



TRENDY VO VYUŽÍVANÍ KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV V AUTOMOBILOVEJ VÝROBE

TRENDS IN THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Dušan SABADKA

Abstract: This article deals with composite materials and their applications in the mass production automotive industry. It analyzes composite materials in terms of their usability for the automotive applications in production and compares the selected components cost structure and production methods.

Abstrakt: Uvedený príspevok sa zaoberá problematikou kompozitných materiálov a ich uplatnenia sa vo veľkosériovej výrobe automobilov. Analyzuje kompozitné materiály z hľadiska ich využiteľnosti pre automobilové aplikácie vo výrobe a porovnáva jednotlivé nákladové štruktúry vybraných komponentov a výrobných metód.

Keywords: automotive industry, composite materials, carbon fiber composites, glass fiber composites

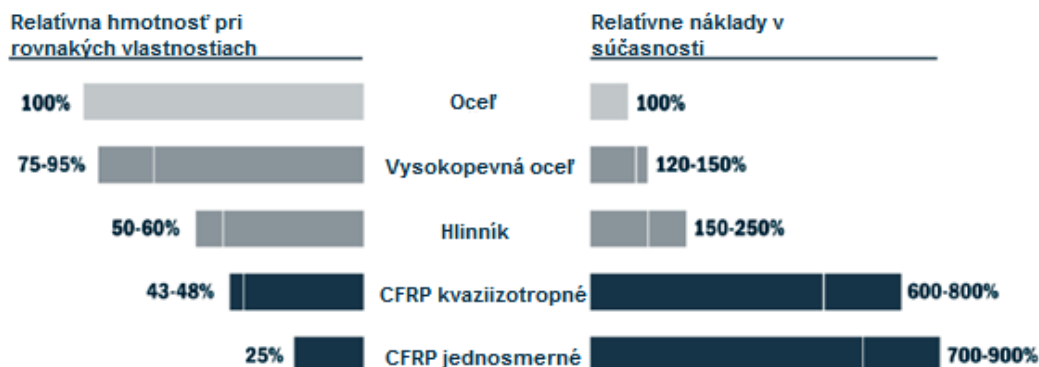
Kľúčové slová: automobilový priemysel, kompozitné materiály, uhlíkové vlákna, sklené vlákna.

Úvod

Jednou z najdôležitejších úloh automobilového priemyslu je znižovať hmotnosť vyrábaných automobilov. Týka sa to ako výrobcov automobilov tak aj dodávateľov a výrobcov polotovarov pre automobilový priemysel. Úlohou je použiť nové materiály, ktoré sú vhodné pre jednotlivé súčiastky ako z hľadiska technologického (tenkostenné výrobky) tak aj z hľadiska vyšších mechanických vlastností. Jednou z možností ako tento cieľ dosiahnuť je použitie moderných kompozitných materiálov. Avšak pokiaľ ide o sériovú výrobu súčasne je nutné zachovať, alebo znížiť výrobné náklady.

Kompozitom nazývame materiál v ktorom sú špecifickým spôsobom kombinované dva, alebo viacero komponentov s výrazne odlišnými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Pre automobilový priemysel sú najperspektívnejšie kompozity s uhlíkovými vláknami v kombinácii s epoxidovými matricami a kompozity so sklenými vláknami.

Medzi viacero dôvodov, ktoré v súčasnosti bránia širšiemu využívaniu kontinuálnych vláknových kompozitov sú jedným z dominantných faktorov náklady. Celkové náklady na komponenty sú výrazne vyššie ako diely vyrobené z tradičných materiálov. Na obr.1 je uvedený rozdiel v dvoch kľúčových parametroch – hmotnosť a súčasné náklady – pre automobilové komponenty, ktoré plnia identické funkcie, ale sú z rozdielnych materiálov. Zatiaľ čo CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics – kompozity vystužené uhlíkovými vláknami) majú značný potenciál v odľahčených konštrukciách – špeciálne pre časti, ktoré sú prevažne vystavené jednosmernému namáhaniu – ich náklady prevyšujú tradičné oceľové komponenty o viac ako 500%. Takýto istý vzájomný vzťah medzi nákladmi a prínosmi platí pre vysokopevné ocele a hliník. Významné zníženie hmotnosti môže byť dosiahnuté v návratnosti nákladov, ktoré sú niekoľkonásobne vyššie ako benefity zníženia hmotnosti.

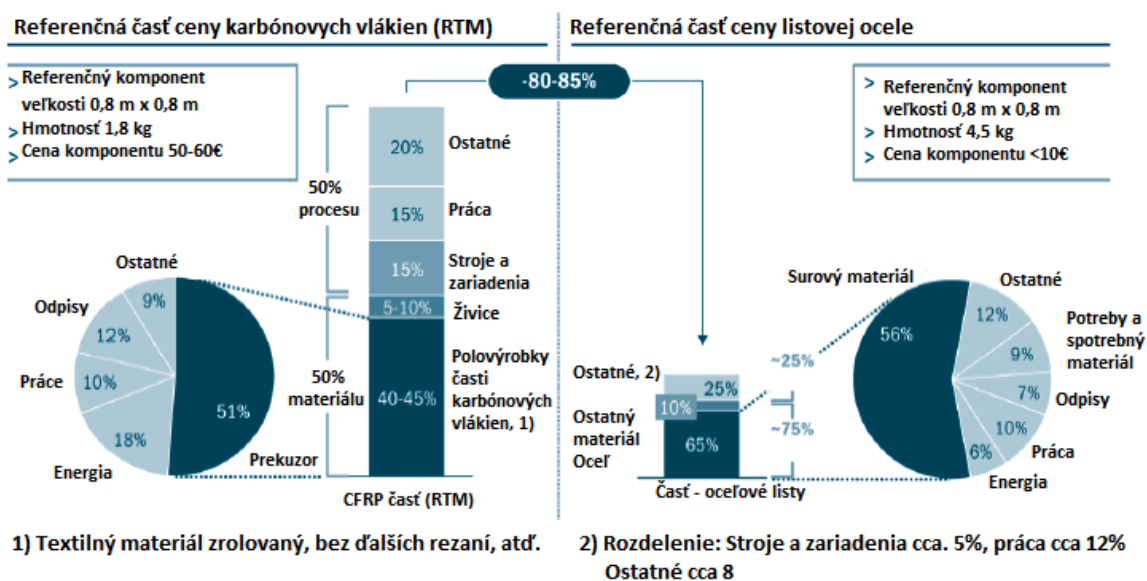


Obr.1: Porovnanie hmotnosti a nákladov pre vybraný automobilový komponent

V porovnaní s inými konštrukčnými materiálmi, majú vystužené vláknové kompozity na trhu len veľmi malé miesto. Zatiaľ čo každoročne je vo svete vyprodukovaných približne 1,3 miliardy ton ocele, produkcia GFRP (kompozity vystužené sklenenými vláknami) je cca od 4 do 5 milión ton a produkcia CFRP (kompozity vystužené uhlíkovými vláknami) je niekde na hranici 40000 ton, čo dohromady činí podiel menej ako 1% globálneho objemu produkcie ocele. Napriek skutočnosti, že úroveň nákladov a štruktúra nákladov bude stále závisieť do istej miery na konkrétnej časti, referenčné príklady môžu byť jednou z užitočných ciest ako identifikovať kľúčové faktory nákladov.

Nákladová štruktúra

Porovnanie nákladovej štruktúry medzi referenčným komponentom CFRP vytvoreným technológiou RTM (resin transfer moulding) a komponentom z ocele s podobnými funkciami odhaľuje hlavné rozdiely pokiaľ ide o kľúčové oblasti nákladov (obr.2).



Obr.2: Porovnanie nákladov na referenčnú časť v súčasnosti (CFRP) a listová oceľ

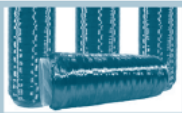
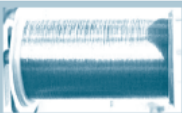


Samotné materiálové náklady v súčasnosti tvorí približne 50% celkových nákladov CFRP dielu vyrobeného technológiou RTM. Druhú polovicu tvoria výrobné náklady, náklady na prácu a zmiešané náklady ako energie a pod. Samotné uhlíkové vlákna sú najnákladnejšou časťou, predstavujú až 45% celkovej štruktúry nákladov.

Viac ako polovicu nákladov na uhlíkové vlákna na druhej strane možno pripísať jeho prekursoru – polyakrylnitrilu (PAN), ktorý musí byť vysokej kvality ak má mať uhlíkové vlákno vhodné požadované mechanické vlastnosti. V zložitom a energeticky náročnom procese, tento prekursor oxiduje a karbonizuje a v prípade vysoko-pružných vlákien grafituje. Celý proces prebieha pri teplotách nad 2000°C, v prípade vysoko-pružných vlákien 3000°C, preto je energetický podiel týchto procesov okolo 20% celkových nákladov na vlákna. Pretože proces prebieha v automatizovaných zariadeniach, práca predstavuje cca 10% celkových nákladov na vlákna – vzhľadom k tomu odpisy a iné fixné náklady činia cca 20%. Celkové náklady komponentu vyrobeného z oceľového plechu činia iba okolo 15 až 20% nákladov komponentu z CFRP, čo je približne ekvivalent podielu nákladov priradených na prekursor vlákien v komponente CFRP. Štruktúra nákladov je taktiež značne rozdielna pre komponent z oceľového plechu. Dominujú náklady na materiál, čo je podiel okolo 75% celkových nákladov, čo zodpovedá približne nákladom na železnú rudu. Z toho vyplýva, že výrobné náklady nie sú viac ako 25% celkových nákladov.

Materiálové inovácie – možnosti pre znižovanie nákladov

Vývoj v súčasnej dobe prebieha v takmer každom kroku v hodnotovom reťazci, od základných surovín až po jednotlivé kroky v oblasti výrobných metód. Skúmajú sa viaceré smery pre dosiahnutie rôznych stupňov potenciálneho zníženia nákladov do roku 2020 (Obr.3). Čo sa týka vlákien, za účelom tohto cieľa sa sledujú dve rozdielne prístupy. Pre uhlíkové vlákna je primárne zameranie sa na redukciiu nákladov na vlákna. Pre sklené vlákna je principiálnym cieľom optimalizácia mechanických vlastností. V prípade uhlíkových vlákien, sa vyvíjajú nové možnosti technológií, ktoré zahrievajú vlákna priamo na základe využívania mikrovln, alebo kombináciou mikrovln a plazmy. Súbežne je výskum zameraný na hľadanie možností pre modifikáciu technológie oxidácie a konečnej povrchovej úpravy. Druhá hlavná oblasť výskumu je zameraná na technológiu prekursoru, ktorá nie je založená na metóde PAN.

	Karbónové vlákna	Sklené vlákna	Matrica	Metóda výroby
Aktuálne oblasti rozvoja	 >Upravené konverzné metódy so zníženou spotrebou energie >Inovácia technológie prekursoru	 > Optimalizácia energie > Lepšie sklené vlastnosti (pevnosť v ťahu, tuhosť)	 >Rýchlejšie vytvrdzovanie matricových sys. >Vlastnosti na mieru > Termoplasty	 >Optimaliz. proces > Automatizácia >Koncové tvarované formy pomocou textilnej technológie >Organické listy
Potenciálne znížovanie cien až 2020	15-25%	5-10%	<10%	30-40%
Poznámky	> Alternatívne pre-kurzory dostatočnej kvality nie sú očakávané pred 2020	>Sklené vlákna ako tovar neprináša žiadne ďalšie významné výhody peňažné	>Kratšie cykly času priniesú ďalšie úspory vo výrobe komponentu	>Vysoký potenciál prakticky vo všetkých úrovniach spracovania reťazca

Obr.3: Inovácie a potenciál pre znižovanie nákladov v hodnotovom reťazci



Súčasný výrobný reťazec uhlíkových vlákien nemôže využiť úspory v celom rozsahu tak ako mnoho iných chemických procesov. Hlavné prevádzky, ktoré v súčasnosti produkujú uhlíkové vlákna (s ročnou kapacitou produkcie okolo 2000 ton na závod) sú z hľadiska výrobných technológií na maximálne-možnej využiteľnej úrovni. Väčšie prevádzky v súčasnosti dosiahli hraničné limity pokiaľ ide o stabilitu a spoľahlivosť procesu.

V krátkodobom až strednodobom horizonte nie sú známe žiadne prelomové inovácie vo výrobe uhlíkových vlákien, takže sa dajú očakávať redukcie nákladov max. o 15 až 20% pomocou prírastkového vývoja v súčasných technológiách.

Vývoj v oblasti sklenených vlákien sa sústreďí skôr na optimalizáciu mechanických vlastností vlákien ako na znižovanie nákladov. To je potrebné hodnotiť z toho hľadiska, že hlavné časti sklenených vlákien sú už vyrábané v Číne. Sklené vlákna sú považované za komoditu, ktorá má iba malý potenciál pre znižovanie nákladov. Priestor pre rozvoj sa skôr očakáva v špeciálnom chemickom zložení vlákien, ktoré zvyšuje pevnosť a tuhosť.

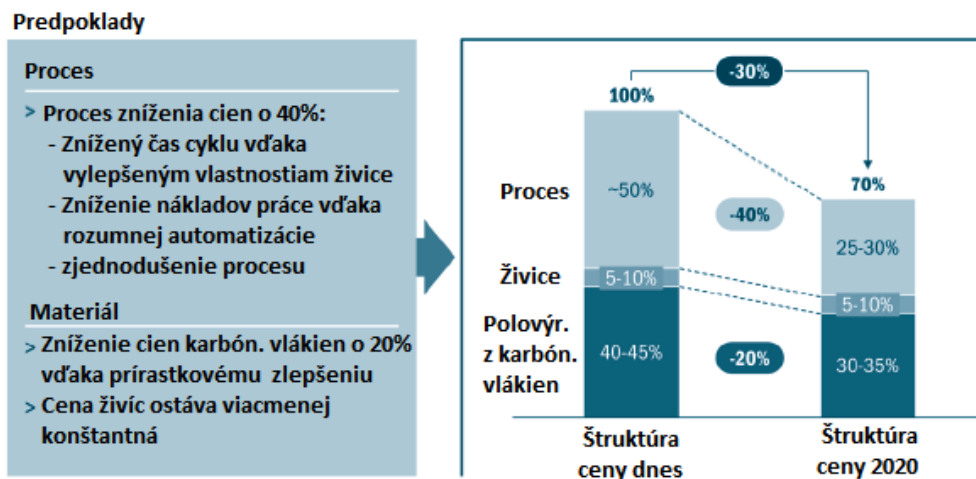
Čo sa týka materiálov matric, vývoj v segmente termosetov sa v súčasnosti zameriava na redukcii času vytvrdzovania, napr. pomocou tzv. rýchlo-vytvrdzovacích metód. Dosiahnuté úspory nevychádzajú priamo z materiálových nákladov, ale z využitia kapacity strojov vďaka kratším vytvrdzovacím cyklom. Ďalej sa pracuje na zlepšení vlastností živice optimálnou kombináciou mechanických vlastností a viskozity. Všetky metódy, ktoré impregnujú suché textilné polotovary výrobkov zo živice, sledujú minimalizáciu viskozity za účelom dosiahnutia optimalizácie impregnácie a rozptylu živice. Riziko je, že často nie je možné dosiahnuť optimálnu mechanickú pevnosť – to je priestor pre ďalší vývoj v tejto oblasti. Hlavným cieľom pre termoplasty je taktiež optimalizovať viskozitu bez poškodenia zvukových mechanických vlastností dosiahnutých vo vytvrdzujúcich fázach.

Taktiež pre vývoj materiálov matric, sa nevyvíja žiadna prelomová inovácia, ktorá by poskytovala významné zníženie nákladov v krátko, alebo dlhodobom horizonte. Naopak sa v tejto oblasti očakáva iba malé priame zníženie nákladov, menej ako 10%. Vývojové práce na redukcii časových cyklov by však mohlo priniesť významné zníženie prevádzkových nákladov.

Procesné inovácie – možnosti pre znižovanie nákladov

Podobne aj metódy a postupy pre časti výroby sú v súčasnosti predmetom pre intenzívny výskum a vývoj. Počas minulých 10 až 15 rokov, bolo vyvinuté široké spektrum variácií výrobných metód, mnoho z nich pre špecifickú časť špecifickej aplikácie. Napríklad vysokotlakové metódy RTM a široká škála špecializovaných vákuovo infúzných a kompresných technológií. Primárnym cieľom týchto hi-tech metód nebola snaha o znižovanie nákladov, ale skôr identifikácia realizovateľnosti a výrobitelnosti určitých komponentov, alebo súlad so špecifickými požiadavkami pre priemysel (napr. pre letectvo).

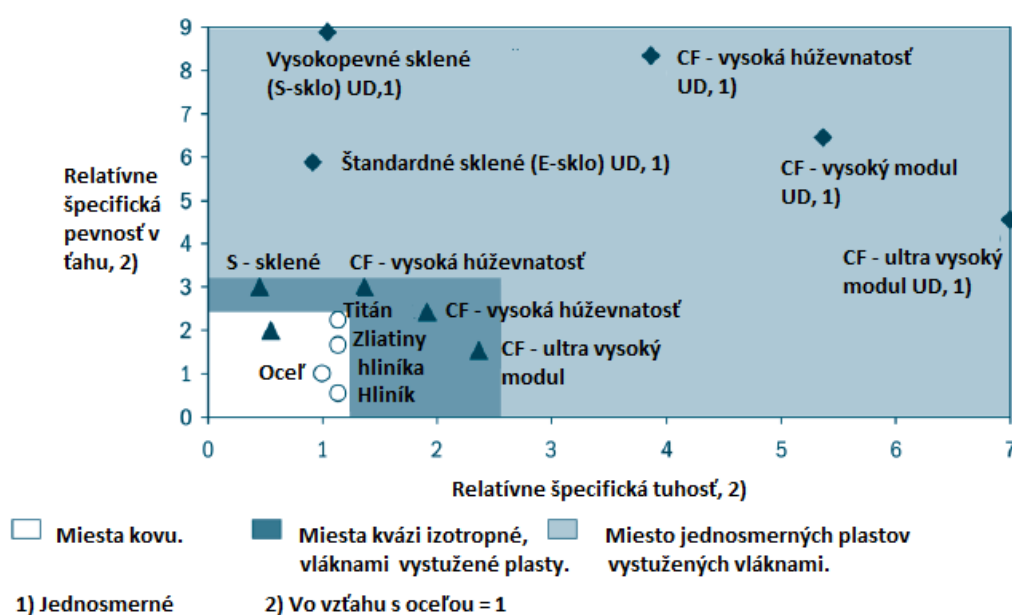
Avšak v posledných rokoch sa problematika nákladov dostáva čoraz viac do popredia a v súčasnosti má významnú úlohu pri vývoji nových procesov. Okrem zlepšení špecifických procesných krokov, je cieľom optimalizovať tok počas jednotlivých fáz výrobného procesu. Napr. BMW vynaložilo značné úsilie v tejto oblasti na tzv. i-projekty. Pritom boli prijaté zásadné kroky v oblasti industrializácie. Zmapovanie tohto vývoja štruktúry nákladov popísanej vyššie a očakávanej redukcie nákladov sa predpokladá, že náklady na komponent RTM sa môžu redukovať o cca 30% do roku 2020.



Obr.4: Potenciálne znížovanie nákladov do roku 2020 (modelová kalkulácia)

Ďalšie zlepšenia v procese simulácie vedú k zníženiu časti nákladov čo sa týka optimalizácie kompletného procesného reťazca ešte pred začatím produkcie. Okrem toho trendy ako multi-materiálové prevedenie a hybridizácia môžu mať taktiež v dlhodobom horizonte vplyv na vysokopevné vláknové kompozity a ich náklady. Vláknové kompozity môžu využiť naplno svoj potenciál až v kontexte hybridizácie.

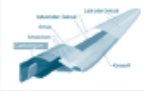
Ako môžeme vidieť na obr.5 kontinuálne vystužené vlákna sú špeciálne použiteľné v oblastiach s ťažkým namáhaním – ideálne v prípadoch s jednosmerným usporiadaním. Avšak takmer všetky aplikácie zahŕňajú aj oblasti s nízkou úrovňou namáhania. Preto časti, ktoré sú plne vystužené vláknami majú menej vrstiev vlákien v oblastiach, ktoré sú vystavené miernejšiemu namáhaniu s cieľom zníženia nákladov na jednotlivé diely.



Obr.5: Mechanické parametre vybraných materiálov

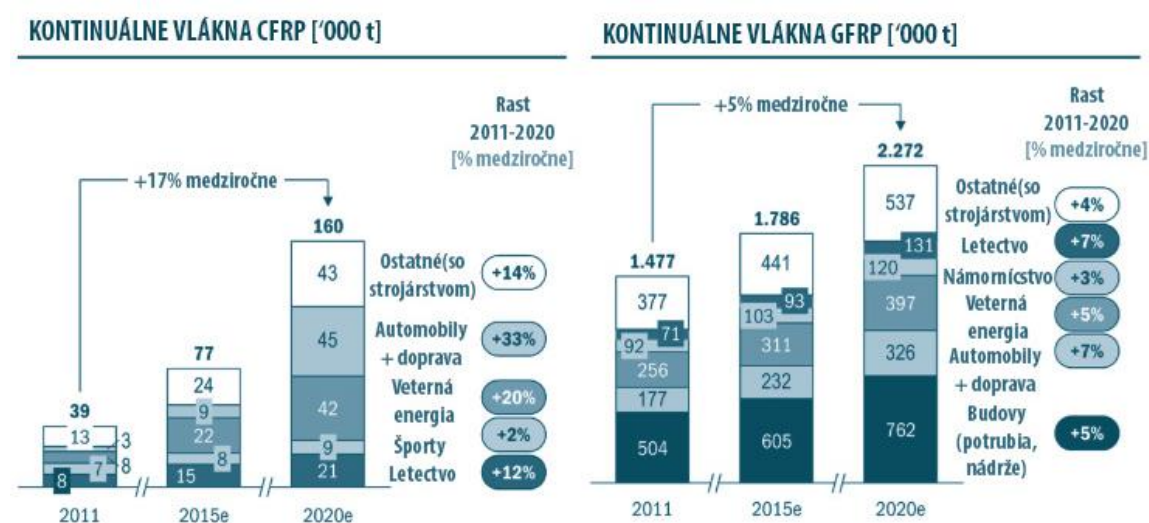


V tomto kontexte otvára hybridizácia značne väčší potenciál, napríklad tým, že úplne vylúči kontinuálne vlákna z nízko-napäťových oblastí (obr.6). Namiesto toho môžu byť tieto plochy vyrobené iba z plastov vystužených krátkymi alebo dlhými vláknami, ktoré sú vystužené materiálom z kontinuálnych vlákien pozdĺž zaťaženia. Podobne môžu byť nahradené aj niektoré uhlíkové vlákna menej nákladnými sklenými vláknami v miestach vystavených nízkej úrovni namáhania za predpokladu, že to neohrozi požadované vlastnosti. Kombinácia vlákien s kovovými prvkami môže taktiež priniesť významné výhody, napr. v oblastiach, ktoré sú vystavené značnému tlaku na povrchu materiálu, alebo musia absorbovať zaťaženia vo všetkých smeroch.

	Nepretržité vystužené vlákna CFRP/GFRP	Nepretržité vystužené vlákna FRP+oceľ	Nepretržité vystužené vlákna+ krátke/dlhé/plasty
Príklad			
Zdôvodnenie	*Využ. nákladovo efekt. sklených vlákien v obl., kt. podliehajú iba nízkemu zaťaženiu. *Cielene vystuženie v obl. s vysokým zaťažením využitím uhlíkových vlákien	*Kombinácia špecifických výhod FRP a ocele v jednom komponente, napríklad pre vysoko bodovo zaťažené ložiská	*Využitie nepretržitých vlákien len v oblastiach s vysokým zaťažením. *Zostávajúce oblasti, kde sú väčšie náklady efektívne využívané plasty vystužené krátkymi/dlhými vláknami alebo nevystužené plasty
Vhodné metódy	*Podtlakový posilňovač naplňovania živice *Ručná laminácia	*Živicové pretláčanie (RTM) *Podtlakový posilňovač *Ručná laminácia *Lisovanie	*Živicové pretláčanie (RTM) *Lisovanie

Obr.6: Hybridizácia vláknami vystužených kompozitov

Trhová prognóza pre kompozity vystužené uhlíkovými vláknami je znázornená na obr.7. Do roku 2020 je prognóza ročného rastu na úrovni 17% pre vysokopevné CFRP, pre GFRP je prognóza rastu o čosi slabšia na úrovni cca 5% ročne.



Obr.7: Trhová prognóza dopytu pre kompozity s kontinuálnymi vláknami

Nárast dopytu pre vysokopevné CFRP do istej miery značne závisí od odvetvia priemyslu. Na absolútnom vrchole je automobilový priemysel, v ktorom sa očakáva priemerný ročný nárast



viac ako 30% do roku 2020. Druhým odvetvím je odvetvie veternej energie, kde 20% nárast je stimulovaný hlavne technológiami GFRP pre dlhšie čepele rotorov a iné segmenty, vrátane inžinieringu, kde je predpokladaný nárast 14% ročne. Predpokladaný nárast dopytu pre kontinuálne GFRP bude rozložený oveľa rovnomernejšie naprieč rôznym odvetviami priemyslu. Pre letectvo, automobilový sektor, dopravu a jej aplikácie je predpoklad najsilnejšieho rastu okolo 7% ročne do roku 2020. Najslabšia miera rastu, cca 3%, sa predpokladá pre lodný priemysel.

Záver

Vzhľadom k vyššie rozoberaným vlastnostiam je pre použitie na časti automobilov čo sa týka kompozitov najvhodnejšia škrupinová štruktúra, z čoho vyplýva široké spektrum aplikácií ako v oblasti nosnej časti karosérie, resp. podvozku tak na jej povrchových paneloch, panloch interiéru a niektorých častiach motorového priestoru. V automotošporte je rozsiahle využitie kompozitných materiálov dnes relatívne bežné, ale u sériových automobilov nie. Vyššia cena samotného materiálu v súčasnej dobe bráni väčšiemu rozšíreniu vláknových kompozitov do sériovo vyrábaných automobilov iba čiastočne (cena uhlíkových vlákien stále klesá), hlavným problémom je ale časovo náročná, ťažko automatizovateľná a teda veľmi nákladná výroba komponentov z kompozitov. Prekážkou je taktiež problematická recyklácia reaktoplastov, používaných ako matrice. Použitie vláknových kompozitov je preto obmedzené na supersportovné automobily vyrábané v malých sériách, alebo na ojedinelé aplikácie u niektorých športových modelov sériovo vyrábaných automobilov.

Použitá literatúra

- [1] JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství kompozitů. Brno, 1999. 39 s..
- [2] STEIDL, Josef. Plasty a kompozity naplňují materiálové požadavky moderního strojírenství. MM Průmyslové spektrum. 2005, č. 1, s. 35..
- [3] ROLAND RERGER: Series Production of high-strenght composites. 9/2012. Roland Berger Strategy Consultants. 72 s. www.rolandberger.com
- [4] MARTENSSON, P.: Cost and weight effective composite design of automotive body structures. Stockholm, Sweden 2014. 36 s. ISBN 978-91-7595-151-5
- [5] SHAMA R., SIMHA T., RAO K., RAVI K.: Carbon composites are becoming competitive and cost effective. External document. Infos Limited 2015

Kontakt

Ing. Dušan Sabadka, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra automobilovej výroby,

Masiarska 74, 040 01 Košice, Slovensko

e-mail: dusan.sabadka@tuke.sk

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA 1/0879/13 – Agilné, trhu sa prispôsobujúce podnikové systémy s vysokoflexibilnou podnikovou štruktúrou.