



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Využití moderních kompozitních materiálů ve sportovním odvětví

Vypracoval: Petr Písačka
Vedoucí práce: Mgr. Pavel Černý

České Budějovice, 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 29. března 2017

Podpis:.....

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá využitím moderních kompozitních materiálů ve sportovním odvětví. Zpracována je jako učební text, který by mohl být využit jako podpůrné nebo doplňkové učivo k předmětu Materiály a technologie I. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, které jsou dále členěny na podkapitoly.

V úvodu první části bakalářské práce je uvedena historie, která objasňuje vývoj kompozitů v průběhu lidské historie. Následuje kapitola základní charakteristiky kompozitů, ve které jsou uvedeny různé definice kompozitu a vysvětlen pojem synergický jev. Následující kapitola pojednává o nejvýznamnějších matricích na bázi plastů, které jsou rozděleny na matrice reaktoplastické a termoplastické. Nedílnou součástí jsou vlastnosti jednotlivých materiálů a jejich využití ve výrobě. Vše je doplněno o názorné obrázky.

Druhá část bakalářské práce je zaměřena na praktické použití ve sportovním odvětví a to ve sportovním letectví, v lyžařství, ve sportovní lukostřelbě, na výrobu hokejových holí, v cyklistice, v kanoistice a ve fotbale. Zde je uvedena výroba, použitelnost, přednosti a nedostatky. V následující kapitole jsou uvedeny cenové relace zmíněného sportovního vybavení s porovnáním konvenčních a kompozitních materiálů.

Součástí druhé části je budoucnost kompozitních materiálů, kde je diskutováno o jejich nynějším a budoucím využití. V rámci budoucnosti kompozitních materiálů se pojednává i o využití přírodních vláken.

Annotation

This bachelor's study pursues the utilizing of modern composite materials in sporting sector. It is processed as an instructional text which could be used as a supportive or supplemental subject matter for materials and technology. The study is divided in two main parts which are further sectioned into subchapters.

In the introduction of the first part of the bachelor's study the development of composites is explained during the human history. Following chapter mentions the basic characteristics of the composites and presents various definitions of the composites and the term of synergic phenomenon is clarified. The next chapter discusses the most important matrices based on the plastic materials which are divided into reactoplastic matrices and the thermoplastic ones. The features of the particular materials and their use in the production are integral part of this study as well as the illustrative pictures.

The second part of this bachelor's work is focused on the practical use in the sporting industry namely in sporting aviation, skiing, archery, bicycling, canoeing, soccer and to manufacture hockey sticks. The production, practicability, advantages and the imperfections are stated here as well. The chapter after that shows the price ranges of the above mentioned sporting equipment in comparison with the conventional and composite materials.

The part of the second chapter is about the future of the composite materials and their current and future utilizing. In connection with the future of the composite materials the use of natural fibers are mentioned too.

Poděkování

Touto formou děkuji svému konzultantovi Mgr. Pavlovi Černému, za trpělivost, ochotu, cenné rady, odborné vedení a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Cíle práce.....	7
3. Historie kompozitních materiálů.....	8
4. Charakteristika kompozitu.....	9
4.1 Definice kompozitního materiálu.....	10
4.2 Dělení kompozitu dle tvaru disperze.....	10
4.3 Dělení kompozitu podle typu disperze.....	11
4.4 Izotropie a anizotropie materiálu	12
5. Nejvýznamnější matrice na bázi polymerů.....	13
5.1 Reaktoplastické matrice	13
5.1.1 Fenoplasty	13
5.1.2 Polyesterová pryskyřice	15
5.1.3 Epoxidová pryskyřice	19
5.2 Termoplastické matrice	22
5.2.1 Polyolefiny.....	22
5.2.2 Vinylové polymery	26
6. Využití kompozitních materiálů.....	31
6.1 Kompozitní materiály ve sportovním letectví.....	31
6.2 Kompozitní materiály v lyžařství.....	32
6.3 Kompozitní materiály ve sportovní lukostřelbě.....	34
6.4 Kompozitní materiály na výrobu hokejových holí.....	36
6.5 Kompozitní materiály v cyklistice	37
6.6 Kompozitní materiály pro kanoistiku.....	40
6.7 Kompozitní materiály ve fotbale.....	42
7. Orientační ceny sportovního vybavení.....	44
8. Budoucnost kompozitních materiálů.....	45
9. Závěr.....	47

1. Úvod

Na úvod této práce je potřeba zmínit, proč se již nevyužívají konvekční materiály v takové míře, jako tomu bylo před objevením kompozitních materiálů. Důvodů je mnoho, a právě že jedním z důvodů je nástup kompozitních materiálů, ve kterých lidé našli právě takový materiál, který jim vyhovuje a splňuje vlastnosti, které požadují. Jedním z dalších důvodů je fakt, že je zapotřebí vylepšovat technické výrobky, které lidé používají ve všedním životě. Některé dnešní velmi využívané materiály, jako je například ocel, hliník, plast a dřevo již nestačí na některé výrobní aplikace, nebo nejsou přímo k dané aplikaci vhodné, a proto se nahrazují kompozitními materiály [1].

Nicméně na druhou stranu konvekční materiály mají ve výrobě pořád své místo. Například o oceli je známo, že je pevná, ale na druhou stranu je její hustota příliš velká a v některých aplikacích je tato hustota nevýhodou. Hliník se od oceli odlišuje především tím, že je jeho hustota a pevnost nižší. Jedním z dalších materiálů je plast, který však neoplývá pevností, avšak některé druhy jsou velmi dobře tvarovatelné a díky nízké hustotě jsou velmi lehké. Posledním zmíněným materiálem je dřevo. Dřevo se odlišuje pružností a všeobecně se považuje za velmi dobrý přírodní materiál, který má výborné mechanické vlastnosti, uvážíme-li jeho nízkou hustotu. Nevýhodou je jeho nízká odolnost proti vnějším vlivům, které snižují jeho životnost, a proto se musí ošetřovat. Ač má dřevo výborné mechanické vlastnosti, moderní materiály dokáží odstranit jeho nedostatky [1].

Obecnou snahou moderních materiálů je, aby vykazovaly dobrý poměr mechanických vlastností a hustoty, popřípadě docílení jiných žádoucích vlastností jako je například pružnost nebo povrchová tvrdost. To znamená přibližovat se k pevnosti oceli a zároveň docílit co nejnižší hustoty, obdobně jako má například hliník případně některé plasty. Příkladem může být právě dřevo, které disponuje dobrým poměrem hustoty a mechanických vlastností. Těchto poměrů je zapotřebí dosáhnout, popřípadě tyto poměry překonat. [1]. Odborněji by se mělo jednat o materiál, který má nízkou hustotu, ale přitom dostatečnou pevnost a houževnatost. Takových žádoucích vlastností lze dosáhnout použitím kompozitních materiálů [2].

V současné době je nejvýznamnějším moderním kompozitním materiálem, který našel využití v celé řadě odvětví *carbon fiber reinforced polymer (CFRP)*. V překladu se jedná o polymer zpevněný uhlíkovými vlákny. Využití je velmi rozsáhlé a dnes již častěji nahrazuje stávající materiály. Příkladem může být snaha o snížení celkové hmotnosti u sportovních vozů použitím některých dílů z kompozitních materiálů, což způsobí žádané odlehčení, které má mimo jiné za následek snížení spotřeby paliva. Dalším efektem použití kompozitních dílů je zvýšení odolnosti některých součástí vozu proti opotřebením. Vlastností, kterých dosahují kompozitní materiály, se dá využít nejen v automobilovém průmyslu, ale také ve sportovních odvětvích a ve zdravotnictví. Ve zdravotnictví se využívá kompozitní materiál k výrobě ortéz, dlah a ortopedických protéz. Při využívání protézy pak jedinec nemusí vynaložit tolik energie na chůzi. Další výhodou může být větší odolnost některých kompozitních materiálů proti opotřebením než v případě některých konvekčních materiálů

Ve sportovních odvětvích lze díky lepším vlastnostem vybavení, vykonávat sportovní disciplíny efektivněji [2].

2. Cíle práce

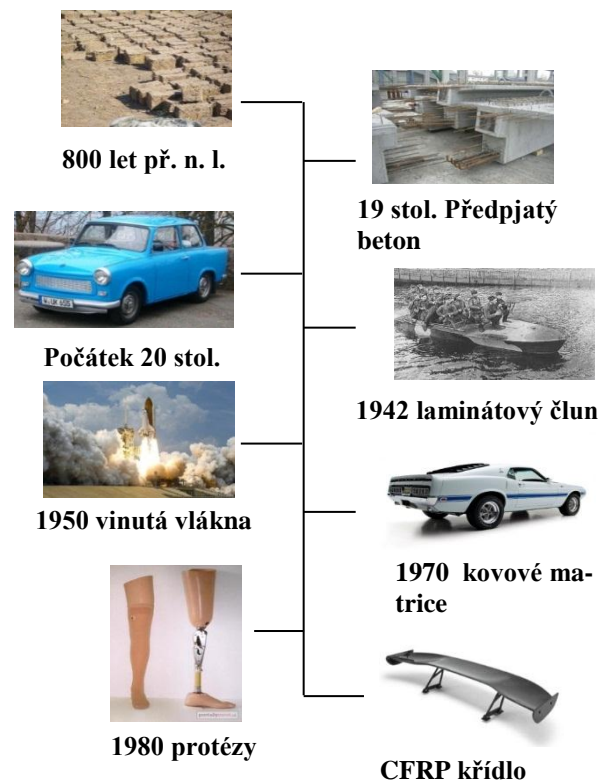
- Získání a nastudování literatury týkající se problematiky této práce (česká literatura je k dané problematice relativně nedostupná).
- Uvedení čtenáře do dané problematiky cestou čtivého a přehledného textu, který by mohl být použitelný jako podpůrný učební text v rámci předmětu Materiály a technologie I., který je vyučován na pracovišti PF JU.
- Přinést stručnou rešerši z oblasti současných kompozitních materiálů na bázi re-aktoplastů a termoplastů.
- Přinést ucelený přehled příkladů využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví, pro studenty technické výchovy, zejména pak pro studenty tělesné výchovy a technické výchovy, pro které je toto téma průřezové.

3. Historie kompozitních materiálů

Základem kompozitních materiálů, byla inspirace přírodou, kdy tvůrci našli jedinečné přírodní struktury. Úplně první znaky využití kompozitních materiálů se objevili již 800 let př. n. l., když Izraelité používali ke stavbě cihly, které byly vyrobené z hlíny a slámy [3].

Jedna z prvních myšlenek vědomě vyrábět kompozitní materiály se zrodila již v roce 1916 pro letecký průmysl. Tento nápad měl R. Kemp, který podal patentovou přihlášku ke stavbě letadla vyrobeného téměř zcela z vyztužených plastů. Rokem 1935 byla zahájena výroba skelných vláken firmou Owens-Corning Fiberglass Corporation. Až za druhé světové války se v letech 1940 zkonstruoval trup letadla Gordon Aerolite Spitfire z fenolické pryskyřice a lněného vlákna. V roce 1942 se poprvé aplikovali lamináty z nenasyčených polyesterových pryskyřic, které se vyztužily skleněnými vlákny. Konstruovali se z nich lodě, letadla i automobily. Rok 1943 přinesl první sendvičové konstrukce pro výrobu letadel. Konstrukce byla složená z polyesterového laminátu a jako vyztuž bylo použito jádro z balzového dřeva [3,4].

Po válce začali kompozity pronikat i mimo vojenské odvětví. V letech 1953 byla zahájena výroba laminátových dílů automobilových karoserií (Corvette). První náznaky sportovního laminátového větroně jsou již v roce 1954 vyrobeného v SRN (Spolková republika Německo). V roce 1959 byla zahájena výroba uhlíkových vláken v chemické společnosti Union Carbide. Okolo roku 1980 se kompozity uplatnili v ortopedické protetice. Téhož roku byla představena protéza dolní končetiny firmou Blatchford z Anglie. Kompozity z uhlíkových vláken byly v roce 1981 použity pro kokpit závodního vozu Formule 1.[3,4]. Výběr historických kompozitních výrobků je vyobrazen na obrázku 1.



Obrázek 1: Historický vývoj kompozitů [5-12]

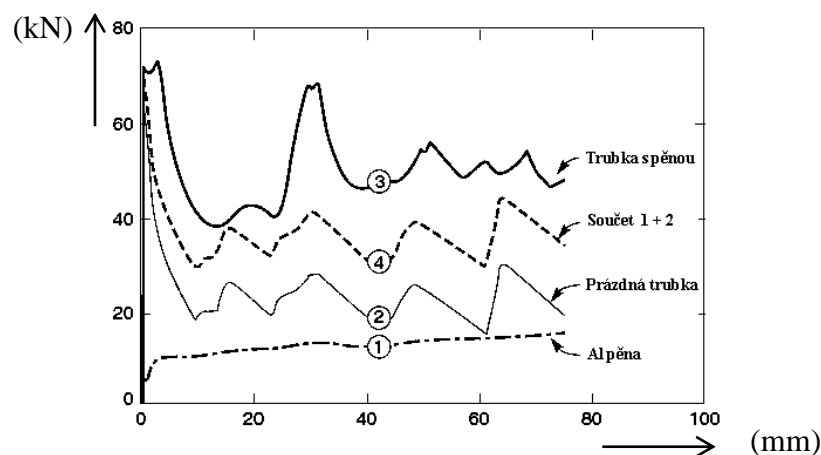
4. Charakteristika kompozitu

Za kompozitní materiál jsou považovány takové materiály, které jsou složeny z více oddělených fází. Uspořádání kompozitních materiálů je většinou takové, které vyvolává anizotropii. To znamená, že vlákna v kompozitu mají různé směry a tvary, které udávají vlastnosti materiálu. V některých případech je možné, využít tohoto jevu vhodným uspořádáním vláken k výrobě luků nebo lyží. Právě zde je to velmi výhodné [13].

Obecně řečeno kompozitním materiálem jsou myšleny heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází (složek). Ty se liší jak fyzikálními tak chemickými vlastnostmi. V kompozitu je vždy jedna fáze spojitá, taková fáze se nazývá matrice. Další fáze v materiálu je disperze. Při spojení těchto fází vznikne zcela nový materiál s výjimečnými vlastnostmi. Takové vlastnosti by nemohly být dosaženy kteroukoliv složkou samostatně, ani prostou sumací (sčítání). Matrice je spojitá fáze, která drží materiál pohromadě. Ta pak chrání disperzi před vnějšími vlivy. Disperze je nespojitá fáze, která vyztužuje materiál. V porovnání s matricí má výtěž výrazně lepší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, tvrdost, pevnost, atd.). Hlavním principem, či cílem, je vyztužení a zlepšení uvedených vlastností [14].

S tím vším je spojen tzv. synergický efekt. Synergickým efektem se rozumí dosahování vlastností, které samotné složky nemají a nedají se dosáhnout ani jejich sumací. Jedná se o spolupůsobení dvou a více složek, které pracují společně a jejich účinky se umocňují. V případě materiálů se jedná o jejich smísení, kterým vzniknou jedinečné struktury. Pokud se vzniklé vlastnosti doplňují, vznikne kompozit s přídavnými, či lepšími vlastnostmi [1].

Příkladem může být grafitové vlákno, které vyniká dobrými mechanickými vlastnostmi, ale podléhá oxidaci. Dalším materiálem je hliníková slitina, která sice neoxiduje, ale její pevnost klesá s teplotou. Spojením těchto dvou materiálů vznikne kompozit, který odolává oxidaci a pevnost si udržuje až do teploty 500 °C. Dalším příkladem je například hliníková pěna (kompozit), která je vložena v hliníkové trubce z důvodu zvýšení odolnosti proti tlakovému zatížení [13]. Příklad synergického efektu v kompozitní struktuře z hliníkové pěny vložené do hliníkové trubky je vyobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2: Graf tlakového zatížení [13]

4.1 Definice kompozitního materiálu

V současné době existují nejrůznější definice kompozitních materiálů. V různých zemích a na různých pracovištích se kompozitní materiály definují různě. Některé definice jsou uvedeny níže.

Nejstarší:

- *Jakýkoliv vícefázový materiál, tvořící pevnou látku – dřevo, litina, beton.*

Novější:

- *Fáze si ponechávají své vlastnosti, ale v systému se uplatní pouze jejich přednosti a potlačí nedostatky – i smaltovaná ocel.*
- *Fáze musí být v objemu rovnoměrně rozděleny – nevyžaduje se vždy.*
- *Fáze se musí vyskytovat odděleně a kompozit se vytvoří jejich kombinací – používají např. experti EU, vylučuje usměrněné tuhnutí.*
- *Někdy se požaduje uměle vytvořený systém, jindy se rozlišují přírodní a umělé kompozity – dřevo, skelný laminát [13].*

Definice MIL – NASA USA:

- *Kompozitní materiál je kombinace dvou nebo více materiálů (vyztužovací elementy, výplně a spojovací matrice), lišících se v makroměřítku tvarem nebo složením. Složky si v nich zachovávají svou identitu (tzn. vzájemně se úplně nepouštějí ani neslučují), ačkoliv na své okolí působí v součinnosti. Každá složka může být fyzikálně identifikována a mezi ní a dalšími složkami je rozhraní [13].*

Definice G. F. Milona, Cambridge:

- *Kompozity jsou materiály, ve kterých jsou délkové nehomogenity v rozměrech mnohem větších, než jsou atomární (což nám umožňuje používat pro tyto nehomogenity rovnice klasické fyziky), které jsou ale v makroskopickém měřítku přirozeně (statisticky) homogenní [13].*

V současné době se v České republice na technických pracovištích obvykle přiklání k výše uvedeným obecným novějším definicím [13].

4.2 Dělení kompozitu dle tvaru disperze

Každý kompozit v sobě obsahuje disperzi, která z velké části udává vlastnosti materiálu. Tyto vlastnosti jsou do jisté míry závislé na hmotnostním podílu disperze a tvaru disperze.

Částicové disperze se dělí na:

- *Jednorozměrné: tyčinky a jehličky*
- *Vrstevnaté: destičky*
- *Izometrické: globule [13].*

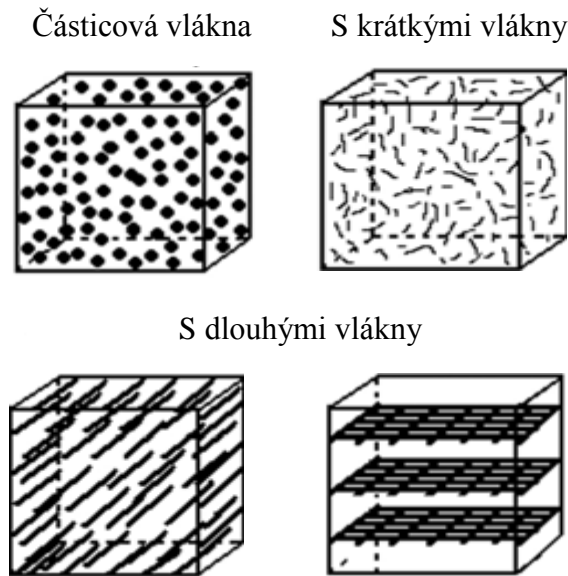
Deskové disperze:

- *Kompozit má speciální tvar, a tak se ztrácí rozdíl mezi disperzí a maticí [13].*

Vláknité disperze se dělí na:

- Krátká: pevnost není využita úplně
- Dlouhá: pevnost se využije v plném rozsahu
- Spojitá: jsou po celé délce výrobku [13].

Obrázek 3 odkazuje na grafickou ukázkou rozložení a tvaru vláken v kompozitních materiálech.



Obrázek 3 Ukázka rozložení a tvaru vláken v kompozitech [15]

4.3 Dělení kompozitu podle typu disperze

Kompozity se dělí podle typu disperze na první, druhý a třetí druh. Kompozity prvního druhu mají disperzi z pevné látky (vlákna, částice a desky), u kompozitů druhého druhu je disperze ve formě kapaliny (olej) a poslední třetí druh má disperzi ve stavu plynném (plynové hmoty) [16].

Kompozity prvního druhu

Kompozity prvního druhu jsou v technice nejdůležitější. Často se dělí podle matrice a to na plastové matrice, kovové matrice, keramické matrice a ve zvláštních případech i skleněná matrice. [16].

Kompozity druhého druhu

Tento druh je poměrně málo častý. Využívá se především k výrobě samomazných ložisek. Například k pohonu stojů, které pracují pod hladinou, se využívá spékaný kov s olejovou disperzí. K pohonu těchto strojů se využívají čerpadla, která mají samomazná ložiska [16].

Kompozity třetího druhu

Do této kategorie patří různé hmoty pěnového charakteru. Například pěnoplasty (pěnový polystyren), kovové pěny (hliníková pěna) a pěnokeramika (pěnokorund). Další skupinou jsou speciální vláknové desky. Patří sem skleněné rohože, keramické tepelné izolace a grafitová plst' [16].

4.4 Izotropie a anizotropie materiálu

Materiály, které vykazují izotropii, mají ve všech směrech stejné vlastnosti. Opakem jsou materiály, které jsou anizotropní, u kterých jsou určité vlastnosti závislé na směru měření. Mnoho technických materiálů má základní jednotky (krystality) anizotropní, ale díky jejich velkému množství a náhodného rozdělení je materiál brán jako celek izotropní – keramika, kovy. Vnější vlivy jako je například tažení kovů za studena mohou anizotropii slabě narušovat. Jako izotropní materiál se dají považovat běžné technické materiály. Co se týče kompozitů, většina z nich vykazuje anizotropii. [16].

5. Nejvýznamnější matrice na bázi polymerů

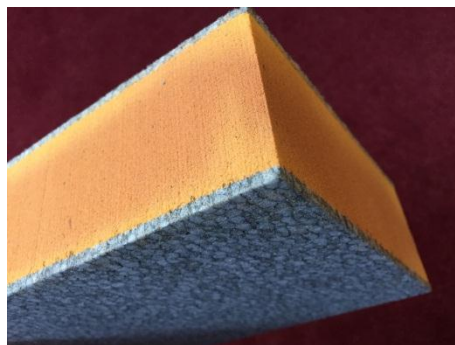
5.1 Reaktoplastické matrice

Jsou to pryskyřice kapalné nebo tavitelné, které se samostatně, či pomocí katalyzátorů, urychlovačů, tvrdidel, iniciátorů a jiných složek vytvrzují. Vytvrzuje se polyadící nebo polymerací bez odštěpování těkavých látek. Reaktoplastické matrice nedosahují takové houževnatosti jako matrice termoplastové. Jejich předností oproti termoplastickým matricím je pevnost za vysokých teplot. Reaktoplasty se v němčině a angličtině nazývají také jako duroplasty, ale tento název je zastaralý. Obecně se mohou rozdělovat podle účelu na laminační, impregnační, licí, zalévací nebo prosycovací. Konečná podoba reaktoplastů vzniká především vlivem tepla, tlaku a působením již zmíněných vytvrzujících složek. Kompozitové díly s reaktoplastovou maticí se po vytvrzení neboli zesíťování matrice nedají dále tvarovat. Proto je možné jejich využití i při vyšších teplotách. [4].

5.1.1 Fenoplasty

Nejznámějším reaktoplastem je fenoplast, známější pod neoborným názvem bakelit (fenol-formaldehydová pryskyřice) vyroben roku 1907 a tento název se používal pro všechny umělé hmoty. Tento plast byl prvním plastem vůbec [4].

Barva fenol-formaldehydové pryskyřice je tmavohnědá až černá a na světle tmavne. Do této hmoty se přidávaly barevné příměsi. Fenoplast měl široké využití, například se používal na kuchyňské přístroje, telefony a také na karosérie trabantů. Působením teploty se nijak nemění jeho tvar či rozměry. Je odolný vůči všem rozpouštědlům [4]. Obrázek 4. znázorňuje vnější tepelně izolační kompozitní systém s izolačními deskami na bázi fenolické pěny (PF) Baunit Resolution.



Obrázek 4 Tepelně izolační deska na bázi fenolické pěny (PF) Baunit Resolution [17]

Množství fenolických pryskyřic v klasických vyztužených kompozitech je poměrně malé. Zpracovány mohou být běžnými technologickými postupy, ale jejich využití je omezeno z důvodu tvoření těkavých látek při vytvrzování. Dalším důvodem je křehkost pro velkorozměrové díly [4].

Fenolické pryskyřice se používají jako ohnivzdorná a samozhášivá matrice v kompozitech, které jsou vyztuženy vlákny. Primárně jsou využívány tam, kde nechceme, aby se materiály vznítily a pokud by však ke vznícení došlo, materiál disponuje samozhášivou reakcí. Vytvrzování probíhá na principu polykondenzace, která způsobuje vznik dutin a trhlin. Mají proto horší mechanické vlastnosti, které si ovšem udržují i při vysokých teplotách. Použití pro interiéry letadel, železničních vagonů, automobily a sendvičové panely [4].

Příklady kompozitů s fenolickou matricí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Fenolická pryskyřice (Hmotnostní podíl 25 %)	Grafitová deska	Zvýšení mechanických vlastností (pevnost v tahu, pevnost v ohybu), a měrného odporu.	Výsledky ukázaly, že pevnost v tahu, pevnost v ohybu, odpor, propustnost pro plyn a hustota korozního proudu bipolární desky jsou ovlivněny koncentrací roztoku pryskyřice.
Lehká houževnatá uhlíková vlákna / fenolická pryskyřice (NCF)	PR Aerogel často nazývaný zmrzlý dým nebo modrý dým) je porézní ultralehký materiál.	Záměrem bylo vytvoření velmi lehkého, nehořlavého a pevného materiálu pro účely úspor hmotnosti především v letectví na vnitřní vybavení.	Výsledné aerogelové kompozity NCF-PR vykazují nízké hustoty v rozmezí od 0,270 do 0,370 g / cm ³ , relativně vysokou pevnost v tlaku v rozmezí od 0,83 do 11,02 MPa a nízkou tepelnou vodivost 0,093-0,230 W / (mK) při pokojové teplotě.
Fenolická pryskyřice	Ultra jemná uhlíková vlákna	Vytvořit uhlíkového ultra-jemného vlákna na bázi fenolové pryskyřice s bohatými ultramalými mikropóry pro adsorpci CO ₂ .	Výsledkem je jemná mikroporézní struktura, vysoká stabilita adsorpčních kapacit a vynikající recyklovatelnost. Využití pro zachytávání a skladování CO ₂ . Ultra malé mikropóry mají velikosti přibližně 0,50 až 0,63 nm

Fenolická pryskyřice	Skelná vlákna	Pro zlepšení mechanických vlastností se vyztužuje pomocí nasekaných skleněných vláken	Mechanické vlastnosti fenolové pěny byly podstatně zvýšeny. Pevnost v tahu byla 148 kPa, což bylo o 28,3% více než samotná pevná pěna (= 115 kPa). Využití například v oblasti architektury a letectví.
Dvě různé fenolické pryskyřice (rovná novolaková pryskyřice a modifikovaná novolaková pryskyřice).	Aramidová buničina.	Zjistit jaký vliv bude mít na tření fenolická pryskyřice a aramidová buničina, použita v automobilech.	Třecí materiály s modifikovanou novolakovou pryskyřicí vykazovaly lepší třecí stabilitu než ty s nemoifikovanou novolakovou pryskyřicí. Zejména třecí materiály, které byly vyztuženy 10% hmot. aramidové buničiny, vykazovaly podstatné zlepšení stability tření bez ohledu na typ pryskyřice

Tabulka 1: Příklady kompozitů s fenolickou pryskyřicí [18-22].

5.1.2 Polyesterová pryskyřice

Polyesterové pryskyřice jsou takřka bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které se vytvrzují za normální či zvýšené teploty, a to aniž by vznikly vedlejší těkavé produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a následuje objemové smrštění až o 9 %. Oligomerní lineární molekuly nenasyčené polyesterové pryskyřice obsahují reaktivní dvojnásobné vazby [4]. Polyesterové pryskyřice jsou nenasyčené polyester, které jsou rozpuštěné v reaktivním monomeru (nejčastěji styrenu). Pomocí urychlovačů reakcí a iniciátorů dochází k vytvrzení pryskyřice [23].

V mnoha případech jsou nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace, a to především díky nízké viskozitě, vysoké rychlosti vytvrzování, dobré smáčivosti vláken a nízké ceně. Známý jsou už od roku 1936 a více než 70 % je zpracováno ve formě kompozitu. Viskozita pryskyřice je dána obsahem styrenu, který je obsažen v rozsahu 30 až 50 %. Správným výběrem výchozích materiálů a různých přísad lze měnit zpracovatelnost a vlastnosti vyrobených hmot ve velkém rozsahu. Přísady se většinou používají jako plnivo, které zlevňuje materiál. Zvyšuje se jimi viskozita, ovlivňuje zatékavost a v neposlední řadě i zpracovatelnost. Hlavní plniva jsou křída, hydroxid hlinitý a kaolin [4].

Polyesterové pryskyřice se využívají například na galanterní zboží (knoflíky), zálevací hmoty, lepidla na podlahové krytiny, nátěrové hmoty jako sanace před vyrovnáním podkladů nebo bižuterie. V technickém odvětví se využívá na výztuže, které jsou skládány na modely a pak jsou impregnovány pryskyřicí. Jedná se zejména o lodě, střešní krytiny, letadla a mnoho dalších [23]. Příklad využití polyesterové pryskyřice v praxi na výrobu lodních trupů na obrázku 5.



Obrázek 5: Využití polyesterové pryskyřice v praxi (lodní trup) [24]

Příklady kompozitů s polystyrenovou maticí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Polyesterová pryskyřice v množství 18 %	Jutová vlákna o délce 5-6 mm. Hmotnostní podíl 82 %	Důvod zkoumání těchto materiálů je použití v oblastech, jako jsou interiéry automobilů a letadel, které slibuje významné snížení váhy, nákladů a uhlikových stop, aniž by to obětovalo výkonnost. Zjištění pevnosti v tahu a ohybu.	Pevnost v tahu pro jutové polyesterové kompozity činí 9,23 N / mm ² . Ohybová pevnost jutových polyesterových kompozitů, byla odhadnuta na 44,71 N / mm ²
Polyesterová pryskyřice	Kaučuk z použitých pneumatik (hmotnostní podíl 20 %)	Hlavním cílem této práce byla formulace a vývoj polyesterového kaučuku jako izolačního materiálu s přijatelným mechanickým výkonem.	Přidávání větších pryžových částic snižuje mechanické vlastnosti. Avšak při použití menších částic kaučuku se mechanické vlastnosti zlepšují a vykazují mechanické vlastnosti v tahu (22,8-1,25 MPa) a v tlaku (79,5-8,42 MPa). Izolačními vlastnosti jsou srovnatelné s některými stavebními materiály.
Polyesterová pryskyřice.	Popílek z elektráren (hmotnostní podíl 50 %).	Účelem bylo využití popílku z elektráren. Teorie naznačovala využití v kompozitních materiálech, například s polyesterovou pryskyřicí.	Výsledky ukázaly, že začlenění popílku zlepšilo tepelnou stabilitu kompozitů. Pokud jde o termomechanické vlastnosti, bylo zjištěno, že začlenění 50 % (hmotn.) popílku vedlo ke kompozitům s vyšším modulem pružnosti (E) a vyšší teplotou skelného přechodu (T _g) než čistá polymerní matrice.

Polyesterová pryskyřice.	Kokosová vlákna (hmotnostní podíl 30 %).	Zjištění absorpčních schopností polyesterových kompozitů z kokosových vláken.	Z výsledků je patrné, že vzhledem k nárůstu tloušťky a objemu frakcí z kokosových vláken se nárazová síla zvyšuje. Polyesterový kompozit z kokosového vlákna o objemu vlákna 30 % a tloušťce 6mm dosáhl nárazové pevnosti 1,570 N/m.
Polyesterová pryskyřice.	Ratanová vlákna (hmotnostní podíl 12,5 %).	Účelem této studie je vyrobit kompozitní vrstvené materiály s nízkou hmotností a především z obnovitelných přírodních vláken metodou ručního rozvrstvení.	Bylo zjištěno, že přidávání vláken vede ke zlepšení mechanických vlastností až na úroveň 12,5 % vláken, po které dochází k poklesu vlastností, protože pryskyřice není dostatečně pevná k přenosu zátěže mezi vlákny.

Tabulka 2: Příklady kompozitů s polyesterovou pryskyřicí [25-29].

5.1.3 Epoxidová pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou za normálních teplot kapalné až pevné látky. Mohou obsahovat přidané pomocné látky, jako jsou například rozpouštědla. V molekule obsahují minimálně jednu, avšak většinou dvě epoxidové skupiny, které jsou nutné jako funkční skupina pro makromolekulovou stavbu. Jako příměs se přidává tvrdidlo v kapalné či pevné formě. Epoxidové pryskyřice jsou jedny z nejhodnotnějších reaktoplastů s velice dobrými mechanickými vlastnostmi. Dále pak disponují vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladům. Ve formě vyztužených kompozitů se využívá pouze v 8 % [4]. Při využití pryskyřice s tužidlem vzniká velmi viskózní směs a díky tomu jsou vlákna kvalitně a rychle prosycena. Výrobek pak má podstatně nižší hmotnost a vyšší užitkovou hodnotu. Proto se tohoto materiálu využívá nejen pro letecký průmysl k výrobě trupů a křídel [30]. Velmi důležitá aplikační oblast je v elektronice, výrobě forem, nástrojů a různé povlaky v práškovém nanášení [4].

Epoxidové pryskyřice disponují velmi dobrými vlastnostmi, které jsou běžně slučovány s velmi kvalitními výztuhami. Například se kombinují s uhlíkovými či skelnými vlákny. Při změně vytvrzovacího procesu se může docílit jiných nebo spíše specifických vlastností [31]. Vlastnosti vytvrzených pryskyřic jsou ve velkém rozsahu ovlivněny širokou paletou tvrdidel, která jsou speciálně přizpůsobena k určité aplikaci [4].

Tyto pryskyřice se již osvědčily v mnoha průmyslových odvětvích. Používají se jako lepidla, licí pryskyřice a s využitím příměsí vznikají lamináty. Dále se pak využívá jako nátěrová hmota, se kterou se zpevní povrch, který je odolný vůči vlhkosti. Jejich zvláštní vlastnost je ohnivzdornost a samozhášivost, čehož je využíváno například v průmyslu. Dokáží odolat vlhkosti, povětrnostním podmínkám a stárnutí. Používají se také na zpevňující nátěry betonů a zalévání spár či prasklin. Odolává agresivním látkám, solím a v současné době se využívají i ve sportovním odvětví [32]. Příklad využití epoxidové pryskyřice ve spojení s uhlíkovými vlákny na výrobu vrtulí zobrazuje obrázek 6.



Obrázek 6: Spojení epoxidové pryskyřice s uhlíkovým vláknem pro výrobu vrtulí [33]

Kompozit z vlákna a pryskyřice

Nejběžnější vláknem při výrobě kompozitu je uhlíkové vlákno, které má několikanásobně větší odolnost než běžně využívané materiály. Zároveň jsou tyto vlákna třikrát a v některých případech i pětkrát lehčí přičemž mají nízký koeficient délkové roztažnosti [34].

Proces výroby

Pro výrobu se používají prepregy s jednosměrným uspořádáním vláken. Pásky mají stanovenou tloušťku na 1 až 3 mm a obsahují 35 % pryskyřice. Samotný kompozit je vyráběn formováním, protlačováním nebo i navíjením. Nejběžněji se jako matrice využívá epoxidová pryskyřice, jelikož má dobrou adhezi k vláknům, odolává velmi dobře vnějším vlivům a její zpracování je snadné. Pokud je však potřeba odolávat teplotám nad 200 °C, použije se polyimidová pryskyřice [34].

Využití CFRP

CFRP materiály byly především využívány v leteckém a kosmickém průmyslu, pro která byla zapotřebí nízká hmotnost a dostatečná odolnost. V dnešní době je rozvoj CFRP na vzestupu, a proto i využití zasahuje do jiných odvětví zejména do sportovního, kde vykazuje velký potenciál. Spotřeba materiálů se rozděluje na 40 % kosmonautiky a letectví, 40 % ve sportovním odvětví a 20 % v ostatním průmyslu [34].

Příklady kompozitů s epoxidovou matricí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Epoxidová pryskyřice	Pěnový oxid hlinitý	Vývoj tohoto typu kompozitů je důsledkem potřeby výzkumu nových, lehkých materiálů se zvýšenou mechanickou pevností, nehořlavých a dalších funkčních vlastností, např. schopnost redukce šumu - návrh pro letecký průmysl.	Kombinace epoxidové pryskyřice s vysoce pórovitými hliníkovými pěnamí způsobuje vyšší pevnost v tlaku. Navíc hliníkové / epoxidové kompozity s poměrem plnění částečných pórů vykazovaly uspokojivé akustické absorpční charakteristiky.
Epoxidová pryskyřice	Nanočástice hliníku (Hmotnostní podíl 0,35%)	Tato studie zkoumá účinek ozařování elektronovým paprskem na tepelné a mechanické vlastnosti epoxidových kompozitů naplněných nanočásticemi hliníku.	Epoxidové kompozity byly vystaveny ozařovacím dávkám 30, 100 a 300 kGy. Výsledky ukázaly, že epoxidové kompozity vykazovaly dobrou odolnost proti radiaci. Tepelné a mechanické vlastnosti epoxidových kompozitů na bázi hliníku vzrůstaly se zvýšením dávky ozařování až na 100 kGy a po této hodnotě se snižovaly.
Epoxidová pryskyřice	Hedvábná tkanina	Bylo zkoumáno mechanické chování, konkrétně ohybové, interlaminární smykové a nárazové.	Pevnost v ohybu se lineárně zvyšovala s rostoucí objemem hedvábí od 30 do 60 %, ale mírně se snížila při 70 %. Výsledky interlaminárního střihu navíc ukázaly, že hedvábná / epoxidová pryskyřice mají lepší adhezní vlastnosti než obyčejná tkaná lněná vlákna. Nárazová síla dosáhla maxima ~ 71 kJm ⁻² pro 60 %, což dokazuje potenciál posílení hedvábí v kompozitech odolných proti nárazu pro použití jako lopatky větrných turbín.

Tabulka 3: Příklady kompozitů s epoxidovou pryskyřicí [35-37].

5.2 Termoplastické matrice

Patří mezi nejrozšířenější skupinu plastů. Termoplast je za normální teploty pevná látka. Po zahřátí nad teplotu 200 °C, je dostatečně tekutý. Hlavním rozdílem mezi termoplasty a reaktoplasty je v uživatelských a zpracovatelských vlastnostech. Obecně platí, že u termoplastů je možné měnit tvar pokaždé, kdy se zvýší teplota nad bod tavení. Dají se dobře lisovat a odlévat [38]. Pro vyztužení termoplastů se používají krátká vlákna cca. 0,2 mm a to především při vyztužování a zesilování matrice při vstřikování. Používají se také dlouhá vlákna až 25 mm, ty se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do formy. Dalšími možnostmi jsou vlákna nekonečně dlouhá, například u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží (GMT), tkaninou nebo jednosměrnými pásy se používají na polotovary pro další zpracování [4].

5.2.1 Polyolefiny

Mezi nejvýznamnější plasty patří polyolefiny (polyetylen PE a polypropylen PP) [38]. Vznikají polymerací uhlovodíků a patří do největší skupiny syntetických polymerů. [39].

Polyetylen (PE)

Polyetylen se stal velmi rozšířeným a užívaným plastem, jehož stavebním prvkem je pouze uhlík s vodíkem. Polyetylenové vlastnosti jsou závislé na molekulové struktuře (délece, stupni krystalinity, prostorovém uspořádání merů v řetězci a tvaru molekul), viz tab. 1. Polyetylenová struktura bývá často ovlivněna způsobem výroby. Disponuje elektroizolačními a dielektrickými vlastnostmi. Je odolný vůči polárním rozpouštědlům, kyselinám, solím, vodě a zásadám. Ze všech termoplastů má polyetylen nejnižší pevnostní charakteristiku. Má však vynikající odolnost proti rázovému namáhání a to jak za běžných teplot, tak i za bodu mrazu. Polyetylen a jeho všechny možné typy jsou citlivé na UV záření a pro venkovní využití se nejdříve musí stabilizovat [39]. Základní vlastnosti polyethylenu jsou znázorněny v tabulce 1.

Polyetylen	Zkratka	Teplota tání [°C]	Hustota [g/cm ³]	Mez pevnosti [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
Vysokohustotní polyetylen	PE-HD	130 ÷ 135	0,940 ÷ 0,960	18 ÷ 35	700 ÷ 1400
Nízkohustotní polyetylen	PE-LD	105 ÷ 115	0,914 ÷ 0,928	8 ÷ 23	200 ÷ 500

Tabulka 4: Typické vlastnosti polyethylenu (PE) - převzato a upraveno z [39]

Používá se jako materiál pro výstavbu zemních rozvodů plynu a vody. Je také využíván v průmyslu a také v domácnostech. Je velmi chemicky odolný, houževnatý a má široké teplotní rozpětí využitelnosti [40]. Využívá se jako obalový materiál. Je zdravotně nezávadný, a proto je vhodný k výrobě hraček. Dále pak izolací, například izolační pláště

kabelů. Také je vhodný na potrubí pro zavlažovací systémy v zemědělství, tašky, sáčky, folie, lahvičky (PE-LD), vlnovce, kanystry, přepravky, nádoby, potrubí pro rozvody plynu, nádržky na ostřikovací kapalinu a brzdovou kapalinu (PE-HD), nádrže na dešťovou vodu či žumpy (PE-LLD), a polyethylen typu PE-UHMW, který má výborné kluzné vlastnosti a používá se pro pluhové radlice, ložiska a kluzná vedení [39]. Příklady využití polyethylenu v praxi je na obrázku 7.



Obrázek 7: Využití polyethylenu v praxi (ocelová drátěná vyztužená polyetylenová kompozitní trubka (SRTP) pro zásobování vodou) [41]

Příklady kompozitů s polyetylenovou maticí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Polyetylen	Stříbrná nanovláknna	Tento výzkum se zabýval antibakteriálními foliemi v suchých podmínkách pro využití ve zdravotnictví	Testy životaschopnosti bakterií ukázaly, že kompozity se stříbrnými nanovláknny inhibovaly růst Escherichia coli ATCC 25923 o 88 %. Toto chování je přičítáno zvýšenému uvolnění stříbrných iontů z nanokompozitu. Aplikace v lékařských zařízeních.
Polyetylen (HDPE).	Uhlíkové nanotrubičky (Hmotnostní podíl 1-18 %).	Byl zkoumán vliv vícečetných uhlíkových nanotrubiček (MWCNTs) na účinnost stínění elektromagnetického rušení (EMI-SE) kompozitů z vysokohustotního polyethylenu (HDPE).	Výsledky ukázaly, že EMI-SE byla zvýšena se zvýšením obsahu MWCNT, který hrál klíčovou roli při určování EMI-SE. Nejvyšší EMI-SE kompozitů činila přibližně 58 dB pro 18 % MWCNT / HDPE při 1,4 GHz.

Tabulka 5: Příklady kompozitů s polyetylenem [42-43].

Polypropylen (PP)

Polypropylen se svými vlastnostmi podobá vysokohustotnímu polyetylenu. Jedná se o nepolární plast, který je odolný vůči solím, zásadám, kyselinám a polárním rozpouštědlům. Odolnost polypropyleny je vyšší než u polyetyleny, především při vyšších teplotách. Hlavním rozdílem je především menší odolnost proti mrazu a nižší hustota. Oproti ostatním plastům disponuje vyšší teplotou tání, která má za následek lepší tvarovou stálost při působení vyšších teplot (dlouhodobě až 100°C). Paradoxem je i to, že má nejnižší hustotu ze všech nelehčených plastů a přitom má vyšší odolnost proti oděru, tvrdost, tuhost a pevnost. Ve srovnání s polyetylenem má vyšší odolnost proti napětovým trhlinkám [39]. Z ekonomického hlediska je nejdůležitějším termoplastickým materiálem. Jeho využití je velmi široké a to ať už v průhledném nebo zbarveném pigmentu například, lékařské přístroje – injekční stříkačky, systémy dávkování léků, diagnostické kyvety (drobné laboratorní nádoby), součásti automobilů – nárazníky, spoilery, mřížky chladičů skříně akumulátorů, vrtulí ventilátorů i díly klimatizačních jednotek, dále tkaniny, spotřební zboží, obaly na potraviny a kuchyňské přístroje. Použitou polymeraci a katalyzátorem je určen jeho účel použití. [44]. Základní vlastnosti polypropyleny jsou znázorněny v tabulce 2. Příklad využití polypropyleny v praxi je na obrázku 8.

Polypropylen	Kryštalinita [%]	Teplota tání [°C]	Hustota [g/cm ³]	Mez pevnosti [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
Izotaktický	60 ÷ 70	160 ÷ 176	0,905 ÷ 0,920	34 ÷ 38	1100 ÷ 1500
Ataktický	0	-25	0,85 ÷ 0,87	Velmi nízká	-

Tabulka 6: Typické vlastnosti komerčního polypropyleny (PP) [39]



Obrázek 8: Využití polypropyleny v praxi (terasové prkno z kvalitního WPC materiálu (60 % dřevo a 40 % polypropylen) [45]

Příklad kompozitu s polypropylenovou maticí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Polypropylen.	Konopné vlákna. (hmotnostní podíl 15 % až 30 %)	Tato práce zkoumá účinky materiálové úpravy na mechanické chování polypropylenových (PP) kompozitů vyztužených konopnými vlákny.	Bylo zjištěno, že materiálová ošetření dosahují v kompozitech lepších mechanických vlastností ve srovnání s kompozity bez jakéhokoliv zpracování (ošetření). Kompozity s přídatkem 5 % hmotnostních MAPP (maleinanhydrid) vykazují nejlepší mechanické vlastnosti.
Polypropylen.	Kenaf (hmotnostní objem 40 %). Jedná se o rostlinné vlákno získávané z ibišku konopovitého	Práce se zabývá výrobou a charakterizací neošetřených a ošetřených kenaf / polypropylenových (PP) vyztužených kompozitů.	Bylo prokázáno, že 40% kenaf / PP kompozit vyniká fyzikálními a mechanickými vlastnostmi a může být použit v různých aplikacích, jako je automobilový, sportovní, stavební, živočišný a masový průmysl.

Tabulka 7: Příklady kompozitů s polypropylenovou pryskyřicí [46-47].

5.2.2 Vinylové polymery

Jejich hlavním představitelem je polyvinylchlorid (PVC). Společně s polypropylenem (PP) a polyethylenem (PE) jsou nejmasověji vyráběné syntetické plasty. Dodáván je v práškové formě a granulátu [39].

Polyvinylchlorid (PVC)

Základními typy PVC jsou chlorovaný PVC-C, neměkčený (univerzální) PVC-U, měkčený PVC-P a síťovaný PVC-UX. Ve srovnání s polyethylenem má horší dielektrické vlastnosti, ale v chemické odolnosti jsou na tom velmi podobně. Avšak když se použijí změkčovadla, jeho chemická odolnost se zhorší. Je lehce navlhavý viz tab. 3 a to kvůli polárním atomům chloru. Není odolný proti chlorovaným rozpouštědlům [39].

Při běžných teplotách je tuhý, pevný a křehký s malou rázovou houževnatostí. Velkou výhodou je jeho samozhášivost, která je daná atomy chloru. Dokáže odolávat dlouhodobé teplotě 65 °C a krátkodobé 75 °C. Opět jsou tyto vlastnosti zhoršovány přidávkou změkčovadel. Bez potřebné stabilizace neodolá UV záření. Problém nastává, právě když se tepelně stabilizuje materiál, neboť potřebná teplota stabilizace je 180 °C. To je však nebezpečně blízko bodu rozkladu, který činí 190 °C ÷ 200 °C. Při této teplotě se uvolňuje chlorovodík [39]. Základní vlastnosti polyvinylchloridu jsou znázorněny v tabulce 3.

Polyvinylchlorid	Zkratka	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Hustota [g/cm ³]	Navlhavost [%]
Neměkčený p.	PVC-U	1000 ÷ 1350	50 ÷ 75	1,38 ÷ 1,55	0,04 ÷ 0,40
Měkčený p.	PVC-P	500 ÷ 850	10 ÷ 25	1,16 ÷ 1,35	0,15 ÷ 0,75

Tabulka 8: Typické vlastnosti měkčeného a neměkčeného polyvinylchloridu [39]

Polyvinylchlorid neměkčený (PVC-U)

Disponuje vysokou mechanickou pevností, tvrdostí, stálostí a chemickou odolností. Vznícení materiálu je velmi obtížné, a pokud by k němu došlo, je materiál samozhášivý, jelikož obsahuje retardéry hoření. V materiálu dochází během používání k nepatrnému vnitřnímu pnutí. Teplota využití je v rozmezí od -15 °C do +60 °C. Spojování je možné provést dvěma způsoby - svářením a lepením. Díky své samozhášivé vlastnosti se často používá jako elektroizolační materiál. Nevýhodou je jeho malá houževnatost [48]. Tento materiál je dražší než PE, který se často používá obdobně (cena materiálu je daná hmotností). Je zdravotně nezávadný [49].

Využívá se především na tělesa ventilů a čerpadel, součásti ložisek, nádrže, těsnění, potrubí a součástky v zubním lékařství [48]. Dále rámy oken, roury na kanalizační rozvody v agresivním prostředí a okapové žlaby [39]. Využití materiálu v praxi je znázorněno na obrázku 9.



Obrázek 9: Využití neměkčeného polyvinylchloridu v praxi (vlevo odpadní roury a vpravo okapové roury a žlaby) [50], [51]

Polyvinylchlorid měkčený (PVC-P)

Tento materiál je velice houževnatý a čirý plast, který se používá v mnoha odvětvích na výrobu lina, chirurgických rukavic, elastických částí zařízení, izolace kabelů, těsnění nebo výplně vrat proti průvanu, fólie, hračky a ubrusy [40,52]. Další (PVC) je typ (PVC-C), který je dodatečně chlorovaný, tím je myšleno, že obsahuje o 10 % až 15 % více chlóru. Díky zvýšené odolnosti proti teplotám odolává trvale teplotě 85 °C a po kratší dobu 100 °C. Využívá se především pro rozvody teplé vody. Pro náročnější aplikace můžeme podobně použít i zesílený typ (PVC-UX) [39]. Využití materiálu v praxi je znázorněno na obrázku 10.



Obrázek 10: Využití měkčeného polyvinylchloridu v praxi (vlevo chirurgické rukavice a vpravo linoleum) [52], [53]

Příklad kompozitu s polyvinylchloridovou maticí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Polyvinylchlorid	Hliníkový prášek (hmotnostní podíl v rozsahu od 0 do 40 %)	Tato kombinace byla zkoumána kvůli zlepšení elektrických, mechanických a tepelných vlastností.	Bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota elektrické vodivosti PVC / Al kompozitů je řádově 10 až 8 S cm ⁻¹ . Tato hodnota doporučuje, aby takové kompozity byly použity v aplikacích elektrostatického rozptylu. Při zvyšování obsahu hliníku se hodnoty mechanické pevnosti snižují. Přítomnost Al prášku zlepšila tepelnou stabilitu PVC kompozitů.
Polyvinylchlorid.	Uhlíkové nanotrubičky	Studie zkoumá složení uhlíkových nanotrubiček / polyvinylchloridových (PVC) kompozitů a jejich tepelné a mechanické vlastnosti.	Tepelná analýza gravimetrické a diferenciální skenovací kalorimetrie ukázala zvýšení teploty skelného přechodu a teplotu tavení pro kompozity vzhledem k čistému PVC. Modul kompozitů MWCNT (uhlíková nanotrubička) / PVC se zvýšil, zatímco došlo ke snížení jejich pevnosti v tahu, což naznačuje pokles houževnatosti polymeru.

Tabulka 9: Příklady kompozitů s polyvinylchloridovou pryskyřicí [54-55].

Polytetrafluoretylen (PTFE)

Obchodní značkou polytetrafluoretylenu je Teflon. Polytetrafluoretylen je odolný vůči křehnutí, světlu, pomalu stárne, odpuzuje vodu a jeho mechanické vlastnosti nejsou závislé na teplotě. Ve své podstatě je téměř nehořlavý. Při teplotě 360 °C začíná proces rozkladu a při teplotě 500 °C až 560 °C hoří. Neprojevuje se žádnými toxickými efekty, a vyznačuje se vynikajícími elektroizolačními vlastnostmi [56]. Teflon se dá také použít na textilní vlákna, která jsou opatřena teflonovou úpravou. Po této aplikaci se textilie stává voděodolná (vodoodpudivá) a chráněna před nečistostmi. Velké využití má především v domácnostech, jako nepřilnavé nádobí. Díky jeho vlastnostem se nepřichycuje jídlo na pánve a nemusí se využít takové množství oleje [57].

Obecně je velmi používaným zástupcem fluoropolymerů. Jeho předností je chemická odolnost, otěruvzdornost, pružnost a rázová pevnost. Barva je matně bílá. Co se týče molekulové hmotnosti je dosti vysoká a vlastní jenom atomy fluoru a uhlíku, mezi nimiž je vysoko pevnostní vazba [58]. Díky těmto všem vlastnostem se hojně využívá například v elektrotechnice jako ochrana vodičů, které jsou ohroženy případnou vlhkostí. Dále se využívá jako samomazná ložiska (teflon má malý součinitel tření), výroba hadic a také teflonové pásky na těsnění vodovodních spojů [56]. Základní vlastnosti polytetrafluoretylenu jsou znázorněny v tabulce 10. Využití polytetrafluoretylenu v praxi zobrazuje obrázek 11.

Název	Zkratka	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Hustota [g/cm ³]	Navlhavost [%]
Polytetrafluoretylen	PTFE	400	25 ÷ 36	2,15 ÷ 2,3	<0,01

Tabulka 10: Typické vlastnosti PTFE – převzato a upraveno z [39]



Obrázek 11: Využití polytetrafluoretylenu v praxi (kluzné ložisko) [59]

Příklad kompozitu s polytetrafluorethylenovou maticí:

Matrice	Disperze	Účel	Výsledky
Polytetrafluoretylen s polyamidem, (hmotnostní podíl 5 %)	Uhlíková vlákna (hmotnostní podíl 15 %)	Výzkum se zabýval třením a opotřebením při mazání součástí strojů v mořské vodě.	Vzájemné spojení polyamidu a uhlíkových vláken, ve správném složení vede k drastickému snížení rychlosti opotřebení PTFE při mazání v mořské vodě. Nejlepších vlastností dosahoval kompozit, při složení PTFE obsahující 5% PA a 15% CF. V takovém složení vykazoval nejvyšší odolnost proti opotřebení a slibnou aplikaci v oceánském prostředí
Polytetrafluoretylen s polyamidem 66 (hmotnostní podíl PTFE 18 %)	Skleněná vlákna (GFR) - (hmotnostní podíl 20 %)	V této studii byl proveden výzkum za účelem zjištění vlivu kluzné rychlosti, tlaku a teploty na tření a opotřebení ložisek z kompozitního materiálu.	Z výsledků vyplynulo, že nejlepší kombinace materiálů byla PA66 + 20% GFR + 25% PTFE. Koeficienty tření, kontaktní teploty a rychlost opotřebení jsou ovlivněny tvářením filmu, zvýšením teploty, tlaku a rychlostí v závislosti na mechanických vlastnostech GFR a PTFE.
Polytetrafluoretylen.	Uhlíkové tkaniny (Hmotnostní podíl 25 %).	Byly hodnoceny tribologické vlastnosti těchto kompozitů při těžkých zátěžích.	Výsledky ukázaly, že tribologické vlastnosti kompozitu se zlepšily se zvýšením obsahu PTFE. Koeficient tření, opotřebení objemu a vzrůst teploty kompozitu se 6 nitěmi z PTFE byly ve srovnání s kompozitem bez PTFE sníženy o 65 % až 91 %.

Tabulka 11: Příklady kompozitů s polytetrafluorethylenovou maticí [60-62].

6. Využití kompozitních materiálů

6.1 Kompozitní materiály ve sportovním letectví

Sportovní letouny používají na svoji konstrukci velmi lehké materiály. Zejména se používají speciální slitiny a materiály vzniklé kombinací dvou i více druhů. Kompozitní materiály nahrazují klasické konvenční materiály v leteckém průmyslu. Jsou-li myšlena uhlíková vlákna, měli by snést až desetkrát větší zatížení nežli hliníkové či ocelové materiály téže hmotnosti a délky, které se používali doposud. Znamená to tedy, že výrobci mohou snižovat hmotnost díky nízké hustotě kompozitních materiálů a přitom zvýšit pevnost. Pro sportovní i dopravní letadla to znamená, že budou mít nižší spotřebu a lepší ovladatelnost. Cenová relace na výrobu bude poněkud vyšší, ale sníží se náklady na provoz a údržbu daných dílů [63].

Na konstrukce křídel či sendvičových trupů jsou používány především uhlíkové materiály. Jak již bylo zmíněno pro odlehčení křídel a trupu se používá tzv. sendvičová konstrukce, která je vyplněna voštinovou konstrukcí. Sendvičové konstrukce jsou již běžnou součástí leteckých konstrukcí. Vyrábějí se na vnější vrstvy většinou v kovové podobě, například tenké hliníkové, duralové, titanové nebo ocelové plechy, tak i vyztužené plasty. Jádro je většinou z hliníkové nebo nomexové voštiny nebo pěny. Voštinová konstrukce se uplatnila i ve světě vozů F1 i při projektování výškových budov [63]. Na obrázku 12 jsou vyobrazena letadla se zcela kompozitovým tělem z CFRP.



Obrázek 12: Letadla se zcela kompozitovými tělem z CFRP (vlevo závodní letecký speciál a vpravo ultra lehký kluzák) [64], [65]

Díly pro ultralehká letadla se také mohou vyrábět vakuovou technologií. Takto vyrobené díly pro letadla mají vysokou houževnatost, pevnost a především nízkou hmotnost [66].

Vakuová technologie lití je vhodná pro výrobu menších prototypových výrobků a finálních dílů. Vyrábí se desítky až stovky kusů s přesností jako je metodou vstřikovací, ale nemusí se vyrábět vstřikovací forma běžně vyrobená z kovu. Doba výroby je závislá na počtu kusů, ale také na velikosti a složitosti jednotlivých dílů [67].

Významným českým výrobcem, který využívá kompozitních materiálů je firma Shempp-Hirth v Chocni. Vyrábí celou řadu celokompozitních větroňů Discus CZ a v Kutné Hoře firma HPH vyrábí celokompozitní kluzák Glasflugel G304. Letouny

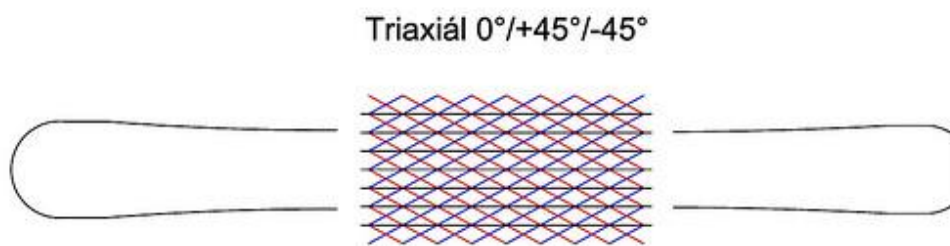
nové generace jsou nazývána ultra lehká letadla, kde spolu s Německem patří Česká republika k největším světovým výrobcům. Příkladem úspěšných a celokompozitních letadel je například UFM-13 Lambáda, UFM-10 Samba, TL-92 Star a mnoho dalších. Novinkami jsou letouny s pod názvem TL-2000 Sting Karbon, Samba XXL, či VL-3. Tato letadla jsou české výroby [63].

6.2 Kompozitní materiály v lyžařství

Na výrobu lyží se dřív používalo jasanové dřevo, což byl materiál, který vykazoval nejlepší vlastnosti pro výrobu lyží. Dnes se již samostatně vyrobené dřevěné lyže nevyrábí. Většinou je kombinováno s jinými materiály, pro zlepšení vlastností. Lyže vyrobené z jasanového dřeva (Jasanky) měly ideální pružnost, tvrdost, dobrý přenos sil, ale hlavní nevýhodou byla hmotnost lyže. Při výrobě dnešních lyží se bere ohled na jejich ovladatelnost, hmotnost, účel, odolnost, životnost a tuhost. To vše zaručují kompozitní výtuhy, například laminační tkaniny. Vlákna v lyžích mají jistou orientaci, které zachytávají síly působící na lyže. [68]. Orientace vláken je znázorněna na obrázku 13 až 16.

Triaxiál 0°/+45°

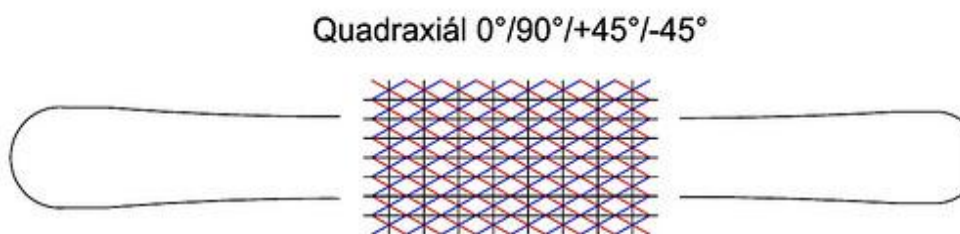
Vlákna zachytávající torzní a podélnou tuhost



Obrázek 13: Orientace vláken v lyži (Triaxiální tkanina 0°/+45°/-45°) [68]

Quadraxiál +/-45°/90°

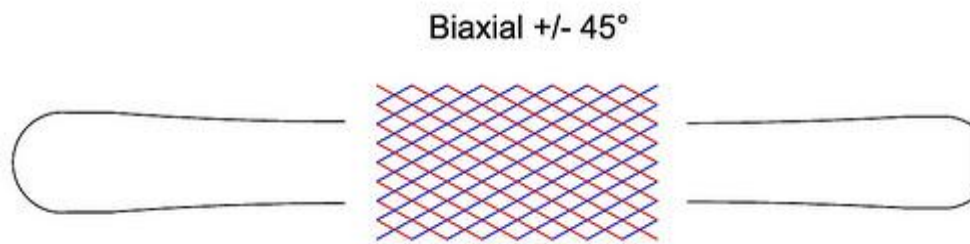
Výborné vlastnosti vykazuje tkanina quadraxiál, která zachytává všechny směry



Obrázek 14: Orientace vláken v lyži (Quadraxiální tkanina 0°/90°/+45°/-45°) [68]

Biaxiál +/- 45°

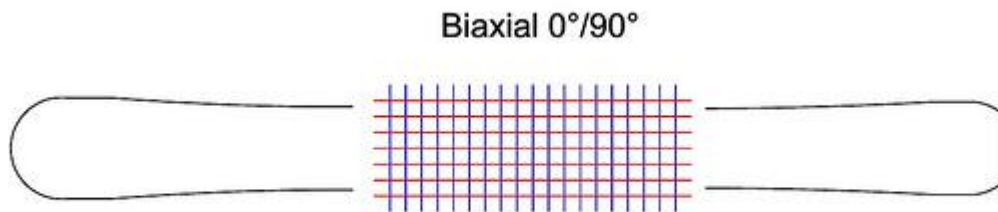
Vlákna biaxiální pod úhlem 45° zachytávající torzní tuhost



Obrázek 15: Orientace vláken v lyži (Biaxiální tkanina +/-45°) [68]

Biaxiál 0/90°

Vlákna biaxiální pod úhlem 90° zachytávající podélnou a příčnou tuhost



Obrázek 16: Orientace vláken v lyži (Biaxiální tkanina 0°/90°) [68]

Nejvíce používanou tkaninou, která se používá k laminaci lyží, je do jisté míry skelné vlákno. Jeho hmotnost je sice jeho velkou nevýhodou, ale zato je levné, tvrdé a houževnaté. Další tkaninou, která se k tomuto účelu využívá, je uhlíkové vlákno. Výhodou tohoto materiálu je především to, že při stejné hmotnosti je asi 3x tužší než již zmíněné skelné vlákno. To nabízí jisté výhody. Příkladem je použití menšího množství materiálu. Výsledkem menšího množství materiálu je snížení hmotnosti, přičemž bude tuhost lyže větší. Uhlíková výztuha dosahuje mnohem lepších vlastností, než skelná, a proto i cena materiálů vyrobených z uhlíkových výztuh je o poznání vyšší. [68].

Jelikož je výrobek z CFRP poměrně drahý, vytvářeli konstruktéři jedinečnou strukturu materiálu, která by převyšovala vlastnosti skelného vlákna, při podobné ceně. Snahou bylo vytvořit materiál, který by dosahoval stejných nebo přibližně stejných vlastností jako má CFRP. Takovým materiálem je například lněné vlákno (Flax). Je o 30% tužší než skelné vlákno, má velmi dobré tlumící účinky, což ani skelné vlákno ani CFRP nemají, navíc vykazuje velkou houževnatost. Cena výsledného materiálu je velmi podobná jako u CFRP materiálů. Dalším typem jsou tzv. High-tech lyže, kde se používají výše zmíněné tkaniny. Konečná podoba uspořádání vláken v materiálu není pevně daná. Nadále se hledá správné složení, které bude vykazovat nejlepší konstrukční vlastnosti pro dané účely. Konstruktéři, kteří se zabývají výrobou lyží, spojily například moderní CFRP s flax a tento celek nabízí uživatelům velmi zajímavou houževnatost,

tuhost a dokonce tlumící účinky [68]. Obrázek 17 znázorňuje rozdíl mezi dřevěnými a moderními kompozitovými lyžemi.



Obrázek 17: Rozdíl mezi dřevěnými a moderními kompozitovými lyžemi (vlevo jasanové lyže (Jasanky) a vpravo kompozitové lyže) [69], [70]

6.3 Kompozitní materiály ve sportovní lukostřelbě

Při lukostřelbě se využívá široký výběr luků. Odlišují se materiály, ze kterých jsou vyrobeny, účelem a konstrukcí. Existují luky cvičné, tradiční, sportovní a nejmodernější kladkové. Na sportovní lukostřelbu se výhradně používá luk sportovní, jelikož jeho výkonnostní parametry daleko převyšují například dřevěné luky [71].

Sportovních luky, jsou skládané z kompozitového nebo kovového středu a kompozitového ramene. Cena se odvíjí od materiálu, který je na luk použit. Cenově dražší středy luků jsou například z výkovku duralu a levnější středy z odlitků. Na výrobu kompozitového středu se nejčastěji využívá CFRP. Ramena luků se často vyrábí z kompozitu sklolaminátu a dřeva, nebo CFRP, které vykazuje daleko lepší vlastnosti, především tuhost a hmotnost [71].

Aby byl luk kompletní, musí obsahovat další komponenty. Například musí mít tětívu, zaměřovač, stabilizátor a základnu šípů. Sportovní luky se používají hlavně při různých závodech v lukostřelbě. Hlavním takovým závodem může být olympijská sestava na 70m. Dále pak při střílení sestav 3D závodů a WA Field [71]. Velikost a tvar sportovního luku je znázorněna na obrázku 18.



Obrázek 18: Sportovní luk [72], [73]

Kompozitové šípy

Nedílnou součástí každého luku je šíp. Je stejně důležité koupit správný šíp s dobrou tuhostí jako luk. Pokud je šíp velmi tuhý, může se stát, že při výstřelu z luku odskočí a není tím pádem veden. Je-li však v opačném případě měkký, bude mít tzv. dlouhý kontakt s lukem a bude tím ovlivněna zadní část. Šípy se liší především cenou, délkou, materiálem, účelem, hmotností, tloušťkou stěn, ale také průhybem [74]. Na obrázku 19 je znázorněno využití CFRP materiálu na šíp.



Obrázek 19: CFRP šíp [75]

Komponenty šípů

Součástí šípu je například hrot šípu, kormidla, končíky a různé drobnosti k olepení šípu. Velikost těchto součástí musí odpovídat délce, hmotnosti a průměru trubky šípu. Záleží také na tom, jestli je luk sportovní či ne. Při použití sportovního luku, který má větší ústřovou rychlost, se používají menší kormidla šípu. Tyto kormidla se lepí na přípravcích, které se nazývají lepičky šípu, na nichž se nastavuje nejvhodnější úhel kormidel. Jediná výjimka, kde se nelepí kormidla, jsou speciální šípy. Hroty a končíky šípů mohou být například z gumy, mosazi, kovových slitin, ale také i z kompozitu CFRP [76]. Obrázek 20 znázorňuje druhy komponentů.



Obrázek 20: Druhy komponentů (vlevo hrot šípu a vpravo kormidla šípu) [77], [78]

CFRP trubky šípů

Pokud umožňují pravidla používání CFRP šípů, jsou nejvhodnější pro všechny druhy luků. Vynikají nízkou hmotností, vysokou tuhostí, pevností a díky těmto vlastnostem je nemožné materiál ohnout (zůstávají dokonale rovné). Tělo trubky může být čistě jen z uhlíku jako například Carbon Express, Carbon One, Cross-X, nebo trubky, které jsou vytvářeny kombinací A/C – hliník/uhlík. Skládají se z duralového jádra, na kterém je obalová vrstva z CFRP. Příkladem může být Easton A/C/C, A/C/E, X10. Ty jsou pak vhodné ke sportovní střelbě z reflexních a kladkových luků [79].

6.4 Kompozitní materiály na výrobu hokejových holí

Hokej je neustále se vyvíjející sport, a proto se stále přichází s modernějšími materiály používanými na výrobu hokejových holí. I když jsou hokejové hole na první pohled stále stejné, dochází k přechodu z dřevěných holí na kompozitové hole [80]. Velmi běžná forma dřevěné hole je vyrobena ze speciálně lisovaného dřeva a sklolaminátu, který se využívá na čepel hole pro zvýšení její životnosti. Jak již zaznělo, kompozity se začínají v dnešní době čím dál více prosazovat, a proto mají příznivci dřevěných holí menší výběr, než tomu bylo před lety [81].

Rozdíl mezi dřevěnou a kompozitovou holí

Hlavním rozdílem mezi holemi je hmotnost a rychlost střely. Kompozitová hůl má velmi nízkou hmotnost a to okolo 400 – 450 gramů. Při srovnání dřevěné a kompozitové hole bylo zjištěno, že kompozitová hůl má o 25% rychlejší střelu a samotná manipulace a přihrávky jsou pro hráče méně náročné. Toto tvrzení potvrzují hlavně brankáři, kteří uvedli, že chytání střel z kompozitových holí je více náročné. Hůl se při střele lehce dotkne ledu a ohne se. V holi se nahromadí velké množství energie, která se následně převede do puku, který letí mnohem rychleji [80].

Dřevěná hůl funguje sice na stejném principu, ale dřevo nemá takové vypružení jako kompozit. Proto jsou kompozitové hole nejpoužívanější zejména na profesionální úrovni. Jednou z dalších výhod je životnost hole. Není tajemstvím, že hráči za sezonu dokáží zlomit i jedenáct holí ze dřeva. Při použití kompozitové hole se spotřeba sníží přibližně na tři hole. Většinou však záleží na úrovni hry a na používání hole. Kompozitová hůl není nezničitelná a hráč při nesprávném či agresivním hokeji může zlomit holí i pětadvacet. Člověk, který se rozhoduje mezi dřevěnou a kompozitovou holí řeší především cenu. Dřevěná hůl vyjde na pár stovek a kompozitová v průměru i na pět tisíc [80].

Složení hokejové hole

Hůl se skládá ze dvou částí. První část se jmenuje shaft neboli tělo a druhá část se jmenuje blade neboli čepel [81]. Základním složením je především epoxidová pryskyřice, která v holi zaujímá matricové místo, to jest hmota, která drží materiál pohromadě. Dále pak obsahuje kevlarová, titanová, uhlíková a skelná vlákna. Ty plní funkce výtuhy [80]. Obrázek 21 zobrazuje materiální rozdíl kompozitové hole a dřevěné hole.



Obrázek 21: Rozdíl mezi kompozitní a konvenční holí (vlevo kompozitová hůl a vpravo dřevěná hůl) [82], [83]

6.5 Kompozitní materiály v cyklistice

Cyklistika je neustále se vyvíjející sport, a proto se výrobci kol snaží cyklistům nabídnout široký sortiment jízdních kol s různými vlastnostmi, které jsou pro dané využití potřeba. Důležitými vlastnostmi, které se vyžadují od rámu jízdních kol, jsou pevnost, poddajnost a nízká hmotnost. Obecně se tyto vlastnosti vzájemně odporují, jelikož je těžké vyrobit materiál takových vlastností [84].

Na výrobu rámu jízdních kol, se již dávno nevyužívá jen ocel, ale také různé druhy slitin. Obecně jsou požívané slitiny oceli, hliníku a titanu. Příkladem nejpoužívanější slitiny na výrobu rámu je dural, který je slitinou mědi a hliníku. [85].

Dalším materiálem, který se využívá k výrobě rámu je CFRP nebo již zmíněný titan. Tyto novodobé materiály nahrazují ve velké míře ty současné, tím ale není myšleno, že ocelové rámy se již nevyrábějí. Důvodem proč se ocel již tolik nepoužívá, je hlavně její hmotnost. Dalším aspektem je koroze, která zasahuje celý rám, pokud není ošetřena korozivzdornou vrstvou. Další možností jak ocel ochránit před korozi je přidání chromu a molybdenu, čímž vznikne chrom-molybdenová ocel, která korozivním účinkům odolává. Cena takto upravené oceli je díky přidaným prvkům a náročnosti výroby poměrně vysoká. Předpokládá-li se, že CFRP či titan budou mít lepší vlastnosti než ocel, bude cena těchto materiálů taktéž výrazně vyšší než u oceli. Hlavním rozdílem není jen ve hmotnosti a ceně, ale v technologických možnostech obrábění. Pokud je člověk jen rekreačním cyklistou, postačí mu nejpoužívanější rám ze slitiny mědi a hliníku (dural) [85].

Kombinace CFRP, oceli a duralu

Konstruktéři jízdních kol kombinují jednotlivé materiály za účelem lepších vlastností, než kterých by dosáhly samostatně. Jednou z možností jak zlepšit vlastnosti jízdního kola, je například kombinace oceli s CFRP či duralu s CFRP. Vidlice by měla v ideálním případě pružit ve spodní části. S příchodem rovných vidlic se uplatnilo odpružení korunky i sloupku. Kombinací CFRP nohy s duralovým sloupkem, pro přední vidlici se nijak nelepší vlastnosti, jelikož u této kombinace se výhoda CFRP nemůže

plně projevit. Korunky a sloupky vidlice jsou důležitými prvky na jízdním kole, jelikož mají velký vliv na jízdní vlastnosti. Pokud však zkombinujeme CFRP vidlici s ocelovým sloupkem nebo dutou korunkou, výsledky se projeví na lepších jízdních vlastnostech, nižší hmotnosti a zmírnění vibrací. Jízdní kolo, které je zcela složené z CFRP vykazuje nejideálnější vlastnosti, ale záleží také na velikosti rámu [84].

CFRP kompozity

Jedná se o kompozity, které jsou vyrobené z CFRP a mají díky působení synergického jevu takové vlastnosti, které jsou pro homogenní materiály nedosažitelné. V cyklistice není materiálu, který by byl lehčí a pevnější. Materiál se na sebe skládá ve vrstvách tak, aby bylo možné dosáhnout vlastností, které od něj požadujeme. Výhodou tohoto materiálu je jeho korozivzdornost a nejpříznivější únavová charakteristika. To znamená, že stárnutí probíhá velmi pomalu. Výhoda tohoto materiálu tkví v ovlivňování absorpce rázů vhodnými úhly nápletů, typem vláken a skládáním vrstev. Pouhým poměrem hmotnosti a pevnosti, lze jednoznačně určit, že CFRP kompozit je oproti ostatním materiálům vhodnější. Použitím kvalitních materiálů a optimální technologie výroby se zvýší i cena produktu [86].

Výroba kompozitových rámu

V cyklistice se používá mnoho materiálů, ale nejvíce peněz směřuje na vývoj kompozitních materiálů, ze kterých se následně vyrábí jízdní kolo. V posledních letech byl zaznamenán velký pokrok v lepení kompozitů. Řada výrobců měla ještě před 10 lety podstatně velký problém s lepením CFRP s jinými materiály, jako je slitina hliníku a problém byl také v rozdílných teplotách, při kterých se materiály různě roztahovali. Z tohoto důvodu se lepidla a technologie lepení definují mechanickou a chemickou přípravou materiálu před započatým lepením. Kombinace odlišných materiálů se spolehlivě využívá jak v cyklistice, tak i v letectví a kosmonautice. Dnes již existuje celá řada správných a vyrovnaných způsobů k výrobě CFRP rámu [86].

Způsoby vlepení

První metoda spočívá ve vlepení CFRP trubky do trubky kovové, která je často tvořena slitinou hliníku nebo titanu. Tyto trubky slouží jako spojky. Tato metoda umožňuje snadnou opravu rámu po poškození a výrobu rámu pro uživatele na míru. Pokud je rám vyráběn na míru, je zapotřebí kvalifikovaného personálu, který vypočítá síly působící na rám a přesně uvede počet vrstev a úhly nápletů. Výrobní náklady díky kvalifikovanému personálu a pracné metodě jsou vysoké [86].

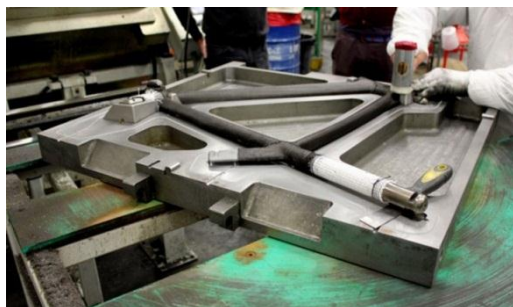
Druhým způsobem jsou CFRP spojky, do kterých jsou vlepeny CFRP trubky. Tato metoda se svými vlastnostmi velmi podobá předchozímu způsobu. Na výrobu spojek se musí nejdříve vyrobit forma. Ta umožní jednoduchou sériovou výrobu, jelikož rám se v této formě ve speciálním přípravku skládá jako stavebnice. Na sestavování je potřeba zaškolit osobu, která tento výkon bude vykonávat. Kvalita celého výrobku je závislá na kvalitě spojek, které by měli být vyrobeny z kompozitu s direktními vlákny

(přímé vlákna). I přesto se stává, že výrobci vyrábějí spojky z izotropního kompozitu, který již nedosahuje takových vlastností jako anizotropní. Důvodem takto vyrobených spojek je zlevnění výroby. Následný problém spočívá v silnějších stěnách, což má za následek vyšší hmotnost. Nevýhodou této metody je forma, která sice umožňuje sériovou výrobu, ale neumožňuje stavět individuální rámy.[86].

Třetím způsobem je monokokový rám (rám z jednoho kusu), u kterého je prvotní investice poněkud vyšší, z důvodu vyrobení různě velkých forem pro různě velké rámy. Tato metoda se nejvíce využívá při masové výrobě, při které se dosahuje nízkých cen. Je možné dosáhnout skvělých vlastností, pokud je však dodržováno správných úhlů a kladení vrstev. Mnoho výrobců však neprovádí analýzu sil, které působí na rámy. Tím není provedena analýza, optimalizace úhlů nápletů, orientace vláken, profilace a počet vrstev. Většinou se využívá návrh z funkčních testů. Nejčastěji se využívá univerzální CFRP tkanina, která má všesměrové charakteristiky. U takto vyrobených rámu není možnost vyjít vstříc závodníkům podle jejich představ [86].

Poslední čtvrtý způsob je založen na výrobě přesných „laděných“ částí rámu. Ty nejsou vleповány do připravených spojek, ale rovnou jsou spojovány a sestavovány do celku, který je přesně definovaný, pomocí anizotropního kompozitu. Tento způsob výroby může provádět jen osoba, která je profesionální a tvůrčí. Je zapotřebí hodně ruční práce. Díky této metodě se vyrábí nejlehčí rámy o hmotnosti 850g [86].

V současné době je nabízeno mnoho CFRP rámu a jsou rozděleny cenově a kvalitativně. Každý výrobce jistě značky, již nabízí CFRP rámy, ale většinou jsou z Asie. Proto se stejné rámy vyskytují u více značek. Velice často se stává, že výrobci či prodejci nazývají rám CFRP, ačkoliv je vyroben z levnějších vláken. Tento materiál pak nedosahuje takových vlastností jako je tomu u „pravého“ CFRP a čím dál více firem takové rámy nekupují. Raději si začaly výrobu rámu objednávat u specializovaných výrobců, které tyto rámy vyrábí velmi kvalitně. Zajímavým aspektem je, že Evropa vyrábí kompozity z 35%, Asie 30%, Severní Amerika 25%, Jižní Amerika 4% a zbývajících 6% padá na zbytek světa [86]. Na obrázku 22 je vyobrazena forma na CFRP rámy spolu s hotovým rámem.



Obrázek 22: Vlevo forma na CFRP rám a vpravo CFRP rám [87], [88]

6.6 Kompozitní materiály pro kanoistiku

Kánoe jsou definovány jako lodě poháněné jednostranným pádlem, které kormidluje jeden či více pádlařů. Jejich výhodou je nízká hmotnost, díky které se dají jednoduše přenášet přes jezy, které nejsou sjízdné. S hmotností je spjata rychlost a obratnost kánoe. Při zdolávání peřejí dokáží odolávat vlnám a jejich rázům.

Před nástupem moderních materiálů se kánoe vyráběli z březové kůry. Kůra se sloupala, následně máčela a poté se sešivala pomocí smrkových kořinek. Následně se sešitá kůra připevňovala na borty (bok lodi). Dovnitř byly vkládány ohýbaná žebra, která se prokládala úzkými lamelami. K výrobě se používal červený cedr. Tento celek musel být utěsněn směsí sádla, smrkové smůly a dřevěného popela [89].

Hlavním zástupcem moderních kompozitových kánoí jsou laminátové kánoe. Výroba sportovních kánoí začala přibližně v šedesátých letech. K výrobě se používá epoxidová a polyesterová pryskyřice, dále pak skelné vlákna. Novějšími materiály jsou kevlarová a aramidová vlákna, která výrazně snižují hmotnost. Mezi vrstvy tkanin a pryskyřice se občas přidává i pórovitý materiál, například extrudované styreny. Tato mezivrstva zvyšuje tuhost trupu a snižuje hmotnost [90].

Výroba probíhá tak, že se staví do vnitřního kopyta, tj. forma neboli budoucí tvar kánoe. V první řadě se nanese probarvený gel coat, který stanovuje kvalitu a barvu povrchu. Pokračuje se v nanášení tkanin, které se vrství a prosycují pryskyřicí. Konečnou úpravu zajišťuje vnitřní gel coatem, který stanovuje jak estetiku, tak kvalitu vnitřku. Pro výrobu je používáno více druhů pryskyřic, které tvrdnou buď, při zvýšené teplotě nebo při běžné teplotě. Takto zhotovená kánoe je teprve skořepinou, ke které musí být přidělané příčky, bortové latě, sedačky a srdíčka. Tyto doplňky jsou ze dřeva, hliníku nebo plastu [90]. Na obrázku 23 je znázorněna výroba laminátové kánoe, stavěná do vnitřního kopyta a výsledného produktu vyrobeného z aramidových vláken zalité polyesterovou pryskyřicí.



Obrázek 23: Vlevo laminace kánoe a vpravo kompozitní produkt [91], [92]

Pádla:

Pádlem se rozumí jednoduché sportovní náčiní, které vodák využívá k ručnímu pohonu kánoe. Je vyráběno z mnoha materiálů, například ze dřeva, hliníku, plastu, kevlaru nebo uhlíkového vlákna. U kajakářského pádla bývají listy vůči sobě pootočený a nejčastěji svírají mezi sebou úhel 90°. Přetáčením pádla je zatěžováno zápěstí a bylo zjištěno, že na divoké řece takové přetočení nemá podstatný význam, a proto výrobci úhel snižují

na 45°, 30°, 15° a nebo i 0°. Kdyby se jezdilo s nulou tak by problém s pravými a levými pádly byl odstraněn. Ale to bohužel nejde, jelikož úhel je opodstatněn použitím. Větší úhel pootočení je výhodný při pádlování proti větru a ve slalomových branách, na druhou stranu menší úhel šetří zápěstí, ramena a využívá se pro freestyle [93].

Na výrobu listů pádel se využívá mnoho materiálů. Příkladem je dřevo, termoplast, kompozity a vstříkovaný plast kombinovaný s vlákny jako jsou například CFRP a sklo. Při použití termoplastového listu a žerdě z duralu se stává komplet odolný, lehký a levný. Je možno využít i dřevěných celků, u kterých je však cenová kategorie vyšší. Pro náročnější vodu se využívají kvalitnější pádla vyrobená z kompozitových materiálů a vstříkovaných plastů s vlákny. Nejčastěji se využívají kevlarová, skelná a uhlíková vlákna zalitá polyesterovou nebo epoxidovou pryskyřicí. Takto vyrobená pádla jsou velmi lehká a dosahuje se preciznějšího tvarování, při kterém je zachována pevnost [93].

K pádlu patří samozřejmě i žerdě což je plocha, za kterou držíme pádlo. Pro zvýšení komfortu a zlepšení kontroly nad pádlem se místo úchopu žerdě upravuje tak, že se vytvoří ovalita. Průřez žerdě je oválný, hlavní osa je kolmá na rovinu listu pádla. Ovalita bývá většinou na straně řídicí ruky a díky tomu šetří klouby, zápěstí a lokty, přičemž zlepšuje využití síly v záběru. Cenově dostupné žerdě bývají vyrobeny z duralu, který dostává svou pevnost, avšak nepružní jako kvalitnější kompozitní materiál. Proto se využívá kompozitu i na tuto část pádla jelikož má velmi specifické vlastnosti, které jsou závislé na jeho složení. Mohou být velmi tvrdé, ale zároveň pružné, lehké a především pevné. Tradičně používané dřevo se na výrobu žerdí používá už jen v turistice, nebo u speciálních pádel. Výhodou dřeva je pružnost a pevnost. Nevýhodou dřeva je jeho nízká trvanlivost oproti ostatním materiálům [93]. Na obrázku 24 jsou znázorněny různé tvary pádel, které jsou dány úhly listů a kompletní pádlo.



Obrázek 24: Nahoře druhy listů a dole kompletní pádlo [94], [95]

6.7 Kompozitní materiály ve fotbale

Brankové konstrukce

V roce 2009 byl zahájen výzkum a vývoj týkající se fotbalových branek, zejména kvůli četným nehodám, při kterých došlo k vážným zraněním a dokonce úmrtím po pádu fotbalové branky na děti. Výroba kompozitových branek byla podnícena řadou tragických událostí [96].

Společnost Technofiber získala licenci a stala se tak majitelem a držitelem práv na výrobu kompozitových branek, které zakoupili od firmy Centrum pro výzkum, vývoj a inovace (CVVI). Z počátku vývoje bylo postaveno pár typů branek, které byly testovány v Praze na ČVUT. Z výsledků bylo zjištěno, že nejbezpečnější konstrukce jsou vyrobeny z kompozitu. Kompozitový materiál je vyroben ze sklo-epoxidového materiálu. Materiál se skládá takzvaným pletením na trn, přičemž je dosahováno nízké hmotnosti a velmi dobrých mechanických vlastností [96].

Kompozitové branky sice jdou převrátit, ale mnohem hůře a to díky jinému rozložení hmotnosti. K převrácení branky je zapotřebí 17krát více energie než u duralové brankové konstrukce a oproti ocelovým potřebuje 12krát více energie. Pokud by však došlo k převrácení, následky nebudou tragické, jelikož horní část je natolik odlehčená, že nezpůsobí žádná zranění. Při volném pádu brankové konstrukce je vyvinuta kinetická energie působící 5x menší silou než u duralové branky a 3x menší silou než je tomu u ocelových. Zvláštností kompozitových branek je především jejich snadná rozebíratelnost a vzhledem k jejich poměrně nízké hmotnosti se dají bezpečně a bez větší námahy přenášet. Myšlenkou a cílem bylo vytvořit velmi lehkou konstrukci, s dobrými mechanickými vlastnostmi a odolností proti klimatickému prostředí [96].

Branková konstrukce je při volném uložení dostatečně stabilní z důvodu základny, která je zesílená a má tvar písmene „U“. Základna slouží k mnoha účelům. Například k upínání sítě, vymezuje prostor branky, ale slouží také ke vztyčení dvou tyčí a břevna. Díly ze kterých se branka skládá, do sebe zapadají v místě rohů velmi snadno [96]. Obrázek 25 znázorňuje bezpečnost branek při zatížení čtyřmi dospělými lidmi proti převrácení a obrázek 26 demonstruje, při jakém náklonu by branka musela být, aby se samovolně převrhla.



Obrázek 25: Bezpečnost brankové konstrukce při zatížení čtyřmi osobami [96]



Obrázek 26: Demonstrace náklonu, při kterém by branka spadla samovolně[96]

Maska Petra Čecha

Většině fanoušků je znám úraz Petra Čecha, který se stal při ligovém zápase v Blackburnu. Ke zranění došlo již v 9. minutě, když ho nechtěně poranil spoluhráč Ashley Cole. Po zápase byl Petr Čech okamžitě odvezen do nemocnice, kde mu byla zjištěna zlomenina nosu. Maska byla vyrobena na míru v Miláně, kde byl udělán i odlitek obličeje. Maska je složena z uhlíkových vláken, které jsou zality epoxidovou pryskyřicí [97, 98]. Obrázek 27 znázorňuje využití kompozitního materiálu z CFRP, která má jasně viditelná uhlíková vlákna.



Obrázek 27: Ochranná maska z CFRP [99]

7. Orientační ceny sportovního vybavení

Tabulka 12. znázorňuje cenovou dostupnost sportovního náčiní z konvenčních a kompozitních materiálů střední třídy.

Typ sportovního náčiní	Cena konvenčních materiálů střední třídy [Kč]	Cena kompozitních materiálů střední třídy [Kč]
Hokejová hůl: Fischer W250 SR / Fischer CT450 Grip SR	499	2799
Rám: Rock Machine Manhattan 40 29" / Rock Machine 29" Explosion 50	9510	39890
Sjezdové lyže: Dětské lyže Yate Kluzky 60cm / Fischer COMP PRO + RS 9 SLR	470	5499
Kánoe: Bert Basic / ZET Raptor	11990	24800
Luky: Dlouhý luk Sniper / Dark Hunter	5600	13870
Šípy: Dřevěný Motega / CFRP Dark Fire Strong	140	260

Tabulka 12: Orientační ceník pro rok 2017/1, podléhající sezónnímu výkyvu

8. Budoucnost kompozitních materiálů

Technologické pokroky byly vždy spojeny s využitím nových a dokonalejších materiálů, ať už se jedná o kámen, bronz, železo či polymerní hmoty. Významný pokrok přišel s polovodiči, díky kterým je možné urychlovat výzkumy skrze informační technologie a elektroniku [100].

Největší potenciál, pro budoucí produkty užívané v praxi, vykazuje kompozitní materiál. V mnoha odvětvích převyšuje vlastnosti dosavadně využívaných konvenční materiálů. Na základě toho Asociace Carbon Composites uskutečnila průzkum využití kompozitních materiálů a zjistila, že do roku 2020 naroste spotřeba o 10,6 % za rok. Z jejich výzkumu také vyplynulo, že by mělo dojít ke změně struktury v odvětví. V roce 2009 se díky hospodářskému propadu tomuto materiálu nedařilo, změna přišla v následujících letech 2010 až 2013, kdy se uhlíková vlákna na trzích stabilizovala. Dosahovalo se 10% růstu za každý rok. Velmi podobně na tom byl i trh s plasty, které se uhlíkovými vlákny vytvrzovali. Jejich nárůst byl však o něco větší okolo 10,5 % za rok. V roce 2013 byla spotřeba kompozitních materiálů, dle výzkumu Carbon Composites 72 000 tun. To znamenalo nárůst oproti roku 2012 o 9,1 % a obrát byl 9,4 miliardy USD. Je předpokládáno, že každý rok bude spotřeba růst o 10,6 %, to znamená, že v roce 2020 bude spotřeba okolo 146 000 tun. Co se týče obrátu, tak ten by měl dosáhnout 16 miliard USD [100].

Velkými lídry tohoto materiálu jsou a budou automobilový, letecký a také energetický průmysl. Obecným rozdělením plastů na reaktoplastové (duroplastové) a termoplastové je prokázáno, že se více používají reaktoplastové kompozity a jejich podíl na trhu je 76 %. Termoplastové kompozity mají však velmi dobré vlastnosti, lépe se tvarují, mohou se svařovat, recyklovat a mají jednodušší výrobní proces. Vznikla i elatomerová matrice, která se zatím moc nepoužívá. Předpokládá se, že tato matrice se bude v budoucnu používat běžně. Uhlíková vlákna nejvíce odebírá USA. Jak je známo USA má velmi silný zbrojařský a letecký průmysl. Obrát v USA s těmito materiály je 5 miliard USD. Evropa drží druhé místo. Obrát v Evropě je 4,7 miliard USD a využívají se především na letecký a automobilový průmysl. Další účel je pro větrné elektrárny a nelze zapomenout na vybavení ke sportu [100].

Ve sportu se využívá kompozitní materiál k výrobě luků, hokejových holí, rámu kol a mnoho dalších výrobků. Bez uhlíkových vláken si ani nelze představit dnešní sportovní vybavení. Plasty tvrzené uhlíkovými vlákny (CFRP) vykazují velký potenciál. Především u silničních a kolejových vozidel, ale vše záleží na ceně těchto materiálů. Výroba osobních automobilů se podílí na obrátu 46 %, nákladní vozidla 18 %, sportovní vozidla 15 % a vlaky 13 %. Automobily z moderních kompozitů začla vyrábět i automobilka BMW, která tyto materiály použila na vozy s označením „i“. Vozů řady i3 bylo v roce 2013 vyrobeno deně 100 kusů. Ostatní automobilky se už také zapojují do výroby, ale není jich tolik. Vyčkávají na nižší ceny kompozitů [100].

U vozů značky BMW se nejvíce uplatnil materiál CFRP a to zejména u elektromobilu BMW i3 a také u sportovního hybridního modelu i8. Budoucnost kompozitních materiálů vidí vědci z Fraunhoferova institutu, především v přírodních výztuhách a to

na místech kde není potřeba takové pevnosti. Představa je taková, že do kompozitních materiálů se bude přidávat dostupnější a především levnější materiály. Jedná se zejména o konopí, bavlnu, len a dřevo. Tyto materiály nemají za úkol nahradit uhlíková vlákna či jiné, ale doplnit cenovou propast mezi konvenčními a kompozitními materiály z uhlíkových vláken [101].

Jak již bylo zmíněno, tyto přírodní vlákna nemají nahrazovat stávající vlákna, ale vhodně nahrazovat v místech, kde není potřeba velké pevnosti. Vlákna z přírodních materiálů nemají takovou pevnost a ani životnost jako uhlíková. Zato jsou nejen dostupnější, ale i jednodušší na výrobu a levnější. Jelikož se jedná o přírodní vlákna, mohou se ekologicky spalovat a likvidace se výrazně zjednodušuje. Hlavní podmínkou pro vytvoření takovýchto materiálů je zejména výrobní proces. Ten však není dokonalý a proto se vědci zaměřili nejen na výzkum materiálů, ale také na výzkum výrobního procesu. K výrobě kompozitů z přírodních vláken je zapotřebí, aby vlákno bylo drsné, jelikož lépe reaguje s pryskyřicí. Současné stroje vyrábí vlákna velmi jemná, a proto zde nastává problém, který vědci musí vyřešit [101].

V současné době není zdaleka jasné, zda se tato přírodní vlákna budou využívat či ne, ale z pohledu nízké hmotnosti a relativně jednoduché a především levné výroby se to nedá vyloučit [101].

9. Závěr

- V současné době dochází k velkému rozvoji kompozitních materiálů a jejich využití v technické praxi, ale i v jiných odvětvích, průmyslu, zdravotnictví, sportu aj. Spotřeba kompozitních materiálů dle výzkumu Carbon Composites přesahuje 72 000 tun/rok.
- Nejvíce využívanými polymery v oblasti kompozitních materiálů jsou epoxidy, přičemž je u nich jasně vidět chronologický nárůst publikovaných článků. Další reaktoplasty také zaznamenali v poměru k epoxidům mírný pokrok.
 - V letech 2005 – 2010 bylo celkem publikováno 134 článků na téma fenolické kompozity. V rozmezí 2010 – 2015 bylo publikováno na 254 článků. Pro polyesterovou pryskyřici bylo v letech 2005 – 2010 publikováno 238 článků a v letech 2010 – 2015 to bylo již 372 článků. Největší pozornost byla věnována epoxidovým pryskyřicím, které dosáhly v letech 2005 – 2010 na 626 publikací a v letech 2010 – 2015 dokonce 967 publikací.
- Na základě níže uvedených faktů lze usuzovat, že zájem výzkumných pracovišť o termoplasty v souvislosti s vytvářením nových kompozitních materiálů se neustále v poslední době zvyšuje.
 - V letech 2005 – 2010 bylo publikováno 313 článků o polypropylenových kompozitech. V rozmezí 2010 – 2015 to bylo již 516 článků. Polyetylenové kompozity byly publikovány v roce 2005 – 2010 celkem 314 články a v letech 2010 – 2015 byl mírný nárůst na 471 článků. Dalšími zástupci termoplastů jsou polyvinylchloridové kompozity, kterých bylo publikováno v letech 2005 – 2010 jen pouhých 32 článků. V letech 2010 – 2015 byl výsledek už 77 článků. Poslední zástupce, který je zapotřebí zmínit je polytetrafluoretylenové kompozity. Mezi lety 2005 – 2010 bylo publikováno pouhých 50 článků a v rozmezí 2010 – 2015 se publikovalo 88 článků.
- Využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví je relativně rozsáhlé, avšak omezené obecně vyššími náklady na pořízení:
 - Letectví: využívání kompozitních materiálů v letectví pomalu, ale jistě ukončuje éru konvenčních materiálů. Z kompozitů se vyrábí trupy letounů i křídla a veškeré vnitřní vybavení, které je také vyráběno z kompozitu za účelem co nejnižší možné hmotnosti.
 - Lyže: v současné době jsou téměř všechny lyže vyrobeny na bázi kompozitních materiálů. U těchto lyží je možné snadněji dosáhnout požadovaných vlastností.

- Luky: konvenční materiály mají pořád své zastoupení jako cvičné či rekreační. Za luky sportovní se považují především kompozitové luky, využívané ke sportovním disciplínám.
 - Hokejové hole: hole z konvenčních materiálů (dřevo) se dnes vyrábí jen v malé míře. Většina profesionálních hráčů hraje již s kompozitovými holemi. Amatéři se spíše poohlédnou po levnější dřevěné holi.
 - Rámy jízdních kol: rámy vyrobené z konvenčních materiálů jako je ocel se vyrábí jen zřídka. Častěji je možné se setkat s rámy ze slitin například z duralu a v neposlední řadě z CFRP.
 - Kánoe: objem výroby konvenčních plastových a kompozitních kánoí je srovnatelný. Kompozitové kánoe mají tu výhodu, že mají nižší hmotnost.
 - Fotbalové brankové konstrukce: od roku 2009 je zahájen vývoj brankových konstrukcí na bázi kompozitů, jejich rozšíření je však malé vzhledem k vysokým nákladům na pořízení.
- Do budoucna se předpokládá, že každý rok bude spotřeba růst o 10,6 %, to znamená, že v roce 2020 bude spotřeba okolo 146 000 tun s obratem 16 miliard USD. Budoucnost kompozitních materiálů vidí vědci z Fraunhoferova institutu především v přírodních výztuhách, a to na místech kde není potřeba takové pevnosti.

Použitá literatura

- [1] KNIHA O KOMPOZITNÍCH MATERIÁLECH: BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [2] KNIHA O KOMPOZITNÍCH MATERIÁLECH: DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [3] Úvod do problematiky kompozitních materiálů. *Ortotikaprotetika.cz* [online]. VUT - FSI Brno: Ing. Jiří ROSICKÝ, CSc., Doc. Ing. Josef KLEMENT, CSc., 2012 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc4a791405f74c.htm>
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] Milyanfan-adobe-bricks-8038.jpg. In: *Wikipedia.org* [online]. 2007 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vep%C5%99ovice#/media/File:Milyanfan-adobe-bricks-8038.jpg>
- [6] Stavba roku. In: *Stavbaroku.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.stavbaroku.cz/db_image/site_large/2482.JPG
- [7] PECÁK, Radek. Trabant v posledních padesáti letech. In: *Aktuálně.cz* [online]. 2013 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/trabant-v-poslednich-50-letech/r~i:gallery:31028/>
- [8] Fronta: Azovská vojenská flotila v období 1943-1945. In: *Fronta.cz* [online]. Praha: Krojc, 2012 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.fronta.cz/azovska-vojenska-flotila-1943-1945>
- [9] Týden: Třicet let s raketoplány. In: *Tyden.cz* [online]. Praha: NASA, 2011 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/fotogalerie/tricet-let-s-raketoplany_4688/347371/
- [10] Silodrome: 1970 Shelby GT500 Mustang Fastback. In: *Silodrome.com* [online]. James McBride, c2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://silodrome.com/1970-shelby-gt500-mustang-fastback/>
- [11] Portál Zlín: Ortopedická protetika Zlín. In: *Portalzlin.cz* [online]. Zlín: A - ORTO, c2008-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.portalzlin.cz/a--orto-s-r-o--ortopedicka-protetika-zlin/>

- [12] Seibon: Carbon fiber GT wing. In: *Seiboncarbon.com* [online]. Los Angeles, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://seiboncarbon.com/store/products/carbon-fiber-gt-wing.html>Gg
- [13] Kompozitní materiály. *Kmt.tul.cz* [online]. Technická univerzita v Liberci: Doc. Ing. Karel Daďourek, 2008 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf
- [14] Co jsou to kompozitní materiály. *Gdpkoral.cz* [online]. 2009 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/co-jsou-kompozitni-materialy/w6>
- [15] Návrh a testování lepených spojů u modulu tramvaje. In: *Docplayer.cz* [online]. Zlín: Bc.Zdeněk Očadlík, 2012 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8256385-Navrh-a-testovani-lepenych-spoju-u-modulu-tramvaje-bc-zdenek-ocadlik.html>
- [16] Kompozitní materiály: Základy materiálového inženýrství. *Kmt.tul.cz* [online]. Technická univerzita v Liberci: Doc. Ing. Karel Daďourek, 2010 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/ZMI/06kompozityzmi.pdf
- [17] Tzbinfo: První místo v soutěži o stavební výrobek roku získala společnost Baumit. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Brandýs nad Labem: Baumit, spol., 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/120981-prvni-misto-v-soutezi-o-stavebni-vyrobek-roku-ziskala-spolecnost-baumit>
- [18] LI, Weiwei, Shan JING, Shubo WANG, Chao WANG a Xiaofeng XIE. Experimental investigation of expanded graphite/phenolic resin composite bipolar plate. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2016, **41**(36), 16240-16246 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.05.253. ISSN 03603199. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319916303743>
- [19] CHENG, Haiming, Huafei XUE, Changqing HONG a Xinghong ZHANG. Preparation, mechanical, thermal and ablative properties of lightweight needled carbon fibre felt/phenolic resin aerogel composite with a bird's nest structure. *Composites Science and Technology* [online]. 2017, **140**, 63-72 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.compscitech.2016.12.031. ISSN 02663538. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353816312969>
- [20] NAN, Ding, Jun LIU a Wen MA. Electrospun phenolic resin-based carbon ultrafine fibers with abundant ultra-small micropores for CO₂ adsorption. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2015, **276**, 44-50 [cit. 2017-04-28]. DOI:

10.1016/j.cej.2015.04.081. ISSN 13858947. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894715005719>

- [21] CHOE, Jaeheon, Minkook KIM, Jinwhan KIM a Dai Gil LEE. A microwave foaming method for fabricating glass fiber reinforced phenolic foam. *Composite Structures* [online]. 2016, **152**, 239-246 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.05.044. ISSN 02638223. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822316305797>
- [22] KIM, Seong Jin a Ho JANG. Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp. *Tribology International* [online]. 2000, **33**(7), 477-484 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/S0301-679X(00)00087-6. ISSN 0301679x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X00000876>
- [23] Polymery: Reaktoplasty. *Publi.cz* [online]. Ing. Luboš Běhálek, Ph.D, 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/21.html>
- [24] Polyesterová pryskyřice HAVELpol H 834-REA-40W (DCPD). In: *Havel-composites.com* [online]. Páraslavice: Havel Composites CZ, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/shop/17-Polyesterova-pryskyrice/3365-Polyesterova-pryskyrice-HAVELpol-H-834-REA-40W-DCPD.html?pls=0G>
- [25] GOPINATH, Ajith, M. Senthil KUMAR a A. ELAYAPERUMAL. Experimental Investigations on Mechanical Properties Of Jute Fiber Reinforced Composites with Polyester and Epoxy Resin Matrices. *Procedia Engineering* [online]. 2014, **97**, 2052-2063 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.448. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814035188>
- [26] ABU-JDAYIL, Basim, Abdel-Hamid I. MOURAD a Atif HUSSAIN. Investigation on the mechanical behavior of polyester-scrap tire composites. *Construction and Building Materials* [online]. 2016, **127**, 896-903 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.138. ISSN 09500618. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061816315884>
- [27] TRINO, A.S.M., C.S.M.F. COSTA, A.C. FONSECA, I. BARATA, E. JÚLIO, A.C. SERRA a J.F.J. COELHO. Novel composites from green unsaturated polyesters and fly ashes: Preparation and characterization. *Reactive and Functional Polymers* [online]. 2016, **106**, 24-31 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2016.07.004. ISSN 13815148. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1381514816301353>
- [28] PRASAD, G.L. Easwara, B.S. Keerthi GOWDA a R. VELMURUGAN. A Study on Impact Strength Characteristics of Coir Polyester Composites. *Pro-*

- cedia Engineering* [online]. 2017, **173**, 771-777 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.12.091. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705816344861>
- [29] RACHCHH, N.V., P.S. UJENIYA a R.K. MISRA. Mechanical Characterisation of Rattan Fibre Polyester Composite. *Procedia Materials Science* [online]. 2014, **6**, 1396-1404 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.mspro.2014.07.119. ISSN 22118128. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211812814004842>
- [30] Havel: Epoxidová pryskyřice. *Havel-composites.com* [online]. 2015 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/shop/22-Epoxidy-MGS/7-Epoxidova-pryskyrice-L-285-MGS.html?pls=0>
- [31] Koral: Materiály a vlastnosti. *Koral.biz* [online]. KORAL Tišnov, 2005 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.koral.biz/materialy-a-vlastnosti.htm>
- [32] Chytré bydlení: Epoxidová pryskyřice nachází široké uplatnění. *Chytre-bydleni.cz* [online]. Propeople marketing, 2012 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.chytre-bydleni.cz/epoxidova-pryskyrice-nachazi-siroke-uplatneni>
- [33] Hannover messe: První místo v soutěži o stavební výrobek roku získala společnost Baunit. In: *Hannovermesse.de* [online]. Hannover: Joint-stock company, 2016 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.hannovermesse.de/en/news/cfrp-a-lightweight-whose-time-has-come.xhtml>
- [34] DENG, Jun, Yonghui JIA a Hengzhong ZHENG. Theoretical and experimental study on notched steel beams strengthened with CFRP plate. *Composite Structures* [online]. 2016, **136**, 450-459 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.10.024. ISSN 02638223. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822315009563>
- [35] LIGODA-CHMIEL, Joanna, Romana Ewa ŚLIWA a Marek POCOCZEK. Flammability and acoustic absorption of alumina foam/tri-functional epoxy resin composites manufactured by the infiltration process. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2017, **112**, 196-202 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.041. ISSN 13598368. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836816331845>
- [36] VISAKH, P.M., O.B. NAZARENKO, C. SARATH CHANDRAN, T.V. MELNIKOVA, S.Yu. NAZARENKO a J.-C. KIM. Effect of electron beam irradiation on thermal and mechanical properties of aluminum based epoxy composites. *Radiation Physics and Chemistry* [online]. 2017, **136**, 17-22 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2017.03.032. ISSN 0969806x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969806X16306351>

- [37] YANG, Kang, Robert O. RITCHIE, Yizhuo GU, Su Jun WU a Juan GUAN. High volume-fraction silk fabric reinforcements can improve the key mechanical properties of epoxy resin composites. *Materials & Design* [online]. 2016, **108**, 470-478 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.06.128. ISSN 02641275. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264127516308905>
- [38] Polykarbonát-expert: Termoplast. *Polykarbonat-expert.cz* [online]. LANIT PLAST, 2013 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://www.polykarbonat-expert.cz/poradna/slovník-pojmu/termoplast/>
- [39] Polymery: Termoplasty - základní druhy. *Publi.cz* [online]. Ing. Luboš Běhálek, Ph.D, 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [40] Tribon: Polyethylen. *Georgefischer.cz* [online]. Tribon, 2012 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.georgefischer.cz/produkty/materialy/pe-polyethylen>
- [41] Shandong Donghong Pipe Industry: Steel wire mesh reinforced polyethylene composite pipe (SRTP) for water supply. In: *Dhguanye.com* [online]. Qufu City: Shandong Donghong Pipe Industry, 2016 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.dhguanye.com/en/index.php?c=content&a=show&id=603>
- [42] ZAPATA, Paula A., Maialen LARREA, Laura TAMAYO, Franco M. RABAGLIATI, M. Ignacio AZÓCAR a Maritza PÁEZ. Polyethylene/silvernanofiber composites: A material for antibacterial films. *Materials Science and Engineering: C* [online]. 2016, **69**, 1282-1289 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.msec.2016.08.039. ISSN 09284931. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493116308426>
- [43] YIM, Yoon-Ji a Soo-Jin PARK. Electromagnetic interference shielding effectiveness of high-density polyethylene composites reinforced with multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [online]. 2015, **21**, 155-157 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.04.001. ISSN 1226086x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1226086X14001981>
- [44] Petroleum: Polypropylen. *Petroleum.cz* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická: Ing. Daniel Maxa, Ph.D., c2007-2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/polypropylen.aspx>
- [45] Swiss Hobby: Terasové prkno WPC Compact Double Side. In: *Swisshobby.cz* [online]. Praha: SWISSGARDEN ČR, c2014 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.swisshobby.cz/terasove-prkno-wpc-compact-double-side/>

- [46] SULLINS, Theresa, Selvum PILLAY, Alastair KOMUS a Haibin NING. Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2017, **114**, 15-22 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.02.001. ISSN 13598368. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836816320522>
- [47] AKHTAR, Majid Niaz, Abu Bakar SULONG, M.K. Fadzly RADZI, N.F. ISMAIL, M.R. RAZA, Norhamidi MUHAMAD a Muhammad Azhar KHAN. Influence of alkaline treatment and fiber loading on the physical and mechanical properties of kenaf/polypropylene composites for variety of applications. *Progress in Natural Science: Materials International* [online]. 2016, **26**(6), 657-664 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.pnsc.2016.12.004. ISSN 10020071. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1002007116302283>
- [48] AK Plast centrum plastů: PVC-U. *Akplast.cz* [online]. AK Plast, c1995-2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.akplast.cz/pvc-u>
- [49] Plexiplast: Neměkčený polyvinylchlorid (PVC-U). *Plexiplast.cz* [online]. PLEXIPLAST, 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.plexiplast.cz/polyvinylchlorid-PVC.html>
- [50] Osma: KG-Systém (PVC)® - venkovní kanalizační potrubí. In: *Kanalizacezplastu.cz* [online]. Humpolec: Gebr. Ostendorf - OSMA zpracování plastů, c2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.kanalizacezplastu.cz/>
- [51] Stavebniny-Střechy: Okapový systém MARLEY. In: *Strechy-zamberk.cz* [online]. Žamberk: M.Galbavý, c2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.strechy-zamberk.cz/okap.htm>
- [52] Braunoviny: Elektrochirurgie a latexové rukavice. In: *Braunoviny.bbraun.cz* [online]. Redakce Braunovin: B. Braun Medical, 2009 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://braunoviny.bbraun.cz/elektrochirurgie-a-latexove-rukavice>
- [53] Ireceptář: Elektrochirurgie a latexové rukavice. In: *Ireceptar.cz* [online]. Targago: Magdaléna Krajmerová, c2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.ireceptar.cz/domov-a-bydleni/interier-a-vybaveni/krasna-podlaha-nemusi-byt-draha/>
- [54] BISHAY, I.K., S.L. ABD-EL-MESSIEH a S.H. MANSOUR. Electrical, mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride composites filled with aluminum powder. *Materials & Design* [online]. 2011, **32**(1), 62-68 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.matdes.2010.06.035. ISSN 02613069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306910004103>
- [55] MKHABELA, V.J., A.K. MISHRA a X.Y. MBIANDA. Thermal and mechanical properties of phosphorylated multiwalled carbon nanotube/polyvinyl

- chloride composites. *Carbon* [online]. 2011, **49**(2), 610-617 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.carbon.2010.10.006. ISSN 00086223. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008622310007165>
- [56] CoJeCo: Teflon. *Cojeco.cz* [online]. OPTIMUS: -red-, 2000 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=96088&s_lang=2
- [57] Fyzmatik: Teflon. *Fyzmatik.pise.cz* [online]. fyzmatik blog, 2009 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/21-teflon.html>
- [58] KAJMAN K: Teflon - Charakteristické vlastnosti. *Kajmank.cz* [online]. KAJMAN K CZ, 2006 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://kajmank.cz/Teflon-PTFE-vlastnosti/>
- [59] Direct Industry: Multilayer plain bearing / PTFE / composite / self-lubricated. In: *Directindustry.com* [online]. 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ggb/product-4800-1512447.html>
- [60] CHEN, Beibei, Jianzhang WANG a Fengyuan YAN. Synergism of carbon fiber and polyimide in polytetrafluoroethylene-based composites: Friction and wear behavior under sea water lubrication. *Materials & Design (1980-2015)* [online]. 2012, **36**, 366-371 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.11.034. ISSN 02613069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306911007941>
- [61] DEMIRCI, Mehmet Turan a Hayrettin DÜZCÜKOĞLU. Wear behaviors of Polytetrafluoroethylene and glass fiber reinforced Polyamide 66 journal bearings. *Materials & Design* [online]. 2014, **57**, 560-567 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.01.013. ISSN 02613069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306914000326>
- [62] SUN, Yousong, Qiang ZHANG, Lei GAO, Xianghui ZHOU, Yongqi CHENG a Peng ZHANG. Experimental study on tribological properties of carbon/polytetrafluoroethylene hybrid fabric reinforced composite under heavy loads and oil lubrication. *Tribology International* [online]. 2016, **94**, 82-86 [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1016/j.triboint.2015.08.019. ISSN 0301679x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X15003618>
- [63] JURAČKA, Jaroslav. *Aplikace kompozitních materiálů na letecké konstrukce: Composite material applications at aeronautical structures : zkrácená verze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2005. ISBN 80-214-2907-0.
- [64] Mé modely RC letadel: Nový model Extra 3.0m RedBull. In: *Blogspot.cz* [online]. Vlastimil Srna, c2009-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z:

<http://fockewulf190-shevrey.blogspot.cz/2010/10/novy-model-extra-30m-redbull.html>

- [65] Flying revue: Test Pipistrel Taurus. In: *Flying-revue.cz* [online]. Praha: Galileo Training, 2014 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.flying-revue.cz/test-pipistrel-taurus>
- [66] Charles composite production: Ultralehká letadla. *Charles.cz* [online]. CHARLES - Kompozity s.r.o., c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.charles.cz/letectvi/ultralehka-letadla/>
- [67] Evektor: Vakuové lití. *Evektor.cz* [online]. CHARLES - Kompozity s.r.o., c1999-2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/cz/rapid-prototyping>
- [68] Snow: Co tvoří lyži aneb tuhost, flexe, hmotnost a materiály. *Snow.cz* [online]. Pavel Božák, 2015 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://snow.cz/clanek/3654-co-tvori-lyzi-aneb-tuhost-flexe-hmotnost-a-materialy>
- [69] Rychnovský deník: Na jasanky se v Olešnici v Orlických horách postaví už tuto sobotu. In: *Rychnovsky.denik.cz* [online]. Rychnov nad Kněžnou: Redakce, 2016 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://rychnovsky.denik.cz/zpravy_region/na-jasanky-se-v-olesnici-v-orlickych-horach-postavi-uz-tuto-sobotu-20160121.html
- [70] Horydoly: Použité lyže mnoha značek. In: *Horydoly.cz* [online]. Praha: Up-Down Media, c2003-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.horydoly.cz/galerie/fotka/53840?backId=89362>
- [71] Archery: Sportovní luky. *Archery.cz* [online]. Praha: Stanislav Vidím, c2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.archery.cz/luky/sportovni-luky>
- [72] Lukostřelba: Popis mého nového sportovního luku. In: *Milda1111.blog.cz* [online]. Broumov: Miloš Stiller, 2010 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://milda1111.blog.cz/1007/popis-meho-noveho-sportovniho-luku>
- [73] Alík: Lukostřelba je sport pro každého. In: *Alik.idnes.cz* [online]. Praha: Tónínka, 2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://alik.idnes.cz/ctenari-pisi-alikoviny-07v-/alik-alikoviny.asp?c=A131110_222850_alik-alikoviny_jid
- [74] Archery: Šípy. *Archery.cz* [online]. Praha: Stanislav Vidím, c2013 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.archery.cz/sipy>
- [75] Outfit4events: Karbonové šípy 30". In: *Outfit4events.cz* [online]. Kadaň: Wellcrafted, c1997-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.outfit4events.cz/czk/produkt/5136-karbonove-sipy-30/>

- [76] Archery: Komponenty šípů. *Archery.cz* [online]. Praha: Stanislav Vidím, c2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.archery.cz/sipy/komponenty-sipu>
- [77] Outfit4events: Hrot šípů karbonového. In: *Outfit4events.cz* [online]. Kadaň: Wellcrafted, c1997-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.outfit4events.cz/czk/produkt/5131-hrot-sipu-karbonoveho/>
- [78] Free Bow Tradiční luky do každé ruky: Kormidla šípů Gas Pro Spin Vanes Wind 2". In: *Freebow.cz* [online]. Tišnov: FreeBow, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://freebow.cz/dily-na-sipy/597-kormidla-sipu-gas-pro-spin-vanes-wind-2.html>
- [79] Archery: Trubky šípů karbonové. *Archery.cz* [online]. Praha: Stanislav Vidím, c2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.archery.cz/sipy/trubky-sipu-karbonove>
- [80] Opravy hokejek: Kompozitové materiály ano či ne. *Opravyhokejek.cz* [online]. Vodňany, c2015 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.opravyhokejek.cz/clanky/kompozitove-materialy-ano-ci-ne-4.html>
- [81] Na ledě: Něco málo o hokejkách. *Naleded.cz* [online]. Karviná-Ráj: SuperKodéři, c2011-2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.naleded.cz/informace-o-hokejkach>
- [82] Blog.x-hokej: Reebok 6K a CCM U+10. In: *Blog.x-hokej.cz* [online]. Daniel Višňák, 2012 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://blog.x-hokej.cz/clanky/specialni-akce-na-hokejky-reebok-6k-a-ccm-u10>
- [83] TotalHockey: Hokejka Jofa 4020 Sr. In: *Totalhockey.cz* [online]. Praha: Outlet store, c2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.totalhockey.cz/hokejka-jofa-4020-sr>
- [84] Štěrba: Rámová alchymie. *Sterba-kola.cz* [online]. Praha, c2003-2016 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.sterba-kola.cz/item/ramova-alchymie>
- [85] Materiály používané pro výrobu rámu. *Cyklo.cz* [online]. Frýdek-Místek, 2002 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: [http://www.cyklo.cz/tipy/popis\(dily\)/ramy.htm](http://www.cyklo.cz/tipy/popis(dily)/ramy.htm)
- [86] Pells: Karbon a nanotechnologie. *Pells.eu* [online]. Brno: Ing. Libor Petřvalský, 2007 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.pells.eu/detail-zpravy/bkarbon-a-nanotechnologieb/>
- [87] Bikingpoint: El carbono de las bicicletas. In: *Bikingpoint.es* [online]. Barcelona: Laforja, 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.bikingpoint.es/blog/el-carbono-de-las-bicicletas/>

- [88] Merit bikes: Carbon frame MERIT Professor 29er. In: *Meritbikes.com* [online]. Praha: Nykon, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://meritbikes.com/cs/mtb/>
- [89] VOSÁTKA, Mirko. *Z deníku kapitána: vodácký oddíl od jara do zimy*. Praha: Leprez, 1997. ISBN 80-86061-07-8.
- [90] ZIZIUS, Zdeněk. *Rekreační plavidla: (stavba, opravy a plavba)*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. Polytechnická knihnice (SNTL). ISBN 80-03-00612-0.
- [91] Nautica servis: Laminování. In: *Nautica-servis.eu* [online]. Úžice: Nautica Servis, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.nautica-servis.eu/sluzby/laminovani/>
- [92] Tom-kajak: kajak ZET - TORO. In: *Tom-kajak.com* [online]. Liberec: Tomáš Krčil, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.tom-kajak.com/tom-kajak-2007-nabidka-kajaky.php>
- [93] MASON, Bill. *Song of the paddle: an illustrated guide to wilderness camping*. New updated ed. Buffalo, NY: Firefly Books, 1988. ISBN 1552090892.
- [94] Světoutdooru: To základní o pádlech. In: *Svetoutdooru.cz* [online]. Praha: Natálie Šírová, 2010 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/to-zakladni-o-padlech/>
- [95] Dvorský: Pádlo dvoudílné Sevylor KC-Compact 215. In: *Dvorsky.cz* [online]. Jilemnice: Shop Trading, 2010 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.dvorsky.cz/eshop/sport/letni-sporty/vodactvi/padla/padlo-dvoudilne-sevylor-kc-compact-215-257188.html>
- [96] Technofiber: Branky. *Technofiber.cz* [online]. Slavkov u Brna, c2010 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.technofiber.cz/branky.cz.html>
- [97] Aha!: Petr Čech má zlomený nos, a k helmě přidá i masku! Budu Batman!. *Ahaonline.cz* [online]. as, 2011 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.ahaonline.cz/clanek/sport/65769/petr-cech-ma-zlomeny-nos-a-k-helme-prida-i-masku-budu-batman.html>
- [98] Lidovky: Petr Čech: Z metru mi házeli balon do obličeje. *Lidovky.cz* [online]. Praha: Michal Hořejší, 2011 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://sport.lidovky.cz/petr-cech-z-metru-mi-hazeli-balon-do-obliceje-fz6-/fotbal.aspx?c=A111110_095003_ln-fotbal-repre_mih
- [99] IDnes: Brankář Čech chytat bude, po posledním tréninku se cítil dobře. In: *Fotbal.idnes.cz* [online]. Praha: Petr Šedivý, 2011 [cit. 2017-03-28]. Dostupné

z: http://fotbal.idnes.cz/brankar-cech-chytat-bude-po-poslednim-treninku-se-citil-dobre-p5w-/fot_reprez.aspx?c=A111110_185433_fot_reprez_pes

- [100] Technický portál: Kompozitní materiály čekají dobré roky. *Technickytydenik.cz* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-inovace/kompozitni-materialy-cekaji-dobre-roky_28759.html
- [101] Hybrid: Materiály budoucnosti v automobilovém průmyslu: bavlna, konopí, dřevo. *Hybrid.cz* [online]. Jan Grohman, 2015 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/materialy-budoucnosti-v-automobilovem-prumyslu-bavlna-konopi-drevo>