

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Kompozitní materiály v elektrotechnice**



## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na druhy, vlastnosti a použití kompozitních materiálů v elektrotechnice. Práce se zabývá teoretickým rozбором vlastností jednotlivých složek, z kterých se kompozity skládají. Rovněž jsou popsány používané kompozitní elektroizolační materiály. Pojednáno je také o jednotlivých výrobních technologiích, které slouží k výrobě těchto materiálů, a aplikování jednotlivých materiálů. V závěru je uveden stručný přehled vybraných významných společností v České republice, které se výrobou kompozitu zabývají.

## **Klíčová slova**

Kompozitní materiály, výztuž, matrice, vlákna, technologie, pultruze, společnost, výrobky, 5M, Prefa Kompozit, GDB Koral, Resin-rich, VPI

**Abstract**

This bachelor thesis focuses on the types, properties and use of composite materials in electrical engineering. The thesis deals with the theoretical analysis of the properties of the components from which the composites are composed. Also described are composite electro insulating materials used. Next the individual production technologies used to produce these materials and the application of individual materials. In conclusion, there is a brief overview of selected major companies in the Czech Republic dealing with the production of composites.

**Key words**

Composite materials, reinforcement, matrix, fiber, technology, pultrusion, company, products, 5M, Prefa Composite, GDB Koral, Resin-rich, VPI

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Totzauerovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce, které mi pomohlo k vypracování bakalářské práce.

## Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK PRO KOMPOZITNÍ MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI</b> .....	<b>11</b>
1.1 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA.....	11
1.1.1 Skleněná vlákna.....	11
1.1.2 Aramidová vlákna.....	12
1.1.3 Uhlíková vlákna.....	12
1.1.4 Přírodní vlákna.....	13
1.1.5 Čedičová vlákna.....	13
1.1.6 Borová vlákna.....	14
1.2 MATRICE.....	14
1.2.1 Polymerní matrice.....	14
1.2.2 Kovové matrice.....	17
1.2.3 Keramické matrice.....	18
1.2.4 Silikátové matrice.....	18
<b>2 DRUHY ELEKTROIZOLAČNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>20</b>
2.1 TVRZENÉ TKANINY.....	20
2.2 TVRZENÉ SKLENĚNÉ TKANINY.....	20
2.3 TVRZENÉ VRSTVENÉ DŘEVO.....	20
2.4 TVRZENÉ PAPIRY.....	21
2.5 NOMEX®.....	21
2.6 KAPTON®.....	22
2.6.1 Druhy materiálu:.....	22
2.7 KALASTIK®.....	23
2.8 RELANEX®.....	23
2.9 RELASTIK®.....	23
<b>3 TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	<b>24</b>
3.1 PULTRUZE (TAŽENÍ).....	24
3.2 RUČNÍ KLADENÍ.....	25
3.3 METODA VAKUOVÉHO VAKU.....	26
3.4 METODA TLAKOVÉHO VAKU.....	26
3.5 METODA LISOVÁNÍ SE VSTŘIKEM MATRICE.....	27
3.6 STRÍKÁNÍ.....	28
3.7 NAVÍJENÍ.....	28
3.8 LISOVÁNÍM V AUTOKLÁVU.....	29
3.9 ODSŤŘEDIVÉ LITÍ.....	30
3.10 SPLÉTÁNÍ.....	31
<b>4 APLIKAČNÍ OBLASTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLU</b> .....	<b>32</b>
4.1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V ELEKTROTECHNICE.....	32
4.1.1 V izolačních systémech transformátorů.....	32
4.1.2 V izolačních systémech točivých elektrických strojů.....	32
4.2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	33
<b>5 PŘEHLED ČESKÉHO TRHU S KOMPOZITY</b> .....	<b>35</b>
5.1 PREFA KOMPOZITY, A.S.....	35
5.1.1 O společnosti.....	35

5.1.2	<i>Používané technologie</i> .....	35
5.1.3	<i>Výrobky Prefa Kompozity, a.s.</i> .....	35
5.2	GDP KORAL, S.R.O.....	38
5.2.1	<i>O společnosti</i> .....	38
5.2.2	<i>Používané Technologie</i> .....	38
5.2.3	<i>Výrobky GDP Koral, s.r.o.</i> .....	38
5.3	5M, S.R.O. ....	39
5.3.1	<i>O Společnosti</i> .....	39
5.3.2	<i>Používané Technologie</i> .....	39
5.3.3	<i>Výrobky 5M, s.r.o.</i> .....	40
5.4	TECHNOFIBER, S.R.O.....	42
5.4.1	<i>O společnosti</i> .....	42
5.4.2	<i>Technologie výroby</i> .....	43
5.4.3	<i>Výrobky Technofiber, s.r.o.</i> .....	43
5.5	COGEBI, A.S.....	44
5.5.1	<i>O Společnosti</i> .....	44
5.5.2	<i>Technologie výroby</i> .....	44
5.5.3	<i>Výrobky Cogebi, a.s.</i> .....	44
	<i>Závěr</i> .....	46

<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>1</b>
--	----------



## Seznam symbolů a zkratk

$\emptyset$	průřez
$\mu\text{m}$	mikrometr
R – sklovina	R – rezistence, Evropské označení
S – sklovina	S – strength označení v USA
T – sklovina	Japonský název
$\rho_v$	Vnitřní rezistivita
$\epsilon_r$	permitivita
$\text{tg } \delta$	ztrátový činitel
$E_p$	elektrická pevnost
VPI	Vacuum Pressure Impregnation (vakuově tlaková impregnace)
PET	Polyethyléntereftalát
PEN	Polyetylénnaftalát
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
SMC	Sheet Moulding Compound
BMC	Bulk Moulding Compound
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise

## Úvod

Kompozitní materiály považují za materiály nezbytné pro nynější civilizaci. Můžeme je nalézt v nejrůznějších odvětvích dnešního průmyslu, setkáváme se s nimi však i v běžném životě. Právě bez nich by se dnešní průmysl jen těžko obešel, proto jsem si vybral toto téma pro svou bakalářskou práci.

Kompozitní materiály se považují jako materiály, které jsou složeny ze dvou nebo více složek (fází), v elektronice je nejčastěji využit tříslučkový kompozit. Jednotlivé složky neboli fáze se mezi sebou výrazně liší svými fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi. Vlastnosti jednotlivých kompozitů jsou výjimečné a žádný samostatný prvek tyto vlastnosti mít nemůže. Proto při spojování a kombinování jednotlivých složek dostáváme zcela odlišné materiály s jedinečnými vlastnostmi. Díky svým jedinečným vlastnostem se kompozity začínají stále více rozvíjet a mluví se o nich jako o materiálech budoucnosti, proto se v dnešní době častěji využívají v různých odvětvích, jako například v leteckém, kosmickém, automobilovém průmyslu a především v elektrotechnice. Kompozity musí obsahovat nejméně jednu fázi, která je drží v celku, tuto fázi nazýváme matrice. Matrice může být polymerní, kovová, keramická nebo silikátová. Dále se skládají z výztuže neboli vláken. Výztuž můžeme rozdělit podle materiálu, z kterého se skládá, a to ze skleněných, aramidových, přírodních a uhlíkových vláken. Výroba kompozitu může být různá, ale mezi nejznámější a nejpoužívanější patří technologie pultruze neboli tažení. Mezi další technologie patří také ruční kladení, navíjení, metoda vakuového/tlakového vaku a mnoho dalších. Společnosti pracující s kompozity a patřící mezi nejznámější na Českém trhu jsou Prefa Kompozit, a. s., 5M, s. r. o., GDP Koral, s. r. o., a Cogebi, a. s.

# 1 PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK PRO KOMPOZITNÍ MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI

Kompozitní materiály jsou dvou- nebo vícesložkové materiály. V elektrotechnice je nejpoužívanější tříložkový kompozitní materiál. Každý kompozit je tvořen z daných složek a jednotlivé složky se od sebe liší různými fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi. Spojením dvou nebo více rozdílných složek vznikne zcela unikátní materiál se speciálními vlastnostmi. [1] Kompozity se skládají ze dvou základních složek: matrice (spojitá fáze, plní funkci pojiva) a výztuže (tvrdší a pevnější nespojitá fáze). Výztuž slouží k vytvoření nového materiálu, který může mít důležité vlastnosti (např. elektrickou vodivost). Matrice má funkci udržení kompozit v celku a chrání výztuž před okolními vlivy. Matrice lze rozdělit na polymerní matrice, kovové matrice, keramické a skleněné matrice a silikátové matrice. Polymerní matrice dále dělíme na reaktoplastové a termoplastové matrice. Spojením matrice a výztuže získáváme konečný tvar výrobků.

## 1.1 Vyztužující vlákna

### 1.1.1 Skleněná vlákna

Jedná se o tenká vlákna s pravidelným kruhovým průřezem ( $\varnothing$  3,5 až 24  $\mu\text{m}$ ). Jejich materiálové vlastnosti v podélném a příčném směru jsou totožné, protože skleněné vlákno je izotropní. Tyto vlákna získáváme tažením z roztavené skloviny a používají se pro textilní účely, tzv. textilní skleněná vlákna.



Obr. 1 Vyztužení profilu skleněnými vlákny  
(převzato z [13])

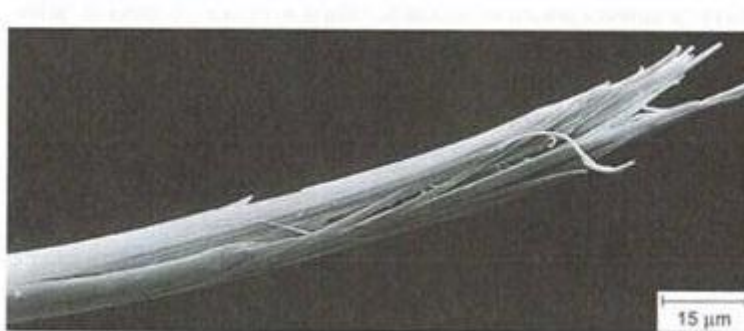
Skleněná vlákna rozlišujeme podle druhu skloviny. E-sklovina (E-vlákna) je nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který obsadil téměř 90 % trhu. Mají

nízkou dielektrickou konstantu (5,9 až 6,6), a proto nejsou používány pro desky tištěných obvodů nebo v kosmonautice, ale jsou výborným elektrickým izolantem a mají velkou prostupnost pro záření. R-sklovina, S-sklovina a T-sklovina jsou skloviny s vyšším obsahem SiO<sub>2</sub>, MgO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, které se vyznačují větší pevností o 40 až 70 %. Sklovina s vyšší odolností proti kyselinám a chemicky agresivním látkám je nazývána C-sklovina. ECR-sklovina je bezboritá C-sklovina, která je vysoce chemicky odolná. AR-sklovina jsou bezalkalická skleněná vlákna, která se oproti E-vláknům liší složením a používají se pro vyztužení betonu. [2]

### 1.1.2 Aramidová vlákna

Vlákna na bázi organických polymerů, jejichž předností je vysoká pevnost a tuhost, ale jsou citlivá na působení vody. Jedná se o nejlehčí vyztužující vlákno, které je silně anizotropní (tj. vlastnosti měřené ve směru vlákna a v příčném směru se od sebe liší). Na trhu se vyskytují ve formě pramenců, přízí, tkanin a povrchových rohoží.

Aramidová vlákna jsou různého druhu, které se od sebe rozlišují hodnotami pružnosti v tahu a tažností. Schopnost pojmout vyšší deformační práci mají vlákna s nízkým E-modulem a vyšším protažením narozdíl od vláken z vyšším E-modulem a nižší tažností.



Obr. 2 Aramidové vlákno (převzato z [2])

Používají se pro lehké konstrukce, kde převládá tahové namáhání, ale nepoužívají se pro konstrukce, u kterých dochází k namáhání ohybem nebo tlakem. [2]

### 1.1.3 Uhlíková vlákna

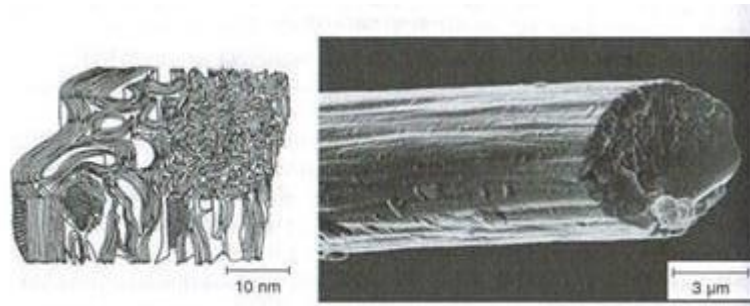
Uhlíková vlákna jsou vlákna s velmi vysokou pevností a tuhostí, ale s malou tažností.

Pro výrobu uhlíkových vláken se používají tři materiály:

- celulóza – vlákna nemají dobrou strukturu, používají se jako izolační

materiál pro vysoké teploty

- polyakrylonitril – vyrábí se z něj standardní vlákna
- smola – nákladná příprava vláken, mají dobré elektrické a tepelné vlastnosti, nižší pevnost v tlaku ve srovnání se standardními vlákny



Obr. 3 Uhlíkové vlákno (převzato z [2])

Průmyslová výroba využívá dva výrobní postupy: první je postup využívající polyakrylonitril a druhý postup vycházející ze surovin bohatých na uhlík. [2]

#### 1.1.4 Přírodní vlákna

Ze všech přírodních vláken se používají pro vyztužování plastu pouze vlákna rostlinná, která obsahují celulózu. Mezi tato vlákna patří plno druhů, jako je například: len, bavlna, konopí. Nejpoužívanější druh přírodních vláken je len. Jejich největší předností je odolnost proti stárnutí a díky nízké hmotnosti se používají pro lehké konstrukce. Mezi další jejich předností patří nízká hustota a výhoda likvidace spalováním. Nevýhody přírodních vláken jsou citlivost na působení vlhkosti a omezená délka vláken. [2]

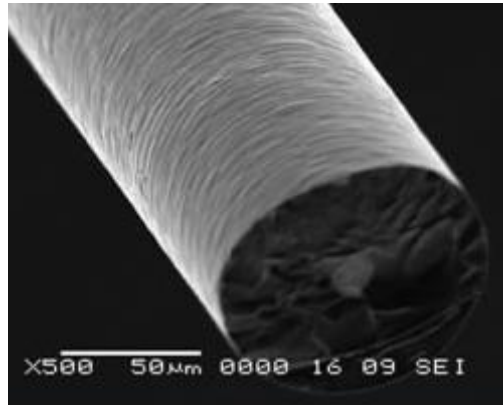
#### 1.1.5 Čedičová vlákna

Tato vlákna se podobají vláknům skleněným typu S. Oproti skleněným vláknům typu E, která se liší od čedičových vláken svými vlastnostmi. Výroba se podobá skleněným vláknům při teplotě 1450 °C. Vznikla během studené války, kdy čedičová vlákna nahrazovala skleněná vlákna typu S. [3]

Čedičová vlákna se zpracovávají známými procesy, jako je pultruze a navíjení. Vlákna často využívaná v různých průmyslových odvětvích, mezi která patří stavebnictví, stavba lodí a automobilový průmysl. [4]

### 1.1.6 Borová vlákna

Borová vlákna se vyrábějí především v USA. Díky speciální technologii výroby je jejich cena relativně vysoká. Nejsou vhodná pro spojení s kovovými maticemi, protože se musí upravit nanesením tenké vrstvičky SiC, a to z důvodu reakce povrchu vláken s kovy.



Obr. 4 Borové vlákno (převzato z [3])

Vlastnosti:

- Pevnost 3660 – 4000 MPa
- Modul pružnosti 400 GPa
- Hustota 2380 g·cm<sup>-3</sup>

Použití borového vlákna je především za účelem zesílení namáhaného materiálu a pro výrobu dílů s malou tepelnou roztažností. [3]

## 1.2 Matrice

Matrice neboli pojivo je materiál, který je složen ze systému vláken tak, že po zpracování vznikne výrobek, jehož tvar je stálý a označuje se jako kompozit. [2]

Úkoly matrice:

- Ochrana vláken
- Držení stálého tvaru
- Přenos namáhání vlákna
- Ochrana před okolními vlivy

### 1.2.1 Polymerní matrice

U polymerních kompozitů dělíme matici na reaktoplastové a termoplastové. Pro výrobu kompozitů se používají čtyři hlavní druhy polymerních pryskyřic [5]:

- Epoxidové

- Polyesterové
- Fenolové
- Polyamidové

- **Reaktoplastové matrice (termosety)**

Reaktoplasty vyztužené vlákny jsou nejrozšířenější konstrukční kompozity. Vlákná mohou být uspořádána buď rozmanitým, nebo náhodným způsobem. Mezi vlastnosti těchto pryskyřic patří rychlé vytvrzení, výborná odolnost proti vlhkosti, dále se neodpařují se a jsou levné.

Reaktivní pryskyřice tvoří skupinu reaktoplastů, které se nejčastěji používají při výrobě kompozitů. Jedná se o tavitelné nebo kapalné pryskyřice. [2]

Mezi nejdůležitější typy pryskyřic patří:

- Polyeterové
- Vinylesterové
- Epoxidové
- Fenolické
- Metakryátové
- Izokyanátové

- **Polyesterové pryskyřice**

Bezbarvé nebo lehce nažloutlé roztoky známe od roku 1936. Existuje mnoho druhů, které se od sebe odlišují svými vlastnosti. Vytvrzovat lze za normální nebo zvýšené teploty. Při procesu vytvrzování se uvolňuje reakční teplo, což způsobuje objemové smrštění (o 5 až 9 %). Polyesterové pryskyřice jsou nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace, vzhledem k vysoké rychlosti vytvrzování, dobrému smáčení vláken a nízké ceně. [2]

Vlastnosti:

- Dobrá odolnost proti povětrnostním podmínkám
- Nízká cena
- Spolehlivost
- Velká variabilita při zpracování
- Velké nároky na životní prostředí

- **Vinylesterové pryskyřice**

Vinylesterové pryskyřice se liší od polyesterových pryskyřic svou výraznou houževnatostí a vyšší chemickou odolností. Vzhledem k vlastnostem se používají v oblastech s vysokým korozním namáháním, např. trouby pro odvod čistého plynu, pračky, tepelné generátory, komíny, a velice často se používají v oblasti čističek odpadních vod. [2]

Vlastnosti:

- Vyšší cena
- Použití v korozním prostředí
- Nevhodné pro životní prostředí
- Velká variabilita při zpracování
- Houževnatost
- Odolnost proti vysokým teplotám

- **Epoxidové pryskyřice**

Epoxidové pryskyřice jsou kapalně až pevné látky, které mají dobré mechanické vlastnosti, vysokou rozměrovou stálost a dobrou přilnavost. Mohou se přidávat další pomocné látky (např. rozpouštědla). Vytvrzujeme je za tepla nebo za studena podle výchozích složek a podle nejrůznějších požadavků.

Vlastnosti:

- Vysoká cena
- Dobré mechanické vlastnosti (dobré pro vysokopevnostní vlákna)
- Chemická odolnost závisí na druhu tvrdidla:
  - Aminy – odolnost proti alkáliím
  - Anhydridy kyselin – odolnost proti kyselinám a horké vodě
- Vyšší tepelná odolnost než u VE-R a UP-R

Epoxidové pryskyřice se používají jako matrice pro drahé výztuže (např. uhlíkové kompozity používané při stavbě letadel). [2]

- **Fenolické pryskyřice**

Jedná se o reaktivní pryskyřici. Fenolické pryskyřice získáváme kondenzací fenolů a 30- až 50% vodných roztoků.



Vlastnosti:

Zpracovávají se obtížněji, z důvodu použití kyselin a odštěpováním reakčních zplodin

- Křehkost
- Vysoká tepelná a chemická odolnost
- Tvarová stálost
- Příznivé reakce při požáru

Fenolické pryskyřice se vyrábějí v tmavých krycích barevných odstínech, protože na světle hnědnou se zejména ty, které obsahují novolaky, mohou se při vytvrzování zbarvit. [2]

#### • **Termoplastové matrice**

Termoplasty se liší od reaktivních pryskyřic svými vlastnostmi, ale jejich porovnání je velice složité kvůli velkému množství různých materiálů jako matrice. Za normálních teplot jsou termoplasty pevné látky, do tekutého stavu je dostáváme zahřátím většinou na teplotu 200 °C. Termoplasty mají problém s používáním rozpouštědla, protože po odstranění rozpouštědla mají nižší odolnost proti korozi při napětí. Termoplasty můžeme zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí. Termosety a termoplasty se zpracovávají při zvýšené teplotě, proto je potřeba oba procesy ukončit chlazením. [2]

#### **1.2.2 Kovové matrice**

Kovové matrice nejsou tolik používané jako polymerní matrice, ale mají oproti polymerním maticím některé výhody: elektrickou a tepelnou vodivost, nehořlavost, smykovou pevnost, odolnost proti vlhkému prostředí a povrchovému poškození, tvárnost. Jejich nevýhoda je, že za normálních teplot mají pevnost a tuhost nižší u polymerních kompozitů a také mají podstatně vyšší výrobní nároky.

Z kovových maticí je hliník a jeho slitiny nejpoužívanější, zejména kvůli nízké ceně. Jsou vyztužované vlákny nejčastěji borovými a uhlíkovými.

Možnosti výroby matrice:

- z prášku – plazmové nanášení
- fólie – lisování za tepla, válcování

➤ taveniny – lití

Postup výroby musí být stanoven tak, aby došlo k úplnému smíšení matrice a vláken bez jakéhokoliv sebemenšího mechanického poškození. Proces bývá dvoufázový. První fáze je, že se vyrobí jednoduché tvary, a druhá, že se z jednoduchých tvarů vyrábí složitější struktura. [5]

Kompozity s kovovou maticí se používají převážně v automobilovém průmyslu jako písty, brzdy a části motorů. Dále se používají pro sportovní potřeby, jako jsou například rámy kol. [6]

### 1.2.3 Keramické matrice

Keramika je materiál, který se vyznačuje svou vysokou pevností i při vysokých teplotách a má výbornou odolnost proti oxidaci. Největší nevýhoda keramiky je křehkost.

Kvůli křehkosti keramiky dochází k vyztužování vláken, to má také za důsledek zvýšení houževnatosti. Vyztužením zlepšujeme i rázovou pevnost a umožňujeme lepší odolnost proti teplotním šokům. Spojení vláken a matrice není až na některé výjimky příliš silné. Důležitým parametrem keramiky je součinitel teplotní roztažnosti. Když je součinitel teplotní roztažnosti vláken větší než matrice, může dojít k úplnému oddělení matrice a vláken. Ale také nemůže být součinitel teplotní roztažnosti vláken malý, protože by mohlo dojít v matici ke zvýšení tahového napětí, což způsobuje vznik trhlin. [5]



Obr. 5 Brzda vyrobená z kompozitu s keramickou maticí (převzato z [6])

Kompozity s keramickou maticí se používají na konstrukční prvky, jako jsou brzdy, rakety a motory. [6]

### 1.2.4 Silikátové matrice

Kromě keramiky můžeme vyztužovat vlákny i jiné materiály, jako je například cementová malta, beton a sádra.

V cementové matici se používají speciální skla, protože dochází ke korozi

skleněných vláken. V sádrové matrici se pro zvýšení soudržnosti pokrývají skleněná vlákna polyvinylacetátovým povlakem. Používá se velmi malé množství vláken (méně než 6 %), aby se nezhoršila zpracovatelnost. [5]

## 2 Druhy elektroizolačních kompozitních materiálů

Díky tomu, že můžeme spojit určité mechanické a elektrické vlastnosti, patří kompozity mezi materiály, které se v elektrotechnice velmi často využívají. Mají uplatnění v místech, kde je zapotřebí využití obou vlastností současně. [7]

### 2.1 Tvrzené tkaniny

Vyznačují se svými dobrými mechanickými a kluznými vlastnostmi, proto se zejména používají a jsou vhodné pro výrobu ložisek. Existují různé varianty, který se od sebe liší pojivem a vlastnostmi. Nejčastějším pojivem je fenolformaldehydová pryskyřice. [7]

Vlastnosti:

- $E_p = 4$  až  $5 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$
- Izolační odpor po 24 hodinách ve vodě  $10^7 \Omega$

### 2.2 Tvrzené skleněné tkaniny

Jsou to materiály, které mají také vynikající mechanické a elektrické vlastnosti. Jako nosný materiál se používá skleněná tkanina. Tyto materiály můžeme používat i v horších klimatických podmínkách. Máme různé druhy, které se od sebe liší pojivem (epoxidová, silikonová pryskyřice a polyestery). [7]

Vlastnosti:

- $\epsilon_r = 4$  až  $5$
- $\text{tg } \delta = 0,05$
- $E_p = 10$  až  $15 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$
- Izolační odpor po 24 hodinách ve vodě  $5 \cdot 10^8 \Omega$

### 2.3 Tvrzené vrstvené dřevo

Proces výroby ovlivňuje konečné vlastnosti materiálu. Vyrábí se z přírodního bukového dřeva. Díky svým vlastnostem se podobá tvrzeným papírům a tkaninám. Používá se díky své vysoké absorpci oleje při výrobě transformátorů a zejména na konstrukční části. [7]

Vlastnosti:

- $\rho_v = 10^{10}$  až  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$

- $\text{tg } \delta = 10^{-2}$
- $E_p = 45 \text{ až } 70 \text{ kV} \cdot 25 \text{ mm}^{-1}$

## 2.4 Tvrzené papíry

Jde o různé varianty, které se liší elektrickými a mechanickými vlastnostmi podle použité pryskyřice. U těchto materiálů se nejčastěji používá fenolformaldehydová pryskyřice. Používá se na různé prvky převážně konstrukčního typu. [7]

Vlastnosti:

- $\text{tg } \delta = 0,06 \text{ až } 0,1$
- $E_p = 8 \text{ až } 10 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$
- Izolační odpor po 24 hodinách ve vodě  $10^6 \text{ až } 10^{10} \Omega$

## 2.5 Nomex®

Jedná se o syntetický materiál. Tento materiál bývá v praxi stále používanější. Vyrábí se z krátkých vláken a aromatického polyamidu, který je ve formě malých vláknitých částic. Může se zpracovávat dvojím způsobem, buď kalandrovaným, nebo nekalandrovaným.

Vlastnosti:

- $\epsilon_r = 2,5$
- $\rho_v = 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$
- $E_p = 40 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$
- Vysoká pevnost v tahu
- Nehořlavost

Nomex® se může různě kombinovat s jiným materiálem. Při kombinaci s jiným materiálem mohou vznikat buď tuhé, nebo ohebné izolanty. Kombinovat můžeme například potažením povrchu různým druhem pryskyřice, a tím může dojít k dobrému spojení Nomexu® s jiným materiálem.

Vynikající vlastnosti si drží i při delším působení vysokých teplot. Nomex® se může využívat v elektrotechnickém odvětví, například v elektrických strojích. Dále se používá v elektroizolační technice jako izolace závitů, vrstev a přívodů u transformátorů, u kterých snáší i jejich minerální a syntetické oleje. [7]

Díky svým vlastnostem se nejvíce používá a patří mezi nejvýznamnější složku ochranných oděvů. Chráněné výstroje používají hasiči, vojenští piloti a závodní jezdci. [8]

## 2.6 Kapton®

Jedná se materiál, který nachází uplatnění ve speciálních případech izolování vinutí elektrických strojů. Tento materiál se vyrábí speciální reakcí, kterou nazýváme bipolykondenzace aromatického dianhydridu a diaminu. Materiál má tvar fólie a velmi dobré elektrické vlastnosti.

Výhody:

- $\epsilon_r = 3$  až 3,5
- $\text{tg } \delta = 3 \cdot 10^{-3}$
- $\rho_v = 1,5 \cdot 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$
- $E_p = 7,7 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$  (tloušťka 1 mm)
- $E_p = 7,7 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$  (tloušťka 3 mm)
- Vynikající tepelná odolnost
- Nehořlavost

Materiál můžeme použít i v náročných teplotních podmínkách od -120 do +350 °C, lze jej ale použít jen krátkodobě. [7]

### 2.6.1 Druhy materiálů:

**Kapton® RS** je elektricky vodivá polyamidová fólie, používaná pro topné aplikace. Fólie je lehká, tenká, ohebná a odolná vůči vysokým teplotám. Další vlastností fólie je odpor, což znamená, že ji nelze lehce odtrhnout nebo jinak poškodit. Slouží k regulaci teploty v leteckém průmyslu, k rozmrazování větrné turbíny a vytápění automobilů.

**Kapton® HN** se doporučuje pro aplikace, které vyžadují rovnováhu vlastností ve velkém rozsahu teplot, lze je použít až při teplotách od -269 do +400 °C.

**Kapton® MT+** je homogenní fólie. Fólie má mnohem větší tepelnou vodivost než Kapton® HN. Dále mají silné mechanické a dielektrické vlastnosti.

**Kapton® CR** je speciální materiál, který je vytvořen tak, aby odolával škodlivým účinkům, které by způsobovaly ionizace nebo jakékoliv poruchy izolačního materiálu nebo systému. Jedná se o nejmodernější polyamidové fólie, které jsou schopny odolat povrchovým výbojům. Vyznačují se oproti jiným izolačním materiálům větší životností a účinností.

**Kapton® FCR** je moderní izolace vodičů, která je navíc od běžných materiálů vylepšena o dlouhodobou výkonnost. Používá se jako efektivní izolace drátů, která slouží ke snížení tepelných poruch a častým výbojům. Mohou být využity v některých motorech a generátorech. [9]

## 2.7 Kalastik®

Pásky Kalastik® se používají u vysokonapěťových vinutí, na nichž byly ovinuty jednou nebo více vrstvami kolem holých nebo smaltovaných vodičů. [10]

Pasky typu:

- 45.000 – páska o tloušťce 0,06 mm nebo 0,07 mm, používáme v místech, kde je potřeba menší tloušťky izolace
- 45.001 – páska vyrobená ze slídového papíru, pojiva a PET fólie, opatřena adhezní vrstvou
- 45.003 – páska vyrobená z kalcinovaného slídového papíru, který má po obou stranách PET fólie s epoxidovou pryskyřicí, a na jedné straně opatřená adhezní vrstvou
- 45.030 – páska vyrobená z kalcinovaného slídového papíru, který má na jedné straně PET fólii s epoxidovou pryskyřicí, jedná se o pásku o tloušťce 0,09 mm

## 2.8 Relanex®

Jedná se o materiál složený buď z kalcinovaného, nebo z nekalcinovaného slídového papíru, kde se jako nosná část používá skleněná tkanina epoxy-novolakové pryskyřice.

Páska Relanex® může být použita jako doplňující konsolidační materiál. Také ji lze použít při technologickém stažení svazku vodičů, což se provádí typem Relanex® 45.018. Dále se používá pro izolaci rovných částí cívek, a proto jsou vhodné typy Relanex® 45.011, 45.031, 45.033. [10]

## 2.9 Relastik®

Jedná se o izolační materiál vyrobený z kalcinovaného slídového papíru, PET (nebo PEM) fólie a epoxy-novolakové pryskyřice.

Používá se pro izolaci rovných částí cívek, a proto jsou vhodné typy Relastik® 45.006, 45.036, 45.037 a 45.013. [10]

## 3 Technologie výroby

### 3.1 Pultruze (Tažení)

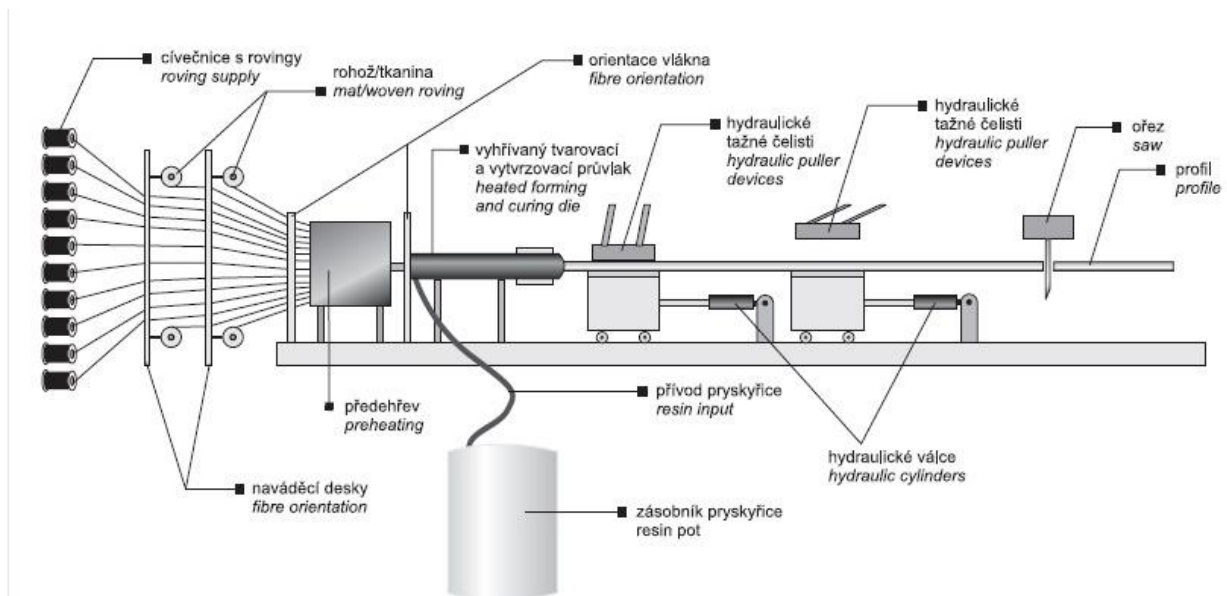
Technologie tažení je proces kontinuální výroby založený na tažení svazku vláken, rohoží a tkanin pryskyřičnou lázní. Materiály, které se zde používají, jsou tekuté pryskyřice a vláknové výztuže. Touto metodou můžeme vyrábět různé plné, duté a tvarové profily. Vyrobené profily mají velkou koncentraci výztuže, některé dokonce až 80%.

Výhody:

- Velmi dobré vlastnosti
- Vysoká produktivita
- Nízká náročnost na lidskou práci

Nevýhody:

- Velké náklady
- Drahý provoz
- Nutný kvalitní řídicí systém



Obr. 6 Schéma tažení (převzato z [12])

Proces započne, když převážně skleněná vlákna navinutá na cívkách vstupují do srovnávače, který má funkci rovnoměrného rozmístění vláken. Dále probíhá tažením materiálu pomocí tažného zařízení přes ocelové formy, které jsou vyhřívány elektricky



nebo topným médiem. Z těchto forem vystoupí nejprve polotvar. Ten se dále upraví a odstraní se přebytečné pojivo a vstupuje do vytvrzovacích forem. Z výstupu je hotový profil. [11, 12, 13]

### 3.2 Ruční kladení

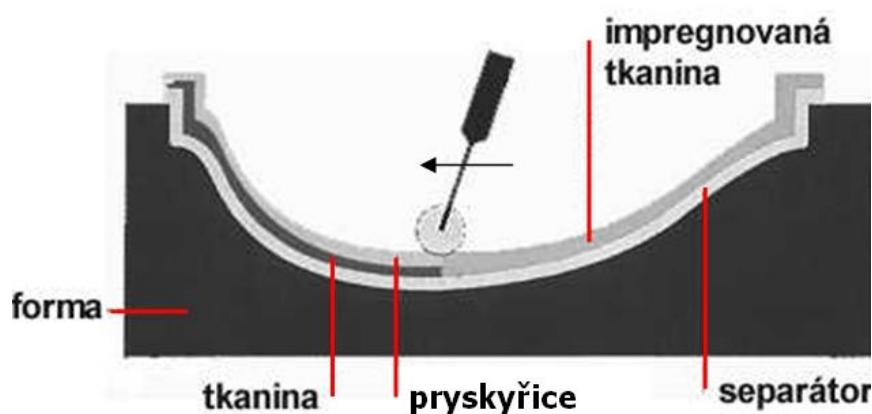
Technologie ruční kladení, kterou můžeme nazývat i kontaktní lisování, patří mezi nejstarší, nejjednodušší a nejpoužívanější metody. Jedná se o proces, kdy se nanáší pryskyřice na výztuže ručně. Podle povrchu formy (negativní nebo pozitivní) se určuje, kam se komponenty nanáší, protože jen jedna strana výrobku má kvalitní povrch.

Výhody:

- Jednoduchost
- Nízké náklady
- Jednoduché aplikování „gelcoat“

Nevýhody:

- Odpad – jde obtížně znovu zpracovat
- Malá produktivita
- Závislost na schopnostech pracovníka



Obr. 7 Ruční kladení (hand lay-up) [(převzato z [14])]

Proces začíná tehdy, kdy se formy povrchově upraví separačním čidlem a dále se povrch opatří gelcoatem. Gelcoat je speciální nevyztužená vrstva, která se nanáší ručně nebo stříkáním a zajišťuje estetickou stránku povrchu a ochrání povrch před okolními vlivy, jako je například déšť, vítr nebo některé chemikálie. Gelcoat se částečně vytvrdí a pak se začnou pokládat jednotlivé vrstvy výztuže. Na vrstvy se nanáší pryskyřice, která se

do vrstev prosycuje pomocí válečku. Dále se použijí rýhované válečky, které slouží k odstranění přebytečné pryskyřice a vzduchových bublin. Nakonec se laminát vytvrdí za normální teploty nebo za vyšších teplot, pokud chceme zvětšit tepelnou odolnost. [10, 11]

### 3.3 Metoda vakuového vaku

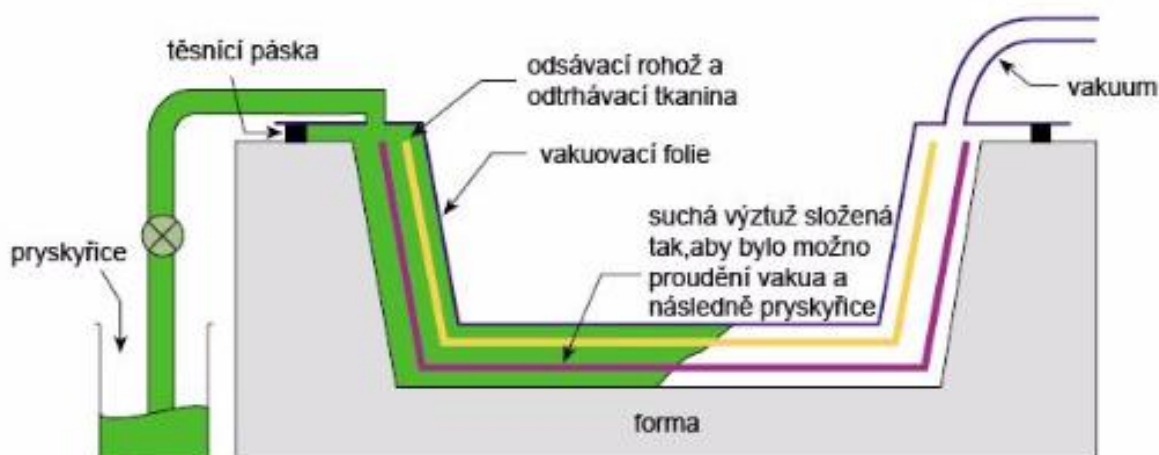
Technologie obdobná jako ruční kladení. S tím rozdílem, že má vylepšenou poslední fázi vytvrzování. Na povrch kompozitu se umístí tenký nepropustný film. Forma je vakuovaná.

Výhody:

- Minimální obsah vzduchových bublin
- Větší obsah výztuží
- Zachování výhod ručního kladení

Nevýhody:

- Velké množství odpadu
- Potřeba zkušené pracovní síly



Obr. 8 Schéma metody vakuového vaku (převzato z [15])

Proces začíná ručním kladením laminátu. Dále se povrch kompozitu překryje fólií. Dále se ručně dotlačí film na kompozit a odstraní vzduchové bubliny. Nakonec se výrobek vytvrdí, odstraní se fólie a výrobek je dokončený. [10]

### 3.4 Metoda tlakového vaku

Vylepšená technologie vakuového vaku přidáním tlakového vaku, který je přes ten

vakuový převlečen. Stejně jako u předchozí metody je tenký nepropustný film položen na povrch kompozitu.

Výhody:

- Materiál s minimálním obsahem bublin
- Větší obsah výztuží
- Zachování výhod ručního kladení

Nevýhody:

- Velké množství odpadu
- Potřeba zkušené pracovní síly
- Drahý tlakový vak

Proces začíná jako metoda vakuového vaku ručním kladením laminátu. Dále se povrch kompozitu překryje fólií. Forma je vakuovaná a dále se nad ní vytvoří přetlak přibližně kolem 0,3 MPa. Potom se ručně dotlačí film na kompozit a dojde k odstranění vzduchových bublin. Nakonec se výrobek vytvrdí, odstraní se fólie a výrobek je dokončený. [10]

### 3.5 Metoda lisování se vstřikem matrice

Technologie prováděná s uzavřenou formou, do které je vložena suchá výztuž. Materiál se vytvrzuje při běžné pokojové teplotě.

Výhody:

- Kompozity s dobrým povrchem na obou stranách
- Přesnost řízení tloušťkové tolerance
- Efektivní proces

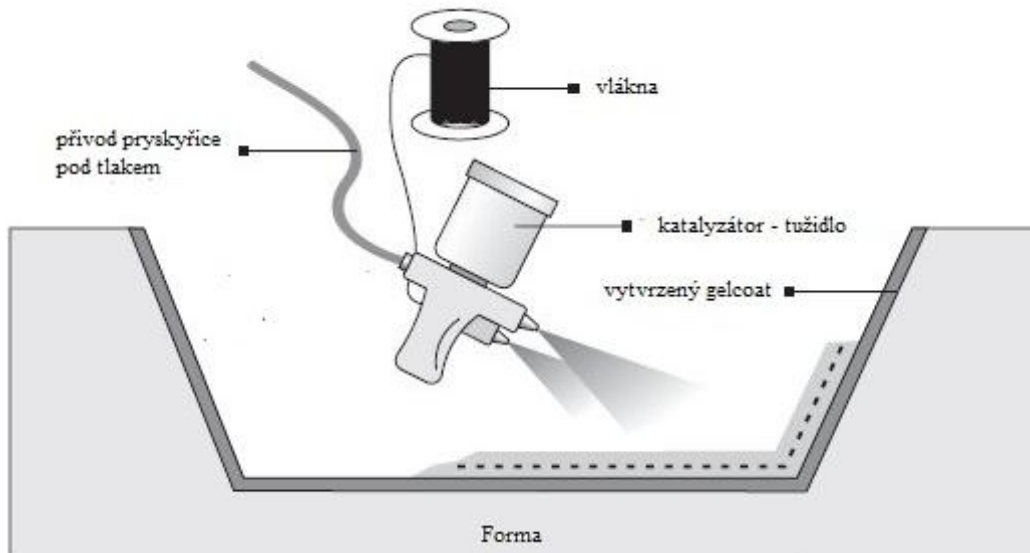
Nevýhody:

- Těžké a drahé formy
- Malý obsah skla, tudíž horší fyzikální vlastnosti

Proces začíná navoskováním obou stran formy a nanesením gelcoatu. Po vytvrzení gelcoatu je do formy vložena výztuž. Aby došlo k prosycení výztuže, je pryskyřice vstřikována pod tlakem 0,2-0,35 MPa. Forma je po celou dobu vstřikování pryskyřice uzavřena, obsahuje pouze otvory na odtékání zbytku pryskyřice, které se uzavřou, a forma se vytvrzuje. Po vytvrzení se forma otevře a vyjme se hotový díl. [10]

### 3.6 Stříkání

Technologie nanášející vlákna a pryskyřici zároveň pomocí speciální pistole. Nanášení může být ruční nebo může být řízeno počítačem. Obdobně jako u ručního kladení jsou formy málo nákladné. Proces musí být prováděn v odvětrávaném prostoru.



Obr. 9 Technologie stříkání (převzato z [11])

Proces začíná stejně jako u ručního kladení, kdy se povrch ručně nebo nástřikem opatří gelcoatovou vrstvou. Poté se stříkáním nanáší několik vrstev, záleží na požadované tloušťce výrobku. Každou vrstvu musíme přejet rýhovými a štětinovými válečky, které povrch zhutňují a odstraňují vzduchové bubliny. [11]

### 3.7 Navíjení

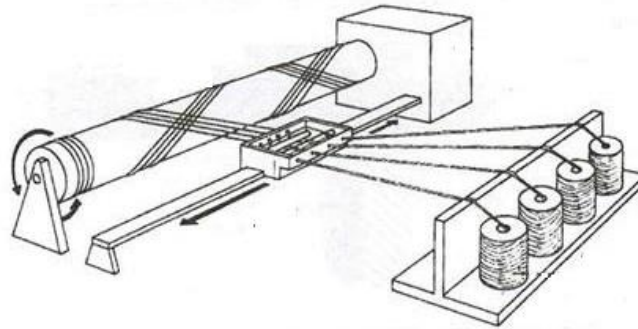
Technologie založená na navíjení skleněných (ty jsou nejčastěji používané), uhlíkových nebo aramidových výztuží na jádro výrobku, který je většinou kruhového tvaru. Technologie je řízená počítači.

Výhody:

- Nejlevnější formy výztuže
- Velká produktivita

Nevýhoda:

- Vysoká cena strojů
- Nesnadné odstranění vnitřních forem



Obr. 10 Schéma navíjecího zařízení (převzato z [10])

Proces začíná navíjením výztuže pomocí pohybujícího se ramene podél osy na současně rotující formu. Tímto procesem mohou vznikat i složité tvary a používá se na výrobu dutých těles, jako jsou trubky, nádrže a nádoby. [10, 11]

### 3.8 Lisování v autoklávu

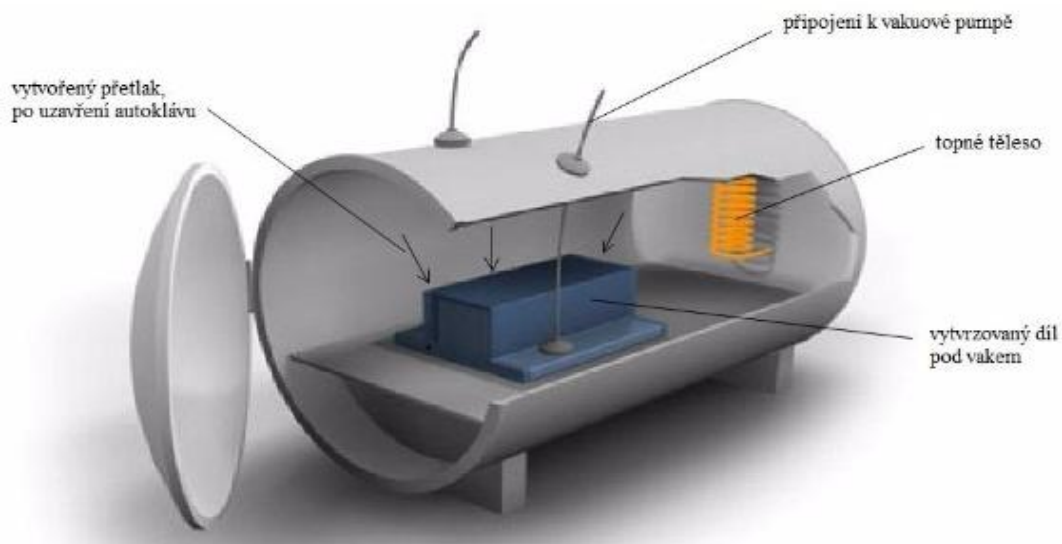
Technologie patří mezi nejnákladnější a nejsložitější pro výrobu velkých konstrukcí. Materiálem jsou prepregy, které se vytvrzují pomocí vyšší teploty a tlaku v uzavřené nádobě. Prepregy jsou materiály složené z uhlíkových, skleněných nebo aramidových vláken. Skládají se buď ručně, nebo u velkosériové výroby speciálním zařízením řízeným počítačem.

Výhody:

- Větší obsah výztuží
- Současné vytvrzení více částí
- Lepší materiál

Nevýhody:

- Vysoká cena autoklávů
- Náročná metoda
- Dražší díly

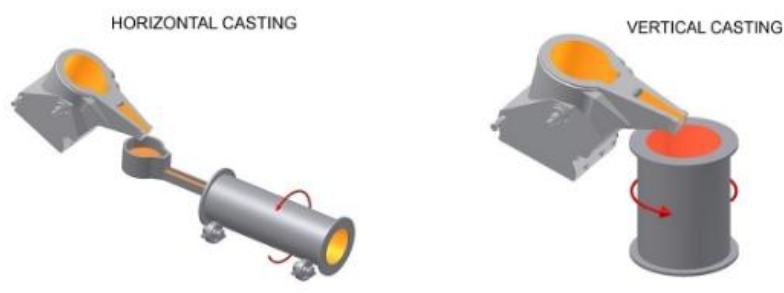


Obr. 11 Schéma autoklávy (převzato z [15])

Proces začíná ručním nakladením laminátu. Formy se dále pokrývají fólií a umísťují se do autoklávy. V autoklávy se vytvrdí působením tepla a tlaku. Nakonec se součástka vyjme, fólie se odstraní a výrobek je hotový. [10, 11]

### 3.9 Odstředivé lití

Technologie založená na strojním stříkání a odstředivém lití. Metoda slouží k výrobě dutých rotačních těles. Většinou se jedná o potrubí odpadních vod.



Obr. 12. Odstředivé lití (převzato z [16])

Proces začíná roztavením kovu, který se dále naleje (nastříká) do rotující kovové formy. Forma se otáčí buď vertikálně, nebo horizontálně. Vysoké otáčky způsobují odstředivé síly sloužící k rovnoměrnému rozložení kovu. Kov postupně tuhne do požadovaného tvaru, většinou do dutého válce nebo kružnice. [12, 16]

### 3.10 Splétání

Technologie splétání může být prováděna dvěma způsoby, jeden způsob je biaxiální (dvojosý) a druhý je triaxiální (trojosý). Výrobky jsou tvořené více vrstvami, které jsou jednotlivě prosycovány směsí pryskyřice, většinou epoxidové a tvrdidly. Vlastnosti závisí na směru a úhlu splétání. Dále vlastnosti ovlivňujeme množstvím použitých vláken buď uhlíkových, nebo skleněných.



Obr. 13 Výroba kompozitů metodou splétání (převzato z [17])

Biaxiální způsob ovlivňuje svoje vlastnosti křížením vláken, orientací a silou splétání.

Triaxiální způsob je takový, kdy se mezi dvě sady vláken splete ještě třetí sada ve směru osy trubky. Výhodou tohoto způsobu je zvýšená hustota, a tím i její pevnost. Mezi další výhody patří velká odolnost vůči zlomu a jakémukoliv dalšímu poškození. [17]

## 4 Aplikační oblasti kompozitních materiálů

### 4.1 Kompozitní materiály v elektrotechnice

#### 4.1.1 V izolačních systémech transformátorů

Izolační systémy můžeme rozdělit do tří skupin, které nazýváme suché, zalévané a kapalný izolant ve spojení s tuhými izolanty. U suchých transformátorů se nepoužívá tekutý impregnant, proto se pro chlazení transformátoru využívá vzduch nebo fluorid sírový SF<sub>6</sub>. Zalévané stroje jsou stroje, které mají buď cívky zalité do pryskyřice, nebo zde může být vytvořena kompaktní izolace technikou VPI nebo Resin – Rich. [7]

#### 4.1.2 V izolačních systémech točivých elektrických strojů

V izolačních systémech elektrických strojů se používají stále častěji kompozitní materiály, které rozdělujeme do dvou skupin podle pracovního napětí:

- Nízkonapěťové
- Vysokonapěťové

**Nízkonapěťové izolační systémy točivých strojů** se skládají ze tří částí:

- Izolace vodičů – určuje se podle použití ve stroji a podle velikosti prahového napětí;
- Vyložení drážky – používají se k ochraně vodičů vinutí. Drážky jsou tvořeny z drážkové lepenky, kombinované drážkové izolace nebo Nomexu;
- Impregnace – vytváří se třemi způsoby:
  - Máčení – za atmosférického tlaku, používají se zde jednosložkové pryskyřice (při nízkých teplotách se rychle vytvrzují)
  - Zaplavování – za rotace, používají se zde laky na bázi nenasycené polyesterové pryskyřice, vytvrzují se UV zářením a elektrickým proudem
  - Zakapávání používá se roztok nenasycené polyesteramidové pryskyřice

**Vysokonapěťové izolační systémy točivých strojů** se provádí dvěma způsoby, které jsou od sebe výrazně odlišné:

- Systém Resin-Rich
- Systém VPI

**Systém Resin-rich** je systém, který je v literatuře nazýván jako „již obsahující



pryskyřici“. Jedná se o tříložkový kompozit s výchozím izolačním předimpregnovaným materiálem. Předimpregnovaný materiál je složen z 30 ÷ 40 % pojiva a dodává se v polotvaru. Systém musí mít velmi přesné přípravky pro vytvrzování. Přípravuje se na vodivé části, kde se vytvoří izolační trubka. Vytvořené části vinutí se přidávají přímo do drážek stroje. U izolace klademe důraz na velmi dobrou elektrickou pevnost.

Nosná část je tvořena skleněnou tkaninou. Skleněná tkanina je vytvořena stáčenými vlákny nebo může být vytvořena novou technologií, kdy se místo stáčení vláken vlákna rovnají do roviny. Izolační bariérou je kalcinovaný slídový papír, který je pevnější a méně nasákavý. Jako pojivo se používají reaktoplastická bezrozpuštědlová novolaková nebo cykloalifatická epoxidová pryskyřice.

Na předem vytvořený základ vinutí se vytvoří další vrstva, která se může vytvořit kontinuálně nebo diskontinuálně. Kontinuální způsob znamená, že vrstva vznikne navinutím pásky o šířce přibližně 20 mm s polovičním, třetinovým nebo dvoutřetinovým překrytím celé tyče. Diskontinuální způsob je takový, že rovná část je tvořena fóliovým materiálem.

**Systém VPI** se nazývá podle výrobní operace – vakuově tlakové impregnace. Základní parametrem je slídová páska, která je savá a při impregnačním procesem prosytí impregnantem. Systém zpevňuje vinutí o výborných tepelných a izolačních vlastnostech a navíc je šetrný k životnímu prostředí. Hlavním rozdílem od systému Resin-rich je použití drahého technického zařízení, proto je VPI jednoznačně náročnější na technické vybavení.

Nosná část může být tvořena skleněnou tkaninou, polyesterovým rounem nebo fólií (nejčastěji polyimidová fólie). Nejdůležitější vlastnosti je savost materiálu, aby při použití více vrstev došlo k proimpregnování všech vrstev. Pro splnění požadavků se používají nekalcinované slídy. Impregnantem jsou bezrozpuštědlové, epoxidové nebo silikonové pryskyřice s obsahem sušiny. [7]

## 4.2 Kompozitní materiály v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu se stále více rozšiřuje využití kompozitních materiálů, nejčastěji uhlíkových vláken. Důvod je prostý: čím dál více se zpříšňují omezení, která kladou důraz na životní prostředí. [18] Proto použití kompozitních materiálů, jsou schopny nahradit kovy. Hlavní myšlenka využití je snížení hmotnosti celkové konstrukce auta, a tím

snížení emisí a také zvýšení dojezdu. [19]

V automobilovém průmyslu se začaly vyrábět například tlumiče ze skleněných vláken, přesněji z látky GFRP, které váží o 1,1 kg méně než klasické ocelové tlumiče. [20]  
Dalším konstrukčním prvkem, vyrobeným z kompozitu, je střecha automobilu, která se vyrábí nalepením uhlíkového kompozitu na ocelový plech. [21]

## 5 Přehled českého trhu s kompozity

### 5.1 Prefa kompozity, a. s.

#### 5.1.1 O společnosti

Společnost Prefa kompozity, a. s., se zabývá výrobou a konstrukcí kompozitu i s vylepšenými vlastnostmi, jako je nehořlavost, pevnost a odolnost. Z těchto kompozitů dále sestavuje výrobky určené například pro příslušenství ve stavební a průmyslové oblasti. Společnost má v tomto odvětví dlouholetou zkušenost. Firma má svoje vlastní vývojové a inovační oddělení. Dále získala ocenění výrobku a managementu společnosti na několika soutěžích.

#### 5.1.2 Používané technologie

- Pultruze (tažení) – profily, tyče, desky, včetně ovíjení (tyče)
- Lití do formy – rošty PREFAGRID
- Ruční laminování – části poklopů, zákaznické výrobky
- SMC – polotovary pro lisování
- BMC – polotovary pro lisování
- Lisování – kanalizační poklopy, zákaznické výrobky, výroba lepidel

#### 5.1.3 Výrobky Prefa Kompozity, a. s.

- **KOMPOZITNÍ PROFILY PREFEN**

Jedná se o materiály složené ze dvou látek pojiva (pryskyřice) a výztuhy (vlákna). Materiál se vyrábí nejčastěji metodou pultruze (tažení). Tažené profily se používají jako nosný prvek ve vlhkém a chemicky agresivním prostředí. [13]



Obr. 14 Profily Prefen (prevzato z [13])

Hlavní výhody:

- Vysoká pevnost
- Nízká hmotnost
- Odolnost proti korozi
- Nevodivost

Nevýhody:

- Nízká pružnost
- Absence schopnosti tvarování a spojování

### **Dělení profilů:**

dle pojiva (pryskyřice):

- polyesterová pryskyřice (používá se nejčastěji)
- vinylesterová pryskyřice
- epoxidová pryskyřice

dle výztuhy (vlákna):

- skleněná vlákna (používají se nejčastěji)
- uhlíková vlákna
- čedičová vlákna

dle technologie výroby:

- pultruze (tažení)
- navíjení

dle tříd odolnosti:

- UV záření
- elektrické a požární vlastnosti
- agresivní prostředí

## • **POCHŮZNÉ ROŠTY**

Rošty z kompozitního materiálu díky své větší životnosti nahradily kovové rošty hlavně v agresivním prostředí.

Dělení roštů:

- PREFAPOR – složené z kompozitních profilů PREFEN, obsahují protiskluzové vrstvy a dále obsahují až 70 % skleněných vláken
- PREFAGRID – lité rošty

Rošty se používají v průmyslu a především v chemickém průmyslu. Na úchyt roštu

se používají přichytky z nerezové oceli. Jejich tvar závisí na tvaru a velikosti roštu. Barva je většinou šedá, až na velké odběry si zákazník může vybrat barvu sám. [13]

Výhody:

- Ochranná polyesterová rouška pod povrchem
- Obsah až 70 % skleněných vláken
- Větší životnost
- Vyšší odolnost vůči rázům
- Velká délka panelu
- Protiskluzná vrstva

Nevýhody:

- Schopnost podepření jen v kolmém směru

## • KOMPOZITNÍ POKLOPY

Poklopy Prefaplate jsou lisované desky určené pro zakrytí otvorů v inženýrských nebo průmyslových stavbách a v dopravních komunikacích. Poklopy rozdělujeme do jednotlivých tříd zatížení. První třída A15 se používá pro chodníky a cyklostezky. Třída B125 se používá stejně jako třída A15, ale i na plochy pro parkování osobních vozidel. Třídou C250 lze použít stejně jako předchozí třídy A15 a B125, ale především jsou určeny pro pozemní komunikace. Třída D 400 se používá stejně jako předchozí a navíc se používá na více zatížené plochy, jako jsou letiště. [13]



obr. 15 Kruhový poklop (převzato z [13])

Dělení poklopů:

dle tvaru:

- pravoúhlé
- kruhové

dle zatížení:

- zatížení do 250 kg/m<sup>2</sup>

- zatížení A, B, C a D

## 5.2 GDP Koral, s. r. o.

### 5.2.1 O společnosti

Společnost GDP Koral, s. r. o., byla založena v roce 2005. Jedná se o spojení dvou firem, francouzské GDP SA a české KORAL, s. r. o., které sídlí v Tišnově. Společnost využívá silné stránky obou firem. Francouzská firma se zabývá výrobou kompozitních profilů a česká společnost obstarává dodání materiálů. Spojením společností získaly obě firmy spoustu výhod. GDP SA si upevnila svoji pozici na evropském trhu.

### 5.2.2 Používané Technologie

- pultruze (tažení)
- lisování

### 5.2.3 Výrobky GDP Koral, s. r. o.

- **Standardní profily**

Jednotlivé vyrobené profily vychází z dostupných forem a trnů. Společnost vyrábí spoustu kombinací o různých délkách. Z toho důvodu jsou výrobky na skladě pouze v omezeném množství. Nejčastěji se profily vyrábí podle objednávky a požadavků od zákazníka.



obr. 16 Standardní profily (převzato z [1])

- **Rošty a plaňky**

Jednotlivé rošty a plaňky jsou vyráběné z takového materiálu, aby byly odolné proti korozi. Na výrobu se používají skelné výztuže, rohože a polyesterové pryskyřice. Díky tomu mají výrobky jiné mechanické a fyzické vlastnosti a jsou ideální náhradou za kovové rošty, z toho důvodu je můžeme používat v agresivnějším prostředí. Všechny výrobky se

dodávají v širokém množství rozměrů.

Výhody:

- Malá hmotnost
- Chemická odolnost
- Vysoká životnost
- Velká pevnost
- Nezávadnost
- Protiskluzový povrch
- Odolnost proti nárazům



Obr. 17 Rošt (převzato z [1])

Využití těchto výrobků je zejména v náročném a vlhkém prostředí, jako jsou čistírny odpadních vod, koupaliště, vodárny a chemické továrny. [1]

### 5.3 5M, s. r. o.

#### 5.3.1 O společnosti

Společnost 5M, s. r. o., byla založena v roce 1992. Firma se zabývá kompozitními materiály, které slouží k výrobě a inovaci různých výrobků. Společnost se zabývá vývojem těchto materiálů a dává přednost speciálním a složitým aplikacím. Každým rokem společnost vyvine alespoň dva výrobky, které pocházejí z vlastního vývojového prostředí nebo od univerzit, jež spolupracují s 5M. Většina výrobků se vyváží do zahraničí.

Spolupráce společnosti začala nejprve v roce 1998 s firmou SABA z Nizozemska. Firma SABA pracuje v nábytkářském průmyslu a zabývá se výrobou lepidel. Dále 5M spolupracuje se švýcarskou firmou Kisling. [22]

#### 5.3.2 Používané technologie

- pultruze (tažení)

### 5.3.3 Výrobky 5M, s. r. o

- **Lepidla**

Společnost se zabývá výrobou pevnostních epoxidových lepidel, která mají vynikající mechanické vlastnosti, někdy o mnoho lepší než samotné lepené materiály.

Dělení lepidel:

- konstrukční epoxidová lepidla
- epoxidová lepidla

**Konstrukční epoxidová lepidla** jsou vhodná pro použití tam, kde je potřebná velká pevnost a odolnost lepených spojů. Jedná se vlastně o vysokopevnostní epoxidová lepidla. Tato lepidla se vyrábějí ve dvou variantách, jsou buď lepidla fóliová, nebo tekutá. Oba typy lepidel se používají v automobilovém a leteckém průmyslu při lepení jednotlivých kovových konstrukcí nebo dílů.

Výhody:

- Dobré mechanické vlastnosti
- Velká pevnost
- Nedráždí lidskou kůži
- Neobsahují rozpouštědla

Fóliová lepidla nazývaná LETOXIT KFL jsou jednosložková lepidla. Jedná se o pružné fólie o tloušťce 0,3 mm. Fólie jsou šedé a z obou stran chráněné. Ochranná fólie se skládá z polyetylenové fólie a silikonového papíru. Výhodou těchto lepidel je snadná aplikace a při práci nedochází k žádnému vypařování škodlivých látek. [22]

**Epoxidová lepidla** nazývaná LETOXIT LH mohou být buď jednosložková, nebo dvousložková. Vyznačují se výbornou pevností a odolností spoje při jakémkoliv mechanickém namáhání a při jakékoliv teplotě. Lepidla slouží k lepení různých materiálů, jako je dřevo, sklolaminát, kovy a plasty. Každý materiál se vytvrzuje různou dobu.

Výhody:

- Dobré mechanické vlastnosti
- Snadné vytvrzení (i při pokojové teplotě)
- Široký rozsah použití
- Chemická odolnost



Epoxidová lepidla se používají ve sportovním (lyže, hokejky), strojírenském, lodním a leteckém průmyslu. [22]

## • **KOMPOZITNÍ PROFILY**

Kompozitní profily jsou známé také jako laminátové profily. Jedná se o sklolaminátové tyče nebo trubky, popřípadě mohou být i uhlíkové. Společnost je schopna vyrobit i složité profily.

Výhody:

- Přesné rozměry
- Velká pevnost v tahu
- Malá tepelná vodivost
- Dlouhá životnost
- Malá roztažnost

Technologie pro výrobu jednotlivých profilů se nazývá pultruzní tažení. Profily jsou vyrobené z výztuže (skleněná nebo uhlíková vlákna) a pryskyřice většinou polyesterové. Lze použít i jiné druhy pryskyřic, jako je epoxidová, ale ty se používají jen u speciálních případů.

Výrobky jsou na trhu často využívané díky svým dobrým vlastnostem. Používají se především pro výrobu prostředků hromadné dopravy (vlaky, autobusy a tramvaje). Dále se využívají ve stavebnictví (konstrukce oken a prahů), letectví, kosmonautice a dokonce i ve sportovních potřebách. [22]

## • **Semipregy**

Jedná se o alternativu prepregu, zachovávají všechny výhody prepregu. Semipregy jsou tkaniny jednostranně impregnované fóliovou pryskyřicí.

Výhody:

- Nutnost autoklávu pro výrobu laminátu
- Neobsahují rozpouštědla
- Neodpařují se žádné nebezpečné látky
- Mohou být i nehořlavé

- Velká tepelná odolnost (250 °C)

Používají se v letectví, zdravotnictví a v automobilovém průmyslu. Dále se používají na výrobu kompozitních sendvičových konstrukcí. [22]

- **Kompozitní panely**

Kompozitní panely se používají jako náhrada za hliníkové panely. Povrchové potahy jsou z laminátu a jádra, které tvoří voština z nomexu nebo hliníku. Díky tomu je výrobek velmi lehký. Technologie umožňuje vlepování dalších částí, jako jsou výztuhy, okraje a lemy, a dále je schopna vyrábět výrobky různých tvarů.

Výhody

- Velká pevnost
- Nízká hmotnost
- Nehořlavost



Obr. 18 Kompozitní panel (převzato z [22])

Používají se na výrobu interiérového vybavení (obložení stěn a stropů) u dopravních prostředků. [22]

## 5.4 Technofiber, s. r. o

### 5.4.1 O společnosti

Společnost Technofiber, s. r. o., byla založena v roce 1998 Ing. Josefem Komárkem a Dr. Petrem Havlíčkem. Ze začátku se společnost zabývala zakázkovou výrobou karbonových dutých profilů.

V současné době společnost nabízí široký rozsah high-tech produktů z kompozitu. Výrobky patří do sportovního a průmyslového odvětví. Produkty musí splňovat některé požadované vlastnosti, jako je pevnost, výkon a velká spolehlivost.

### 5.4.2 Technologie výroby

- Splétání – díky této technologii je materiál velice odolný vůči zlomu

### 5.4.3 Výrobky Technofiber, s. r. o

- **Stěžně**

Společnost vyrábí stěžně různých kategorií, jako jsou stěžně FREE, WAVE, RACE a KIDY. V každé kategorii jsou dva různé typy. První typ je pro jezdce, kteří chtějí levnější produkt, a druhý je pro nadšence, kteří chtějí to nejlepší. Společnost patří v současné době mezi nejlevnější výrobce. [17]

Výhody:

- Lehčí o 30 %
- Nižší cena oproti konkurenci

- **Pádlá**

V kanoistice se začala vyrábět pádla z uhlíkového kompozitu. Díky svým vlastnostem je dobře využitý pro správný záběr v náročných a divokých vodách. Pádlá jsou odolná a dostatečně tuhá. [17]

- **Součástky na kola**

V cyklistice se začaly silně uplatňovat uhlíkové kompozity. Kompozity jsou lehké, tuhé a pevné. Proto jsou ideálním materiálem pro výrobu jednotlivých dílů na všechny možné druhy kol, jako jsou silniční, dráhová a speciální kola do toho nejtěžšího terénu. Vyrábí se z nich rámy, vidlice, řídítka a další doplňky pro cyklistiku. [17]



Obr. 19 Vidlice vyrobená společností Technofiber (převzato z [17])

## 5.5 Cogebi, a. s.

### 5.5.1 O společnosti

Společnost Cogebi, a. s., je ve spojení se společností ELINAR, jejich společný název je ELCIM, což znamená „Elinar Cogebi Insulation Materials“. Tato skupina sídlí v Nizozemsku a zahrnuje všechny průmyslové činnosti obou firem. Firma Cogebi je odborníkem přes izolace v Evropě i ve zbytku světa. Firma Elinar má vysoké postavení na trhu s elektroizolačními materiály na bázi slídy. [23]

### 5.5.2 Technologie výroby

- PTP – technologie

### 5.5.3 Výrobky Cogebi, a. s.

- **Slídové desky**

Dva druhy:

- Pevné – nazývají se COGEMICANITE 505 a jedná se tuhé desky se slídou, které jsou speciálně navrženy tak, aby byla zajištěna elektrická izolace i při vysokých teplotách. Máme dvě kategorie skupin, které se od sebe rozlišují druhem použité slídy. Tyto desky se využívají v topných zařízeních pro průmyslové nebo domácí spotřebiče. Topná zařízení musí mít jednu z těchto vlastností: bezpečnost, netoxičnost, vysoká pevnost, odolnost proti ohřátí a výborný elektrický izolant.
- Flexibilní – nazývají se COGEMICANITE 132. Používáme je v jističích a transformátorech. Slouží jako opláštění, krytí nebo jako izolační fólie. Tento materiál se může vyrábět při pokojové teplotě a dále se může různě upravovat, např. řezat na požadované velikosti. [23]

- **Izolační páska pro Resin-rich**

Pásky byly vyvinuty za účelem zajištění izolace. Dále musí vyhovovat normě IEC 371. Pásky jedinečné, efektivní s výbornými vlastnostmi. Pásky jsou používány po celém světě především výrobci elektrických točivých strojů a specialisty na Resin-rich. [23]

Vlastnosti izolace:

- Velká elektrická pevnost

- Velká tepelná vodivost
- Odolnost proti výbojům
- Citlivost na vlhké prostředí

- **Izolační páska pro VPI**

Pásky nazývané Cogemika<sup>®</sup> VPI, které si společnost Cogebi vyrábí vlastní technologií. Technologie byla speciálně navržena tak, aby byla zajištěna izolace, která vyhovuje normě IEC 371. Pásky pro VPI jsou podobné jako pásky pro Resin-rich, které jsou také jedinečné, efektivní s výbornými vlastnostmi. Liší se pouze ve snadné a rychlé impregnaci. Pásky pro VPI se používají po celém světě především výrobcí elektrických točivých strojů a specialisty na VPI. [23]

Vlastnosti izolace:

- Velká elektrická pevnost
- Velká tepelná vodivost
- Odolnost proti výbojům
- Citlivost na vlhké prostředí
- Snadná impregnace

- **Kalastik<sup>®</sup>**

Kalastik<sup>®</sup> se používá na obalení smaltovaných nebo holých drátů u vysokonapěťového vinutí. Dráty mohou být obaleny jednou nebo více vrstvami.

Izolované dráty se vybírají podle určitých kritérií:

- Vlastnosti napájecího zdroje
- Vzniklý elektrický a tepelný odpor během provozu
- Použitá technologie výroby

Výroba Kalastiku<sup>®</sup> je založena na papíru nazývaném ELINAR-COGEBI REMIKA<sup>®</sup> impregnovaném epoxidovou pryskyřicí, kterou můžeme zesílit jednou nebo dvěma podložkami s lepicí nebo nelepicí vrstvou. [23]

## Závěr

Bakalářská práce se zabývá problematikou kompozitních materiálů v elektrotechnice. Cílem této práce bylo se obecně zaměřit na kompozitní materiály, z čeho se skládají, jaké máme druhy kompozitních elektroizolačních materiálů a jaké je jejich uplatnění v elektrotechnice. Dále zjistit, jak tyto materiály získáváme a jakými technologiemi jsou vyrobeny. V poslední řadě je uveden přehled vybraných známých výrobců kompozitních materiálů v České republice.

V první kapitole jsem popsal složení kompozitních materiálů, kde jsem se zaměřil na jejich hlavní složky, mezi které patří matrice a výztuž. Výztuž slouží jako nosná složka, je pevnější, tvrdší a může mít důležité vlastnosti. Na rozdíl od matrice, která má hlavní funkci držet kompozitní materiál v celku a chránit ho před okolními vlivy.

K dosažení výsledků v druhé kapitole jsem došel uvedením určitých izolačních kompozitních materiálů a především zdůrazněním jejich elektrické vlastnosti. Dále jsem v této kapitole zmínil reálně používané elektroizolační kompozity. Mezi tyto kompozity patří především pásy Nomex<sup>®</sup>, Relastik<sup>®</sup>, Kapton<sup>®</sup> a Relanex<sup>®</sup> vyráběné společností Cogebi Tábor, kterou dále popisuji v závěru práce.

Speciálně bych vytkl třetí kapitolu, kde jsem poukázal na jednotlivé technologie, které slouží k výrobě kompozitů. Zde jsem ukázal, jak jednotlivé technologie probíhají, a zdůraznil u každé, jaké má daná metoda výhody a naopak nevýhody. Mezi nejnámější a nejpoužívanější patří metoda pultruze.

Ve čtvrté kapitole jsem se zaměřil na aplikační oblasti kompozitů. Zjistil jsem, že kompozity jsou využívány v nejrůznějších odvětvích, ale pro svoji práci jsem se zaměřil pouze na zmínění kompozitů, které se používají v elektrotechnice. Výsledkem bylo, že se kompozity používají převážně v izolačních systémech.

V závěru mé práce jsem se zabýval průzkumem českého trhu a společností, které se výrobou kompozitů zabývají. Výsledkem bylo zjištění, že společnost 5M patří na českém trhu mezi výrobce nejlepších lepidel. Dále jsem si všiml, že společnost Technofiber vyrábí své produkty především z uhlíkového kompozitu. Společnosti GDP Kolar a Prefa kompozity se zabývají výrobou profilů různých tvarů a ve velkém rozsahu délek a mezi jejich hlavní používanou technologií patří pultruze. Lze si všimnout, že většina společností je v úzkém spojení se zahraničními firmami.

V průmyslu stále dochází k větším požadavkům na spolehlivost, životnost, úspornost a dále se více klade důraz na životní prostředí. Proto se materiály a jejich technologie více rozvíjí a zdokonalují.

Kompozity se považují za materiály budoucnosti, proto můžeme očekávat růst jejich uplatnění a rozvoje v průmyslu. Ten bude tím větší, čím více se budou neustále vyvíjet nové technologie.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] GDP Koral s.r.o. [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/co-jsou-kompozitni-materialy/w6>
- [2] Ehrenstein, W. G.: *Polymerní kompozitní materiály*, Praha: Scientia, 2009
- [3] Kořínek. [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [4] Kamenny Vek. [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.basfiber.com/>
- [5] BAREŠ, Richard.: *Kompozitní materiály*, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988,
- [6] Mat NET [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=9>
- [7] Mentlík, V.: *Dielektrické prvky a systémy*, Praha: BEN, 2006
- [8] Dupont [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/products/nomex-fibers.html>
- [9] Dupont [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.dupont.com/products-and-services/membranes-films/polyimide-films/brands/kapton-polyimide-film.view-all.hlm-subbrands-product.html>
- [10] BEZDEK. *RESIN RICH IZOLAČNÍ SYSTÉM: pro vysokonapěťová vícezávitová cívková vinutí točivých strojů třídy F (155 °C)* [online]. Cogebi, 2009 [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: [http://www.vukitrade.sk/content/download/Brochure%20coils%20RR\\_2009%20CZ.pdf](http://www.vukitrade.sk/content/download/Brochure%20coils%20RR_2009%20CZ.pdf)
- [11] JANČÁŘ, Josef.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů..* Brno: Vysoké učení technické, 2003
- [12] Havel Composites [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com>
- [13] Prefa Kompozity a.s. [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.prefa-kompozity.cz/technologie-vyroby/>
- [14] ČSVE [online]. [cit. 2017-05-17]. dostupné z: <http://www.csve.cz/en/clanky/vyroba-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/315#prettyPhoto>
- [15] Knot, Tomáš.: *CNC obrábění a technologie přípravy tvarově složitých sendvičových jader*. Zlín, 2012. Bakalářská práce. Dostupné z < <http://docplayer.cz/14044166-Cnc-obrabeni-a-technologie-pripravy-tvarove->



- slozitych-sendvicovych-jader-tomas-knot.html>
- [16] VÚHŽ a.s. [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.vuhz.cz/pages/cs/zamereni-firmy/s1/odstredive-odlitky/moznosti-strojního-opracování.php>
- [17] Technofiber s.r.o [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.technofiber.cz/index.html>
- [18] Sandvik coromant [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/aboutus/lookingahead/articles/Pages/Cars-on-the-scales.aspx>
- [19] BASF, s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.basf.com/cz/cz/company/research/our-focus/lightweight-composites.html>>
- [20] HORČÍK, Jan. *Nové Audi A7: odpružení ze skleněných vláken místo oceli* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-audi-a7-odpruzeni-ze-sklenenych-vlaken-misto-oceli>
- [21] FOKT, Michal. Volkswagen připravuje karbonovou střechu pro ostré Golfy [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/volkswagen-pripravuje-karbonovou-strechu-ostre-golfy-74492>
- [22] 5M [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.5m.cz/>
- [23] Cogebi, a.s. [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.cogebi.com/>