

**ODBORNÁ ZPRÁVA  
O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÍCH  
ZA ROK 2017**

Číslo projektu: TJ01000292

Název projektu: Pokročilé hybridní pásy pro výrobu kompozit  
přesným vinutím

Předkládá: Ing. Mohanapriya Venkataraman, Ph.D.

Název organizace: Technická univerzita v Liberci

Jméno řešitele: Ing. Mohanapriya Venkataraman, Ph.D.

## Poloprovozní zařízení pro přípravu hybridních pásek

Příprava předimpregnovaných pásek (prepregu) bude probíhat na poloprovozním zařízení, které bylo sestrojeno v rámci projektu DELTA firmou Večerník s.r.o. Zatím se jedná spíše o model poloprovozního zařízení, které ovšem splnilo svůj účel, kterým byla produkce reprodukovatelného prepregu ze skelného rovingu v podobě tenké nekonečné pásky. Zařízení bude v rámci projektu ZETA modifikováno do plně automatizované podoby. V současné době probíhá vývoj pohonné jednotky, který je prováděn na katedře textilních a jednoúčelových strojů pod vedením prof. Ing. Jaroslava Berana, CSc. Cílem tohoto zařízení je automatické řízení rychlosti počátečního odvíjení rovingu a závěrečné navíjení hotového prepregu. Součástí pohonné jednotky bude také prvek, který bude zajišťovat konstantní napnutí rovingu.

Fotografie současné podoby poloprovozního zařízení pro přípravu prepregu můžeme vidět na obrázku 1. Celková dráha, kterou roving před návínem hotového prepregu urazí, je přibližně 15m.



Obrázek 1

V první části roving prochází systémem hladkých ocelových tyček. V této části je snaha mechanickou cestou od sebe rozdružit jednotlivá vlákna a tahem vyvíjeným na roving tak zajistit konstantní vypnutí jednotlivých vláken. U průmyslových skelných rovingů je zásadní problém v tom, že díky velmi vysokým rychlostem při samotné výrobě a následnému rozmítání vláken při křížovém navíjení dochází ke vzniku nerovnoměrného vypnutí jednotlivých vláken. Připravíme-li z takového rovingu kompozitní materiál, tak nemůžeme dosáhnout optimálních mechanických vlastností. Důvodem je to, že při zatížení takového kompozitu ponese zátěž pouze to procento vláken, které bylo při přípravě

prepregu zcela vypnuté. V současné době je pro přípravu prepregu používán skelný roving s označením StarRow PR 220 1200 086 vyráběný slovenskou firmou Johns Manville. Tento roving je díky použitému sizingu, který je podle výrobce formulován ze směsi akrylátových polymerů a epoxysilanu, vhodný pro epoxidové matrice. V ČR vyrábí skelné rovingy firma Saint-Goban, nicméně tyto rovingy jsou pro epoxidové matrice nevhodné z důvodu sdužování vláken škrobovým sizingem. V tomto ohledu byla s českým výrobcem konzultována možnost modifikace sizingu, který by byl kompatibilní s epoxidovou matricí, ale zároveň by nezpůsobil spojení vláken mezi sebou, tzn. byla by možnost dosáhnout homogenního vypnutí jednotlivých vláken a zajistit tak jejich dokonale paralelní uspořádání, které by zajistilo alespoň přiblížení se teoretické hodnotě pevnosti skelných vláken. To bude v roce 2018 jeden z cílů, který bude mít velký vliv na zlepšení mechanických vlastností kompozitů vytvořených z těchto prepregů.

Pro zajištění dostatečného obsahu epoxidové matrice jsou v lince použity tři nanášecí stanice epoxidové disperze s katalyzátorem a za každou z těchto stanic je impregnovaný roving sušen za zvýšené teploty. Z hlediska prosycení vláknenné struktury je nejdůležitější první nános, další nánosy jsou zde hlavně z toho důvodu, aby při tvorbě vrstveného kompozitu došlo k dobrému propojení jednotlivých vrstev mezi sebou. Po posledním nánosu epoxidové disperze s katalyzátorem dochází ke křížovému navíjení na papírovou rolku, které je v současné době prováděno ručně a čeká se na dokončení vývoje pohonné jednotky.

### **Rešerše k tématu hybridní příze, její struktura a technologie výroby**

Ing. Mohanapriya Venkataraman, Ph.D., Ing. Alžbeta Samková, Ing. Jana Novotná, Ing. Karolína Voleská, Ing. Pavel Srb, Ing. Roman Pulíček, Ing. Vijaykumar Narayandas Baheti, Ph.D., mentor – prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

#### **1 Všeobecný přehled**

Poptávka po nízkohmotnostních řešeních neustále stoupá napříč mnoha obory. Kompozitní materiály mohou být ideálním řešením. Díky dané orientaci vláken mohou být kompozitní díly navrženy na konkrétní zatěžovací stavy při současné snížení hmotnosti. Kromě toho mohou být termoplastické vláknové kompozity opětovně zpracovány, recyklovány a opraveny. Jako matrice pro kompozitní aplikace lze použít různé polymery. Výběr konkrétního typu kompozitu je dán zejména nákladovou efektivitou, chemickými a mechanickými vlastnostmi. Pro výrobu termoplastických vláknenných kompozitních dílů mohou být využity různé procesy jako ruční kladení, tváření lisováním, automatické pokládání pásek, navíjení pásek atd. [1].

##### 1.1 Druhy vláken

V současné době je k dispozici mnoho druhů výztužných vláken jako skelná, aramidová, uhlíková, keramická, kovová atd. Výztužná vlákna jsou obvykle ve formě rovingů či pásků.

##### 1.2 Hybridní příze

Hybridní příze skládající se z výstužných vláken a matrice jsou jediným druhem polotovaru, pomocí něhož mohou být konstruované kompozitní díly s kontinuálními vlákny [2,3]. Vlastnosti kompozitu

jsou ovlivněny zejména skladbou vyztužujících vláken a homogenitou rozdělení vláken v kompozitu, jakož i impregnační vláken s polymerní matricí. Kompozitní díly z hybridních přízí jsou obvykle vyráběny ručním kladením [4], navíjením [5,6] nebo pultruzí [7].

### 1.3 Technologie Kemafil

"Kemafil" je technologie výroby textilií válcovitého tvaru sestávajících z jádra a pláště. Mechanickým propletením nití do pletené struktury se vyrábějí lineární textilie (šňůrky, nitě, lana). Kemafilové stroje jsou kruhové pletací stroje pracující s podavači, uspořádanými kolem vodící trubky a vytvářejícími trubkovité pletené struktury, které mohou pokrývat jakýkoli typ jádrové příze.

### 1.4 Technologie lisování

Kompozity skládající se např. z jednosměrných laminátů. Spojení jednotlivých vrstev vláken (tkanin) a matrice je zajištěno pomocí tlaku a tepla ve vhodných formách [6].

## 2 Vysoce výkonné textilní kompozity

Kompozity sestávající z plnidel ve formě anorganických nebo organických vláken nebo prášků s relativně vysokou pevností a modulu uložených nebo spojených s matricí s odlišným rozhraním mezi nimi. Matrice i plnidlo si zachovávají svou fyzikální a chemickou identitu a vytvářejí kombinaci vlastností, které nemohou být dosaženy, kdyby každá složka působila samostatně. V posledních letech je používání výkonných vláken v kompozitech stále významnější. Textilní průmysl má potřebnou technologii pro tkaní vysoce výkonných multifilamentních vláken, jako je sklo, aramid a uhlík, které poskytují vysokou pevnost v tahu, modul a odolnost vůči chemikáliím a teplu. V závislosti na metodě tvorby kompozitního polotovaru se liší objemové množství a orientace vláken, což následně ovlivňuje infiltraci matrice a konsolidaci. Z těchto důvodů jsou kompozitní polotovary považovány za důležitou oblast při výrobě kompozitních dílů.

## 3 Druhy kompozitních polotovarů

### 3.1 Tkané polotovary

Vývoj v oboru kompozitních polotovarů vedl k výrobě polotovarů s různě orientovanými vlákny, tkanými, pletenými, opletenými. Tkaní se v kompozitním průmyslu značně využívá, v závislosti na požadovaném produktu lze použít různé vazby tkanin (plátno, kepr).

### 3.2 Pletené polotovary

Ploché pletené a tvarově pletené výrobky ukazují schopnost pletacího procesu vyrábět složité tvarové komponenty. Struktura nitě v polotovaru je může být zakřivená a prokládání příze umožňuje velmi elastickou a flexibilní strukturu. To je výhoda, pokud jsou vyžadovány komponenty složitě tvaru bez zvlnění.

### 3.3 Splétané textilní preformy

Splétáním textilních materiálů rozumíme vzájemné provlékání několika nití (pásků, rovingů) jehož výsledkem je 2D nebo 3D textilie (pletenec). Technika splétání může být použita v kombinaci se skelnými, aramidovými, uhlíkovými, keramickými či kovovými vlákny. Porovnáme-li kompozity vyztužené preformou z netkané nebo splétané textilie, tak u kompozitu ze splétané textilie dosáhneme

vyšší odolnosti proti průrazu. Průmyslově se v současné době používají hlavně 2D pletence. Výroba 3D pletenců je nákladná a stále se nachází ve fázi výzkumu a vývoje.

### 3.4 Rohože

Rohoží rozumíme plošnou textilní preformu používanou jako výztuž kompozitního materiálu. Příprava rohoží probíhá tak, že je laminátový prepreg nebo vrstvená textilie prošita přízí o vysoké pevnosti. Nejčastěji se používá Kevlar, dále lze použít např. příze z uhlíku, skla nebo polyesteru. Prošitím získáme preformu, která drží svůj tvar a snadno se s ní manipuluje. Nevýhodou je poškození způsobené prošitím, které negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti kompozitu.

### 3.5 Netkané textilie

Netkaná textilie je útvar textilních vláken, přízí či filamentů, které jsou vzájemně propojeny. K propojení dochází chemicky, tepelně nebo mechanicky, popř. kombinací těchto cest. Netkané textilie mají obecně nízkou hustotu pro použití v oblasti konstrukčních kompozitů, nicméně kompozity z netkaných textilií nacházejí použití např. v automobilovém či lodním průmyslu.

### 3.6 Charakterizace textilních preforem

Mezi nejdůležitější vlastnosti textilních preforem určených pro výrobu kompozitního materiálu patří vysoká pružnost, stabilita, tvarovatelnost a vysoká axiální tuhost. V průběhu výroby kompozitu jsou textilní preformy vystaveny velké řadě deformací. Tyto deformace je nutné zvážit při navrhování textilní preformy, aby u ní byla zajištěna dostatečná odolnost vláken vůči mechanickým deformacím, jako je např. prodloužení, ohyb, smyk.

#### 3.6.1 Lamináty

Kompozitní materiály jsou složeny ze spolu nemísitelných materiálů za účelem dosáhnout specifické vlastnosti. Výsledné vlastnosti kompozitu jsou synergií vlastností materiálů, ze kterých je kompozit vytvořen. Kompozit je zpravidla anizotropní materiál, protože hlavním nositelem zátěže jsou vlákna, která jsou zpravidla uspořádána paralelně nebo kolmo na sebe. Výsledný kompozit bude vykazovat vysokou pevnost a tuhost pouze ve směru vláken. U výrobků z vlákných kompozitů je pro zajištění dobrých mechanických vlastností nutné zajistit takovou orientaci vláken, která se bude blížit k izotropnímu materiálu. Matrice slouží k propojení jednotlivých vláken, k zachování jejich orientace a optimálnímu přenesení zátěže na vlákna. Dále také zajišťuje odolnost životnímu prostředí a určuje tepelnou odolnost kompozitu.

#### 3.6.2 Druhy vláken

Většina vláken je dostupných v neupravené podobě a před použitím je zapotřebí je impregnovat požadovanou pryskyřicí. Na druhé straně jsou dostupné prepregy, které již pryskyřici obsahují a není nutné ji dodatečně přidávat.

#### 3.6.3 Roving

Roving je svazek nekonečných paralelně uspořádaných textilních vláken. Průmyslově se rovingy vyrábí hlavně ze skla, aramidu, uhlíku a čediče. Rovingy jsou charakterizovány počtem filamentů v tisících, přičemž roving obsahující 1000 filamentů označujeme jako 1K.

T A

Č R

### 3.6.4 Pásy

Prepregy ve formě pásy obsahují vlákna pouze v jednom směru a již mnoho let se využívají v leteckém průmyslu. Vlákna jsou zpravidla impregnována termosetovou pryskyřicí, která je na vlákna přidávána v roztavené podobě pomocí tlaku.

### 3.6.5 Textilie

Textilie nabízejí větší flexibilitu při přípravě komplexních tvarů v porovnání s pásy.

## 3.3 Typy vláken

### 3.3.1 Skleněná vlákna

Sklolaminát se často používá jako sekundární konstrukce letadel (krovy, špičky křídel) V leteckém průmyslu se používá převážně E-sklo pro elektrické aplikace, S-sklo a S2-sklo se aplikují tam, kde je třeba vyšší pevnosti. Výhodou sklolaminátu jsou nižší náklady oproti jiným kompozitům, elektrické vlastnosti a odolnost proti korozi. [27]

### 3.3.2 Kevlar

Aramidová vlákna jsou lehká silná a tvrdá. V leteckém průmyslu se využívají dva typy těchto vláken. Kevlar 49, který má vysokou tuhost a Kevlar 29, který má naopak nízkou tuhost. Jejich výhodou, která určuje z velké části i oblast jejich použití je vysoká odolnost proti poškození nárazem. Mezi nevýhody patří slabost v tlaku a UV nestabilita. Kevlar je těžké řezat a vrtat. [27]

### 3.3.3 Uhlík/Grafit

Ačkoli se tyto dva názvy v použití velmi často zaměňují je mezi nimi rozdíl. Obě dvě vlákna jsou založena na grafénových vrstvách, které jsou přítomny v uhlíku. Pokud jsou tyto vrstvy nebo roviny uspořádány trojrozměrně jedná se o grafit. Pokud jsou tyto vrstvy pouze dvourozměrné je materiál definován jako uhlík. Uhlíková vlákna se využívají pro konstrukci letadel. Velkou výhodou je jejich vysoká pevnost a odolnost proti korozi. Mezi nevýhody patří vysoká cena. [27]

### 3.3.4 Bór

Tyto vlákna jsou velmi tuhá a mají vysokou pevnost v tahu a tlaku. U kompozitů se velmi často používají s epoxidovou matricí. Nevýhodou je jejich malá ohýbatelnost a vysoká cena. Velmi často se používají ve vojenských leteckých aplikacích.

### 3.3.5 Keramická vlákna

Keramická vlákna lze používat při teplotách nad 2200 °F, díky čemuž se používají především pro vysokoteplotní aplikace.

## 3.4 Matricové materiály

Při výrobě kompozitních materiálů lze použít různé druhy matricového materiálu. Tento materiál se dělí do několika kategorií:

- Termosetové pryskyřice
- Polyesterové pryskyřice
- Vinyl esterové pryskyřice
- Phenolové pryskyřice
- Epoxidy

Polyimidy  
Polybenzimidazoly (MBI)  
Bismaleimidy (BMI)

### 3.5 Termoplastické pryskyřice

Termoplastické materiály mohou být opakovaně změkčovány zvýšením teploty a vytvrzovány poklesem teploty. Hlavní výhodou termoplastických materiálů je rychlost zpracování. K chemickému vytvrzování materiálu nedochází během zpracování a materiál může být tvarován tvářením nebo vytlačováním v měkkém stavu. Termoplastické pryskyřice se dále dělí na: Semikrystalické termoplasty  
Amorfní termoplasty  
Polyetherketon (PEEK)

### 3.6 Vytvrzování pryskyřic

K vytvrzení termosetové pryskyřice se využívá chemické reakce. Vytvrzování se dělí do třech kategorií (A, B, C).

- Stupeň A: Došlo ke smíchání základního materiálu a tvrdidla, ovšem chemická reakce ještě nezačala. Pryskyřice je ve fázi A během procesu nanášení.
- Stupeň B: Složky pryskyřice se smíchaly a začala chem. reakce. Materiál ztuhl a je lepidlý. Pro zabránění dalšího vytvrzování se pryskyřice umístí do mrazáku (0 °F). V zmrazeném stavu zůstává pryskyřice předimpregnovaného materiálu ve stupni B.
- Stupeň C: Pryskyřice je zcela vytvrzena. Podle typu pryskyřice se volí teplota, při které dochází k jejímu vytvrzení.

#### 3.6.1 Předimpregnované výrobky (prepregy)

Předimpregnovaný materiál se skládá z kombinace matrice a vláknové výztuže. Je k dispozici v jednosměrné formě (jeden směr výztuže) nebo ve formě tkaniny (dvě směry výztuže). Pryskyřice již není v nízké viskózní stupni, ale postupovala do stupně vytvrzování stupně B pro lepší manipulační vlastnosti. K vytvrzování dochází v autoklávu či peci pomocí zvýšené teploty. Prepregy bývají uloženy na roli v uzavřeném plastovém sáčku, aby se zabránilo kontaminaci vlhkostí. [27]

#### 3.6.2 Suchý vláknový materiál

Hlavní výhodou spočívá v tom, že vlákna či tkaniny mohou být dlouhodobě skladovány při pokojové teplotě. Nevýhodou je, že výrobní proces je špinavý a výztužné vlastnosti jsou menší než vlastnosti předimpregnovaných materiálů. [27]

#### 3.6.3 Tixotropní činnidla

Tixotropní činnidla jsou v klidu ve formě gelu, ale při ohřátí se stávají tekutinami. Tyto materiály mají vysokou statickou pevnost ve smyku a nízkou dynamickou smykovou pevnost a současně ztrácejí viskozitu při namáhání. [27]

### 3.7 Lepidla

Konstrukční lepidla pro kosmické aplikace jsou zpravidla dodávány jako tenké filmy nesené na uvolňovacím papíru a skladovány za chladných podmínek (-18 ° C nebo 0 ° F). Fóliové materiály jsou často podepřeny vlákny, které slouží ke zlepšení manipulace s fóliemi před vytvrzením, ke kontrole lepidla v průběhu lepení.

Jako alternativa k lepidlu se používají lepicí pasty. Ty se často používají na opravy na poškozené části a také se používají v místech, kde je obtížné použít fóliové lepidlo. Výhody pastových lepidel spočívají v tom, že mohou být skladovány při pokojové teplotě a mají dlouhou trvanlivost

Pěnová lepidla se nejčastěji využívají v tloušťkách 0,025 palce až 0,10 palce. Během vytvrzovacího cyklu se pěnová lepidla rozšiřují. Pěnové lepidla musí být skladována v mrazáku a mají pouze omezenou dobu skladování. [27]

### 3.8 Způsob výroby kompozitů

Kompozitní způsob výroby lze obecně rozdělit na dva hlavní procesy, a to otevřené a uzavřené tváření. Při otevřené formě je horní vrstva laminátů a matrice vystavena atmosféře, což vede k nekontrolovanému stavu povrchu [6]. Výběr způsobu výroby závisí na několika faktorech, jako je materiál, systém pryskyřice, složitost dílů a aplikace.

### 3.9 Proces výroby

Výrobní proces je rozdělen do čtyř etap: příprava, start, proces a postproces. Postup spuštění spočívá v podávání pásky (alespoň do mezery), připevnění příchozího pásku na trn, spuštění programu navíjení a použití lisovací síly. Během procesu dodává cívka kompozitní materiál. Ten se zahřeje v předehřívacím kanálu. Příchozí páska je zhučněna kompaktním válečkem na štěrbině. Základním principem procesu je slepit (svařit) příchozí pásku na podklad. Kompozitní materiál je třeba zahřát, aby se umožnil proces lepení. Proces se ukončí, když se na plánovaných místech položí požadované množství kompozitního materiálu. [1]

#### 3.9.1 Páska

Pásky jsou tvořeny vláknitým materiálem a termoplastickou maticí. Výhody pásky spočívají v tom, že vlákna jsou předem impregnována a matice předběžně konsolidována. Nevýhodou pásky je, že jsou drahé. Využití více obvyklých předlisků (svazků a přízí) však umožňuje snížit náklady na materiál.

#### 3.9.2 Spoj/nip

Nip je místo, kde příchozí páska přichází do styku s nosičem nebo s podkladem. Ve dvourozměrné analýze je to bod. Při trojrozměrné analýze určuje tvar nosiče jeho tvar. Může to být čára nebo křivka [1].

## 4 Budoucnost kompozitní výrobní technologie

Významný nový průlom v technologii výroby kompozitů se pravděpodobně v dohledné budoucnosti neobjeví. S největší pravděpodobností bude existovat řada vylepšení stávajících výrobních technologií. Aby kompozity mohly být konkurenceschopné vůči kovům, musí se snížit náklady ve třech oblastech: neočekávané náklady, opakované náklady a přímé provozní náklady (DOC) (např. trvanlivost, udržovatelnost, spolehlivost a opravitelnost). Očekává se, že DOC se stane mnohem větším problémem, jelikož mnoho letadel s kompozitními součástmi dosluhuje. Snížení výrobních nákladů dosažené vylepšenou technologií ztratí svou hodnotu, pokud bude kompenzováno nárůstem neočekávaných nákladů a DOC. Analýzy nákladů životního cyklu by se měly provádět společně s tradičními studiemi kompenzace hmotnosti a pevnosti a tuhosti a nákladů. Některé z vývojových trendů v oblasti výrobních technologií, které se očekávají v dohledné budoucnosti, jsou popsány níže.



## 4.1 Sešívání/RTM

Tato metoda není cenově výhodná pro tenké části malého až středního rozměru, aby tato metoda plně využila, díly musí být tlusté a velké. Aby byla tato technologie začleněna do konstrukce křídla, musí být vyvinuto vhodné automatické prošívací stroje. Toto zařízení musí mít schopnost zpracovávat různé tloušťky materiálu, které se pohybují od méně než 1/4 "do více než 1" a s mnoha různými výztuhami. Současně je třeba vyvinout nový nákladově efektivní systém pryskyřice speciálně pro aplikaci RTM. Spolu s technologií výroby stitched / RTM musí být vyřešeny další problémy (např. Metoda oprav, certifikace a spoje).

## 4.2 Navíjení vláken

Jedná se o tradiční výrobní techniku, která existuje již dlouhou dobu. Kombinace robotického a tradičního vinutí (se sedmi až osmiosými) systémy je již běžně k dispozici. Pokud bude tento systém zdokonalen, bude schopen vytvářet komplexní tvary, jako jsou T a loketní tvary. Jedním z nejdůležitějších požadavků na úspěšnou realizaci této metody je řízení napětí rozvíjecího vlákna během procesů navíjení. Tento kritický problém může být rychle vyřešen pomocí výkonných počítačů.

## 4.3 Pultruze

Pultruze není tak populární jako kovové výlisky. Kovové výlisky jsou připevněny k jiným konstrukčním prvkům, jako jsou kůže a pásy, stovkami a tisíci upevňovacích prvků a nýtů. Tato metoda montáže není přijatelná pro kompozity, kde silným trendem je odstranění spojovacích prostředků. V důsledku toho, aby se pultruze stala přijatelnou a oblíbenou technologií výroby kompozitů, musí být možné pultrudově složitě víceúrovňové průřezy, jako jsou J-vyztužené panely a konstantní průřezy profilu. Očekává se, že v této dekádě bude k dispozici nová technika pro výrobu kuželovitých profilů s proměnnou tloušťkou a dokonce proměnnými tvary; v tomto směru již v posledních několika letech došlo k významnému pokroku. Dalším novým vývojem je zakřivená pultruze. Předtvarová a pletená pultruze jsou variace pultruzí pro speciální aplikace. V těchto oblastech lze očekávat nový vývoj.

## 4.4 Kontinuální panelové díly

Tato metoda se již používá ve výrobě. Nicméně je omezena na výrobu plochých konstantních sendvičových panelů. Budoucí vylepšení zvýší rychlost výroby a kvality. Podlahové panely a přepážky jsou hlavní využití plochých sendvičových panelů. Proto není zapotřebí technologie, která vytváří spojitý sendvičový panel složitých tvarů a proměnlivou tloušťku.

## 4.5 3-D tkaní

Výhody 3-D tkaní jsou všeobecně známy, ale náklady jsou vysoké. Několik automatizovaných a poloautomatických systémů bylo vytvořeno nebo je ve vývoji s cílem snížit náklady. Ačkoli 3-D tkaní je stále ještě v plenkách, má potenciál nahradit drahé titanové kování, závěsy, lopatky motoru atd.

## 4.6 Mechatronika

Poloautomatická metoda využívající mechatroniku může být životaschopnou volbou pro výrobu letadel. V současné době není mechatronika plně vyvinutá výrobní technologie, ale její vývoj by měl být sledován s velkým zájmem.

## 4.7 Automatická navíjecí sestava

Významný pokrok byl zaznamenán v technologii ATL. Jak rychlost, tak přesnost se v porovnání s časnými ATL výrazně zvýšily. Pokroky v oblasti výpočetní techniky (hardwaru a softwaru) ovlivnily ATL. Spolu s vylepšením rychlosti a přesnosti se zvýšila i schopnost velikosti rozložení. Ačkoli se v technologii ATL neočekává nový průlom, vylepšení bude postupné, ale nepřetržité.

#### 4.8 Automatické řezání

Tato technologie zaznamenala v posledních letech výrazný pokrok. Pro stroj APC se používají tři různé způsoby řezání: mechanické, laserové a vodní. Každý má své vlastní výhody a nevýhody. V technologii APC se neočekávají žádné nové průlomy.

#### 4.9 Umístění válečků

Umístění válečků je relativně nové a v posledních letech získalo značnou pozornost. Kombinuje výhody ATL a vinutí vlákna. Umístění koulí může vyrábět složité konstrukce bez omezení na úhel vlákna. Má potenciál výrazně snížit výrobní náklady. V rámci programů leteckých sil MANTECH a NASA ACT se tato technologie osvědčila. Mezi budoucí vývoj patří optimalizované řídicí systémy, zpětná vazba polohy hlavy a průběžná kontrola pro rychlou, přesnou a vysoce kvalitní výrobu dílů.

#### 4.9 Co-vytvrzování Technology

Výhody technologie ko-vytvrzování jsou četné, ale složité nástroje, vysoké riziko a obtížnost jejich přizpůsobení vysokým výrobním poměrům brání širokému použití. Neustálé zlepšování předimpregnovaných materiálů, koncepcí nástrojů, rychlého obratu a konzistence kvality může vést k odstranění těchto překážek.

#### 4.10 Tváření, lisování, vstřikování, válcování

Tyto metody výroby mají velký potenciál pro aplikace s velkým objemem výroby, zejména v kombinaci s použitím termoplastů. Použití je omezeno na malé až střední části. Sportovní zboží a průmyslové výrobky budou těžit z této skupiny technologií.

#### 4.11 Technologie oprav

Oprávkářská technologie získává větší pozornost. Provozovatelé letadel zjišťují, že kompozity vykazují lepší servisní výsledky než kovy, a to především díky lepší odolnosti proti únavě a korozi. Současně však kompozity jsou náchylnější k poškození nárazem, což zvyšuje význam opravy. Technologie stávající opravy není uspokojivá a jsou zapotřebí zlepšení.

Důležitou roli náklady, kvalita a zpracovatelnost.

### 5 Technologie materiálů

Před několika lety bylo nejoblíbenějším tématem technologie materiálů "tvrdé pryskyřice", následované "termoplasty". Dnešní populární materiály jsou "šité předlisky", "vlečení a" tkaný textil. " Na rozdíl od původního přesvědčení, že termoplasty výrazně snižují výrobní náklady a čas, je nyní zjištěno, že termoplastické součásti stojí víc a jsou obtížně vyráběné. Někteří dodavatelé materiálů ve skutečnosti zvažují přerušení výroby termoplastů. Je ještě brzy předvídat, zda se do konce tohoto desetiletí nahradí předimpregnované polotovary, umístění tažného zařízení a textil. Další tři roky budou klíčové pro to, aby se tyto takzvané nové pokročilé materiální systémy staly dominantními. Vše závisí na tom, jak dobře mohou být tyto nové materiály přizpůsobeny výrobnímu režimu, kde hrají důležitou roli náklady, kvalita a zpracovatelnost.

Provozní teploty vysokorychlostní civilní dopravy budou od 250 ° F do 450 ° F, v závislosti na umístění konstrukce uvnitř letadla. Pouze epoxidové systémy nemohou tento teplotní rozsah zvládnout. Závod pro nový materiálový systém již začal a je ještě příliš brzy předpovědět, co se stane na silně konkurenčním trhu. Kandidátovými materiály jsou polyimidy, bismaleimidy, kovová matrice, keramická matrice atd. [1].

T A

Č R

Mezi několika výrobními postupy, které byly v minulosti zkoumány v kompozitních laboratořích, je velmi slibná automatizovaná vinutá páska s on-line lepením. Ve srovnání s ostatními technikami má velký potenciál z hlediska ekonomické přitažlivosti a realizace návrhových řešení na míru v hotových částech. Díky vysoké úrovni automatizace je pracovní práce velmi omezená, přesnost orientace vlákna je vysoká a reprodukovatelnost a bezpečnost během procesu jsou vylepšeny. Proces automatického navíjení pásky je velmi slibný, ale také velmi náročný. Pokud nejsou parametry procesu přizpůsobeny změnám v podmínkách procesu, ovlivní se kvalita laminátu nebo dílů. Pro výrobu lehkých výrobků musí být kvalita laminátu maximalizována. Pro proces automatického navíjení pásky je intralaminární kvalita závislá především na kvalitě vstupní pásky. Proto jsou hlavními citlivými vlastnostmi v závislosti na procesu interlaminární vlastnosti vazby. To znamená, že vlastnosti mezilaminové vazby musí být optimalizovány pro celý laminát s vhodnými přechodnými podmínkami procesu.

Rozsah použití technologické techniky souvisí se složitostí částí, které lze vyrobit. Během umístění pásky na složitých dílech a / nebo geometriích se forma matrice rychle mění. Aby páska byla správně spojena s podkladem, musí zhutňovací systém ( $y$ ) stisknout pásku na celé její šířce pro všechny geometrie štěrbin [1]. Použití kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny rostlo exponenciálně v posledních několika desetiletích. Nabízejí vynikající mechanické vlastnosti v kombinaci s nízkou hustotou, což je ideální řešení pro mnoho lehkých aplikací. Často však trpí nedostatkem houževnatosti. Na rozdíl od kompozitů z uhlíkových vláken mají samozesilněné (nebo polymerní) kompozity vynikající houževnatost, ale relativně nízkou tuhost a pevnost. Jsou složeny z orientovaného polymerního vlákna nebo pásky v matrici vyrobené ze stejného polymeru. Cílem předloženého prototypu je prolomit typické dilema tuhosti a houževnatosti hybridizací uhlíkových vláken s polypropylenem (SRPP), aby byl navržen materiál, který má určitou optimální kombinaci tuhosti a houževnatosti [30].

Zvyšování globálního povědomí o environmentální udržitelnosti vedlo k četnému vývoji obnovitelných materiálů, jako jsou přírodní vlákna, při výrobě kompozitních dílů. Hybridní kompozit, který je kombinací dvou nebo více materiálů ve společné matrici, byl zaveden, jelikož kompozity z přírodních vláken nemají dostatečnou pevnost k nahrazení běžných syntetických vláken. Hybridní kompozity mohou doplnit to, co chybí v jednom materiálu, což má za následek rovnováhu mezi výkonem a cenou prostřednictvím vhodné konstrukce materiálu [3]. Mechanické vlastnosti kompozitů vyztužených přírodními vlákny (NFRC), jako je tuhost, pevnost a odolnost proti vlhkosti, jsou také výrazně vylepšeny použitím silnějších a odolnějších proti korozi syntetických vláken, jako je sklo nebo uhlíkové vlákno. Studie M. Ramesh a kol. [31] ukázala, že hybridizace skleněných vláken do sisalových / jutových vyztužených epoxidových kompozitů vykazuje dobrou pevnost v tahu 68,55 MPa. Další studie od M. Thwe a kol. [32] ukázala, že začlenění skleněných vláken 20% s bambusovým vláknem zvýšilo modul pružnosti ohybu a ohybu o 12,5% a o 10%. Sanjay a kol. [33] zkoumal chování při hořlavosti a degradaci hybridních kompozitů na bázi PP / banánů a skleněných vláken a zjistil, že hybridizace se sklem zlepšuje charakteristiku zpomalení hoření. T. Subash et al. [34] se diskutoval o hybridních kompozitech vyztužených lýkovými vlákny pro aplikace letadel ve vnitřních konstrukcích. Tyto materiály poskytují výhody při výrobě karosářských panelů, jako jsou polštáře sedadel, obložení kabin, police a mnoho dalších. Přírodní vlákna, jako juta, kenaf, bambus, kokosové vlákno, sisal, prokázaly, že tyto materiály mají větší sílu v leteckém a automobilovém průmyslu. Tyto kompozity vykazují nižší hustotu ve srovnání s kovovými kompozity a mají vyšší potenciál vyrobit lehké

udržitelné dokončené součásti, které mohou snížit obrovské množství spotřeby energie v průmyslu. Existují různé způsoby výroby, které jsou použitelné pro výrobu kompozitů z bio materiálů.

Hybridizace SRPP s uhlíkovými vlákny vyústila v novou třídu hybridních kompozitů s jedinečnou kombinací tuhosti, pevnosti, konečné deformace porušení a odolnosti proti nárazu. Klíčem k našemu prototypu je vyvinout vhodné strategie pro udržení houževnatosti SRPP v okamžiku, kdy uhlíková vlákna selhávají. Klíčovým parametrem pro dosažení tohoto cíle je spojení obou složek. Pro silnou vazbu může energie uvolněná při selhání uhlíkových vláken způsobit poškození frakce SRPP, což způsobí pokles konečného napětí porušení a tím i houževnatosti. Při slabém spojení může hybridní kompozit okamžitě delaminovat po celé délce. Klíčem je tedy nalezení optimální úrovně lepení, čímž se kontroluje vývoj poškození při současném zajištění dobré tuhosti a pevnosti. Druhý klíčový parametr se vztahuje k distribuci vláken v hybridních kompozitech. Karbonová vlákna by měla být rozdělena do hybridních kompozitů namísto seskupení do tlustých vrstev. Jsou navrženy tři strategie: tenké vrstvy (hladina vrstvy), vyrovnávání hladiny (intralayer level) a vzájemné smíchání (úroveň vláken).

Konečným parametrem je frakce objemu vláken uhlíkových vláken. Při vysokých frakcích může energie uvolněná uhlíkovými vlákny poškodit SRPP. Při optimální frakci však může být udržována tažnost a rázová odolnost SRPP, přičemž se stále dosáhne podstatného zvýšení tuhosti a pevnosti nad čistým SRPP. Vyvinuté hybridní SRC mají jedinečnou kombinaci tuhosti, pevnosti a houževnatosti. Vzhledem k tomu, že hybridní SRC mohou být tepelně tvarovány, mohou být jejich výrobky z nich vyráběny ve velkých objemech. Tento materiál má proto značný potenciál pro použití v automobilovém průmyslu [30].

## 6 Reference

- [1] Yves Marcel Pierre Toso.: *Effective automated tape winding process with on-line bonding under transient thermal conditions*, Z., 2003, Swiss Federal Institute Of Technology, IMES, Center of Structure Technologies. .
- [2] Fujita, A., Maekawa, Z., Hamada, H. Matsuda, M., Matsuo, T.: *Mechanical Behavior and Fracture Mechanism of Thermoplastic composites with Commingled Yarn*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 12, 1993, pp. 156-172.
- [3] Mader, E., Bunzel, U. and Mally, A., *Technische Textilien*, 1995, 38, 205-208. and M.G. 3. Bader, in *Handbook of Composites*, vol. 4, ed. A. Kelly and S.T. Mileiko. Elsevier, New York, 1983.
- [4] Bader, M.G., in *Handbook of Composites*, vol. 4, ed. A. Kelly and S.T. Mileiko. Elsevier, New York, 1983.
- [5] Hauptert, F., Friedrich, K.: *Thermoplastic Filament Winding Using Powder Impregnated Yarns*, Advanced Composite Letters, Vol.2, pp.14-17, 1993.
- [6] Lauke, B., Friedrich, K.: *Evaluation of Processing Parameters of Thermoplastic Composites Fabricated by Filament Winding*, Composite Manufacturing, Vol.4, No.2, pp. 93–101, 1993.
- [7] Michaeli, W., Jürss, D.: *Thermoplastic pull-braiding: Pultrusion of profiles with braided fibre lay-up and thermoplastic matrix system (PP)*, Composites Part A, Vol. 27A, No.1, pp. 3-7, 1996.

- [8] Vinayak, O., Alagirusamy, R.: *Textile preforms for advanced composites*, Department of Textile Technology, Indian Institute of Technology, New Delhi 110 016, India. Received 25 July 2003; Revised received and accepted 10 October 2003.
- [9] Sondhelm, WS.: in *Handbook of Technical Textiles*, (edited by Anand SC), Woodhead Publications, Cambridge, pp. 62-94, 2000.
- [10] Punj, S., Mukhopadhyay, A., Patnayak, A.: *Textile Asia*, 2002, 33(6), 33–36.
- [11] Mourtiz, A., Banister, MK., Falzon, PJ., Leong KH.: *Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composite*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol.30, No.12, pp.1445-1461, 1999.
- [12] Mouritz, A., Baini, C., Herszberg, I.: *Mode I interlaminar fracture toughness properties of advanced textile fibreglass composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 30, No. 7, pp. 859– 870, 1999.
- [13] Kmaiya R, C.B.A., Popper, P., Chou, TW.: *Some recent advances in the fabrication and design of three-dimensional textile preforms: a review*, Composites Science and Technology, Vol. 60, No. 1, pp. 33-47, 2000.
- [14] Ko, F.K., Kutz, J.: *Multiaxial Warp Knit for Advanced Composites*, In: *Proceedings of the Fourth Annual Conference on Advanced Composites*, ASM International, pp. 367-370, 1988.
- [15] Mood, G., Mahoubian-Jones, MGB.: International Patent WO 9 214 876, 3 (Bonas Machine Co. Ltd), 3 September 1992.
- [16] Greenwood, K., Zhao, L., Porat, I.: *Stress-orientated woven preforms for composites*, Journal of the Textile Institute, Vol. 84, No. 2, 255–266, 1993.
- [17] Hong, H., Filho, AA., Fanguerio, R., Araujo, MD.: *The development of 3D shaped knitted fabrics for technical purposes on a flat knitting machine*, Indian Journal of Fiber and Textile Research, Vol. 19, pp. 189-194, 1994.
- [18] Wilde, D., Zigmann, G.: *Asian Textile Journal*, pp. 95–90, 1997.
- [19] Weimer, C., *Preform-engineering: Applied sewing technologies to incorporate part and process functions into dry textile reinforcements*, Composites Science and Technology, Vol. 63, No. 14, pp. 2089–2098, 2003.
- [20] Sugino, M., Inoue, Y.: US Patent, 4 983 451 (To Kabushiki Kaisha Kobe Seiko Sho), January 1991.
- [21] Chen, B., Chou, TW.: *Compaction of woven fabric preforms: nesting and multilayer deformation*, Composites Science and Technology, Vol. 60, No. 12–13, pp. 2223–2231, 2000. .
- [22] Prodromou, A., Chen, J.: *On the relationship between shear angle and wrinkling of textile composite preforms*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol.28, No.5, pp. 491-503, 1997.
- [23] Long, A., Rudd, CD., Blagdon, M., Smith, P.: *Characterizing the processing and performance of aligned reinforcements during preform manufacture*, Composites A, Vol.27, No.4, pp. 247–253, 1996.

- [24] Wang, J., Page, JR., Paton, R.: *Experimental investigation of the draping properties of reinforcement fabrics*, Composites Science and Technology, Vol.58, No.2, pp.229–237, 1998.
- [25] Page, J., Wang, J.: *Prediction of shear force and an analysis of yarn slippage for a plain-weave carbon fabric in a bias extension state*, Composites Science and Technology, Vol.6, No.7, pp.977–986, 2000.
- [26] Stöven, T., Weyrauch, F., Mitschang, P., Neitzel, M.: *Continuous monitoring of three-dimensional resin flow through a fibre preform*, Composites: Part A, Vol.34, No.6, pp.475–480, 2003.
- [27] [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_airframe\\_handbook/media/ama\\_Ch07.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_Ch07.pdf).
- [28] Zin, M., Razzi, MF., Othman, S., Liew, K., Abdan, K., Mazlan, N.: *A review on the fabrication method of bio-sourced hybrid composites for aerospace and automotive applications*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol.152, No.1, 2016.
- [29] Konrad, K., : *Automated Fiber Placement Systems Overview*, Transactions of the Institute of Aviation, Vol.245, No.4, pp. 52-59, 2016.
- [30] <https://lrd.kuleuven.be/doc/composite-materials-top>.
- [31] Ramesh, M., Palanikumar, K., HemachandraReddy, K.: *Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites*, Composites Part B: Engineering, Vol.48, pp. 1-9, 2013.
- [32] Thwe, M., Liao, K.: *Durability of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites*, Composites Science and Technology, Vol.63, No.3-4, pp.375–87, 2003.
- [33] Sanjay, K., : *Degradation and flammability behavior of PP/ banana and glass fiber-based hybrid composites*, International Journal of plastic Technology, Vol.13, No.1, pp.47–67, 2009.
- [34] Subash, T., Nadaraja Pillai, S.: *Bast fibers reinforced green composites for aircraft indoor structures applications: Review*, National Conference on Recent Trends And Developments In Sustainable Green Technologies, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, No.7, pp. 305-307, 2015.