

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prostějov 2009

Zaorálková Monika

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra technologie a řízení konfekční výroby v Prostějově

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Technologie a řízení oděvní výroby

Zaměření: Konfekční výroba

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Téma: Výroba, vlastnosti a užití multiaxiálních textilií

Theme: Production, properties and using of multiaxial textiles

Kód: 455/09

Řešitel BP: Monika Zaorálková

Vedoucí BP: Doc. Ing. Otakar Kunz, CSc.

Rozsah bakalářské práce:

| Počet stran | Počet obrázků | Počet grafů | Počet příloh |
|-------------|---------------|-------------|--------------|
| 58 | 29 | 18 | 4 |

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva ve (smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena 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 TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědoma toho, že užit své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Prostějově dne 24. dubna 2009

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu práce Doc. Ing. Otakaru Kunzovi, CSc. za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady, dále Ing. Vojtěchu Grecmanovi z firmy Havel-Composites za poskytnuté informace o kompozitních materiálech a Ing. Vladimíru Kovačičovi za výraznou pomoc při laboratorním zkoušení.

V neposlední řadě patří poděkování celé mé rodině, která mě všestranně podporovala v celém průběhu studia.

ANOTACE

Bakalářská práce charakterizuje multiaxiální textilie, zabývá se jejich výrobou a vlastnostmi, které jsou zjištěny na základě provedených laboratorních zkoušek. Jejím cílem je také najít uplatnění těchto textilií v technické oblasti.

V práci jsou uvedena vlákna pro výrobu multiaxiálních textilií, dodavatelé a zpracovatelé této skupiny textilií, dále stručné informace o technických textiliích a struktuře textilie.

KLÍČOVÁ SLOVA: technické textilie, struktura textilie, multiaxiální textilie, kompozity.

ANNOTATION

Bachelors work characterizes multiaxial textiles, it's dealing with their production and properties, that have been determinate base on the laboratory tests. The basic goal of the work is the practical application multiaxial textiles in technical areas.

In the work are mentioned fibers suitable for production multiaxial textiles, suppliers and manufacturers those group of textiles. Further in brief are listed information on technical textiles and textile structure.

KEY WORDS: technical textiles, textile structure, multiaxial textiles, composites.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1. ÚVOD | 8 |
| 2. TECHNICKÉ TEXTILIE A TECHNICKÁ KONFEKCE..... | 9 |
| 2.1 Historie technických textilií | 9 |
| 2.2 Oblasti aplikace technických textilií..... | 9 |
| 3. STRUKTURA A VAZBA TEXTILIE..... | 13 |
| 3.1 Struktura textilie | 13 |
| 3.2 Dělení textilních struktur | 13 |
| 3.2.1 Lineární textilie..... | 13 |
| 3.2.2 Plošné textilie | 13 |
| 3.2.3 Prostorové (3D) textilie | 13 |
| 3.3 Vazba textilie..... | 14 |
| 3.3.1 Vazby tkanin..... | 14 |
| 3.3.2 Vazby pletenin..... | 14 |
| 4. MULTIAXIÁLNÍ TEXTILIE | 15 |
| 4.1 Orientace vláken v textiliích..... | 15 |
| 5. VLÁKNA PRO VÝROBU MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILÍ..... | 16 |
| 5.1 Skleněná vlákna..... | 16 |
| 5.1.1 Historický vývoj | 16 |
| 5.1.2 Dělení skleněných vláken..... | 16 |
| 5.1.3 Princip výroby | 17 |
| 5.1.4 Vlastnosti skleněných vláken | 18 |
| 5.2 Uhlíková vlákna..... | 18 |
| 5.2.1 Historický vývoj | 18 |
| 5.2.2 Princip výroby | 19 |
| 5.2.3 Vlastnosti uhlíkových vláken | 19 |
| 5.3 Aramidová vlákna | 19 |
| 5.3.1 Historický vývoj | 19 |
| 5.3.2 Princip výroby | 20 |
| 5.3.3 Vlastnosti aramidových vláken | 20 |
| 5.4 Polyesterová vlákna..... | 21 |
| 5.4.1 Historický vývoj | 21 |
| 5.4.2 Princip výroby | 22 |
| 5.4.3 Vlastnosti polyesterových vláken..... | 22 |
| 6. VÝROBA MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILÍ..... | 23 |
| 6.1 Tkaní..... | 23 |
| 6.2 Termické pojení..... | 23 |
| 6.3 Pletení | 23 |
| 6.4 Splétání | 24 |
| 6.5 Stroje pro výrobu multiaxiálních textilií | 24 |
| 6.6 Výrobci multiaxiálních textilií v ČR | 25 |
| 7. ZKOUŠENÍ MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILÍ..... | 26 |
| 7.1 Plošná hmotnost..... | 26 |
| 7.2 Hustota..... | 27 |
| 7.3 Tloušťka..... | 27 |
| 7.4 Tuhost v ohybu | 29 |
| 7.5 Pevnost v tahu a tažnost | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 8. UŽITÍ MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILÍ | 43 |
| 8.1 Vláknové kompozity | 43 |
| 8.2 Dělení kompozitů | 43 |
| 8.2.1 Dle typu výztuže | 43 |
| 8.2.2 Dle druhu matrice | 43 |
| 8.3 Výztuž..... | 44 |
| 8.3.1. Formy výztuže | 44 |
| 8.4 Pojivo (matrice) | 45 |
| 8.4.1 Reaktoplastické matrice (termosety) | 45 |
| 8.4.2 Termoplastické matrice | 47 |
| 8.4.2.1 Přehled termoplastů z hlediska ceny | 47 |
| 8.5 Používané příměsi do pojiv | 49 |
| 8.6 Výroba vláknových kompozitů | 49 |
| 8.6.1 Technologie výroby kompozitů..... | 49 |
| 8.7 Vlastnosti kompozitů | 51 |
| 8.7.1 Základní vlastnosti vláken | 52 |
| 8.7.2 Základní vlastnosti pojiv | 52 |
| 8.7.3 Pevnost v tahu skleněného a uhlíkového laminátu..... | 52 |
| 8.8 Užití kompozitů s multiaxiální výztuží | 61 |
| 8.8.1 Větrné elektrárny | 61 |
| 8.8.2 Sportovní potřeby | 62 |
| 8.8.3 Stavebnictví | 62 |
| 8.8.4 Automobilový průmysl..... | 62 |
| 8.8.5 Letecký průmysl | 63 |
| 8.9 Nejznámější výrobci kompozitů v ČR | 63 |
| 9. ZÁVĚR | 65 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 66 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 68 |
| SEZNAM GRAFŮ | 69 |
| PŘÍLOHOVÁ ČÁST | 69 |

1. ÚVOD

Světová výroba technických textilií vzrostla od roku 1995 do roku 2005 ze 14 na 20 milionů tun a neustále se zvětšuje. Díky tomuto nárůstu si technické textilie zcela nezastupitelně dobyly svoje místo v mnoha průmyslových odvětvích. Můžeme se s nimi setkat téměř kdekoliv: v dopravě, ve stavebnictví, zdravotnictví, při výrobě sportovních potřeb nebo ochranných oděvů. Tyto textilie musí v technických oborech splňovat úplně jiná kritéria než běžné textilie. Vyžadovány jsou zejména výborné mechanicko-fyzikální vlastnosti, které ovlivňuje struktura textilie.

Textilní struktura, tedy vnitřní souvislosti jednotlivých složek, ze kterých se skládá celek, je podstatou každé textilie a vyrábí se v podobě lineárních, plošných nebo 3D textiliích. Bakalářská práce je zaměřena na plošné multiaxiální textilie, zabývá se jejich výrobou, vlastnostmi a užitím.

Cílem práce je vysvětlit pojem multiaxiální textilie, popsat jednotlivé způsoby výroby, na základě provedených laboratorních zkoušek zjistit vlastnosti těchto textilií a najít jejich uplatnění v technické oblasti.

V práci jsou uvedena vlákna pro výrobu multiaxiálních textilií, dodavatelé a zpracovatelé této skupiny textilií, dále stručné informace o technických textiliích a struktuře textilie.

Protože jsou multiaxiální textilie používány především jako výztuž pro výrobu kompozitních materiálů, v další části je pozornost věnována i této struktuře. Zabývá se dělením kompozitů, je zaměřena na jejich hlavní složky, tedy výztuž a matici, dále se zabývá výrobou a jedinečnými vlastnostmi, díky kterým nacházejí tyto materiály široké uplatnění a jejich obliba neustále roste.

Na první pohled by se mohlo zdát, že existuje spousta materiálů o multiaxiálních textiliích, ale bohužel tomu není tak. Ucelených informací o této struktuře je velice málo, a proto bych byla ráda, kdyby tato bakalářská práce sloužila jako studijní materiál pro předmět Výroba technických konfekcí.

2. TECHNICKÉ TEXTILIE A TECHNICKÁ KONFEKCE

Technické textilie je možné definovat jako souhrnné označení pro textilní materiály, které mají vláknitou strukturu, jejichž hlavním účelem je plnit určitou technickou funkci. Technické textilie jsou inženýrsky konstruované textilie pro přesně vymezené podmínky aplikace.[1]

Technická konfekce jsou výrobky z technických textilií zhotovené konfekcionováním.

2.1 Historie technických textilií

Technické textilie se v textilním průmyslu používají velmi dlouhou dobu. Z historického hlediska můžeme říci, že jsou jen o něco málo mladší než textilie oděvní. Za historický základ technických textilií můžeme považovat lodní plachty a lana.

Původní poslání technických textilií bylo shodné s posláním oděvů, tedy chránit člověka před nepohodou. Technické textilie se začaly vyrábět z vlny a lýkových vláken, později se k nim přidala bavlna a hedvábí. Až v polovině 20. století se začala ve větší míře uplatňovat vlákna chemická.[2]

2.2 Oblasti aplikace technických textilií

• *Geoinženýrství*

Mezi funkce, které jsou očekávány od těchto textilií, patří separace, zpevnění, filtrace, drenáž, ochrana před erozí. Jsou využívány ve formě geomříží, geosítí, geomembrán i geokompozitů. Slouží např. jako náhrada šterkopískových vrstev, ke zpevnění vozovek, při zpevňování svahů, k drenážním účelům apod.



Obr. č. 1: Geotextilie [3]

- **Agroinženýrství**

Využívá tzv. agrotextilii především pro pěstební účely, k ochraně úrody proti ptactvu, hmyzu, proti extrémním změnám teplot a k ochraně proti větru.



Obr. č. 2: Agrotextilie [4]

- **Stavební inženýrství**

V klasickém stavebnictví slouží textilie jako tapety, tepelné i protihlukové izolace nebo ke zpevnění omítek. Patří sem také speciální textilie využitelné v konstrukci lehkých staveb, tedy přístřešků, sportovních hal, hangárů nebo stanů různých rozměrů.



Obr. č. 3: Stavební textilie [2]

- **Zdravotnictví a hygiena**

Pro oblast hygieny jsou textilie určeny pro výrobu hygienických vložek či dětských plen. V medicíně se můžeme setkat s pojmem operační textilie, kam patří operační čepice, operační pláště, masky, obuv, roušky, různé typy utěrek. Používají se také jiné typy textilií sloužící jako lůžkové textilie, podložky pod nemocné, pleny nebo podložky pod inkontinentní pacienty.



Obr. č.4: Kalhotky pro inkontinentní pacienty [2]

- ***Oblast ochrany a bezpečnosti***

Patří sem textilie a výrobky z nich, které chrání uživatele proti plamenům, teplu, chladu, proti vodě, chemikáliím, proti radiaci, hmyzu, bakteriím, dále speciální výrobky jako jsou skafandry pro kosmonauty.



Obr. č.5: Ochranné oděvy [5]

- ***Veřejný sektor***

Do této oblasti patří textilie pro policii, armádu a hasiče. Protože jsou tyto pracovníci vystaveni tvrdším podmínkám, použité textilie musí splňovat náročnější požadavky na fyziologické vlastnosti. Do této oblasti patří také textilie na armádní stany, kryty, textilie na padáky, maskovací sítě a speciální lana.



Obr. č.6: Armádní stan [6]

- ***Dopravní prostředky***

Textilie a výrobky z nich používané v této oblasti zajišťují komfort a bezpečnost (ochranné pásy, ochranné sítě, airbasy). Využívají se tedy v automobilech, v letadlech nebo lodích.



Obr. č.7: Airbasy v automobilu [7]

- **Transport a balení**

Patří sem textilie na přepravní žoky, kontejnery pro přepravu vody, přepravní sítě, poštovní pytle, textilie na ruksaky, batohy, kabely, kufry a textilie na autoplachty či lana.



Obr. č.8: Velkoobjemový vak [2]

- **Průmyslové aplikace**

Do této skupiny řadíme textilie na výrobu filtrů, textilie k výrobě kompozitů, textilie na broušení, leštění ale i brzdění, dále textilie pro elektronický průmysl a textilie pro výrobu těsnění.



Obr. č.9: Filtrace [8]

- **Rozmanité aplikace**

Jsou sem řazeny např. primární i sekundární podklady pro koberce, artistické plachtoviny, knoty do lamp, tkaničky do bot, plátna do kin, textilie na deštníky, obuvnické textilie, reklamní textilie. Do této oblasti jsou zatím řazeny také tzv. „smart textilie“, jinak též nazývané jako inteligentní textilní materiály. [1]



Obr. č.10: Deštníky [9]

3. STRUKTURA A VAZBA TEXTILIE

3.1 Struktura textilie

Struktura textilie udává její vnitřní uspořádání, závisí na konstrukci textilie (vazba, druh vlákna), určuje vzhled povrchu textilie a ovlivňuje mechanicko-fyzikální vlastnosti (pevnost, pružnost, splývavost, tepelně-izolační vlastnosti...)

3.2 Dělení textilních struktur

- otevřené (porézní), uzavřené
- lineární
- plošné
- prostorové

3.2.1 Lineární textilie

Obecně je lineární textilie textilní útvar, jejíž jeden rozměr je řádově větší než zbývající dva rozměry. Textilní vlákna jsou uspořádána lineárně. (vlákna, příze, šicí nitě, monofil, multifil, šňůry, provazy...)

3.2.2 Plošné textilie

Jedná se o textilie, které mají tloušťku řádově menší než šířku a délku. Mohou být vytvořeny nejen klasickou technologií, tedy tkaním, pletením, ale také speciálními technologiemi. (tkaniny, pleteniny, netkané textilie, pleteno/tkaniny, sítě, multiaxiální textilie, biaxiální textilie...)

3.2.3 Prostorové (3D) textilie

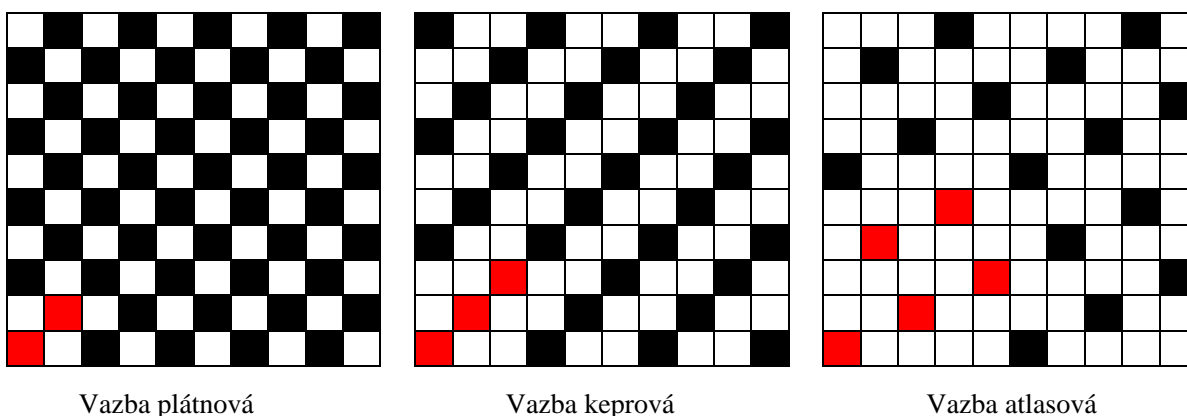
Tyto textilie jsou většinou vícevrstvé, vyrobené nejméně ze tří soustav nití, které tvoří objem textilní struktury. Dominují v nich tři parametry: délka, šířka a výška. (3D tkaniny, 3D pleteniny, plsti...)

3.3 Vazba textilie

Vazba je způsob vzájemného provázání jednotlivých soustav nití v textilií. Je charakteristickým znakem každé textilie, určuje vnitřní strukturu textilie, a tím i její vlastnosti a vzhled.

3.3.1 Vazby tkanin

Tkanina vzniká vzájemným provázáním dvou soustav nití (osnovy a útku). Dodává výrobkům dobré mechanické vlastnosti. Mezi základní tkalcovské vazby patří plátnová, keprová a atlasová vazba.



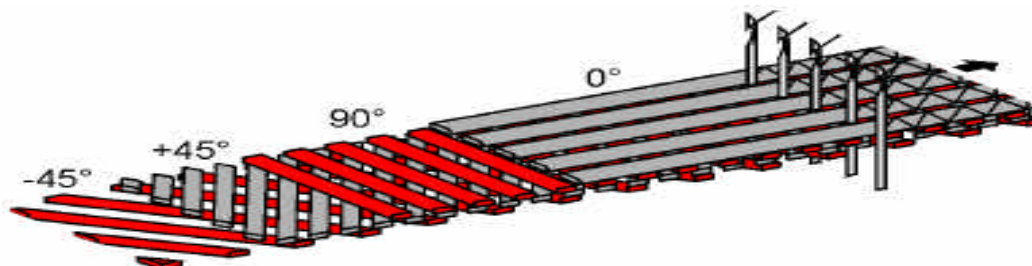
Obr. č.11: Základní tkalcovské vazby

3.3.2 Vazby pletenin

Na rozdíl od tkanin se vyrábí převážně z jedné soustavy nití. Každá nit vytváří řádek kliček, které se navzájem proplétají, tím vážou a vytvářejí souvislou plošnou textilií. Soustava nití může být podélná nebo příčná. Jednotlivá očka řádku se tvoří při zátažném pletení postupně, při osnovním pletením současně. Podle orientace oček v pletenině se pletařské vazby dělí na jednolící, oboulící, obourubní a interlokové. [10]

4. MULTIAXIÁLNÍ TEXTILIE

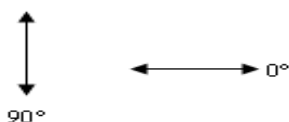
Můžeme definovat jako plošný útvar určený pro technické účely, který je vytvořen nejméně ze tří nebo čtyř soustav vláken, a to tak, že jednotlivé prameny vláken jsou vkládány pod různými úhly a následně prošívány nejčastěji polyesterovou nití. Pro nejlepší stabilitu této struktury jsou vlákna vložena ve směru $+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ$. Vlákno je tedy základní stavební jednotkou multiaxiální textilie. Ve skutečnosti to mohou být i příze, nitě a další délkové textilie.



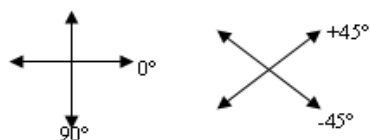
Obr. č. 12: Multiaxiální textilie [11]

4.1 Orientace vláken v textiliích

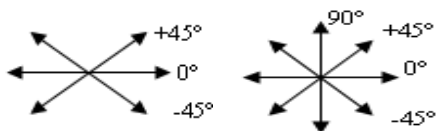
a) monoaxiální (jednosměrná)



b) biaxiální (dvousměrná)



c) multiaxiální (vícesměrná)



Vzorky monoaxiálních, biaxiálních a multiaxiálních textilií jsou uvedeny v přílohové části bakalářské práce.

5. VLÁKNA PRO VÝROBU MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILIÍ

5.1 Skleněná vlákna

5.1.1 Historický vývoj

Výroba skleněných vláken byla známa již Egypťanům okolo roku 1800 př. n. l, kteří je využívali ke zdobení váz, amfor a dalších nádob. Také archeologické nálezy v Číně potvrzují využití skleněných vláken na počátku našeho letopočtu. V Evropě jsou datovány první zmínky využití skla benátskými mistry na přelomu 16. a 17. století.

Jako nejstarší doklad o využití skleněných vláken pochází z roku 1880, kdy bylo sklo využito jako jednoduchá elektroizolace telegrafického drátu. Veřejný zájem o skleněná vlákna pochází z roku 1893. V tomto roce se konala Světová výstava v Chicagu, kde E. D. Lingey vytáhl vlákna z rozžhavených konců tyčí a navinul je na otáčející se buben.

V roce 1916 podává R. Kemp první patent na vlákna vyztužený plast a od roku 1934 jsou průmyslově vyráběna tepelně - izolační vlákna. Roku 1930 spouští společnost Saint-Gobain první tavící vanu v Evropě. Teprve po druhé světové válce se rozšířila výroba skleněných vláken po celém světě.[12]



Obr. č. 13: Svazek skleněného vlákna [13]

5.1.2 Dělení skleněných vláken

1) E-skla

- jedná se o nejrozšířenější druh, mají dobré elektroizolační vlastnosti, vysokou pevnost a pružnost.

Použití: především v elektrotechnice

2) S-skla

- obsahují vysoký obsah křemíku, jsou odolné vůči vyšším teplotám.

Použití: nejvíce pro výrobu kompozitních struktur

3) C-skla

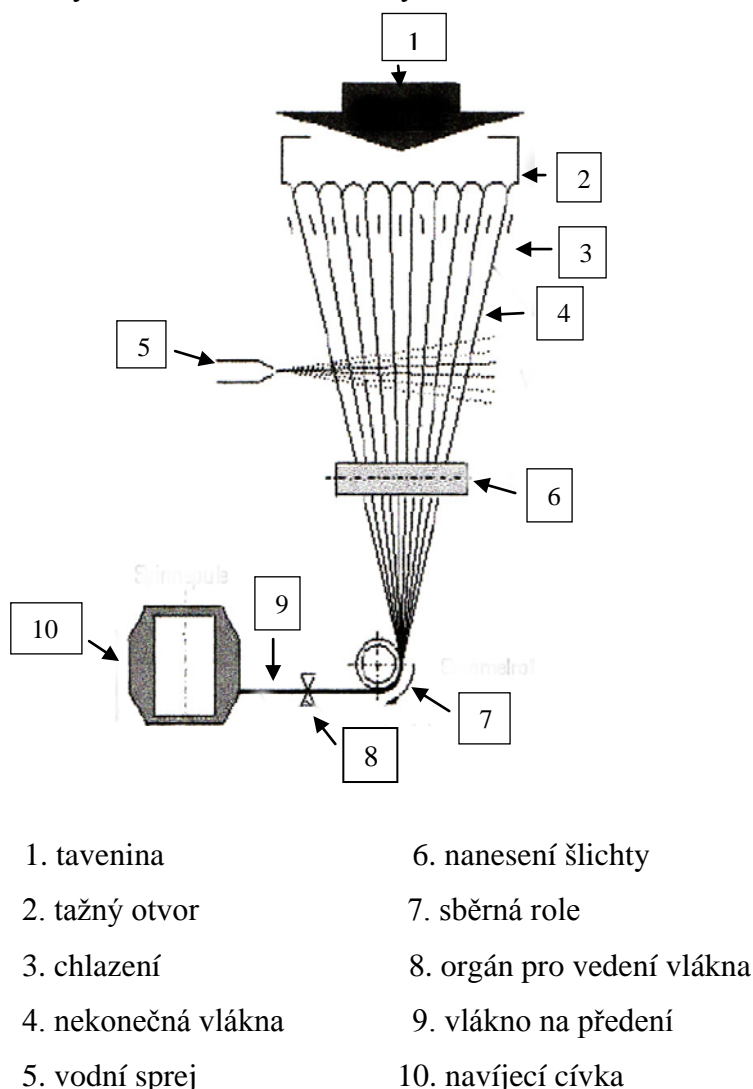
- odolávají velmi dobře chemické korozi.

Použití: chemická filtrace

5.1.3 Princip výroby

Příprava skleněných vláken je poměrně jednoduchá. Standardně se používá tavného zvlákňování a dlužení za tepla rychlostí 1200 – 3600 m/min. Používá se zvlákňovacích trysek s 200 – 400 otvory. Finální vlákno se podrobuje povrchovému zpracování nanesením šlichty, poté se sdružuje do pramene a navíjí na cívku. Sdružením pramene vzniká roving (pramenec nebo kabílek).

Přímé tavení – jedná se o výrobu 90% všech skleněných vláken



Obr. č. 14: Schéma přímého tavení [11]

Přímé tavení skla má řadu nevýhod. Je nutná vysoká teplota, která způsobuje částečné tékání některých součástí skla. Vzhledem k vysoké viskozitě taveniny vznikají také problémy

s její homogenizací. Pro odstranění těchto potíží se používá sol/gel metoda, kdy tepelným zpracováním dochází ke zkompaktnění struktury a vzniku skleněných vláken.

Sol – je koloidní suspenzí tak malých částic, že nedochází k jejich sedimentaci.

Gel – suspenze, kde je kapalné médium tak viskózní, že se materiál chová jako pevná látka.[14]

5.1.4 Vlastnosti skleněných vláken

Skleněná vlákna jsou hlavně ceněná pro své výborné technické vlastnosti. Vyznačují se dostatečnou pevností, avšak přítomnost vlhkosti ve vláknech jejich pevnost silně snižuje, dále vysokou hodnotou Youngova modulu v tahu, nehořlavostí, dobrou chemickou odolností a dobrými elektrickými vlastnostmi. Další nevýhodou těchto vláken je nízká odolnost vůči statickému dlouhodobému namáhání, tedy statická únava.

5.2 Uhlíková vlákna

5.2.1 Historický vývoj

Zatímco člověk se snaží o zhotovení uhlíkových vláken zhruba 120 let, příroda je uměla vytvořit již v dávných geologických časech.

Uhlík byl znám jako látka již v pravěku, ale jako prvek je užíván až od druhé poloviny 18. století. Mezinárodní název uhlíku „carbon“ je odvozen od latinského carbo, čímž Římané označovali dřevěné uhlí. Uhlík se v přírodě vyskytuje široce, ale jen dvě modifikace byly nalezeny na Zemi jako minerály: grafit a diamant.

Chronologie vzniku uhlíkových vláken:

- 1879 - první uhlíkové vlákno do žárovek (Edison)
- 50. léta - průmyslová výroba uhlíkových vláken z viskózy
- 60. léta - vývoj uhlíkových vláken na bázi izotropních smol
- 1965 - první uhlíková vlákna z anizotropních smol
- 70. léta – vlákna získaná růstem z plynné fáze [15]

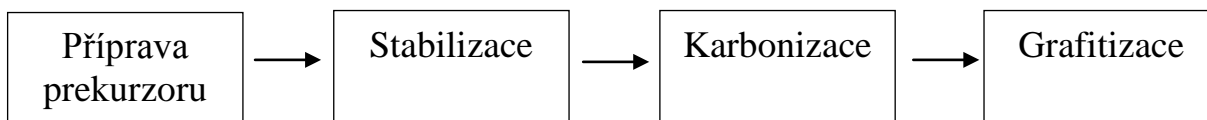


Obr. č. 15: Uhlík [13]

5.2.2 Princip výroby

Obecně se uhlíková vlákna vyrábějí řízenou pyrolýzou vhodných prekurzorů, mezi které patří viskózní vlákna, polyakrylonitrilová vlákna a vlákna na bázi smol z dehtu, které zbudou jako odpad po krakování ropy.[14]

Obecný postup výroby uhlíkových vláken:



Nejprve je nutné připravit kvalitní vlákenný materiál, buď tavným zvlákněním nebo zvlákněním z roztoku, který je nutné převést nějakou stabilizační reakcí na netavitelný, karbonizovatelný materiál. Poté probíhá karbonizace, kdy se vytváří uhlíková vlákna v inertní atmosféře za teploty 1000 – 2000°C, výsledné vlákno obsahuje 85 – 95% uhlíku. Následuje grafitizace v inertní atmosféře, ale nyní za teploty 2400 – 3000°C, kdy dochází ke snížení obsahu uhlíku na cca 99% a více. Současně vzniká uspořádaná vrstevnatá grafická struktura.

5.2.3 Vlastnosti uhlíkových vláken

Mezi obecné vlastnosti uhlíkových vláken patří vysoká pevnost a modul pružnosti, vysoká křehkost, nízká měrná hmotnost, vysoká odolnost vůči chemikáliím, dobrá elektrická vodivost a nulová sorpce vody.

5.3 Aramidová vlákna

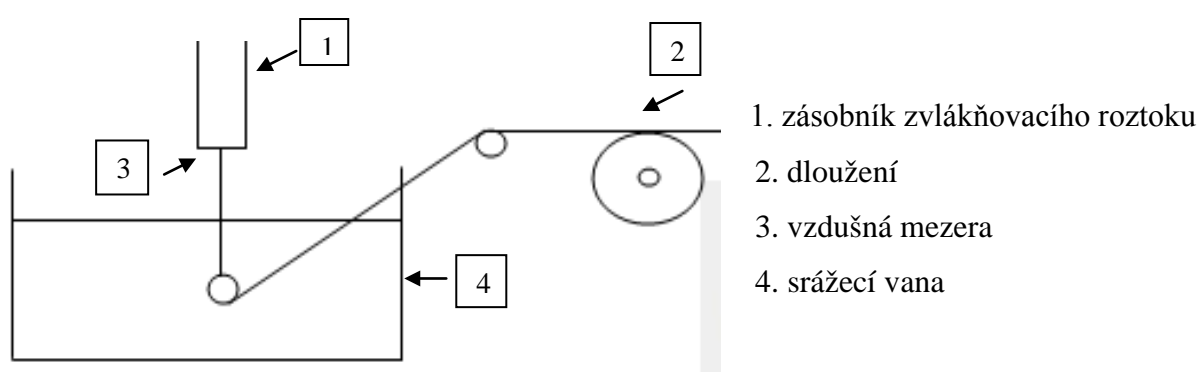
5.3.1 Historický vývoj

Aramidové vlákno je definováno jako vlákno z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, jehož alespoň 85% peptidických vazeb spojuje dvě aromatická jádra. Vývojem polyamidů se ve 30. letech 20. století věnovali ve firmě DuPont Dr. Wallace Carothers a jeho kolegové. Výsledkem jejich experimentů byly mimo jiné polyamidy, zejména polyamid 6.6 zvaný Nylon – tedy první syntetické vlákno na světě. Nylon měl okamžitý úspěch. V květnu 1940, kdy byly nylonové dámské punčochy uvedeny na americký trh, se jich za jediný den prodalo 5 miliónů párů. Ve druhé světové válce se výroba Nylonu přiklonila k vojenskému využití. Čínské hedvábí používané na výrobu vojenských padáků a sítí proti moskytům bylo nahrazeno nylonovými vlákny.

První aramidové vlákno, tzv. meta-aramidy značky Nomex, vyvinula v roce 1961 ve firmě DuPont Američanka Stephanie Kwolek. Zhruba o 10 let později začala tato firma s produkcí vláken Kevlar ze skupiny para-aramidů. Na konci 80.let začala s výrobou para-aramidu zvaného Twaron japonská společnost Teijin s hlavním sídlem v Holandsku.[16]

5.3.2 Princip výroby

Výroba aramidových vláken se provádí zvlákněním typu „Dry-jet-wet“. Nejdříve je provedeno zvláknění do vzduchu malou mezerou kolem 1 cm, poté zvláknění do srážecí lázně.



Obr. č. 16: Schéma Dry-jet-wet zvláknování [14]

V zásobníku je použit 10 – 20% roztok polymeru v H_2SO_4 , neobsahující vodu, zahřátý na $80^\circ C$. Za těchto podmínek je v roztoku převážně nematická fáze. Ve vzduchové mezeře mezi tryskou a koagulační lázní, kde se používá jako koagulační médium voda, probíhá průtah. Tím dochází k radiální orientaci krystalitů ve vlákně. Následuje dloužení, přičemž dochází k plastické deformaci neorientované struktury a vzniku tzv. orientované vlákenné struktury, dále fixace. [14]

5.3.3 Vlastnosti aramidových vláken

Tato vlákna se vyznačují vysokou pevností, mají výbornou odolnost vůči vysokým teplotám, organickým rozpouštědlům, dále jsou odolné vůči bakteriím, plísním a oděrům. Jejich nevýhodou je citlivost na UV záření a vlhkost.

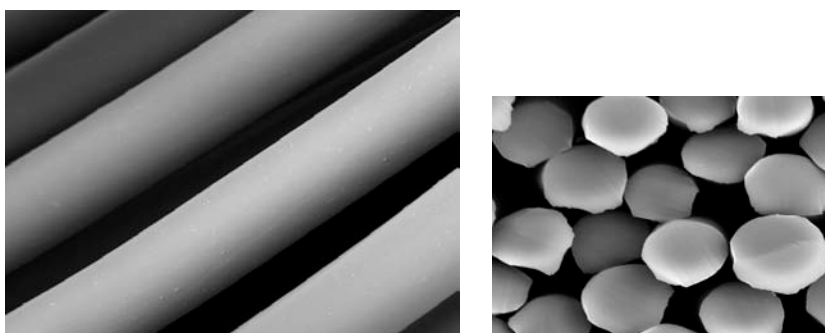
5.4 Polyesterová vlákna

5.4.1 Historický vývoj

Ze všech syntetických vláken nejzajímavější vývoj měla a mají vlákna polyesterová. Přírodní polyester je znám už od roku 1930, kdy se používal v období 1. světové války jako impregnační materiál. První polyester vhodný na výrobu vláken, tzv. polyethyltereftalát (PET), objevil anglický chemik Whinfield se svým spolupracovníkem Dicksonem. Roku 1941 podávají tedy první patent na výrobu těchto vláken.

Prvenství ve výrobě polyesterových vláken získala USA, především firma DuPont, která ihned po odkoupení patentových práv začala intenzivní a rozsáhlý výzkum. Druhé místo výroby těchto vláken obsadilo od roku 1958 Japonsko, kde výroba rostla nejrychleji. Roku 1955 se rozšířila výroba na základě licencí také do Francie, Holandska, Itálie, Španělska a Portugalska.

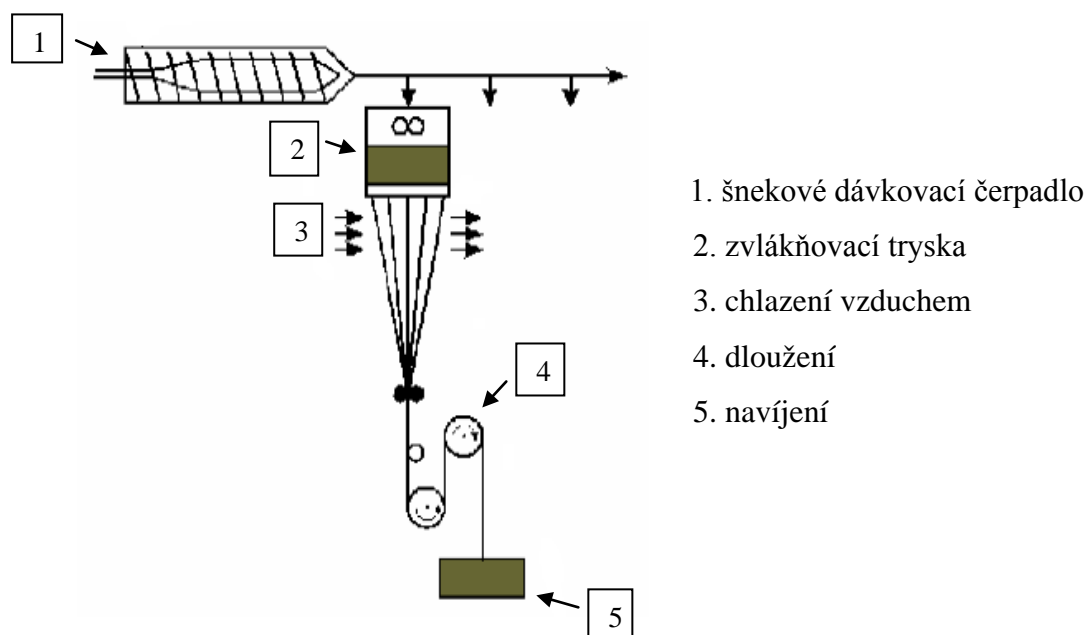
V tehdejší Československu se výroba polyesterových vláken vybuďovala na základě vlastních výzkumných prací, což je velkým úspěchem našeho chemického, strojírenského a textilního průmyslu. Výzkumné práce těchto vláken začaly na Výzkumném ústavě gumárenské a plastikářské technologie ve Zlíně, kde byla roku 1947 připravena první kyselina tereftalonová a uskutečnily se první polykondenzace. Jelikož údajů o polyesterových vláknech bylo ve světové literatuře velice málo, od roku 1950 byly zahájeny výzkumné práce ve větším rozsahu. [17]



Obr. č. 17: polyesterové vlákno - podélný směr a příčný řez [18]

5.4.2 Princip výroby

Základní surovinou je ropa, ze které se získává dimethyltereftalát a glykol. Polykondenzací obou sloučenin pak vzniká polyethyltereftalát. Pro přípravu polyesterových vláken se používá tzv. zvlákňování z taveniny.



Obr. č. 18: Schéma zvlákňování z taveniny [14]

Zvlákňování se provádí do chladicí šachty rychlostí 400 – 1500 m/min. Chladicí šachta je ofukována studeným vzduchem, vzniká předorientované (smrštivé) a prakticky amorfní vlákno. Následuje dloužení ve vodě za tepla při 75 – 90°C, přičemž probíhá krystalizace a orientace vláken. Poté probíhá fixace (ustálení), aby nedocházelo k tvarovým změnám vlákna.

5.4.3 Vlastnosti polyesterových vláken

Výhodou polyesterových vláken jsou dobré mechanické vlastnosti, odolnost vůči oděru, termoplasticita, dobrá termická odolnost, lépe odolávají slunci než např. polyamidy, rychlé schnutí a snadná údržba. K nevýhodám těchto vláken patří nízká navlhavost, vysoká žmolovitost, nabíjení elektrostatickou elektřinou a vysoká měrná hmotnost.

6. VÝROBA MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILIÍ

6.1 Tkaní

Jedná se o způsob výroby, kdy tři nebo čtyři soustavy vláken jsou vkládány pod různými úhly tak, aby každá soustava měla jiný směr, a následně prošity polyesterovou nití. Princip výroby je zaveden delší dobu, tkaniny najdeme běžně na trhu a slouží pro speciální účely.

6.2 Termické pojení

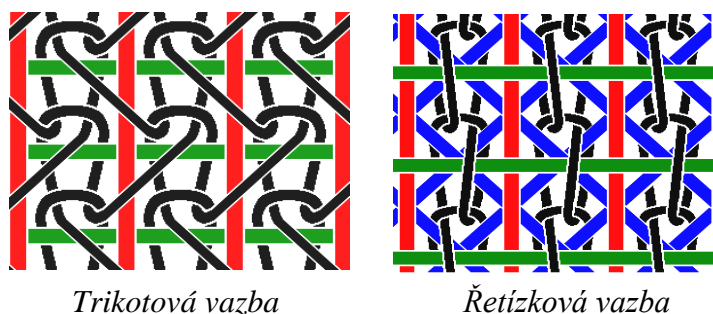
Termicky pojená multiaxiální textilie je vyrobena stejným způsobem jako tkaná multiaxiální textilie, pouze s tím rozdílem, že vlákna nejsou prošita polyesterovou nití, ale slepena pomocí pojivé mřížky.

Pojivá mřížka je vložena mezi jednotlivé soustavy vláken. Tato vrstva prochází kalandrovacími válci, kde dojde k jejímu stlačení a ohřátí na takovou teplotu, kdy začne pojivo tát. Vlivem tlaku je pojivo formováno do tvaru pojících míst. Následným ochlazením dojde ke zpevnění pojiva a tím i vlákenné vrstvy.

I když je produktivita termicky pojených multiaxiálních textilií poměrně vysoká, výrobky nemají dostatečnou pevnost v průřezu, nejsou odolné vůči štěpení a šíření trhlin.

6.3 Pletení

Pletená multiaxiální textilie je vyráběna na osnovních strojích, přičemž vzniká multiaxiální osnovní pletenina. Jde o textilií skládající se z několika soustav vláken, kde každá soustava je z důvodu lepší stability vložena ve směru $+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ$ (každá soustava může mít různou orientaci a hustotu), následně spojena nejčastěji řetízkovou nebo trikotovou vazbou.



Obr. č. 19: Multiaxiální osnovní pletenina [11]

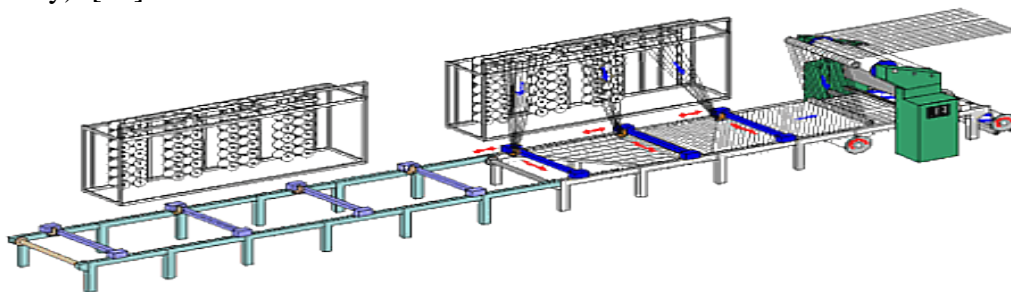
6.4 Splétání

Technologie splétání je vhodná především pro výrobu hadic. Princip výroby spočívá v tom, že tři systémy nití jsou splétány dohromady. Jedna soustava nití je vedena podélně, druhé dvě spirálově nebo šikmo. Výsledná orientace nití je $0^\circ/+30^\circ$ až 60° nebo $0^\circ/-30^\circ$ až 60° .

6.5 Stroje pro výrobu multiaxiálních textilií

Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 3CNC

Osnovní stroj pro výrobu multiaxiálních textilií je určen pro skleněné, aramidové, uhlíkové a polyesterové nitě. Vedení nití je provedeno přímo z cívečnice, vrstvy jsou spojeny očky a mohou různě měnit úhel. Všechny funkce stroje jsou řízeny počítačem, pohyby jsou ovládány servomotory. Změna úhlu sklonu vrstev je rovněž centrálně ovládána (ne mechanicky). [19]



Obr. č. 20: Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 3CNC [19]

Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 5CNC

Osnovní stroj pro výrobu multiaxiálních textilií z uhlíkových vláken. Na každou vrstvu lze použít uhlíková vlákna o hmotnosti (80 g/m^2 – 300 g/m^2). [19]



Obr. č. 21: Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 5CNC [19]

Multiaxial

Vysocevýkonný osnovní stroj pro výrobu multiaxiálních pletenin a struktur pro kompozitní materiály. Lze vkládat různé vrstvy: skleněná, uhlíková, aramidová vlákna, pásy, pěnové a další materiály.

Princip vkládání útku a fixace jednotlivých vrstev umožňuje vysokou pracovní rychlost stroje spolu s výbornou kvalitou zhotovené pleteniny.

Parametry stroje: výška 3700 mm, délka 18000 – 26500 mm, šířka 4700 – 7500 mm. [20]



Obr. č. 22: Osnovní stroj Multiaxial [20]

6.6 Výrobci multiaxiálních textilií v ČR

V České republice se firmy vyrábějící multiaxiální textilie dosud nevyskytují. Můžeme zde najít pouze dodavatele, kteří zajišťují dovoz těchto textilií převážně z Německa a Slovenska. Mezi největší dodavatele multiaxiálních textilií v ČR patří:

POLYGLASS RAKOVNÍK

Senomaty 94

270 31, Senomaty

<http://www.polyglass.cz>

KORAL s.r.o

Za mlýnem 5

666 01, Tišnov

<http://www.koral.biz>

HAVEL - COMPOSITES CZ s.r.o

Svéslavice 67

783 54, Práslavice

<http://www.havel-composites.com>

BOKATECH s.r.o

Jasenická 758

755 01, Vsetín

<http://www.bokatech.cz>

7. ZKOUŠENÍ MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILIÍ

Zkoušení multiaxiálních textilií je mnohem náročnější než u běžných textilií a to proto, že textilie není složena pouze z osnovy a útku, ale i z dalších přídatných diagonálních nití. K určení vlastností nebo konstrukčních parametrů těchto textilií, bylo nutné provést laboratorní zkoušky.

Protože jsou v ČR firmy, které dodávají vícesměrné textilie v současné době zásobeny pouze biaxiálními (dvousměrnými) textiliemi a multiaxiální textilie nebylo možné sehnat, pro laboratorní zkoušení musela být použita skleněná a uhlíková biaxiální textilie tkaná pod úhlem $-45^\circ / +45^\circ$. Veškeré zkoušky byly provedeny na katedře Textilních materiálů Technické univerzity v Liberci pod vedením Ing. Kovačiče a Ing. Maršákové.

Vzhledem k rozsahu bakalářské práce jsou uvedeny pouze vybrané vlastnosti a parametry biaxiálních textilií – plošná hmotnost, hustota, tloušťka, tuhost v ohybu, pevnost v tahu a tažnost.

Konstrukční parametry biaxiálních textilií

7.1 Plošná hmotnost

Plošná hmotnost je vyjádřena hmotností plošné textilie na jednotku plochy.

Měřicí přístroj: analytické váhy

Postup měření: Z plošné biaxiální textilie se ušřihly vzorky o rozměrech 100 x 100 mm, které se zvažily a hodnoty staticky zpracovaly podle vzorce:

$$\rho_s = \frac{m}{S} \quad [\text{kg.m}^{-2}]$$

kde:

m..... hmotnost vzorku o ploše S [m^{-2}]

ρ_s plošná hmotnost [kg.m^{-2}]

S..... plocha 100 x 100 mm

Naměřené hodnoty:

Plošná hmotnost vzorku skleněné biaxiální textilie tkané je **0,28 kg.m^{-2}** .

Plošná hmotnost vzorku uhlíkové biaxiální textilie tkané je **0,20 kg.m^{-2}** .

7.2 Hustota

Hustota biaxiální textilie je vyjádřena počtem nití v obou diagonálních směrech na vyznačenou délku 10 x 10 mm.

Pomůcka: jehlička

Postup měření: Hustota byla naměřena počítáním nití ve směru + 45° a – 45° na délku 10 x 10 mm, následně přepočtena na délku 100 mm.

Naměřené hodnoty:

Skleněná biaxiální textilie tkaná

Směr +45°: 10nití/10mm = 100 nití/100 mm

Směr -45°: 11nití/10mm = 110 nití/100 mm

Uhlíková biaxiální textilie tkaná

Směr +45°: 7nití/10mm = 70 nití/100 mm

Směr -45°: 8nití/10mm = 80 nití/100 mm

7.3 Tloušťka

Tloušťku plošné textilie můžeme definovat jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie. Protože je textilní materiál snadno deformovatelný, je měření tloušťky textilie předepsáno normou za přesně stanoveného přtlaku čelistí. [21]

Měřicí přístroj: tloušťkoměr

Postup měření: U biaxiálních textiliích se připravil vzorek 100 x 100 mm. Celkem proběhlo 10 měření, při kterých byla nastavena doba přtlaku čelistí 30 s a tlak 1 kPa. Tloušťka vzorku byla vyčíslena jako aritmetický průměr jednotlivých měření tloušťky.

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané:

| Zkouška | Naměřená hodnota |
|-------------|------------------|
| 1 | 0,47 |
| 2 | 0,48 |
| 3 | 0,48 |
| 4 | 0,48 |
| 5 | 0,48 |
| 6 | 0,48 |
| 7 | 0,48 |
| 8 | 0,47 |
| 9 | 0,46 |
| 10 | 0,49 |
| Σxi | 4,77 |

Průměrná tloušťka vzorku skleněné biaxiální textilie je **0,477 mm**.

Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie tkané:

| Zkouška | Naměřená hodnota |
|-------------|------------------|
| 1 | 0,43 |
| 2 | 0,43 |
| 3 | 0,45 |
| 4 | 0,46 |
| 5 | 0,42 |
| 6 | 0,42 |
| 7 | 0,47 |
| 8 | 0,49 |
| 9 | 0,51 |
| 10 | 0,41 |
| Σxi | 4,49 |

Průměrná tloušťka vzorku uhlíkové biaxiální textilie je **0,449 mm**.

Vlastnosti biaxiálních textilií

7.4 Tuhost v ohybu

Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je vyvozováno buď osamělou silou nebo spojitým obtížením vyvolaným plošnou měrnou hmotností.

Měřicí přístroj: tuhoměr

Postup měření: Pro měření tuhosti v ohybu biaxiální textilie se připravilo 5 vzorků 150 x 30 mm ve čtyřech směrech (0°- útek, 90°- osnova, -45° a +45° - diagonální směry). Každý vzorek se umístil na stolek tuhoměru a zatížil závažím. Postupně bylo naměřeno 7 různých úhlů odpovídajících 7 různým délkám převisu zvlášť pro všechny směry. Pomocí základních goniometrických funkcí se vypočítala pro každý úhel převisu α konstanta K a tuhost T podle vzorce:

$$K = \frac{\cos 0,5\alpha}{8 \cdot \operatorname{tg} \alpha} ; \quad T = b \cdot g \cdot \rho_s \cdot c^3 ; \quad c^3 = l^3 \cdot K$$

kde:

α naměřený úhel

b šířka vzorku (0,03 m)

g tíhové zrychlení (9,81 m.s⁻²) [22]

l délka převisu

ρ_s plošná hmotnost textilie

Průměrné hodnoty tuhosti pro všechny směry se vypočítaly jako aritmetický průměr ze sedmi hodnot pro různé délky převisu. (viz. následující strana)

Naměřené hodnoty pro určení tuhosti v ohybu skleněné biaxiální textilie tkané:

ÚHEL 90° (osnova)

Tabulka naměřených hodnot pro směr osnovy

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 6 | 1,1877 | 35 | 0,1703 | 50 | 0,0951 | 61 | 0,0597 | 69 | 0,0395 | 77 | 0,0226 | 81 | 0,0151 |
| 2 | 5 | 1,4274 | 15 | 0,4625 | 31 | 0,2005 | 54 | 0,0809 | 65 | 0,0492 | 72 | 0,0329 | 78 | 0,0206 |
| 3 | 3 | 2,3843 | 18 | 0,3800 | 32 | 0,1923 | 45 | 0,1155 | 57 | 0,0713 | 68 | 0,0419 | 74 | 0,0286 |
| 4 | 5 | 1,4274 | 13 | 0,5380 | 32 | 0,1923 | 53 | 0,0843 | 70 | 0,0373 | 77 | 0,0226 | 79 | 0,0187 |
| 5 | 11 | 0,6401 | 19 | 0,3580 | 51 | 0,0914 | 66 | 0,0467 | 74 | 0,0286 | 77 | 0,0226 | 81 | 0,0151 |
| Σ | - | 7,0669 | - | 1,9088 | - | 0,7716 | - | 0,3871 | - | 0,2259 | - | 0,1426 | - | 0,0981 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | $c^3 [m^3]$ | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------|-----------------------|
| 30 | 7,0669 | $1,91^{-4}$ | $1,57^{-5}$ |
| 40 | 1,9088 | $1,22^{-4}$ | $1,01^{-5}$ |
| 50 | 0,7716 | $9,64^{-5}$ | $7,94^{-6}$ |
| 60 | 0,3871 | $8,36^{-5}$ | $6,89^{-6}$ |
| 70 | 0,2259 | $7,75^{-5}$ | $6,37^{-6}$ |
| 80 | 0,1426 | $7,30^{-5}$ | $6,02^{-6}$ |
| 90 | 0,0981 | $7,15^{-5}$ | $5,89^{-6}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro směr osnovy: **$8,41^{-6}$** [N.m²]

ÚHEL 0° (útek)

Tabulka naměřených hodnot pro směr útku

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 0 | / | 6 | 1,1877 | 13 | 0,538 | 21 | 0,3202 | 36 | 0,1636 | 51 | 0,0914 | 64 | 0,0517 |
| 2 | 3 | 2,3843 | 9 | 0,7868 | 16 | 0,4317 | 30 | 0,2091 | 46 | 0,1111 | 61 | 0,0597 | 69 | 0,0395 |
| 3 | 4 | 1,7865 | 8 | 0,8873 | 14 | 0,4976 | 28 | 0,2281 | 41 | 0,1347 | 57 | 0,0713 | 68 | 0,0419 |
| 4 | 3 | 2,3843 | 6 | 1,1877 | 9 | 0,7868 | 20 | 0,3382 | 35 | 0,1703 | 46 | 0,1111 | 62 | 0,0570 |
| 5 | 0 | / | 6 | 1,1877 | 12 | 0,5849 | 26 | 0,2497 | 41 | 0,1347 | 54 | 0,0809 | 67 | 0,0442 |
| Σ | - | 6,5551 | - | 5,2372 | - | 2,8390 | - | 1,3453 | - | 0,7144 | - | 0,4144 | - | 0,2343 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | $c^3 [m^3]$ | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------|-----------------------|
| 30 | 6,5551 | $1,77^{-4}$ | $1,46^{-5}$ |
| 40 | 5,2372 | $3,35^{-4}$ | $2,76^{-5}$ |
| 50 | 2,8390 | $3,55^{-4}$ | $2,92^{-5}$ |
| 60 | 1,3453 | $2,91^{-4}$ | $2,40^{-5}$ |
| 70 | 0,7144 | $2,45^{-4}$ | $2,02^{-5}$ |
| 80 | 0,4144 | $2,12^{-4}$ | $1,75^{-5}$ |
| 90 | 0,2343 | $1,71^{-4}$ | $1,41^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro směr útku: **$2,10^{-5}$** [N.m²]

ÚHEL -45° (diagonální směr)

Tabulka naměřených hodnot pro diagonální směr

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 0 | / | 7 | 1,0161 | 14 | 0,4976 | 23 | 0,2886 | 39 | 0,1455 | 58 | 0,0683 | 69 | 0,0395 |
| 2 | 0 | / | 9 | 0,7868 | 13 | 0,538 | 21 | 0,3202 | 36 | 0,1636 | 54 | 0,0809 | 66 | 0,0467 |
| 3 | 0 | / | 5 | 2,3843 | 9 | 0,7868 | 13 | 0,5380 | 24 | 0,2746 | 51 | 0,0914 | 66 | 0,0467 |
| 4 | 2 | 3,5790 | 6 | 1,1877 | 12 | 0,5849 | 15 | 0,4625 | 32 | 0,1923 | 51 | 0,0914 | 65 | 0,0492 |
| 5 | 1 | 7,1610 | 6 | 1,1877 | 11 | 0,6401 | 20 | 0,3382 | 29 | 0,2183 | 42 | 0,1296 | 56 | 0,0744 |
| Σ | - | 10,7400 | - | 6,5626 | - | 3,0474 | - | 1,9475 | - | 0,9943 | - | 0,4616 | - | 0,2565 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | c^3 [m ³] | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 30 | 10,7400 | $2,90^{-4}$ | $2,39^{-5}$ |
| 40 | 6,5626 | $4,20^{-4}$ | $3,46^{-5}$ |
| 50 | 3,0474 | $3,81^{-4}$ | $3,14^{-5}$ |
| 60 | 1,9475 | $4,21^{-4}$ | $3,47^{-5}$ |
| 70 | 0,9943 | $3,41^{-4}$ | $2,81^{-5}$ |
| 80 | 0,4616 | $2,36^{-4}$ | $1,94^{-5}$ |
| 90 | 0,2565 | $1,87^{-4}$ | $1,54^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro diagonální směr -45°: 2,68⁻⁵ [N.m²]

ÚHEL +45° (diagonální směr)

Tabulka naměřených hodnot pro diagonální směr

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 0 | / | 1 | 7,1610 | 10 | 0,7062 | 16 | 0,4317 | 39 | 0,1455 | 57 | 0,0713 | 68 | 0,0419 |
| 2 | 2 | 3,5790 | 5 | 1,4274 | 17 | 0,4044 | 26 | 0,2497 | 41 | 0,1347 | 56 | 0,0744 | 69 | 0,0395 |
| 3 | 1 | 7,1610 | 8 | 0,8873 | 16 | 0,4317 | 26 | 0,2497 | 42 | 0,1296 | 58 | 0,0683 | 70 | 0,0373 |
| 4 | 1 | 7,1610 | 2 | 3,5790 | 9 | 0,7868 | 19 | 0,3580 | 36 | 0,1636 | 56 | 0,0744 | 69 | 0,0395 |
| 5 | 0 | / | 4 | 1,7865 | 9 | 0,7868 | 25 | 0,2617 | 41 | 0,1347 | 56 | 0,0744 | 67 | 0,0442 |
| Σ | - | 17,9010 | - | 14,841 | - | 3,1159 | - | 1,5508 | - | 0,7081 | - | 0,3628 | - | 0,2024 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | c^3 [m ³] | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 30 | 17,9010 | $4,83^{-4}$ | $3,98^{-5}$ |
| 40 | 14,8412 | $9,50^{-4}$ | $7,82^{-5}$ |
| 50 | 3,1159 | $3,89^{-4}$ | $3,21^{-5}$ |
| 60 | 1,5508 | $3,35^{-4}$ | $2,76^{-5}$ |
| 70 | 0,7081 | $2,43^{-4}$ | $2,00^{-5}$ |
| 80 | 0,3628 | $1,86^{-4}$ | $1,53^{-5}$ |
| 90 | 0,2024 | $1,48^{-4}$ | $1,22^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro diagonální směr +45°: 3,22⁻⁵ [N.m²]

Naměřené hodnoty pro určení tuhosti v ohybu uhlíkové biaxiální textilie tkané:

ÚHEL 90° (osnova)

Tabulka naměřených hodnot pro směr osnovy

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 9 | 0,7868 | 21 | 0,3202 | 49 | 0,0989 | 66 | 0,0467 | 79 | 0,0187 | 82 | 0,0133 | 80 | 0,0169 |
| 2 | 8 | 0,8873 | 20 | 0,3382 | 44 | 0,1200 | 62 | 0,0570 | 74 | 0,0286 | 79 | 0,0187 | 82 | 0,0133 |
| 3 | 8 | 0,8873 | 26 | 0,2497 | 45 | 0,1155 | 62 | 0,0570 | 77 | 0,0226 | 80 | 0,0169 | 80 | 0,0169 |
| 4 | 11 | 0,6401 | 31 | 0,2005 | 52 | 0,0878 | 71 | 0,0350 | 79 | 0,0187 | 79 | 0,0187 | 82 | 0,0133 |
| 5 | 6 | 1,1877 | 16 | 0,4317 | 40 | 0,1400 | 56 | 0,0744 | 74 | 0,0286 | 81 | 0,0151 | 82 | 0,0133 |
| Σ | - | 4,3892 | - | 1,5403 | - | 0,5622 | - | 0,2701 | - | 0,1172 | - | 0,0827 | - | 0,0737 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | $c^3 [m^3]$ | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------|-----------------------|
| 30 | 4,3892 | $1,19^{-4}$ | $7,00^{-6}$ |
| 40 | 1,5403 | $9,86^{-5}$ | $5,80^{-6}$ |
| 50 | 0,5622 | $7,03^{-5}$ | $4,14^{-6}$ |
| 60 | 0,2701 | $5,83^{-5}$ | $3,43^{-6}$ |
| 70 | 0,1172 | $4,02^{-5}$ | $2,37^{-6}$ |
| 80 | 0,0827 | $4,23^{-5}$ | $2,49^{-6}$ |
| 90 | 0,0737 | $5,37^{-5}$ | $3,16^{-6}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro směr osnovy: $4,06^{-6}$ [N.m²]

ÚHEL 0° (útek)

Tabulka naměřených hodnot pro směr útku

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 2 | 3,5790 | 3 | 2,3843 | 9 | 0,7868 | 18 | 0,3800 | 28 | 0,2281 | 40 | 0,1400 | 51 | 0,0914 |
| 2 | 1 | 7,1610 | 4 | 1,7865 | 8 | 0,8873 | 13 | 0,5380 | 26 | 0,2497 | 39 | 0,1455 | 53 | 0,0843 |
| 3 | 0 | / | 4 | 1,7865 | 8 | 0,8873 | 15 | 0,4625 | 25 | 0,2617 | 38 | 0,1513 | 49 | 0,0989 |
| 4 | 1 | 7,1610 | 3 | 2,3843 | 8 | 0,8873 | 14 | 0,4976 | 26 | 0,2497 | 39 | 0,1455 | 51 | 0,0914 |
| 5 | 0 | / | 1 | 7,1610 | 6 | 1,1877 | 12 | 0,5849 | 23 | 0,2886 | 36 | 0,1636 | 50 | 0,0951 |
| Σ | - | 17,9010 | - | 15,5026 | - | 4,6364 | - | 2,4630 | - | 1,2778 | - | 0,7459 | - | 0,4611 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | $c^3 [m^3]$ | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------|-----------------------|
| 30 | 17,9010 | $4,83^{-4}$ | $2,84^{-5}$ |
| 40 | 15,5026 | $9,92^{-4}$ | $5,84^{-5}$ |
| 50 | 4,6364 | $5,80^{-4}$ | $3,41^{-5}$ |
| 60 | 2,4630 | $5,32^{-4}$ | $3,13^{-5}$ |
| 70 | 1,2778 | $4,38^{-4}$ | $2,58^{-5}$ |
| 80 | 0,7459 | $3,82^{-4}$ | $2,25^{-5}$ |
| 90 | 0,4611 | $3,36^{-4}$ | $1,98^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro směr útku: $3,15^{-5}$ [N.m²]

ÚHEL -45° (diagonální směr)

Tabulka naměřených hodnot pro diagonální směr

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 1 | 7,1610 | 3 | 2,3843 | 4 | 1,7865 | 7 | 1,0161 | 10 | 0,7062 | 14 | 0,4976 | 69 | 0,0395 |
| 2 | 0 | / | 1 | 7,1610 | 3 | 2,3843 | 6 | 1,1877 | 8 | 0,8873 | 16 | 0,4317 | 66 | 0,0467 |
| 3 | 1 | 7,1610 | 3 | 2,3843 | 5 | 1,4274 | 11 | 0,6401 | 15 | 0,4625 | 19 | 0,3580 | 66 | 0,0467 |
| 4 | 0 | / | 2 | 3,5790 | 6 | 1,1877 | 7 | 1,0161 | 12 | 0,5849 | 18 | 0,3800 | 65 | 0,0492 |
| 5 | 1 | 7,1610 | 2 | 3,5790 | 4 | 1,7865 | 8 | 0,8873 | 12 | 0,5844 | 20 | 0,3382 | 56 | 0,0744 |
| Σ | - | 21,4830 | - | 19,0876 | - | 8,5724 | - | 4,7473 | - | 3,2258 | - | 0,4616 | - | 0,2565 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | c^3 [m ³] | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 30 | 21,4830 | $5,80^{-4}$ | $4,78^{-5}$ |
| 40 | 19,0876 | $1,22^{-3}$ | $7,18^{-5}$ |
| 50 | 8,5724 | $1,07^{-3}$ | $6,30^{-5}$ |
| 60 | 4,7473 | $1,03^{-3}$ | $6,06^{-5}$ |
| 70 | 3,2258 | $1,11^{-3}$ | $6,53^{-5}$ |
| 80 | 0,4616 | $2,36^{-4}$ | $1,39^{-5}$ |
| 90 | 0,2565 | $1,87^{-4}$ | $1,10^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro diagonální směr -45°: **4,76**⁻⁵ [N.m²]

ÚHEL +45° (diagonální směr)

Tabulka naměřených hodnot pro diagonální směr

| l[mm] | 30 | | 40 | | 50 | | 60 | | 70 | | 80 | | 90 | |
|----------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| vzorek | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K | α | K |
| 1 | 0 | / | 3 | 2,3843 | 6 | 1,1877 | 9 | 0,7868 | 12 | 0,5849 | 15 | 0,4625 | 24 | 0,2746 |
| 2 | 1 | 7,1610 | 3 | 2,3843 | 5 | 1,4274 | 8 | 0,8873 | 11 | 0,6401 | 19 | 0,3580 | 32 | 0,1923 |
| 3 | 0 | / | 3 | 2,3843 | 4 | 1,7865 | 7 | 1,0161 | 13 | 0,5380 | 20 | 0,3382 | 30 | 0,2091 |
| 4 | 0 | 7,1610 | 2 | 3,5790 | 5 | 1,4274 | 8 | 0,8873 | 14 | 0,4976 | 18 | 0,3800 | 24 | 0,2746 |
| 5 | 1 | / | 2 | 3,5790 | 4 | 1,7865 | 6 | 1,1877 | 9 | 0,7868 | 13 | 0,5380 | 21 | 0,3202 |
| Σ | - | 14,3220 | - | 14,3109 | - | 7,6155 | - | 4,7652 | - | 3,0474 | - | 2,0767 | - | 1,2708 |

Tabulka vypočtených hodnot

| l[mm] | ΣK | c^3 [m ³] | T [N.m ²] |
|-------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 30 | 14,3220 | $3,87^{-4}$ | $2,28^{-5}$ |
| 40 | 14,3109 | $9,16^{-4}$ | $5,39^{-5}$ |
| 50 | 7,6155 | $9,52^{-4}$ | $5,60^{-5}$ |
| 60 | 4,7652 | $1,03^{-3}$ | $6,06^{-5}$ |
| 70 | 3,0474 | $1,05^{-3}$ | $6,18^{-5}$ |
| 80 | 2,0767 | $1,06^{-3}$ | $6,24^{-5}$ |
| 90 | 1,2708 | $9,26^{-4}$ | $5,45^{-5}$ |

Průměrná tuhost v ohybu pro diagonální směr +45°: **5,31**⁻⁵ [N.m²]

7.5 Pevnost v tahu a tažnost

Pevnost v tahu měří sílu vyžadovanou k tomu, aby se vzorek textilie tažením natáhl do meze, kde se přetrhne.

Tažnost je velikost deformace (prodloužení) při maximální síle, vyjádřená v %.

Při zkoušení pevnosti v tahu je zjištěna :

- maximální síla F [N], potřebná k přetržení vzorku
- tažnost A [%], tzv. protažení, které odpovídá síle v okamžiku přetrhu
- práce W [J] do přetrhu, tedy energie, kterou je třeba vynaložit, aby síla v závislosti na deformaci způsobila destrukci vzorku
- napětí [N/tex], tj. síla potřebná k přetržení vzorku, přepočtená na plochu
- modul pružnosti E [MPa], který je dán jako podíl napětí a deformace. Jedná se o první derivaci funkce tahové křivky, tedy tečnu ke křivce v počátku. [21]

Měřicí přístroj: dynamometr (trhačka)

Postup měření: U biaxiálních textiliích se zkouší vzorky ve čtyřech směrech - v podélném směru, v příčném směru a ve dvou diagonálních směrech pod úhlem $+45^\circ$ / -45° . Pro každý směr se ustříhlo 10 vzorků o rozměrech 270 x 50 mm, jako upínací vzdálenost byla zvolena délka $l_0 = 200\text{mm}$. Vzorek se upnul do čelistí trhačického stroje, po stisknutí tlačítka proběhla zkouška. Z celkového počtu naměřených hodnot se vypočítala statistika:

$$\text{Střední hodnota: } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_i$$

$$\text{Rozptyl: } s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{Směrodatná odchylka: } s = \sqrt{s^2}$$

$$\text{Variační koeficient: } v = \frac{s}{x} \cdot 10^2$$

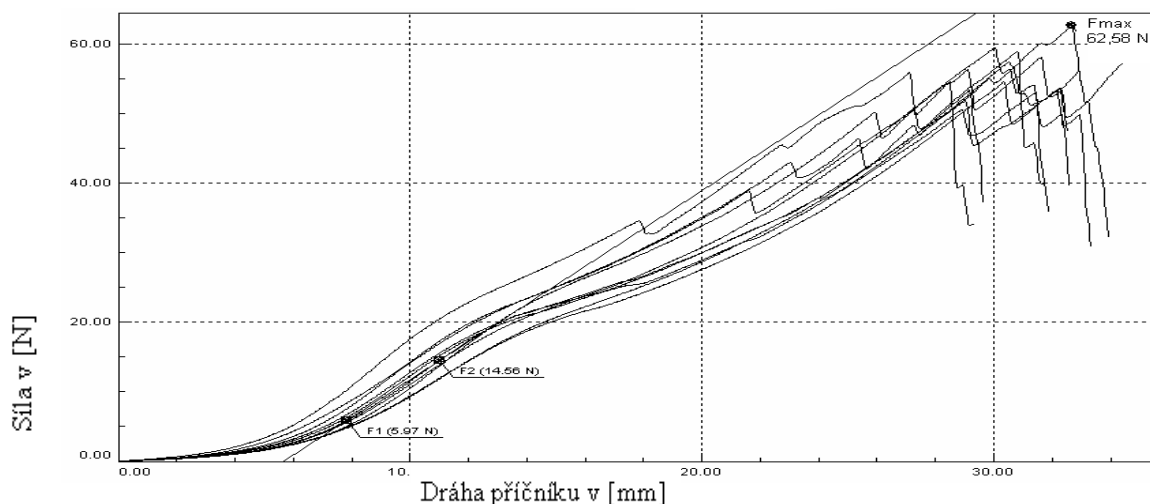
Vzorky biaxiálních textilií po zkoušce v tahu jsou uvedeny v přílohové části bakalářské práce.

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané ve směru osnovy (úhel 90°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 22,44 | 15,70 | 52,90 | 0,77 |
| 9 | 22,21 | 15,25 | 57,36 | 0,80 |
| 8 | 20,16 | 15,17 | 54,57 | 0,81 |
| 7 | 22,72 | 16,34 | 62,58 | 0,84 |
| 6 | 22,37 | 15,02 | 59,43 | 0,80 |
| 5 | 21,17 | 14,58 | 53,29 | 0,72 |
| 4 | 25,28 | 15,40 | 58,89 | 0,83 |
| 3 | 25,20 | 17,35 | 58,28 | 0,98 |
| 2 | 19,69 | 16,07 | 53,22 | 0,79 |
| 1 | 26,28 | 13,55 | 55,85 | 0,78 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| počet zkoušek | 10 | 10 | 10 | 10 |
| střední hodnota | 22,75 | 15,44 | 56,64 | 0,81 |
| rozptyl | 4,88 | 1,06 | 10,35 | 0,0046 |
| směrodatná odchylka | 2,21 | 1,03 | 3,22 | 0,07 |
| variační koeficient | 9,71 | 6,65 | 5,68 | 8,44 |
| minimální hodnota zkoušek | 19,69 | 13,55 | 52,90 | 0,72 |
| maximální hodnota zkoušek | 26,28 | 17,35 | 62,58 | 0,98 |



Graf č. 1 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem 90° [23]

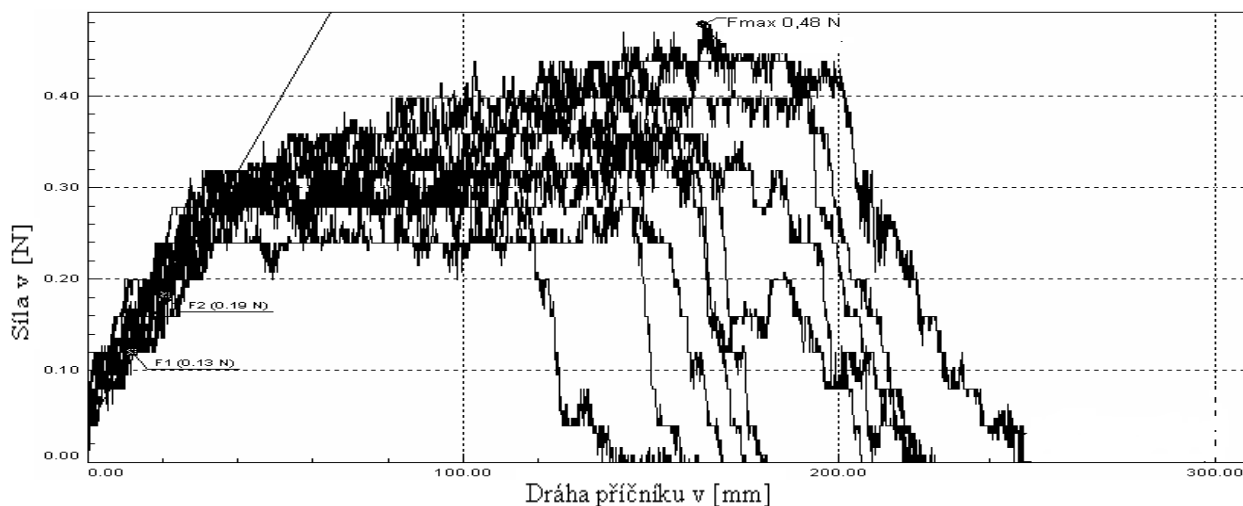
Vyhodnocení: Skleněná biaxiální textilie se ve směru osnovy při maximální síle přetrhla. Z naměřených hodnot je zjištěno, že v tomto směru je textilie méně pevná a tažnost se při maximální síle pohybuje v průměru kolem 15 %.

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané ve směru útku (úhel 0°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 0,06 | 81,86 | 0,48 | 0,07 |
| 9 | 0,06 | 84,12 | 0,46 | 0,08 |
| 8 | 0,05 | 61,23 | 0,39 | 0,04 |
| 7 | 0,04 | 77,83 | 0,38 | 0,05 |
| 6 | 0,04 | 70,00 | 0,29 | 0,04 |
| 5 | 0,05 | 95,54 | 0,43 | 0,07 |
| 4 | 0,05 | 41,84 | 0,40 | 0,04 |
| 3 | 0,06 | 75,88 | 0,37 | 0,05 |
| 2 | 0,05 | 76,06 | 0,36 | 0,04 |
| 1 | 0,07 | 51,55 | 0,44 | 0,05 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| počet zkoušek | 10 | 10 | 10 | 10 |
| střední hodnota | 0,05 | 71,59 | 0,40 | 0,05 |
| rozptyl | 0,009 | 256,66 | 0,0031 | 0,0002 |
| směrodatná odchylka | 0,01 | 16,02 | 0,06 | 0,01 |
| variační koeficient | 18,17 | 22,38 | 13,92 | 26,98 |
| minimální hodnota zkoušek | 0,04 | 41,84 | 0,29 | 0,04 |
| maximální hodnota zkoušek | 0,07 | 95,54 | 0,48 | 0,08 |



Graf č. 2 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem 0° [23]

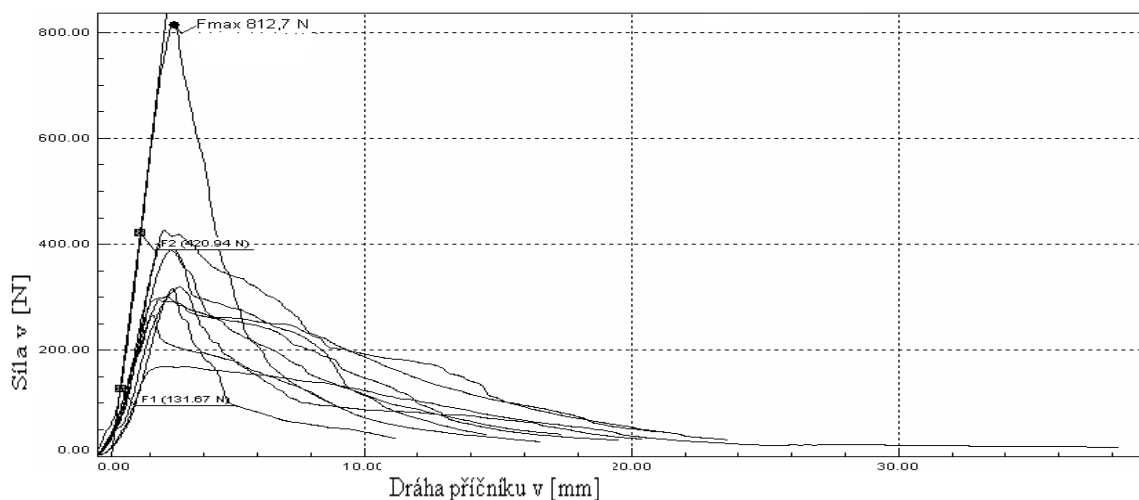
Vyhodnocení: U skleněné biaxiální textilie byla ve směru útku naměřena velmi vysoká tažnost. Tahové křivky jsou nepřehledné proto, že znázorňují postupné vytahování jednotlivých vláken z textilie. Při měření pevnosti v tahu se vlákno po vlákně vyťahovalo až došlo k poškození. Textilie není v tomto směru dostatečně pevná

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané v diagonálním směru (úhel -45°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 1748,93 | 1,40 | 389,64 | 2,62 |
| 9 | 1522,45 | 1,41 | 316,76 | 1,19 |
| 8 | 1143,18 | 1,27 | 168,98 | 2,54 |
| 7 | 1523,50 | 1,06 | 265,71 | 1,81 |
| 6 | 1325,14 | 1,17 | 295,57 | 2,76 |
| 5 | 1585,33 | 1,55 | 319,79 | 2,25 |
| 4 | 2096,97 | 1,25 | 426,15 | 3,91 |
| 3 | 1738,62 | 1,31 | 300,87 | 3,62 |
| 2 | 3223,54 | 1,45 | 812,70 | 3,02 |
| 1 | 2023,72 | 1,35 | 410,18 | 2,66 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| počet zkoušek | 10 | 10 | 10 | 10 |
| střední hodnota | 1793,14 | 1,32 | 370,63 | 2,64 |
| rozptyl | 336343,00 | 0,02 | 29788,00 | 0,63 |
| směrodatná odchylka | 579,95 | 0,14 | 172,59 | 0,79 |
| variační koeficient | 32,34 | 10,83 | 46,57 | 30,08 |
| minimální hodnota zkoušek | 1143,18 | 1,06 | 168,98 | 1,19 |
| maximální hodnota zkoušek | 3223,54 | 1,55 | 812,7 | 3,91 |



Graf č. 3 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem -45° [23]

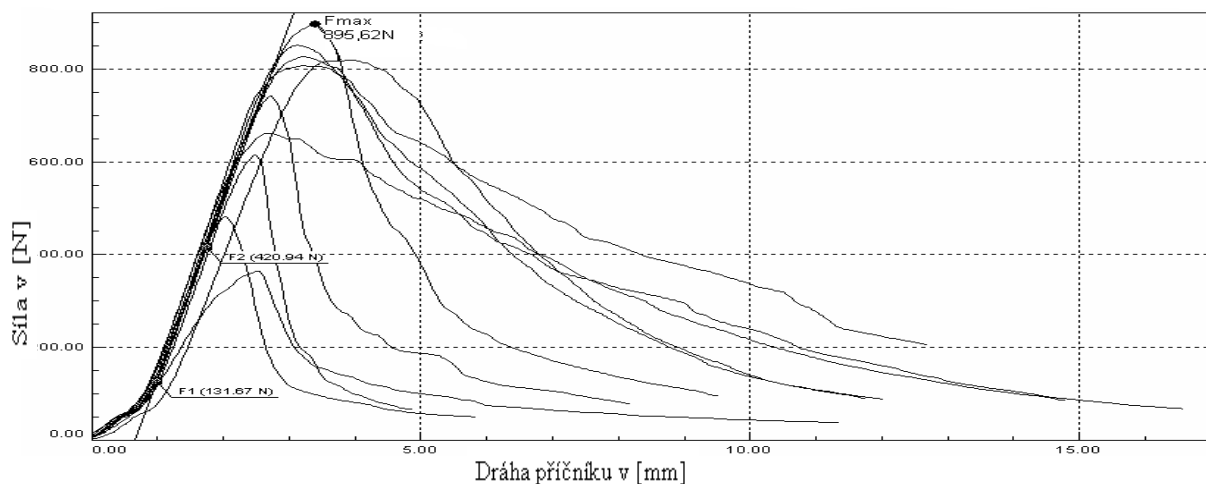
Vyhodnocení: Skleněná biaxiální textilie je v diagonálním směru -45° v porovnání s naměřenými hodnotami ve směru osnova a útku vysoce pevná. Při maximální síle se textilie nepřetrhla, vlákna se prodloužila o velmi malou hodnotu.

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané v diagonálním směru (úhel +45°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 2905,83 | 1,97 | 819,12 | 4,43 |
| 9 | 3179,28 | 1,70 | 895,62 | 3,28 |
| 8 | 3112,06 | 1,36 | 741,22 | 2,06 |
| 7 | 3178,00 | 1,56 | 851,10 | 4,43 |
| 6 | 3079,92 | 1,24 | 614,21 | 1,12 |
| 5 | 2894,16 | 1,02 | 481,33 | 0,93 |
| 4 | 1826,35 | 1,26 | 364,02 | 1,27 |
| 3 | 3264,93 | 1,60 | 826,27 | 5,12 |
| 2 | 3187,92 | 1,34 | 661,27 | 4,88 |
| 1 | 3339,83 | 1,60 | 806,92 | 5,69 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| počet zkoušek | 10 | 10 | 10 | 10 |
| střední hodnota | 2996,83 | 1,47 | 706,11 | 3,32 |
| rozptyl | 189020,00 | 0,075 | 30394,00 | 3,34 |
| směrodatná odchylka | 434,76 | 0,27 | 174,34 | 1,83 |
| variační koeficient | 14,51 | 18,72 | 24,69 | 55,10 |
| minimální hodnota zkoušek | 1826,35 | 1,02 | 364,02 | 0,93 |
| maximální hodnota zkoušek | 3339,83 | 1,97 | 895,62 | 5,69 |



Graf č. 4 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem +45° [23]

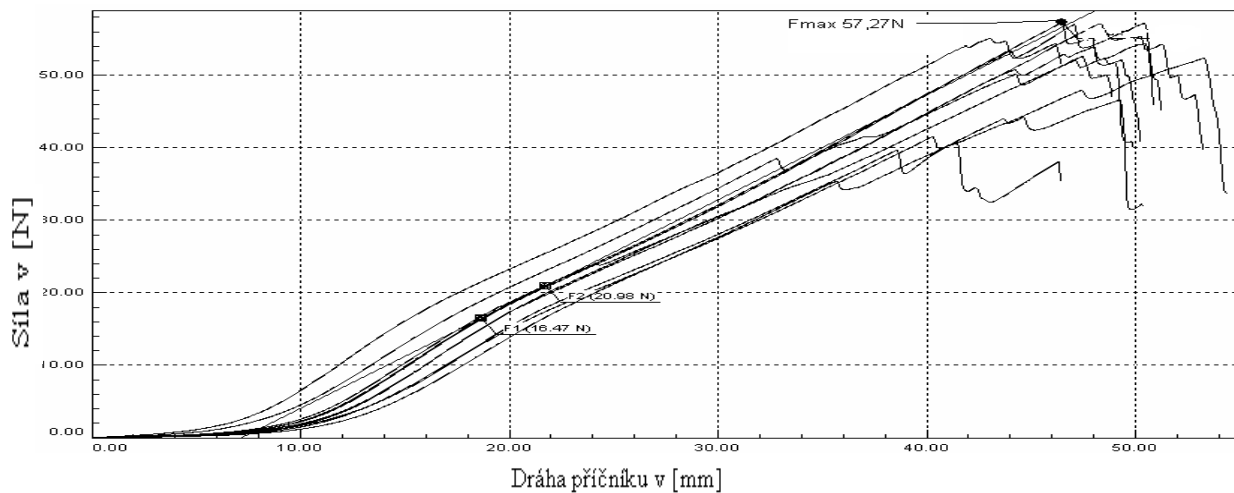
Vyhodnocení: Skleněná biaxiální textilie je v diagonálním směru +45° nejpevnější. Při maximální síle nedošlo k přetrhu textilie, vlákna se protáhla jako v diagonálním směru -45° o velmi malou hodnotu.

Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie tkané ve směru osnovy (úhel 90°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 12,43 | 24,26 | 52,32 | 1,20 |
| 9 | 12,85 | 23,72 | 52,59 | 1,25 |
| 8 | 12,60 | 26,64 | 52,40 | 1,28 |
| 7 | 13,11 | 24,17 | 57,13 | 1,39 |
| 6 | 12,80 | 25,20 | 57,22 | 1,35 |
| 5 | 13,19 | 21,50 | 55,10 | 1,26 |
| 4 | 12,38 | 25,23 | 54,39 | 1,26 |
| 3 | 12,95 | 23,23 | 57,27 | 1,29 |
| 2 | 11,21 | 24,63 | 46,63 | 1,07 |
| 1 | 11,77 | 20,73 | 40,76 | 0,87 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| Počet měření | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Střední hodnota | 12,53 | 23,93 | 52,58 | 1,22 |
| Rozptyl | 0,38 | 3,11 | 27,67 | 0,023 |
| Směrodatná odchylka | 0,62 | 1,76 | 5,26 | 0,15 |
| Variační koeficient | 4,97 | 7,36 | 10,00 | 12,20 |
| Minimální hodnota zkoušek | 11,21 | 20,73 | 40,76 | 0,87 |
| Maximální hodnota zkoušek | 13,19 | 26,64 | 57,27 | 1,39 |



Graf č. 5: Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem 90° [23]

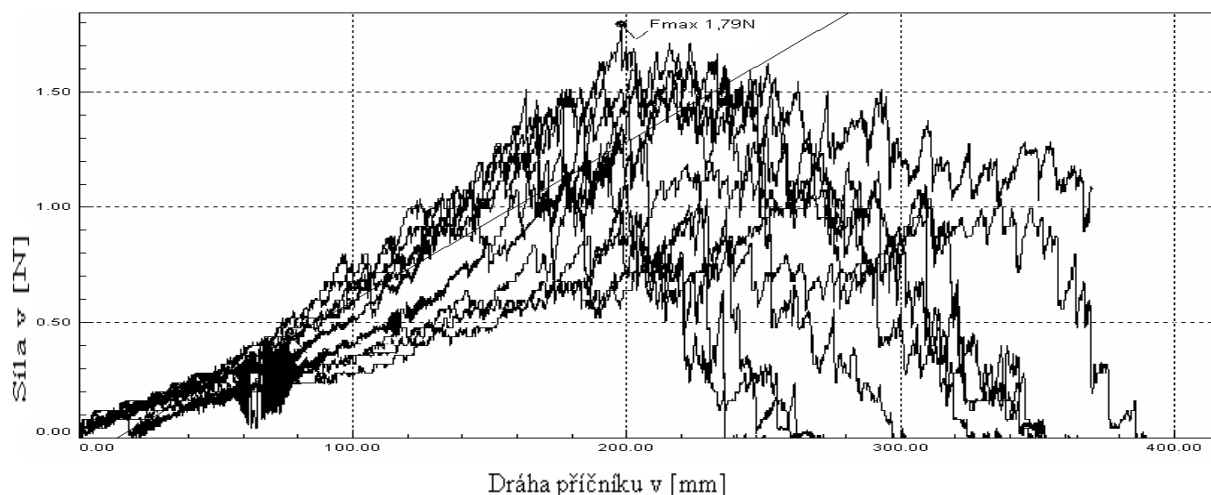
Vyhodnocení: : Uhlíková biaxiální textilie se ve směru osnovy při maximální síle přetrhla. Z naměřených hodnot je zjištěno, že v tomto směru je textilie méně pevná, a tažnost se při maximální síle pohybuje v průměru kolem 24 %.

Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie tkané ve směru útku (úhel 0°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 0,08 | 94,97 | 1,63 | 0,17 |
| 9 | 0,08 | 88,94 | 1,19 | 0,15 |
| 8 | 0,09 | 91,49 | 1,52 | 0,16 |
| 7 | 0,07 | 125,87 | 1,62 | 0,32 |
| 6 | 0,12 | 116,55 | 1,66 | 0,27 |
| 5 | 0,04 | 135,20 | 1,23 | 0,2 |
| 4 | 0,02 | 154,15 | 1,04 | 0,2 |
| 3 | 0,06 | 99,03 | 1,79 | 0,27 |
| 2 | 0,08 | 111,52 | 1,71 | 0,23 |
| 1 | 0,02 | 135,37 | 1,07 | 0,18 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| Počet měření | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Střední hodnota | 0,07 | 115,31 | 1,45 | 0,22 |
| Rozptyl | 0,001 | 486,17 | 0,08 | 0,003 |
| Směrodatná odchylka | 0,03 | 22,05 | 0,28 | 0,06 |
| Variační koeficient | 46,19 | 19,12 | 19,66 | 26,29 |
| Minimální hodnota zkoušek | 0,02 | 88,94 | 1,04 | 0,15 |
| Maximální hodnota zkoušek | 0,12 | 154,15 | 1,79 | 0,32 |



Graf č. 6 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem 0° [23]

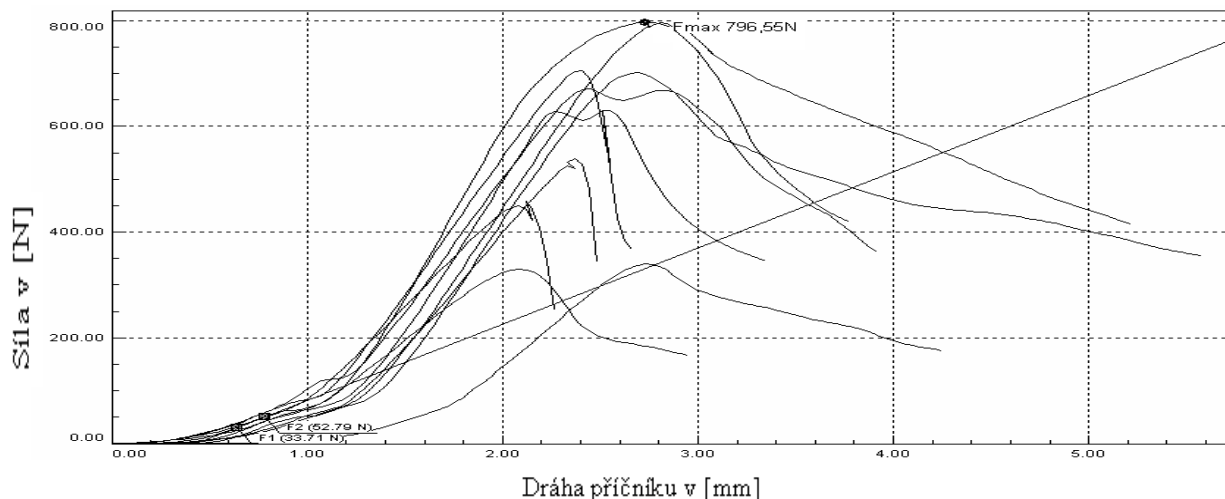
Vyhodnocení: Tak jako u skleněné biaxiální textilie byla i u uhlíkové biaxiální textilie naměřena ve směru útku vysoká tažnost. Tahové křivky opět znázorňují vytahování jednotlivých vláken z textilie. Z naměřených hodnot vyplývá, že textilie není v tomto směru dostatečně pevná.

Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie tkané v diagonálním směru (úhel -45°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 1119,30 | 1,35 | 701,12 | 2,02 |
| 9 | 1279,79 | 1,36 | 796,55 | 2,37 |
| 8 | 680,47 | 1,40 | 795,54 | 1,35 |
| 7 | 1268,13 | 1,22 | 670,46 | 1,41 |
| 6 | 1256,54 | 1,28 | 629,56 | 0,97 |
| 5 | 1151,77 | 1,20 | 705,73 | 0,80 |
| 4 | 1113,77 | 1,18 | 539,28 | 0,50 |
| 3 | 1109,65 | 1,06 | 458,58 | 0,45 |
| 2 | 1031,77 | 1,04 | 329,18 | 0,47 |
| 1 | 1062,61 | 1,37 | 339,73 | 0,63 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| Počet měření | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Střední hodnota | 1107,38 | 1,25 | 596,57 | 1,1 |
| Rozptyl | 29994,00 | 0,016 | 29863,00 | 0,46 |
| Směrodatná odchylka | 173,19 | 0,13 | 172,81 | 0,68 |
| Variační koeficient | 15,64 | 10,24 | 28,97 | 61,63 |
| Minimální hodnota zkoušek | 680,47 | 1,04 | 329,18 | 0,45 |
| Maximální hodnota zkoušek | 1279,79 | 1,4 | 796,55 | 2,37 |



Graf č. 7 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem -45° [23]

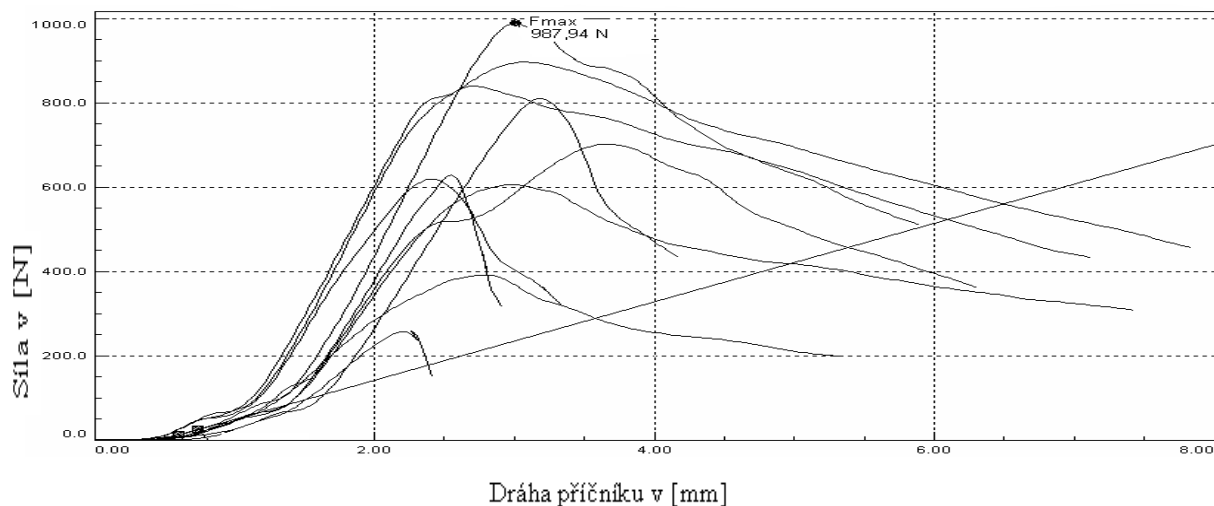
Vyhodnocení: Uhlíková biaxiální textilie je v diagonálním směru -45° vysoce pevná. Při maximální síle nedošlo k přetrhu textilie, vlákna se protáhla stejně jako u skleněné biaxiální textilie o velmi malou hodnotu.

Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie tkané v diagonálním směru (úhel +45°)

| Zkouška | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------|------------|-------------|-------------|----------|
| 10 | 860,65 | 1,84 | 702,51 | 2,52 |
| 9 | 988,58 | 1,49 | 606,11 | 2,57 |
| 8 | 814,47 | 1,40 | 391,33 | 1,14 |
| 7 | 1004,36 | 1,28 | 628,92 | 0,70 |
| 6 | 959,75 | 1,58 | 809,51 | 1,41 |
| 5 | 532,37 | 1,13 | 259,55 | 0,24 |
| 4 | 1306,13 | 1,20 | 619,12 | 1,01 |
| 3 | 767,91 | 1,51 | 987,94 | 3,13 |
| 2 | 1218,24 | 1,52 | 896,64 | 4,37 |
| 1 | 1355,85 | 1,36 | 839,34 | 3,73 |

Statistika z celkového počtu zkoušek

| | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|----------|
| Počet měření | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Střední hodnota | 980,83 | 1,43 | 674,10 | 2,08 |
| Rozptyl | 65828,00 | 0,042 | 50663,00 | 1,92 |
| Směrodatná odchylka | 256,57 | 0,20 | 225,09 | 1,38 |
| Variační koeficient | 26,16 | 14,27 | 33,39 | 66,53 |
| Minimální hodnota zkoušek | 532,37 | 1,13 | 259,55 | 0,24 |
| Maximální hodnota zkoušek | 1355,85 | 1,84 | 987,94 | 4,37 |



Graf č. 8 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem +45° [23]

Vyhodnocení: Uhlíková biaxiální textilie je v diagonálním směru +45° nejpevnější. Při maximální síle nedošlo k přetrhu textilie, tažnost je v tomto směru velmi malá.

8. UŽITÍ MULTIAXIÁLNÍCH TEXTILIÍ

Multiaxiální textilie slouží především jako výztuž pro výrobu kompozitních materiálů.

8.1 Vláknové kompozity

Jako kompozity označujeme materiály, které jsou složeny minimálně ze dvou hlavních složek (fází), které se výrazně liší fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

Hlavní složky kompozitů:

- výztuž (viz. kapitola 8.3)
- pojivo – matrice (viz. kapitola 8.4)

8.2 Dělení kompozitů

8.2.1 Dle typu výztuže

Partikulové

- s náhodnou orientací
- s přednostní orientací

Vláknové

- jednovrstvové
 - dlouhovláknové (s jednosměrným nebo dvousměrným vyztužením)
 - krátkovláknové (s náhodnou nebo přednostní orientací)
- mnohovrstvové
 - laminát (vícevrstvový vláknový kompozit)
 - hybridní laminát (jednotlivé vrstvy z různých složek) [16]

8.2.2 Dle druhu matrice

- polymerní (termoplastická, reaktoplastická, elastomerní)
- kovová (kovové kompozity)
- keramická (keramický kompozit vyztužený kovovými vlákny)
- anorganická (beton, železobeton)

8.3 Výztuž

Tvrďší, tužší, pevnější a obvykle nespojitá složka (dispergovaná, diskontinuální) nejčastěji ze skleněných vláken. Pro výrobky, na které jsou kladeny speciální požadavky, se používají vlákna kevlarová a uhlíková.

8.3.1. Formy výztuže

Kromě multiaxiálních textilií se jako výztuž používá:

- ***Biaxiální textilie***

Textilie složená z osnovy a útku nebo dvou diagonálních nití, vyrobená stejným způsobem jako multiaxiální textilie.

- ***Roving***

Nekonečná skleněná vlákna malého průřezu sdružená do svazků, určená k dalšímu zpracování. Jsou dodávány na válcových cívkách o větší hmotnosti (u skleněných vláken do 15 kg).

- ***Rohož***

Netkaný plošný textilní útvar, vyrobený z neorientovaných rovnoměrně rozložených vláken. Běžně se používají rohože o plošné hmotnosti okolo 300g/m².

- ***Tkanina***

Plošný textilní útvar vytvořený tkaním dvou soustav nití (osnovy a útku). Dodává výrobkům dobré mechanické vlastnosti.

- ***Prepreg (předimpregnovaná výztuž)***

Výztuž předem napuštěná pryskyřicí, polymeruje působením tlaku a tepla při výrobním procesu lisování.

- ***Kombinovaná výztuž***

Vzniká sešitím pramencových tkanin s rohožemi. Umožňuje produktivní výrobu laminátů s dobrými mechanickými vlastnostmi.

8.4 Pojivo (matrice)

Je polymerní materiál, kterým se impregnuje výztuž. Udržuje ji v požadované poloze, zajišťuje přenos sil mezi oběma složkami (pojivem, výztuží) a dodává materiálu potřebné vlastnosti (chemickou odolnost, tepelné vlastnosti, elektroizolační vlastnosti apod.) [24]

Pro vláknové kompozity jsou nejpoužívanější matrice polymerní, buď reaktoplastické nebo termoplastické.

8.4.1 Reaktoplastické matrice (termosety)

Jsou pojiva, která vznikají vytvrzením chemickou reakcí při působení katalyzátoru a iniciátoru. Správně vytvrzený termoset odolává vyšším teplotám, neměkne a odolává creepu. V porovnání s plastem je však křehčí a nelze jej recyklovat. Do oblasti termosetů patří:

• *Nenasycené polyestery*

Patří k nejpoužívanějším pryskyřicím. Podle své chemické struktury se dělí na ortoftalovou, izoftalovou, tereftalovou, fumarovou a chlorftalovou. Mají dobré mechanické, elektrické a chemické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti a tepelná odolnost nenasycených polyesterových pryskyřic:

| Pryskyřice | Modul pružnosti E[MPa] | Pevnost v tahu [MPa] | Max. pracovní teplota [°C] |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| ortoftalová | 3400 | 55 | 80 |
| izoftalová | 3400 | 75 | 90 |
| fumarová | 2800 | 40 | 130 |
| chlorftalová | 3400 | 20 | 140 |

• *Epoxidy*

Tyto pryskyřice mají vynikající mechanické a elektrické vlastnosti, cenné jsou také dobrými elektroizolačními vlastnostmi, dále odolností proti vodě, roztokům alkálií i kyselin a některým rozpouštědlům.

• *Vinylestery*

Vinylesterové pryskyřice kombinují nejlepší charakteristiky polyesterových a epoxidových pryskyřic. Vyznačují se dobrou odolností v kyselém a alkalickém prostředí, zvláště ve vysokých teplotách, vyšší cenou a pomalejší reakcí při vytvrzování.

- **Polyuretanové pryskyřice**

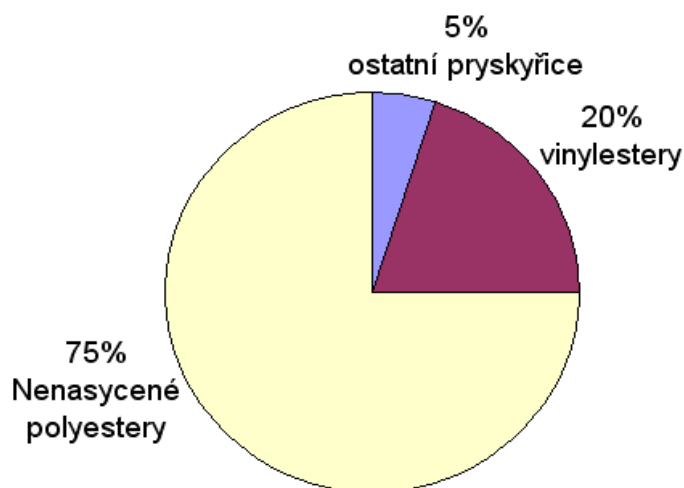
Vyrábějí se reakcí isokyanátu a polyepoxy, jsou houževnatější a únavě odolnější. Mají dobrou adhezi k vláknům a jsou poměrně levné. Rychlejší vytvrzovací proces dovoluje zvýšit rychlost výroby.

- **Fenolické pryskyřice**

Vyrábějí se z fenolu a formaldehydu kondenzační reakcí. Jsou nehořlavé, křehké a za normální teploty zůstávají v tuhém stavu.

- **Kyanoestery**

Mají velkou pevnost, nepatrnou absorpci vlhkosti a výtečné elektrické vlastnosti v porovnání s ostatními pryskyřicemi. Nevýhodou je jejich vysoká cena.



Graf č. 9: Nejpoužívanější reaktoplasty [25]

8.4.2 Termoplastické matrice

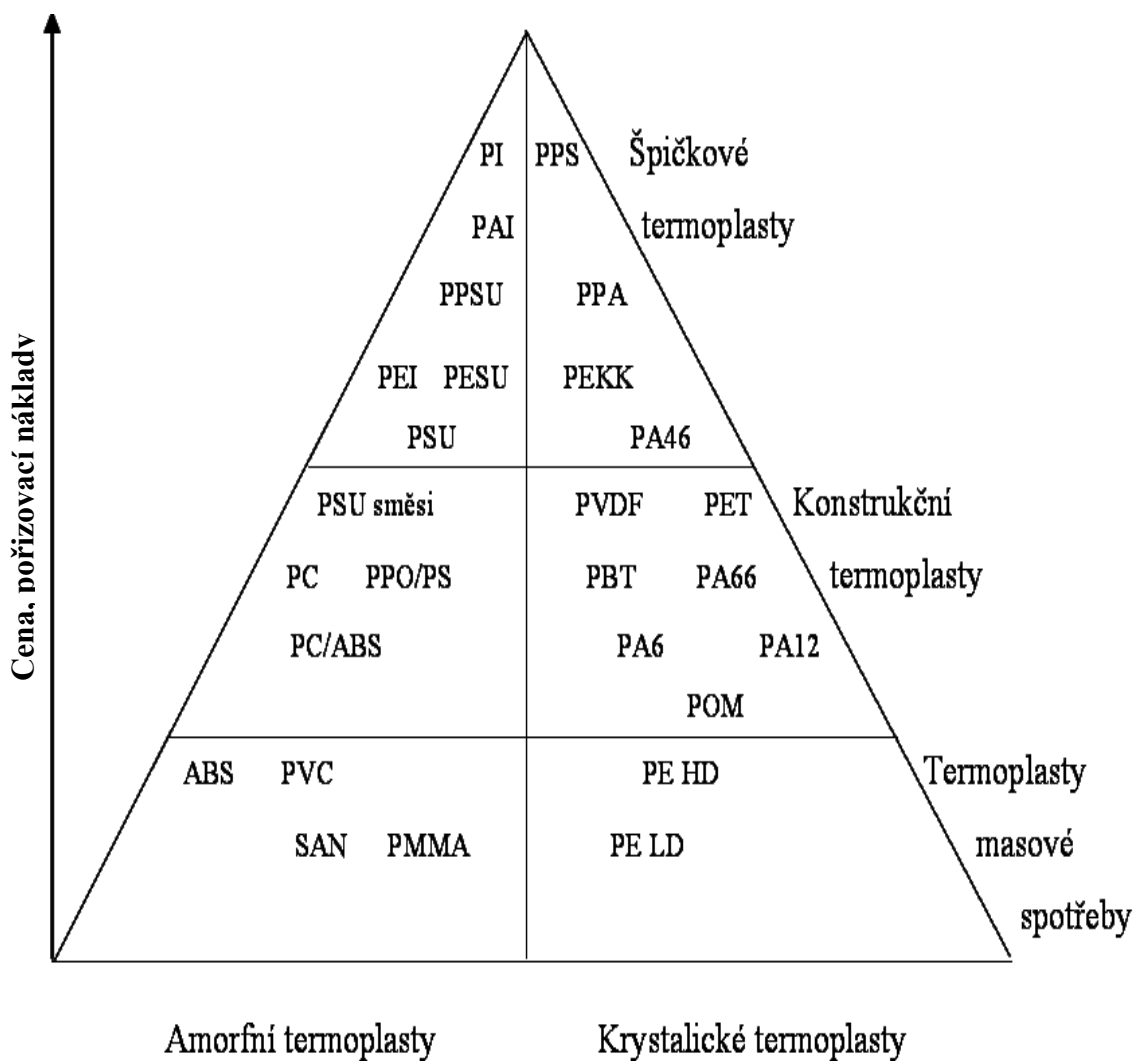
Výhodou těchto matic je nízká cena, umožňují opětovné tepelné zpracování, mají vyšší houževnatost, nejsou zesíťované, jejich pevnost a tuhost je dána vlastnostmi monomerní jednotky a velmi vysokou molekulovou hmotností. Při výrobě kompozitů je nutné tuto matici natavit a její tuhnutí závisí na rychlosti odvodu tepla.

Dělení termoplastů:

- amorfní (vysoká koncentrace zapletení, které působí jako zesíťení)
- krystalické (vysoký stupeň napřimení a uspořádání molekul)

[24]

8.4.2.1 Přehled termoplastů z hlediska ceny



[25]

Špičkové termoplasty

| Polymer | Název | Teplota zesklenní (T _g) [°C] |
|---------|-------------------------------|--|
| PI | Polyimid | T _g = 277 - 370 |
| PAI | Polyamidoimid | T _g = 277 - 289 |
| PPSU | Polyfenylesulfon | T _g = 220 |
| PSU | Polysulfon | T _g = 190 |
| PEI | Polyetherimid | T _g = 215 |
| PESU | Polyethersulfon | T _g = 230 |
| PPS | Polyphenylsulfid | T _g = 80 |
| PPA | Částečně aromatické polyamidy | T _g = 127, T _g = 92 při 50% relativní vlhkosti |
| PA 46 | Polyamid 46 | T _g = 85 - 180 |

Konstrukční termoplasty

| Polymer | Název | Teplota zesklenní (T _g) [°C] |
|---------|---|--|
| PC | Polykarbonát | T _g = 148 |
| PPO/PS | Polyfenylénoxid s polystyrénem | T _g = 220 |
| PC/ABS | Polykarbonát s Akrylonitrilbutadienstyrem | T _g = 130 |
| PVDF | Polyvinylidenfluorid | T _g = 175 |
| PBT | Polybutylentereftalát | T _g = 225 |
| PET | Polyethylentereftalátu | T _g = 250 |
| PAD 66 | Polyamid 66 | T _g = 260 |
| PA 6 | Polyamid 6 | T _g = 220 |
| PA 12 | Polyamid 12 | T _g = 180 |
| POM | Polyformaldehyd | T _g = 164 - 172 |

Termoplasty masové spotřeby

| Polymer | Název | Teplota zesklenní (T _g) [°C] |
|---------|----------------------------|--|
| ABS | Akrylonitrilbutadienstyren | T _g = 110 |
| PVC | Polyvinylchlorid | T _g = 80 |
| SAN | Styrenakrylonitril | T _g = 106 |
| PMMA | Polymethylmetakrylát | T _g = 110 |
| PE HD | Polyetylen vyšší hustoty | T _g = 135 |
| PE LD | Polyetylen nižší hustoty | T _g = 110 |

8.5 Používané příměsi do pojiv

• *Aditiva*

Přidáním malého množství těchto látek dochází k lepším vlastnostem pojiv. Zlepšují smáčení vláken, ulehčují odvzdušnění pryskyřic, zpomalují stárnutí a degradaci polymerů.

• *Pigmenty*

Tyto příměsi jsou používány zejména pro probarvení pryskyřic. Musí mít dostatečnou krytost, aby požadovaného odstínu bylo dosaženo s minimálním přídatkem pigmentu a musí být dlouhodobě stabilní vůči UV záření nebo dalším povětrnostním vlivům, aby byla zaručena stálost odstínu.

• *Plniva*

Jedná se o malé, pevné částice inertních materiálů, které se přidávají do pojiva s cílem zvýšit pevnost, tvrdost, tvarovou stálost, zlepšit zpracovatelnost, snížit hořlavost a smrštění.

• *Separátory*

Uspadňují vyjímání kompozitních výrobků z forem. Separáčnické prostředky lze rozdělit do 4 hlavních skupin (fóliové, voskové, semipermanentní a vnitřní separátory). [26]

8.6 Výroba vláknových kompozitů

Předpokladem pro vznik kompozitu je tzv. laminování, tedy dostatečné prosycení výztuže polymerním pojivem. Kromě výztuže a pojiva je nutné použít formy různého tvaru, dělí se na otevřené (jednodílné), uzavřené (dvoudílné) nebo jednostranné formy, kde tekutá pryskyřice je oddělena od okolí nepropustnou vrstvou fólie.

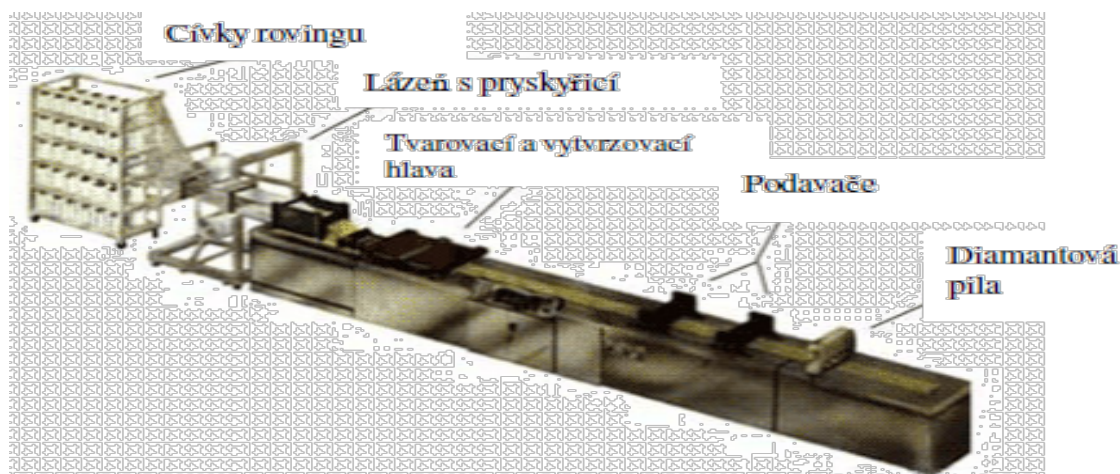
8.6.1 Technologie výroby kompozitů

• *Ruční kladení*

Při ručním kladení musí být výztuž v podobě tkaniny nebo rohože, které jsou manuálně aplikovány do formy. Na každou vrstvu je nanášena pomocí štětců nebo válečků pryskyřice. Tím dochází k prosycení výztuže a spojení laminátu. Ručním kladením výztuže na otevřenou formu lze vyrobit i velmi rozměrné výrobky.

- **Pultruze**

Tato technologie je založena na tažení vláken, rohoží nebo tkanin pryskyřičnou lázní, kde dochází k prosycení výztuže. V následném kroku je prosycená výztuž tvarována do požadovaného průřezu a zároveň je celý kompozit vytvrzen v kontinuální vytvrzovací hlavě. Hotový profil je odtahován pásy nebo dvojicí střídavě popojíždějících vozíků a řezán na potřebnou délku. [27]



Obr. č. 23: Pultruzní stroj [27]

- **Navíjení**

Princip výroby je založen na kontinuálním navíjení svazků vláken nebo jiných výztuží na kruhovou, smrštitelnou formu. Vlákná jsou navíjena buď již navlhčená pryskyřicí nebo se provlhčují až po navinutí.

Kompozit je i s jádrem, které se upíná do rotačního zařízení vložen do pece, kde dochází při neustálé rotaci k vytvrzování.

- **Stříkání**

Jedná se o výrobní proces, kdy se na otevřenou formu stříká speciální pistolí směs sekaného rovingu s pryskyřicí. Nastříkaná směs je zaválečkována, ručně udusána, poté následuje vytvrzení.

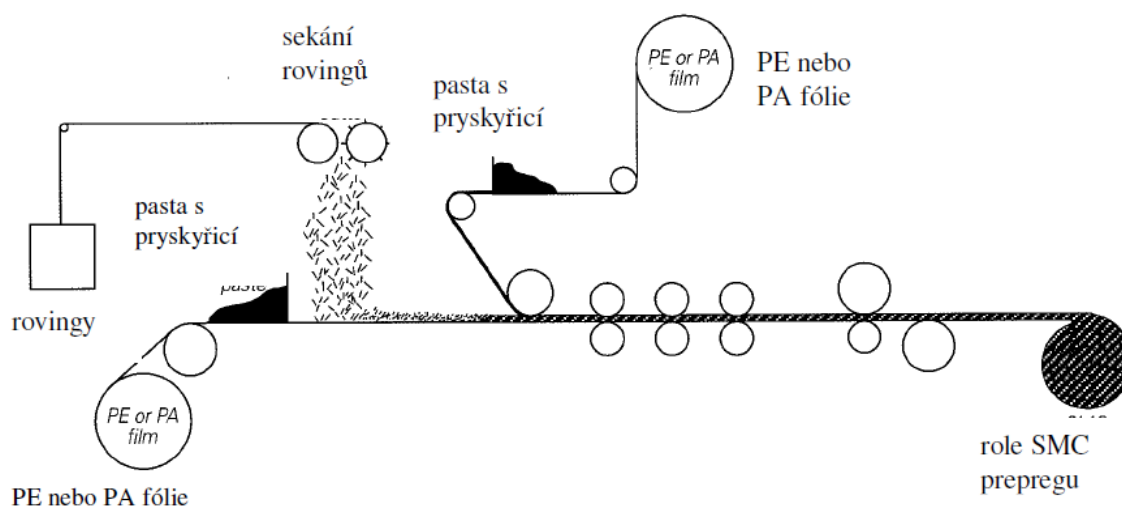
Stříkání patří k tzv. otevřeným technologiím, proto je nutné jej provádět v odvětrávaném prostoru a to především z důvodu, že pro tuto technologii se nejčastěji používají polyesterové pryskyřice obsahující styren.

- **Vysokotlaké vstřikování (RTM)**

U této technologie se pracuje s uzavřenou formou, do které je vložena výztuž. Forma je uzavřena a určitým tlakem je do ní vstříknuta katalyzovaná pryskyřice. Přebytečná pryskyřice vyteče otvory, které se uzavrou, aby došlo k úplnému vytvrzení. RTM technologie, označovaná také jako injekční vstřikování, patří ke strojním technologiím, které jsou určeny pro složité a přesné výrobky ve větších sériích. [28]

- **Lisování (SMC)**

Technologií lisování vzniká vrstvený materiál ze sekaného rovingu mezi dvěma vrstvami pryskyřičné pasty. Pro vytvoření takového sendviče je nutné na fólii nanést tenkou vrstvu pryskyřice a sekaná vlákna, na které je opět nanesena vrstva pryskyřice i fólie. Pomocí válců je třeba vlákna s pryskyřicí spojit a vymáčknot zachycený vzduch. Po 3 až 5 dnech je takto připravená vrstva nařezána na jednotlivé pláty a vyhřívána ve formě. [27]



Obr. č.24: Schéma technologie SMC [27]

8.7 Vlastnosti kompozitů

Kombinací dvou nebo více fází (pojiv, výztuže) s rozdílnými vlastnostmi lze získat materiály nové, jejichž výsledné vlastnosti jsou mnohem lepší než součet vlastností jednotlivých složek.

Obecně platí, že mechanické vlastnosti kompozitu stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80%. [24] Všechna vlákna musejí být totiž dokonale smočena

pojivem - pryskyřicí. Aby se využily plně pevnosti vláken musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a matricí a tím i dokonalý přenos síly z matrice na výztuž.

Součástí práce byl pokus uhlíkovou a skleněnou biaxiální textilií zalaminovat, určit pevnost v tahu těchto laminátů a v porovnání s naměřenými hodnotami v kapitole 7.5 zjistit, o jakou hodnotu se díky použité pryskyřici tato vlastnost zlepšila. Postup a naměřené hodnoty jsou uvedeny v kapitole 8.7.3.

8.7.1 Základní vlastnosti vláken

| | Jednotka | E -sklo | S - sklo | C - sklo | Uhlík HS | Uhlík HM | Kevlar 49 |
|------------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Hustota | [g/cm ³] | 2,54 | 2,48 | 2,48 | 1,77 | 1,88 | 1,45 |
| Pevnost v tahu | [MPa] | 3400 | 4500 | 2800 | 3530 | 3100 | 2760 |
| Modul pružnosti | [GPa] | 69 - 72 | 85 | 70 | 235 - 300 | 350 - 540 | 117 |
| Průměr vlákna | μm | 9 - 13 | 9 - 13 | 9 - 13 | 7 | / | 12 |
| Mezní deformace | % | 3,5 - 4,8 | 5,2 - 5,4 | 4,8 | 1,5 | 0,8 | 1,9 |

8.7.2 Základní vlastnosti pojiv

| | Jednotka | Vinylestery | Epoxidy | Polyestery | Fenolické prysk. |
|-------------------------|----------------------|-------------|-----------|------------|------------------|
| Hustota | [g/cm ³] | 1,12 - 1,13 | 1,1 - 1,2 | 1,1 - 1,23 | 1,0 - 1,25 |
| Tepelná odolnost | °C | 80 - 150 | 80 - 180 | 70 - 130 | 150 - 260 |
| Modul pružnosti | GPa | 3,1 - 3,3 | 2,6 - 3,8 | 3,1 - 4,6 | 3,0 - 4,0 |
| Pevnost v tahu | MPa | 70 - 81 | 60 - 85 | 50 - 75 | 60 - 80 |
| Mezní deformace | % | 3,0 - 8,0 | 1,5 - 8,0 | 1,0 - 6,5 | 1,8 |

8.7.3 Pevnost v tahu skleněného a uhlíkového laminátu

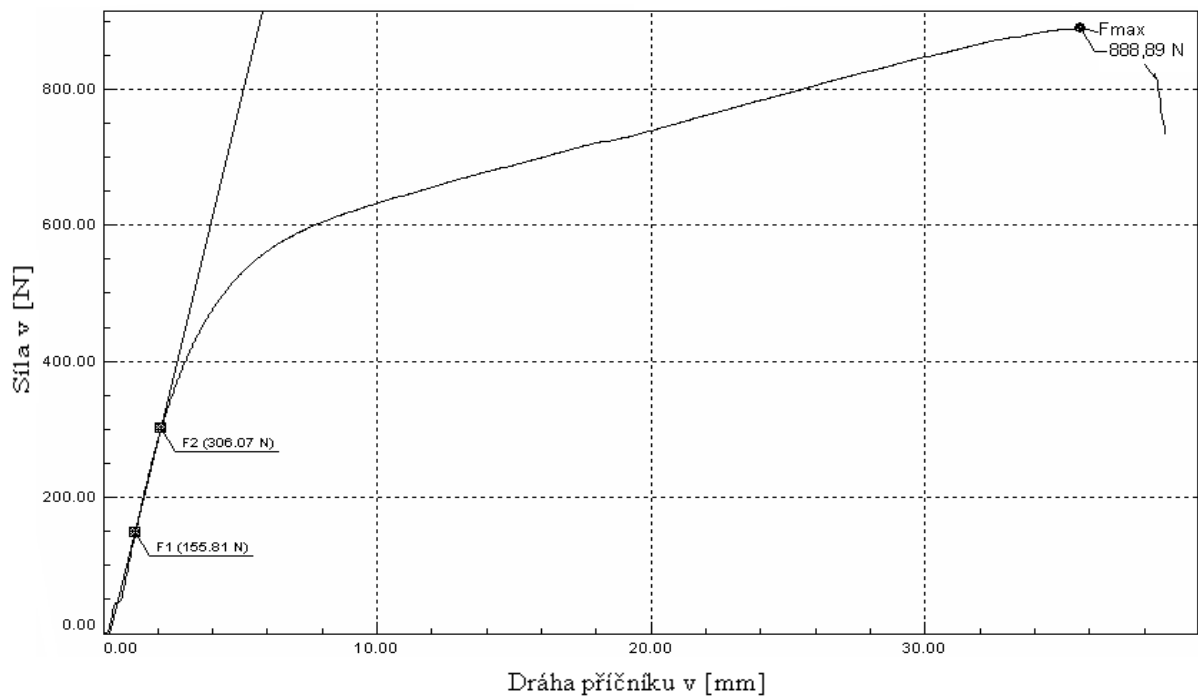
U skleněné a uhlíkové biaxiální textilie se zkoušely vzorky opět ve čtyřech směrech - v podélném směru, v příčném směru a ve dvou diagonálních směrech pod úhlem +45° /-45°. Pro každý směr se ustříhl jeden vzorek o rozměru 270 x 50 mm, na který se štětečkem rovnoměrně nanasla polyesterová pryskyřice. Vzorky se s nanesenou pryskyřicí nechaly hodinu uležet, aby došlo k vytvrzení.

Po vytvrzení se laminát upnul do čelistí trhacího stroje, po stisknutí tlačítka proběhla zkouška.

Naměřené hodnoty skleněného laminátu ve směru 90° (osnovy)

| Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|--------------|-------|
| | 22,75 | 15,44 | 56,64 | 0,81 |

| Naměřené hodnoty skleněného laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|---------------|-------|
| | 1347,83 | 17,84 | 888,89 | 26,91 |



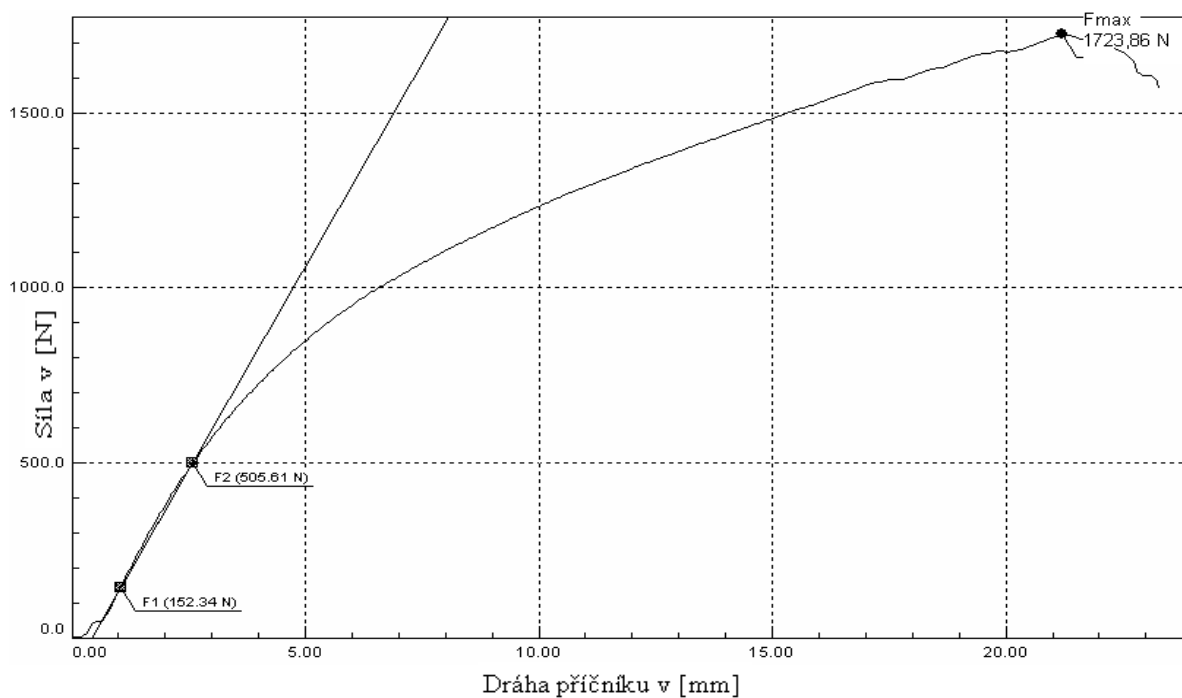
Graf č. 10: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu 90° [23]

Vyhodnocení: Z naměřených hodnot je zřejmé, že nanesením polyesterové pryskyřice se pevnost v tahu skleněné biaxiální textilie ve směru osnovy 15,5 krát zvýšila.

Naměřené hodnoty skleněného laminátu ve směru 0° (v útku)

| Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|-------------|-------|
| | 0,05 | 71,59 | 0,40 | 0,05 |

| Naměřené hodnoty skleněného laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|----------------|-------|
| | 1909,38 | 10,61 | 1723,86 | 27,87 |



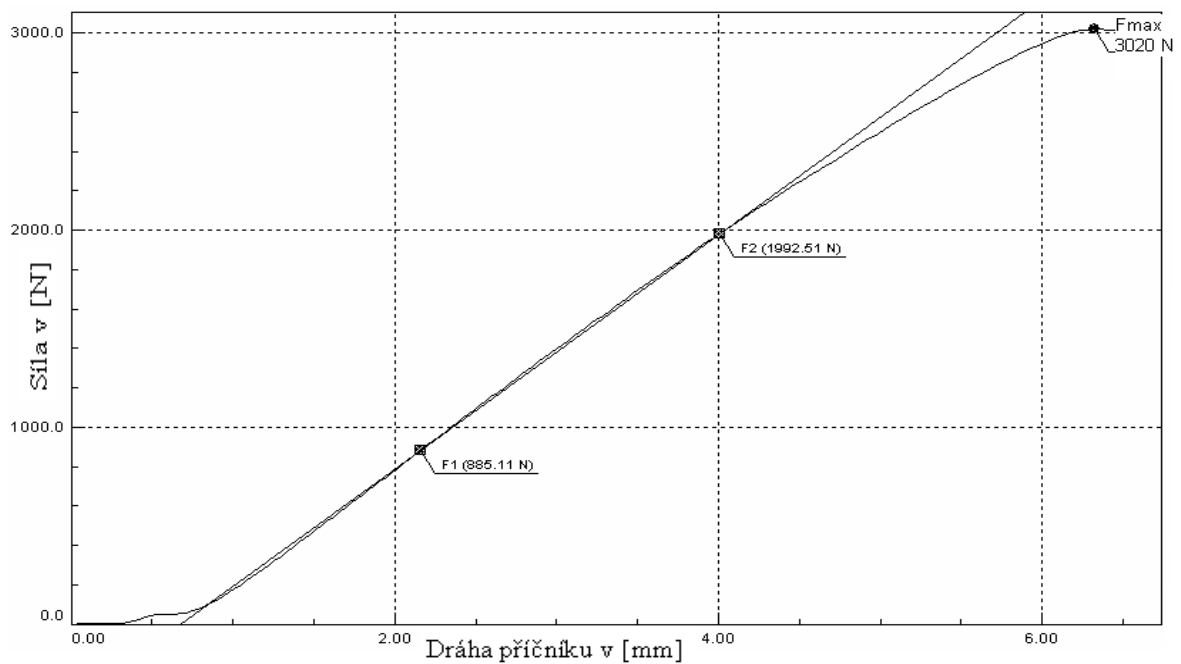
Graf č. 11: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu 0° [23]

Vyhodnocení: Nanesením polyesterové pryskyřice je pevnost v tahu skleněné biaxiální textilie ve směru útku 4310 krát vyšší.

Naměřené hodnoty skleněného laminátu ve směru -45° (v diagonálním směru)

| Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|---------------|-------|
| | 1793,14 | 1,32 | 370,63 | 2,64 |

| Naměřené hodnoty skleněného laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|----------------|-------|
| | 4967,87 | 3,16 | 3020,00 | 10,00 |



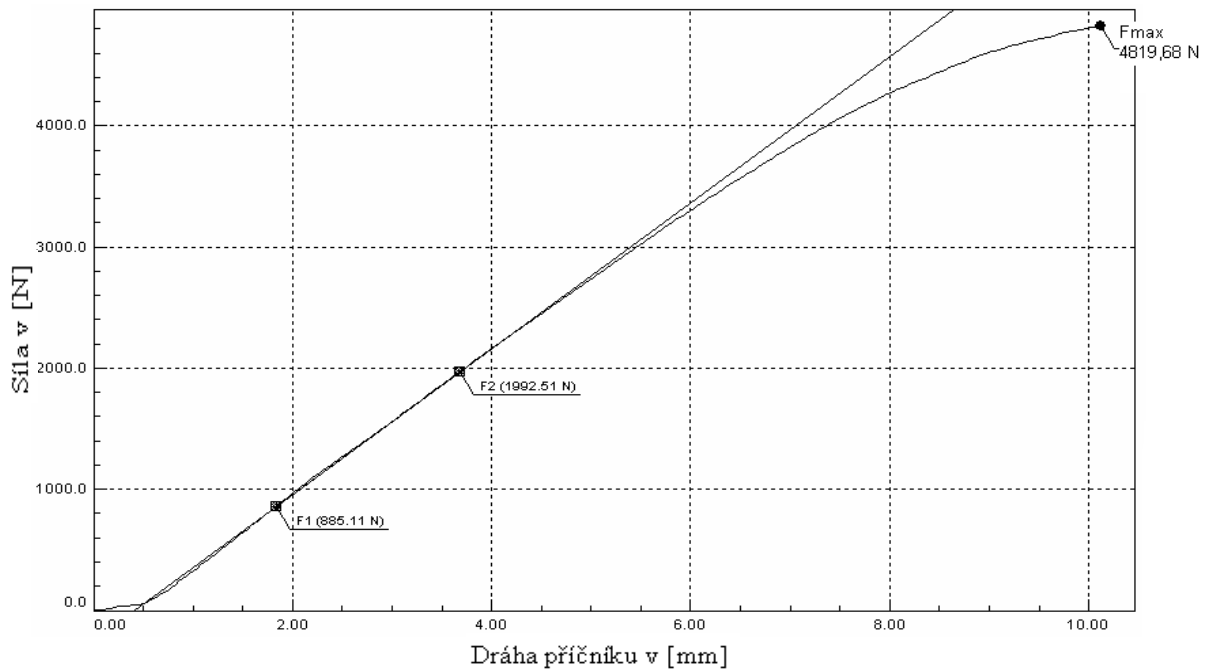
Graf č. 12: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu -45° [23]

Vyhodnocení: Laminací skleněné biaxiální textilie se v diagonálním směru -45° pevnost v tahu 8 krát zvýšila.

Naměřené hodnoty skleněného laminátu ve směru +45° (v diagonálním směru)

| Naměřené hodnoty skleněné biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|---------------|-------|
| | 2996,83 | 1,47 | 706,11 | 3,32 |

| Naměřené hodnoty skleněného laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|----------------|-------|
| | 5010,91 | 5,06 | 4819,68 | 27,04 |



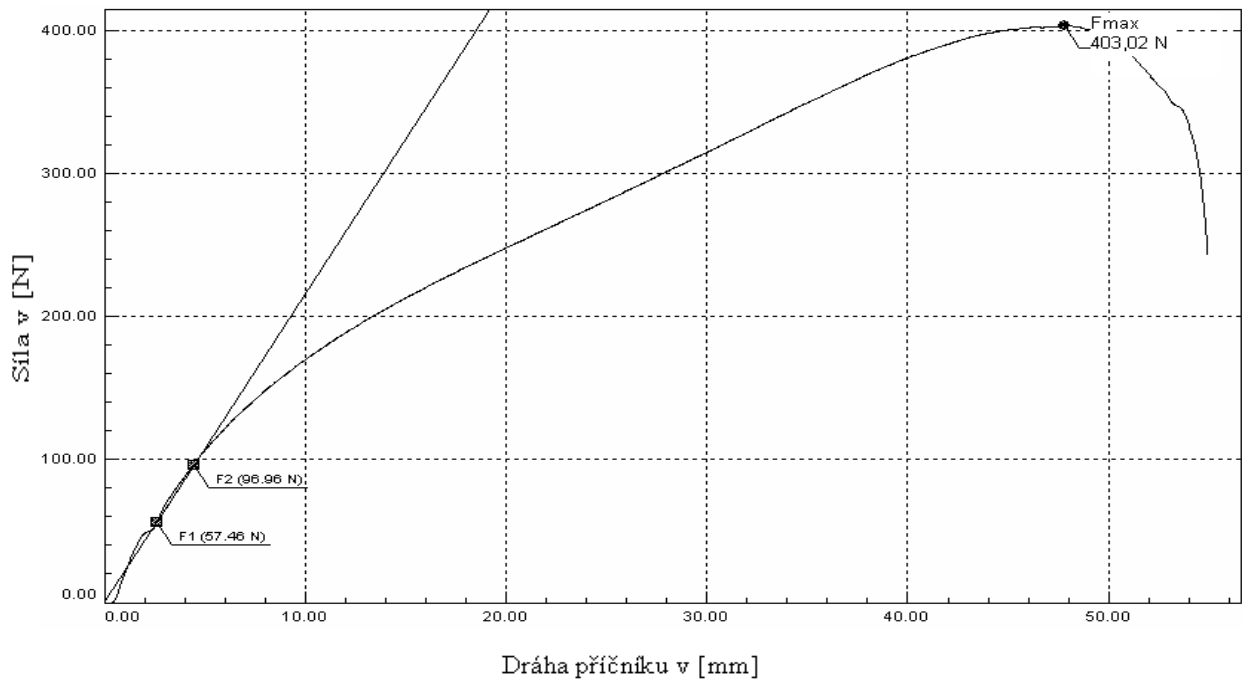
Graf č. 13: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu +45° [23]

Vyhodnocení: Pevnost v tahu skleněné biaxiální textilie je v diagonálním směru +45° díky nanesené pryskyřici 7 krát vyšší.

Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu ve směru 90° (osnovy)

| Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|--------------|-------|
| | 12,53 | 23,93 | 52,58 | 1,22 |

| Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|---------------|-------|
| | 180,6 | 23,91 | 403,02 | 15,13 |



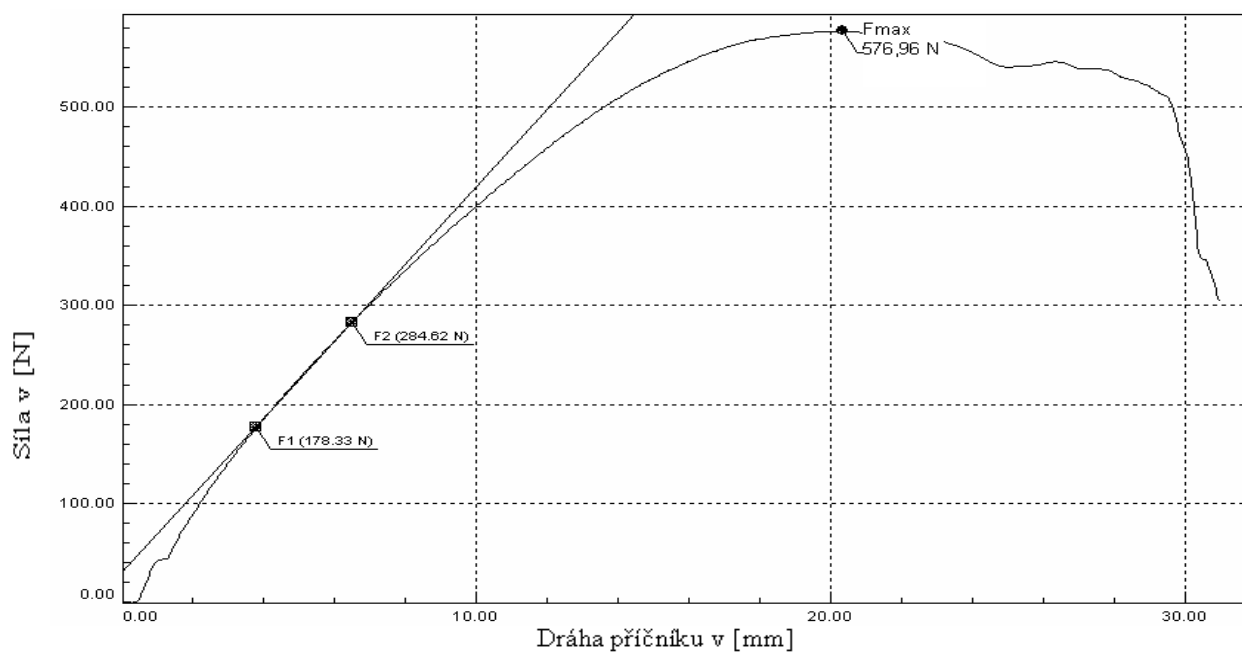
Graf č. 14: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu 90° [23]

Vyhodnocení: Nanesením polyesterové pryskyřice se pevnost v tahu uhlíkové biaxiální textilie ve směru osnovy 7,5 krát zvýšila.

Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu ve směru 0° (v útku)

| Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|-------------|-------|
| | 0,07 | 115,31 | 1,45 | 0,22 |

| Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|---------------|-------|
| | 327,71 | 10,16 | 576,96 | 13,18 |



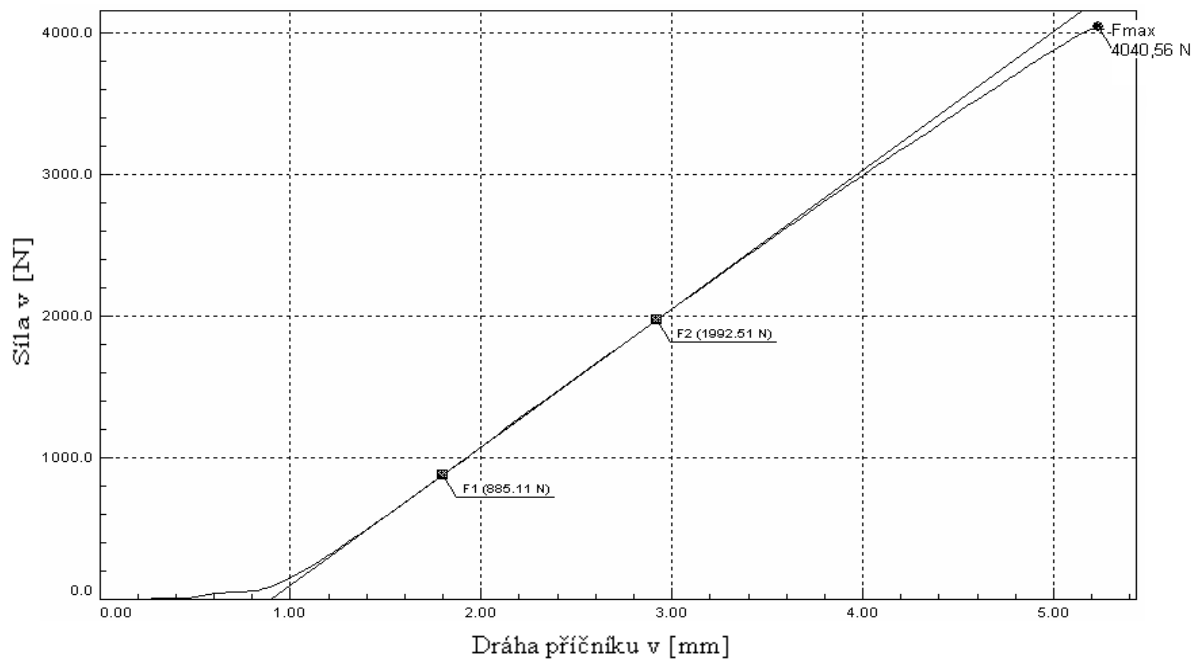
Graf č. 15: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu 0° [23]

Vyhodnocení: Laminováním je pevnost v tahu uhlíkové biaxiální textilie ve směru útku 398 krát vyšší.

Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu ve směru -45° (v diagonálním směru)

| Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|---------------|-------|
| | 1107,38 | 1,25 | 596,57 | 1,10 |

| Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|----------------|-------|
| | 8171,84 | 2,62 | 4040,56 | 9,38 |



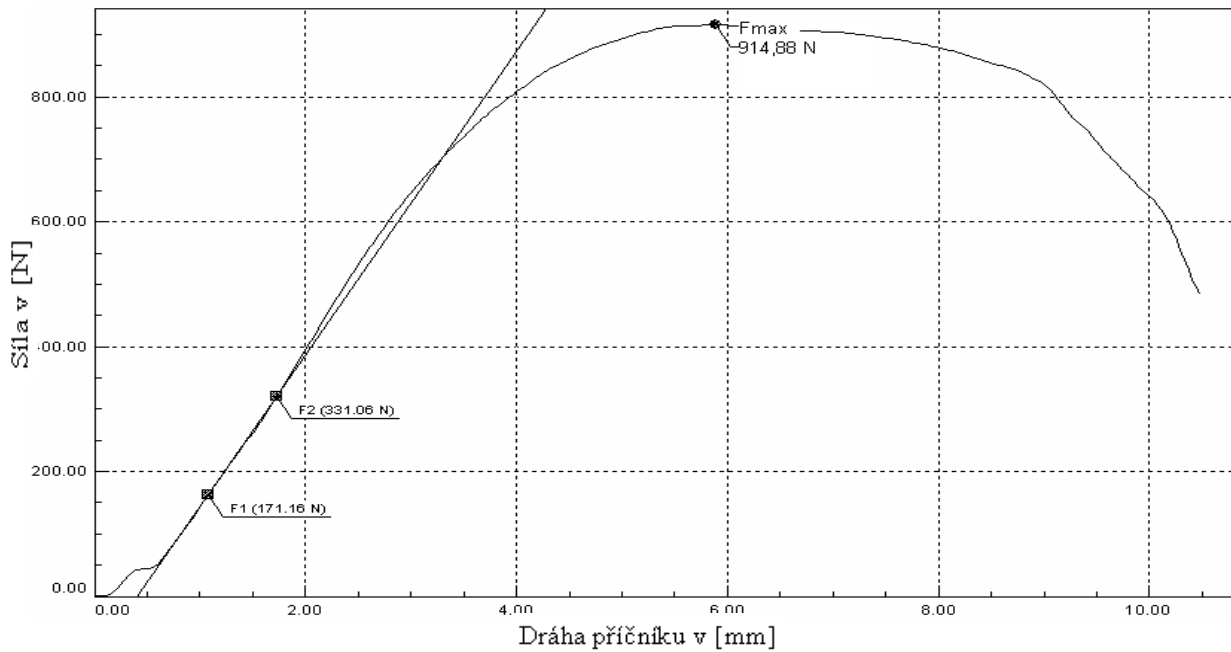
Graf č. 16: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu -45° [23]

Vyhodnocení: Pevnost v tahu uhlíkové biaxiální textilie se v diagonálním směru -45° nanesením polyesterové pryskyřice 6,5 krát zvýšila.

Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu ve směru +45° (v diagonálním směru)

| Naměřené hodnoty uhlíkové biaxiální textilie (viz kap. 7.5) | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|---|---------|----------|---------------|-------|
| | 980,83 | 1,43 | 674,10 | 2,08 |

| Naměřené hodnoty uhlíkového laminátu | E [MPa] | Amax [%] | Fmax [N] | W [J] |
|--------------------------------------|---------|----------|---------------|-------|
| | 2033,78 | 2,94 | 914,88 | 7,05 |

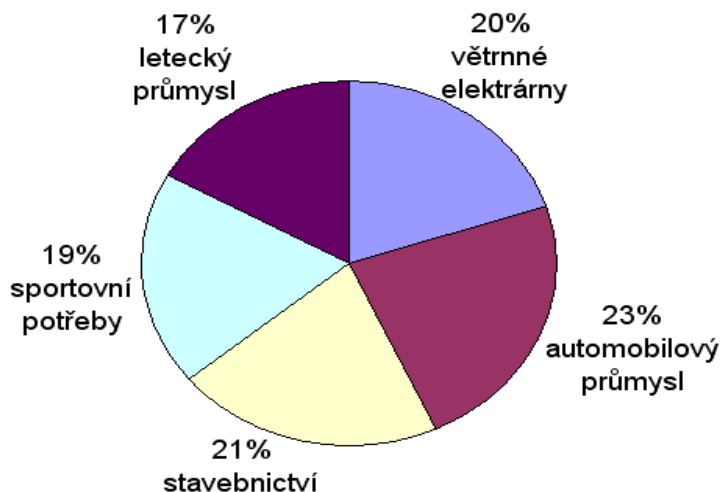


Graf č. 17: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu +45° [23]

Vyhodnocení: Nanesením polyesterové pryskyřice je pevnost v tahu uhlíkové biaxiální textilie v diagonálním směru +45° 1,4 krát vyšší.

8.8 Užití kompozitů s multiaxiální výztuží

V České republice se zpracovává až několik desítek tun kompozitních materiálů ročně a tento objem neustále roste. Kompozity najdeme všude tam, kde je potřeba inovací, lehkých konstrukcí a vysoké pevnosti. Vzhledem k jejich jedinečným vlastnostem patří kompozitům budoucnost. V této kapitole jsou stručně popsány oblasti, ve kterých se používají kompozitní materiály s multiaxiální výztuží.



Graf č.18: Oblasti uplatnění kompozitních materiálů s multiaxiální výztuží [29]

8.8.1 Větrné elektrárny

Mezi základní požadavky u větrných elektráren patří nízká hmotnost, vysoká pevnost a tuhost. Proto jsou veškeré konstrukční díly vyrobeny z kompozitních materiálů. Nejpoužívanějším vláknem pro zesílení této konstrukce je skleněný roving o jemnosti 600 tex. [29]



Obr. č. 25: Větrné elektrárny [30]

8.8.2 Sportovní potřeby

Průmysl využívá multiaxiální textilie pro vnitřní i vnější část lyžařských bot, dále pro vyztužení lyží, snowboardů, serfovacích prken, golfových holí, tenisových raket, rámu jízdních kol, vesel nebo pádel člunů a mnoha dalších výrobků. Pevnosti je dosaženo použitím uhlíkových a aramidových vláken, nejvíce se však v této oblasti zpracovává skleněný roving o jemnosti 300 – 1200 tex.



Obr. č. 26: Lyže Fischer [31]

8.8.3 Stavebnictví

Dodatečné vyztužování stavebních konstrukcí je nedílnou součástí moderního stavitelství. Kompozitní materiály s multiaxiální výztuží se nejčastěji používají k zesilování betonových, zděných, dřevěných a ocelových konstrukcí. Nejpoužívanějším vláknem je skleněný roving o jemnosti 160 – 600 tex, mohou to být však i vlákna uhlíková nebo aramidová. [29]

8.8.4 Automobilový průmysl

Textilní kompozity patří dnes k běžně používaným materiálům pro konstrukci automobilů. Tento materiál trvale napomáhá lehké konstrukci vozidel a používá se zejména pro výrobu karoserií, nárazníků, krytů dveří, interiérových vybavení hromadných dopravních prostředků (sedačky, stolky), střešních systémů, spoilerů a dalších součástí strojního vybavení.



Obr. č. 27: Skelet vozu Stanley



Obr. č. 28: Finální automobil [28]

8.8.5 Letecký průmysl

Použití kompozitů s multiaxiální výztuží se v leteckém průmyslu soustřeďuje převážně na oblast výroby malých a ultralehkých letounů, dále na výrobu trupů dopravních letadel zejména Airbusů nebo Boeingů. Využitím těchto konstrukčních materiálů je dosaženo maximální pevnosti a tuhosti konstrukce, současně se také zachovává požadovaná nízká hmotnost letounu.



Obr. č. 29: Ultralehké letadlo [32]

8.9 Neznámější výrobci kompozitů v ČR

PREFA KOMPOZITY, a.s

Společnost PREFA KOMPOZITY, a.s. vyrábí kompozitní profily a polotovary již několik let. Sestavuje výrobky a konstrukce určené především jako součást a příslušenství staveb ve všech průmyslových oblastech. Především ve vodním hospodářství, energetice, chemickém a dopravním průmyslu.

Adresa:

Kulkova 4231/10

615 00, Brno-Židenice

<http://www.prefa-kompozity.cz>

HAVEL - COMPOSITES CZ s.r.o

Společnost produkuje výrobky, které jsou velmi kvalitní a prověřené. Na většinu z nich jsou dostupné certifikáty pro leteckou a lodní výrobu. K výrobě jsou použity výhradně materiály z vlastního skladu, proto má klient záruku, že se jedná vždy o nejnovější materiál.

Adresa:

Svéšedlice 67

783 54, Práslavice

<http://www.havel-composites.com>

KORAL s.r.o

KORAL je přední českou technologickou společností, která navrhuje, vyrábí a dodává kompozitní profily a výrobky pro široké spektrum aplikací.

Adresa:

Za mlýnem 5

666 01, Tišnov

<http://www.koral.biz>

CHARLES – KOMPOZITY, s.r.o

Firma se již od samého prvopočátku zabývá především výrobou závodních slalomových lodí. Později začala vyrábět výrobky zcela odlišné. Z prvopočátku to byly okrajové oblouky kýlu na známý stíhací letoun L-159, dále to pak byly skořepiny na ultralehká letadla, veškeré laminátové doplňky k automobilům včetně jejich tvarových úprav a návrhů, kabiny traktorů a další nepřeberné množství jiných výrobků z kompozitních materiálů, včetně modelů a forem.

Adresa:

Beranových 65

199 02, Praha-Letňany

<http://www.charles.cz>

COMLET, s.r.o

Od roku 1996 vyrábí široký sortiment zakázkových kompozitních dílů pro české a zahraniční výrobce v oblasti letectví a sportovních lodí. S ohledem na počty prodaných kusů podvozků patří dnes k největším světovým výrobcům. V roce 2004 zahájily vývoj a výrobu vlastních rekreačních a sportovních kompozitních lodí a lodního příslušenství. Mezi další výrobní aktivity patří výroba modelů, forem a různých prototypových výrobků dle výkresové dokumentace zákazníka.

Adresa:

Zámecká 223

570 01, Litomyšl

<http://www.comlet.cz>

9. ZÁVĚR

Bakalářská práce charakterizuje multiaxiální textilie, zabývá se jejich výrobou, vlastnostmi a užitím. V úvodní části jsou uvedeny základní informace o technických textiliích, struktuře a vazbě textilie.

Hlavní část je zaměřena na multiaxiální textilie, popisuje jejich možné způsoby výroby a používaná vlákna. Cílem práce bylo také zjistit pomocí laboratorních zkoušek vlastnosti těchto textilií. Protože je dosud český trh zásoben pouze biaxiálními (dvousměrnými) textiliemi a multiaxiální textilie nebylo možné sehnat, veškeré zkoušky musely být provedeny na skleněné a uhlíkové biaxiální textilií tkané pod úhlem $+45^{\circ}/-45^{\circ}$. Vzhledem k rozsahu bakalářské práce byly zjišťovány pouze vybrané parametry a vlastnosti těchto textilií: plošná hmotnost, hustota, tloušťka, tuhost v ohybu, pevnost v tahu a tažnost.

V další části je pozornost věnována kompozitním materiálům, zabývá se dělením kompozitů, je zaměřena na jejich hlavní složky, tedy výztuž a matici, dále se zabývá jejich výrobou a jedinečnými vlastnostmi. Součástí práce byl pokus skleněnou a uhlíkovou biaxiální textilií zalaminovat, určit pevnost v tahu tohoto laminátu a zjistit, o kolik se díky použité pryskyřici tato vlastnost zlepšila. Z naměřených hodnot vyplývá, že nanesením polyesterové pryskyřice je pevnost v tahu biaxiálních textilií mnohonásobně vyšší.

Jak se ukázalo, kompozitní materiály s multiaxiální výztuží najdou široké uplatnění. Setkáme se s nimi všude tam, kde je potřeba inovací, lehkých konstrukcí, vysoké pevnosti a důležité především pro výrobce kompozitů je, že jejich spotřeba a obliba neustále roste.

Cíle práce byly splněny a bylo získáno značné množství informací. Téma není zcela vyčerpáno. Pokud by se v budoucnu podařilo na našem trhu multiaxiální textilií zakoupit, další bakalářská práce by mohla podrobněji zkoumat vlastnosti těchto vícesměrných textilií.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Hanuš J.: Sborník z odborného semináře – Problematika konfekcionování technických textilií, TU Liberec, 2001
- [2] Hanuš J.: Technické textilie – skripta, TU Liberec, 2005
- [3] <http://www.marcador.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [4] <http://www.milmar.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [5] <http://www.ecoprotect.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [6] <http://www.whshop.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [7] <http://news.auto.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [8] <http://www.smart-dily.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [9] <http://www.deston.cz/> (citováno dne 1.10.2008)
- [10] Kovář R.: Pletení, TU Liberec, 1999
- [11] <http://www.ita.rwth-aachen.de> (citováno dne 5.10.2008)
- [12] Lehner J., Surý L.: Silikátová vlákna, SNTL Praha, 1975
- [13] <http://encyklopedie.seznam.cz> (citováno dne 15.10.2008)
- [14] Militký J.: Technické textilie, TU Liberec, 2007
- [15] Grégr J.: Uhlíková vlákna na bázi PAN, TU Liberec, 2002
- [16] Herman K.: Syntetická vlákna z polyamidů, SNTL Praha, 1957
- [17] <http://www.imaterialy.cz/clanky/materialy/2801-polyetylentereftalat-PET/>
(citováno dne 25.10.2008)
- [18] <http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/index.php> (citováno dne 25.10.2008)
- [19] <http://www.liba.de/> (citováno dne 2.11.2008)
- [20] <http://www.karlmayer.com/> (citováno dne 2.11.2008)
- [21] Kovačič V.: Textilní zkušebnictví II., TU Liberec 2003
- [22] http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/zkouseni_textilii/ulohy/splyvavost/vzor7.pdf , (citováno dne 20.2.2009)
- [23] Výstupní graf měřícího přístroje dynamometr
- [24] Košková B.: Kompozity s textilní výztuží, TU Liberec 1989
- [25] <http://www.volny.cz/zkorinek/matrice.pdf> (citováno dne 28.12.2008)
- [26] <http://www.havel-composites.cz/> (citováno dne 22.12.2008)
- [27] <http://www.volny.cz/zkorinek/technologie.pdf> (citováno dne 18.1.2009)

- [28] Mytyskova I., Bakalářská práce – Mechanické a tepelné vlastnosti tkaninového kompozitu sklo/polysiloxan, TU Liberec, 2008
- [29] Technische textilien/ Technical textiles , November 2004, ročník 47
- [30] <http://www.stop-vetrikum.webz.cz/> (citováno dne 5.4.2009)
- [31] <http://www.fischer-ski.cz/> (citováno dne 5.4.2009)
- [32] <http://tl-ultralight.cz/> (citováno dne 12.4.2009)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Geotextilie

Obr. č.2: Agrotextilie

Obr. č.3: Textilie ve stavebnictví

Obr. č.4: Kalhotky pro inkontinentní pacienty

Obr. č.5: Ochranný oděv

Obr. č.6: Armádní stan

Obr. č.7: Airbagy v automobilu

Obr. č.8: Velkoobjemový vak

Obr. č.9: Filtrace

Obr. č.10: Deštníky

Obr. č.11: Základní tkalcovské vazby

Obr. č. 12: Multiaxiální textilie

Obr. č. 13: Svazek skleněného vlákna

Obr. č. 14: Schéma přímého tavení

Obr. č. 15: Uhlík

Obr. č. 16: Schéma Dry-jet-wet zvlákňování

Obr. č. 17: polyesterové vlákno - podélný směr a příčný řez

Obr. č. 18: Schéma zvlákňování z taveniny

Obr. č. 19: Multiaxiální osnovní pletenina spojená řetízkovou a trikotovou vazbou

Obr. č. 20: Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 3CNC

Obr. č. 21: Tricot multiaxial machine Copcentra MAX 5CNC

Obr. č. 22: Osnovní stroj Multiaxial

Obr. č. 23: Pultruzní stroj

Obr. č.24: Schéma technologie SMC

Obr. č. 25: Větrné elektrárny

Obr. č. 26: Lyže Fischer

Obr. č. 27: Skelet vozu Stanley

Obr. č. 28: Finální automobil

Obr. č. 29: Ultralehké letadlo

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem 90°

Graf č. 2 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem 0°

Graf č. 3 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem -45°

Graf č. 4 : Tahové křivky skleněné biaxiální textilie pod úhlem +45°

Graf č. 5: Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem 90°

Graf č. 6 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem 0°

Graf č. 7 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem -45°

Graf č. 8 : Tahové křivky uhlíkové biaxiální textilie pod úhlem +45°

Graf č. 9: Nejpoužívanější reaktoplasty

Graf č. 10: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu 90°

Graf č. 11: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu 0°

Graf č. 12: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu -45°

Graf č. 13: Tahová křivka skleněného laminátu v úhlu +45°

Graf č. 14: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu 90°

Graf č. 15: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu 0°

Graf č. 16: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu -45°

Graf č. 17: Tahová křivka uhlíkového laminátu v úhlu +45°

Graf č.18: Oblasti uplatnění kompozitních materiálů s multiaxiální výtuzí

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Příloha č. 1: Multiaxiální textilie

Příloha č. 2: Biaxiální textilie

Příloha č. 3: Monoaxiální textilie

Příloha č. 4: Vzorky biaxiálních textilií po zkoušení pevnosti v tahu