologie ROTIS	25
3 Praktická část	28
3.1 Přípravy a prvotní testování	28
3.1.1 Kručné zařízení.....	28

3.1.2	Vybrané materiály.....	29
3.1.3	Dráha a přítlak	29
3.1.4	Krutné elementy.....	31
3.2	Konečná konfigurace	32
3.2.1	Příprava vlákenné vrstvy	32
3.2.2	Nastavení proměnných	33
3.2.3	Postup výroby vzorků	33
4	Vyhodnocení.....	35
4.1	Pevnosti vytvořených spojů	36
4.2	Obrazová analýza.....	37
4.3	Výsledky	39
5	Závěr	46
6	Použitá literatura	47
7	Přílohy.....	49
A.	Obrázky krutných elementů a jejich parametry	49
B.	Snímky z optického makroskopu.....	53

Seznam zkratek

g	Gram	T _m	Teplota tání
nm	Nanometr	LOI	Limitní kyslíkové číslo
μm	Mikrometr	UV	Ultrafialové
mm	Milimetr	NT	Netkaná textilie
cm	Centimetr	PES	Polyester
m	Metr	PP	Polypropylen
km	Kilometr	PET	Polyethylentereftalát
tex	Jednotka jemnosti	MS	Mykací stroj
dtex	Decitex	atd.	A tak dále...
l	Litr	pol.	Polovina
MPa	Megapascal	stol.	Století
°C	Stupně celsia	vpich.	Vpichovaný
min	Minuta/Minimum	tzv.	Tak zvaný
max	Maximum		
T _g	Teplota skelného přechodu		

1 Úvod

Zpevňování netkaných textilií, je relativně nákladný proces. To ovšem neplatí pro metodu ROTIS. Tato poměrně jednoduchá metoda dokáže zpevnit povrch netkané textilie pomocí kvazi-příze, která připevní k povrchu netkané textilie armovací mřížku. Tato mřížka zabraňuje jinak nezpevněné netkané textilii v rozpadu a chrání ji vůči vnějším mechanickým vlivům. Od vyvinutí této technologie v 90. letech 20. století (fakulta textilní na Vysoké škole strojní a textilní v Liberci), tato metoda nebyla důkladně prozkoumána.

Hlavními cíli této bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou metodiku pro tvorbu vzorků na podkladě základních poznatků o této technologii. Dále byl ověřen vliv změny nastavení parametrů (vysunutí, otáčky, rychlost posunu, typ krutného elementu, vlákna) na pevnost papříze. Nakonec byla pomocí obrazové analýzy zachycena struktura papříze a vyhodnocen vliv změny nastavení parametrů na její průměr a chybovost.

V teoretické části bude čtenář seznámen s použitými materiály, konvenčními způsoby mechanické přípravy a zpevnění vlákenných vrstev pro netkané textilie a stejně tak s technologií ROTIS.

Experimentální část poukazuje na jednotlivé kroky při přípravě vzorků, použité nastavení a problémy se kterými bylo potýkáno. Zde jsou i přiložené fotografie a schémata, které lépe dokreslují celý experiment.

V poslední části vyhodnocení jsou pak uvedeny způsoby, kterými byly vyrobené vzorky mechanicky testovány a vizuálně hodnoceny. V tabulkách jsou pak uvedeny výsledky jednotlivých měření.

2 Teoretická část

2.1 Vymezení základních textilních pojmů

2.1.1 Jemnost

Je to vyjádření vztahu mezi hmotností materiálu a jeho délkou. To je tedy dáno vztahem:

$$T [\text{tex}] = \frac{m [\text{g}]}{l [\text{km}]}$$

Základní jednotkou je tex, který udává, kolik gramů váží jeden kilometr materiálu [1].

2.1.2 Vlákno

Patří do skupiny délkových útvarů (textilií), jenž se vyznačuje svojí ohebností, pružností, tloušťkou pod 100 μm a nízkou jemností. Vlákno může být různého původu, může mít různé profily a délky. Obecně se dle své délky vlákna dělí na:

- Spřadatelná (staplové délky)
- Nekonečná
- Nespřadatelná (vlákna kratší délky než 10 mm)

Jemnost vláken se obvykle udává v jednotkách dtex [1].

2.1.3 Pavučina a rouno

Je to poloproduct vytvářený na mykacím stroji. Jedná se již o plošnou textilií, která je tenká a obsahuje urovnaná ojednocená vlákna. Pavučina se vrství a tím se vytváří rouno, jenž je předlohou pro výrobu netkaných textilií [1].

2.1.4 Netkaná textilie

Definice netkaných textilií dle normy ČSN EN ISO 9092 zní: „*Netkané textilie jsou struktury z textilních materiálů, jako jsou staplová vlákna, nekonečná vlákna nebo vlákna přize bez ohledu na jejich typ nebo původ, z kterých bylo vytvořeno rouno jakýmkoliv způsobem, s výjimkou provázání nití jako u tkanin, pletenin, krajek, proplétaných nebo všívaných textilií.*“

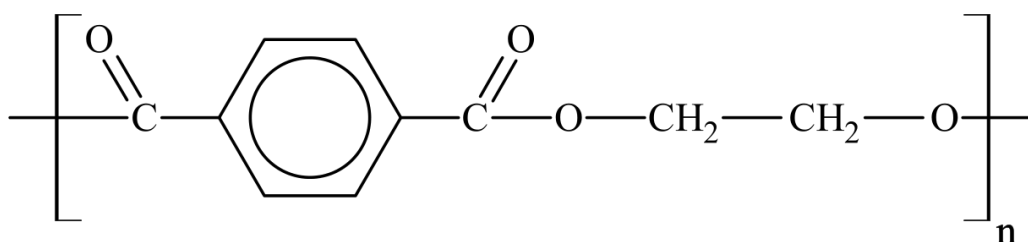
2.2 Použité materiály

V této práci byly použity dva textilní materiály. Jsou to polyester a polypropylen. Byly vybrány na základě poznatku, že tyto dva materiály patří obecně k jednomu nepoužívanějším v textilním průmyslu, zejména v odvětví netkaných textilií. Také díky tomu, že patří do skupiny syntetických vláken, bylo zamezeno případné vysoké variabilitě vlastností vláken, jako mají popřípadě vlákna přírodní. Případná vysoká nestejnomořnost vláken v jejich jemnostech, pevnosti, průměrech a dalších, by mohla negativně ovlivnit výsledky testů.

2.2.1 Polyester

Označení polyester je obecné označení syntetických polymerů s typickou esterovou skupinou ($-\text{CO}-\text{O}-$). Do této skupiny patří například: polyetylglykoltetrafalát, polyetyltetrafalát, polybutyltetrafalát, polyetylnaftalát, aj. Jejich zařazení závisí na druhu vstupních surovin, ze kterých se vyrábí. PES se vyrábí polykondenzací (stupňovitá, rovnovážná chemická reakce) a má lineární makromolekulu [2,3].

V této práci byl použit Polyetyltetrafalát, jenž je vyráběn z ethylglykolu a kyseliny tetrafalové. Tato vlákna byla ve formě stříže a byly tzv. normálového typu (nemodifikovaná vlákna).

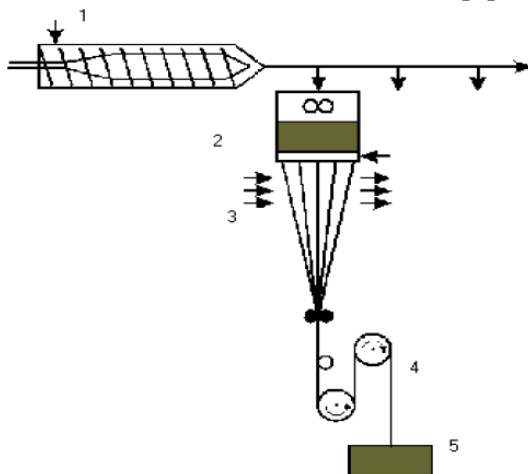


Obr. č. 1 – Strukturní vzorec polyetyltetrafalátu [4].

Polyesterová vlákna původně vznikla jako vhodná náhrada vlny a dále postupně pronikla téměř do všech odvětví textilu. PES vlákna mají dobré zpracovatelské vlastnosti, výtečnou pružnost, odolnost vůči pomačkání a vysokou sráživost vlivem tepla. Jejich nevýhodou je nízká odolnost v alkáliích a v koncentrované kyselině sírové. Rovněž má sklony k žmolovitosti, snadno se tvoří elektrostatický náboj, jenž přitahuje prach a vlákna mají nízkou navlhavost (kolem 0,3 – 0,4%). Jedná se o termoplast, což znamená, že je polymer tavitelný. Při zvyšování teploty vlákna měknou a naopak při ochlazování tuhnou. T_m je kolem 256°C a teplo, kterému dokáže dlouhodobě odolávat je $180 - 200^\circ\text{C}$,

ale pevnost po několika dnech klesá o cca 50%. Teplotám 120 – 130°C odolává beze změn. T_g je 77 – 80°C a LOI je 20,6%. PES dále degraduje za působení UV záření o vlnové délce kolem 300 nm [2-7].

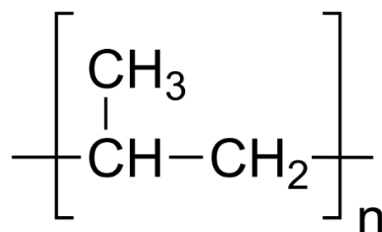
Samotná PET vlákna jsou vyráběna tavným zvlákňováním, jak zobrazuje obrázek č. 2. Výroba vlákenné stříže začíná tavením polymerního granulátu a tavenina je následně zvlákňována tryskou. Vláknem je dále chlazeno vzduchem a přivedeno k dlouhým válcům. Zde dochází k podélné deformaci, která vlákno prodlouží o 20 – 2000% původní délky. Uvnitř vláken dochází k orientaci řetězců do směru osy vlákna a výsledkem dloužení je snížení tažnosti, ale zároveň zvýšení pevnosti vláken. Následuje fixace (tepelná stabilizace), která ustálí rozměry vláken a sníží napětí uvnitř vláken způsobené jejich výrobou. Tímto jsou vyrobena nekonečná vlákna, které je třeba ještě natrhat, či nařezat na požadovanou délku vláken. Tím vznikne vlákenná stříž [7].



Obr. č. 2 – Schéma tavného zvlákňování (1. šnekový extrudér, 2. zvlákňovací trysky, 3. vzduchové chlazení, 4. dlužení, 5. navíjení) [7].

2.2.2 Polypropylen

PP vlákna patří do skupiny polyolefinových vláken. Pro zvlákňování je vhodný jen izotaktický polypropylen. Izotaktický PP se vyrábí koordinační stereospecifickou polymerací propenu za pomoci Ziegler-Nattových katalyzátorů. Tím vznikne pravidelné prostorové uspořádání metylových skupin a je možno vytvářet trojrozměrné útvary [7,8].



Obr. č. 3 – Strukturní vzorec polypropylenu [4].

Ke konci padesátých let se poprvé objevila průmyslově vyráběná polypropylenová vlákna, kterým se předpovídala téměř fantastická budoucnost. Některé chemické a fyzikální analýzy, se ale dostávali do rozporu se zkušenostmi z praxe. Nicméně nízká cena a malá objemová hmotnost (menší než má voda), díky které se odlišovala od všech ostatních dosud známých syntetických vláken, se nedaly popřít [7]. PP vlákna se rovněž jako PES vlákna dají snadno zpracovávat klasickými textilními technologiemi. PP vlákna mají vyšší modul pružnosti, mají velmi malou rozpustnost v organických rozpouštědlech a mají velmi dobrou odolnost vůči chemikáliím. Disponují téměř žádnou navlhavostí, která je kolem 0,1% (vlákna jsou tedy hydrofobní). Dále se na jejich površích tvoří jen velmi málo elektrostatický náboj, je také trvanlivý a má dobrou odolnost v oděru. Mezi nevýhody by se dalo zařadit: nízká barvitelnost (pouze barvení ve hmotě), nepříjemný omak (voskovitý omak), pomalé zotavení materiálu, malá tuhost, nízká tepelná odolnost a malá odolnost vůči UV záření. Stejně jako u PES vláken se jedná o termoplast, jehož T_g se pohybuje od -10°C do 0°C a hodnota T_m je rovna 165°C . LOI je roven 18% a před hořením se materiál sráží a taví [6,7,9].

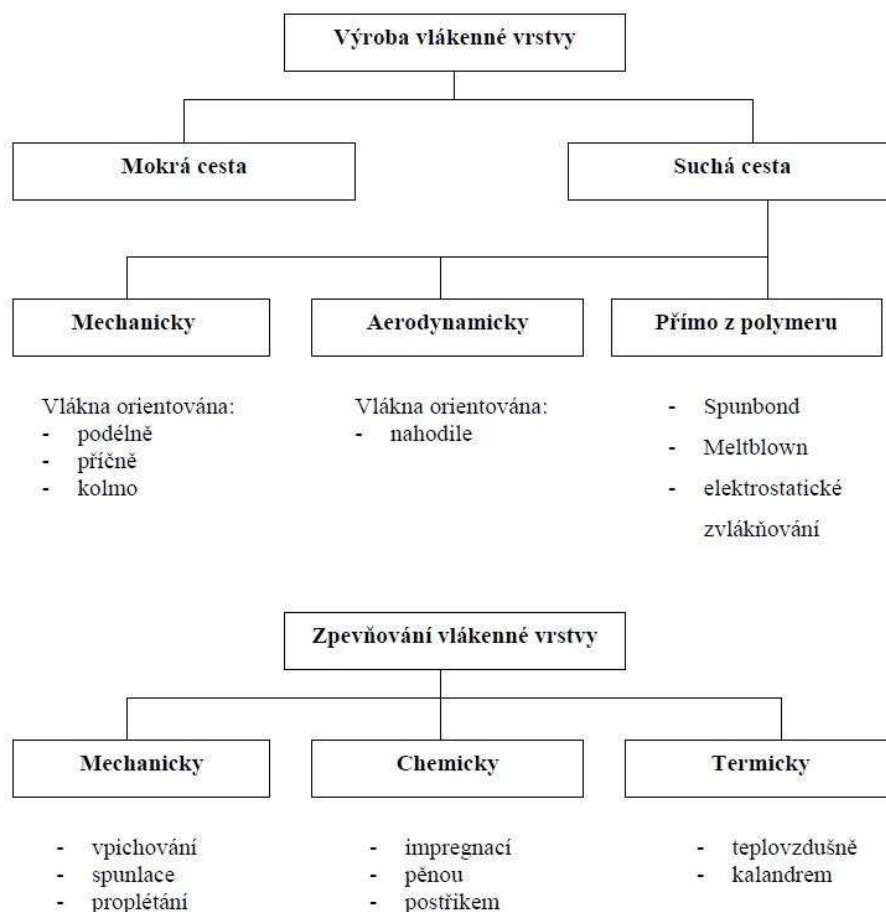
Další shoda s PES vlákny je i ve způsobu zvlákňování. Rovněž se jedná o tavné zvlákňování, které již bylo popsáno výše (**viz 2.2.1. Polyester**).

2.3 Technologie netkaných textilií

Definice netkaných textilií byla již popsána výše (**viz 2.1 Vymezení základních pojmů**). Struktura netkaných textilií se zásadně liší od ostatní textilních produktů, jako je například pletenina, či tkanina. Od těchto textilních útvarů se přirozeně liší způsobem výroby, jejich mechanickými vlastnostmi a způsoby využití. NT jsou v zásadě využívány pro technické textilie [10]. Mohou to být geotextilie, vložkové materiály, zdravotnické textilie, vzduchové a kapalinové filtry, použití v automobilovém průmyslu atd. [3]. Výrobní technologie netkaných textilií může být obecně rozdělena do následujících bodů:

- A) Příprava surovin
- B) Výroba NT
 - B1) Výroba vlákenné vrstvy
 - B2) Zpevnění vrstvy
 - B3) Ořezávání okrajů, řezací a další
- C) Úpravy

Toto je však jen obecné znázornění, které nemusí být v praxi přesně dodrženo. Některé operace mohou být vynechány nebo dvě operace sdruženy do jedné [3]. Pro účely této bakalářské práce je nutné se zabývat jen dvěma body a to **mechanickou** přípravou vlákenné vrstvy a jejím **mechanickým** zpevněním. Celé schéma těchto dvou sekcí výroby znázorňuje **obrázek č. 4**.



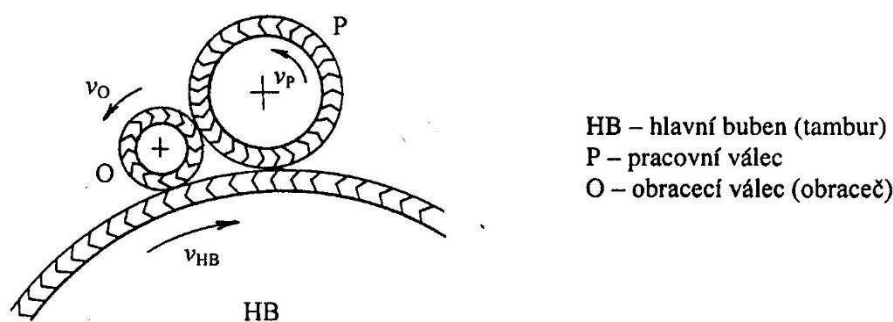
Obr. č. 4 – Schéma možností výroby a zpevnění vlákenné vrstvy [3].

2.3.1 Mechanická příprava vlákenné vrstvy

2.3.1.1 Proces mykání

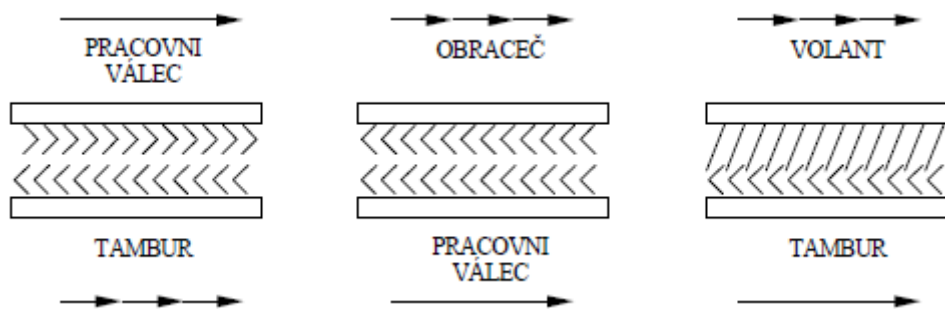
Jeden z nejdůležitějších kroků při výrobě NT je proces mykání. Účelem je vyrobit ze vstupujícího vlákenného materiálu stejnoměrnou pavučinu vláken. Na mykacím ústrojí probíhá několik procesů najednou, vlákenná surovina je jemněji rozvolňována, napřimována, čištěna, ojednocována, urovnávána do podélného směru (vzniká anizotropní struktura) a nakonec sejmuta v podobě pavučiny z hlavního bubnu [1].

Pro tyto účely je využíváno klasických víčkových a válcových mykacích strojů (příp. speciálních mykacích zařízeních vyvinutých speciálně pro NT). Avšak nejužívanější jsou MS válcové, jelikož disponují vysokou produktivitou, oproti například strojům víčkovým [3]. Základem válcového mykacího stroje je soustava válců, jenž je zobrazena na následujícím obrázku.



Obr. č. 5 – Hlavní pracovní ústrojí na válcovém mykacím stroji [1].

Všechny pracovní orgány, jenž přijdou do styku s vlákny, mají na svém povrchu speciální potahy. Tyto potahy jsou buď drátkové, nebo pilkové, přičemž mohou být různě tuhé, profilované, nebo mít jiný úhel sklonu k povrchu pracovního orgánu. Udržování pracovních povlaků v dobré kondici je stěžejní pro výslednou podobu vlákenné pavučiny. Proto je nutné, aby povlaky byly snadno čistitelné, seřizovatelné a v případě potřeby jednoduše brousitelné (povlaky jsou vyráběny z kvalitní oceli) [1,10]. Vzájemné postavení povlaků mezi jednotlivými pracovními orgány znázorňuje obrázek č. 6. Účinek mykacího procesu je ovlivněn také počtem pracovních drátků (či pilek) na plochu, dále rychlostí tamburu a pracovních válců a vzdáleností mezi povlaky. Jednotlivé povlaky na sebe ve většině případů přímo nepůsobí. Vzdálenosti se obvykle pohybují mezi 0,3 – 2 mm [3].



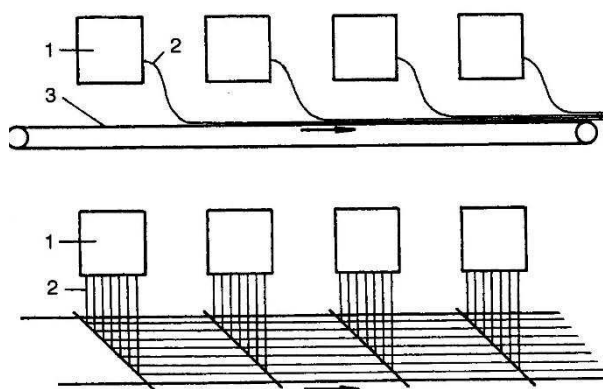
Obr. č. 6 – Postavení pracovních povlaků MS včetně vyznačení rychlostí [3].

2.3.1.2 Kladení vláknenné pavučiny

V suchém způsobu výroby NT jsou 3 způsoby vrstvení pavučiny. Je to podélné kladení, příčné kladení a kolmé kladení. Každý z těchto způsobů udává rozdílné vlastnosti pro výsledné rouno a má vliv na pozdější využití výsledného výrobku.

2.3.1.2.1 Podélné kladení

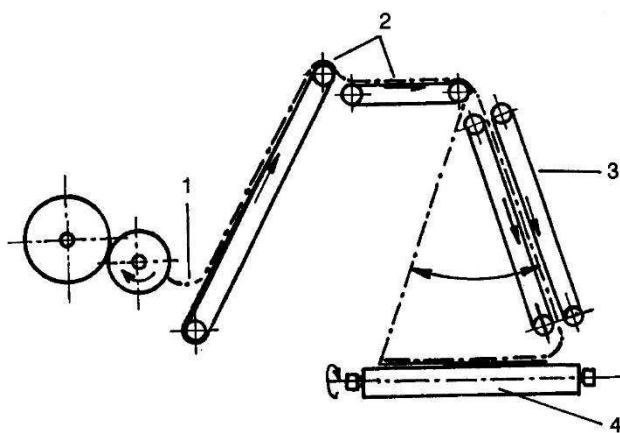
Tímto způsobem se pavučina z MS nasměruje přímo do zpevňující části výroby. Obvykle jsou mykací stroje uspořádány za sebou a každá z pavučin je postupně směřována na dopravníkový pás. Pavučiny jsou kladeny jedna na druhou, aby se docílilo požadované plošné hmotnosti (**viz Obrázek č. 7**). Vzniká vláknenná vrstva připravená pro proces zpevnění. Podélné kladení je využíváno pro NT s nízkými plošnými hmotnostmi a tam kde je upřednostňována vyšší pevnost v podélném směru. Pevnost netkané textilie v podélném směru je v tomto případě asi 8-10 krát vyšší než ve směru příčném (má anizotropní charakter) [10,11].



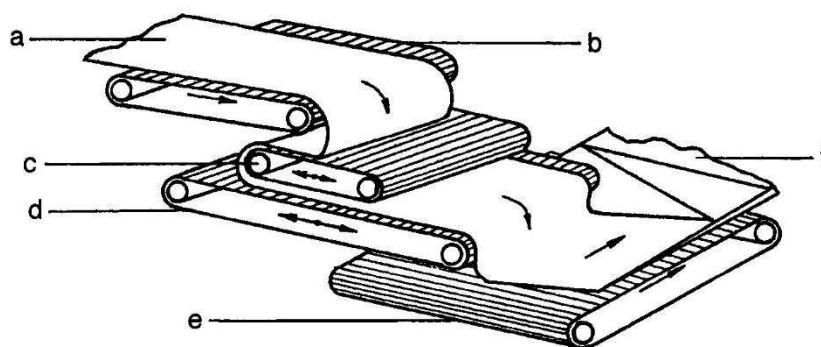
Obrázek č. 7 – Možné konfigurace podélného vrstvení (1. mykací stroj, 2. pavučina, 3. dopravníkový pás) [10].

2.3.1.2.2 Příčné kladení

Toto je široce používaný způsob formování pavučiny. Ta vystupuje z mykacího stroje na příčný kladeč, který na sebe vrství pavučinu cik-cak způsobem. Navrstvující se pavučina je pomalu odváděna dopravníkem v 90° úhlu [11]. Možnosti uspořádání příčných kladečů znázorňují **obrázky č. 8 a č. 9**. Z vyobrazení horizontálního příčného kladeče je patrné, že tento typ skládané textilie je snadno rozpoznatelný díky šikmým skladům, které zde vznikají. Úhel těchto skladů je ovlivněn rychlostí pohybu kladečího pásu a rychlostí odváděcího pásu [3]. Plošná hmotnost výsledného rouna je závislá na šířce vrstvy, rychlosti přísunu pavučiny a na rychlosti odváděcího pásu [10].



Obrázek č. 8 – Vertikální příčný kladeč (1. pavučina z MS, 2. přiváděcí dopravníky, 3. dvojice kladečích výkyvných pásů, 4. odváděcí dopravník) [10].



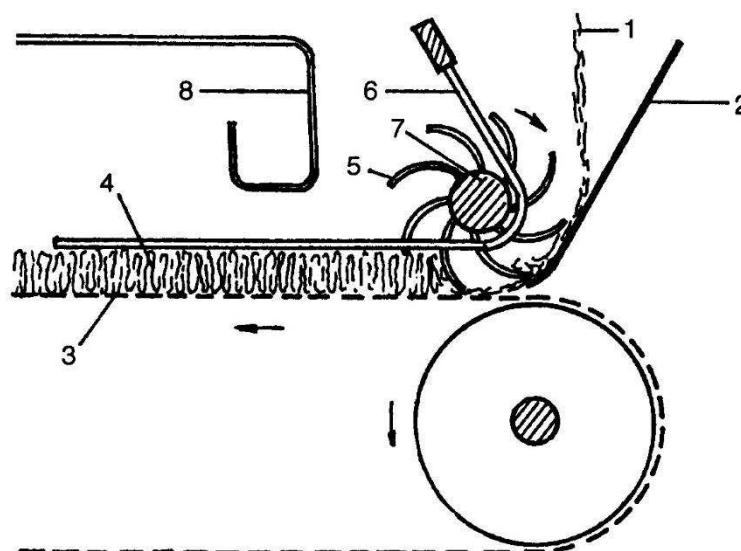
Obrázek č. 9 – Horizontální příčný kladeč (a. pavučina z MS, b. přiváděcí dopravník, c. kompenzační dopravník, d. kladečí dopravník, e. odváděcí dopravník, f. příčně vrstvené rouno) [10].

2.3.1.2.3 Kolmé kladení

Tento způsob je rovněž nazýván jako „**Technologie STRUTO**“. Jedná se o vytváření struktury, v níž jsou jednotlivá vlákna převážně směřována kolmo k rovině textilie. To zapříčiní, že při stlačení materiálu jsou vlákna namáhána více na vzpěr, než na ohyb.

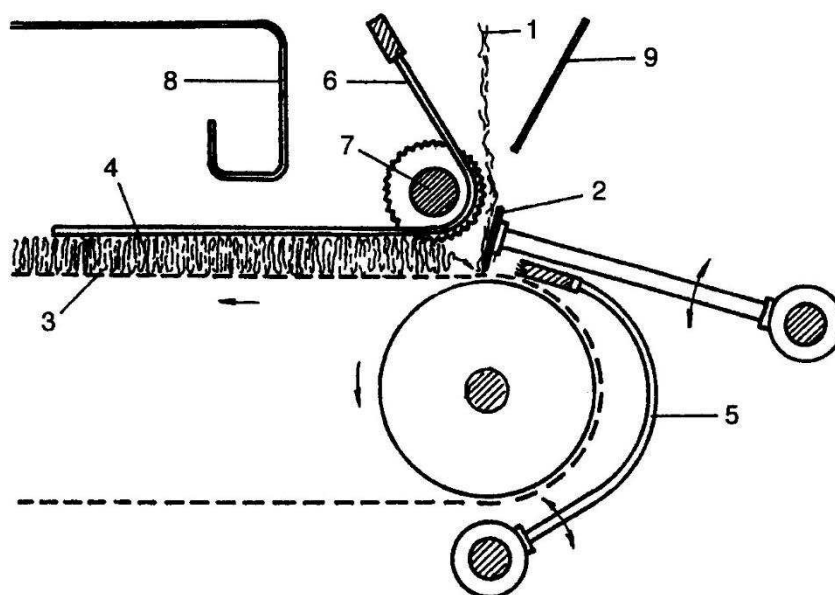
Použitím této technologie lze vytvořit textílii, která bude objemná a bude mít vyšší odolnost vůči stlačení [3].

Pro tento účel byly vyvinuty dva druhy strojů. Je to rotační kolmý kladeč a vibrační kolmý kladeč (**viz obrázek č. 10 a č. 11**). Které jsou schopné vytvořit textílii s tloušťkou až 40 mm a to rychlostí 100 m/min [11].



Obrázek č. 10 – Rotační kolmý kladeč (1. pavučina z MS, 2. příváděcí plech, 3. dopravník, 4. kolmo kladená vrstva, 5. hroty kotouče, 6. drátkový rošt, 7. pracovní kotouč, 8. kryt pojící komory) [10].

U rotačního kladeče je pavučina přiváděna vertikálním způsobem, kde po příváděcím plechu sklouzává k pracovnímu kotouči, jenž je opatřen hroty. Ten svým pohybem vytvoří na textílii sklady, které vrství hned za sebou [12].



Obrázek č. 11 – Vibrační kolmý kladeč (1. pavučina z MS, 2. vibrační pilka, 3. dopravník, 4. kolmo kladená vrstva, 5. pýchovací lišta, 6. drátkový rošt, 7. tvořící válec, 8. kryt pojící komory, 9. příváděcí plech) [10].

Vibrační kladeč funguje na principu vibrující pilky, která stahuje pavučinu do pracovního ústrojí. Tím je vytvořen sklad, který je sejmut z vibrační pilky pomocí pýchovací lišty. Ta přirazí takto vzniklý sklad k již vytvořené vlákenné vrstvě, procházející mezi drátkovým roštem a dopravníkem [12].

Jak vyplývá z obou obrázků, tato technologie, využívá ke spojení takto kladených vrstev teplovzdušnou komoru. Ve vlákenné vrstvě se tedy nacházejí alespoň dva typy vláken. Přičemž jedny mají T_m nižší než druhé. V horkovzdušné komoře jsou pak tyto vlákna natavena a ve vrstvě pak působí jako pojivo [3].

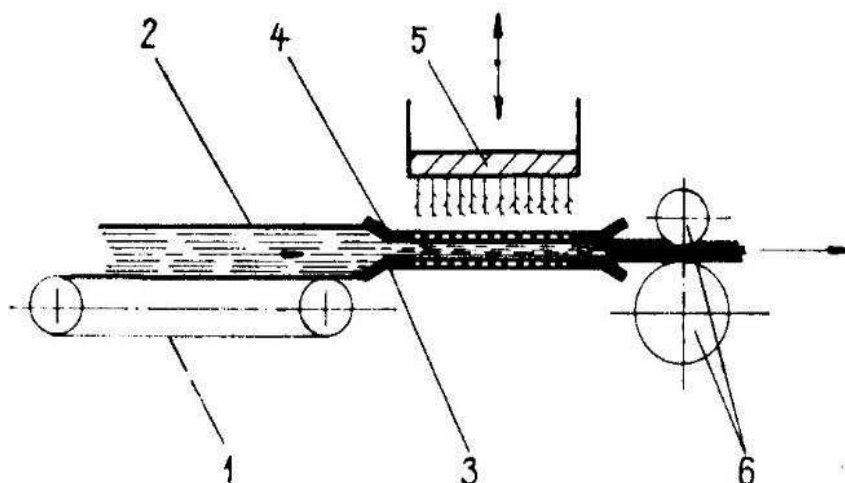
2.3.2 Mechanické zpevnění vlákenné vrstvy

Mezi mechanické způsoby zpevňování vlákenných vrstev patří vpichování, metoda spunlace a proplétání.

2.3.2.1 **Technologie vpichování**

Technologie vpichování patří mezi nejstarší technologie zpevňování vlákenných vrstev. Od doby co byla tato technologie vyvinuta (2. pol. 19. stol.) se podoba vpichovacích strojů neustále měnila. V důsledku jejich rozvoje jsou tyto stroje rozdělovány podle způsobu vnikání jehelné desky do vlákenné vrstvy, či dle uspořádání roštů. Jsou to: kolmé

vpichovací stroje s rovinnými rošty, šikmé vpichovací stroje, kombinované vpichovací stroje s válcovými rošty, aj. Dále mohou být rozděleny podle směru, ze kterého do vlákně vrstvy vnikají. Jsou to: vpichování ze shora, vpich. zespodu, či v tzv. tandemu, nebo vpichování proti sobě. Avšak u všech těchto typů se využívá stejného principu. Jenž je znatelný z **obrázku č. 12 [6]**.



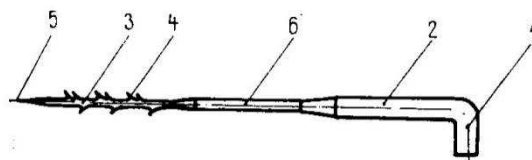
Obrázek č. 12 – Schéma kolmého vpichovacího stroje s rovinnými rošty (1. dopravníkový pás, 2. rouno, 3. opěrný rošt, 4. stírací rošt, 5. jehelná deska, 6. odváděcí válce) [6].

Základní princip spočívá v přivedení rouna do vpichovacího prostoru, což je prostor mezi opěrným a stíracím roštem (přímo pod jehelnou deskou). Opěrný rošt podpírá rouno při procesu vpichování, jenž zajišťuje jehelná deska s řadou jehel, která vykonává vertikální vratný pohyb. Jehly jsou vybaveny ostny (či drážkami), kterými jsou vlákna zachytávána a následně tato vlákna protahují skrz rouno. Při výstupu jehel z rouna jsou vlákna sejmuta z ostnů (či drážek) třením o stírací rošt. Zároveň je celá vlákně vrstva odtahována sadou odtahovacích válců. [12].

Díky tomu jsou po vpichování, vlákna v rounu přeorientována a vzájemně provázána. Během vpichování dochází k podstatnému snižování tloušťky vlákně vrstvy, ke změně délky a šířky útvaru. Důležitými parametry při procesu vpichování jsou: frekvence vpichování (počet zdvihů za minutu), vzdálenost roštů (obvykle 40 – 60 mm), hloubka vpichu jehel (běžně 5 – 25 mm), počet jehel, typ jehel, rychlost odvádění textilie. Součástí vpichovacího stroje ještě často bývá pěchovací (redukční) přípravek. Ten zajišťuje, že vstupní materiál, který může mít tloušťku i 250 mm, bude stlačen na takovou šířku, aby se vešel do vpichovacího prostoru mezi rošty. Nebo se používají předvpichovací stroje,

kteře mají na úzké jehelné desce malý počet jehel a zároveň mají větší vzdálenost mezi rošty [3].

Dalším důležitým aspektem je vpichovací jehla. Vyjmenování a popsání všech druhů jehel, by vydalo na mnoho stran, proto bude následně popsán neužívanější typ a tím je konvenční vpichovací jehla. Ta se skládá ze z několika částí, jak ukazuje **obrázek č. 13**.



Obrázek č. 13 – Konvenční plstíci jehla (1. kolénko, 2. stvol, 3. pracovní část, 4. osten, 5. hrot, 6. redukováná část) [6].

Každá část této jehly má svoji funkci. Kolénko slouží k zajištění jehly v jehelné desce vpichovacího stroje a současně určuje polohy pracovní části jehly vůči vpichované vlákenné vrstvě. Stvol slouží k zafixování jehly, aby se při práci nevychylovala. Pracovní část je funkční část, na které jsou umístěny ostny, které mají na svědomí pře orientaci vláken při procesu vpichování. Pracovní část může mít různé průřezy (kulaté, čtvercové, trojúhelníkové, atd.) a ostny jsou tedy ostré záseky v pracovní části, jejichž velikost a uspořádání určují míru vpichování [6].

Stupeň zpevnění vlákenné vrstvy souvisí s počtem vpichů na jednotku plochy vrstvy a hloubka vpichu. Počet vpichů lze vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$V_p = \frac{a * f * p}{v}$$

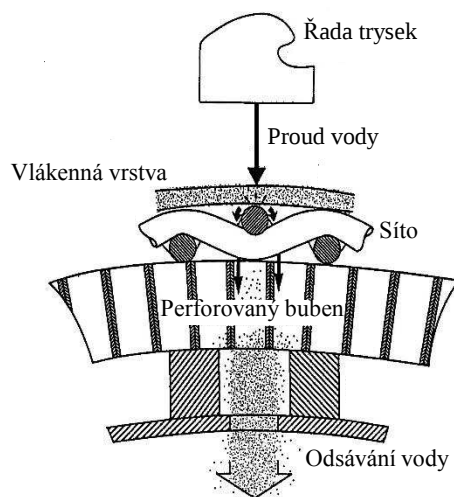
kde „ V_p “ je počet vpichů [m^{-2}], „ f “ je frekvence desky [s^{-1}], „ a “ je celkový počet jehel na 1 m vpichovací desky [m^{-1}] (ve všech řadách), „ p “ je počet průchodů textilie strojem, „ v “ je rychlost odvádění textilie [$m*s^{-1}$] [3].

Hloubka vpichu je pak vzdálenost špiček jehel od opěrného perforovaného roštu v nejnížší úrovni vpichu a je udávána v mm [3].

2.3.2.2 Technologie spunlace

Tato technologie je také alternativně nazývána jako zpevňování paprsky vody, nebo také hydrodynamické zpevňování NT. Jedná se tedy o způsob zpevňování pomocí vodních

trysků. Vodní proud, který prostupuje skrz vlákennou vrstvu a přeorientovává jednotlivá vlákna. Díky tomuto přeorientování se vlákna do sebe zamotají a celá textilní vrstva je tím zpevněná. Vodní trysky mají průměry od 0,08 do 0,3 mm a kapalina v nich proudí vysokým tlakem kolem 3 až 35 MPa. Tímto způsobem mohou být zpevňována rouna s vlákny téměř jakéhokoliv typu o jemnosti 1 - 4 dtex, délce řezu rouna 20 – 60 mm a obvyklé plošné hmotnosti výrobků se pohybují kolem 10 – 100 g/m². Součástí technologie je také odvodňování a sušení výrobku. [3,10].

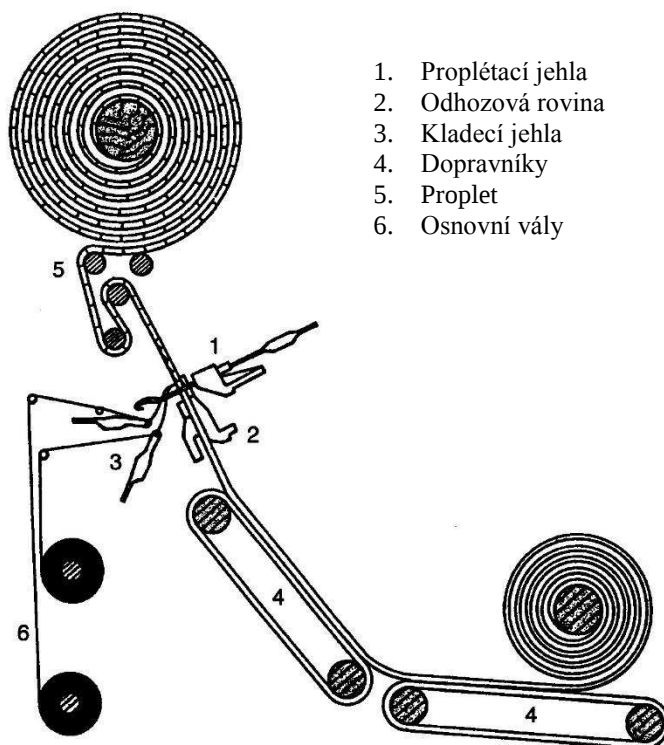


Obrázek č. 14 – Pracovní segment technologie spunlace [10].

Účinnost procesu provázání a přeorientování vláken podléhá provedení síta. Síto podpírá vlákennou vrstvu a obstarává vytvoření struktury. Musí mít dostatečně velké otvory, aby nebyl příliš velký odpor kapaliny při průchodu vrstvou, a současně musí být dostatečně malé, aby nedošlo k odplavení vláken. Samozřejmě jsou zde kladeny nároky i na čistotu vody, kyselost vody, její teplotu, složení a další. Voda je recyklována pomocí sady filtrů, ohřevu a deionizačním přístrojem [3].

2.3.2.3 Technologie proplétání

V této technologii je vlákenná vrstva přiváděna k pracovnímu mechanismu, kde je zpevněna pomocí příze (běžně se používají prstencové příze a monofily) viz **obrázek č. 15**. Stroj pro tvorbu takto zpevněné textilie se nazývá proplétací stroj (český systém Arachne, německý Maliwatt) a výrobky z něj jsou zvané proplety. K přípravě osnovy je třeba ještě zmínit, že patří soukání a snování. Používané vazby jsou trikot a řetízek (nebo jejich kombinace), případně je využíván proplet bez vazné nitě (český systém Arachne-Arabeva). Jedná se tedy o osnovní pletení s výplní [3,12].



Obrázek č. 15 – Schéma proplétacího stroje [10].

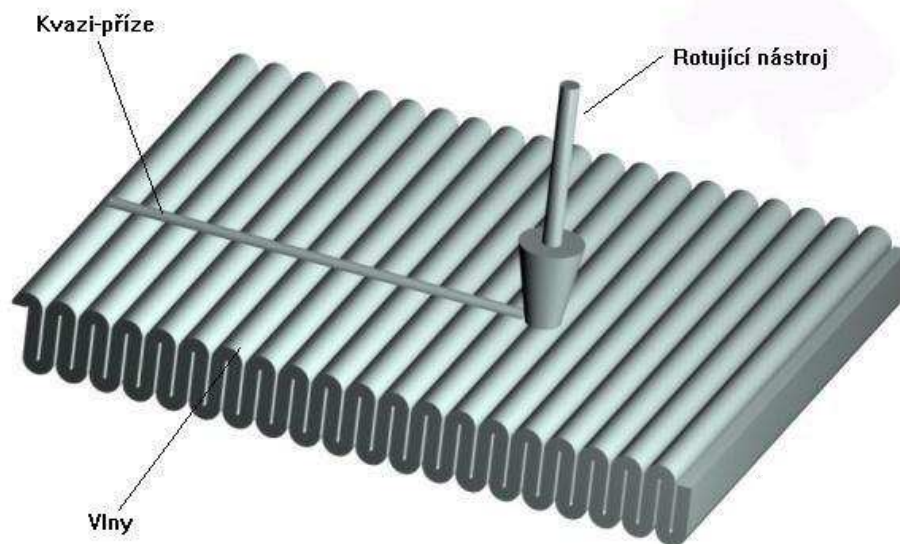
Stupeň spojení materiálu dosažené technologií proplétání, je závislí na počtu oček na jednotku plochy. Toto číslo je tvořeno hustotou sloupku vynásobené hustotou řádku vzniklé osnovní pleteniny. Základními nástroji jsou složená jehla, jazýčková jehla a háčková jehla. Jehly mohou být hrubé, střední, jemné, velmi jemné. Pro lepší stabilitu je běžnou praxí kombinovat například jemné s velmi jemnými. Proplétací jehly jsou uloženy v 25 mm dlouhých segmentech. Tyto segmenty jsou uloženy v jehelném lůžku stroje. Pokud je nějaká z jehel poškozena, vymění se jen segment, kterého se tento defekt týká [12].

V případě výše zmíněného propletu bez vazné nitě, se očka vytvářejí přímo z vlákenného materiálu, ze kterých vzniká řetízková vazba. Očka jsou vzájemně provázána a dávají propletu pevnost zejména v podélném směru. Z důvodu dostatečné pevnosti musí předkládaný vlákenný materiál obsahovat nejméně 1/5 vláken delších než 40 mm [10,12].

2.4 Technologie ROTIS

Tato technologie je shodná s technologií STRUTO (**viz 2.3.1. Mechanická příprava vlákenné vrstvy**), alespoň pokud se jedná o mykání a kolmé vrstvení. Kolmo kladená textilie, ale dále nepokračuje do tepelné pojící komory, ale do zpevňující jednotky zvané

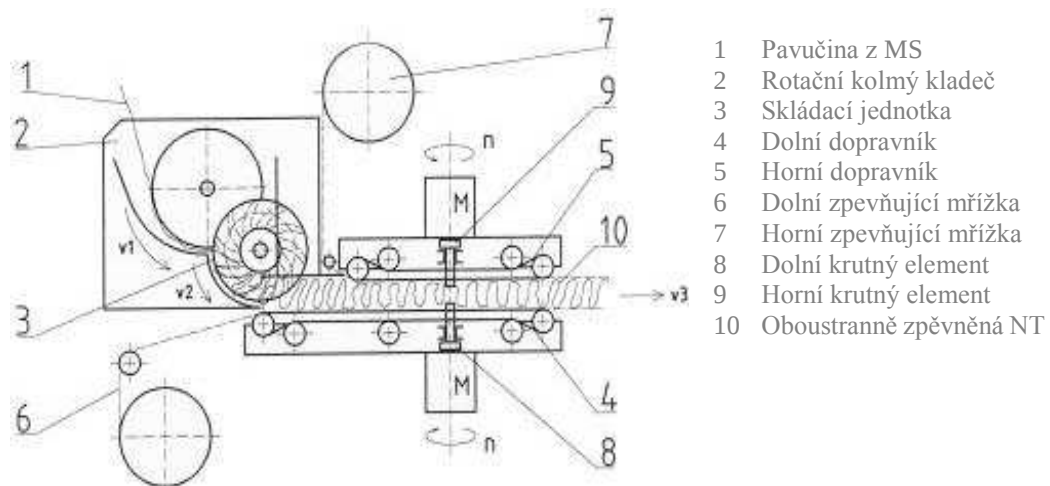
ROTIS. Zde je vlákenná vrstva vložena mezi dva krycí materiály (například plastová, skelná mřížka, tkanina s malou dostavou, či pleteniny malou hustotou oček) a působením rotujících pracovních elementů je mřížka přichycena ke kolmo kladené vlákenné vrstvě. Spojení zajišťuje vazný útvar zvaný papříze. Znáám je také jako kvazi-příze (anglicky Quasi-yarn) [12].



Obrázek č. 16 – Triviální zobrazení kvazi-příze [13].

Princip vzniku vazného útvaru spočívá v zakrucování odstávajících vláken skrz mřížku. Pracovní prvek může zasahovat přímo do struktury vlákenné vrstvy a tak vlákna i částečně vytahovat na povrch a následně zakrucovat. Zařízení uzpůsobeno pro tento druh mechanického zpevnění (**viz obrázek č. 17**) se skládá ze zakrucovacích elementů, které jsou v jedné řadě uchyceny v rámu. Tento rám má nastavitelnou výšku, stejně jako podávací a odebírací kotouče, které lze v případě potřeby zaměnit za pásový dopravník [14].

Výhoda technologie ROTIS oproti technologii STRUTO je absence tepelné komory (energeticky náročná) a není tedy vyžadováno pojivo. Tento proces je velmi jednoduchý. Na druhé straně takto pojené objemné vrstvy nevykazují vynikající kompresní odolnost a elastické zotavení, jako mají NT vyrobené pomocí STRUTO [12].



Obrázek č. 17 – Schéma zařízení ROTIS [12].

Obecnými vstupními parametry, ovlivňující povahu vazného útvaru jsou:

- Úhel náběhu rotujícího elementu α [°]
- Zaboření krutného elementu h [mm]
- Průměr krutného elementu d [mm]
- Otáčky krutného elementu n [1/min]
- Rychlost posuvu v [m/min]
- Rozteč rotujících prvků r [mm]
- Součinitel tření mezi vláknennou vrstvou a krutným elementem f [-]

Obecné vstupní parametry pak jsou ještě hustota vláknenné vrstvy, její struktura a jemnost vláken. Některé z uvedených parametrů jsou kombinované, jako například součinitel tření. Ten závisí na počtu otáček, tuhosti vláken, druhem suroviny, apod. [15].

3 Praktická část

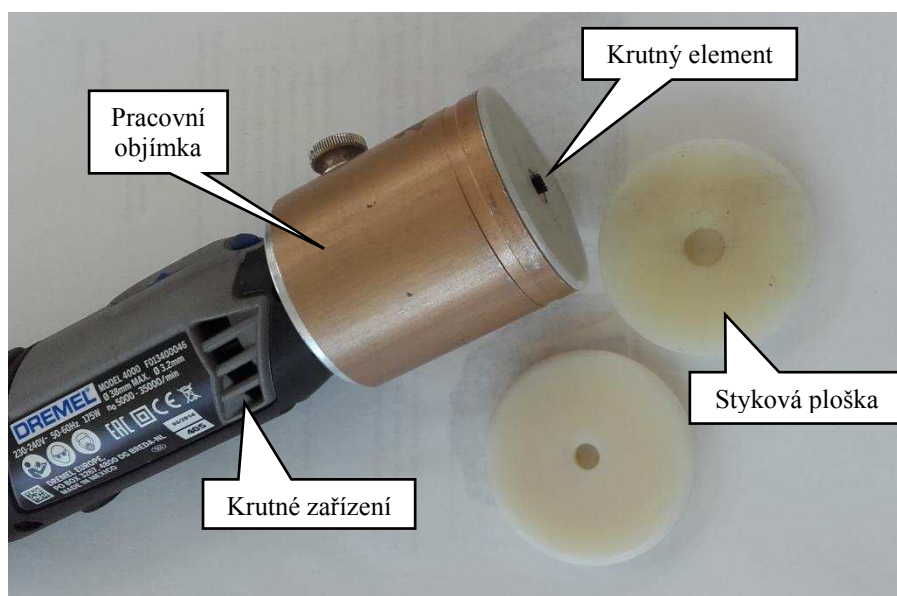
3.1 Přípravy a prvotní testování

Metodika produkce vzorků, musela být koncipována dle základních poznatků (**viz 2.4 Technologie ROTIS**). Nicméně na rozdíl od klasické technologie ROTIS, kde je předkládané rouno pouze kolmo kladené, je v této práci rouno příčně kladené a navíc vpichované. Motivem, byla opět snaha o zajištění co nejpodobnějších podmínek pro všechny vytvořené vzorky. Jelikož bylo s rounem před výrobou konečných vzorků několikrát manipulováno, tak by mohla kolmě kladená vrstva být narušena a předkládaný materiál by nemusel být pro všechny testy totožný. Z tohoto důvodu bylo ujednáno s vedoucím práce, že předkládaný materiál bude textilie plošná a navíc zpevněna technologií vpichování.

Následně tedy budou rozebrány jednotlivé parametry, se kterými bylo nutné se vypořádat, jelikož nebylo k dispozici zpevňovací zařízení ROTIS.

3.1.1 Krutné zařízení

Nejprve tedy muselo být vyrobeno krutné zařízení, které by zajišťovalo v případě potřeby změnu otáček a změnu vysunutí elementu. Toto zařízení bylo sestaveno z přímé brusky, na kterou byl připevněn válcový nástavec (pracovní objímka) o průměru 6 cm. Nástavec měl vyměnitelné stykové plošky pro různé krutné elementy a bylo možné měnit jeho vysunutí pomocí šroubu. Rovněž měl přístroj nastavitelné otáčky.



Obrázek č. 18 – Obrázek krutného zařízení a stykových plošek

3.1.2 Vybrané materiály

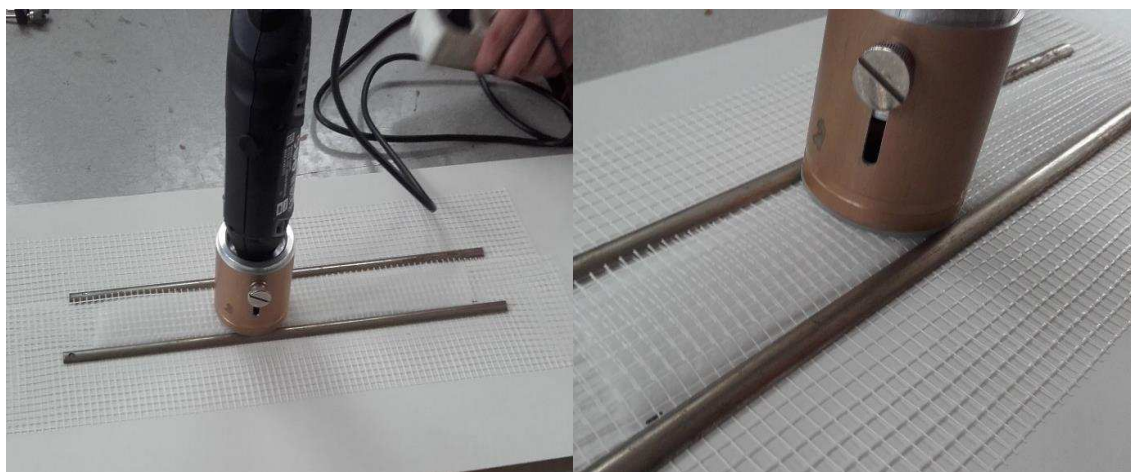
Z důvodů, které byly objasněny v části (**viz 2.2. Použité materiály**) byly vybrány polypropylen a polyester (polyetylentereftalát), jakožto materiály pro rouno. Parametry vláken byly:

- PP vlákna
 - Jemnost = 9 dtex
 - Délka vláken = 60 mm
- PET vlákna
 - Jemnost = 3,3 dtex
 - Délka vláken = 60 mm

Mřížka byla ze skelného materiálu. Tento typ byl vybrán z důvodu tvarové stability mřížky a její stejnoměrnosti co se týče velikosti čtverců. Čtverce měly velikost 4x4 mm. Tento druh mřížky měl rovněž zajišťovat, že při testování pevnosti papříze bude mřížka pevnější, než měřený pojící útvar. Zároveň této mřížky bylo k dispozici dostatečné množství pro prvotní série zkoušek, před udáním pevných parametrů výroby vzorků.

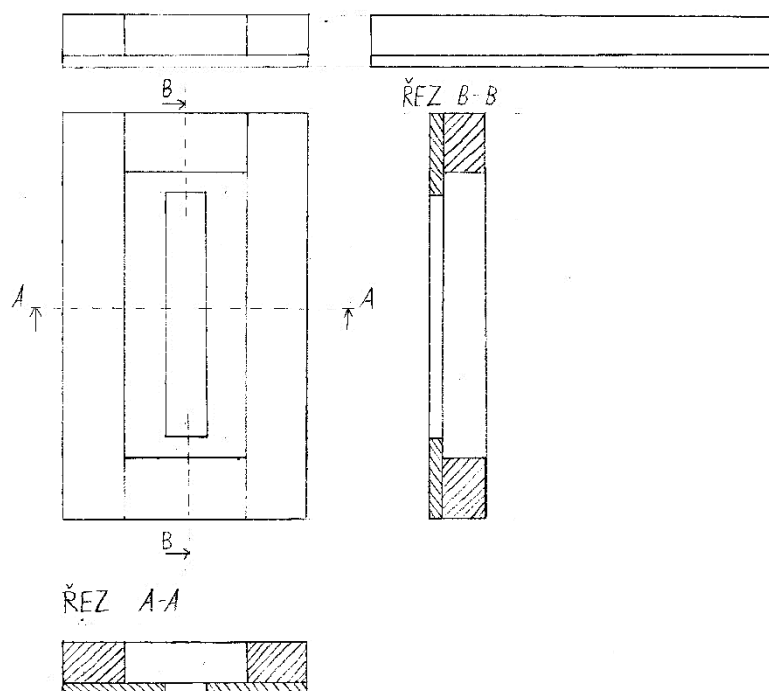
3.1.3 Dráha a přítlak

V tomto parametru bylo potřeba vyřešit vedení krutného zařízení. První pokus byl realizován pomocí dvou ocelových lišt (**viz obrázek č. 19**), které přitlačovaly mřížku k materiálu směrem ke stolu a v prostoru mezi nimi, bylo použito krutné zařízení. Tento způsob sice zajišťoval rovnoměrný přítlak, ale krutné zařízení po lištách sklouzávalo a vytvořená papříze neměla rovnou linii.



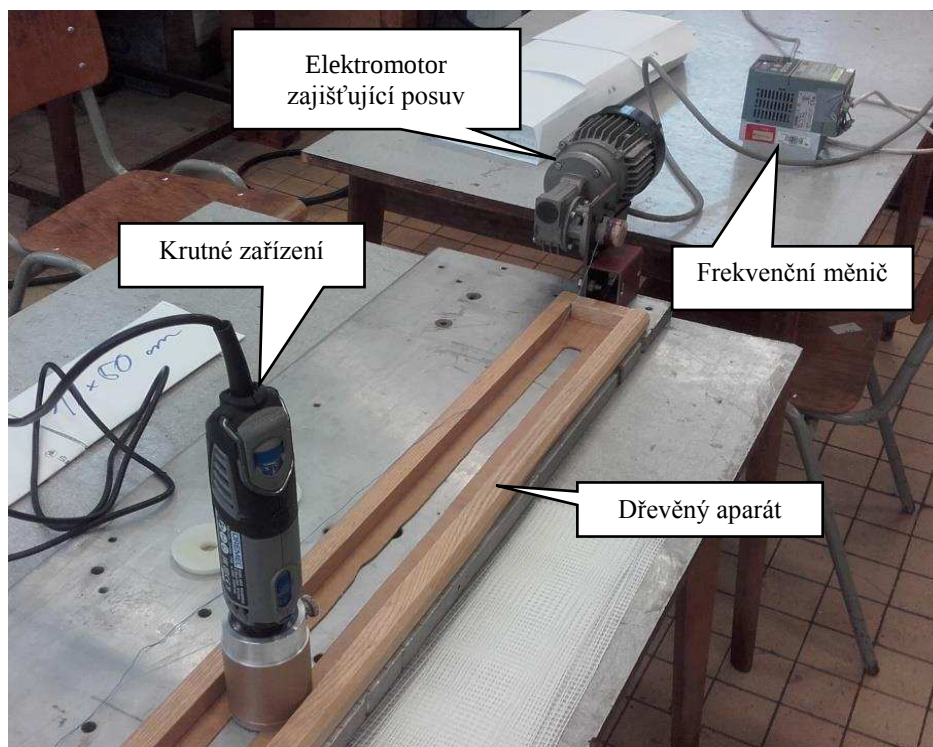
Obrázek č. 19 – Vedení na ocelových lištách

Kvůli tomu byl vyroben aparát dle nákresu (**viz obrázek č. 20**). Ten byl vyroben z dřevovláknité desky (spodní plocha) a z dubového masivního dřeva (rám). Rám byl koncipován tak, aby mohla být pracovní objímka krutného zařízení pohodlně vedena dráhou a nikam neuhýbala. Spodní plocha měla vyfrézovaný otvor pro krutný element. Zároveň bylo tření mezi stykovou ploškou pracovní objímky se spodní plochou aparátu dostatečně malé, že nebylo třeba nijak povrchy upravovat.



Obrázek č. 20 – Nákres vodícího aparátu

Způsob posunu krutného zařízení, tak aby bylo kontrolovatelné a měřitelné, bylo zajištěno elektromotorem s navíjecím válcem. Na navíjecí válec byla připevněna příze, která na druhém konci byla přichycena za spodek pracovní objímky. Po spuštění elektromotoru se příze začala navíjet a celé krutné zařízení bylo sunuto po dráze. Možnost změny nastavení rychlosti posunu zajišťoval frekvenční měnič, který byl připojen k elektromotoru. Na navíjecím válci pak byla snadno měřitelná rychlost navíjení. Kompletní sestavu pak zobrazuje následující obrázek.



Obrázek č. 21 – Sestava pro výrobu vzorků

3.1.4 Krutné elementy

Krutných elementů bylo pro prvotní testování vybráno hned několik. Byly také snadno dostupné, jelikož jsou prodávány jako klasické příslušenství pro přímé brusky. Byly tedy vybrány tyto typy (**viz 7. Přílohy, A. Obrázky krutných elementů a jejich parametry**):

- Dutý štětec s polypropylenovými vlákny
- Plný štětec s polypropylenovými vlákny
- Dutý štětec s ocelovými drátky
- Plný štětec s ocelovými drátky
- Brusný kámen s půlkulatou hlavicí a hrubým povrchem
- Brusný kámen s půlkulatou hlavicí a jemným povrchem
- Plný štětec s prasečími chlupy

Následovaly série testů s náhodným nastavením, aby bylo zjištěno chování jednotlivých krutných elementů. U štětců s polypropylenovými vlákny se vyskytl problém, že při malé rychlosti posunu krutného zařízení se vlákna začala natavovat. Tím došlo ke spečení vláken k sobě a nástroj byl tedy zničen. Nicméně než se tak stalo, tak vytvořená papříze byla na pohled stejnoměrná, nepřerušená a dostatečně pevná, aby udržela bezpečně

mřížku na textilií a to v případě obou polypropylenových typů. Po obstarání nových kusů polypropylenových štětců se pokračovalo v testování. Byly sníženy otáčky a zvýšena rychlost posunu krutného zařízení, což mělo snížit riziko tavení štětců. U dutého štětce se již problém neobjevil, avšak u plného štětce se místy objevili na mřížce stopy natavenin. Plný štětec se navíc zanášel vlákny z netkané textilie a tak byl nakonec vyřazen.

Následně byly ihned vyřazeny oba štětce s ocelovými drátky, jelikož se při zakrucování vláken nevratně deformovaly (ohýbaly) a velmi rychle byly zaneseny vlákny. Tento problém nastával při všech možných nastaveních. Díky tomu by pro dlouhodobou práci nebyly vhodné.

Brusný kámen s půlkulatou hlavicí a jemným povrchem byl rovněž vyřazen. Zde byl problém, že vytvořená papříze byla téměř nezaznamenanatelná a neudržela mřížku u textilie. Navíc se vršek kamene znatelně zbrušoval o povrch mřížky a po dlouhodobější práci by neměl původní tvar. To by nebylo žádoucí.

Brusný kámen s půlkulatou hlavicí a hrubým povrchem, zřejmě díky své hrubosti lépe zachytával vlákna a tvořil na pohled opravdu tenké, ale přerušované papříze, nicméně mřížka při běžné manipulaci držela u textilie. Zároveň nedocházelo, tak k výraznému opotřebování nástroje jako u kamene s jemným povrchem.

Štětec s vlákny z prasečí srsti nebyl součástí sady pro přímou brusku. Aby bylo zastoupení krutného elementu i z řady přírodních vláken, tak byl vyroben. Prasečí srst byla získána z malířských štětců a poté byla vlákna zasazena do nástavce. Tento štětec měl rovněž problém se zanášením vlákny z netkané textilie, avšak snadno se dal vyčistit. Tvořil pevnou a výraznou papřízi.

3.2 Konečná konfigurace

3.2.1 Příprava vlákenné vrstvy

Vlákenná předloha pro vzorky začínala navážkou 320g vláken, jenž byly následně přivedeny do válcového mykacího stroje. Pavučina vláken byla poté odváděna přímo do příčného kladeče, který pavučinu navrstvil do podoby rouna. Vlákenné rouno dále pokračovalo do vpichovacího stroje, který měl nastavené tyto parametry:

Tabulka č. 1 Nastavení vpichovacího stroje

Hloubka vpichu	0,7 cm
Počet jehel	2000 1/m
Frekvence vpichování	200 1/min
Odváděcí rychlost materiálu	0,4 m/min
Označení použitých jehel	14x22x54x3

Tím vznikla netkaná textilie, která se poté obrátila a vložila se znovu do vpichovacího stroje při stejném nastavení. Stejný postup byl dodržen pro polypropylenová vlákna, tak i pro polyesterová. Parametry výsledné netkané textilie ukazuje následující tabulka:

Tabulka č. 2 Parametry NT

Netkaná textilie z polyesteru		Netkaná textilie z polypropylenu	
Počet vpichů	2 000 000 m ⁻²	Počet vpichů	2 000 000 m ⁻²
Plošná hmotnost	107,5 g/m ²	Plošná hmotnost	103,6 g/m ²

Z každé textilie bylo nakonec nastříháno 18 kusů textilií o rozměrech 5x50 cm.

3.2.2 Nastavení proměnných

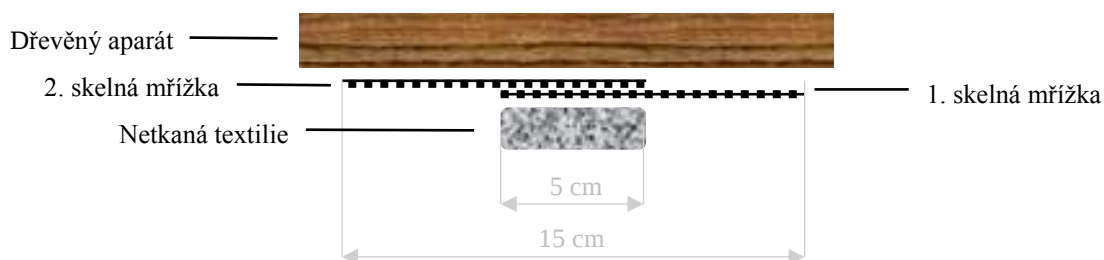
Vhodné výrobní parametry pro konečné vzorky byly vybrány na základě prvotních testů. Zvolené parametry k otestování nabývaly těchto hodnot:

- otáčky krutného zařízení: **5 000 1/min**,
- úhel náběhu rotujícího elementu: **90°**,
- druh materiál (jemnost): **polypropylen (9 dtex), polyester (3,3 dtex)**,
- vysunutí krutného elementu: **1; 2 mm**,
- druh krutného elementu: **dutý štětec s polypropylenovými vlákny; brusný kámen s půlkulatou hlavicí a hrubým povrchem; plný štětec s prasečími chlupy**,
- rychlost posunu: **1; 2; 3 m/min**.

Tyto parametry byly spolu postupně kombinovány systémem „každý s každým“.

3.2.3 Postup výroby vzorků

Postup přípravy a metodika samotné výroby byla pro všechny testované vzorky stejná. Pro každý kus testované vlákenné vrstvy o rozměrech byly připraveny 2 kusy skelné mřížky o rozměrech 10x50 cm. Na pracovní stůl byla položena netkaná textilie a na ní byly umístěny oba kusy připravené mřížky spolu s dřevěným aparátem, způsobem, který ukazuje následující obrázek.



Obrázek č. 21 – Umístění jednotlivých částí při výrobě vzorků

Posléze byl upevněn určený krutný element do krutného zařízení s předepsaným vysunutím. Následně byla provedena kontrola nastavení otáček krutného zařízení a nastavena potřebná rychlost posunu. Po přiložení krutného zařízení do drážky v dřevěném aparátu, bylo spuštěno kruté zařízení společně s elektromotorem určeného pro posun. Po překonání celé dráhy, byly zařízení vypnuty. Následovalo vyjmutí hotového vzorku, příprava nového vzorku podle **obrázku č. 21** a nakonec úprava jednoho z parametrů (rychlost posuvu, vysunutí elementu, změna materiálu, nebo změna krutného elementu). Celá procedura byla opakována, dokud nebyly vyčerpány všechny kombinace mezi parametry.

4 Vyhodnocení

Pro zjednodušení při vyhodnocování byly vzorky označeny speciálním třídícím znakem, podle toho při jakých parametrech byly vyrobeny (**viz Tabulka č. 3**). V následujícím textu bude užíváno právě tohoto označení.

Tabulka č. 3 Označení vzorků

Označení	Materiál	Druh krutného elementu	Vysunutí elementu	Rychlost posunu
PES-D-1-1	PES	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	1 m/min
PES-D-1-2	PES	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	2 m/min
PES-D-1-3	PES	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	3 m/min
PES-D-2-1	PES	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	1 m/min
PES-D-2-2	PES	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	2 m/min
PES-D-2-3	PES	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	3 m/min
PES-P-1-1	PES	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	1 m/min
PES-P-1-2	PES	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	2 m/min
PES-P-1-3	PES	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	3 m/min
PES-P-2-1	PES	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	1 m/min
PES-P-2-2	PES	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	2 m/min
PES-P-2-3	PES	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	3 m/min
PES-K-1-1	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	1 m/min
PES-K-1-2	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	2 m/min
PES-K-1-3	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	3 m/min
PES-K-2-1	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	1 m/min
PES-K-2-2	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	2 m/min
PES-K-2-3	PES	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	3 m/min
PP-D-1-1	PP	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	1 m/min
PP-D-1-2	PP	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	2 m/min
PP-D-1-3	PP	dutý štětec s PP vlákny	1 mm	3 m/min
PP-D-2-1	PP	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	1 m/min
PP-D-2-2	PP	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	2 m/min
PP-D-2-3	PP	dutý štětec s PP vlákny	2 mm	3 m/min
PP-P-1-1	PP	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	1 m/min
PP-P-1-2	PP	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	2 m/min
PP-P-1-3	PP	plný štětec s prasečími chlupy	1 mm	3 m/min
PP-P-2-1	PP	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	1 m/min
PP-P-2-2	PP	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	2 m/min
PP-P-2-3	PP	plný štětec s prasečími chlupy	2 mm	3 m/min
PP-K-1-1	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	1 m/min
PP-K-1-2	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	2 m/min
PP-K-1-3	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	1 mm	3 m/min
PP-K-2-1	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	1 m/min
PP-K-2-2	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	2 m/min
PP-K-2-3	PP	hrubý brusný kámen s půlkulatou hlavicí	2 mm	3 m/min

Vzorky vyrobené při těchto parametrech byly vyfotografovány a vyhodnoceny pomocí softwaru, který byl schopen změřit požadované aspekty. Testována byla také pevnost vytvořených spojů.

4.1 Pevnosti vytvořených spojů

K měření síly potřebné k přetržení kvazi-příze bylo užito zařízení LabTest 4.050 (od obchodní korporace LaborTech s.r.o.) s připravenými svěrákovými čelistmi TH240k-BG50. Pevnost kvazi-příze tedy byla testována tahovou zkouškou.



Obrázek č. 22 – Svěrákové čelisti TH240k-BG50 [16].

Jelikož se jednalo o neobvyklé vzorky, pro jejichž testování není uvedena norma, tak parametry testování byly zvoleny dle vlastního úsudku. Připravený vzorek byl nastříhán na několik menších kusů (5x10 cm), které byly postupně upínány do čelistí. Testování probíhalo při těchto parametrech:

- upínací délka 70 mm,
- rychlost posunu čelistí 50 mm/min.

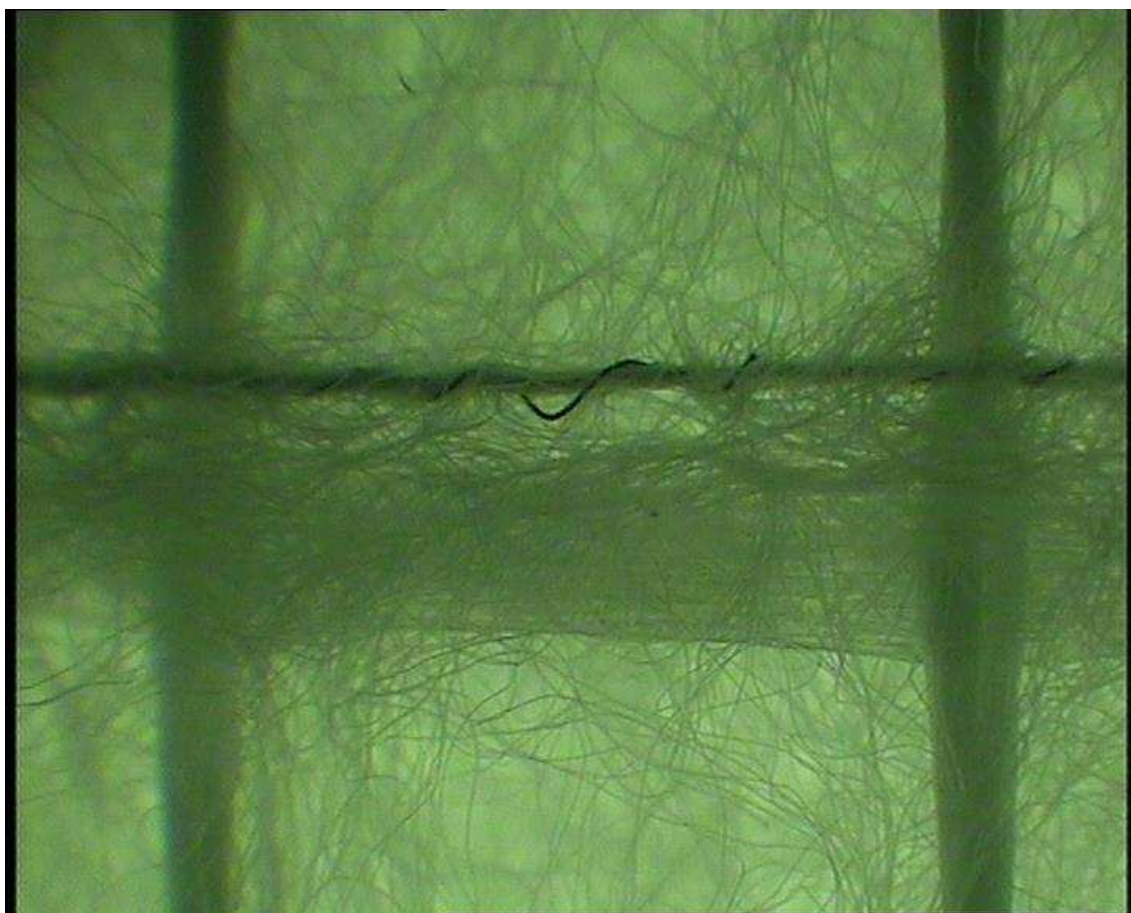
Ukončení testu nastalo při dosažení vzdálenosti mezi čelistmi 100 mm.

Vyhodnocení získaných dat zahrnovalo:

- aritmetický průměr maximálních pevností spojů,
- průměrný Youngův modul pružnosti,
- směrodatnou odchylku (z max. pevností),
- variační koeficient (z max. pevností),
- 95% interval spolehlivosti (z max. pevností),
- zpracování vzorových pracovních křivek.

4.2 Obrazová analýza

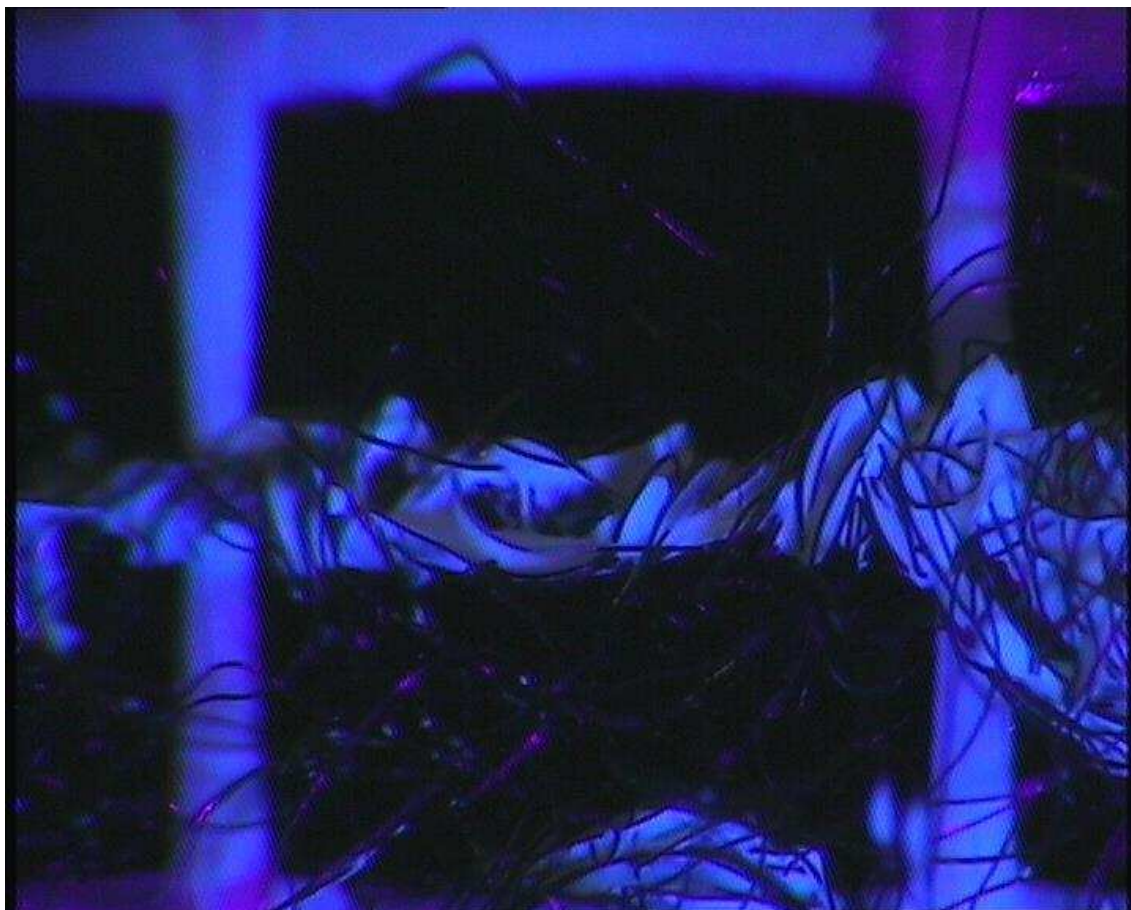
Pro obrazovou analýzu, byly vytvořeny nové vzorky při stanovených parametrech, ale s rozdílem, že byla použita pouze jedna skelná mřížka a nikoliv dvě. Důvodem bylo usnadnění práce při měření. Obrazová analýza byla realizována pomocí optického makroskopu a softwaru NIS-Elements Advanced Research 4.20.02. Fotografování snímků na makroskopu probíhalo při 17 a 35 násobném zvětšení (**viz obrázky č. 23 a 24**) a některé další snímky jsou k vidění v přílohách (**viz 7. Přílohy, B. Snímky z optického makroskopu**). Na více jak 150 snímcích byly měřeny hlavně průměry kvazi-příze, případně sledována její chybovost, či anomálie.



Obrázek č. 23 - PES-P-1-3 při 35 násobném zvětšení (s cizorodým vláknem)

Při zobrazování nastal problém u vzorků z PP vláken, jelikož měla černou barvu a vytvořená kvazi-příze nebyla pod mikroskopem rozeznatelná. První pokusy o vyřešení problému zahrnovali různé nasvětlování, ale bez úspěchu. Následoval pokus využití opticky zjasňujících prostředků. Použitými přípravky byly RYLUX PRS a RYLUX VPA-T, které byly smíchány s vodou. Byly tedy namíchány roztoky o koncentracích 10g/l, 30g/l, 50g/l. Bohužel díky hydrofobidicitě se přípravky na vláknech neudržely a stékaly

z nich. Posledním a úspěšným pokusem bylo použití akrylové UV zářící barvy, zakoupené od obchodní korporace Conrad Electronic Česká republika, s.r.o.. Tato barva měla vhodnou viskozitu k tomu, aby se dala pohodlně nanášet malířským štětcem přímo na kvazi-přízi a nestékala po vláknech. Po zasušení barvy byla sice struktura samotného pojícího útvaru nezřetelná, ale bylo již možné změřit průměry (**viz obrázek č. 24**).



Obrázek č. 24 – PP-P-2-3 při 35 násobném zvětšení (vzorek s UV barvou)

Vyhodnocení získaných dat zahrnovalo:

- Aritmetický průměr průměru spoje,
- směrodatnou odchylku,
- variační koeficient,
- 95% interval spolehlivosti,
- vyhodnocení chybovosti papříze.

4.3 Výsledky

Tabulka č. 4 – Měření pevností

Vzorek	Počet měření	Průměr maximální pevnosti [N]	Směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [N]	Průměrný Youngův modul [N/mm]
PES-D-1-1	6	19,244	5,765	29,955	(13,485 ; 25,002)	3,483
PES-D-1-2	7	18,216	3,836	21,060	(14,787 ; 21,645)	3,245
PES-D-1-3	6	17,929	1,790	9,984	(16,141 ; 19,717)	3,004
PES-D-2-1	8	45,373	3,856	8,498	(42,223 ; 48,516)	6,576
PES-D-2-2	7	35,281	3,774	10,698	(31,907 ; 38,655)	5,956
PES-D-2-3	8	25,452	3,005	11,807	(23,002 ; 27,902)	4,992
PES-P-1-1	6	19,190	2,497	13,010	(16,696 ; 21,684)	2,854
PES-P-1-2	7	6,823	1,718	25,171	(5,288 ; 8,359)	0,597
PES-P-1-3	6	6,548	1,230	18,788	(5,319 ; 7,777)	0,468
PES-P-2-1	8	34,601	4,421	12,776	(30,997 ; 38,205)	5,320
PES-P-2-2	8	15,902	2,670	16,792	(13,725 ; 18,079)	2,472
PES-P-2-3	8	6,039	1,208	20,009	(5,054 ; 7,025)	0,975
PES-K-2-1	7	1,596	0,748	46,850	(0,928 ; 2,264)	0,246
PES-K-2-2	6	0,492	0,172	34,939	(0,321 ; 0,664)	0,007
PES-K-2-3	6	0,303	0,228	75,093	(0,076 ; 0,530)	0,005
PP-D-1-1	6	7,143	4,754	66,556	(2,394 ; 11,893)	1,874
PP-D-1-2	7	6,582	3,342	50,775	(3,595 ; 9,570)	1,119
PP-D-1-3	6	2,094	1,939	92,608	(0,157 ; 4,032)	0,760
PP-D-2-1	7	22,599	8,636	14,879	(14,879 ; 30,319)	4,050
PP-D-2-2	8	8,897	2,695	30,286	(6,774 ; 11,019)	0,905
PP-D-2-3	8	8,061	2,588	32,112	(6,237 ; 9,884)	0,871
PP-P-1-1	7	3,331	1,568	47,089	(1,929 ; 4,732)	0,579
PP-P-1-2	6	1,375	0,692	50,380	(0,683 ; 2,066)	0,297
PP-P-1-3	6	0,568	0,173	30,427	(0,395 ; 0,741)	0,071
PP-P-2-1	8	11,705	3,930	33,573	(8,501 ; 14,909)	3,697
PP-P-2-2	8	3,738	1,180	31,573	(2,776 ; 4,700)	0,608
PP-P-2-3	8	2,301	0,870	37,809	(1,592 ; 3,011)	0,460

U vzorků s označením: PES-K-1-1, PES-K-1-2, PES-K-1-3, PP-K-1-1, PP-K-1-2, PP-K-1-3, PP-K-2-1, PP-K-2-2, PP-K-2-3 nebyl vytvořen dostatečně pevný pojící útvar, aby skelnou mřížku na NT udržel. Vzorky se rozpadly vlastní vahou a vzniklé kvazi-příže nebyly okem zaznamenatečné (pokud nějaké byly vytvořeny).

U ostatních vzorků, byly objeveny trendy v závislosti na daném nastavení. Z výsledků je zřetelné, že se vzrůstající rychlostí posunu klesá pevnost kvazi-příže. Pokles je také znatelný na směrodatné odchylce, variačním koeficientu a Youngovu modulu pružnosti.

S vysunutím krutného elementu roste pevnost kvazi-příže a Youngův modul pružnosti.

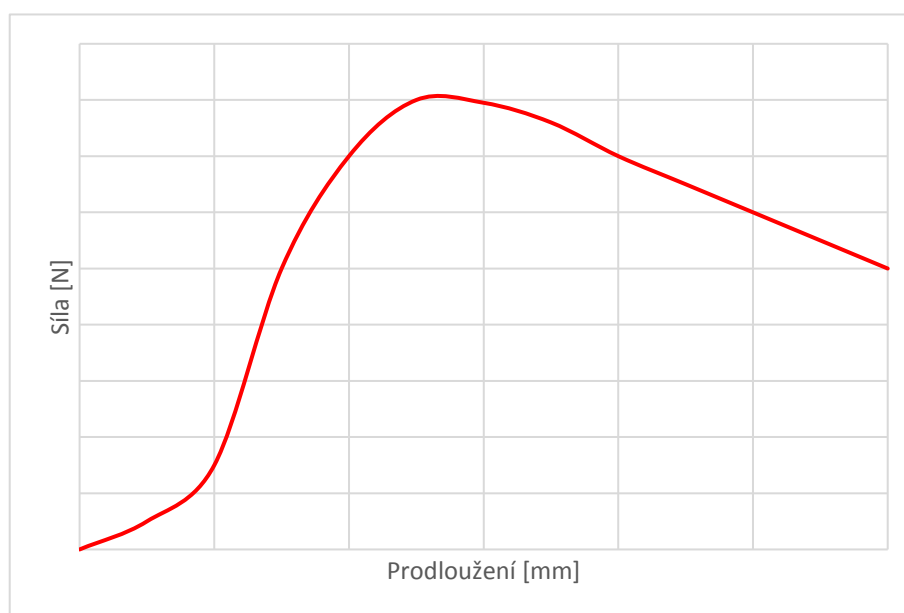
U vzorků s jemnějšími PES vlákny se změna tohoto parametru projevovala na směrodatné

odchylce a variačním koeficientu většinou poklesem, avšak u vzorků z hrubších PP vláken naopak zvýšením.

Jemnější PES vlákna vytvářely pevnější spoje, než PP vlákna.

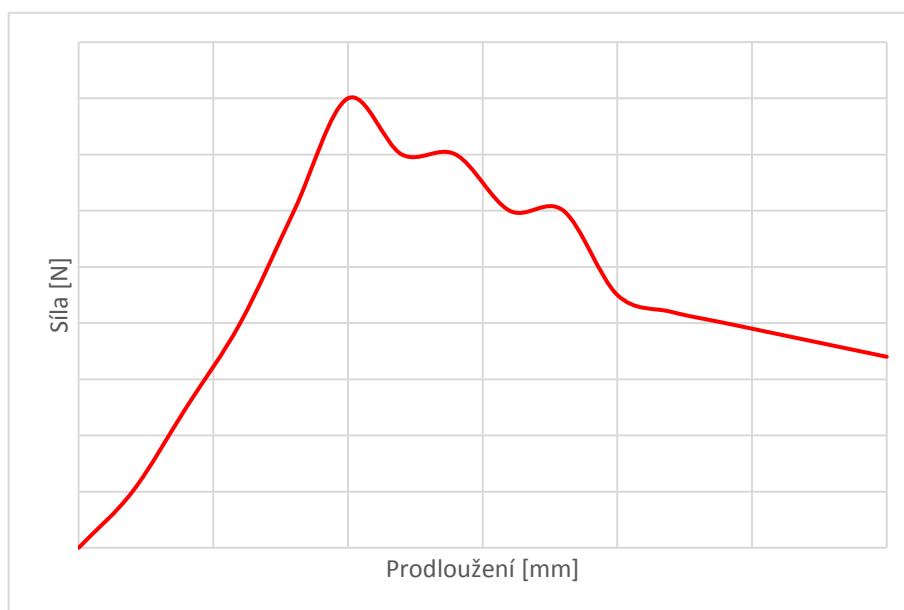
Z krutných elementů vytvářel nejpevnější spoje dutý štětec s polypropylenovými vlákny, druhé nejpevnější spoje vytvářel plný štětec s prasečími chlupy a nejméně pevné pak hrubý kámen s půlkulatou hlavicí.

Při testování, byly také objeveny 4 opakující se typy pracovních křivek, které zobrazují vzorové **grafy č. 1-4**.



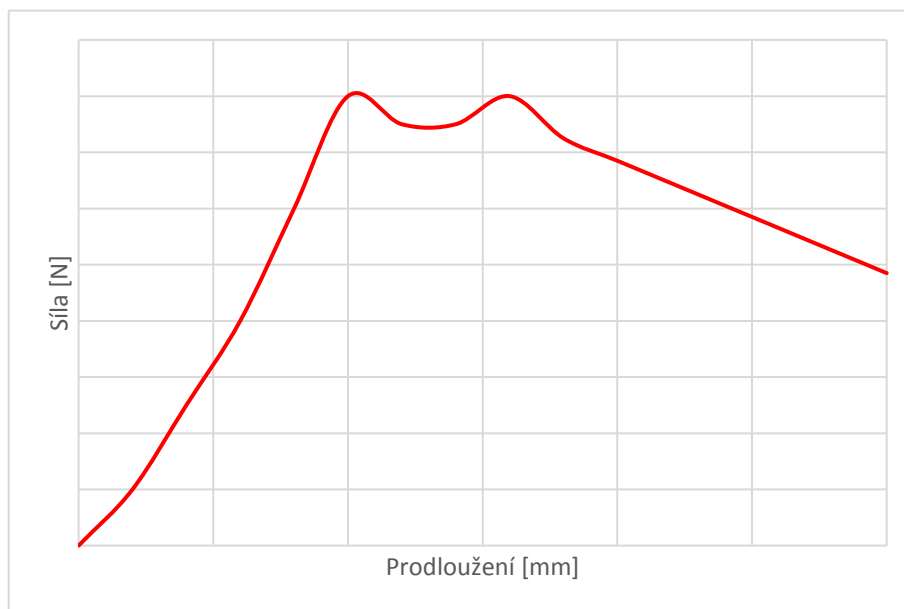
Graf č. 1 – 1. typ vzorové pracovní křivky

1. typ pracovní křivky zobrazuje nízký počáteční modul pružnosti, který byl zapříčiněn prokluzem kvazi-příze po mřížce, dokud se nezasekla o příčný skelný filament. Od této chvíle dochází k postupnému nárůstu síly do doby, než je dosaženo maxima. Za maximem pevnosti není viditelný ostrý přetrh, ale postupné přetrhávání jednotlivých vláken, což má za následek plynulý pokles pevnosti. Tento typ pracovní křivky byl nejčastější.



Graf č. 2 – 2. typ vzorové pracovní křivky

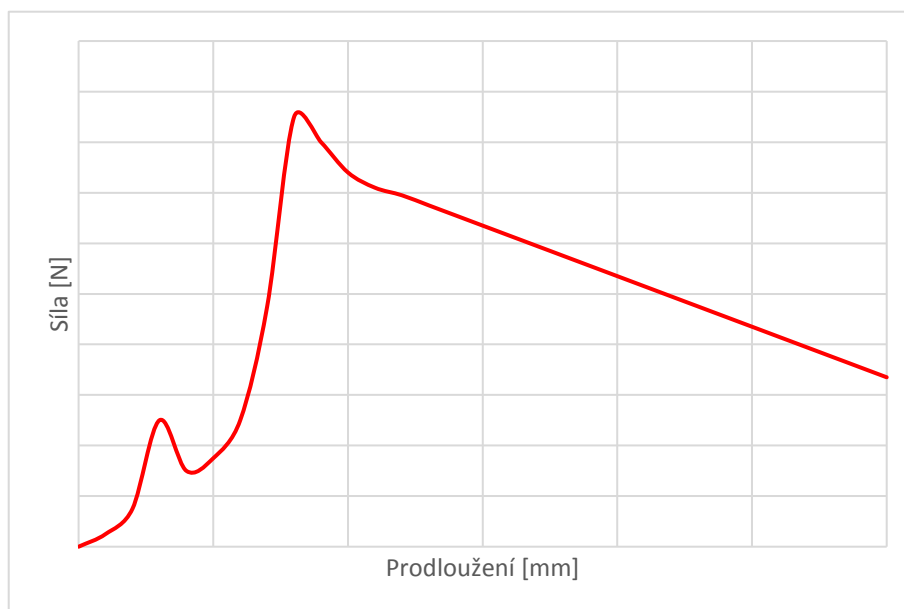
2. typ pracovní křivky ukazuje vyšší počáteční modul pružnosti, než v předchozím příkladu. To bylo zapříčiněno, tím že kvazi-příze již byla vytvořena přímo na skelném filamentu a tudíž nedocházelo k počátečnímu prokluzu. Po dosažení maxima pevnosti nastal ostrý přetřh následován několika dalšími mírnými nárůsty síly a dalšími menšími ostrými přetřhy. Poté následoval už jen plynulý pokles pevnosti. Tento druh pracovní křivky byl druhým nejčastějším.



Graf č. 3 – 3. typ vzorové pracovní křivky

3. typ pracovní křivky má také vyšší počáteční modul pružnosti, protože kvazi-příze vznikaly na podobných pozicích, jako u 2. typu. Po dosažení 1. vrcholu, ale nedošlo

k ostrému přetrhu, ale k zprůtrhání jednotlivých vláken s největším pnutím způsobené vyšším zakroucením a docházelo tedy k mírnému poklesu síly. Nicméně zde byl stále dostatek méně napjatých vláken, které následně začaly přenášet sílu. Po dosažení 2. vrcholu už docházelo pouze k plynulému poklesu. Maximum přenesené síly se nacházelo buď v 1. nebo 2. vrcholu, ale hodnoty byly velmi blízké.



Graf č. 4 – 4. typ vzorové pracovní křivky

4. typ pracovní křivky ukazuje prudší nárůst síly a rychlý ostrý přetrh. To byl důsledek výrazně napjatých vláken táhnoucích se od kvazi-příze k příčnému filamentu skelné mřížky. Následoval mírný prokluz po mřížce a strmý nárůst síly až do maxima. Po dosažení maxima již křivka vykazuje mírný a plynulý pokles síly. 3. a 4. typ pracovních křivek nebyl příliš častý, nicméně párkrát se tyto průběhy objevily.

Tabulka č. 5 – Měření průměrů

Vzorek	Počet měření	Průměr průměrů kvazi-příze [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [mm]
PES-D-1-1	111	0,545	0,192	35,160	(0,509 ; 0,581)
PES-D-1-2	76	0,324	0,111	34,235	(0,299 ; 0,349)
PES-D-1-3	114	0,298	0,075	25,054	(0,284 ; 0,312)
PES-D-2-1	115	0,557	0,098	17,538	(0,539 ; 0,575)
PES-D-2-2	95	0,409	0,132	32,246	(0,382 ; 0,435)
PES-D-2-3	144	0,218	0,033	15,235	(0,213 ; 0,224)
PES-P-1-1	104	0,480	0,189	39,462	(0,443 ; 0,517)
PES-P-1-2	44	0,229	0,102	44,499	(0,198 ; 0,260)
PES-P-1-3	128	0,181	0,063	34,610	(0,170 ; 0,192)
PES-P-2-1	72	0,367	0,113	30,854	(0,341 ; 0,394)
PES-P-2-2	76	0,185	0,043	23,420	(0,175 ; 0,195)
PES-P-2-3	96	0,154	0,031	19,954	(0,148 ; 0,160)
PES-K-1-1	168	0,073	0,032	44,477	(0,068 ; 0,078)
PES-K-1-2	92	0,066	0,020	31,103	(0,061 ; 0,070)
PES-K-2-1	158	0,068	0,036	53,729	(0,062 ; 0,073)
PES-K-2-2	194	0,033	0,080	242,545	(0,022 ; 0,045)
PES-K-2-3	157	0,014	0,054	392,611	(0,005 ; 0,022)
PP-D-1-1	85	1,128	0,293	25,958	(1,065 ; 1,191)
PP-D-1-2	96	0,847	0,289	34,158	(0,789 ; 0,906)
PP-D-1-3	90	0,773	0,235	30,362	(0,724 ; 0,822)
PP-D-2-1	80	1,601	0,303	18,909	(1,534 ; 1,669)
PP-D-2-2	88	1,386	0,280	20,239	(1,326 ; 1,445)
PP-D-2-3	110	1,177	0,260	22,090	(1,127 ; 1,226)
PP-P-1-1	79	0,748	0,273	36,513	(0,686 ; 0,809)
PP-P-1-2	102	0,571	0,176	30,820	(0,537 ; 0,606)
PP-P-1-3	126	0,445	0,241	54,219	(0,402 ; 0,487)
PP-P-2-1	110	0,984	0,372	37,852	(0,914 ; 1,054)
PP-P-2-2	94	0,899	0,212	23,522	(0,856 ; 0,943)
PP-P-2-3	89	0,699	0,231	33,008	(0,651 ; 0,748)

U vzorku PES-K-1-3 nebyl nalezen pojící útvar. Vzorky PP-K-1-1, PP-K-1-2, PP-K-1-3, PP-K-2-1, PP-K-2-2, PP-K-2-3 kvůli černé barvě vláken nemohly být otestovány na měření průměrů. Akrylovou UV zářící barvu, která byla používána na PP vlákna, bylo možné použít pouze v případech, kdy byla kvazi-příze okem viditelná. V případě použitého hrubého kamene jakožto krutného elementu, vytvořené pojící útvary (pokud nějaké byly vytvořeny) nebyly viditelné a nemohla být tedy nanesena výše zmíněná barva.

U ostatních vzorků, byly objeveny podobné trendy jako u pevností. Z výsledné **tabulky č. 5** je vidět, že se vzrůstající rychlostí posunu klesá průměr kvazi-příze. Stejný pokles je znatelný i na směrodatné odchylce. S vysunutím krutného elementu roste průměr kvazi-

příze. Hrubší PP vlákna vytvářela tlustší kvazi-příze s větší směrodatnou odchylkou, ačkoliv u jemnějších PES vláken byl tento případ naprosto opačný.

Z krutných elementů vytvářel kvazi-příze s největšími průměry dutý štětec s polypropylenovými vlákny, menší spoje vytvářel plný štětec s prasečími chlupy. U obou těchto typů, kvazi-příze vyčnívala z povrchu mřížky a způsobovala povrchovou nerovnost. Nejmenší průměry vytvářel hrubý kámen s půlkulatou hlavicí a kvazi-příze nevyčnívaly na povrch, avšak jím vytvořené pojící útvary byly velmi tenké a přerušované (defekt).

Avšak mějme na paměti, že výsledky měření průměrů u vzorků s PP vlákny mohly být ovlivněny nanesenou UV zářící barvou. Po nanesení zde působí kapilární síly, které, mohly způsobit, že barvivo ulpělo v prostorech mezi volnými vlákny a tak mohly být naměřeny průměry o trochu větší, než ve skutečnosti jsou. Nicméně tuto možnou odchylku považují za minimální a vzhledem k tomu, že nebyla jiná možnost jak tato vlákna spolehlivě zobrazit a změřit, tak toto riziko muselo být podstoupeno.

Jak bylo řečeno výše, tak pojící útvary vytvořené hrubým kamenem s půlkulatou hlavicí, byly většinou přerušované. Tato skutečnost byla vyhodnocena jako defekt. Dále tedy byly měřeny délky vytvořených pojících útvarů a jejich chybovost.

Tabulka č. 6 – Měření délek kvazi-přízí a jejich přerušení

Vzorek	Počet měření	Průměrné délky kvazi-příze [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [mm]	Přerušení (P) [%]
PES-K-1-1	8	6,210	3,243	52,222	(3,566 ; 8,854)	76 – 83
PES-K-1-2	7	4,480	1,748	39,018	(2,917 ; 6,042)	87 – 90
PES-K-2-2	8	6,391	2,366	37,011	(4,463 ; 8,320)	44 – 61
PES-K-2-3	9	5,725	3,168	55,333	(3,337 ; 8,114)	72 – 81

Z důvodů uvedených výše nebylo měření uskutečněno pro vzorky PES-K-1-3, PP-K-1-1, PP-K-1-2, PP-K-1-3, PP-K-2-1, PP-K-2-2, PP-K-2-3. Vzorek PES-K-2-1 jako jediný vytvořil nepřerušovanou kvazi-přízi.

Přerušení bylo vyhodnocováno v %. Tím bylo míněno kolik cca % délky na vzorku (50 cm) nezaujímal kvazi-příze. Kvůli tomu byly sestaveny následující vzorce pro výpočet procentuálního zastoupení kvazi-příze na vzorku a procentuální zastoupení prázdných míst.

$$KP = \frac{l_0 * l_x}{(l_x + l_y) * l_0} * 100 = \frac{l_x}{l_x + l_y} * 100$$

$$P = 100 - KP$$

Kde KP [%] = zastoupení kvazi-příze, l_0 [mm] = délka vzorku, l_x [mm] = průměrná délka kvazi-příze, l_y [mm] = průměrná vzdálenost mezi kvazi-přízemi, P [%] = zastoupení prázdných míst.

Z rovnice je znatelné, že délka vzorku nemá vliv na parametr „KP“ (či „P“). Vliv tedy má průměrná délka kvazi-příze a vzdálenosti mezi nimi. Zhruba naměřené vzdálenosti mezi kvazi-přízemi **viz tabulka č. 7.**

Tabulka č. 7 – Vzdálenosti mezi kvazi-přízemi

Vzorek	Vzdálenost [mm]
PES-K-1-1	20 – 30
PES-K-1-2	30 – 40
PES-K-2-2	5 – 10
PES-K-2-3	15 – 25

Z výsledných **tabulek č. 6 a 7** je viditelné, že zvyšující se rychlost posunu má za následek zvyšování vzdáleností mezi kvazi-přízemi a tím se tedy zvyšuje i procentuální zastoupení prázdných míst (přerušení) mezi nimi. Překvapivě vysunutí krutného elementu a zvýšená rychlost posunu nemá výrazný vliv na délku kvazi-přízi, ale ovlivňuje parametr přerušení.

5 Závěr

Tato práce byla zaměřena na zpevnění povrchu plošných netkaných textilií pomocí metody ROTIS. Dále byl prozkoumán vliv změny procesních parametrů na výsledný pojící útvar (kvazi-přízi).

Součástí práce je také specifikovaná metodika výroby vzorků, výsledky tahových zkoušek a obrazové analýzy. Také je přiložena série fotografií znázorňující kvazi-příze pod optickým makroskopem.

Podařilo se vytvořit kvazi-přízi všemi zkoušenými krutnými elementy. Bylo zjištěno, že se zvyšující se rychlostí posunu krutného zařízení klesá pevnost kvazi-příze, její průměr i Youngův modul pružnosti. Vyšší vysunutí krutného elementu má za následek nárůst pevnosti kvazi-příze, jejího průměru a Youngova modulu.

Obecně nejpevnější pojící útvary vytvářel dutý štětec s polypropylenovými vlákny. Nejvyšší průměrné pevnosti bylo dosaženo u vzorku PES-D-2-1 a to hodnotou 45,373 N. Nejméně pevné spoje vytvářel brusný kámen s půlkulatou hlavicí a hrubým povrchem.

Největší průměry kvazi-přízí byly naměřeny u vzorku PP-D-2-1 (průměrná hodnota 1,601 mm). Nejmenší průměry opět vykazoval brusný kámen a také jako jediný obsahoval defekty v podobě přerušení kvazi-přízí.

Další testování by mělo zahrnovat různé nastavení otáček krutného elementu, jiné úhly náběhu krutného elementu, použití jiných materiálů pro rouno s různými délkami vláken a jemnostmi vláken. Defekty vytvářené brusným kamenem by mohly být odstranitelné pomocí vyčesávacích prvků.

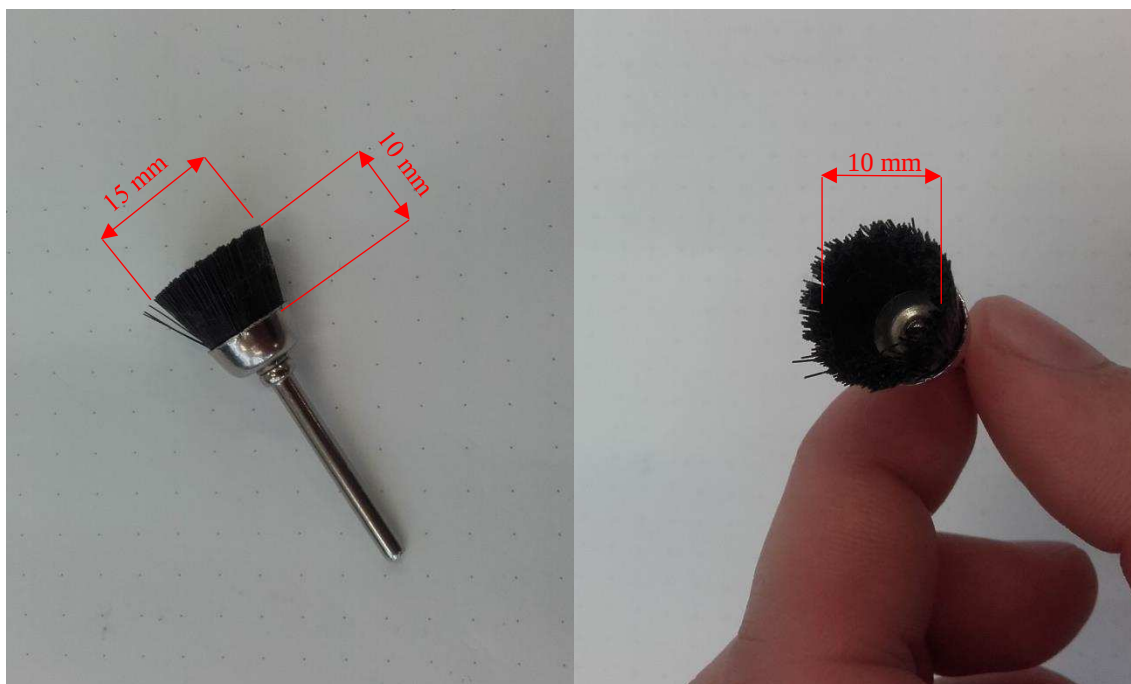
6 Použitá literatura

- [1]. DOSTALOVÁ, Mirka a Mária KŘIVÁNKOVÁ. *Základy textilní a oděvní výroby*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2001. ISBN 80-7083-504-4.
- [2]. PAJGRT, Oldřich a Bohumil REICHSTÄDTER. *Polyesterová vlákna, jejich vlastnosti a textilní zpracování*. Praha: SNTL, 1973.
- [3]. JIRSKÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie*, ©2003, ISBN 80-7083-746-2.
- [4]. ŠUTA, Miroslav. *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2008. ISBN 978-80-87308-00-4.
- [5]. TUNÁKOVÁ, Veronika, ed. *Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles: 9th Central european conference 2017 : September 14th 2017, Liberec, Czech Republic*. Liberec: Technical University of Liberec, Faculty of Textile Engineering, 2017. ISBN 978-80-7494-355-3.
- [6]. MRŠTINA, Václav a František FEJGL. *Textilní technologie vpichování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
- [7]. MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-708-3644-X.
- [8]. PAJGRT, Oldřich, Bohumil REICHSTÄDTER a František ŠEVČÍK. *Polypropylenová vlákna: jejich vlastnosti, textilní zpracování a využití*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [9]. WARNER, Steven B. *Fiber science*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1995. ISBN 0-02-424541-0.
- [10]. JIRSÁK, Oldřich a Larry C. WADSWORTH. *Nonwoven textiles*. [1st ed.]. Durham: Carolina Academic Press, 1999. ISBN 0-89089-978-8.
- [11]. GUPTA, Sadhir a Ankur GUPTA. *Complete technology of nonwovens: fabrics, carry bags, composites, geotextiles, medical textiles, fibres, felts, apparels, spulance and absorbent nonwoven*. Delhi: Engineers India Research Institute, 2013. ISBN 9789380772318.
- [12]. W. Albrecht, H. Fuchs, W. Kittelmann: *Nonwovens Fabrics*, Wiley-VCH, Weinheim 2003, ISBN: 3-527-30406-1

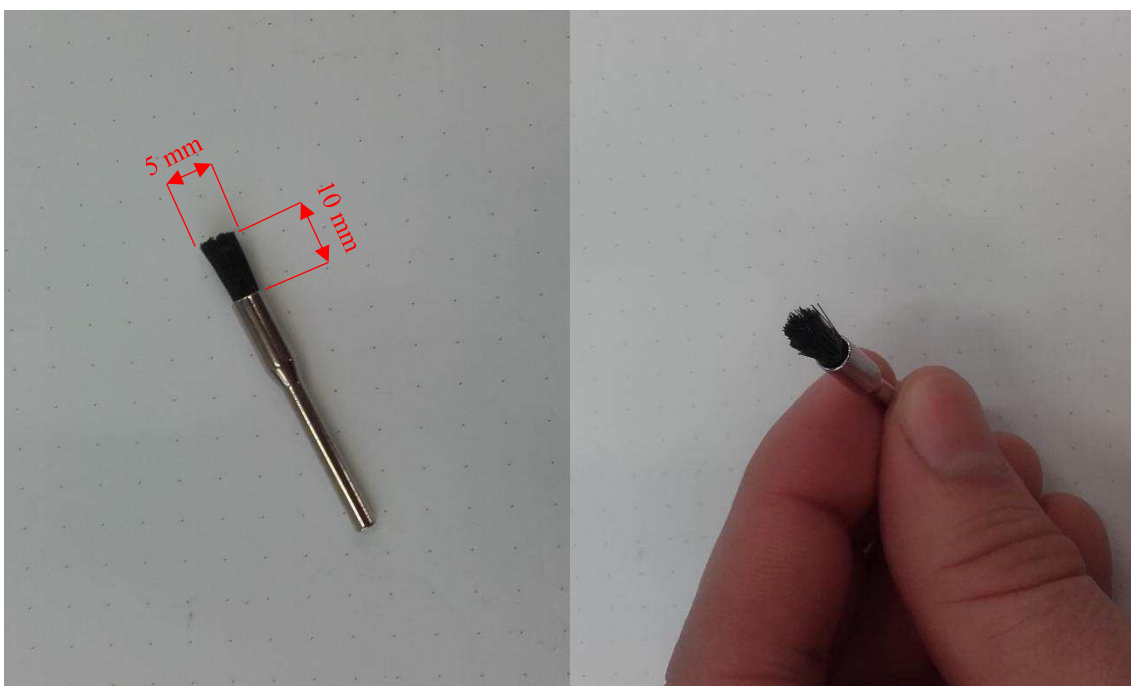
- [13]. POLÁŠEK, Radek. *Konstrukční návrh individuálního pohonu a uložení zařízení na tvorbu kvazi - příze: Constructional design of individual drive and bedding of the appliance for the formation of quasi-yarns* [CD-ROM]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014.
- [14]. Patentový spis: CZ281287 (EP 0648877): *Způsob zpevnění objemných vláknenných útvarů a zařízení k provádění způsobu.*
- [15]. HANUŠ, Jaroslav. *Příspěvek k mechanickému zpevňování 3D textilních vrstev*. In: *Struktura a strukturní mechanika textilií: (Sborník referátů)*. Liberec: Fakulta textilní, Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, 1994, s. 10.
- [16]. L06 Svěrákové čelisti. In: *LaborTech s.r.o.: Český výrobce zkušební techniky a automatizace*[online]. Opava: Labortech, 2013 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/uploaded/pdf/celisti/l06.pdf>

7 Přílohy

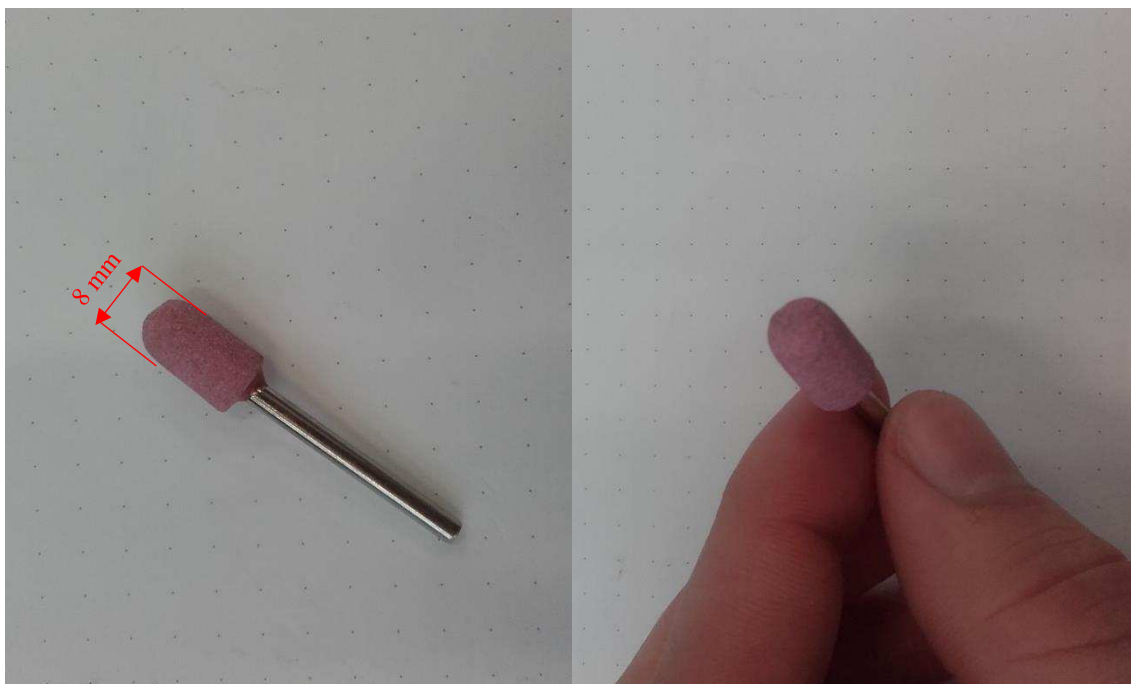
A. Obrázky krutných elementů a jejich parametry



Obrázek č. 25 – Dutý štětec s polypropylenovými vlákny



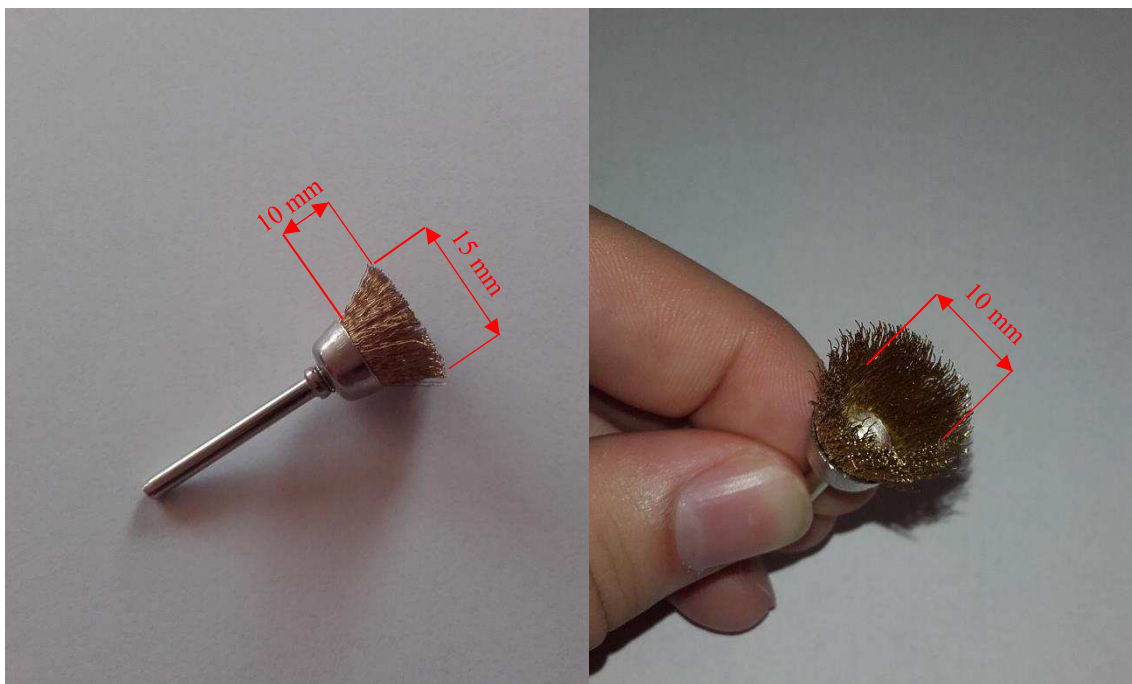
Obrázek č. 26 - Plný štětec s polypropylenovými vlákny



Obrázek č. 27 - Brusný kámen s půlkulatou hlaví a jemným povrchem



Obrázek č. 28 - Brusný kámen s půlkulatou hlaví a hrubým povrchem



Obrázek č. 29 - Dutý štětec s ocelovými drátky

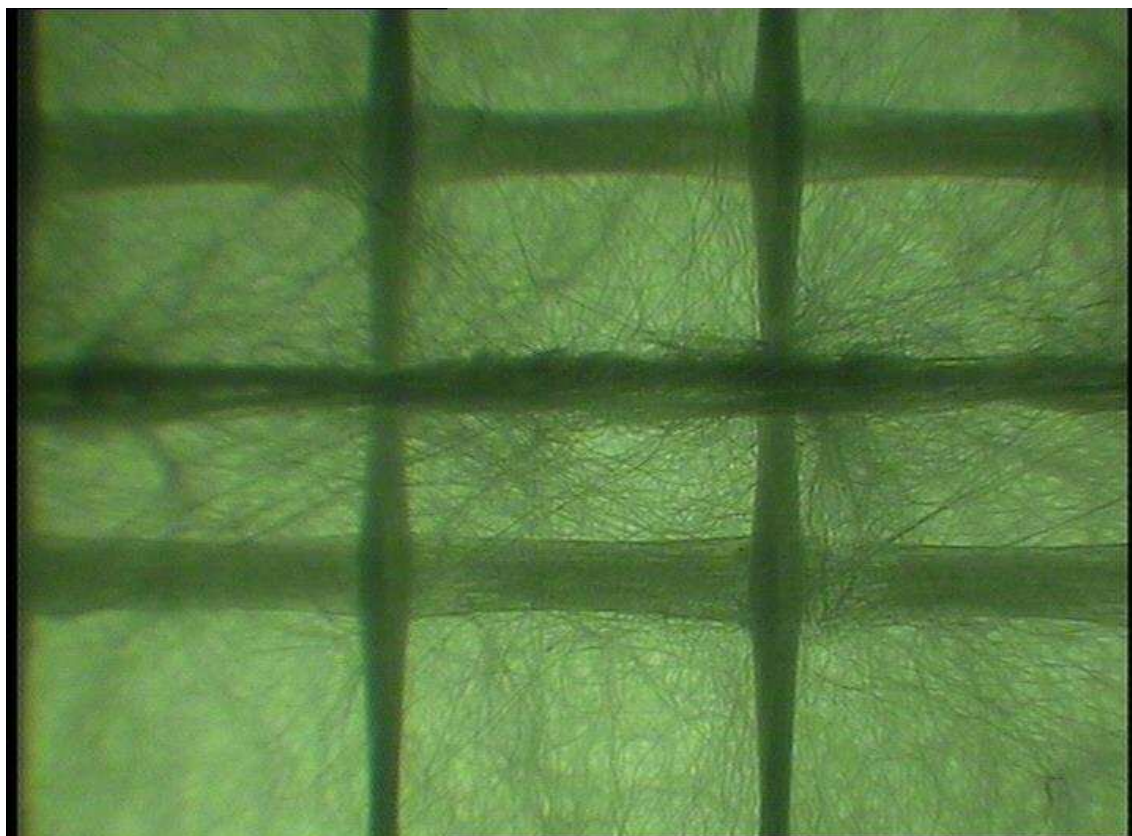


Obrázek č. 30 - Plný štětec s ocelovými drátky

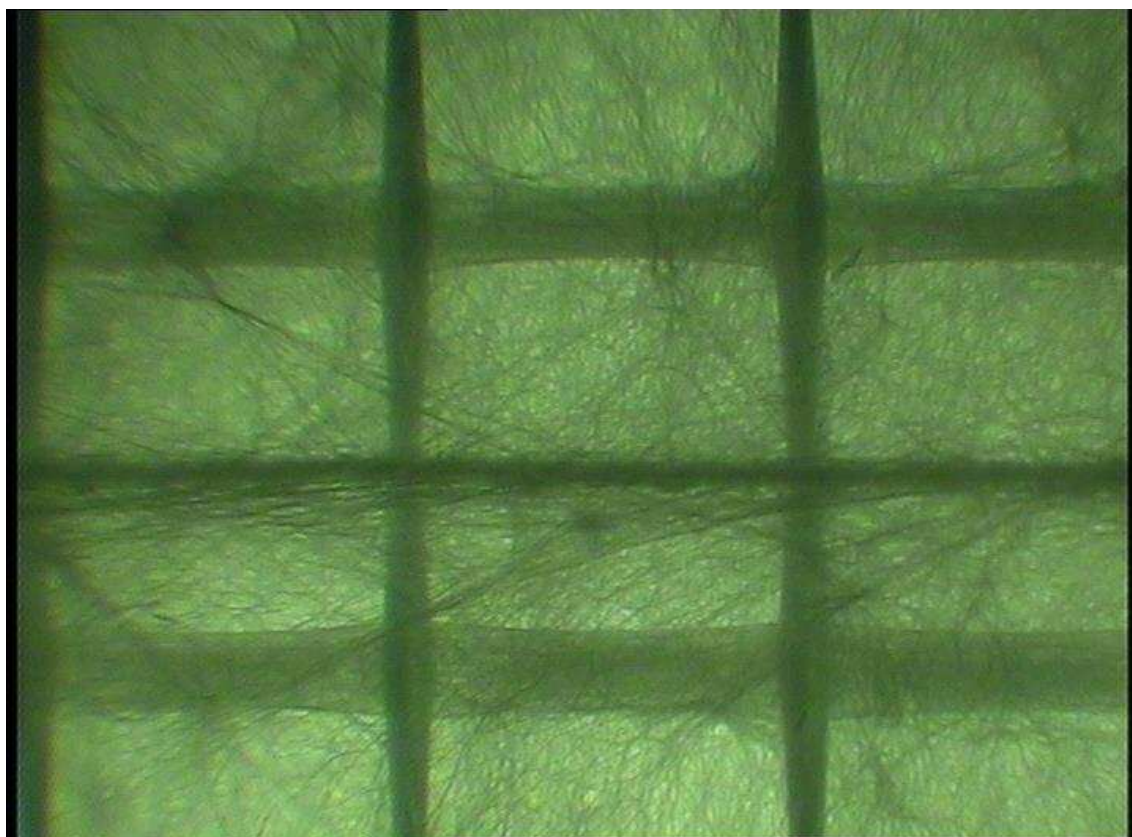


Obrázek č. 31 - Plný štětec s prasečími chlupy

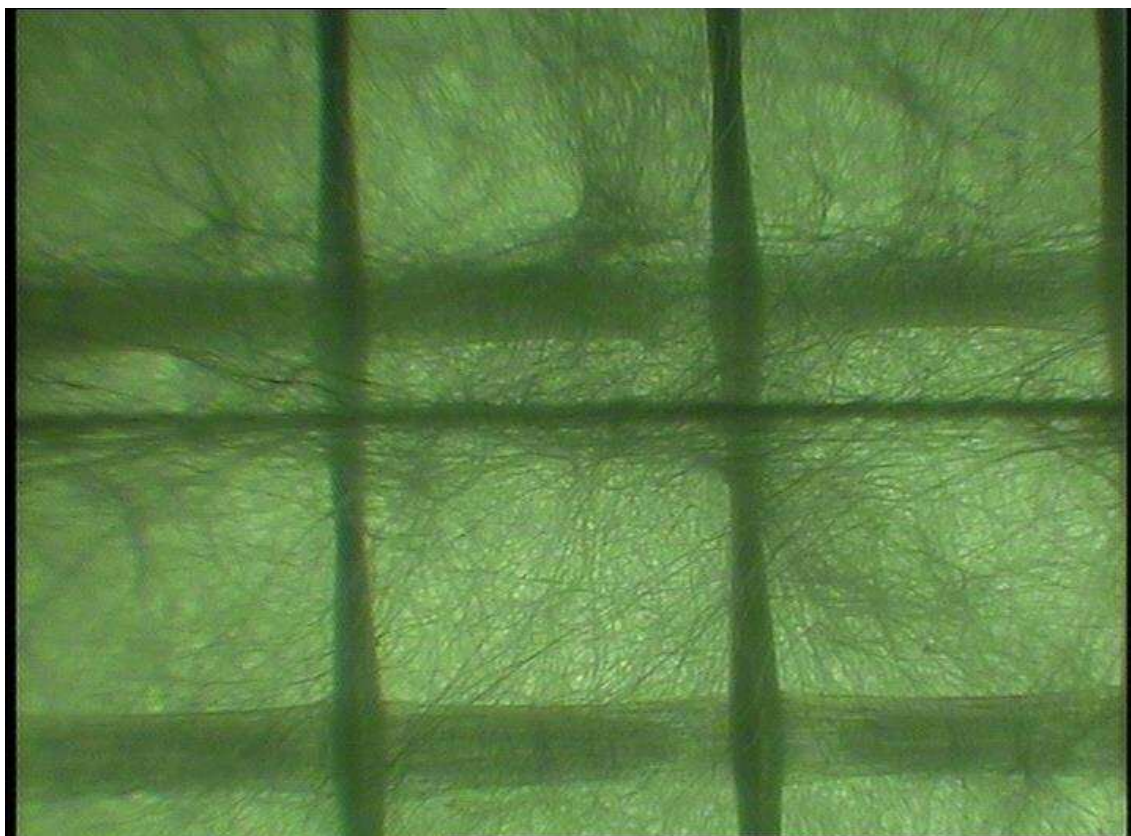
B. Snímky z optického makroskopu



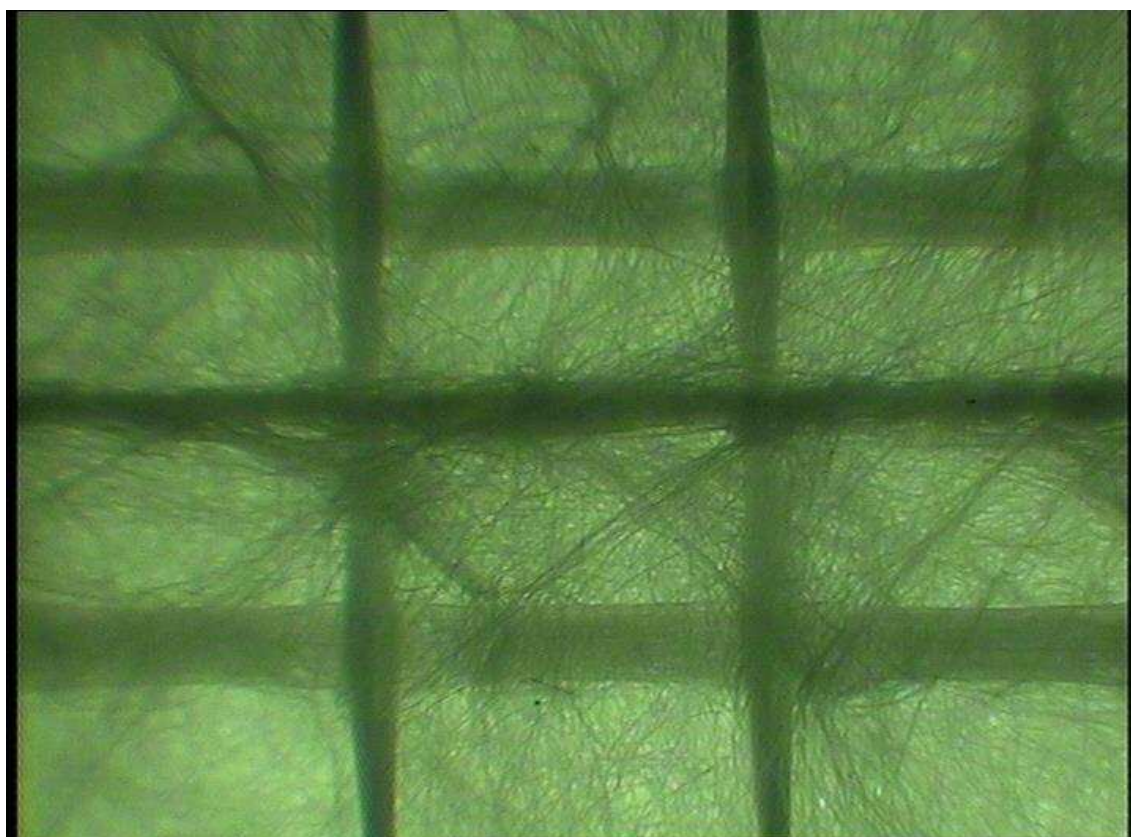
Obrázek č. 32 – PES-D-1-1 při zvětšení 17x



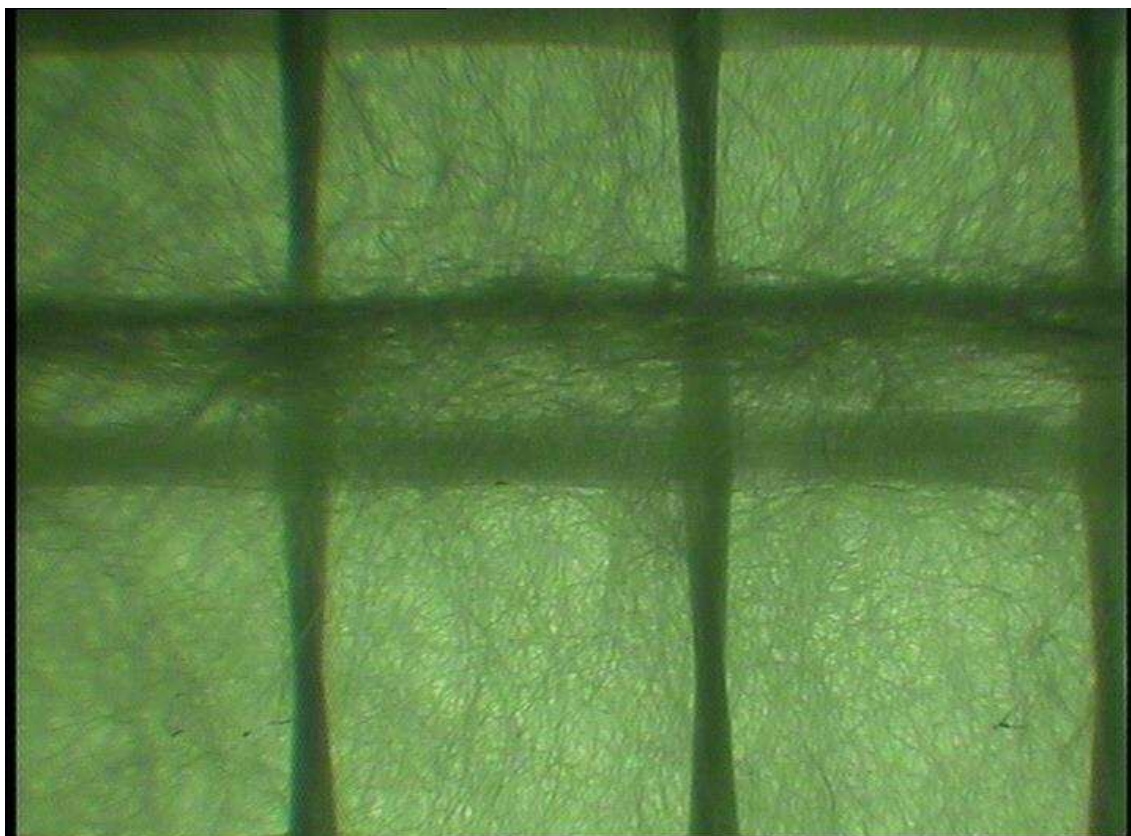
Obrázek č. 33 – PES-D-1-2 při zvětšení 17x



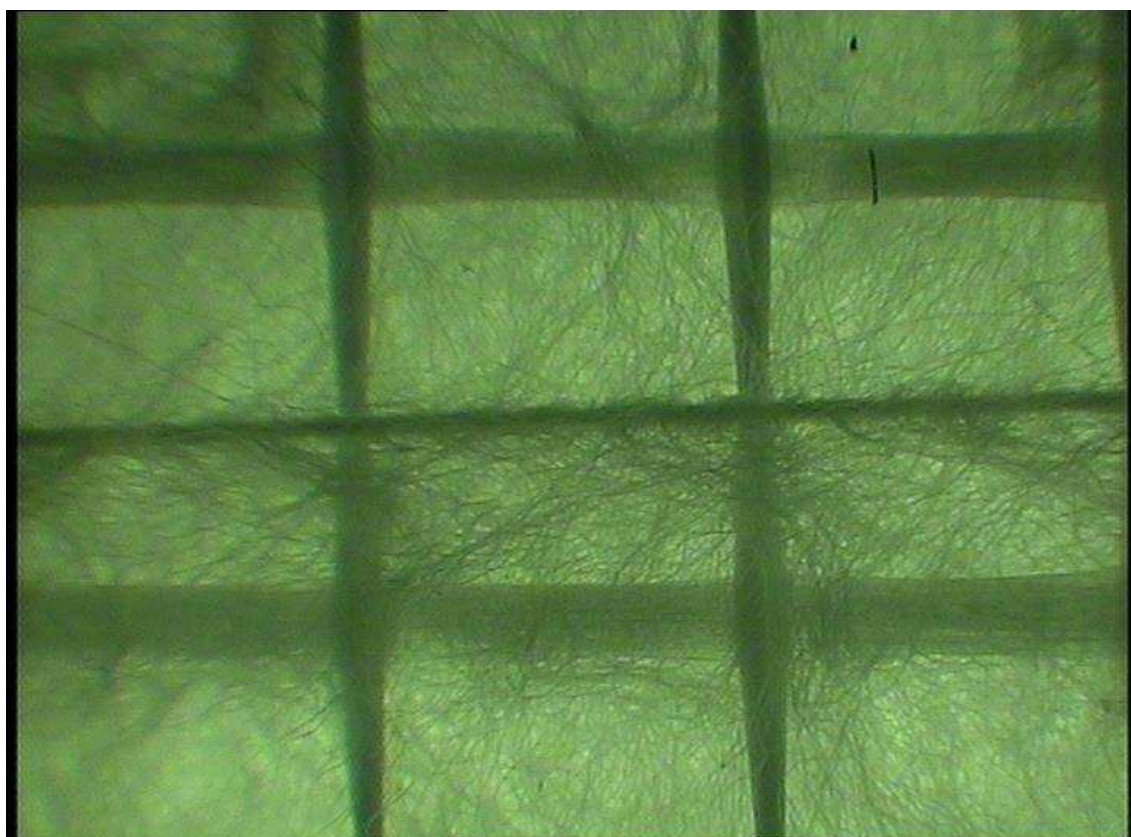
Obrázek č. 34 – PES-D-1-3 při zvětšení 17x



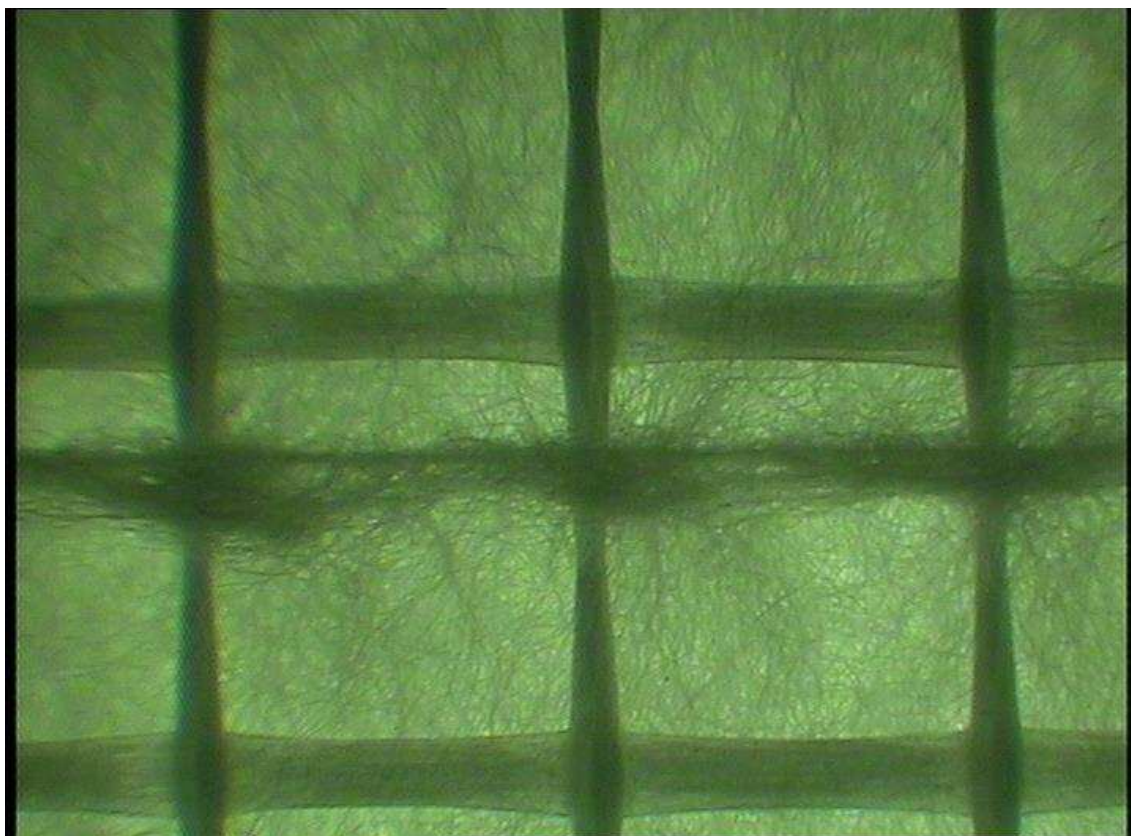
Obrázek č. 35 – PES-D-2-1 při zvětšení 17x



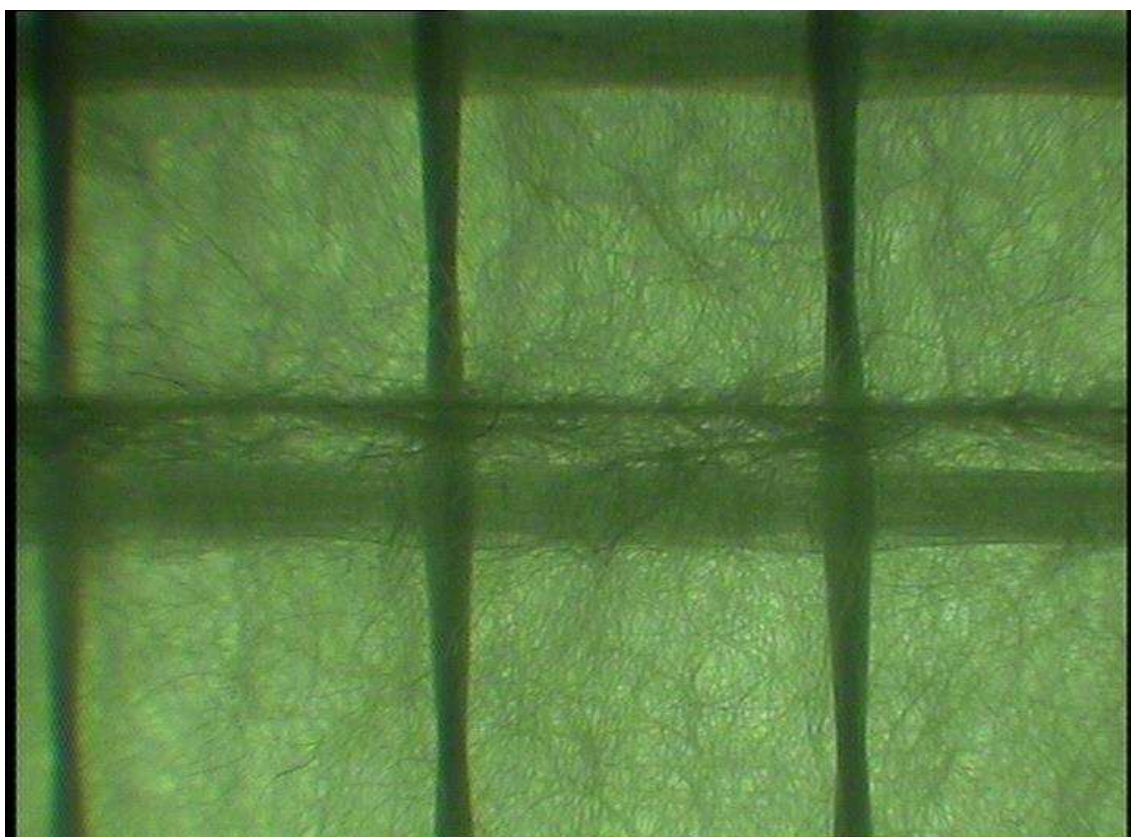
Obrázek č. 36 – PES-D-2-2 při zvětšení 17x



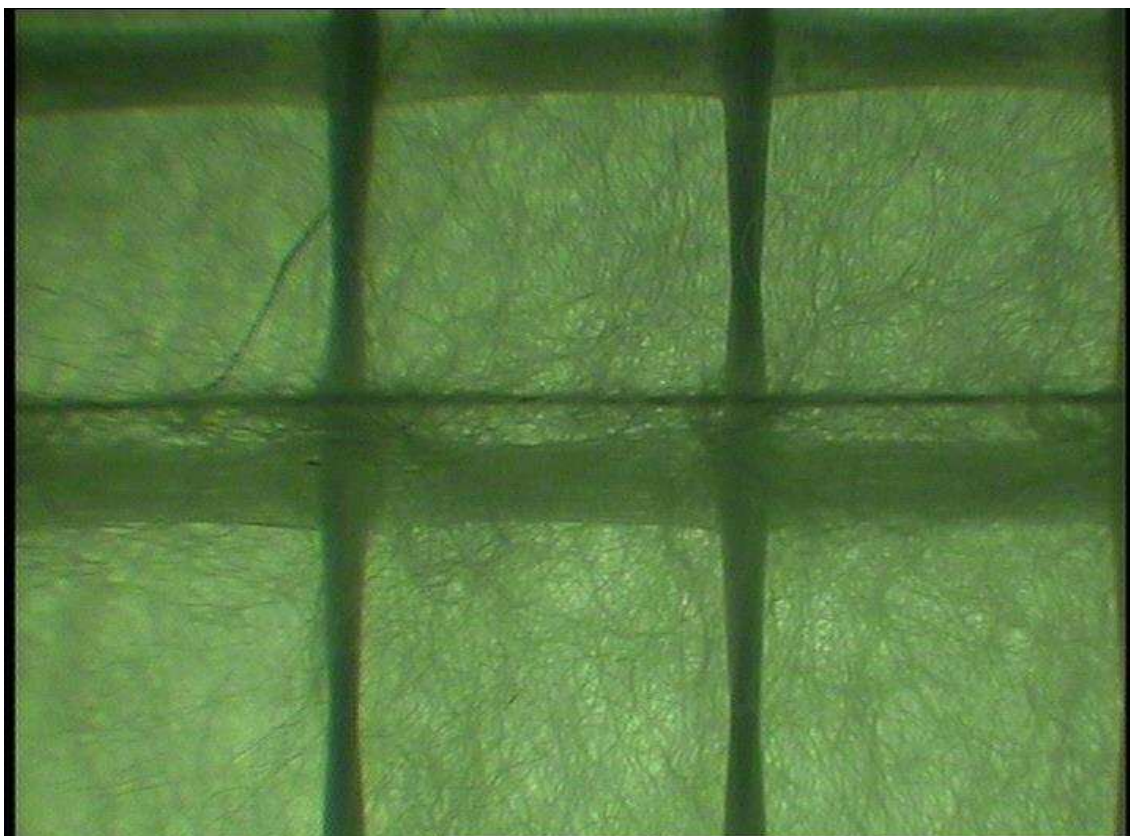
Obrázek č. 37 – PES-D-2-3 při zvětšení 17x



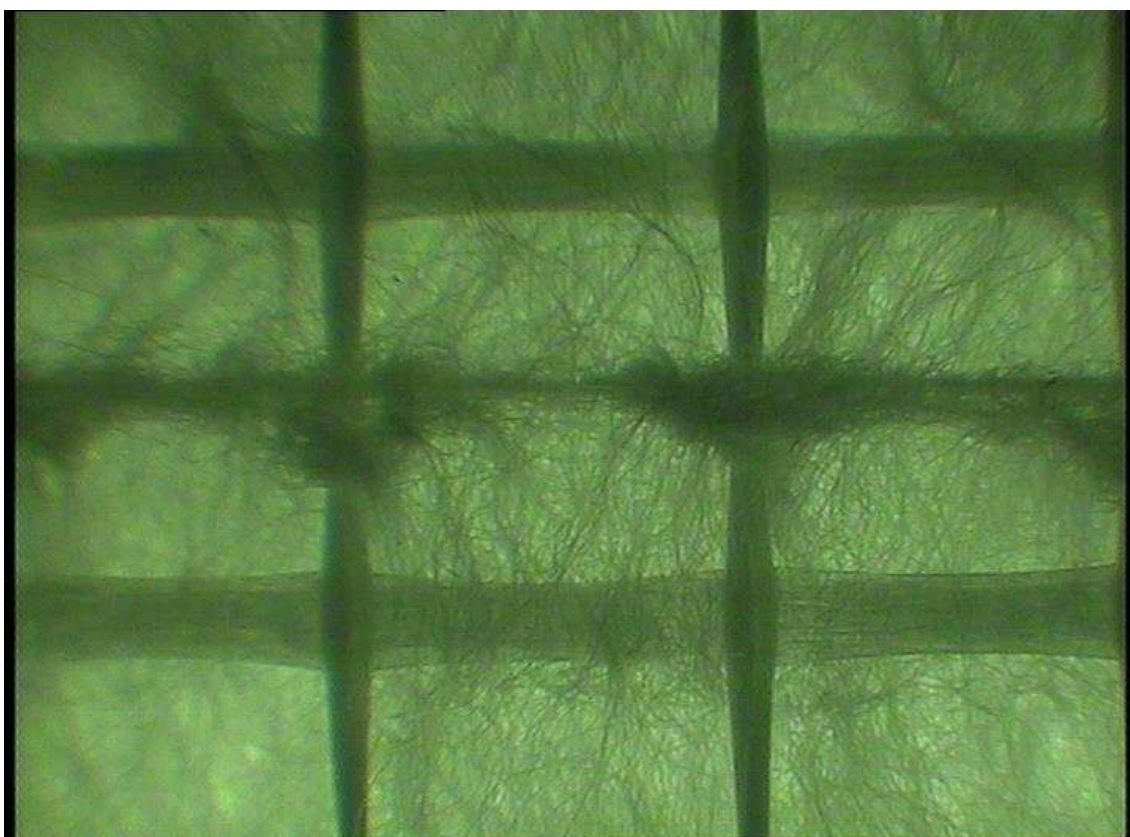
Obrázek č. 38 – PES-P-1-1 při zvětšení 17x



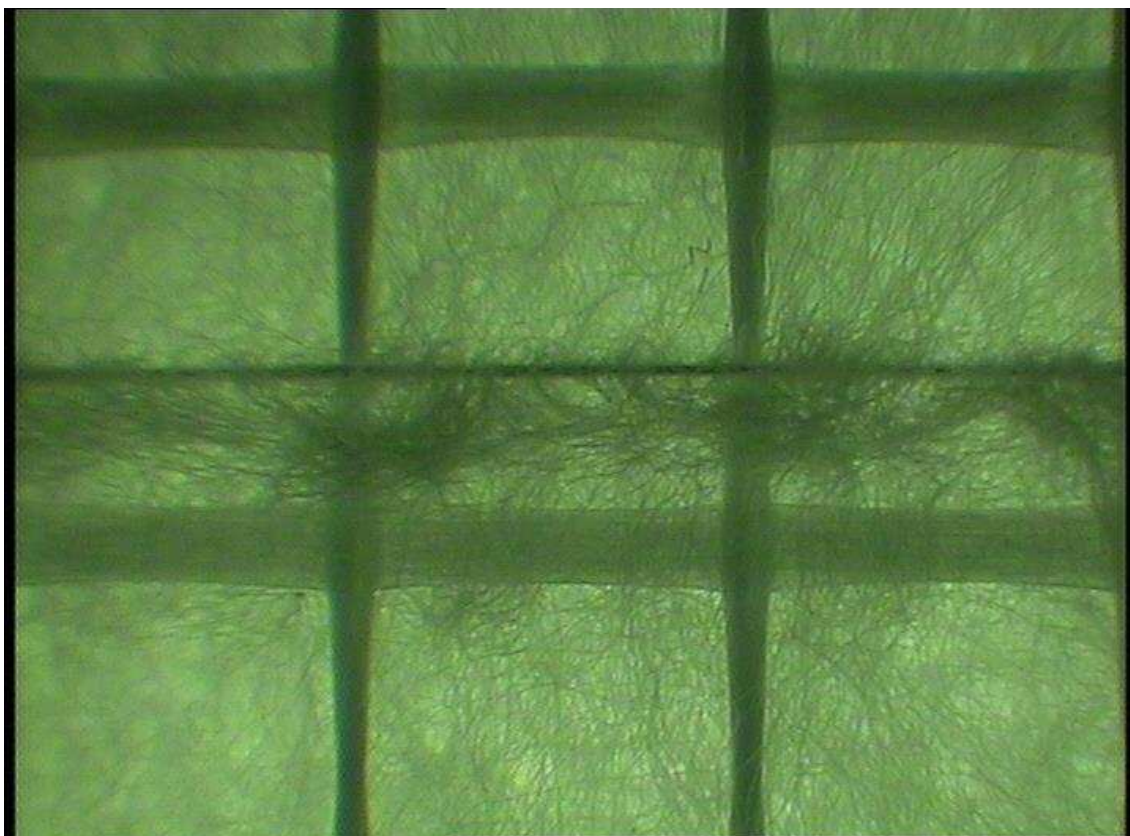
Obrázek č. 39 – PES-P-1-2 při zvětšení 17x



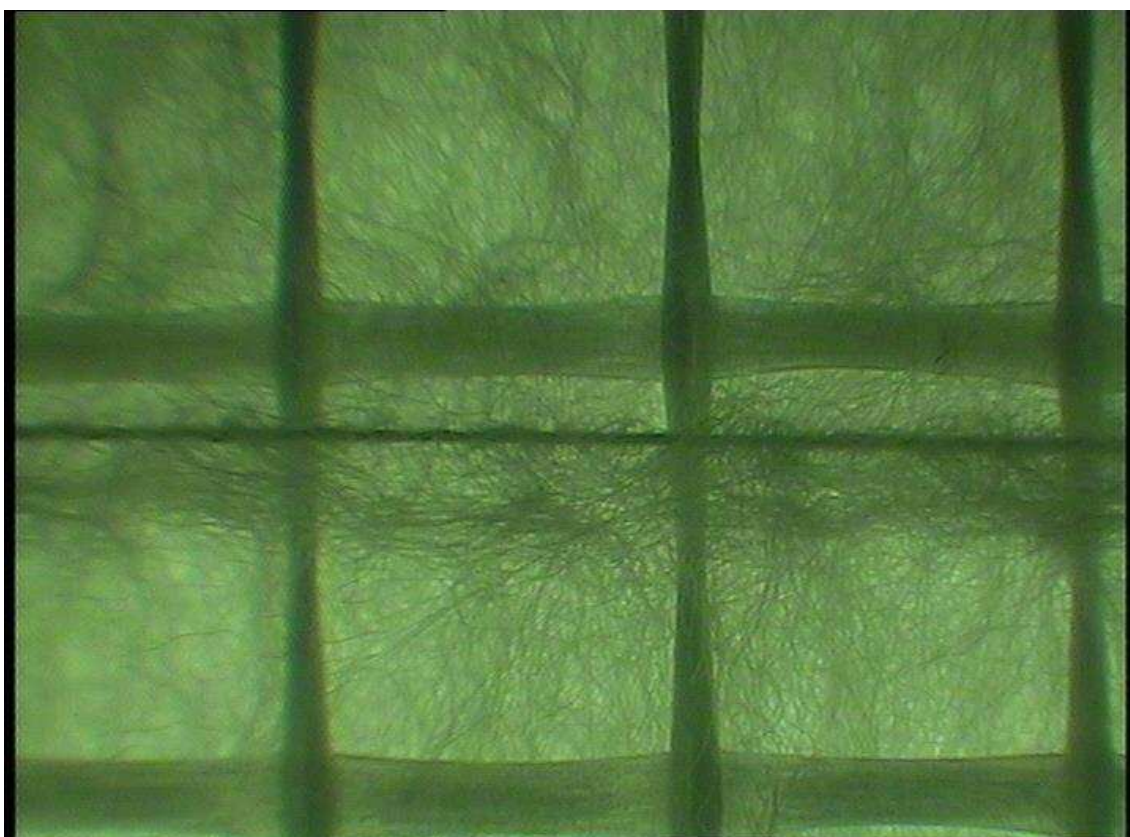
Obrázek č. 40 – PES-P-1-3 při zvětšení 17x



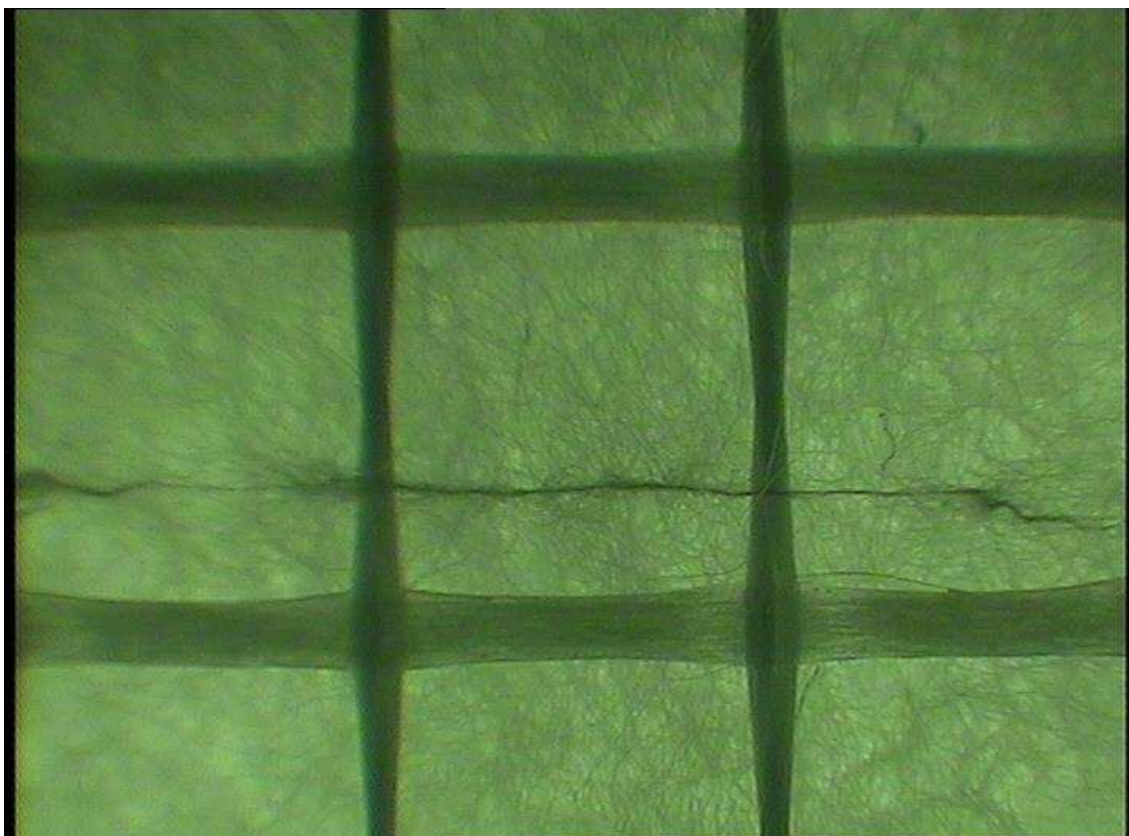
Obrázek č. 41 – PES-P-2-1 při zvětšení 17x



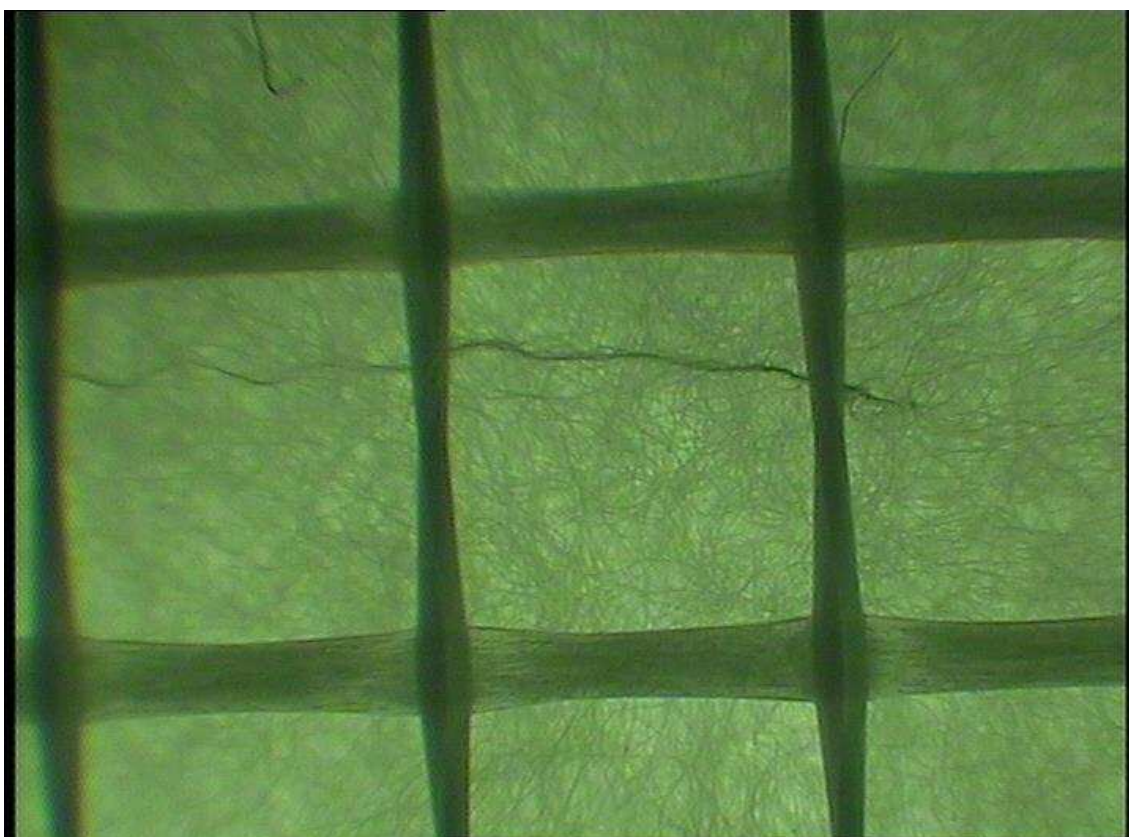
Obrázek č. 42 – PES-P-2-2 při zvětšení 17x



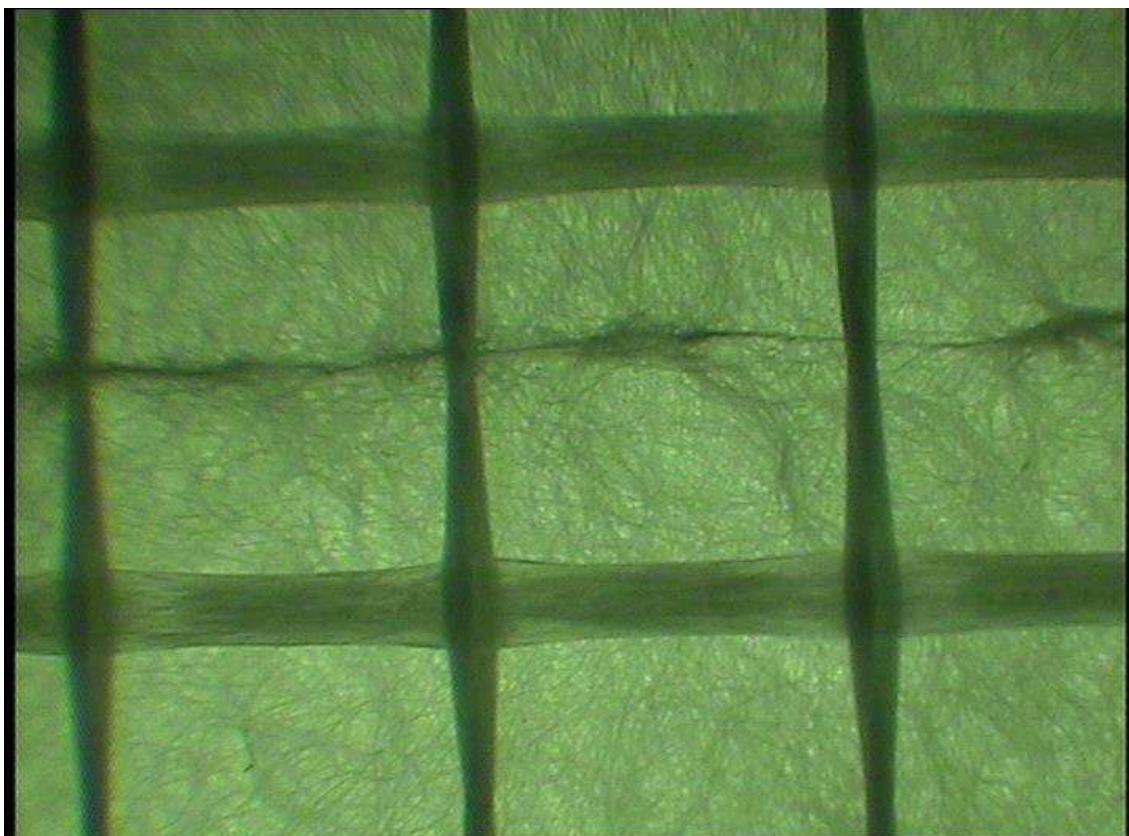
Obrázek č. 43 – PES-P-2-3 při zvětšení 17x



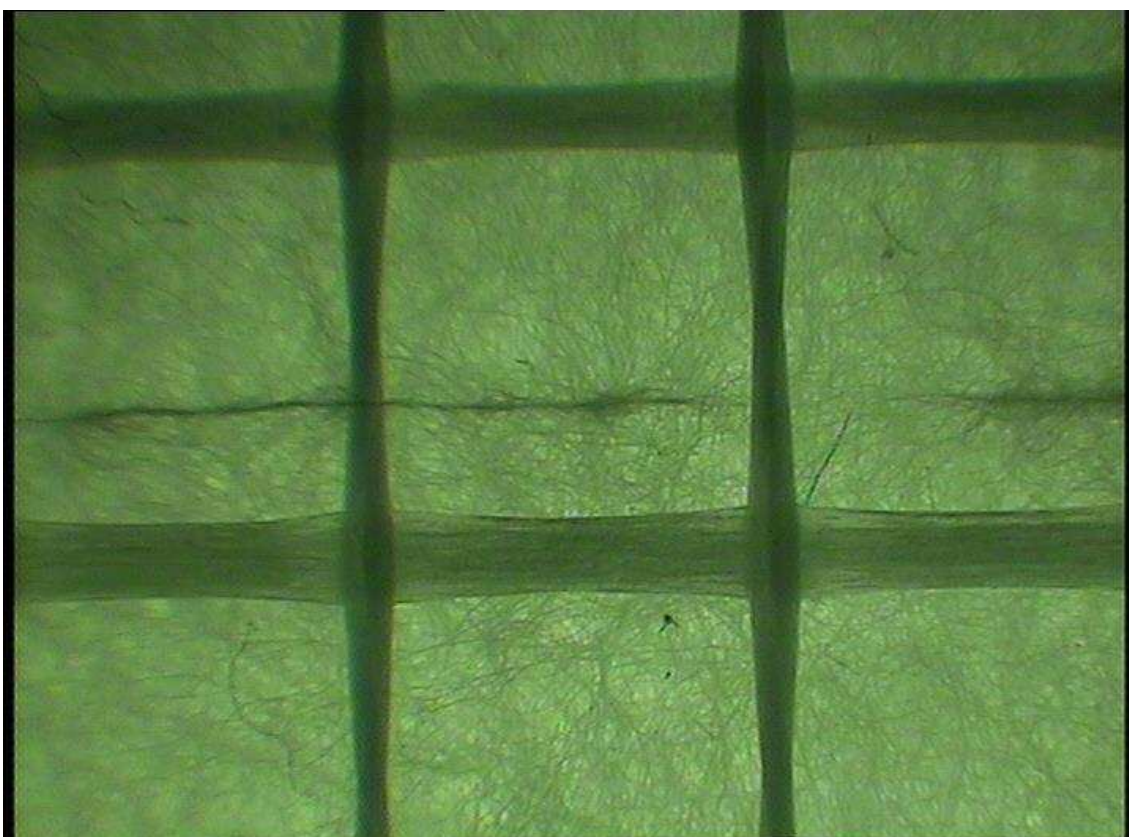
Obrázek č. 44 – PES-K-1-1 při zvětšení 17x



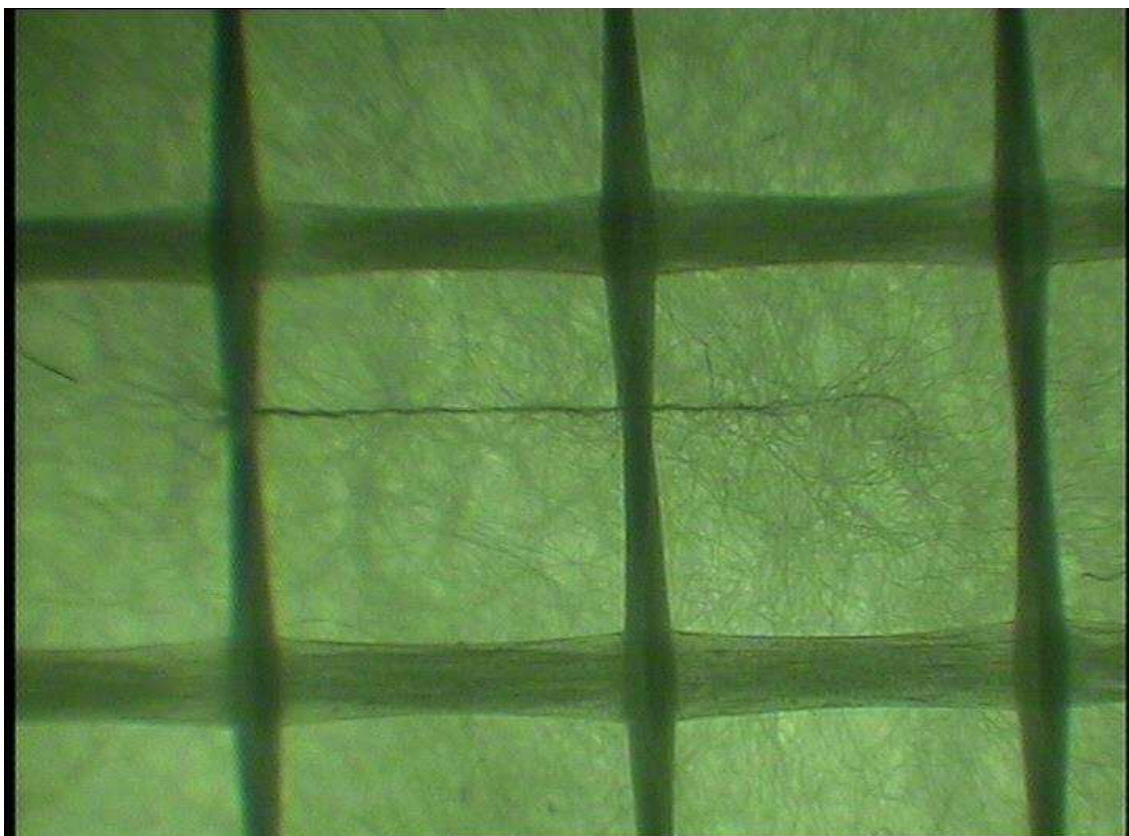
Obrázek č. 45 – PES-K-1-2 při zvětšení 17x



Obrázek č. 46 – PES-K-2-1 při zvětšení 17x



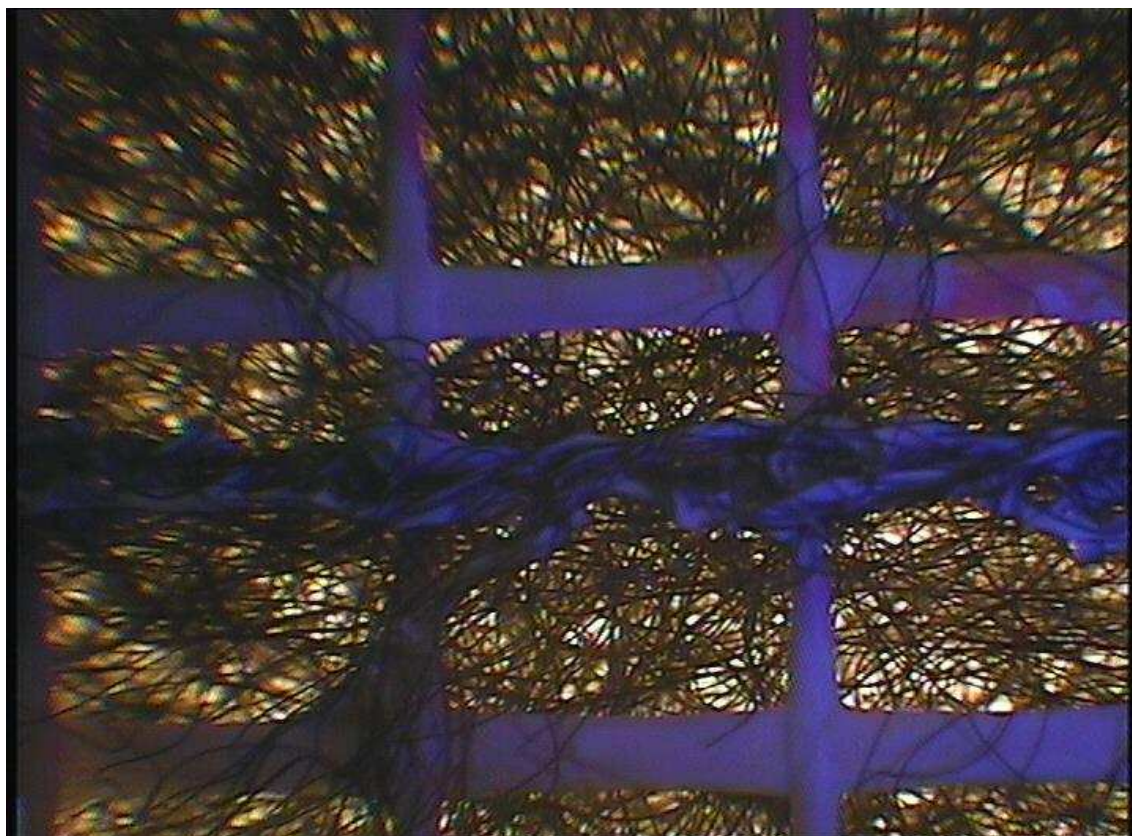
Obrázek č. 47 – PES-K-2-2 při zvětšení 17x



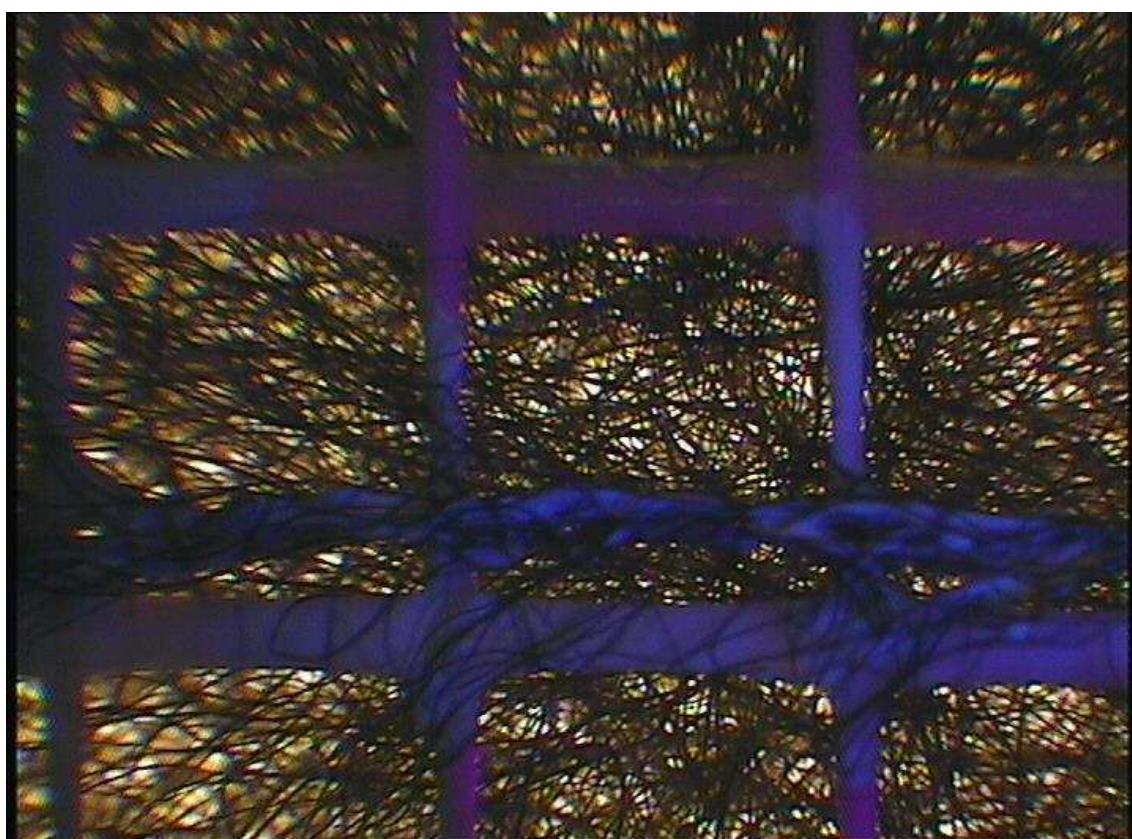
Obrázek č. 48 – PES-K-2-3 při zvětšení 17x



Obrázek č. 49 – PP-D-1-1 při zvětšení 17x



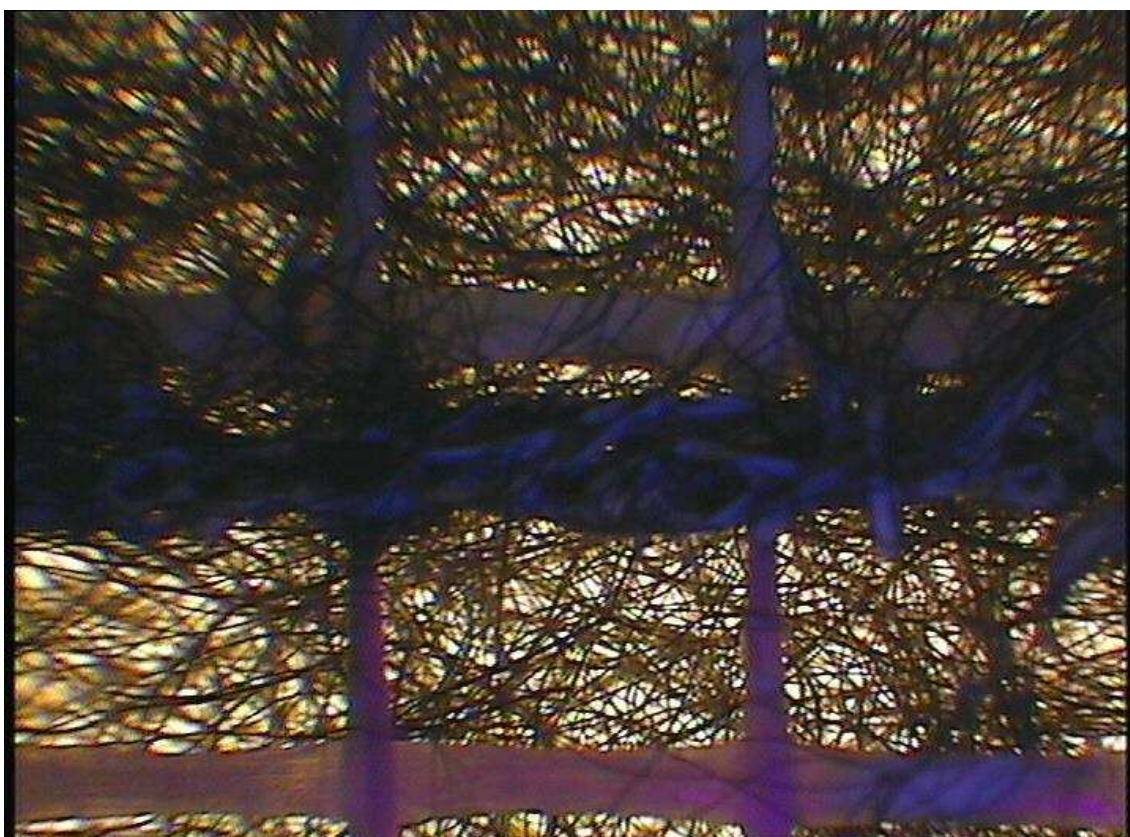
Obrázek č. 50 – PP-D-1-2 při zvětšení 17x



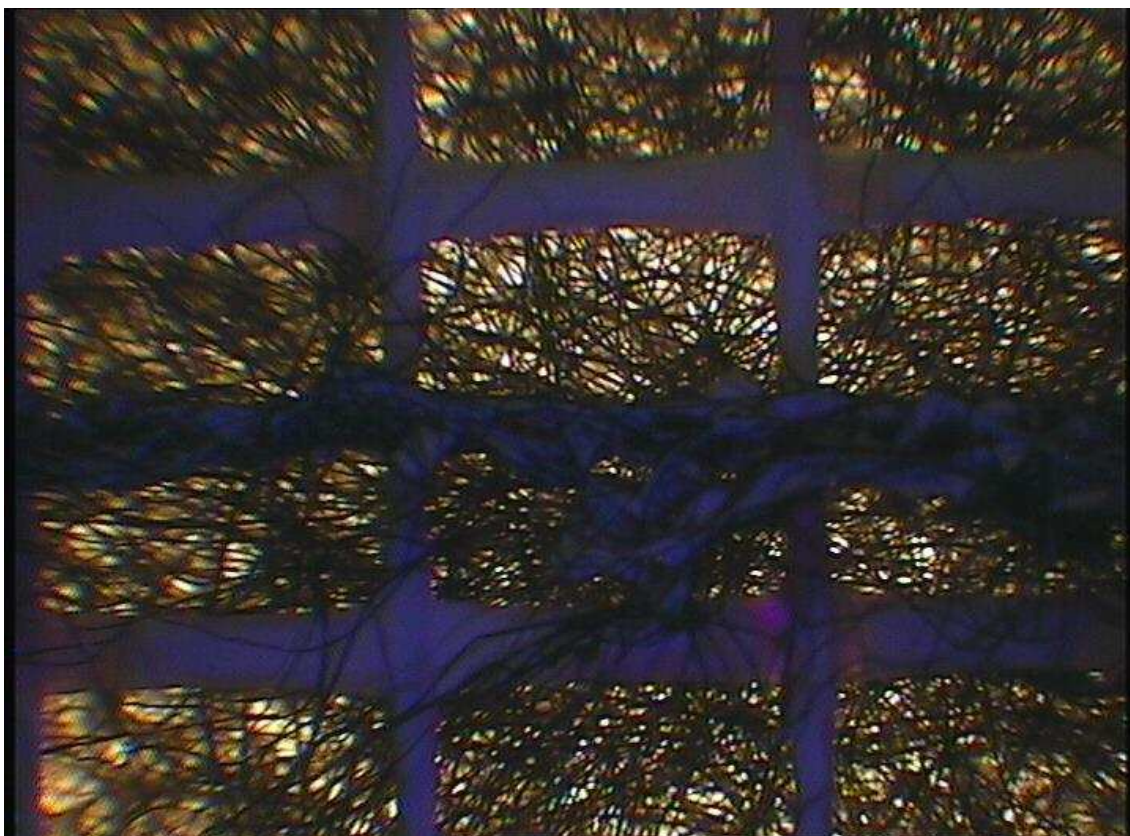
Obrázek č. 51 – PP-D-1-3 při zvětšení 17x



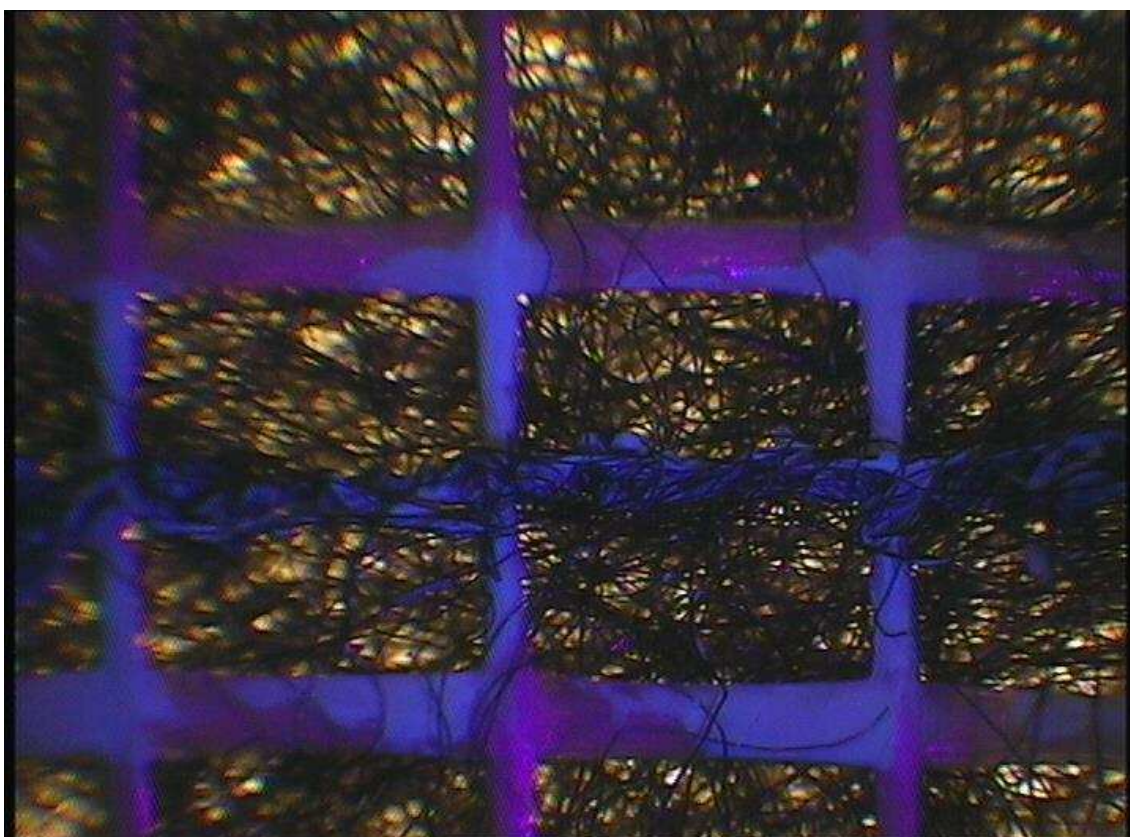
Obrázek č. 52 – PP-D-2-1 při zvětšení 17x



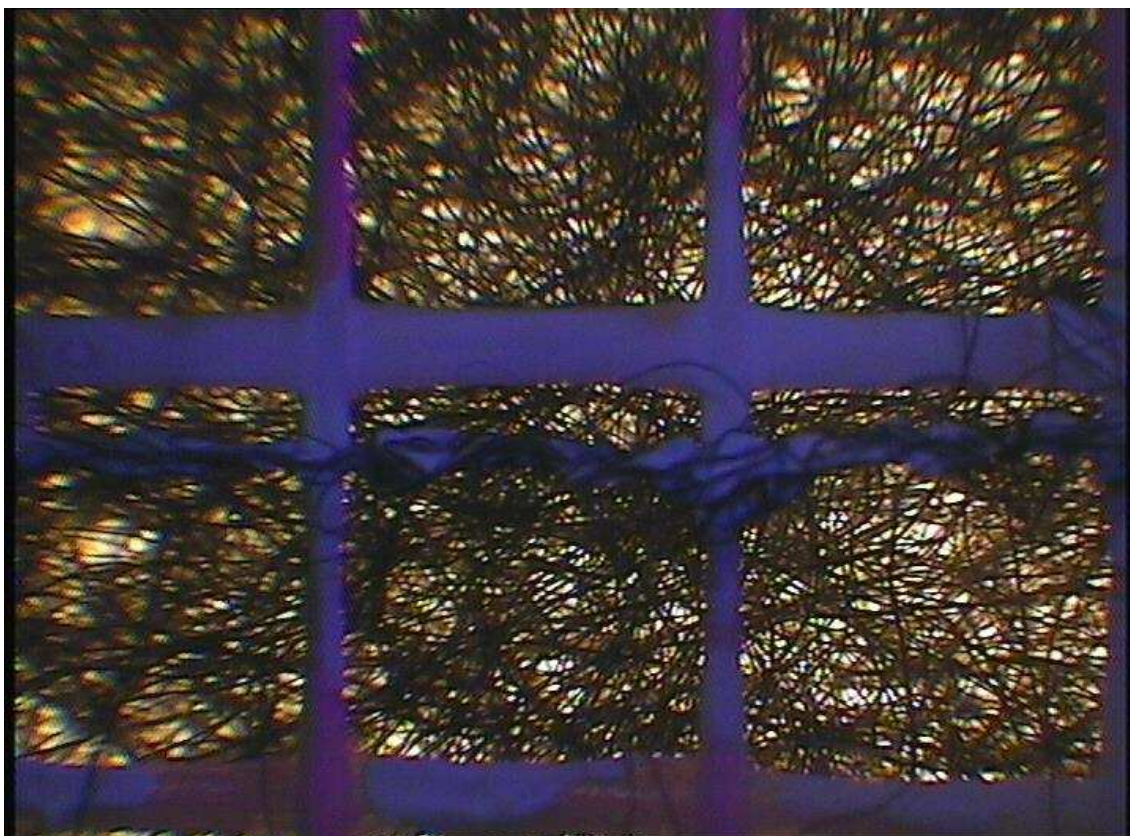
Obrázek č. 53 – PP-D-2-2 při zvětšení 17x



Obrázek č. 54 – PP-D-2-3 při zvětšení 17x



Obrázek č. 55 – PP-P-1-1 při zvětšení 17x



Obrázek č. 56 – PP-P-1-2 při zvětšení 17x



Obrázek č. 57 – PP-P-1-3 při zvětšení 17x



Obrázek č. 58 – PP-P-2-1 při zvětšení 17x



Obrázek č. 59 – PP-P-2-2 při zvětšení 17x



Obrázek č. 60 – PP-P-2-3 při zvětšení 17x