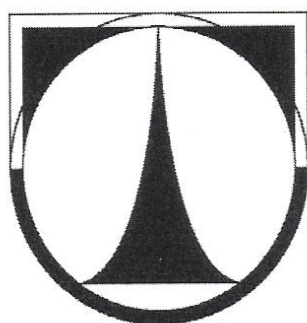


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra textilních materiálů

Studijní obor: Textilní materiály a zkušebnictví

Studijní program: B3107 – Textil



**VARIABILITA VLASTNOSTÍ HEDVÁBÍ PRODUKOVANÉHO VELKÝMI
AMPULOVITÝMI ŽLÁZAMI PAVOUKŮ**

KTM - 600

Lenka Hanzlová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslava Maršálková, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran.....94
Počet obrázků.....79
Počet tabulek.....18
Počet příloh2
Počet CD.....1

V Liberci dne 10.1.2013

Prohlášení

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

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

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

Diplomovou práci jsem vypracoval (a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Miroslavě Maršákové, Ph.D. za ochotu, vstřícnost, cenné rady a profesionalitu při odborném vedení mé práce.

Dále děkuji RNDr. Milanu Řezáčovi, Ph.D. za poskytnutí odborných materiálů a informací ze života pavouků, odborných rad a konzultací, díky kterým jsem objevila svět jedinečného živočišného druhu.

Poděkování patří i Mgr. Miroslavu Hylišovi, Ph.D. z laboratoře elektronové mikroskopie Karlovy univerzity, kde jsem mohla realizovat pozorování a statistická měření vzorků.

A také děkuji své rodině za trpělivost, pomoc a podporu při studiu.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na sledování povrchu a měření průměru ve vláknech vytvářených ampulovitými žlázami pavouků. Tyto vlastnosti byly zjišťovány z fotografií pořízených rastrovacím elektronovým mikroskopem SEM JEOL 6380 LV a statisticky zpracovány v programu AnalySIS. Pro výzkum byly použity vzorky různých druhů čeledí pavouků.

První literární část se zabývá teoretickými poznatky a chemickým složením pavoučího hedvábí.

Druhá experimentální část zahrnuje přípravu pro testování vzorků, pozorování, fotografování, měření a statistická vyhodnocení.

Třetí část popisuje tvorbu vlákna velkými ampulovitými žlázami a důvody jejich variability.

Ve čtvrté části jsou statisticky zpracovány všechny poznatky do tabulek a grafů.

Abstract

This bachelor's essay is focused on the detection of surface and the diameter in the fibers produced by major ampullate glands of spiders. These properties were detected from photographs taken by scanning electron microscope SEM JEOL 6380 LV and statistically processed by AnalySIS program. For research purposes were used samples of different families of spiders.

The first part is concerned with the theoretical knowledge and the chemical composition of such a perfect product - spider silk.

The second - experimental - part comprises of the preparation for testing of samples, observation, taking photographs, measuring and statistical evaluation.

The third part describes the creation of fiber by major ampullate glands and reasons of their variability.

The last part presents all the information in statistical tables and graphs.

Klíčová slova

Proteiny, fibroin, glykoproteiny, snovací žlázy, tryska, dukt, valva, ampulla, kribelum, klepítka.

Key words

Proteins, fibroin, glycoproteins, silk glands, spigot, duct, valva, ampulla, kribelum, chelicery.

Obsah

ÚVOD.....	9
1 Literární rešerše	10
1.1 Pavouk	10
1.2 Pavoučí hedvábí.....	10
1.3 Chemické složení pavoučího vlákna	10
2 Teorie zvlákňování.....	14
2.1 Snovací žlázy	14
2.2 Stavba vlákna.....	17
2.3 Tvorba pavučin	26
3 Experiment zjišťování geometrických vlastností pavoučích vláken.....	29
3.1 Přípravné práce	29
3.2 Sběr pavoučích vláken - nácvik.....	29
3.3 Zjišťování fyzikálních vlastností vláken pomocí přístroje Bionix Tensile Tester	30
3.4 Zkoumání vláken různých čeledí pavouků.....	33
3.5 Údaje podmínek sběru vláken	35
3.6 Výsledky měření průměrů sledovaných vláken.....	37
4 Závěr.....	73
Seznam obrázků	76
Seznam tabulek.....	79
POUŽITÁ LITERATURA.....	80
PŘÍLOHA č. 1	81
Pavouk	81
Životní cyklus	81
Stadia vývoje.....	82
Rozmnožování	82
Páření.....	83
Jedovatí pavouci	83
Druhy člověku nebezpečné	83
Ochranná zbarvení	84
Příloha č. 2	86
KATALOG FOTOGRAFIÍ POUŽITÝCH PAVOUČÍCH VLÁKEN	86

ÚVOD

V současnosti se svět potýká s produktem civilizace, který nesplňuje požadované parametry – odpadem. Moderními technologiemi dokáže být odpad tříděn, likvidován a recyklován. Materiálová recyklace je nejvýhodnější. I textilní průmysl se snaží používat materiály, které by nezatěžovaly životní prostředí a zároveň disponovaly potřebnými vlastnostmi. Nejnovějším objevem posledních let se stalo pavoučí hedvábí. V průběhu evoluce bylo pavouky zdokonaleno tak, že je jimi produkováno vždy za určitým účelem použití. Po té je hedvábí pozřeno (zrecyklováno), aby doplnilo tělu pavouka důležité proteiny.

Bakalářská práce je zaměřena na zjišťování povrchu a průměru vláken vytvářených velkými ampulovitými žlázami pavouků. Každý typ žlázy vylučuje jiný druh hedvábí se svými vlastními specifickými rysy.

Literární rešerše se zabývá stavbou těla pavouka, jeho částmi a vnitřními orgány, kterými je produkováno pevné, pružné, a energii pohlcující vlákno. Dále bude popsáno chemické složení vlákna, struktury proteinů a řetězce aminokyselin, které dodávají vláknu jeho vlastnosti.

V teorii zvláknování bude popsán způsob produkce vlákna z pavoučího těla. Dále části ústrojí, kterými je zajišťován průměr, tvar a složení vlákna. Na obrázku jsou zobrazeny jednotlivé vrstvy vlákna, které byly vytvářeny různými druhy žláz.

V experimentální části budou geometrické vlastnosti hedvábí zjišťovány na rastrovacím elektronovém mikroskopu SEM JEOL 6380 LV a statisticky zpracovány v programu AnalySIS od firmy Soft Imaging System GmbH.

V přílohách jsou uvedeny informace o životě pavouka a katalog fotografií použitých pavoučích vláken.

Pokud by se podařilo vědcům vyrábět tato vlákna uměle, dala by se využívat v mnoha odvětvích nejen textilního průmyslu.

Toto téma bylo vybráno pro jeho neuvěřitelnou zajímavost, přínos do budoucnosti a příležitost poznat a možná objevit i něco nového.

1 Literární rešerše

1.1 Pavouk

Pavouci jsou dravci, jsou nepostradatelní pro zachování přírodní rovnováhy udržováním množství hmyzu na žádoucí úrovni. Patří do skupiny členovců. Mají společné tělo, které je rozdělené na dvě části: hlavohrud' (*prosoma*) a zadeček (*opistosoma*). Na hlavohrudí má každý pavouk klepítka (*chelicery*), makadla (*pedipalpy*) a čtyři páry nohou. Na zadečku se nacházejí snovací bradavky, z kterých vychází pavoučí hedvábné vlákno. Odlišují se zbarvením, počtem očí, druhem potravy, velikostí a hmotností. Do dnešní doby bylo popsáno 40 000 jejich druhů. Ke svému způsobu života využívají hedvábí.

1.2 Pavoučí hedvábí

Tvorba hedvábných vláken se vyvíjela během pavoučí evoluce trvající 400 miliónů let. Hedvábí pavoukům slouží ke komunikaci s ostatními svého druhu, ochraně vajíček, k tvorbě úkrytů, k uvěznění kořisti, jako pomůcka k útěku nebo jako bezpečnostní pojistka při pohybu v přírodě. Tato různorodost použití klade velké nároky na mechanické vlastnosti vlákna. Z tohoto důvodu je pavouk schopen upravit až 9 typů hedvábí. Každý typ je vytvářen v speciální ampulovité žláze umístěné v bradavce na zadečku. Bílkoviny konkrétního typu hedvábí se liší různými aminokyselinami a molekulárním přizpůsobením.

1.3 Chemické složení pavoučího vlákna

- proteiny *spidroin* (složené z aminokyselin), v kterých se střídají jednotlivé stavební kameny
- glykoproteiny (komplexní molekula složená z cukrů a proteinů)
- lipidy (malé množství)

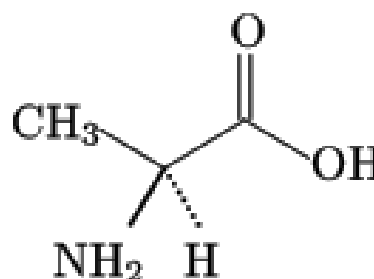
[1, 2, 3]

Chemický vzorec proteinu

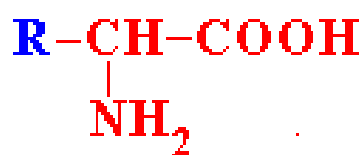
- proteiny patří mezi biokopolymery. To jsou vysokomolekulární přírodní látky s molekulární hmotností 10^3 až 10^5 složené z aminokyselin
- v proteinech jsou aminokyseliny vzájemně vázány aminoskupinami – NH_2 a karboxylovými skupinami – COOH , amidovou vazbou – $\text{NH} - \text{CO} -$ (amidy), která se v případě proteinů nazývá peptidová vazba



Obr. 1.1 Struktura proteinu ve 3D



Obr. 1.2 Strukturní vzorec alaninu, jedné z aminokyselin proteinu.



Obr. 1.3 Obecný vzorec aminokyselin

Struktura proteinu ve 3D je dána jeho terciární strukturou. Výsledné prostorové uspořádání proteinu je závislé na pořadí jednotlivých aminokyselin v řetězci. Různé aminokyseliny mají různé biochemické vlastnosti a tak jejich kombinace a kombinace jejich vlastností udává jak prostorové záhyby aminokyselinového řetězce, z nichž je „stvořena“ konečná podoba proteinu, tak i konečné vlastnosti proteinů.

Aminokyseliny udávají vlastnosti proteinu a uspořádání má následující hierarchické úrovně:

- primární
- sekundární
- terciární

Primární struktura proteinů:

Sekvence jednotlivých aminokyselin z hlediska jejich skladby.

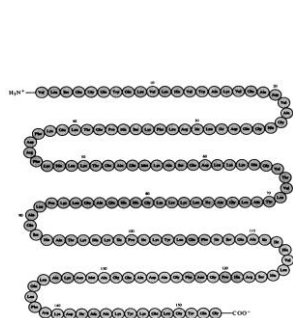
Sekundární struktura:

Způsob jakým je jedna molekula proteinu sbalená.

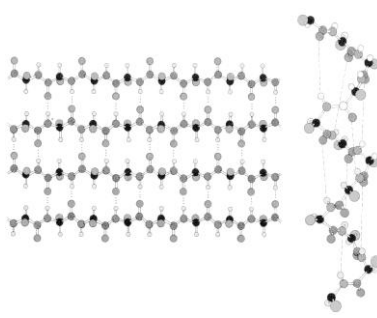
Terciární struktura:

Zde záleží, jak se jednotlivé molekuly proteinu k sobě postaví. Aminokyseliny s krátkým postranním řetězcem (alanin, glycin) se mohou vzájemně přiblížit a přicvaknout se k sobě. Tím mezi nimi vznikají relativně pevné vodíkové můstky a vznikne krystalická struktura, která dodává vláknu pevnost. Za její uspořádání ve vláknech zodpovídá proces sbalování odehrávající se ve snovací žláze. Aminokyseliny s dlouhými postranními řetězci vytvářejí amorfni strukturu, kde jsou řetězce uspořádané do spirál a různých kliček (prolin) a tím dodávají vláknu pružnost.

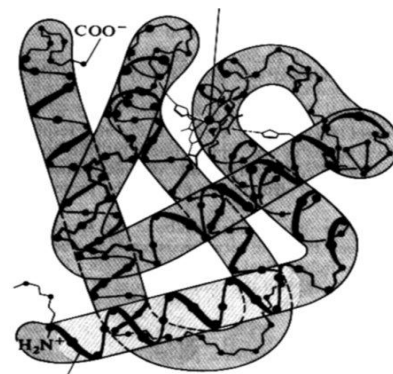
Tato dokonalá kombinace dvou vlastností je to výsledkem miliónů let pavoučí evoluce.



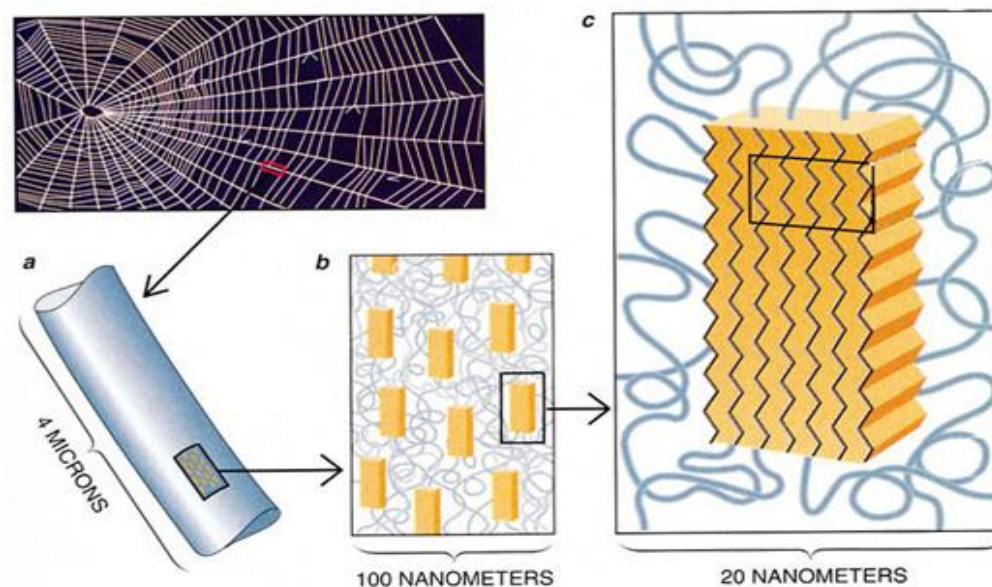
Obr. 1.4
Proteiny – primární
struktura



Obr. 1.5
Proteiny – sekundární
struktura



Obr. 1.6
Proteiny – terciární struktura



Obr. 1.7 Hedvábné proteiny s amorní a krystalickou strukturou

```

GPGGYGPGQGGPGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGGAAAAAGSEGY
GPGQGGPRGPGAAAAAGPGGYGPGQGGASAAAAGRPGGYGPGQGGP
GGPSAAAAAGPGGYGPGQGGPSAAAAAAGSGPGGYGPGQGGPGGPGAAA
AAAGPGGYGPGQGGPGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGGPGAAAAAAGR
GPGGYGPGQGGPGGPGAAAAAAGPGGYGPGGYGPGQGGPGGPGAAAAA
AGRPGGYGPGQGGPGQGGPGGSGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGGPGAA
AAAAAGPGGYGPGQGGPGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGGSGAAAAA
AGRPGGYGPGQGGPGGPGAAAAAAGPGGYGPGQGGTGAAAAAGSG
AGGYGPGQGGPGGPGAAAAAAGPGGYGPGQGGPGAAAAAAGSGPGGYG
PGQGGPGGSSAAAAAGPGRYGPGQGGPGAAAAASAGRPGGYGPGQGG
PGGPGAAAAAGPGGYGPGQGGPGAAAAAGSGPGGYGPGQGGPGGPG
AAAAAARGPGGYGQGGQGGPGGPGAAAAAGPGGYGPGQGGPGAAAAA
AAGSGPGGYGPGQGGPGRSGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGGPGAAA
AAAGPGGYGPGQGGPGAAAAASAGRPGGYGPGQGGPGGSGAAAAAAR
GPGGYGPGQGGPGGPGAAAAAARGPGGYGPGQGGPGQGGPGGSGAAA
AARGPGGYGPGQGGPGGPGAAAAAGPGGYGPGQGGPGAAAAAGS
    
```

Obr. 1.8 Sekvence aminokyselin v proteinu, červené = krystaly, modré = spirály
[4, 8, 9]

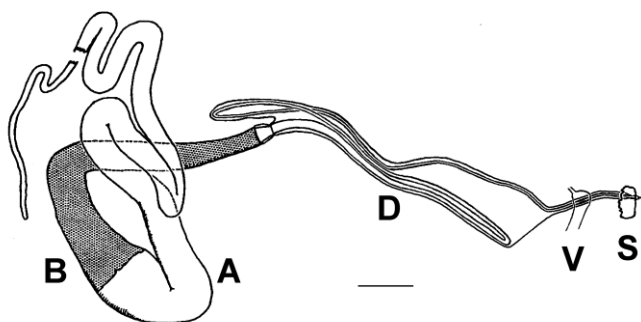
2 Teorie zvlákňování

2.1 Snovací žlázy

Snovací žlázy na snovacích bradavkách, chelicerách (hlavová část), u pohlavního otvoru. Každý typ žláz produkuje různé materiály (aminokyseliny s krátkými postranními řetězci – krystalická struktura a aminokyseliny s postranními dlouhými řetězci – amorfni struktura). Analýzou proteinu ze snovacích žláz můžeme určit, zda se jedná o vlákno pevnější nebo pružnější.

Pavouk je schopen regulovat druh vlákna, které vytváří.

části snovací žlázy:



B - Spigot, A - valva, D - dukt (kanálek), V - ampulla (rozšířená část), S - ocásek

Obr. 2.1 Morfologie žlázy produkující vlákna

Ocásek

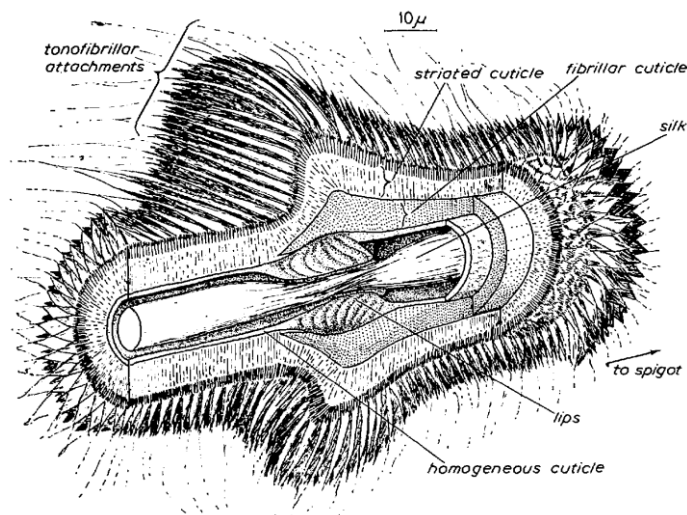
Ocásek je poměrně dlouhý, a tím poskytuje velkou plochu pro produkci materiálu – proteinu. Jeho stěny jsou tvořeny epitelem (vrstvou buněk), který produkci zajišťuje. Z buňky epitelu se protein ve formě membránou obalené kapičky uvolní dovnitř žlázy a takto zabalené proteiny o silné koncentraci 40% protein a 60% H₂O umožní molekulám

na sebe působit vodíkovými můstky. Dochází k tzv. předorientaci tekutého krystalu do podélného směru, hlavní orientace probíhá až v duktu.

[1,4]

Valva

Valva je rozšířené, silnější místo duktu, na které jsou připojeny svaly. Tyto svaly pavouk ovládá a může se tak při spouštění zastavit. Pokud se vlákno přetrhne uvnitř duktu šroubovitými pohyby vysouká vlákno nové a nastartuje znovu soukání.



Obr. 2.2 Valva

Ampulla

V ampulle se tvoří různé vrstvy vlákna. Počet zón udává počet jeho vrstev. Liší se rozdílnými buňkami a druhem materiálu, který produkují. Nejen ocásek, ale i ampulla syntetizuje materiál. Nejdále od vývodu syntetizovaná látka tvoří střed vlákna a postupně k vývodu se vytváří materiál blíže k povrchu vlákna. Její důležitou funkcí je uchovávání materiálu do zásoby.

Dukt (kanálek):

- reabsorbuje vodu a inony sodíku
- pavouk pumpuje do duktu inony vodíku, které snižují pH acidifikuje (krystalizace proteinů) materiál
- srovnává proteiny
- tvoří se zde feromony pro komunikaci mezi jednotlivci – poslední vrstva vlákna

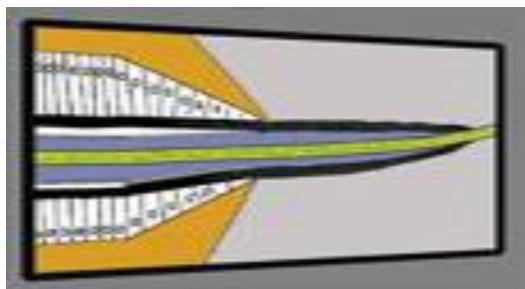
[1,4]

Stránka 16

[1, 4, 6, 8, 10, 13]

Spigot

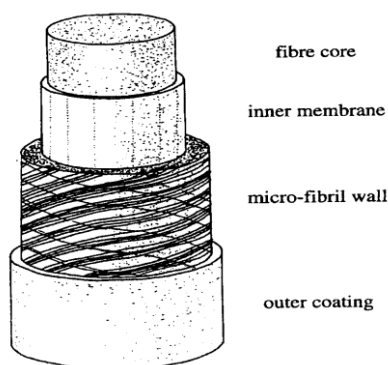
Je umístěn na snovacích bradavkách (pavouk jich má obvykle 6). Zachytává zbytky vody, aby zabránil vlastní dehydrataci a pro lepší vlastnosti vlákna. Dotýká se těsně vlákna, čímž definuje jeho maximální šířku. Pro pavouka je výhodné produkovat vlákno, z důvodu nenápadnosti a úspory materiálu.



Obr. 2.4 Spigot

2.2 Stavba vlákna

Jednotlivé vrstvy vlákna se tvoří již ve žláze, v jejíchž různých zónách se tvoří odlišné vrstvy vlákna. Podélné dutiny vznikají z kapének tuku, které dovedou zastavit praskání vlákna tím, že ho rozloží do stran odvést ho do stran, kde trhlina zanikne. Molekuly se spojují do nanovláken. Vlákno tvořené mnoha nanovlákeny je pevnější než vlákno z homogenního materiálu. Vnitřní dvě vrstvy tvoří proteiny. Následuje glykoproteinová vrstva, u které není zcela jasná její funkce. Může chránit vlákno před vlhkostí a praskáním nebo vláknu dodává lepkavý povrch. Poslední vrstvu tvoří feromony (snadno se setřou).

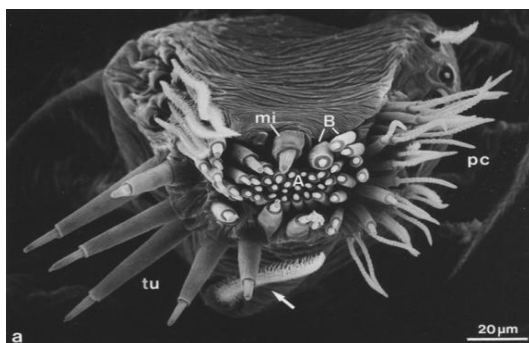


Obr. 2.5 Stavba vlákna

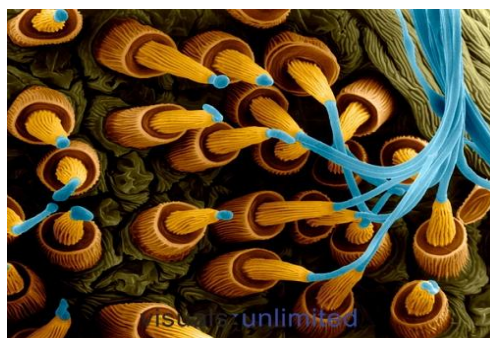
[4]

Snovací bradavky

Snovací žláza je zakončena tzv. spigotem na snovacích bradavkách – je to tryska. Vlastnosti produkovaného vlákna jsou určovány aktivitou různých druhů snovacích žláz, které ústí do bradavek.



Obr. 2.6 Snovací bradavky



Obr. 2.7 Snovací bradavky

Velké ampulovité žlázy (viz obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz, světle modrá):

Těmito ampulovitými žlázami disponují všichni vyspělejší pavouci, ale například sklípkaní je nemají. Ústí na předních snovacích bradavkách a tvoří nejpevnější vlákna, která jsou zároveň i pružná a jsou hlavním předmětem zkoumání této práce.

Použití:

- pavouci se na nich spouštějí a používají je jako vlečné lano
- pro křížáky jsou základním materiálem pro stavbu sítí, v kombinaci s jinými vlákny je používají na Baloning, přelétávají na nich stovky až tisíce kilometrů
- například u slídáků je toto vlákno prostředek pro komunikaci se samičkami, sameček se například informuje, zda prochází samička obdobím páření
- Běžníci rodu *Xysticus* svazují těmito vlákny samičku, aby zabránili kanibalismu a nestali se jejich potravou při páření
- pavouci rodu *Loxoscelles* produkují z těchto žláz vlákna ve tvaru stuhy pomocí zploštělého spigotu, tyto stuhy jsou vysoce adhezivní a slouží k lovu kořisti

[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

Malé ampulovité žlázy (viz obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz, světle červená):

Jsou podobné velkým ampulovitým žlázám. Používali je již primitivní pavouci jako podpůrná vlákna kribelového vlášení (druh vlákna). Křížáci je používají k tvorbě provizorní spirály.

Použití:

- jako součást rámu sítí, vlečného vlákna
- na tzv. bridging: tímto vláknem si vytvoří pevný ne příliš pružný most, po kterém cestují z rostliny na rostlinu, aniž by se museli spustit na zem
- křížáci používají tato vlákna na stavbu provizorní spirály sítí: pavouk nejdříve zhotoví radiální paprsková vlákna, na nich pomocnou spirálu, která není lepidivá sloužící ke stabilizaci sítě a pohybu po ní při samotné stavbě lepidivé spirály, nelepivou a provizorní síť zase sbalí

Periformní žlázy (viz obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz, tmavě modrá):

Ústí na postraních předních bradavkách, tam kde se nacházejí i velké ampulovité žlázy. Oba typy žláz spolu kooperují. Produkt periformních žláz je vlákno obalené rychleschnoucím lepem.

Použití: svoji úlohu plní přilepováním vláken velkých ampulovitých žláz

Aciniformní žlázy (viz obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz, oranžová):

Jsou velmi malé, ale ve velkém množství. Jejich ústí jsou uloženy na středních a zadních snovacích bradavkách. Nejsou lepidivé a umožňují tvorbu stěn.

Použití:

- pásy vláken jsou používány k rychlému zabalování kořisti
- jako lepidlo při přichycování spirálových vláken na paprskovitá = při nárazu kořisti tyto spoje prokluzují
- Lovčík hajní jimi zabaluje „svatební dar“ (zabalenou mouchu) pro samičku, ta se pustí do mouchy a samečka nesežere

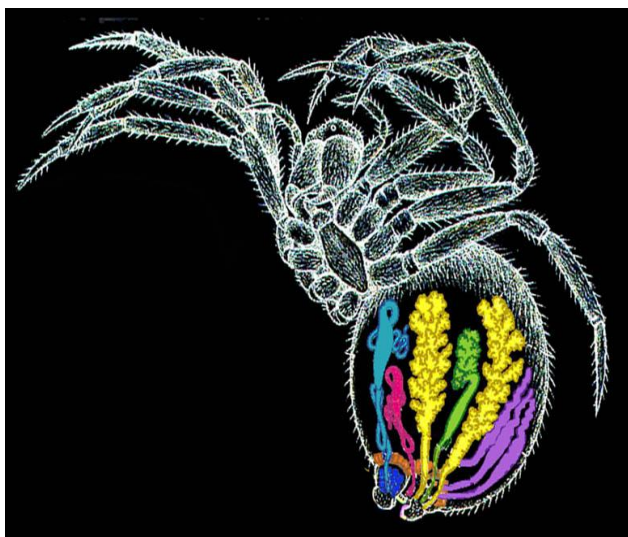
[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

Tubuliformní vlákna (viz obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz, fialová):

Jsou přítomná jen u dospělých samic. Zajímavé je, že vlákno se skládá ze dvou typů proteinů, které se vzájemně nemísí. Při řezu vláknem můžeme vidět fibrily v homogenním materiálu. Pavouk tohoto vlákna docílí produkováním dvou typů proteinů. V duktu se propojí jen kapénky stejného materiálu.

Vlákna jsou všestranně ochranná:

- vysoká hydrofobnost zajišťuje nesmáčivý kokon
- barevnost pohlcuje záření a tím se zahřívají vajíčka
- různé odstíny barev pomáhají splynout kokonu s přírodou
- repelentní účinky odpuzují predátory
- načechrání vláken stěny znemožní vosičkám do kokonů naklást svá vajíčka



Obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz

[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

Vlákna sloužící k a zachycení kořisti

Pavouci vyvinuli dva systémy adhezivních vláken:

- a) systém založený na kribelově vlášení
- b) systém lepivých kapek (křížáci)

2. Systém založený na kribelovém vlášení

Kribelum je snovací políčko, které má tvar příčné destičky. Je umístěno těsně před předními snovacími bradavkami. Vypadá jako sítko, vyúsťuje na něm velké množství mikroskopických žlázek. Skupina pavouků, u kterých se vytvořil tento snovací útvar, se nazývá kribelátní pavouci (cribelatae). Existuje 22 čeledí kribelátních pavouků. 8 čeledí se vyskytuje také v České republice.

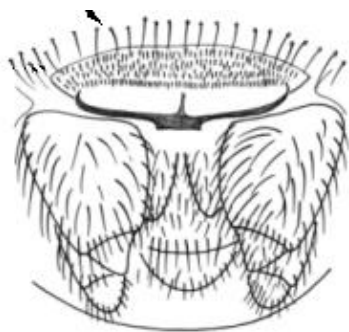
Nekribelátní pavouci mají místo kribela vyvinut kolulus. Jedná se o malý rudimentární hrbolek bez funkce.

Kribelátní pavouci pomocí kribela produkují zvláštní druh vlákna tzv. kribelové vlášení. Tato mikroskopická vlákna jsou 500x tenčí než vlákno jistící a pavouk jich produkuje tisíce. Kribelová vláčenka jsou adhezivní díky slabým nekovalentním vazbám (Van der Waalsovy síly a vodíkové můstky). Protože se jedná o velmi jemná vlákna, musí je pavouk něčím podložit. Připevňuje je na vlákna z malých ampulovitých žláz (kudrlinky). Na kudrlinky je lepí parakribelovými vlákny z parakribelových žláz, které ústí na snovacích bradavkách. K tomu, aby tyto tři druhy vláken byly rovnoměrně rozmístěny, používá ochlupené hřebínky na metatarsech 4. páru nohou. Metatarsy jsou články vedle chodidla. Hřebínky na těchto člancích používá k vyčesávání. Začíná u kribela, dále nabere vlákna z parakribelových žláz a z malých ampulovitých žláz a vyčesává tak dlouho, až vyčese celý pás zvlněných vláken. Takto vytvořený pás pokládá pavouk na rovná vlákna z pseudoflageliformních žláz.

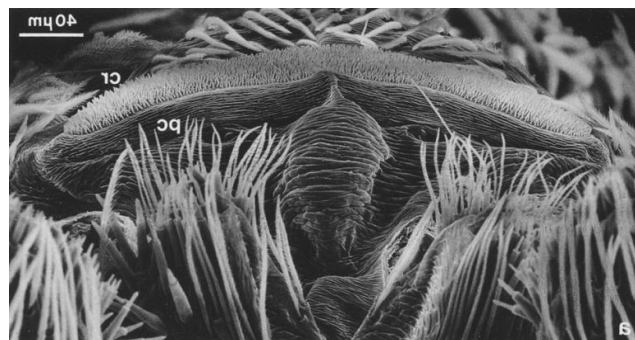
Adhezivní pás je tedy tvořený čtyřmi typy vláken: kribelovým vlášením, parakribelovými vlákny, vlákny z malých ampulovitých žláz a rovnými vlákny žláz pseudoflageliformních.

[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

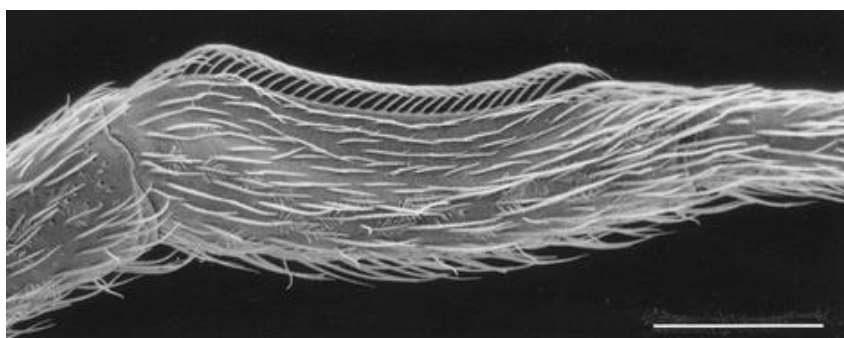
Kribelové vlákno pavouk nanáší na nosná vlákna, čímž pavučina získá namodralý nádech. Díky své přilnavosti zachytí kořist. Má tedy stejnou funkci jako lepivé kapičky na spirálových vláknech pavučin křížáků.



Obr. 2.9 Kribelum



Obr. 2.10 Umístění kribela



Obr. 2.11 Metatarsy čtvrtého páru nohou

2. Systém lepivých kapek

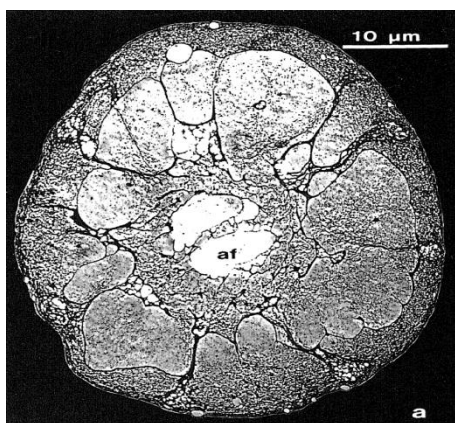
Tento systém je evolučně mladší. Má tyto výhody: pavouk je schopen tato lepivá vlákna vytvořit mnohem rychleji a spotřebuje menší množství materiálu než vlákna druhého systému.

Nevýhody: kapky lepu musí obsahovat esenciální aminokyseliny – to znamená pro pavouka ztrátu. Proto často síť recykluje – pojídá lep, aby získal zpět aminokyseliny (tuhá vlákna by nedokázal strávit) a rychlost schnutí lepivých kapiček. Rychlé schnutí jsou důvodem, proč křížáci staví každý den síť novou.

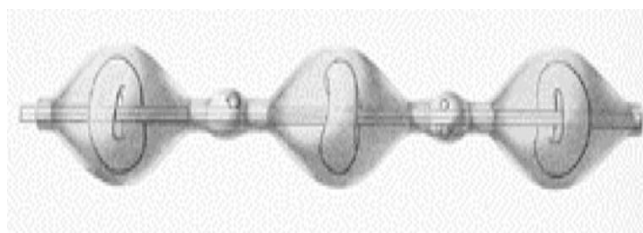
[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

Na tomto systému se podílejí dva typy žláz. Flageliforní žlázy produkují extrémně pružné vlákno. Díky své pružnosti dokážou pohltit kinetickou energii, při nárazu kořisti do pavučiny aniž by praskla. Kinetickou energii přemění v teplo a síť nekatapultuje pavouka zpět. Agregátní žlázy vytvářejí lep. Lep je hygroskopický – přijímá z atmosféry vlhkost. Hmota získá na objemu a lépe se rozpadá do kapek, které se mohou po osovém vlákně posouvat. Kapičky nejsou homogenní – je to vlastně produkt dvou flageliforních a čtyř agregátních žláz (jsou párové).

Průřez kapky: uprostřed se nacházejí vlákna flageliforních žláz, jsou obalena prstencem tvořeným glykoproteiny (glykoproteiny jsou adhezivní). Vně se nachází vodný roztok obsahující organické soli (např. gabamid) zodpovídající za hydrofobnost materiálu. Kapku pohromadě drží lipidová vrstva.



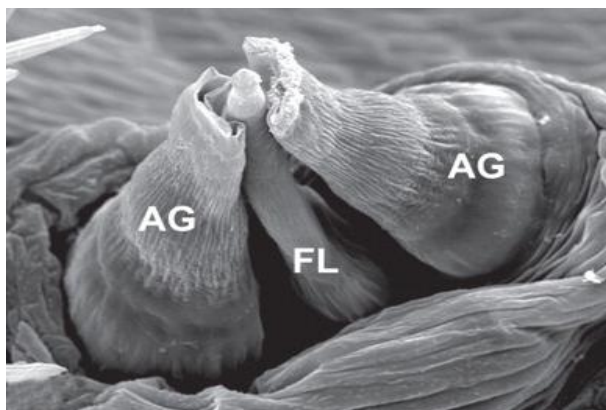
Obr. 2.12 Průřez lepidivé kapky



Obr. 2.13 Jednotlivé kapky na vlákně

[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]

Ústí agregátních žláz se nachází těsně vedle flageliforní žlázy, aby kapičky mohly být zároveň s tvorbou vlákna na něj nanášeny.



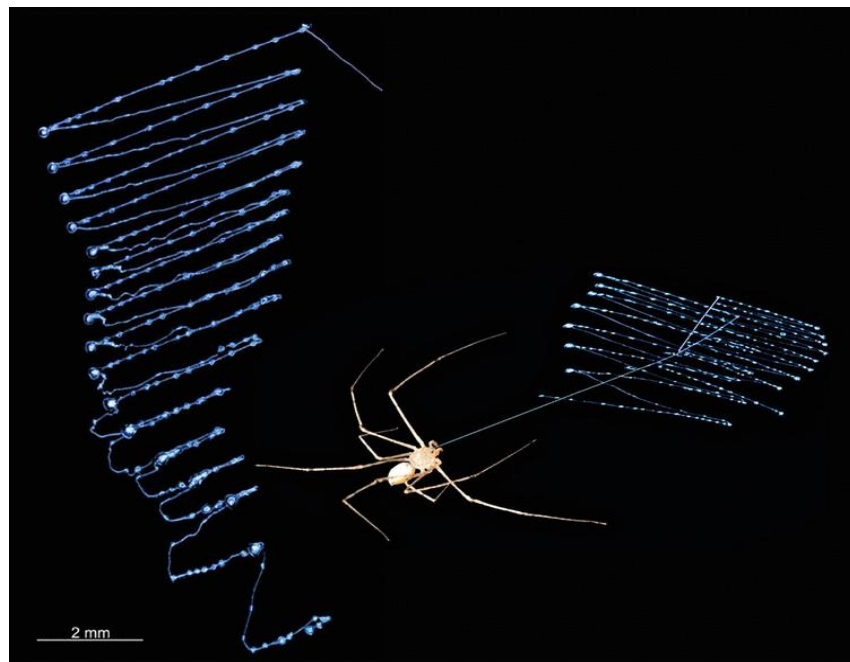
Obr. 2.14 Ústí agregátních žláz a flageliforní žlázy

U některých skupin se agregátní žlázy diversifikovaly. Např. u snovaček jedna žláza stále produkuje neschnoucí lep, který kladou na vlákénka. Po zachycení kořisti se vlákénko utrhne a vystřelí kořist do výšky, odkud si ho snovačka stáhne k sobě. Druhá žláza vytváří rychleschnoucí lep, kterým pavouk kořist znehybňuje – lep na něj nahází.

Křížáci rodu *Mastophora* nepředou síť, ale vytvářejí z lepivých vláken kuličku, kterou opatří napodobeninou feromonu samičky mûry. Samečci mûr se pod příslibem páření k této kuličce přiblíží, pavouk ji rozhoupe a mûry se na ni přilepí. Těmto křížákům se říká bolasoví pavouci díky způsobu lovu lepivou kuličkou, kterou používají jako bolaso.

Pavouci lepovky mají snovací žlázy v zadečku a jednu snovací žlázu, která je přetvořená ze žlázy jedové ústíci na chelicérách, (klepítkách) na hlavě. Přetvořená jedová žláza je velká, proto je přední část pavouka vyklenutá, aby se tam snovací žláza vešla. Lepovka na kořist chvějícími se chelicerami vyplivne lepivé vlákno, které se nanese na oběť cik cak a je schopné ji přilepit k podkladu. Toto se odehraje během 30 milisekund – lidským okem nezachytitelné.

[cit. RNDr. Milan Řezáč Ph.D.]



Obr. 2.15 Pavouk Lepovka při plivání vlákna

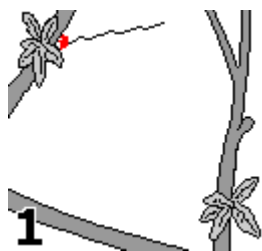
V těle jednoho pavouka můžeme najít až devět druhů snovacích žláz. Každá žláza obsahuje až čtyři sekreční zóny. Každá sekreční zóna produkuje minimálně dva typy materiálu, takže ani jedna vrstva není tvořena stejným materiálem. Vlastnosti i variabilita materiálu mohou být modifikované např. délkou duktu. Čím delší dukt je, tím jsou molekuly materiálu srovnanější, lépe zkrystalizované. Vliv může mít teplota prostředí, rychlost snování vlákna pavoukem, kterou sám ovládá.

[1, 2, 3, 4]

[cit. RNDr.Milan Řezáč Ph.D.]

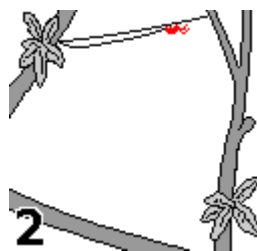
2. 3 Tvorba pavučin

Pavouk produkuje vlákna k různým účelům. Jedním z nich je kruhová pavučina křížáků pro lov potravy.



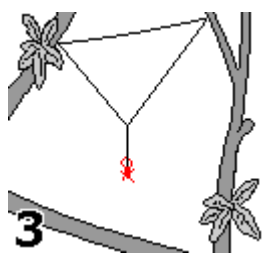
Obr. 2.16

Pavouk na vybraném místě vypustí vlákno, které vítr zachytí na jiném místě.



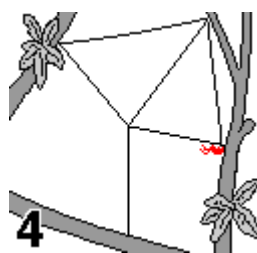
Obr. 2.17

Po tomto vláknu přelézá pavouk na druhou stranu a zároveň natahuje pevné nosné rámové vlákno.



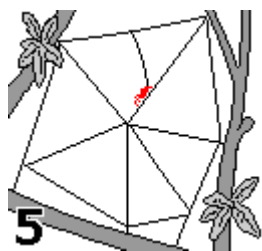
Obr. 2.18

Zde pavouk vytváří centrální bod pavučiny.



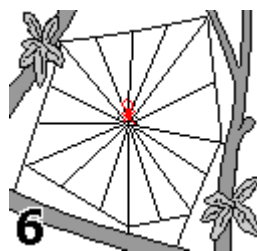
Obr. 2.19

Následně natahuje další rámové vlákno.



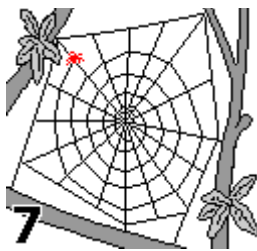
Obr. 2.20

Nyní staví diagonální paprsky a zároveň udržuje pavučinu ve stejnoměrném napětí.



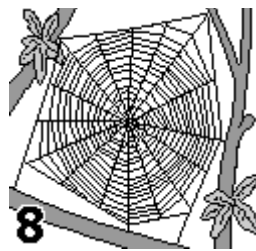
Obr. 2.21

Zhotovená základní kostra budoucí lepidé spirály.



Obr. 2.22

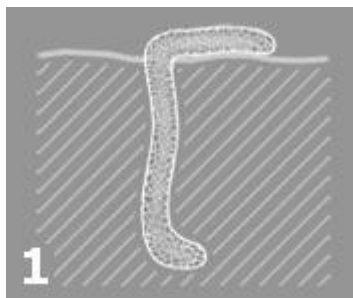
Nejdřív vytváří pomocnou nelepivou spirálu.



Obr. 2.23

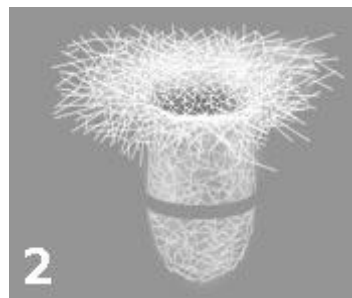
Okolo nelepivé spirály zhotoví lepicí spirálu.

Ukázky sítí různých druhů pavouků



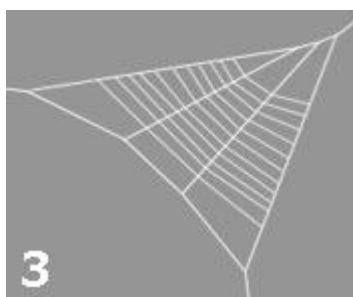
Obr. 2.24

Sklípkánci čeledi Atypidae loví kořist v nadzemní části rourky



Obr. 2.25

Stepníci, slídáci a punčoškáři staví také obytnou rourku



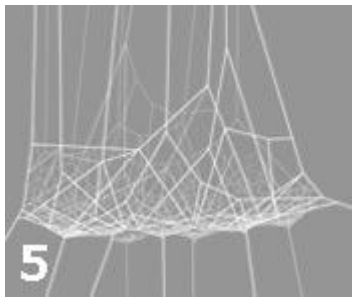
Obr. 2.26

Kribelátní křižák vytváří trojúhelníkovou pavučinu



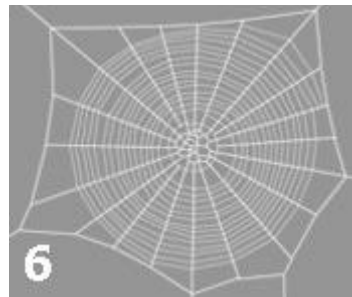
Obr. 2.27

Snovačky rodu Theridion zhotovují síť 3D



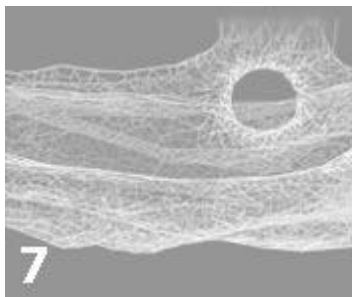
Obr. 2.28

Plachetnatky jsou trojrozměrných sítí



Obr. 2.29

majitelkami Kruhová síť Křížáka obecného



Obr. 2.30

Pokoutní síť pokoutníků



Obr. 2.31

Vodouch stříbřitý *Argyroneta aquatica* je autorem podvodního zvonu



Obr. 2.32

Cedivečkovití kribelátní pavouci tvoří kribelátní vlášení na silnějších vláknech pavučiny

[5, 6, 7, 8]

3 Experiment zjišťování geometrických vlastností pavoučích vláken

3.1 Přípravné práce

Pavoučí vlákna se mohou snadno poškodit nebo úplně zničit. Nejdříve byly sbírána vlákna Křížáka obecného (*Araneus diadematus*) z čeledi křížákovití.



Obr. 3.1 Křížák obecný (*Araneus diadematus*)

Tento pavouk je nejznámějším a nevyskytovanějším pavoukem v Čechách. Křížák tká kolovou pavučinu, která se skládá z radiálních (paprskovitých) a spirálových vláken. Předmětem zkoumání byla vlákna radiální. Jsou nelepivá a tvoří skelet pro vlákna spirálová.

3.2 Sběr pavoučích vláken - nácvik

Pod vybrané vlákno byla vložena černá kartička s obdélníkovým otvorem tak, aby vlákno bylo napnuté přes otvor. Na obou stranách se vlákno zafixovalo vteřinovým lepidlem a oddělilo se od pavučiny tužkovou pájkou nebo ostrou žiletkou. Kartičky s vlákny byly ukládány do sběrných krabic k tomuto účelu určených (viz obr. 3.2).



Obr. 3.2 Kartičky s nasbíranými vlákny



Obr. 3.3 Pomůcky pro sběr vláken

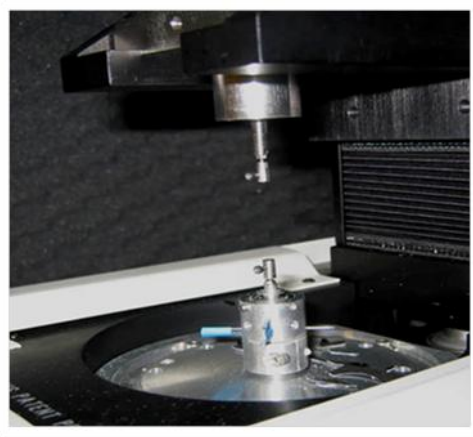
3.3 Zjišťování fyzikálních vlastností vláken pomocí přístroje Bionix Tensile Tester

Pavoučí vlákno je díky svým fyzikálním vlastnostem úžasný materiál. Tyto vlastnosti se měří na přístrojích označovaných tensile tester. Mezi dva držáky se upevní vlákno, zařízení držáky od sebe vzdaluje konstantní rychlostí a měří změny napětí v materiálu až do doby než vzorek praskne. Napětí je vztaženo na plochu průřezu, aby nehrálo žádnou roli množství materiálu, ale právě jen fyzikální vlastnosti. Výsledky jsou porovnatelné.

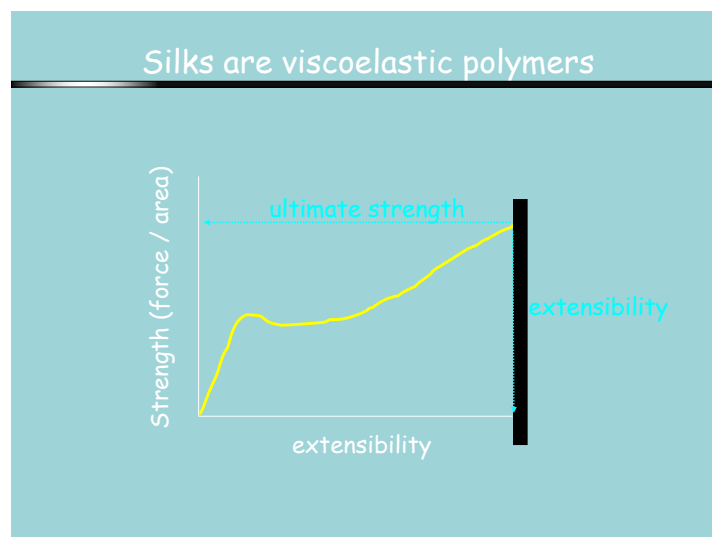
Základní parametry fyzikálních vlastností jsou **pevnost a elasticita**.

Strength je síla, které je materiál schopný odolat než praskne.

Toughness je množství energie, kterou materiál pohltí dříve než praskne. A právě v ní pavoučí vlákno mnohonásobně překoná ocelové vlákno. Vždyť pavučina dokáže např. zachytit kořist letící 20 km/h.

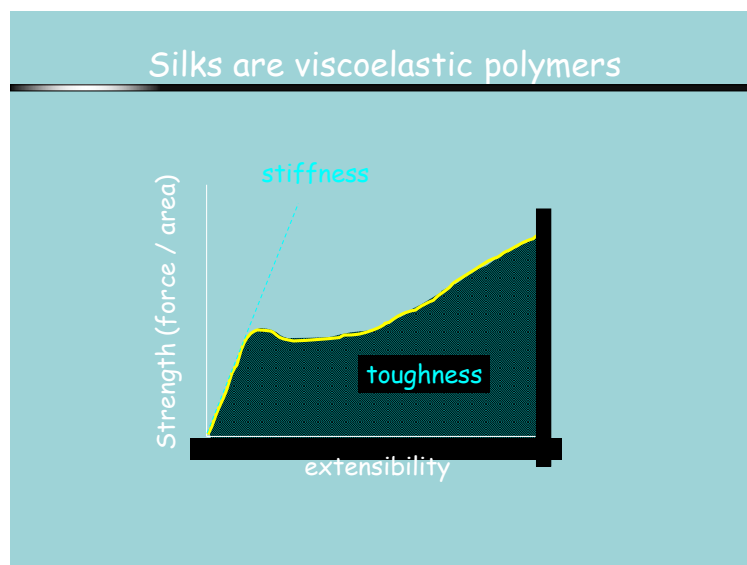


Obr. 3.4 Nano Bionix tensile tester



Obr. 3.5 Graf napínání vlákna

- osa Y značí napětí vztažené na plochu průřezu vlákna
- osa X značí natahování
- sklon přímky na začátku natahování vyjadřuje tuhost materiálu, čím je strmější, je materiál tužší
- za vrcholkem dochází ke změně tuhosti a vnitřním změnám
- z konečného bodu lze odečíst sílu při prasknutí



Obr. 3.6 Energie vlákna

Z plochy pod křivkou se dá vypočítat toughness = energie, kterou materiál pohltí než praskne
Za tyto fyzikální vlastnosti je zodpovědné chemické složení vlákna a jeho konformace.

Tabulka 3.1 Přehled příkladů pevnosti u některých čeledí pavouků

Čeleď pavouka	Pevnost vlákna – STRENGTH [MPa]
Agelenopsis	958,45 ± 349,53
Argiope	1463,45 ± 230,96
Dysdera	544,59 ± 357,07
Hypochilus	944,87 ± 377,38
Latrodectus	1440,68 ± 310,18
Peucetia	1088,82 ± 289,54

[1, 2, 4, 11]

3.4 Zkoumání vláken různých čeledí pavouků

Pod binokulární lupou byla vlákna z kartiček pokládána na měděné trny, které byly předem opatřeny oboustrannou lepicí páskou. Na pásce byl přitisknut nepatrný, uštířžený kousek záclony. Vlákna svou vlastní přilnavostí na zácloně zůstala zachycena. Takto připravené trny s vlákny byly nalepeny na oboustrannou lepicí pásku do krabice a odvezeny do laboratoře elektronové mikroskopie. Zde byly trny s vlákny pozlaceny. Takto připravená pozlacená vlákna byla vyfocena v rastrovacím elektronovém mikroskopu SEM JEOL 6380 LV v laboratoři elektronové mikroskopie Karlovy univerzity v Praze 2. Pracovalo se ve vysokovakuovém režimu a byly detekovány sekundární elektrony. Tento mikroskop disponuje maximálním zvětšením 300 000x a maximálním rozlišením 3nm.



Obr. 3.7
Měděné trny



Obr. 3.8
Měděné trny pozlacené

Vyfocená vlákna byla zpracována a jejich data vyhodnocena v programu AnalySIS od firmy Soft Imaging System GmbH.

Technické údaje:

- pro každý vzorek bylo použito jiné urychlovací napětí a zvětšení v závislosti na kvalitě snímku
- urychlovací napětí 20 KV, 25 KV
- zvětšení 500 x – 12000 x
- 1 – 20 μm



Obr. 3.9

Skenovací elektronový
mikroskop **JEOL 6380 LV**



Obr. 3.10

Naprašovací zařízení **Bal-Tec SCD 050**

[10]

3.5 Údaje podmínek sběru vláken

Tabulka 3.2 Podmínky sběru sledovaných vláken

Pavouk - čeleď	Místo sběru vláken (stát)	Ontogenetické stádium pavouka	Podmínky sběru	Datum sběru
Agelenopsis	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Amaurobius	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Anyphaena	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Argione walk	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Diguetia	USA: TX (firma SpiderPharm)	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Dysdera	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Eresus	ČR: Praha	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Hipochilus	USA: PA: Appalachians	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Linyphia	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Peucetia	USA: TX (firma SpiderPharm)	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Pisaura	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Salticus	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Tetragnatha	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Thomisid	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Titanocea	ČR: Praha	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Agelenopsis	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Amaurobius	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Anyphaena	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Argione walk	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Diguetia	USA: TX (firma SpiderPharm)	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010

Tabulka 3.2 - pokračování

Pavouk - čeleď	Místo sběru vláken (stát, kontinent)	Ontogenetické stádium pavouka	Podmínky sběru	Datum sběru
Dysdera	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Eresus	ČR: Praha	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Hipochilus	USA: PA: Appalachians	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Linyphia	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Peucetia	USA: TX (firma SpiderPharm)	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Pisaura	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Salticus	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Tetragnatha	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Thomisid	USA: OH: Akron	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010
Titanocea	ČR: Praha	Dospělá samice	T = 22°C RH = 50%	2010

3.6 Výsledky měření průměrů sledovaných vláken

Tabulka 3.3 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Agelenopsis

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Agelenopsis č. 1	14,11	0,87	6,17	(14,12 – 14,10)
Agelenopsis č. 2	15,63	1,01	6,5	(15,63 – 15,62)
Agelenopsis č. 3	45,28	6,48	14,31	(45,31 – 45,21)
Agelenopsis č. 4	15,92	0,26	1,6	(15,92 – 15,91)
Agelenopsis č. 5	16,57	21,84	131,80	(16,74 – 16,40)

Tabulka 3.4 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Amaurobius

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Amaurobius č. 1	7,9	0,36	4,5	(7,9 – 7,89)
Amaurobius č. 2	16,16	0,53	3,25	(16,16 – 16,15)
Amaurobius č. 3	1,6	0,05	3,09	(1,6 – 1,59)
Amaurobius č. 4	20,1	1,17	5,82	(20,11 – 20,09)
Amaurobius č. 5	8,94	0,17	1,93	(8,94 – 8,93)

Tabulka 3.5 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Anyphaena

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Anyphaena č. 1	11,5	0,58	5,02	(11,49 – 11,48)
Anyphaena č. 2	10,62	0,87	8,2	(10,62 – 10,60)
Anyphaena č. 3	19,35	0,79	4,05	(19,35 – 19,34)
Anyphaena č. 4	14,72	0,84	5,69	(14,73 – 1471)
Anyphaena č. 5	4,26	0,39	9,10	(4,26 – 4,25)

Tabulka 3.6 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Argiope

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Argiope č. 1	10,55	0,41	3,89	(10,55 – 10,54)
Argiope č. 2	3,03	0,94	31,13	(3,03 – 3,01)
Argiope č. 3	4,58	0,26	5,68	(4,58 – 4,57)

Tabulka 3.7 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Diguetia

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Diguetia č. 1	9,34	0,43	4,64	(9,35 – 9,34)
Diguetia č. 2	1,76	0,2	11,58	(1,76 – 1,75)
Diguetia č. 3	26,26	0,58	2,20	(26,27 – 26,26)
Diguetia č. 4	18,35	0,52	2,82	(18,35 – 18,34)
Diguetia č. 5	19,05	0,5	2,61	(19,05 – 19,04)

Tabulka 3.8 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Dysdera

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Dysdera č. 1	0,25	0,03	14,40	(0,25 – 0,25)
Dysdera č. 2	9,04	1,27	14,11	(9,05 – 9,03)
Dysdera č. 3	0,02	0,001	8,75	(0,02 – 0,02)
Dysdera č. 4	25,9	2,47	9,55	(25,92 – 25,88)

Tabulka 3.9 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Eresus

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Eresus č. 1	23,92	0,36	1,50	(23,92 – 23,91)
Eresus č. 2	3,53	0,27	7,62	(3,53 – 3,52)
Eresus č. 3	12,58	0,48	3,83	(12,59 – 12,58)
Eresus č. 4	11,57	0,3	2,61	(11,58 – 11,57)

Tabulka 3.10 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Hypochilus

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Hypochilus č. 1	2,25	0,13	5,58	(2,25 – 2,24)
Hypochilus č. 2	8,18	0,25	3,11	(8,18 – 8,17)
Hypochilus č. 3	2,29	0,28	12,17	(2,21 – 2,28)
Hypochilus č. 4	5,42	0,15	2,86	(5,42 – 5,41)

Tabulka 3.11 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Lathrodectus

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Lathrodectus	2,5	0,29	11,5	(2,5 – 2,49)

Tabulka 3.12 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Linyphia

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Linyphia č. 1	17,84	0,52	2,92	(1,79 – 1,78)
Linyphia č. 2	11,64	0,26	2,26	(11,64 – 11,63)
Linyphia č. 3	24,22	2,46	10,16	(24,23 – 24,19)
Linyphia č. 4	4,74	3,68	77,63	(4,77 – 4,71)
Linyphia č. 5	37,96	2,48	6,55	(37,98 – 37,95)

Tabulka 3.13 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Lycosid

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Lycosid	14,95	5,66	37,86	(14,99 – 14,90)

Tabulka 3.14 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Peucetia

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Peucetia č. 1	13,33	0,28	2,08	(13,33 – 13,32)
Peucetia č. 2	21,83	0,42	1,93	(21,83 – 21,82)
Peucetia č. 3	14,8	0,14	0,91	(14,8 – 14,79)
Peucetia č. 4	26,65	1,00	3,77	(26,65 – 26,64)
Peucetia č. 5	19,41	0,46	2,37	(19,41 – 19,40)

Tabulka 3.15 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Pisaura

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Pisaura č. 1	7,48	0,25	3,38	(7,48 – 7,47)
Pisaura č. 2	29,7	1,02	3,43	(29,7 – 29,6)
Pisaura č. 3	18,95	1,14	5,99	(18,95 – 18,93)
Pisaura č. 4	3,98	0,34	8,60	(3,98 – 3,97)
Pisaura č. 5	37,2	0,65	1,74	(37,20 – 37,19)

Tabulka 3.16 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Salticid

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Salticid č. 1	21,04	0,87	4,13	(21,05 – 21,03)
Salticid č. 2	9,23	0,53	5,79	(9,23 – 9,22)
Salticid č. 3	5,48	0,22	3,98	(5,48 – 5,47)
Salticid č. 4	29,96	0,32	1,07	(29,96 – 29,95)
Salticid č. 5	5,51	0,14	2,63	(5,51 – 5,51)

Tabulka 3.17 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Tetragnatha

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Tetragnatha č. 1	5,83	0,26	4,50	(5,83 – 5,82)
Tetragnatha č. 2	2,34	0,25	10,48	(2,35 – 2,34)
Tetragnatha č. 3	4,03	0,12	2,95	(4,02 – 4,02)

Tabulka 3.18 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Thomisid

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Thomisid č. 1	10,31	0,15	1,43	(10,31 – 10,30)
Thomisid č. 2	0,76	0,03	3,41	(0,76 – 0,76)
Thomisid č. 3	1,65	0,02	1,45	(1,65 – 1,65)

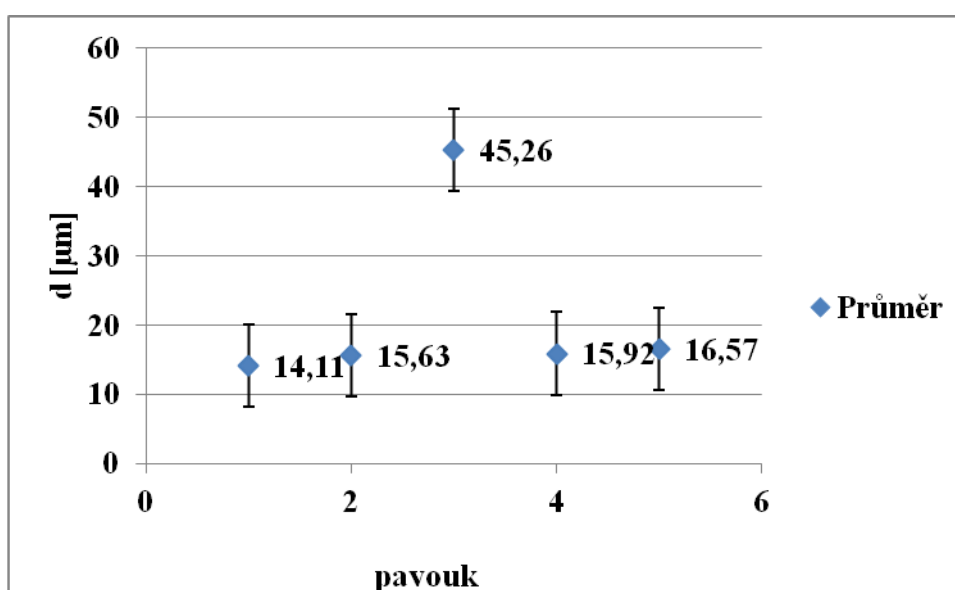
Tabulka 3.19 Základní statistika průměrů [μm] vlákna pavouka Titanoea

Vzorek	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Variační koeficient [%]	Interval spolehlivosti [μm]
Titanocea č. 1	2,69	0,22	8,31	(2,69 – 2,69)
Titanocea č. 2	2,97	0,23	7,71	(2,97 – 2,96)
Titanocea č. 3	3,72	0,21	5,68	(3,72 – 3,71)
Titanocea č. 4	22,37	1,29	5,78	(22,37 – 22,35)
Titanocea č. 5	16,8	0,29	1,74	(16,8 – 16,8)

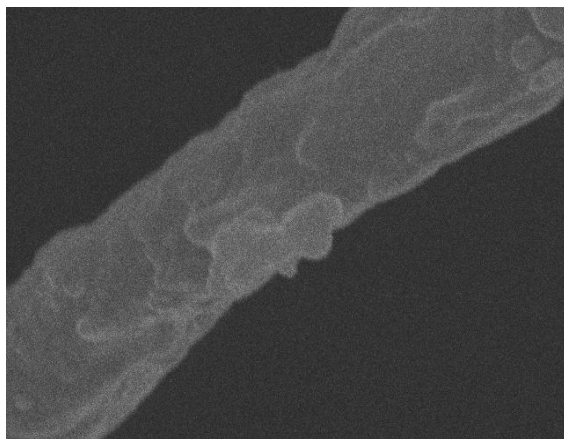
Tabulka 3.20 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Agelenopsis

AGELENOPSIS					
Čeď pavouka	Agelenopsis č.1	Agelenopsis č.2	Agelenopsis č.3	Agelenopsis č.4	Agelenopsis č.5
Průměr vlákna [μm]	14,11	15,63	45,26	15,92	16,57
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,87	1,01	6,48	0,26	21,84
Povrch vlákna	vrásčitý, překroucené, vlákno	vrásčitý	nerovný s výstupky	hladký	hladký s nečistotami

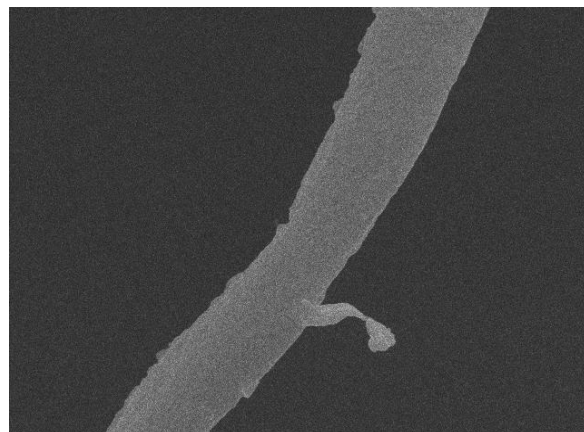
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.11 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Agelenopsis



a



b

Obr. 3.12 *Agelenopsis*

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení x 500 – x 12000 v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

Obr. 3.13 *Agelenopsis* – pavouk v různých situacích

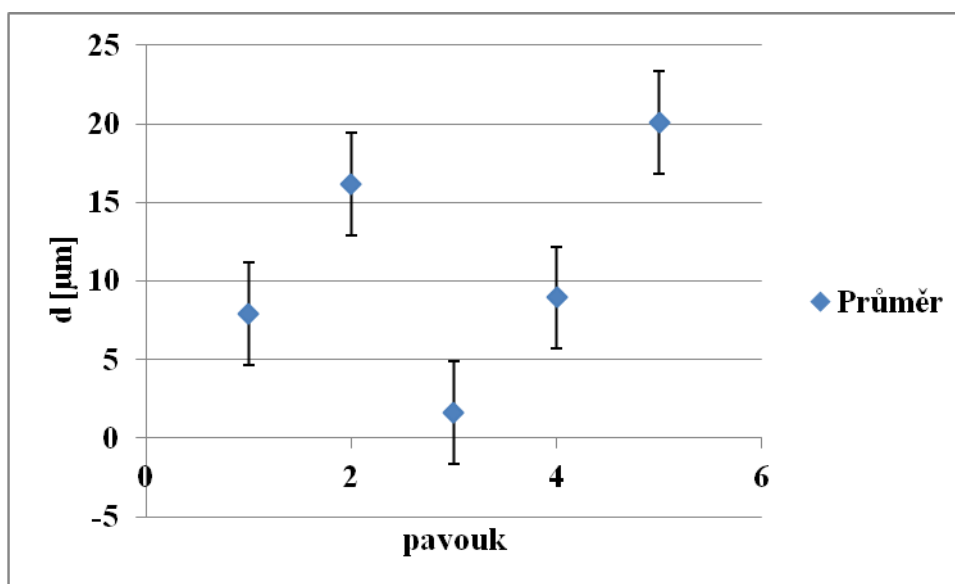
Komentář:

Vlákna vzorků čeledi *Agelenopsis* mají ve většině případů povrch hladký (viz obr. 3.12.b), který přechází až v povrch vrásčitý. Hodnotou průměru jsou vlákna 1,2,4,5 srovnatelná, dochází i k překrytí intervalů spolehlivosti. U vlákna číslo 3 je průměr vlákna větší a také je jeho povrch více nerovný s výstupky (viz obr. 3.12.a). Pavouk ho pravděpodobně vytvořil v situaci, kdy potřeboval mnohem silnější vlákno než obvykle.

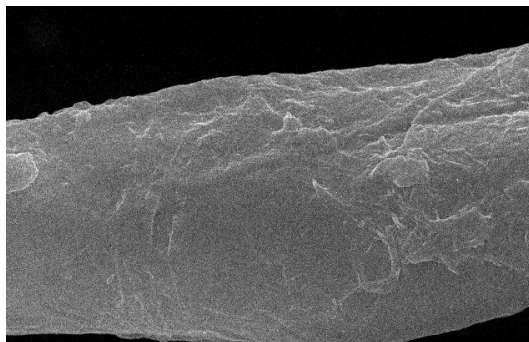
Tabulka 3.21 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Amaurobius

AMAUROBIUS					
Čeď pavouka	Amaurobius č. 1	Amaurobius č. 2	Amaurobius č.3	Amaurobius č. 4	Amaurobius č. 5
Průměr vláknů [μm]	7,90	16,16	1,60	8,94	20,10
Směrodatná odchylka vláknů [μm]	0,36	0,53	0,05	0,17	1,17
Povrch vláknů	šupinkovitě vrstvený	vrásčitý až šupinkovitý, vlákno prohnuté zakroucené	hladký	hladký s drobnými nečistotami	nerovné vlákno, povrch hrubý, vrásčitý

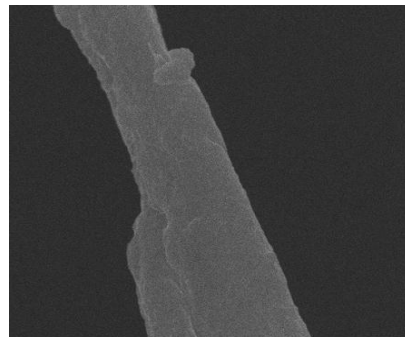
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.14 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Amaurobius



a



b

Obr. 3.15 Amaurobius

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

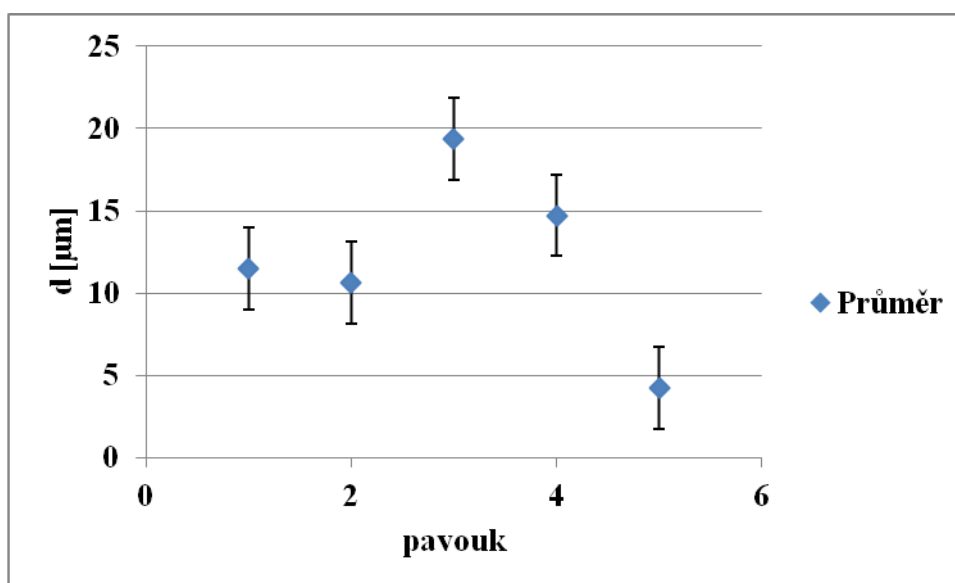
Obr. 3.16 Amaurobius - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Amaurobius mají povrch hrubý a vrásčitý (viz obr. 3.15.a). Hodnotou průměru jsou různorodá a nesouměrná (viz obr.3.15.b).

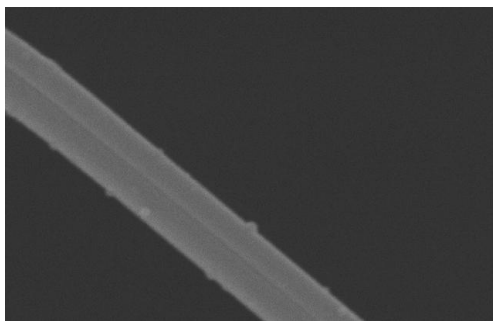
Tabulka 3.22 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Anyphaena

ANYPHAENA					
Čeď pavouka	Anyphaena č. 1	Anyphaena č. 2	Anyphaena č. 3	Anyphaena č. 4	Anyphaena č. 5
Průměr vlákn [μm]	11,49	10,62	19,35	14,72	4,26
Směrodatná odchylka vlákn [μm]	0,58	0,87	0,79	0,84	0,39
Povrch vlákn	plastický s rýhami naznačujícími fibrily	hrudkovitý, vlákno v rotačně stočené	hladký, mapovitý	mapovitý	nerovný s plošinkami

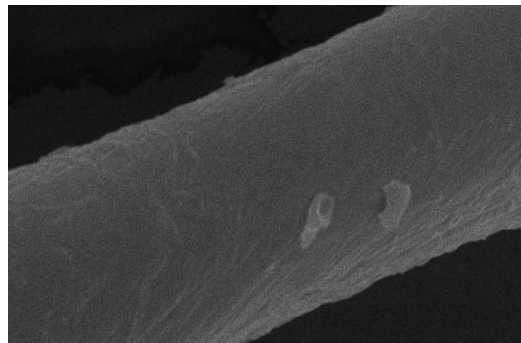
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.17 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Anyphaena



a



b

Obr. 3.18 Anyphaena

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

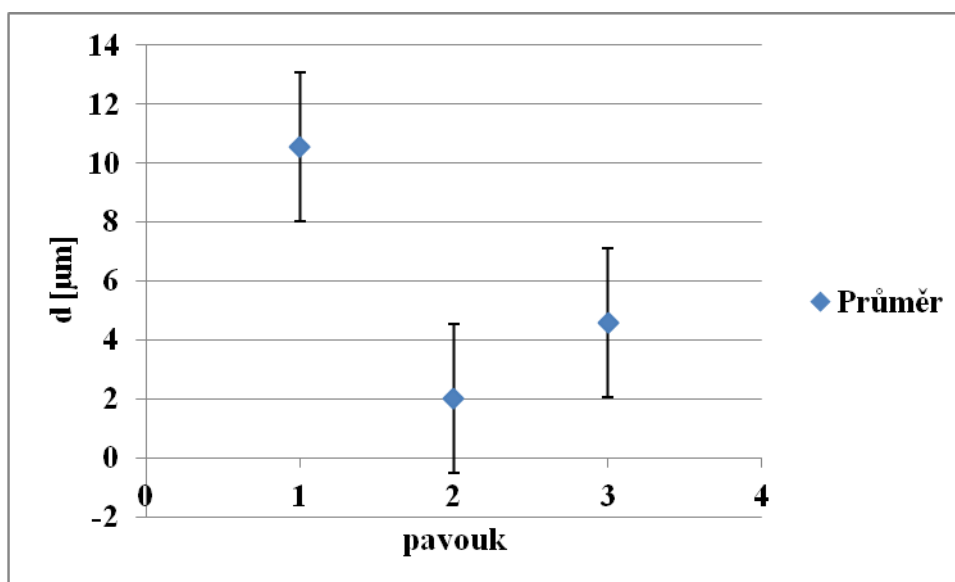
Obr. 3.19 Anyphaena - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Anyphaena mají povrch plastický s rýhami, které naznačují jednotlivé fibrily (viz obr.3.18.a). Při větším zvětšení je vidět povrch mapovitý a vlákno mírně rotačně stočené (viz obr.3.18.b). Hodnotou průměru jsou vlákna různá.

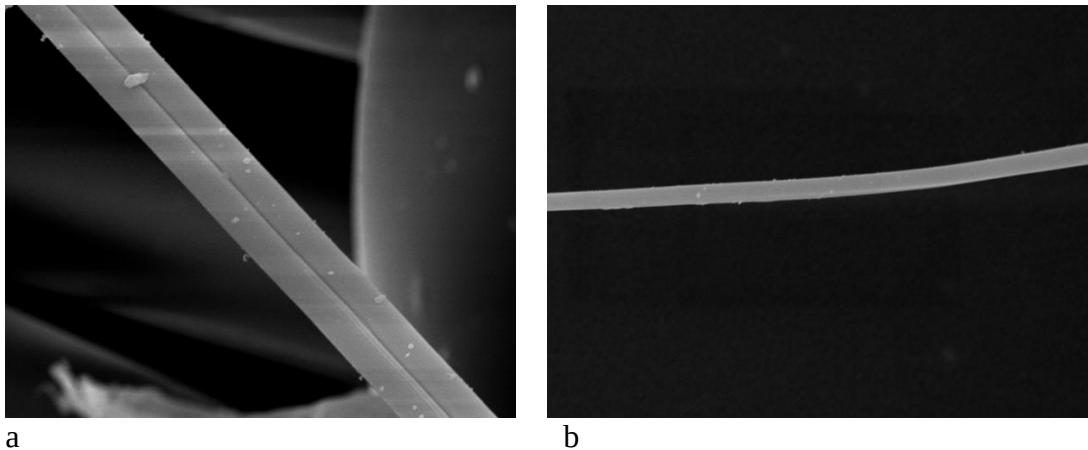
Tabulka č. 3.23 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Argiope

ARGIOPE			
Čeď pavouka	Argiope 1	Argiope 2	Argiope 3
Průměr vlákna [μm]	10,55	3,03	4,58
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,41	0,94	0,26
Povrch vlákna	hladký s nečistotami, krásně viditelná vlákna dvě vedle sebe	hladký s jednou rýhou na spodním vlákně a nečistotami	hladký s přilepenými nečistotami

Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.20 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Argiope



Obr. 3.21

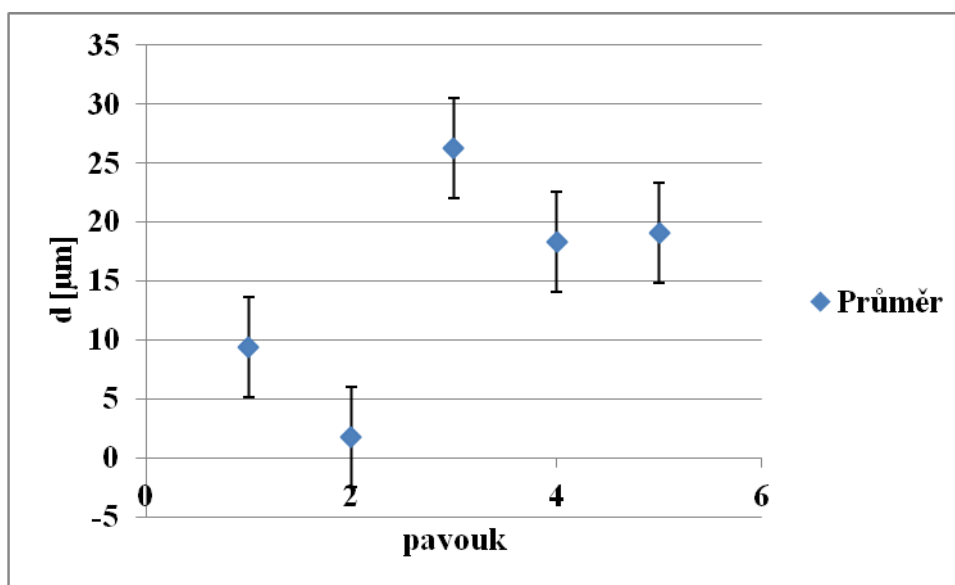
Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Argiope mají povrch hladký s viditelnými dvěma fibrilami (viz obr.3.21.a). Hodnotou průměru jsou odlišná v závislosti na počtu fibril obsažených ve vlákně (viz obr.3.21.b)

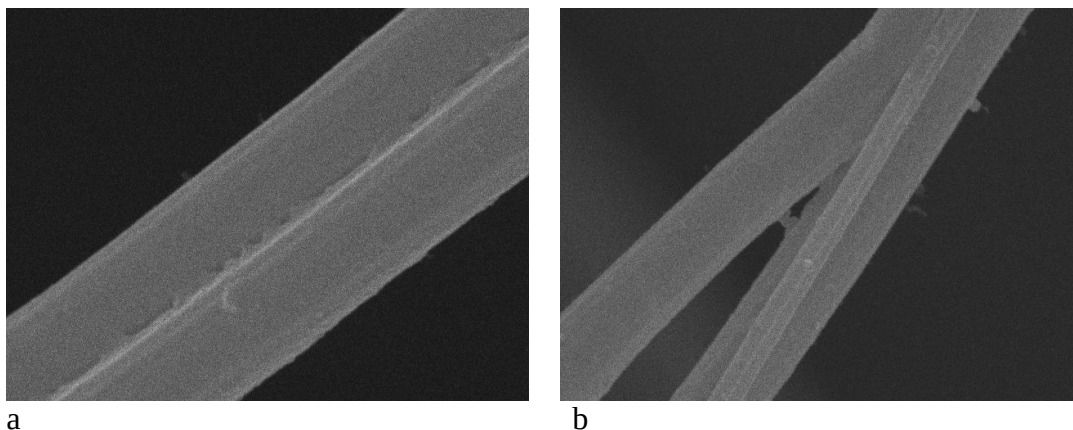
Tabulka č. 3.24 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Diguetia

DIGUETIA					
Čeď pavouka	Diguetia č. 1	Diguetia č. 2	Diguetia č. 3	Diguetia č. 4	Diguetia č. 5
Průměr vlákna [μm]	9,34	1,76	26,26	18,35	19,05
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,43	0,20	0,58	0,52	0,5
Povrch vlákna	hladký s nečistotami, vlákno se znatelnými fibrilami	hladký	mrakovitý, dvě slepená vlákna	nerovný s výstupky	hladký

Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.22 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Diguetia



a
Obr. 3.23 Diguetia

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



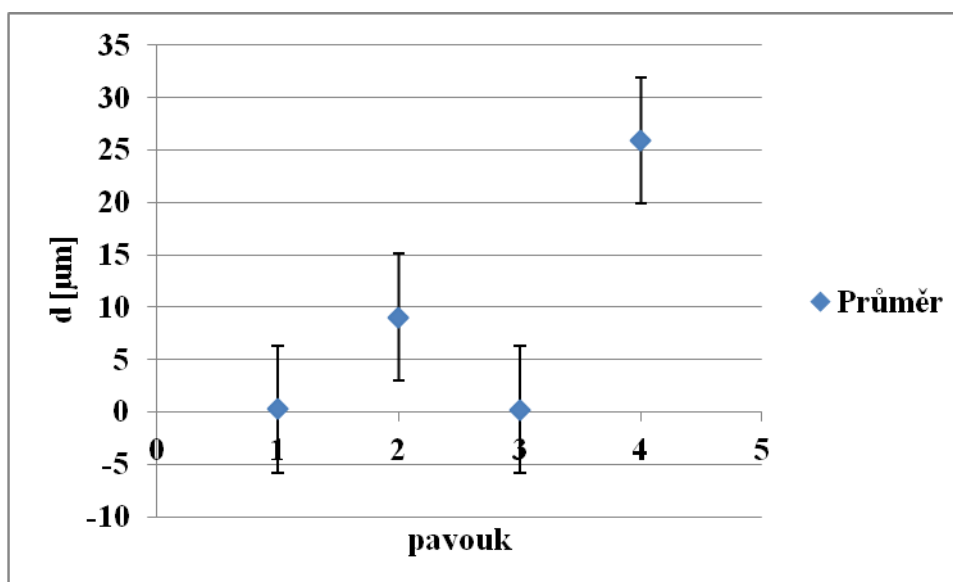
c
Obr. 3.24 Diguetia - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Diguetia mají hladký povrch se znatelnými fibrilami (viz obr.3.23.a). Hodnotou průměru jsou rozmanitá v závislosti na počtu fibril a jejich průměru (viz obr.3.24b).

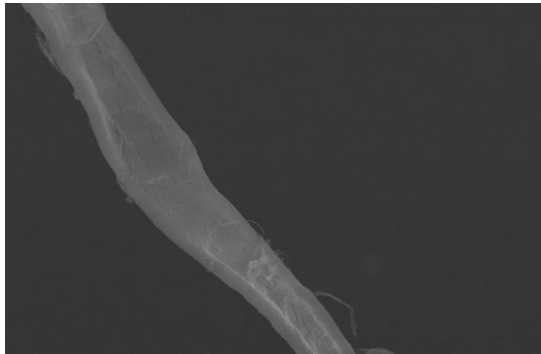
Tabulka č. 3.25 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Dysdera

DYSDERA				
Čeď pavouka	Dysdera č. 1	Dysdera č. 2	Dysdera č. 3	Dysdera č. 4
Průměr vlákna [μm]	0,25	9,04	0,02	25,90
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,03	1,27	0,001	2,47
Povrch vlákna	vlákno se znatelnými podélnými vrstvičkami	hrbolatý s prasklinkami, vlákno se silnějšími okraji	hladký, větší množství nečistot	hladký, vlákno s nerovnými kraji, nečistoty

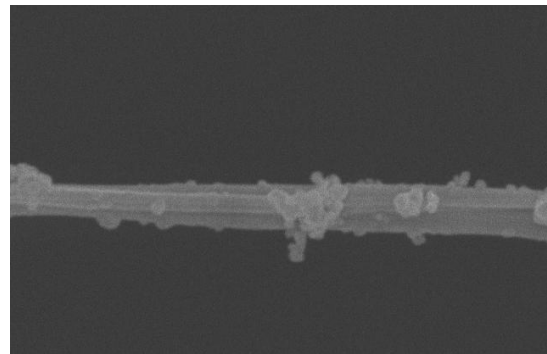
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.25 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Dysdera



a



b

Obr. 3.26 Dysdera

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

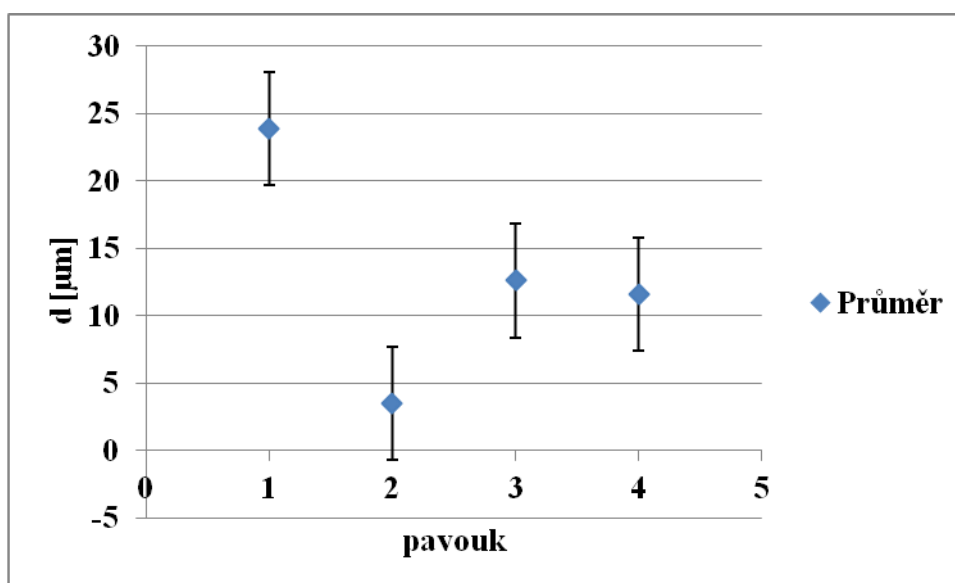
Obr. 3.27 Dysdera - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi dysdera mají povrch hrboletý se silnějšími okraji (viz obr.3.26.a), tvořené více fibrilami. Hodnotou průměru jsou vlákna různá v závislosti počtu fibril (viz obr.3.26.b).

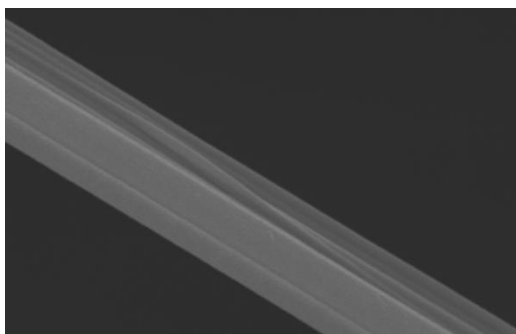
Tabulka č. 3.26 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Eresus

ERESUS				
Čeď pavouka	Eresus č. 1	Eresus č. 2	Eresus č. 3	Eresus č. 4
Průměr vlákna [μm]	23,92	3,53	12,58	11,57
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,36	0,27	0,48	0,30
Povrch vlákna	hladký s nečistotami	hladký, drobné nečistoty	hladký, drobné nečistoty	hladký s viditelnými vrstvičkami

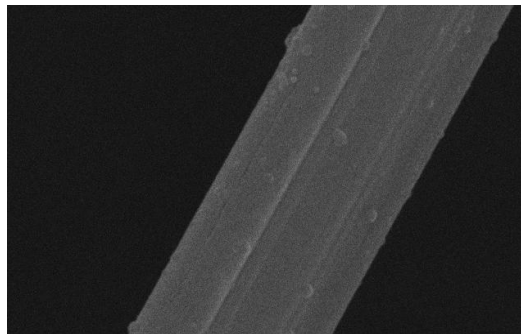
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.28 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Eresus



a



b

Obr. 3.29 Eresus

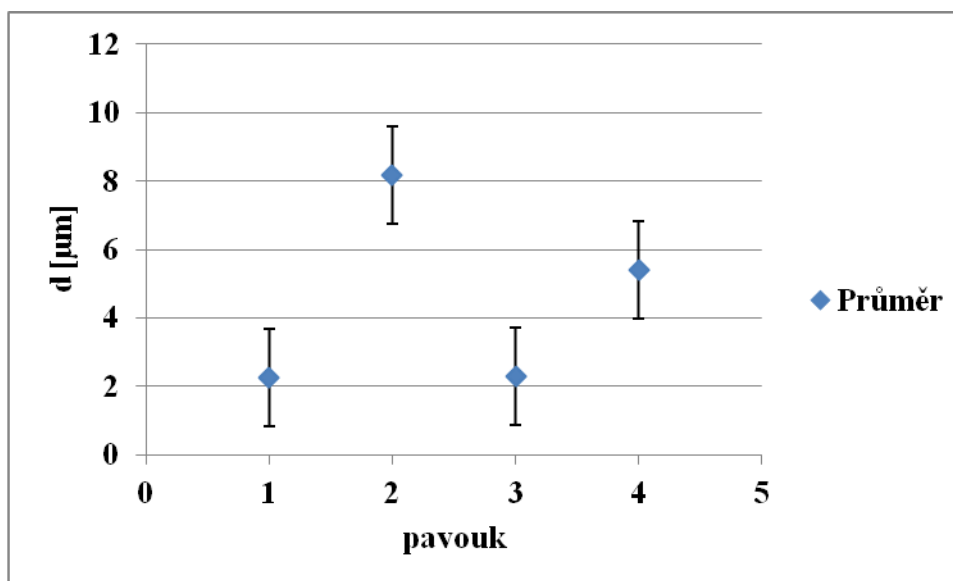
Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Eresus mají hladký povrch s viditelnými fibrilami (viz obr.3.29.a), s drobnými nečistotami (viz obr.3.29.b). Hodnotou průměru jsou rozdílná v závislosti na počtu fibril.

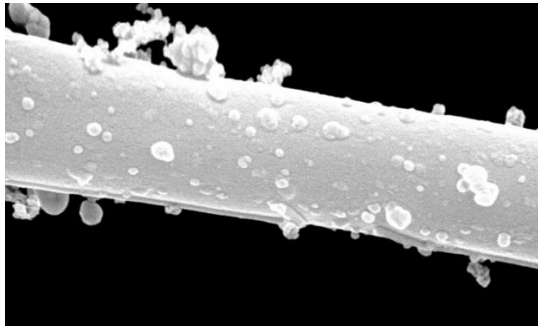
Tabulka č. 3.27 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Hypochilus

HYPOCHILUS				
Čeď pavouka	Hypochilus č. 1	Hypochilus č. 2	Hypochilus č. 3	Hypochilus č. 4
Průměr vlákn [μm]	2,25	8,18	2,28	5,42
Směrodatná odchylka vlákn [μm]	0,13	0,25	0,28	0,15
Povrch vlákn	hrudkovitý, porézní, s drobnými nalepenými nečistotami	viditelné jednotlivé fibrily s porézním povrchem a nečistotami	plastické mapování, rýha, nečistoty	krupkovitý, zřetelně oddělené fibrily,

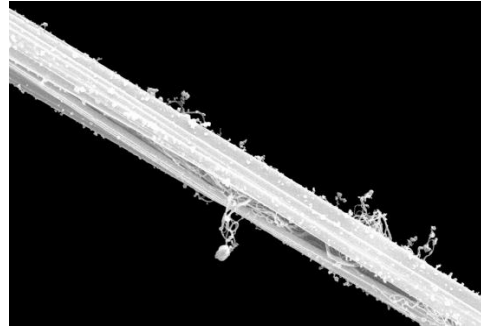
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.30 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Hypochilus



a



b

Obr. 3.31 Hypochilus

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c

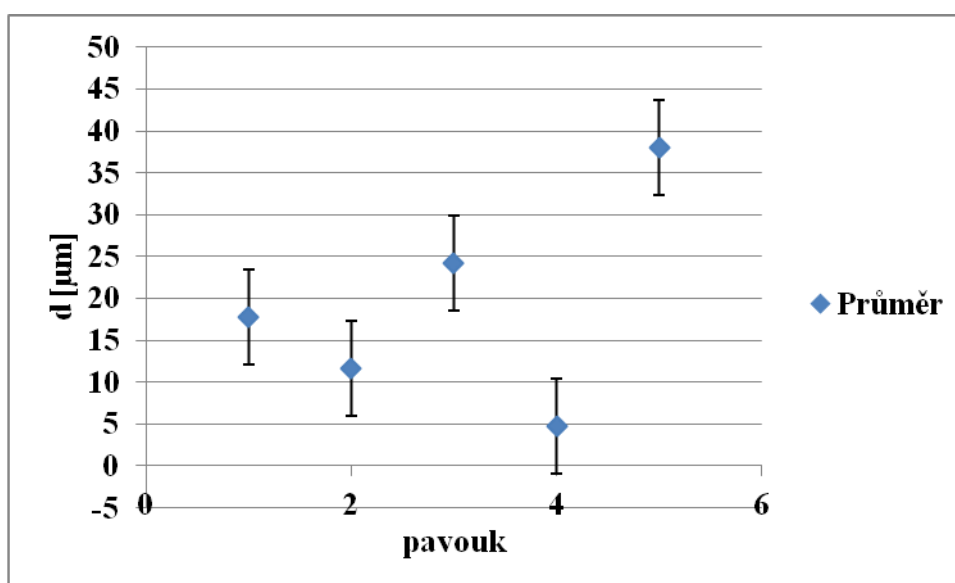
Obr. 3.32 Hypochilus

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Hypochilus mají hrudkovitý povrch s nalepenými nečistotami (viz obr.3.31.a). Vláknko je tvořeno množstvím fibril (viz obr.3.31.b). Hodnotou průměru je různorodé v závislosti na počtu fibril.

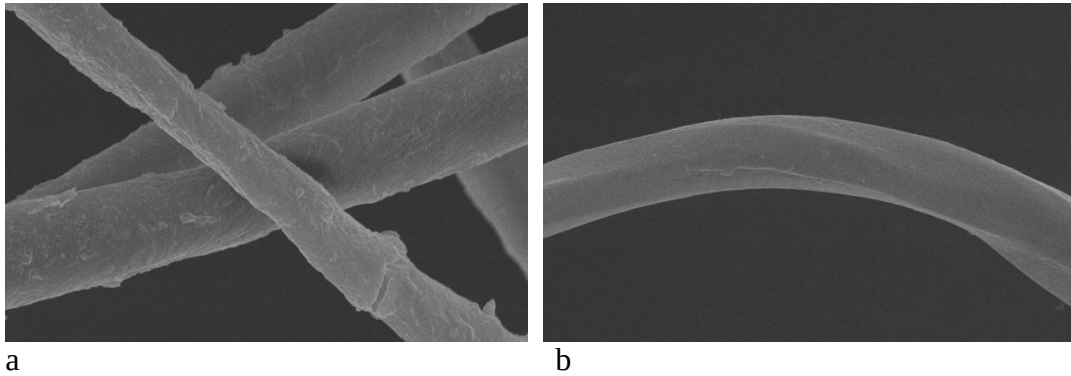
Tabulka č. 3.28 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Linyphia

LINYPHIA					
Čeď pavouka	Linyphia č. 1	Linyphia č. 2	Linyphia č. 3	Linyphia č. 4	Linyphia č. 5
Průměr vlákna [μm]	17,84	11,64	24,22	4,74	37,96
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,52	0,26	2,46	3,68	2,48
Povrch vlákna	vrásčitý, vlákno prohnuté	hladký s drobnými nečistotami	plasticky tvarovaný	na pohled hladký, vlákno v rotaci	hladký s nečistotami

Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.

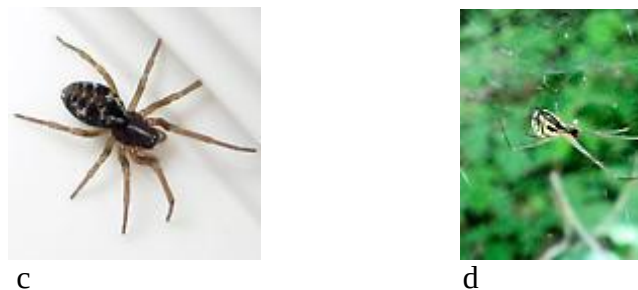


Obr. 3.33 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Linyphia



Obr. 3.34 Linyphia

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



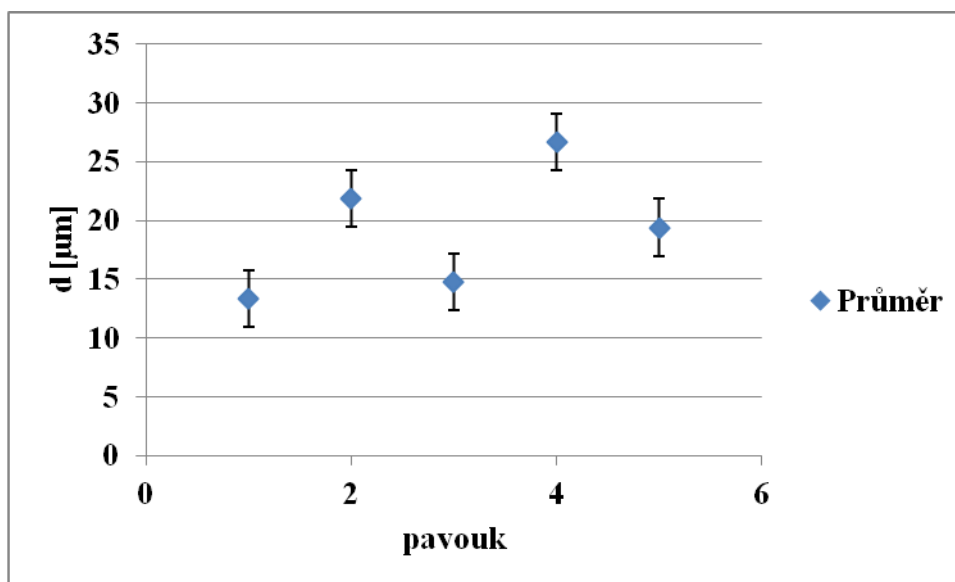
Obr. 3.35 Linyphia - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Linyphia mají povrch plastický až vrásčitý (viz obr.3.34.a) nebo je vlákno hladké, v rotaci (viz obr.3.34.b). Hodnotou průměru jsou vlákna různá v závislosti na účelu použití pro které ho pavouk vytvořil.

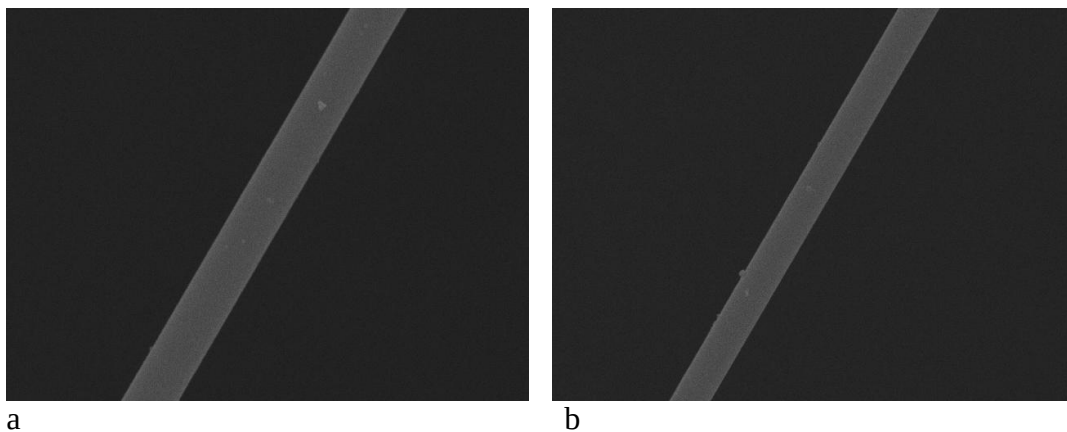
Tabulka č. 3.29 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Peucetia

PEUCETIA					
Čeľed' pavouka	Peucetia č. 1	Peucetia č. 2	Peucetia č. 3	Peucetia č.4	Peucetia č.5
Průměr vláknů [μm]	13,32	21,83	14,80	26,65	19,41
Směrodatná odchylka vláknů [μm]	0,28	0,42	0,13	1,005	0,46
Povrch vláknů	vrásčitý se zřetelnými vrstvičkami	hladký s drobnými nečistotami	hladký s drobnými nečistotami	hladký	krásné hladké vlákno

Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.36 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Peucetia

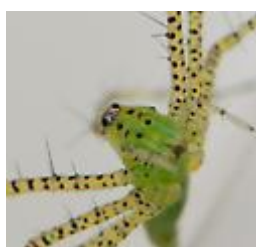


a

b

Obr. 3.37 Peucetia

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

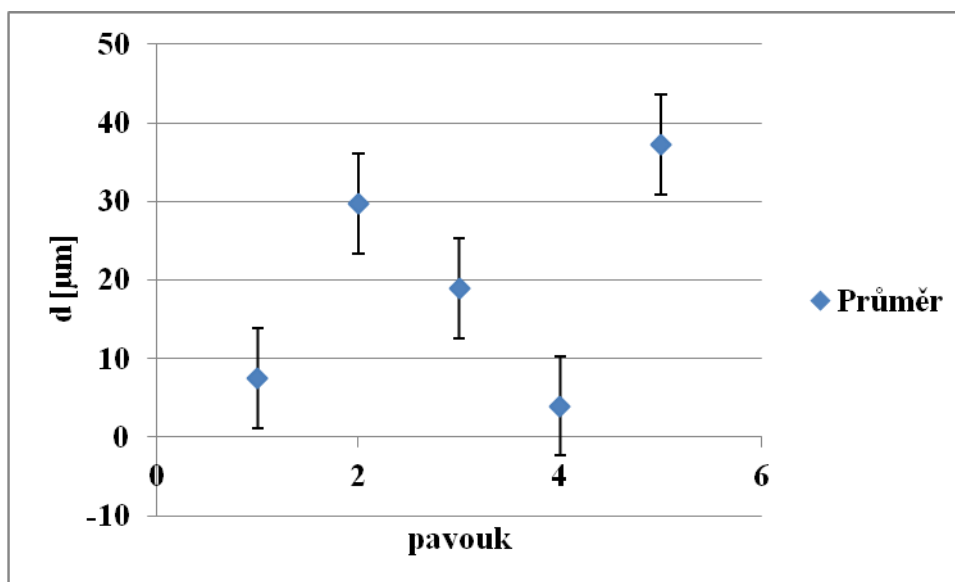
Obr. 3.38 Peucetia - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Peucetia mají povrch hladký s drobnými nečistotami (viz obr.3.37.a,b). Hodnotou průměru stejnoměrná, ale závislá na druhu účelu použití.

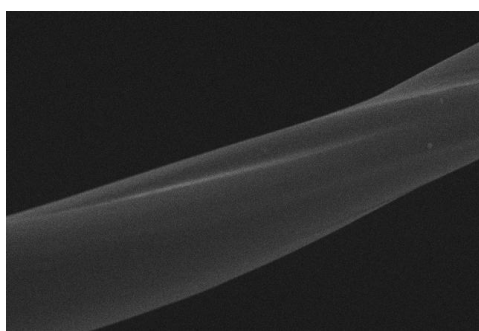
Tabulka č. 3.30 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Pisaura

PISAURA					
Čeď pavouka	Pisaura č. 1	Pisaura č. 2	Pisaura č. 3	Pisaura č. 4	Pisaura č. 5
Průměr vlákna [μm]	7,47	29,70	18,94	3,98	37,20
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,25	1,02	1,13	0,34	0,64
Povrch vlákna	hladký, dvě vlákna vedle sebe	vrásčitý, vlákno stočené do oblého tvaru	hladký s drobnými nečistotami	hladký, uprostřed znatelný pruh rozdílného materiálu	vrásčitý se znatelnými vrstvičkami

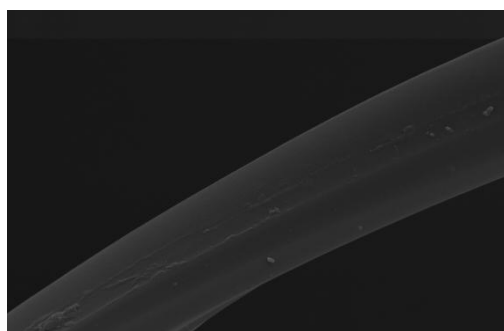
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.39 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Pisaura



a



b

Obr. 3.40 Pisaura

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c

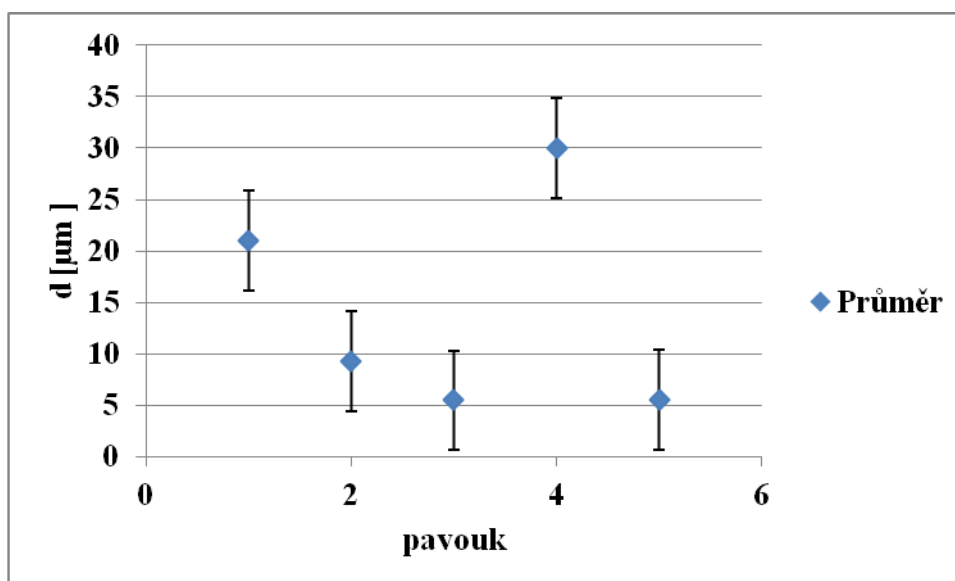
Obr. 3.41 Pisaura

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Pisaura mají povrch hladký (viz obr.3.40.a), uprostřed s rozdílným druhem materiálu (viz obr.3.40.b). Hodnotou průměru jsou vlákna rozdílná v závislosti na druhu účelu použití.

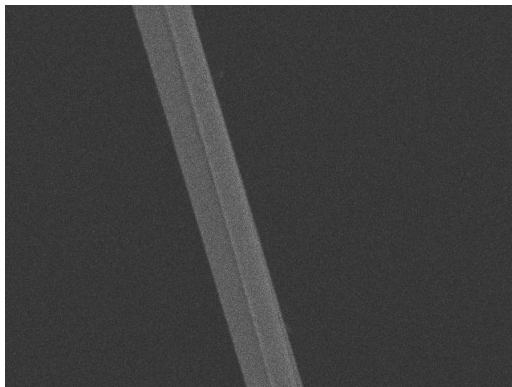
Tabulka č. 3.31 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Salticid

SALTICID					
Čeď pavouka	Salticid č. 1	Salticid č.2	Salticid č.3	Salticid č. 4	Salticid č. 5
Průměr vlákna [μm]	21,04	9,23	5,48	29,95	5,51
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,87	0,53	0,22	0,32	0,14
Povrch vlákna	hladký	nerovný, hrbolkatý	nerovný povrch se třemi znatelnými fibrilami	hladký, vlákno	hladký

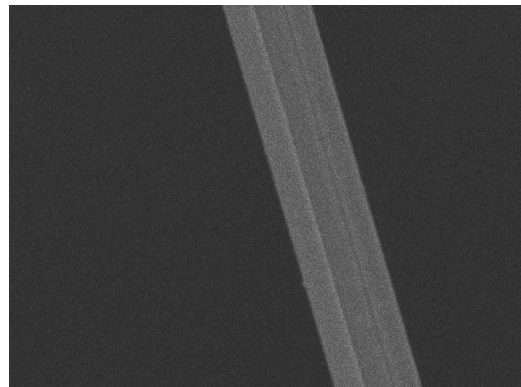
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.42 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Salticid



a



b

Obr. 3.43 Salticid

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

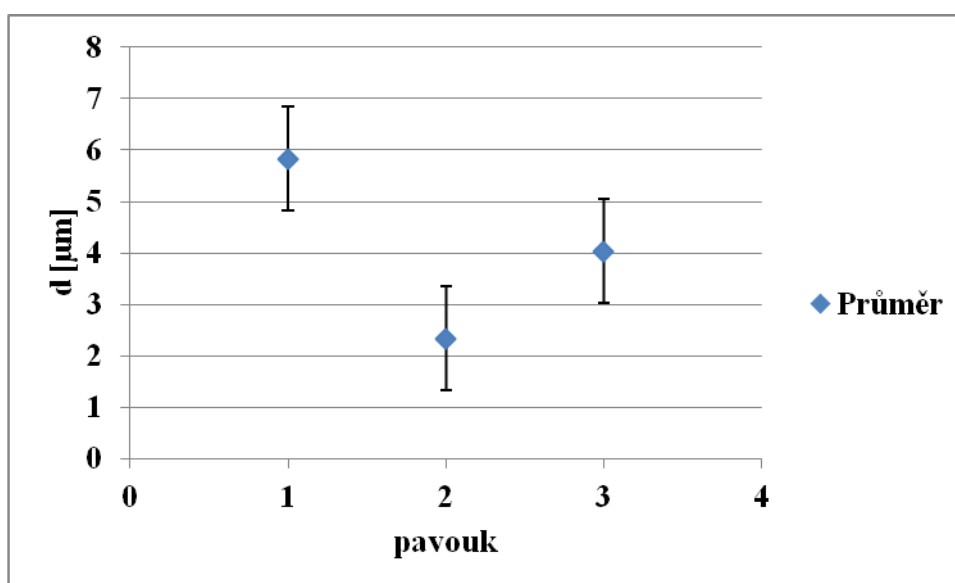
Obr. 3.44 Salticid - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Salticid mají povrch hladký se znatelnými fibrilami (viz obr.3.43.a,b). Hodnotou průměru jsou vzorky č.3 a č.5 srovnatelná, ostatní vzorky jsou rozdílná v závislosti na počtu fibril ve vlákně a účelu použití.

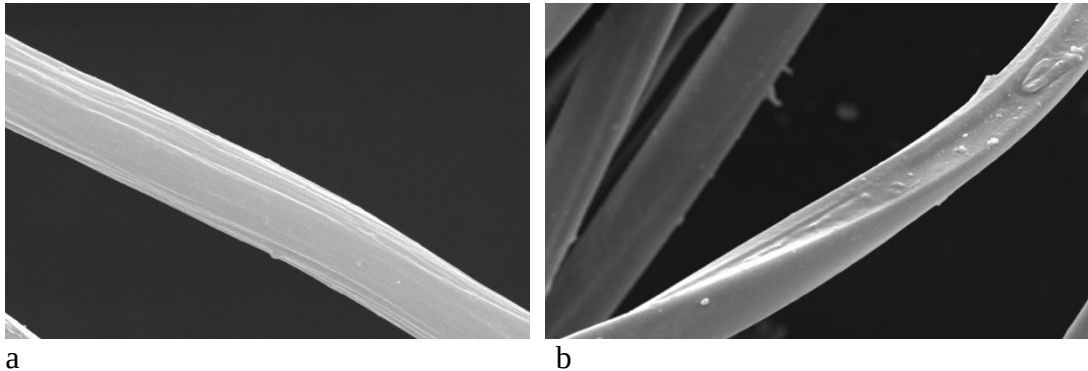
Tabulka č. 3.32 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Tetragnatha

TETRAGNATHA			
Čeď pavouka	Tetragnatha č. 1	Tetragnatha č. 2	Tetragnatha č. 3
Průměr vlákna [μm]	5,83	2,34	4,02
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,26	0,24	0,12
Povrch vlákna	vlákno zploštělé s viditelnými vrstvičkami, které tvoří rýhy	vrásčitý, vlákno s viditelnými vrstvami	ploché vlákno, vrstvené s podélnými rýžkami

Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.45 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Tetragnatha



Obr. 3.46 Tetragnatha

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



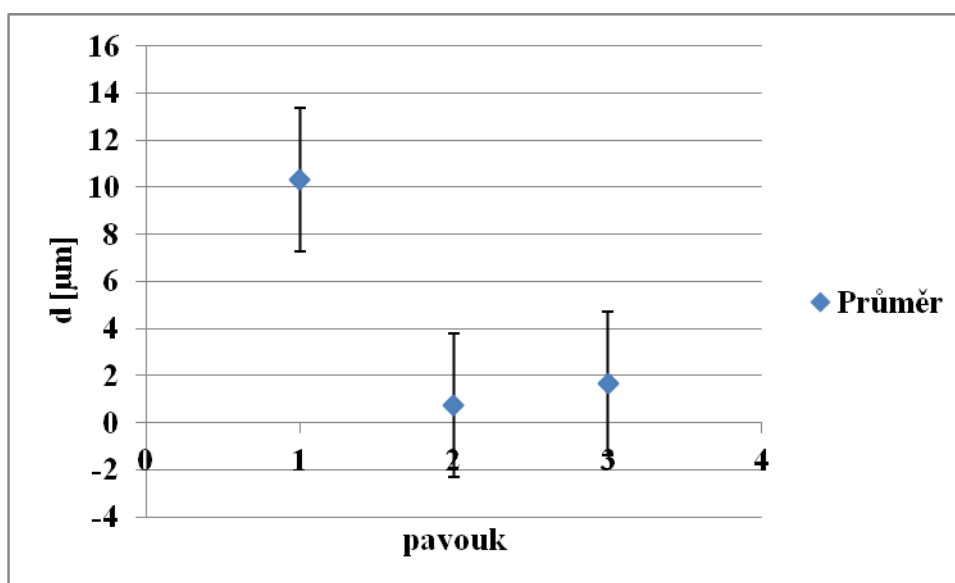
Obr. 3.47 Tetragnatha - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Tetragnatha mají povrch s viditelnými vrstvičkami, které tvoří rýhy (viz obr.3.46.a,b). Hodnotou průměru jsou vlákna rozdílná v závislosti na počtu vrstev a účelu použití.

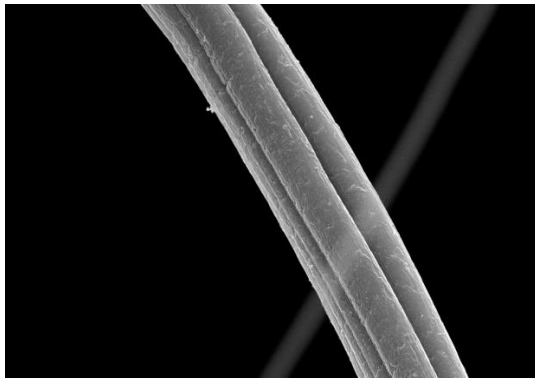
Tabulka č. 3.33 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Thomisid

Čeleď pavouka	Thomisid č. 1	Thomisid č. 2	Thomisid č. 3
Průměr vlákna [μm]	10,31	0,76	1,65
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,15	0,03	0,02
Povrch vlákna	je tvořen podélnými, jemnými vlnkami, po šířce vlákna vyvýšené ostrůvky	hladký	hladký, s nečistotami

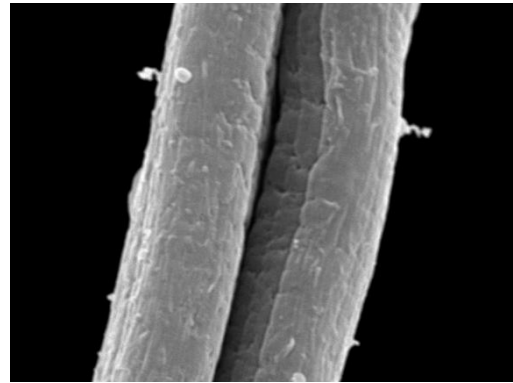
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.48 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Thomisid



a



b

Obr. 3.49 Thomisid

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c



d



e



f

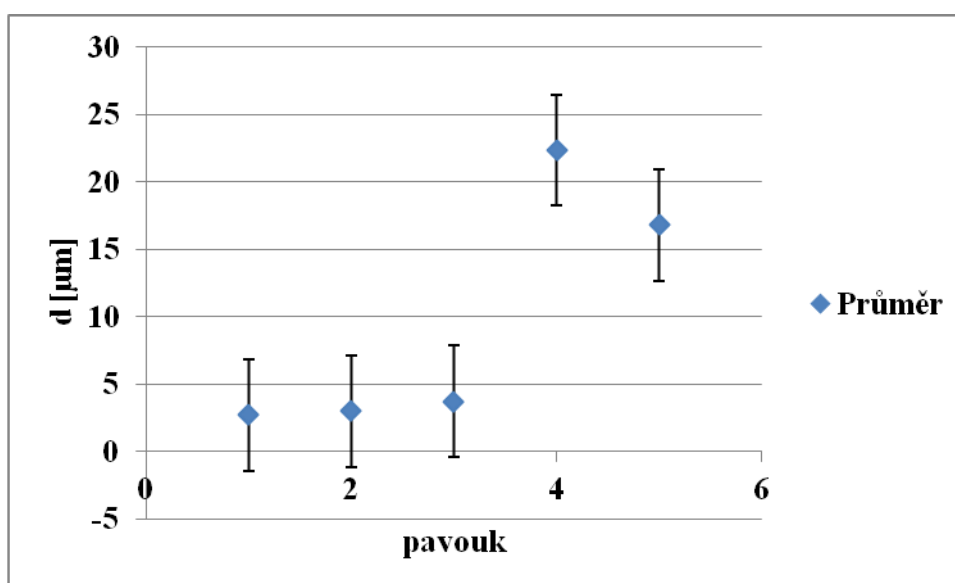
Obr. 3.50 Thomisid - pavouk v různých situacích

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Thomisid mají povrch s jemnými vlnkami a znatelnými fibrilami (viz obr.3.49.a) a s vyvýšenými ostrůvky a znatelnými jednotlivými vrstvami vlákna (viz obr.3.49.b). Hodnotou průměru mohou být vlákna stejnoměrná i různě široká v závislosti na počtu fibril.

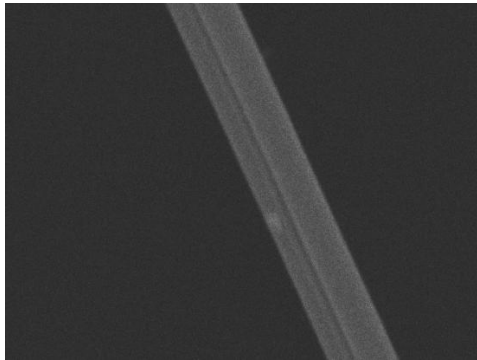
Tabulka č. 3.34 Naměřené hodnoty průměrů vláken pavouka z čeledi Titanoea

TITANOCEA					
Čeď pavouka	Titanocea č. 1	Titanocea č. 2	Titanocea č. 3	Titanocea č. 4	Titanoeca č. 5
Průměr vlákna [μm]	2,69	2,96	3,72	22,37	16,80
Směrodatná odchylka vlákna [μm]	0,22	0,23	0,21	1,29	0,29
Povrch vlákna	nerovný, plasticky tvarovaný, podobný kmenu stromu	nerovný, s prstenci pravidelně od sebe vzdálenými	plasticky nerovný s rýhami	plasticky rýhovaný s rozšířením	hladký

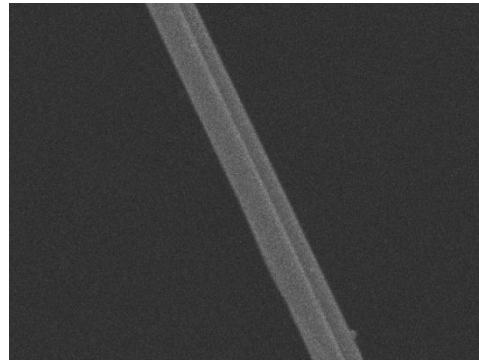
Poznámka: Všechny průměrné hodnoty jsou vypočítány z 10 hodnot měření průměru odebraných vláken.



Obr. 3.51 Graf průměrných hodnot průměru vláken pavouka Titanoea



a



b

Obr. 3.52 Titanoea

Fotografie vláken pořízené ve zvětšení 500 x – 12000 x v závislosti na kvalitě snímku



c

Obr. 3.53 Titanoea

Komentář: Vlákná vzorků čeledi Titanoea mají povrch plasticky rýhovaný s rýhou uprostřed, se zřetelnými fibrilami (viz obr.3.52 a,b). Hodnotou průměru jsou vzorky č. 1, 2, 3 stejnoměrná, vzorky č. 4, 5 jsou silnější a průměrově odlišná. Velikost průměru je závislá na počtu fibril ve vlákně a účelu použití produkce vlákna pavoukem.

[6, 7, 11]

4 Závěr

Hedvábí pavouka je beze sporu z hlediska chemického složení, způsobem vzniku a jeho vlastnostmi originální výtvor přírody.

Z textilního hlediska je zajímavý nejen způsob zvlákňování, ale i postup tkaní kruhové pavučiny a ukázky sítí různých pavouků.

K přípravě pro výzkum vlákna byly potřeba: nasbíraná radiální (nelepivá) vlákna, tmavé kartičky, měděné trny, oboustranná lepicí páska, vteřinové lepidlo, kousek záclony, speciální krabice pro uchovávání kartiček s vlákny, binokulární lupa, tužková pájka.

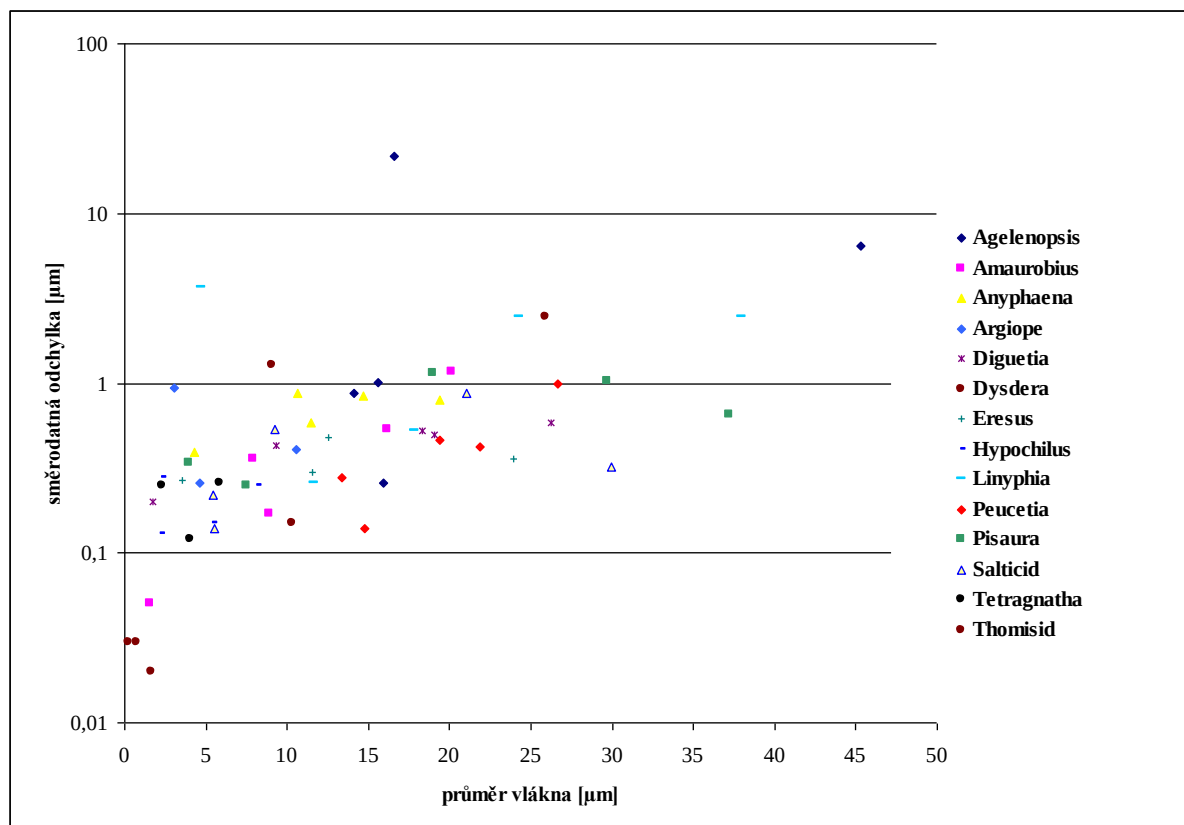
Byla zmapována složitá cesta vzniku hedvábí v pavoučím těle, chemické složení. Byly popsány orgány podílející se na jeho tvorbě.

V experimentální části byly nafoceny vzorky v rastrovacím elektronovém mikroskopu a dále statisticky zpracovány do grafů a tabulek. Porovnána byla i pevnost vláken některých čeledí pavouků, která se v praxi určuje přístrojem Nano Bionix tensile tester.

Ze získaných výsledků vyplývá - povrch vláken může být hladký, s viditelnými fibrilami, rýhovaný, mapovitý, hrudkovitý, s vyvýšenými ostrůvky, znatelnými jednotlivými vrstvami. Hodnotou průměru u jedinců každé čeledi se vyskytují vlákna méně srovnatelná, ve více případech se vyznačují rozdílností a to v závislosti na počtu jednotlivých vrstev, počtu fibril ve vláknech a účelu jeho použití. Hedvábí může být i ze dvou nesloučených homogenních materiálů (v textilu jako jádrová nit) a mírně rotačně natočené (viz Příloha: Katalog fotografií použitých pavoučích vláken).

Porovnáme-li průměrné hodnoty naměřených průměrů vláken pavouka s hodnotami směrodatných odchylek, lze pozorovat rostoucí závislost velikosti směrodatné odchylky na průměru. Lze tedy předpokládat, že s průměrem vlákna roste i jeho variabilita či nestejnoměrnost, kterou bohužel na těchto vláknech nelze naměřit. Pro další práci v této oblasti lze doporučit provádět měření ve větším rozsahu, což umožní kvalitnější statistické zpracování naměřených výsledků. V této práci bylo provedeno vždy deset měření na jednom odebraném vzorku vlákna daného pavouka. Množství odebraných vláken od jednoho pavouka by rozdílné, od 1 vlákna po 5 vláken.

Množství vláken je limitováno druhy pavouků, které se v České republice nevyskytují a jsou z tohoto hlediska vzácné. Celkem bylo proměřeno 17 druhů vláken, tedy od 17 druhů pavouků.



Obr. 4.1 Závislost směrodatné odchylky na průměru vlákna

Dalším krokem v popisu vlastností pavoučího hedvábí by mohlo být naměření hustoty vlákna, tak by bylo možné přepočítat průměry vláken na jejich jemnosti a porovnat s běžně zpracovávanými textilními vlákny. Dále také porovnat vlákna nejen z hlediska jejich geometrických, ale i mechanických vlastností s ostatními vlákny.

Stále ale nedokážeme určit a odhadnout, kdy a za jakých podmínek vzniká vlákno určitého chemického složení a průměru – závisí na momentální situaci a určitých podmínkách. Pavouk vše vyhodnotí a je schopen intuitivně ovládat vznik vlákna.

Pavoučí hedvábí se člověku nedaří zcela nahradit, jen napodobit. Je patrné, jak málo toho ještě víme, kolik tajemství se v přírodě ještě skrývá.

V přílohách jsou uvedeny zajímavosti ze života pavouka a katalog fotografií použitých vzorků.

Vědecké pokusy vyrobit uměle pavoučí vlákno

Vědci z Koreje se pokusili naučit vyrábět pavoučí hedvábí bakterie. Uměle vytvořili gen pro tvorbu hedvábí pavouka *Nephila clavipes*. Ten pak implantovali do bakterií *Escherichia coli*. Purifikačním procesem pak z množství bakterií izolovali čistý hedvábný protein.

[12]

Odborníci z amerických univerzit vpravili do housenek bourců morušových tu část pavoučí DNA, která produkuje protein. Housenky pak vyprodukovaly vlákno téměř identické z pavoučím.

[13]

V Kanadě firma Nexia Biotechnologies ve Vaudreuil Dorion se izolované geny pavoučího vlákna druhu *Araneus diadematus* (Křížák) a *Nephila clavipes* přenesl do genomu západoafrické kozy. Tato koza nyní produkuje proteiny pavoučího vlákna v mléce. Z mléka se pak produkuje umělé pavoučí vlákno, které však není tak dokonalé jako to přírodní. Například pevnost je o něco nižší.

[14]

Profesor genetiky hmyzu Masao Nakagakim z univerzity Šinšu v Naganu vstříkl pavoučí geny do housenky bource morušového. Housenky sice neprodukují pavoučí vlákno, ale snovají vlákno pevnější, jemnější a odolnější než původní hedvábí.

[14]

Seznam obrázků

Obr. 1.1 3D struktura proteinu.....	11
Obr. 1.2 Strukturní vzorec alaninu.....	11
Obr. 1.3 Obecný vzorec aminokyselin.....	11
Obr. 1.4 Proteiny – primární struktura.....	12
Obr. 1.5 Proteiny – sekundární struktura.....	12
Obr. 1.6 Proteiny – terciární struktura.....	12
Obr. 1.7 Hedvábné proteiny s amorfni a krystalickou strukturou.....	13
Obr. 1.8 Sekvence aminokyselin v proteinu	13
Obr. 2.1 Morfologie žlázy produkující vlákna.....	14
Obr. 2.2 Valva.....	15
Obr. 2.3 Schéma orientace molekul ve žláze.....	16
Obr. 2.4 Spigot.....	17
Obr. 2.5 Stavba vlákna.....	17
Obr. 2.6 Snovací bradavky.....	18
Obr. 2.7 Snovací bradavky.....	18
Obr. 2.8 Typy hedvábných snovacích žláz	20
Obr. 2.9 Kribelum.....	22
Obr. 2.10 Umístění kribela.....	22
Obr. 2.11 Metatarsy čtvrtého páru nohou.....	22
Obr. 2.12 Průřez lepidivé kapky.....	23
Obr. 2.13 Jednotlivé kapky na vlákně.....	23
Obr. 2.14 Ústí agregátních žláz a flageliforní žlázy.....	24
Obr. 2.15 Pavouk lepovka při plivání vlákna.....	25
Obr. 2.16 – 2.23 Tvorba pavučin.....	26
Obr. 2.24 – 2.32 Ukázky sítí různých druhů pavouků.....	27
Obr. 3.1 Křížák obecný.....	29

Obr. 3.2 Kartačka s nasbíranými vlákny.....	30
Obr. 3.3 Pomůcky pro sběr vláken.....	30
Obr. 3.4 Nano Bionix tensile tester.....	31
Obr. 3.5 Graf napínání vlákna.....	31
Obr. 3.6 Energie vlákna.....	32
Obr. 3.7 Měděné trny.....	33
Obr. 3.8 Měděné trny pozlacené.....	33
Obr. 3.9 Skenovací elektronový mikroskop JEOL 6380 LV.....	34
Obr. 3.10 Naprašovací zařízení Bal – Tec SCD 050.....	34
Obr. 3.11 Graf Agelenopsis.....	43
Obr. 3.12 Fotografie vlákna čeledi Agelenopsis.....	44
Obr. 3.13 Agelenopsis – pavouk v různých situacích.....	44
Obr. 3.14 Graf Amaurobius.....	45
Obr. 3.15 Fotografie vlákna čeledi Amaurobius.....	46
Obr. 3.16 Amaurobius – pavouk v různých situacích.....	46
Obr. 3.17 Graf Anyphaena.....	47
Obr. 3.18 Fotografie vlákna čeledi Anyphaena.....	48
Obr. 3.19 Anyphaena – pavouk v různých situacích.....	48
Obr. 3.20 Graf Argiope.....	49
Obr. 3.21 Fotografie vlákna čeledi Argiope.....	50
Obr. 3.22 Graf Diguetia.....	51
Obr. 3.23 Fotografie vlákna čeledi Diguetia.....	52
Obr. 3.24 Diguetia – pavouk v různých situacích.....	52
Obr. 3.25 Graf Dysdera.....	53
Obr. 3.26 Fotografie vlákna čeledi Dysdera.....	54
Obr. 3.27 Dydera – pavouk v různých situacích.....	54
Obr. 3.28 Graf Eresus.....	55

Obr. 3.29 Fotografie vlákna čeledi Eresus.....	56
Obr. 3.30 Graf Hypochilus.....	57
Obr. 3.31 Fotografie vlákna čeledi Hypochilus.....	58
Obr. 3.32 Hypochilus – pavouk v různých situacích.....	58
Obr. 3.33 Graf Linyphia.....	59
Obr. 3.34 Fotografie vlákna čeledi Linyphia.....	60
Obr. 3.35 Linyphia – pavouk v různých situacích.....	60
Obr. 3.36 Graf Peucetia.....	61
Obr. 3.37 Fotografie vlákna čeledi Peucetia.....	62
Obr. 3.38 Peucetia – pavouk v různých situacích.....	62
Obr. 3.39 Graf Pisaura.....	63
Obr. 3.40 Fotografie vlákna čeledi Pisaura.....	64
Obr. 3.41 Pisaura – pavouku v různých situacích.....	64
Obr. 3.42 Graf Salticid.....	65
Obr. 3.43 Fotografie vlákna čeledi Salticid.....	66
Obr. 3.44 Salticid – pavouk v různých situacích.....	66
Obr. 3.45 Graf Tetragnatha.....	67
Obr. 3.46 Fotografie vlákna čeledi Tetragnatha.....	68
Obr. 3.47 Tetragnatha – pavouk v různých situacích.....	68
Obr. 3.48 Graf Thomisid.....	69
Obr. 3.49 Fotografie vlákna čeledi Thomisid.....	70
Obr. 3.50 Thomisid – pavouk v různých situacích.....	70
Obr. 3.51 Graf Titanoea.....	71
Obr. 3.52 Fotografie vlákna čeledi Titanoea.....	72
Obr. 3.53 Titanoea – pavouk v různých situacích.....	72
Obr. 4.1 Závislost směrodatné odchylky na průměru vlákna.....	74

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Přehled příkladů pevnosti u některých čeledí pavouků.....	32
Tabulka 3.2 Údaje podmínek sběru vláken.....	35 - 36
Tabulka 3.3- 3.19 Metodika měření vláken z pohledu délkového.....	37 - 42
Tabulka 3.20 Agelenopsis.....	43
Tabulka 3.21 Amaurobius.....	45
Tabulka 3.22 Anyphaena.....	47
Tabulka 3.23 Argiope.....	49
Tabulka 3.24 Diguetia.....	51
Tabulka 3.25 Dysdera.....	53
Tabulka 3.26 Eresus.....	55
Tabulka 3.27 Hypochilus.....	57
Tabulka 3.28 Linyphia.....	59
Tabulka 3.29 Peucetia.....	61
Tabulka 3.30 Pisaura.....	63
Tabulka 3.31 Salticid.....	65
Tabulka 3.32 Tetragnatha.....	67
Tabulka 3.33 Thomisid.....	69
Tabulka 3.34 Titanoea.....	71

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Rainer F. Foelix: Biology of Spiders, Oxford University Press, New York 1996
- [2] Fritz Vollrath Spinnenseide – superwerkstoff der Natur, die Artikel: Kunststoffe in Automobilbau, Dusseldorf 1993
- [3] Jean-Henri Fabre Život pavouka, Volvox Globator, Praha 2011
- [4] Přednáška RNDr. Milana Řezáče Ph.D., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně na téma „Snování pavouků“ [online]. [cit. 16-02-2012]
- [5] <http://wolkisek.blog.cz/0904/pavouk-fuj-ble-otporne> [online]. [cit. 15-10-2012]
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pavouci> [online]. [cit. 15-10-2012]
- [7] <http://www.pavouci-cz.eu/> [online]. [cit. 23-10-2012]
- [8] <http://www.aranearium.cz/cz/body.aspx?ven=spinnerets> [online]. [cit. 24-10-2012]
- [9] <http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADlkovina> [online]. [cit. 10-11-2012]
- [10] <http://web.natur.cuni.cz/~lem/index.php?p=vybaveni> [online]. [cit. 17-11-2012]
- [11] <http://bugguide.net/index.php?q=search&keys=Dysdera> [online]. [cit. 21-11-2012]
- [12] ČRo Leonardo [online]. [cit. 22-11-2012]
- [13] časopis 21. století [online]. [cit. 25-11-2012]
- [14] ideje.cz [online]. [cit. 25-11-2012]
- [15] www.svezivitr.cz [online]. [cit. 13-12-2012]

PŘÍLOHA č. 1

Pavouk

Patří do řádu pavouci (Araneae) a je to dravý živočich. Existuje asi 40 druhů, které si k masité stravě občas dopřejí nektar z květů a dokonce jeden je vegetarián a živí se jen rostlinami. Všichni ostatní vstříkují do těla oběti látky, které jejich vnitřní orgány přemění na výživnou tekutinu, jež pavouci vysají.

Vyniká schopností snovat různé typy vláken s odlišnými vlastnostmi za účelem rozličného použití. Od hmyzu se liší stavbou těla, která se skládá ze dvou částí. Má čtyři páry nohou a nejčastěji osm očí. Je popsáno přes 40 000 druhů pavouků. Nacházejí se u moře i ve vysokých horách. Všichni pavouci spřádají ze snovacích žláz vlákna, která používají k rozmanitým účelům. Zabalují do něj svá vajíčka nebo pasti pro lov kořisti. Používají ho k přemísťování – uletí na něm až stovky kilometrů. Jako paralyzátor oběti používají jed. První doklad o existenci pavouků pochází z prvohor (390 miliónů let). Předci pavouků pocházeli z moře.

Pavoukovci patří mezi členovce. Od ostatních členovců se liší počtem čtyř kráčivých končetin. Mají hlavu srostlou s hrudí (tzv. hlavohrud – cephalothorax). Zadeček může mít připojený široce (sekáči – Opiliones), zúžením (solifugy – Solifyga) nebo přes pohyblivou stopku (pavouci Araneae). Pavouci se během evoluce se rozdělili do tří skupin: sklípkoši (Mesothelae), sklípkani (Mygalomorphae) a dvouplicní praví pavouci (Araneomorphae). Praví pavouci mají složitější pohlavní orgány, jiné postavení chelicer, více druhů snovacích žláz, kribelum, vzdušnice.

Životní cyklus

Ve střední Evropě žijí pavouci jeden až dva roky. Vyjímkou jsou sklípkanci (Atypidae), kteří se dožívají až osmi let. Samičky, protože samečci se stanou většinou jejich potravou. Až třiceti let se mohou dožít tropičtí sklípkani. Tito dlouhožijící pavouci se v dospělosti svlékají z vnější kostry zvané kutikula. Kutikula je tuhá a s pavoukem neroste. Svlékání řídí enzymy. Při tomto procesu, který trvá asi 30 minut, je pavouk velice zranitelný.



Obr. 1

Poslední stádium svleku kutikuly křížáka obecného (*Araneus diadematus*)

Stadia vývoje: vajíčko, larva, nymfa, dospělec. Z vajíčka se pomocí vaječných zubů vylíhne larva, která je málo pohyblivá, nemá vyvinuté všechny orgány a žije z vaječného žloutku. Larva žije v kokonu a po svlečení se z ní stává nymfa. Nymfa zpočátku žije také z vaječného žloutku. Nymfa se několikrát svlékne než je z ní dospělec. Samci se od samic liší kopulačními orgány na makadlech (bulby). Samičky mají na spodní straně zadečku vyvinutou pohlavní destičku. Počet svlékání u pavouků je mezi 7 – 10. Samečci v dospělosti většinou již neloví potravu, ale věnují se pouze rozmnožování.

Rozmnožování

Pavouci se páří neobvyklým způsobem. Sameček si z pohlavního otvoru přenese sperma do váčků (bulbů) na makadlech. Bulby mají tuhý výběžek, který pavouk zavede do pohlavního otvoru samičky a zaneseme sperma. Pohlavní otvor samičky a tvar výběžku bulby do sebe přesně zapadají. Každý druh pavouka je vybaven jiným tvarem kopulačních orgánů, takže nemůže dojít ke spojení pavouků odlišného druhu.

Páření

Při páření u některých druhů dochází ke kanibalismu – samička po oplodnění samečka sežere. Neděje se tak však u všech druhů pavouků. Samečci se různými způsoby snaží chránit. Snovačka rodu *Latrodectus* získala z tohoto důvodu přezdívku „černá vdova“, i když většinou sameček přežije. Je totiž tak malý, že samičce nestojí za námahu. Lovčík hajní například nosí samičce svatební dar – zabalenou mouchu. Zatímco samička hoduje, sameček se páří. Samci čelistnatek se dovedou samičce ubránit díky zvláštním výrůstkům na chelicerách. Někteří běžníci zase samičku před pářením spoutají. Samci slíďáků a skákavek tančí zasnubní tance. Nebo samec snovačky vyluzuje zvuky podobné zpěvu cvrčků. Křižáci lákají samičky přede hrou a po předání spermatu skokem ze sítě se jim někdy podaří uniknout. Když ne stávají se výživou pro své potomky.

Jedovatí pavouci

Všichni pavouci až na nějaké výjimky jsou jedovatí. Jedem znehybňují kořist. Pro člověka většinou není jed nebezpečný. Je přizpůsoben pro kořist pavouka určité velikosti.



Obr. 2

Kousnutí Pokoutníkem stepním (*Tegenaria agrestis*)

Druhy člověku nebezpečné

Jsou to snovačky rodu *Latrodectus*. Mají jed patnáctkrát toxičtější než jed chřestýše. Usmrtit jím mohou zřídka a to děti a oslabené jedince. Žijí v Americe, Austrálii, na Novém Zélandě a ve Středomoří. Dále pak pavouci sklípkancovití z podřádu orthognátních pavouků žijící v Africe, Indii a australské Sydney.

Koutníci z čeledi Sicariidae disponují jedem rozkládajícím tkáň.



Obr. 3

Kousnutí koutníka jedovatého *Loxosceles reclusa* je velmi bolestivé a dlouho se hojí.

Mezi naše jedovaté pavouky patří zápřednice jedovatá (*Cheiracanthium punctatorium*) a vodouch stříbřitý (*Argyroneta aquatica*). Jejich jed způsobuje bolestivé, velké otoky, ale není smrtelný.

Ochranná zbarvení

Zbarvení, kresba, tvar, způsob pohybu a chování jsou pro pavouky každodenní ochranou a pomocí při lovu.



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6

Pavouci často napodobují tvarem něco co se nedá jíst, např. ptačí výkaly. Nebo napodobují jiného tvora. Skákavka mravenčí (*Myrmarachne formicaria*) předstírá tělo mravence, který je hrozbou pro ostatní. Ostník pavoukožravý (*Ero furcata*) předstírá nápadníka snovačky, tím že napodobuje brnkání na pavučinu samičky. Když se samička přiblíží, samici kousnutím znehybní a sežere.

Sklípan velký – největší pavouk na světě, jinak existuje až 900 druhů sklípkanů

- váží cca 100g
- jeho výška je 30cm
- rozpětí nohou je 46 cm
- žije v Africe
- loví myši, ptáky, krysy
- sídlí pod kmeny stromů, pod kameny nebo v norách
- při kousnutí vypouští do rány jed, který není pro člověka nebezpečný, ale může způsobit bolestivé otoky
- informace o kořisti získává z vibrací hmatových chloupků na nohách
- kusadla má dlouhá 2,5 cm

Způsoby ochrany:

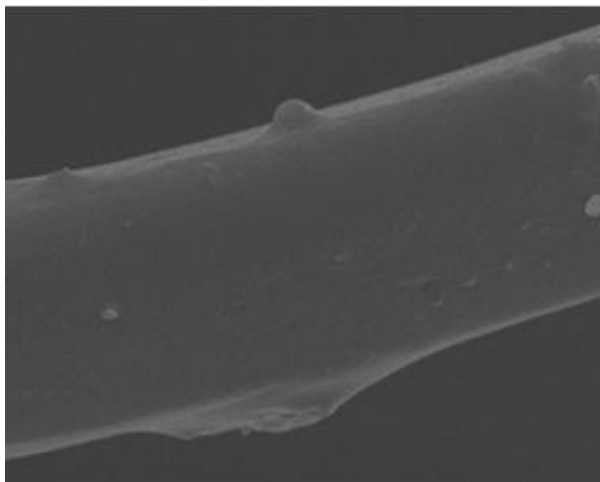
1. vydává zvuk třením končetin o sebe (stridulace)
2. ze zadečku sdírá žahavé chloupky a střílí je po protivníkovi
3. kousnutí – bodnutí špičkami kusadel, která jsou ostrá a zahnutá, připomínají klepítka

Pavoučí jed:

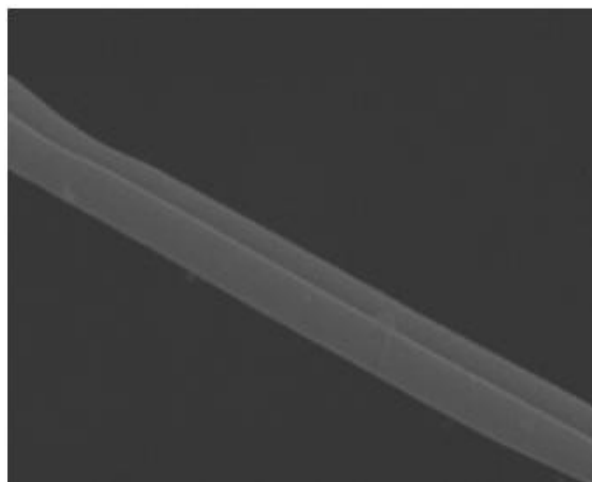
- je to směs 65 toxických bílkovin a trávicích enzymů
- enzymy promění vnitřní orgány ve výživný nápoj, který pavouk vysaje

Příloha č. 2

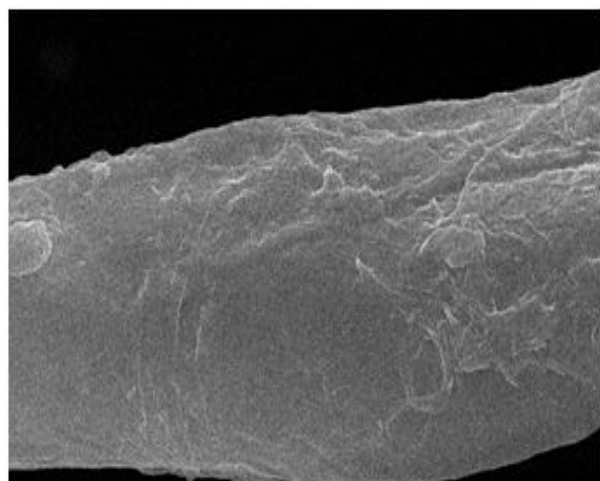
KATALOG FOTOGRAFIÍ POUŽITÝCH PAVOUČÍCH VLÁKEN



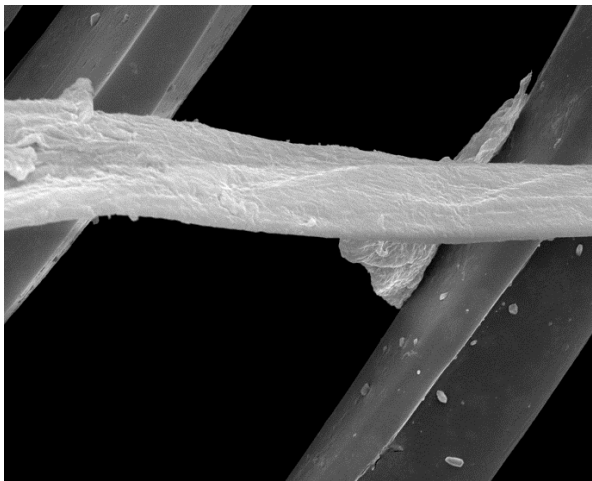
Agelenopsis



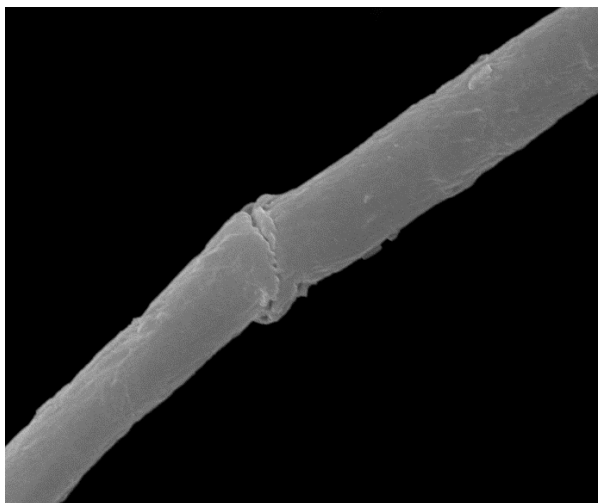
Agelenopsis



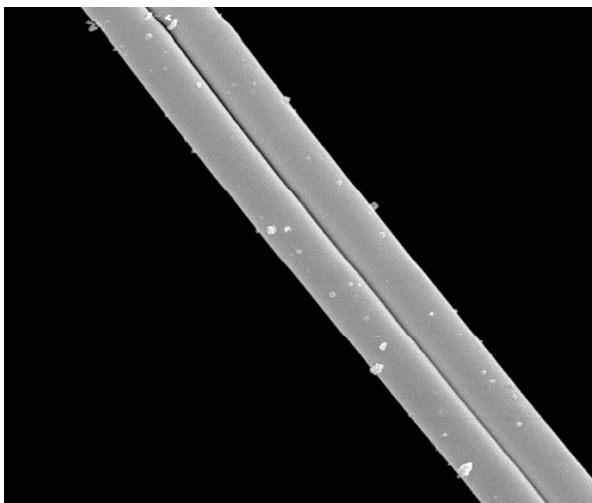
Amaurobius



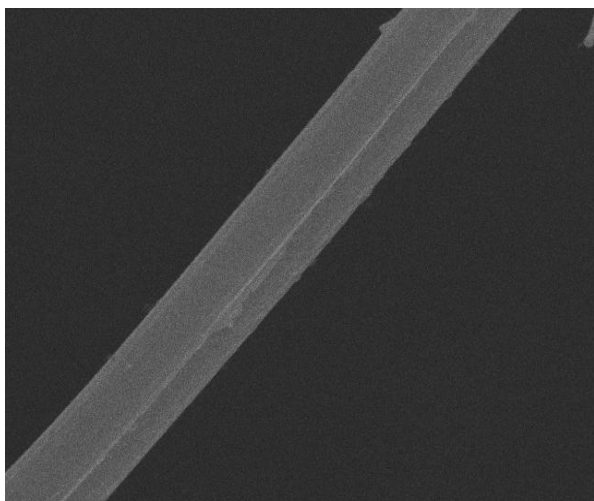
Amaurobius



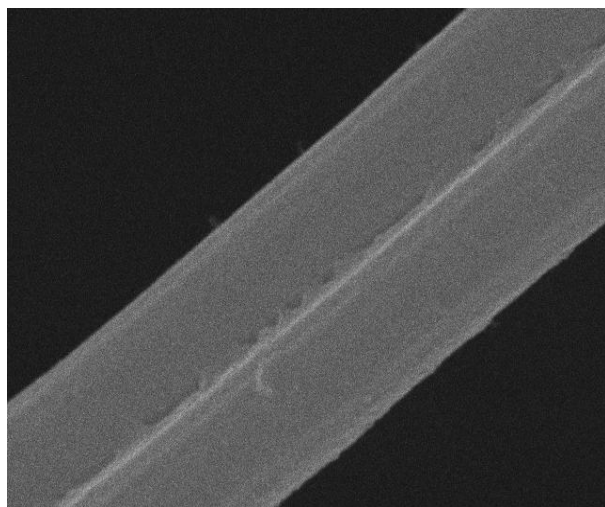
Anyphaena



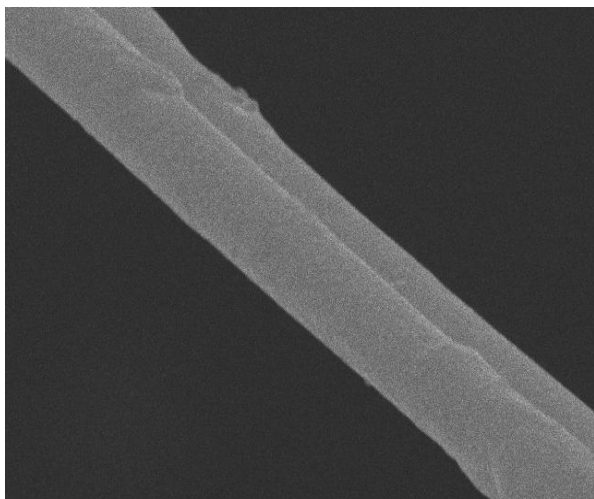
Argiope walk



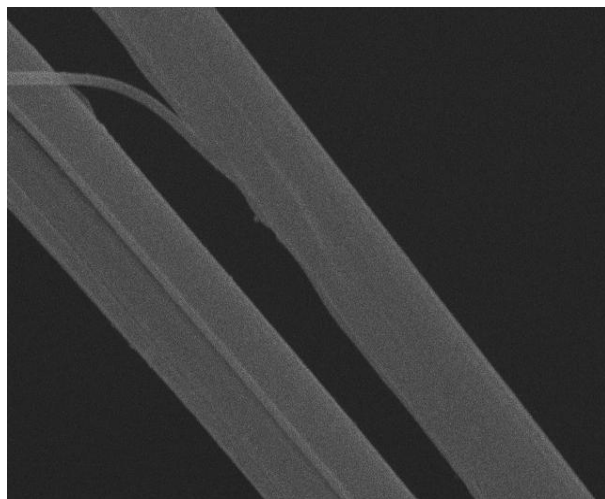
Diguetia



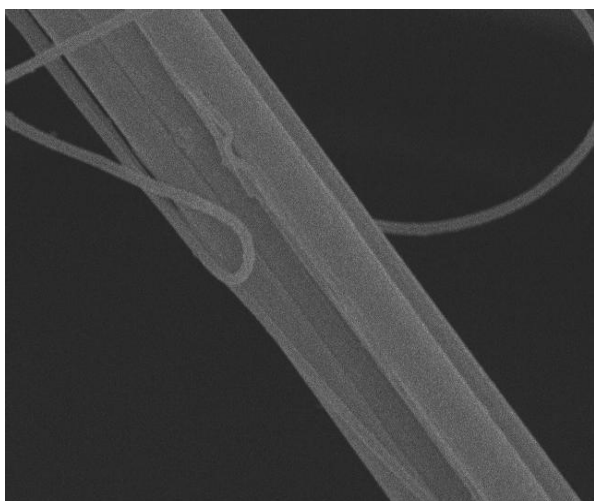
Diguetia



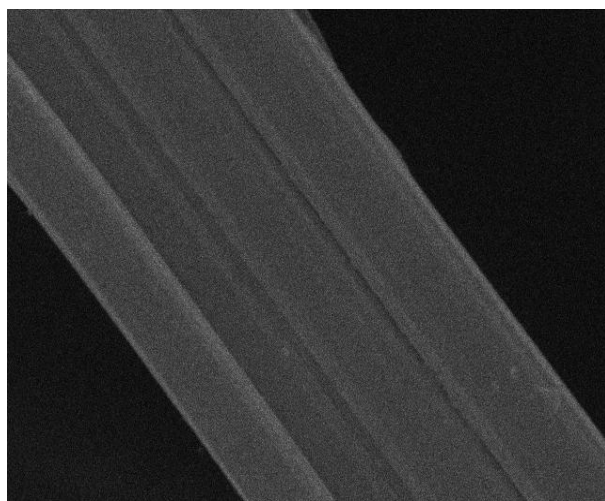
Diguetia



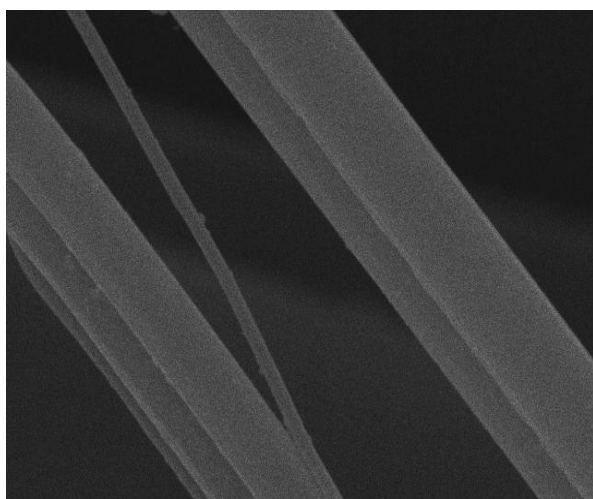
Diguetia



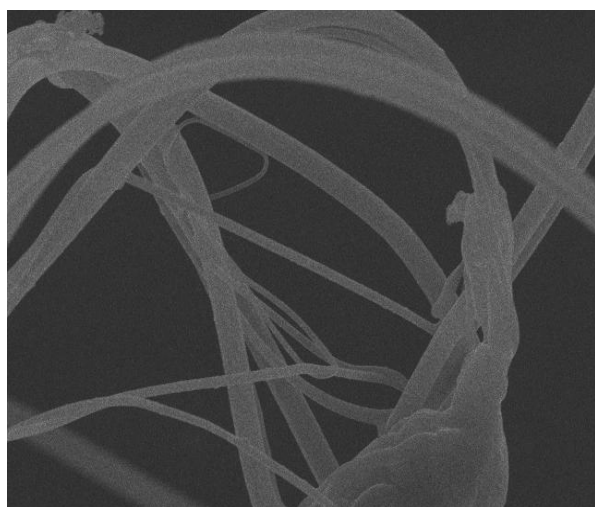
Diguetia



Diguetia



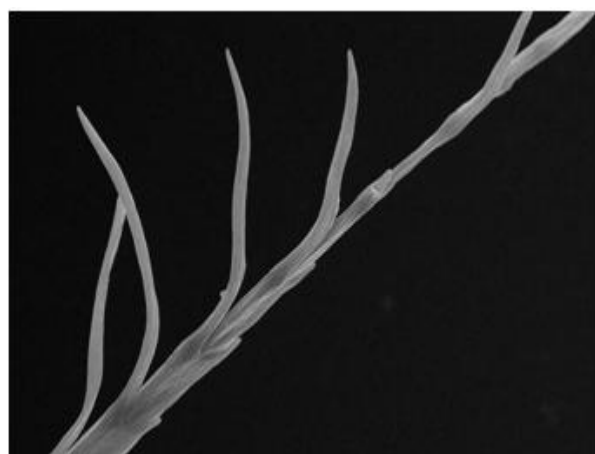
Diguetia



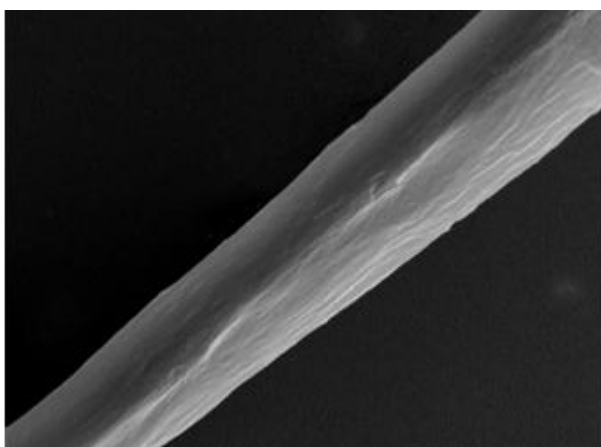
Diguetia



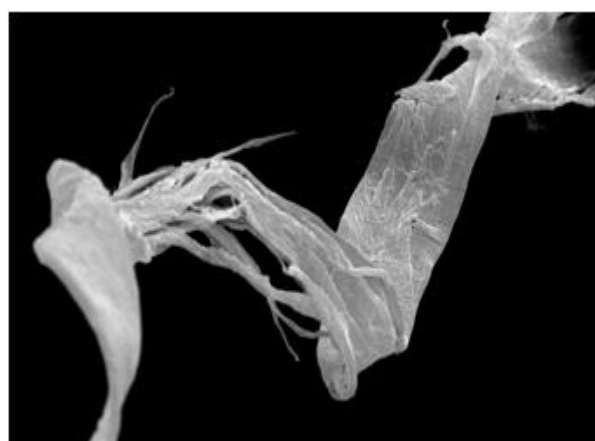
Dysdera



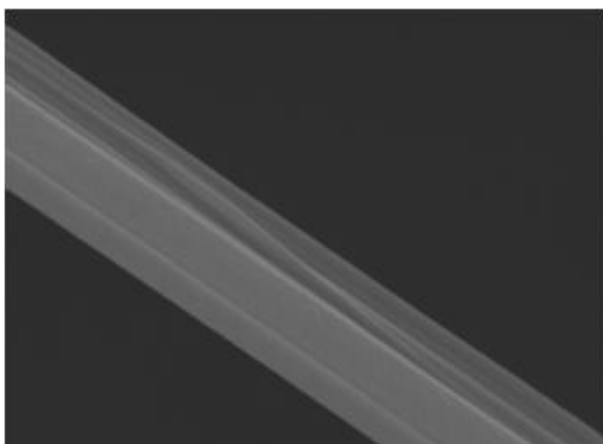
Dysdera



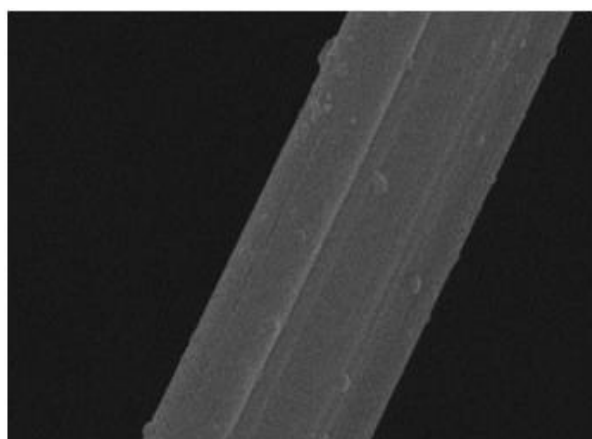
Dysdera



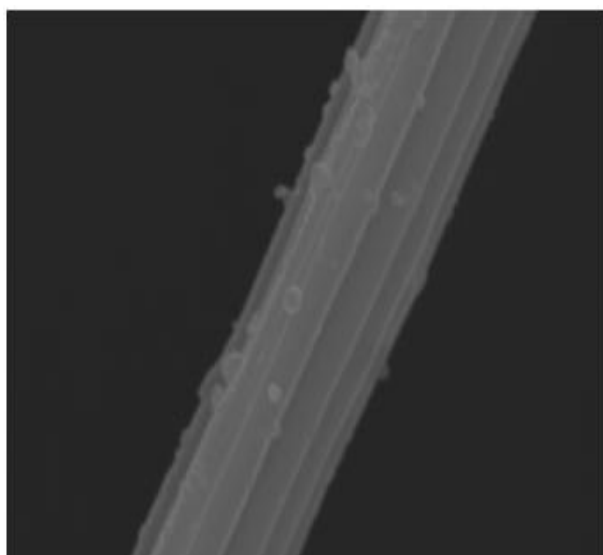
Dysdera



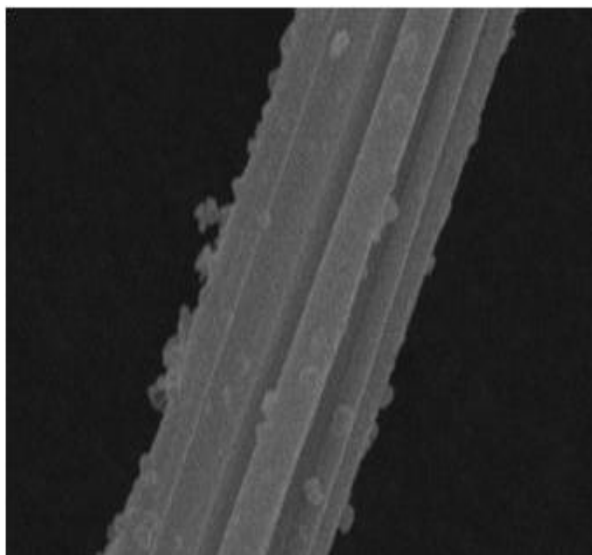
Eresus



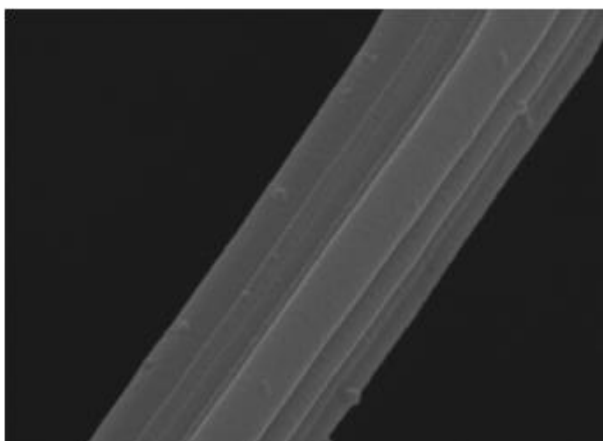
Eresus



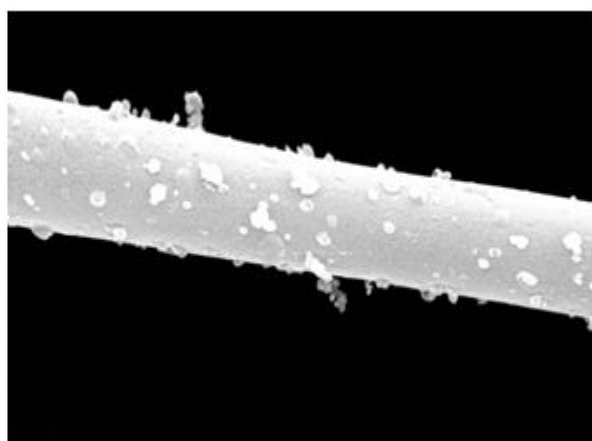
Eresus



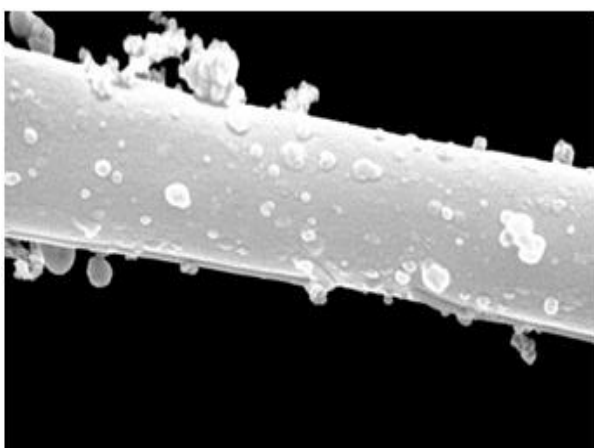
Eresus



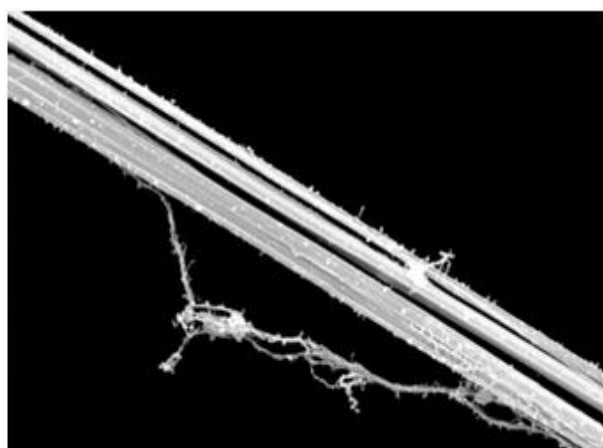
Eresus



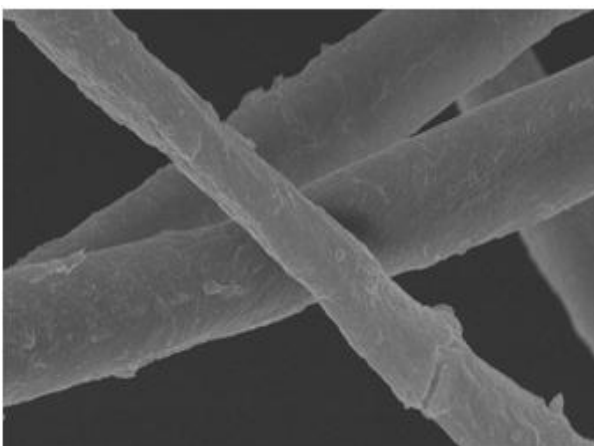
Hypochilus



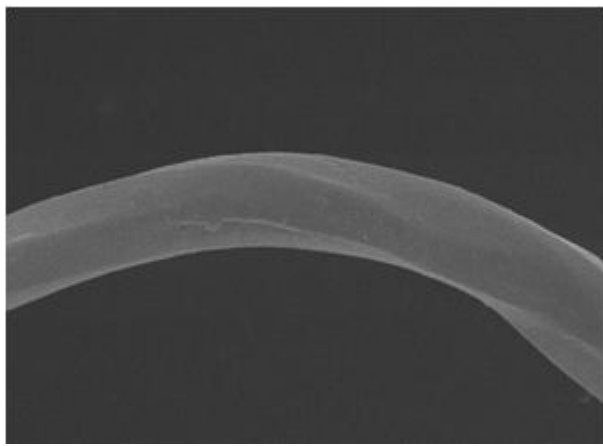
Hypochilus



Hypochilus



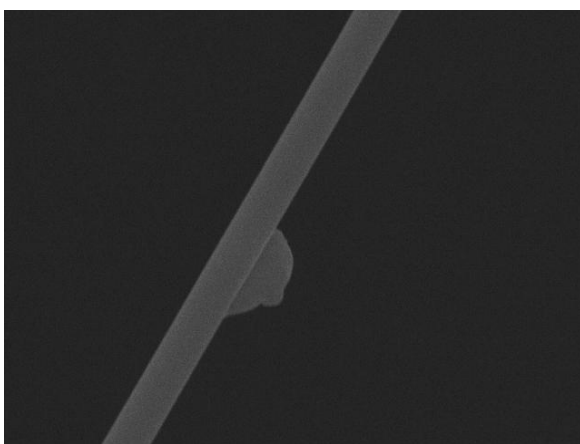
Linyphia



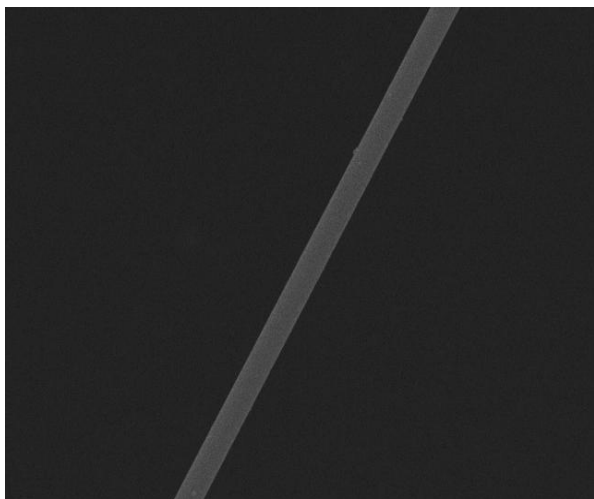
Linyphia



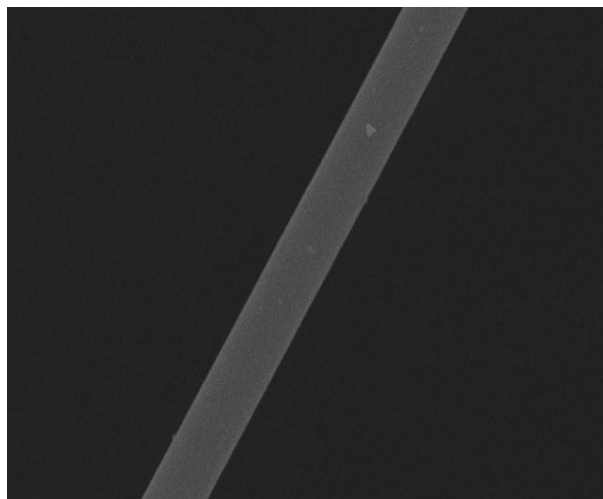
Lycosid



Peucetia



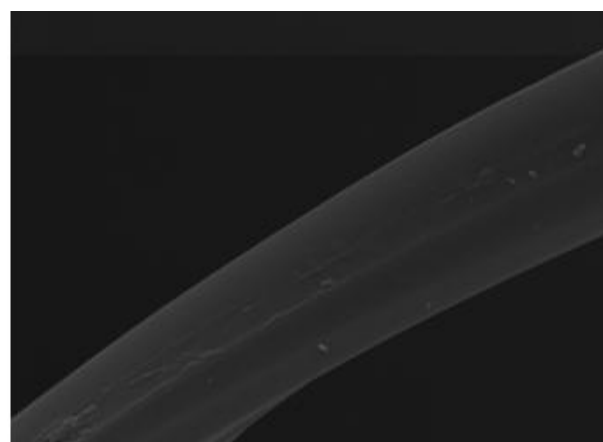
Peucetia



Peucetia



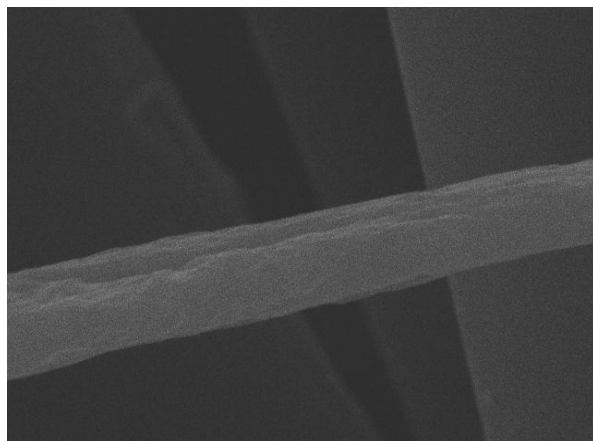
Pisaura



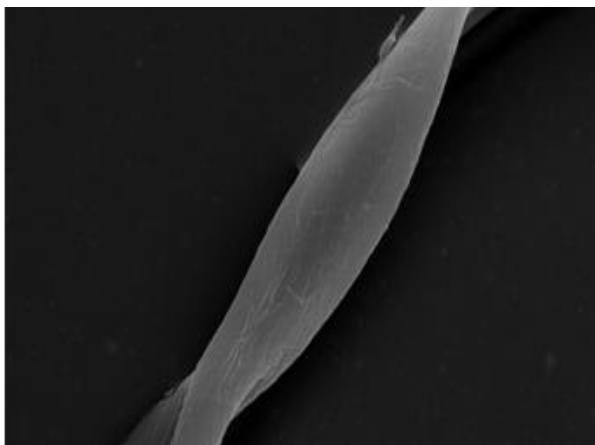
Pisaura



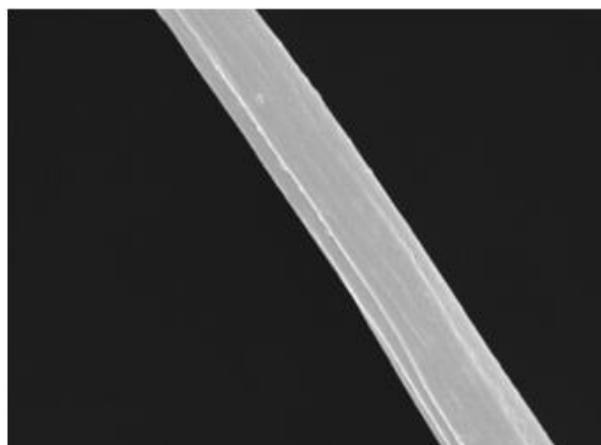
Salticid



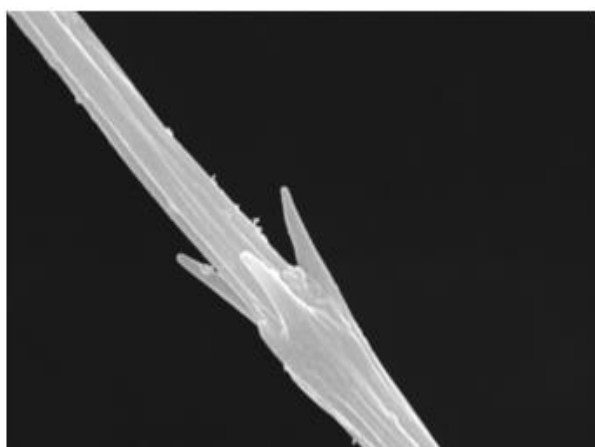
Salticid



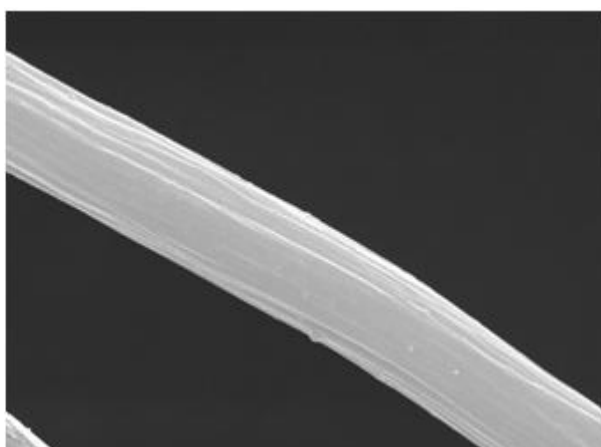
Tetragnatha



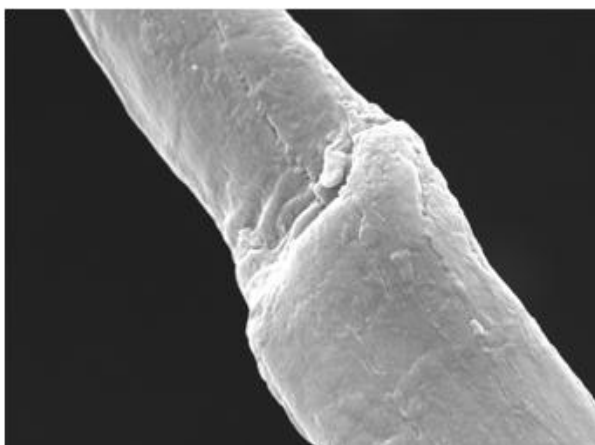
Tetragnatha



Tetragnatha



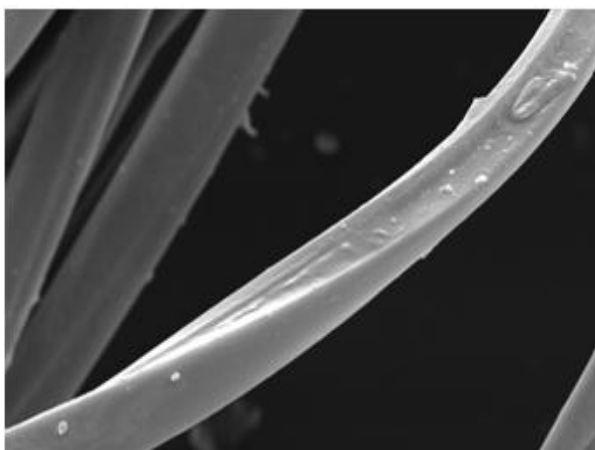
Tetragnatha



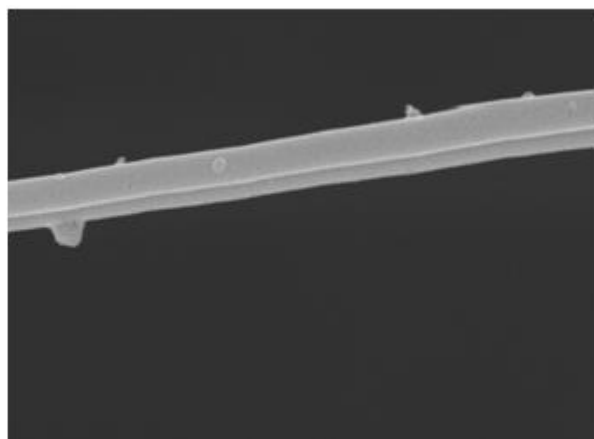
Tetragnatha



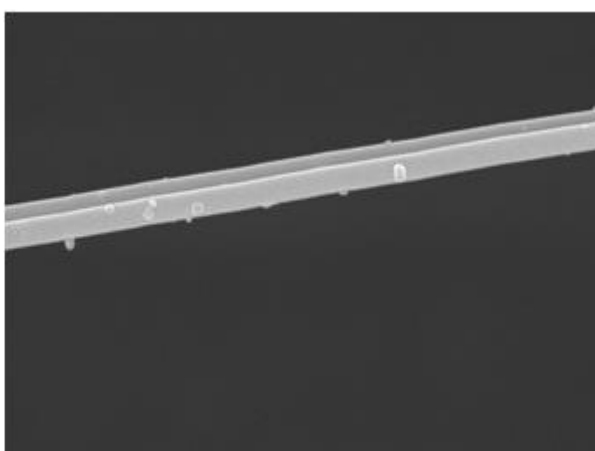
Tetragnatha



Tetragnatha



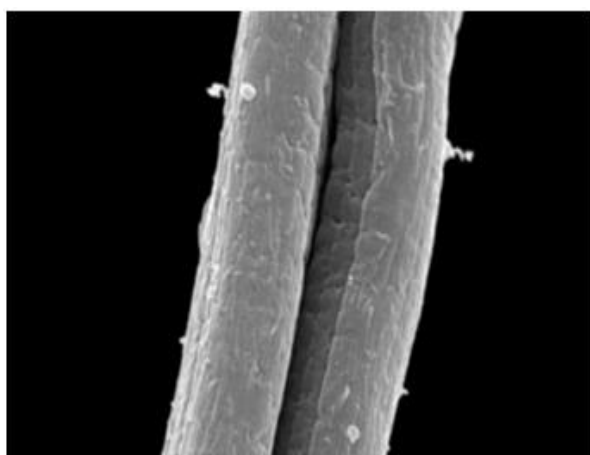
Tetragnatha



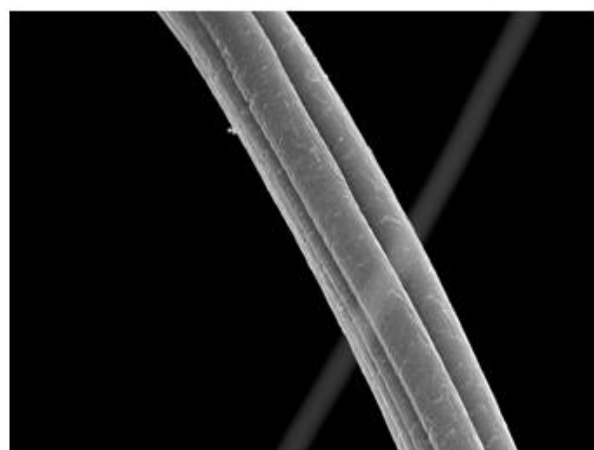
Tetragnatha



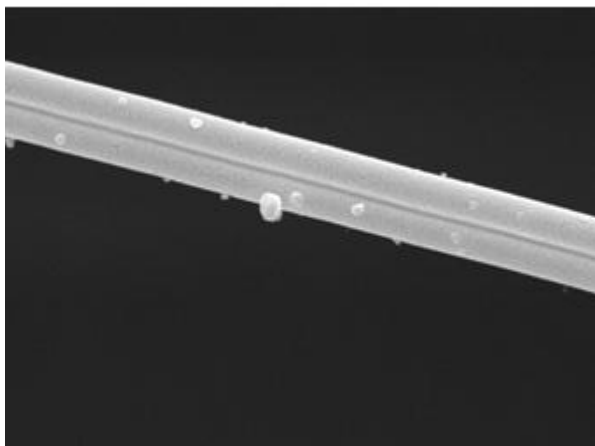
Thomisid



Thomisid



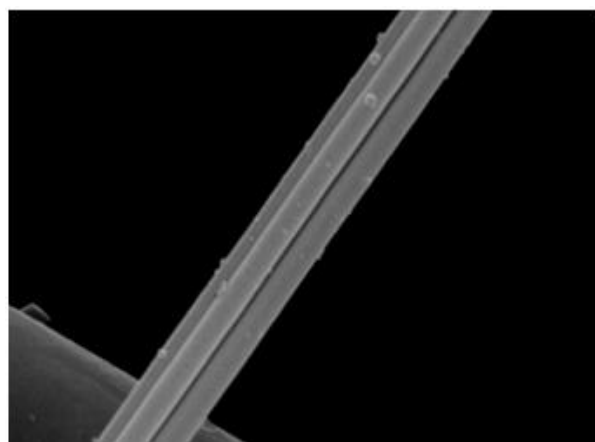
Thomisid



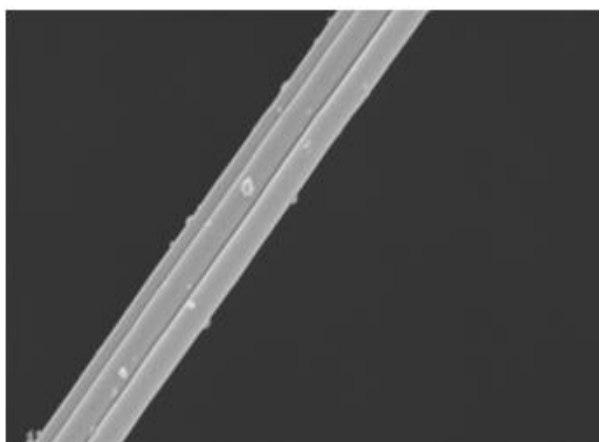
Thomisid



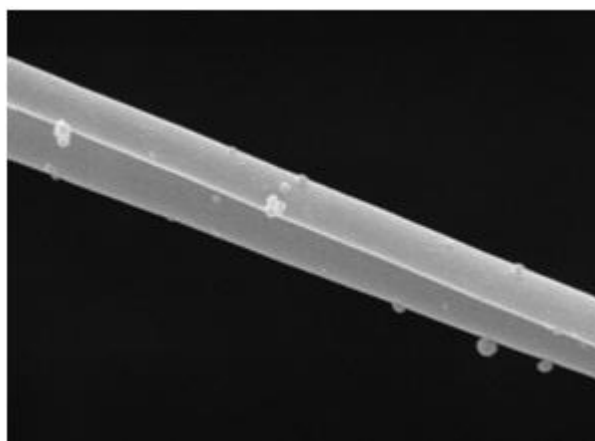
Thomisid



Thomisid



Thomisid



Thomisid



Pavučinka