



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA DÍLU ZE SKLOLAMINÁTU PRODUCTION OF FIBREGLASS LAMINATE PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

STANISLAV STOJANOV NENOV

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. KATEŘINA MOURALOVÁ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Stanislav Stojanov Nenov

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Výroba dílu ze sklolaminátu**

v anglickém jazyce:

### **Production of fibreglass laminate parts**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Představení firmy
3. Charakteristika procesu laminace
4. Příprava a výroba konkrétního dílu
5. Návrh na zefektivnění výroby
6. Technicko-ekonomické vyhodnocení
7. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce řeší ve spolupráci s firmou výrobu sklolaminátového dílu.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Mouralová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013. V Brně, dne 23.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu dílu ze sklolaminátu ve firmě Composite Components, a. s. V úvodní části představuje společnost a seznamuje stručně s její historií a náplní práce. Dále popisuje kompozity a jejich rozdělení, zaměřuje se na vstupní materiály pro výrobu sklolaminátu a různé technologie výroby dílů. Konkrétní vyráběný díl je popsán od fáze obdržení dat pro výrobu modelu a formy po výrobu dílu. Změnou technologie výroby dílu bylo dosaženo zefektivnění výroby, které je zhodnoceno v technicko-ekonomickém vyhodnocení.

**Klíčová slova**

kompozit, sklolaminát, ruční laminace, technologie RTM, sklovýztuž, pryskyřice, gelcoat

**ABSTRACT**

Bachelor's thesis is specialised in production of the fiberglass part in the company Composite Components, a. s. In the introductory part the company and shortly its history and production is introduced. In the next parts composites and their dividing are described with specialisation in input materials for fiberglass production and different production technologies. Concrete producing part is described from the period of receiving the data for production of the model and moulds to production of the part. With modification of the production technology production effectiveness is achieved, which is reviewed in the technical-economic evaluation.

**Key words**

composite, fiberglass, hand lay-up technology, RTM technology, fiberglass reinforcement, resin, gelcoat

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NENOV, S. S. *Výroba dílu ze sklolaminátu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřina Mouralová.

### **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba dílu ze sklolaminátu** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. 5. 2013

.....  
Datum

.....  
Stanislav Stojanov NENOV

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Mgr. Ing. D. Šimovi a Ing. K. Mouralové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
ABSTRACT.....	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	8
1 úvod .....	9
2 Představení firmy .....	10
3 charakteristika procesu laminace .....	11
3.1 Kompozity .....	11
3.1.1 Rozdělení kompozitů .....	12
3.1.2 Vlastnosti kompozitů .....	14
3.2 Sklolamináty .....	15
3.2.1 Vstupní materiály.....	15
3.2.2 Vlastnosti sklolaminátů.....	22
3.2.3 Technologie výroby sklolaminátů .....	22
4 Příprava a výroba konkrétního dílu .....	29
5 návrh na zefektivnění výroby .....	31
6 technicko-ekonomické vyhodnocení .....	36
6.1 Vstupní náklady .....	36
6.2 Ceny dílů .....	36
6.3 Zhodnocení.....	38
7 Závěr .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	40
seznam použitých zkratk a symbolů .....	42



## 1 ÚVOD

Kompozitní materiály hrají v dnešní době stále důležitější roli při výběru materiálu pro výrobu specifických dílů. V porovnání s ocelí a jinými kovy mohou nabídnout vyšší pevnost, nižší hmotnost, chemickou odolnost, odolnost proti korozi, aj. Tato práce bude zaměřena na kompozity tvořené polymerní maticí a výztuží ze skelných vláken, tj. sklolamináty. Ačkoliv je výroba klasického laminátu ve srovnání s jinými technologiemi zpracování plastů méně produktivní a nákladná z důvodu vysokých výrobních časů, zaujímá stále své místo při výrobě dílů s roční produkcí v řádu jednotek až tisíců kusů. Důvodem jsou mnohem nižší vstupní investice výrobního zařízení oproti moderním technologiím, jakými jsou např. RIM (Reaction injection moulding), SMC (Sheet molding compound), vakuové tvarování aj., kde kromě samotné technologie za miliony korun jsou cenově náročné i formy a přípravky vyráběné z oceli, hliníku a jejich slitin.

Jelikož jsem studentem kombinovaného studia a mám za sebou několikaletou pracovní praxi ve firmě Composite Components, a. s. (obr. 1), mým cílem je zúročit co nejvíce poznatků a zkušeností při tvorbě této práce a seznámit s technologiemi a postupy výroby laminátu a na konkrétním příkladě popsat proces vzniku finálního dílu dle požadavků zákazníka a zefektivnit výrobu změnou výrobní technologie. Část informací zde popsaných bude čerpána z interních dokumentů firmy a vlastních poznatků autora.



Obr. 1 Composite Components, a.s. [1].

## 2 PŘEDSTAVENÍ FIRMY

Akciová společnost Composite Components vznikla v roce 2007 odkoupením a převzetím výroby firmy KLN, která se nesprávným hospodařením dostala do insolvence. Navázala tak na dlouholetou historii výroby kompozitních a laminátových dílů v Choceňském regionu pro výrobce autobusů a kvalitativně náročnou leteckou výrobu.

V současnosti se Composite Components, a.s. zabývá výrobou dílů z laminátu převážně pro automobilový průmysl a výrobou modelů a forem. Mezi hlavní zákazníky patří výrobci autobusů Iveco (dříve Karosa), skupina VDL (Berkhof, Bova a Jonckheere), viz. obr. 2, a Heuliez Bus. Dále firma vyrábí díly pro zemědělské stroje (obr. 3), tramvaje a trolejbusy, klimatizační jednotky (obr. 3) a jiné průmyslové díly.



Obr. 2 Iveco Arway (vlevo) a VDL Futura HD (vpravo) [2, 3].



Obr. 3 Díly pro zemědělské stroje (vlevo) a klimatizační jednotky (vpravo) [4, 5].

Pro výrobu dílů jsou v závislosti na jejich konstrukci a počtu kusů za rok používány technologie ruční laminace, lehké RTM, vakuově-vypěňovací technologie a studené lisování. V současné době firma zaměstnává 100 zaměstnanců. Obrat tržeb za rok 2012 činil cca 137 mil. Kč.

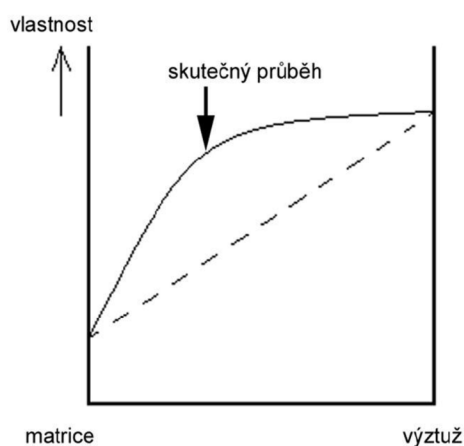
### 3 CHARAKTERISTIKA PROCESU LAMINACE

Ještě před tím, než bude popsán proces laminace dílu, je z mého pohledu důležité nejprve se zmínit obecně o kompozitech a dále se zaměřit konkrétně na sklolamináty, jejich vlastnosti, materiály, z kterých se vyrábí, a různé technologie výroby.

#### 3.1 Kompozity

Kompozitní materiály můžeme definovat z mnoha hledisek, např. jako heterogenní materiály skládající se ze dvou nebo více složek, které se výrazně odlišují svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jinými slovy je to materiál ze dvou nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho složek. Avšak podle této definice by mezi kompozity patřila většina přírodních a syntetických materiálů a slitin, například kovy tvoří slitiny, plasty obsahují různá plniva, apod. Proto je nutná ještě přesnější definice.

Za kompozit lze považovat materiál získaný kombinací dvou a více složek odlišného chemického složení a zároveň fyzikálních a mechanických vlastností, kde základní složkou je spojitá fáze (matrice) a sekundární složkou je nespojitá fáze (výztuž), nejčastěji v částicové nebo vlákenné podobě. Charakteristickým rysem kompozitu je výroba mísením jednotlivých komponent s tím, že objemový podíl vyztužující složky činí alespoň 5 %. Další důležitou vlastností je, že jednotlivé složky vstupující do systému zachovávají své charakteristiky, z kterých vyniknou především jejich přednosti (fyzikální, mechanické, chemické) a získaný materiál dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy ani prostým sečtením vlastností jednotlivých složek. Takové chování se nazývá synergismus (obr. 4). [6, 7, 8]



Obr. 4 Synergické chování kompozitu [6].

### 3.1.1 Rozdělení kompozitů

V současnosti existuje nepřehledné množství druhů kompozitních materiálů a nové přibývají. Z tohoto důvodu je nutné je třídit do skupin či je nějak klasifikovat. Kompozitní materiály lze rozdělit podle různých hledisek a řady parametrů, např. podle velikosti vláken výztuže, druhu výztuže, druhu matrice.

#### 3.1.1.1 Rozdělení podle vláken výztuže

- nanokompozity – příčný rozměr výztuže je v jednotkách nm,
- mikrokompozity – největší příčný rozměr výztuže se pohybuje v rozmezí  $10^0$  až  $10^2$   $\mu\text{m}$ ,
- makrokompozity – příčný rozměr výztuže je v řádu  $10^0$  až  $10^2$  mm.

Mikrokompozity nacházejí největší uplatnění v průmyslových odvětvích, zatímco makrokompozity se používají převážně ve stavebnictví. [8, 9]

### ***3.1.1.2 Rozdělení podle druhu matrice***

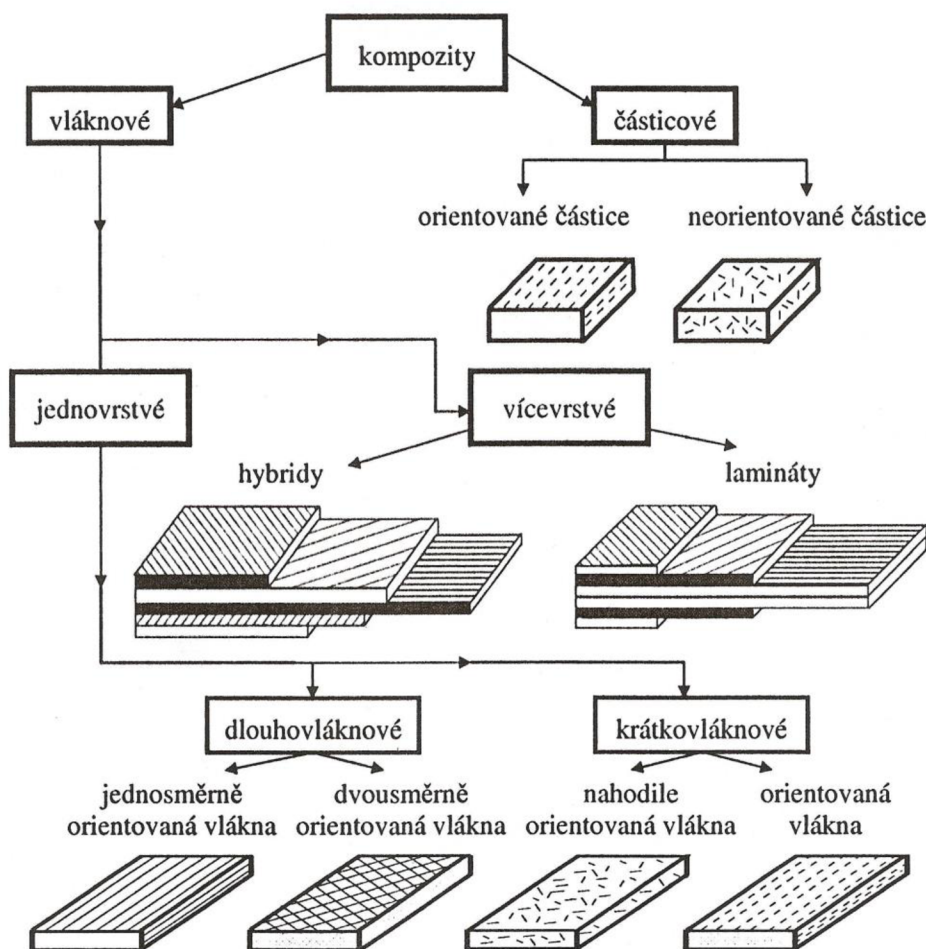
- kovová,
- polymerní,
- keramická,
- se skleněnými vlákny,
- s uhlíkovými vlákny.

Mezi nejvýznamnější kovové matrice patří slitiny hliníku, dále pak slitiny hořčíku, titanu, niklu, mědi aj. Nejpoužívanějšími jsou však matrice polymerní, z nich pak polyesterové pryskyřice. [7, 8]

### ***3.1.1.3 Rozdělení podle druhu výztuže***

- částicové – jeden rozměr vláken výrazně nepřesahuje ostatní rozměry,
- vláknové – vlákna jsou v jednom směru mnohem rozměrnější než v ostatních směrech,
  - s dlouhými vlákny,
  - s krátkými vlákny. [6]

Grafické schéma rozdělení kompozitů je znázorněno na obrázku č. 5.



Obr. 5 Rozdělení kompozitů podle druhu výztuže [11].

### 3.1.2 Vlastnosti kompozitů

Obecné vlastnosti kompozitů s polymerní matricí v porovnání s ocelí a hliníkem jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. 1 Srovnávací vlastnosti materiálů [10]

	Pevnost [Mpa]	Modul pružnosti [GPa]	Tepelná vodivost [W.K <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> ]	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]
Kompozity	250-900	17-45	0-0,7	1,6-2,0
Ocel	480-600	206	52-63	7,85
Nerez	630-650	210	33	7,7
Hliník	290	69-75	84-170	2,7

Z tabulky je patrné, že kompozitní materiály mají srovnatelnou a vyšší měrnou pevnost, přitom mají přibližně čtvrtinovou specifickou hmotnost např. proti oceli, z čehož plyne, že jejich použitím lze dosáhnout snížení hmotnosti konstrukce při dosažení stejné nebo větší pevnosti. U dílů vozidel hromadné dopravy, pro které vyrábí díly i Composite Components, a.s., to vede k významnému snižování spotřeby paliva, což se příznivě odráží i na menším zatěžování životního prostředí.

Z výše uvedené kapitoly je zřejmá ohromná škála kompozitních materiálů a jejich detailnější popis by byl nad rámec této práce. V dalším textu bude pozornost věnována především kompozitu s polymerní matricí vyztuženého vláknem- sklolaminátu, ať z hlediska materiálového, výrobního či technologického.

## **3.2 Sklolamináty**

Sklolamináty jsou v dnešní době dostupné v různých kombinacích základních složek, které dávají konečnému výrobku specifické vlastnosti, ať už jsou to různé druhy pryskyřice (polyesterová, vinylesterová, epoxidová, apod.), vyztuží (vlákna, rohože, tkaniny, rovingy, atd.) či další suroviny (peroxydy, urychlovače, retardéry hoření, aj.).

### **3.2.1 Vstupní materiály**

#### **3.2.1.1 Pryskyřice (matrice)**

Pryskyřice má ve sklolaminátu úlohu matrice, kterou lze jednoduše popsat jako pojivo vyztuže. Polymerní matrice jsou výrazně poddajnější než vlákna, jejich pevnost v tahu je menší než pevnost v tahu vláken. Hlavní funkcí matrice je zajištění celistvosti kompozitního tělesa, tzn. dokonalé spojení nosné části a vytvoření vnějšího tvaru, který musí zajistit řádnou funkci tělesa. Materiálové vlastnosti matrice a vláken musí být v souladu, aby bylo dosaženo optimálních vlastností celého kompozitu. [12, 13]

Specifické funkce matrice, jak ji popisují mnozí autoři, lze vyjádřit v následujících bodech:

- chrání výztuž proti vnějším vlivům, ať už se jedná o mechanické, fyzikální či chemické působení,
- spojuje jednotlivé částice výztuže,
- vytváří vnější funkční povrch dílu a jeho estetický vzhled,
- přenáší zatížení na vyztužující vlákna v místech vnějšího zatížení, v místech přerušení vláken, mezi vlákny u krátkovláknových kompozitů, mezi vlákny nerovnoměrně zatíženými, přemostuje trhliny ve vláknech,
- mezní poměrné prodloužení matrice musí být vyšší než mezní prodloužení vláken, zatímco pevnost vláken musí být větší než pevnost matrice. [8, 13, 14]

Nejpoužívanějšími matricemi pro výrobu sklolaminátů jsou matrice polymerní. Proti kovům mají nízkou měrnou hmotnost, vysokou měrnou pevnost, jsou odolné korozi a mají nízkou tepelnou a elektrickou vodivost. [8]

V praxi je nejvíce používanou pryskyřicí nenasyčená polyesterová pryskyřice (UP). Je to dáno řadou aspektů, např. přijatelnou viskozitou a tím dobrou aplikovatelností, snadným vytvrzením, obecně dobrými vlastnostmi a v neposlední řadě také nízkou cenou. [15] V závislosti na typu pryskyřice je důležité pro její vytvrzení používat iniciátory (peroxydy, nadouvadla).

Některé typy UP a jejich použití:

- *ortoftalová* – někdy se jí říká pryskyřice pro obecné účely a je charakteristická nejnižší cenou,
- *izoftalová* – vykazuje lepší vlastnosti vzhledem k předcházejícímu typu (chemická a tepelná odolnost),
- *speciální* – bisfenolová (vysoká chemická odolnost),
- *chlorftalová* – vyznačuje se nehořlavostí a má horší mechanické vlastnosti. [16]



### 3.2.1.2 Vlákna (výztuž)

Vlákno můžeme definovat jako útvar, jehož délka mnohonásobně převyšuje nad ostatními rozměry, především v porovnání délky k průměru. Vyznačuje se vysokou pevností a modulem pružnosti a je nosným prvkem laminátu. [8]

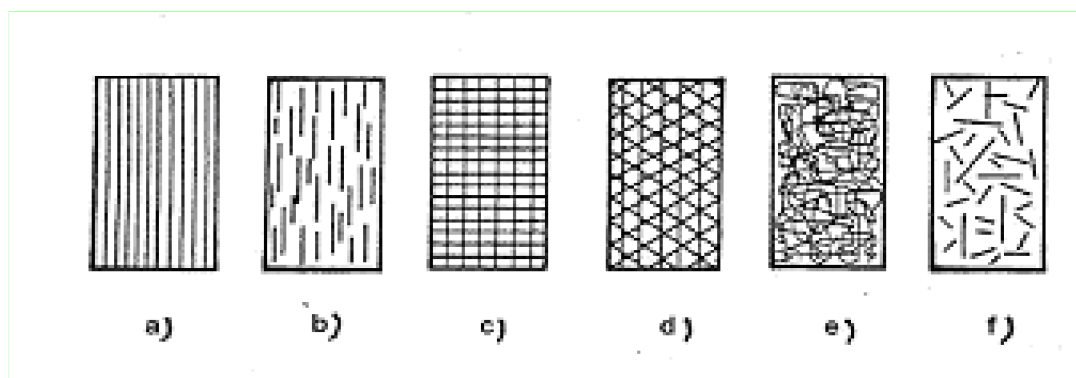
#### **Orientace vláken**

Orientace a délka vláken mají zásadní vliv na vlastnosti hotového výrobku. Mechanická odolnost příslušného výrobku je také velmi závislá na uspořádání vláken výztuže. V tomto směru existují tři možnosti, které jsou uvedeny ve vzestupném pořadí jejich zvýšené mechanické pevnosti:

- uspořádání nahodilým způsobem a to ve všech směrech (izotropní stav), příkladem jsou rohože,
- výztužná vlákna jsou uspořádána tak, že spolu svírají úhel  $90^\circ$  (anizotropní stav), příkladem jsou tkaniny – vyznačují se lepší mechanickou odolností než u izotropního provedení,
- výztužná vlákna jsou uspořádána v paralelním směru (jednosměrný stav), příkladem jsou rovingy a provazce. [8]

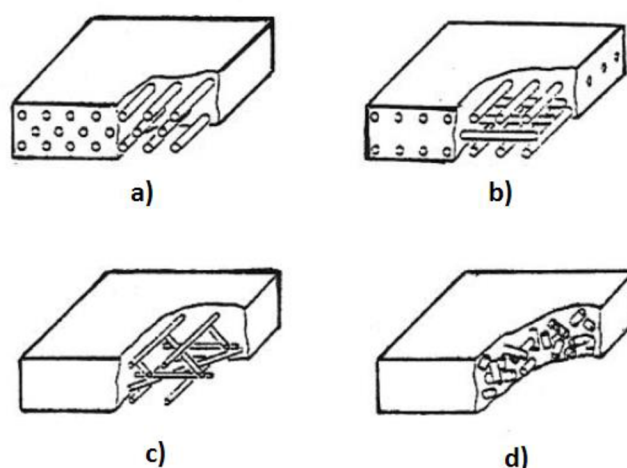
V praxi se setkáváme s výše uvedeným rozdělením interpretovaným takto (obr. 6):

- a) jednosměrná dlouhá vlákna,
- b) jednosměrná krátká vlákna,
- c) dvousměrné vyztužení (křížová tkanina),
- d) vícesměrné vyztužení,
- e) nahodilá orientace vláken,
- f) nahodilá orientace krátkých vláken.



Obr. 6 Uspořádání vláken výztuže [8].

Pro lepší představivost může posloužit 3D znázornění na obrázku č. 7.



Obr. 7 Prostorové uspořádání vláken výztuže [13].

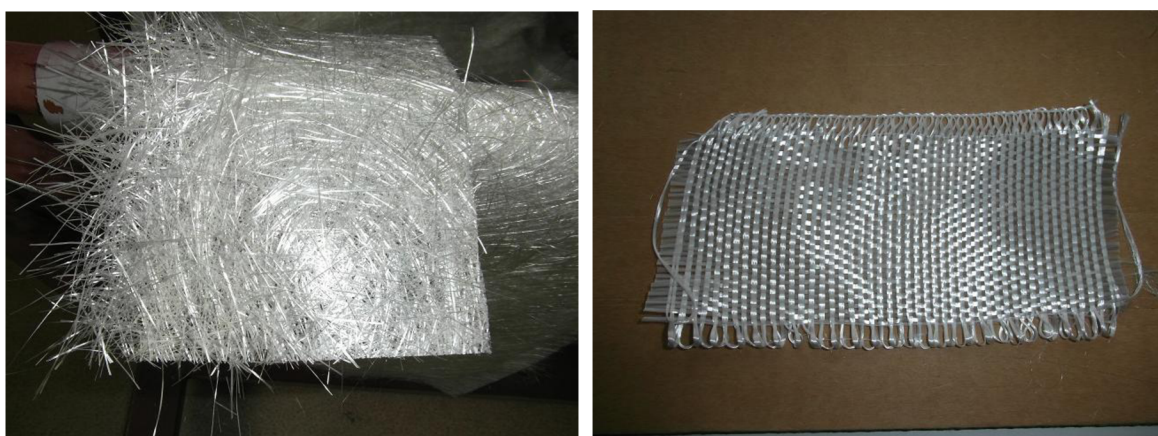
### Skleněná vlákna

Skleněná vlákna patří mezi nejstarší a nejpoužívanější výztuhy. V porovnání s uhlíkovými či aramidovými vlákny mají mnohem vyšší hustotu, nicméně svojí cenou a výbornými mechanickými vlastnostmi zůstávají v popředí zájmu výrobců sklolaminátů. Porovnání vlastností skleněných vláken s jinými je možné vidět v tabulce č. 2.

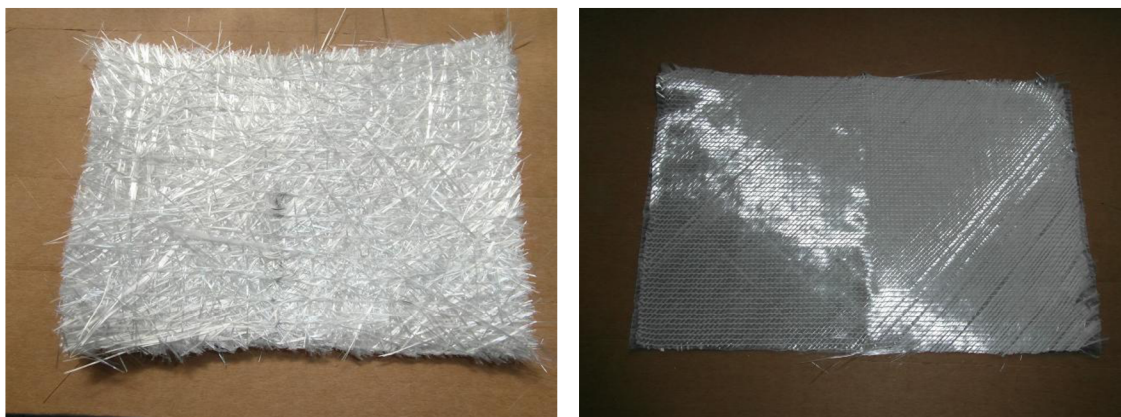
Tab. 2 Vlastnosti vyztužujících vláken [17].

vlákna	hustota (g.cm <sup>-3</sup> )	modul pružnosti v tahu (Gpa)	pevnost v tahu (Mpa)	deformace do lomu (%)
anorganická:				
azbest	2,56	160	3100	1,9
sklo	2,54	70-85	2200-3500	2,5
borová vl.	2,65	420	3500	0,8
SiC	2,60	350	2200	0,9
uhlík	1,86	300-800	2700	0,7
organická:				
Kevlar 49	1,45	130	2900	2,5
Kevlar 29	1,45	60	2700	5,0
Kevlar 129	1,44	120	3000	3,0
Kevlar 149	1,45	190	2600	2,5
PE Spectra	0,97	172	3000	1,7
PBT	1,50	250	2400	1,5

V závislosti na druhu výroby mohou být vlákna dodávána v různém provedení. Mezi nejvíce používané patří sekané prameny, mletá vlákna, pramencové tkaniny, rovingové tkaniny, tkaniny z příze, rohože, prepregy, aj. Některé typy jsou znázorněny na obrázcích č. 8 a č. 9.



Obr. 8 Typy sklovýztuhy: skelná rohož (vlevo), rovingová tkanina (vpravo).



Obr. 9 Typy sklovýztuhy: Rovicore – objemová rohož (vlevo), triaxiální tkanina (vpravo).

### **3.2.1.3 Gelcoat**

Gelcoaty lze definovat jako barevně pigmentované polyesterové pryskyřice s obsahem barevného pigmentu 8 až 20 % a s přidavkem tixotropních činidel a urychlovače. Zacházení s nimi je podobné jako u polyesterových pryskyřic. [18]

Gelcoat tvoří vnější pohledovou a odolnou vrstvu výrobku a může být obarven do jakéhokoliv odstínu stupnice RAL, Pantone, aj. Aplikaci na formu je možné provádět ručně štětcem nebo strojně stříkací pistolí. Podle požadovaného finálního povrchu dílu rozeznáváme primer, tedy základní, a finální gelcoat. Primer gelcoat se aplikuje většinou v jedné vrstvě a je nutné díl před dalším použitím lakovat, zatímco finální gelcoat se aplikuje ve dvou či více vrstvách a již není třeba na díle provádět žádné další operace. V porovnání s vrstvou laku je gelcoatová mnohem pevnější, odolnější a trvanlivější.

### **3.2.1.4 Ostatní suroviny**

#### **Separátory**

Separátory umožňují a usnadňují vyjmutí dílců z modelů a forem. Používají se různé typy separátorů na bázi přírodních a syntetických vosků a speciálních separačních suspenzí. Pro různé technologie výroby je nutné používat různé separátory.

Typy separátorů:

- voskové – jejich aktivní část je na bázi vosku. Jsou to buď kapaliny či vosky různé konzistence. Pro ruční technologii laminace za normálních teplot jsou nejpoužitelnější,
- silikonové – většinou se používají pro laminaci za studena nebo za tepla pro rychlé cykly. Nedostatkem zde je migrace silikonu na povrch a tím problémy s jeho odstraněním. Je nevhodný, pokud je díl dále povrchově upravován,
- polotrvanlivé systémy – jedná se o separátor, který na formě vytváří film, který je přichycen k formě chemickou vazbou. Mezi výhody patří podpora lesku u výrobku a malé znečištění formy, nevýhodou je vyšší cena,
- filmogenní systém – na bázi polyvinylalkoholu. Výhoda je nerozpustnost ve styrenu při použití polyesterové pryskyřice jako matrice. Obvykle se používá pro lamináty, které jsou dále povrchově upravovány, protože k odstranění separátoru stačí opláchnutí vodou. [18]

### **Iniciátory**

Jedná se o organické peroxidy, které umožňují zesítní (vytvrzení) polyesteru se styrenem, a tím vytvoří polymerní pryskyřici. Bez přidání iniciátoru nemůže k zesítní dojít ve stanoveném čase. Dávkuje se 1 až 3 % podle typu iniciátoru a podle doporučení výrobce pryskyřice i iniciátoru. [18]

### **Urychlovače**

Nejběžněji používaným urychlovačem je kobaltový urychlovač o 4 % koncentraci. Jedná se o roztok kobaltové soli v etanolu. Kobaltový urychlovač působí na iniciátor tak, že urychluje uvolňování aktivního kyslíku z iniciátoru, a tím celou reakci polymerace (zesítní) pryskyřice urychluje. Většina laminačních pryskyřic má již urychlovač zabudován od výrobce, stejně jako gelcoatové směsi. [18]

## **Plniva**

Jako plniva se používají minerální látky o různé zrnitosti (např. vápenec, kaolín apod.), které se přidávají do laminační směsi za účelem zlepšení vlastností směsi z hlediska smršnění a tvarové stability. Množství plnidel v laminační směsi se pohybuje v rozsahu 10 až 30 %. [18]

### **3.2.2 Vlastnosti sklolaminátů**

Polyesterové vyztužené hmoty se vyznačují nízkou hustotou ( $1,65$  až  $1,85 \text{ g.cm}^{-3}$ ) s vysokými mechanickými pevnostmi. Ve srovnání s kovy mají výhodu v odolnosti proti povětrnostním vlivům a různým chemikáliím, dále pak v propustnosti světla, izolaci tepla, zvuku a elektřiny, dosahují dlouhé životnosti a designově mohou tvořit rozmanité tvary.

Běžné typy lze používat od  $-50$  do  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , s upravenými či speciálními pryskyřicemi lze dosáhnout odolnosti až  $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Polyesterové skelné lamináty jsou vynikajícím konstrukčním materiálem, jehož použití se stále více rozšiřuje v nejrůznějších oborech. [15]

### **3.2.3 Technologie výroby sklolaminátů**

Před samotnou laminací je vždy nezbytně nutné provést vizuální kontrolu stavu formy, aby na této nebyly žádné vizuální vady (praskliny, škrábance, odlomené části) a zbytky starého laminátu případně jiné nečistoty (obr. 10). Dále musí být forma naseparována, četnost separace je dána technologickým postupem. Pokud se jedná o laminaci na dvoudílné formě, je nutné zkontrolovat také víko formy – vizuální vady, zbytky starého laminátu, stav těsnění, čistotu odtokových hadic a odsávací nádoby. Každá forma musí také být řádně ustavena a zabezpečena proti posunu či pádu.



Obr. 10 Zbytky nečistot po laminaci.

Při laminaci je nutné používat ochranné pracovní pomůcky – pracovní oblek a rukavice. Při odformování dílu je v některých případech potřeba si pomoci pomůckami, jako jsou dřevěné či plastové klíny a stlačený vzduch. V žádném případě nesmí být v oblasti funkční plochy formy, která vytváří pohledovou část výrobku, použito kovových nástrojů (šroubovák, kovová škrabka apod.), které by na formě zanechaly nenávratně poškozená místa. Pro odstranění zbytků pryskyřice a gelcoatu z povrchu formy je žádoucí použít rovněž plastové škrabky.

### ***3.2.3.1 Kontaktní (ruční) laminace***

Při této technologii je díl laminován ručním prosycením a válečkováním každé vrstvy do spodní laminátové formy (bez víka) a je tedy časově nejnáročnější. Díly se vyznačují ve srovnání s jinými technologiemi vysokou mechanickou pevností, která je dána vysokým podílem skla (cca 35 %). Kontaktní laminace se používá u dílů s roční produkcí v řádu jednotek a desítek kusů a také u dílů, které mají negativní (zavřené) plochy ve směru odformování a je nutné vyrobít tzv. dělenou formu, viz obrázek č. 11.



Obr. 11 Dělená forma – pohled z vnitřní (vlevo) a vnější strany formy (vpravo).

Při této technologii se používají rohože ze sekaných sklovláknitých pramenců a skelné tkaniny různých gramáží. Na zpolymerovaný gelcoat se nanáší pryskyřice pro kontaktní laminaci a postupně kladou sklovýztuže dle technologického postupu (obr. 12). Každá vrstva se musí prosytit pryskyřicí pro ruční laminaci a pečlivě vyválečkovat, aby se odstranily vzduchové bubliny (obr. 12). Výztuže se napojují těsným přiložením k sobě nebo s maximálním překladem 1-2 cm a to v každé vrstvě. Po vylaminování poslední vrstvy se vytlačený přebytek pryskyřice odsaje plstěným válečkem. Výrobek se poté nechá ve formě vyzrát a po vyzrání se provede odformování. Počet vrstev a typ gelcoatu, počet vrstev a skladba sklovýztuže, množství pryskyřice a tužidla a doba zrání jsou dány technologickým postupem. [19]



Obr. 12 Ruční laminace – zakládání skelné rohože (vlevo), válečkování (vpravo).



### 3.2.3.2 Lehké RTM (*Resin transfer moulding*)

Lehké RTM je technologií, kdy se pryskyřice vstříkuje do uzavřené laminátové formy (s víkem) pod mírným tlakem. V porovnání s ruční laminací není díl tak pevný, což je dáno menším podílem skla (cca 25 %) a vyšším podílem pryskyřice. Tuto technologii je vhodné používat pro série okolo 100 ks a více za rok a pro díly, u kterých je důležité co nejvíce dodržet předepsané rozměry a tloušťku.

Pro technologii RTM se používá speciální skelná rohož a injektážní pryskyřice. Do formy se na zpolymerovaný gelcoat do lepivého stadia založí, vytvaruje a pečlivě zastříhne objemová skelná rohož (obr. 13). Po důkladném založení sklovýztuže dochází k zaklopení víka formy. Po zaklopení se forma připojí na rozvod vakua a zapnutím vakua se uzavře. Nasadí se hadičky na odtokové kanály, připojí se plnicí stroj a začne fáze plnění formy (obr. 13). Počet zdvihů, které má plnicí stroj vykonat, aby byla dutina formy správně naplněna, je vždy uveden v technologickém postupu. Po dosažení požadovaného počtu zdvihů se plnicí stroj vypne a uzavře se plnicí hadička. Hadičky odtokových kanálů se nechají napojené na vakuum tak dlouho, dokud odchází s přetokem i vzduchové bublinky. Jakmile jsou všechny bublinky odsáté, hadičky se tzv. zaskřípnou. Výrobek se nechá vyzrát v uzavřené formě. Po vyzrání se odpojí uzavírací vakuum a výrobek se odformuje. Rozměry a druh sklovýztuže, jakož i množství a druh ostatních vstupních komponent a čas zrání laminátu jsou stanovené technologickým postupem. [19]



Obr. 13 Lehké RTM – založení sklovýztuže (vlevo), injektážní plnění pryskyřice (vpravo).

### 3.2.3.3 Vakuově-vypěňovací technologie

Technologie vakuového vypěňování je charakteristická tím, že se do uzavřené formy pryskyřice nanáší na sklovýztuž ručně a nechá se tzv. vypěnit (vyzrát). Je vhodná pro díly, u kterých není vyžadována vysoká pevnost. V porovnání s ostatními technologiemi jsou díly křehčí a lehčí a hodí se převážně jako pohledové díly např. do interiéru autobusu. Produktivita je podobná jako u RTM technologie.

Při této technologii se používá speciální skelná rohož a vypěňovací pryskyřice. Do formy se na gelcoat zpolymerovaný do lepivého stadia založí, vytvaruje a pečlivě zastříhne objemová skelná rohož. Následně se ručně rozetře pryskyřice po celém povrchu sklovýztuže (obr. 14). Forma se zaklopí protiformou (víkem), připojí se na rozvod vakua a uzavře (obr. 14). Následně výrobek v uzavřené formě zraje. Po dozrání výrobku se provede odformování. Čas zrání, množství a typ gelcoatu, pryskyřice a sklovýztuže jsou popsány v technologickém postupu. [19]



Obr. 14 Lehké RTM – ruční aplikace pryskyřice (vlevo), odsátí vzduchu (vpravo).

### 3.2.3.4 Studené lisování

Studené lisování je jednoduchou technologií výroby laminátů používanou převážně u menších dílů, u kterých je nutné dodržet rozměry a tloušťku a zároveň je problémem umístit na víku odtokové kanály.

Při této technologii se používá speciální skelná rohož, která se musí přesně a důkladně vkládat a vytvarovat do formy v lepivém stadiu naneseného gelcoatu tak, aby dokonale přilnula po celém povrchu formy. Po důkladném založení sklovýztuže dochází k ručnímu nanášení pryskyřice (obr. 15). Poté se přiklopí protiforma, která se začne stlačovat na spodní formu pomocí šroubů či upínek nebo za pomoci vakua (obr. 15), čímž dochází k prosycení sklovýztuže pryskyřicí a vytlačení vzduchových bublin. Výrobek se musí nechat ve formě vyžrát. Rozměry a druh sklovýztuže, množství pryskyřice a doba zrání jsou uvedeny v technologickém postupu. [19]



Obr.15 Studené lisování – ruční aplikace pryskyřice (vlevo), mechanické uzavření formy (vpravo).

### 3.2.3.5 Ostatní

Jako další možné technologie výroby laminátů lze uvést např.:

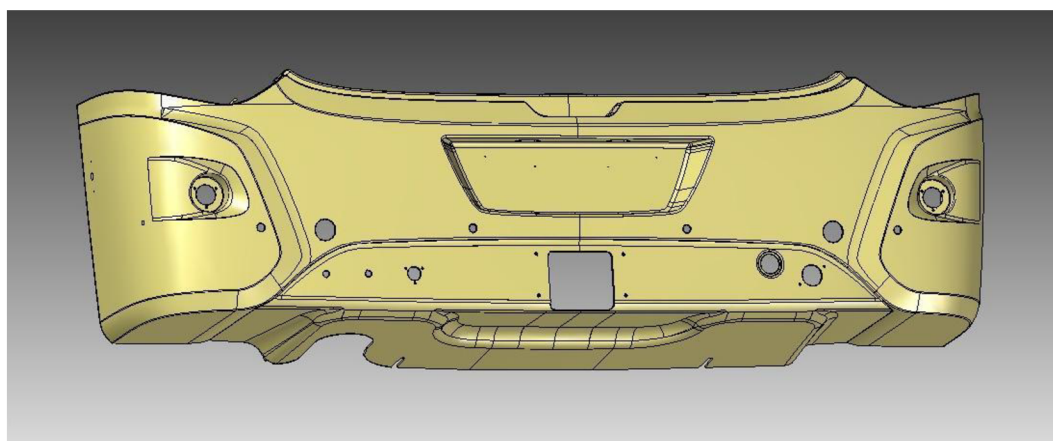
- těžké RTM, které je v porovnání s lehkým RTM charakteristické injektáží pryskyřice pod mnohem větším tlakem. Je tedy nutností mít pro výrobu formy z oceli a vybavení pro jejich manipulaci,
- stříkaný laminát, který spočívá v nanášení pryskyřice a skelné výztuže

pomocí tlakové pistole, ve které je skelné vlákno rozsekáno a smícháno s pryskyřicí. Typickými aplikacemi jsou výroba akrylátových van a sprchových vaniček,

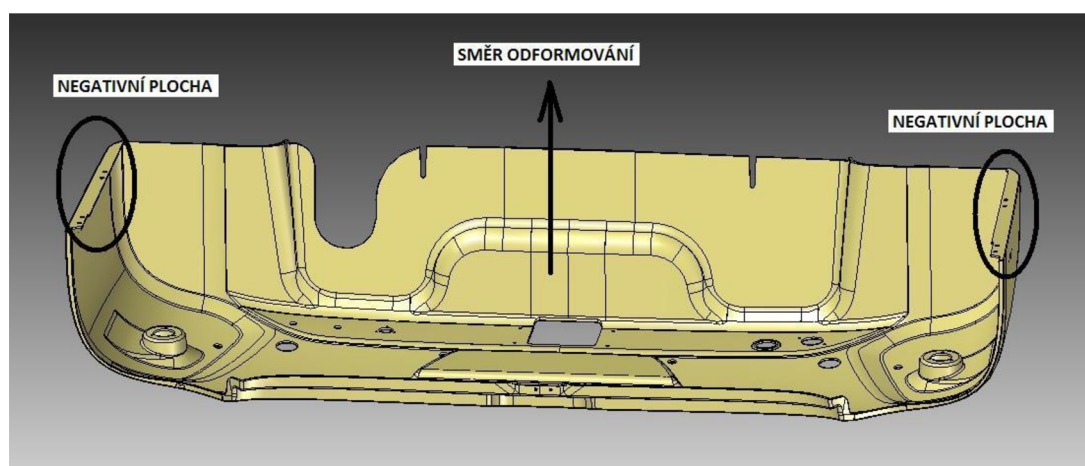
- pultruze, kdy zjednodušeně řečeno sklovýztuž je tažena z cívek a máčena v pryskyřičné lázni, pak vytvrzena a na konci cyklu rozřezána do požadovaného profilu a délky.

#### 4 PŘÍPRAVA A VÝROBA KONKRÉTNÍHO DÍLU

Tak, jako u jakékoli jiné výroby, předcházelo i výrobě tohoto dílu, konkrétně zadního nárazníku dálkového autobusu (obr. 16), poptávkové a nabídkové řízení. Díl byl poptán technologií ruční laminace hlavně z důvodu negativních (zavřených) montážních ploch na díle, které znemožňovaly výrobu technologií RTM (obr. 17).



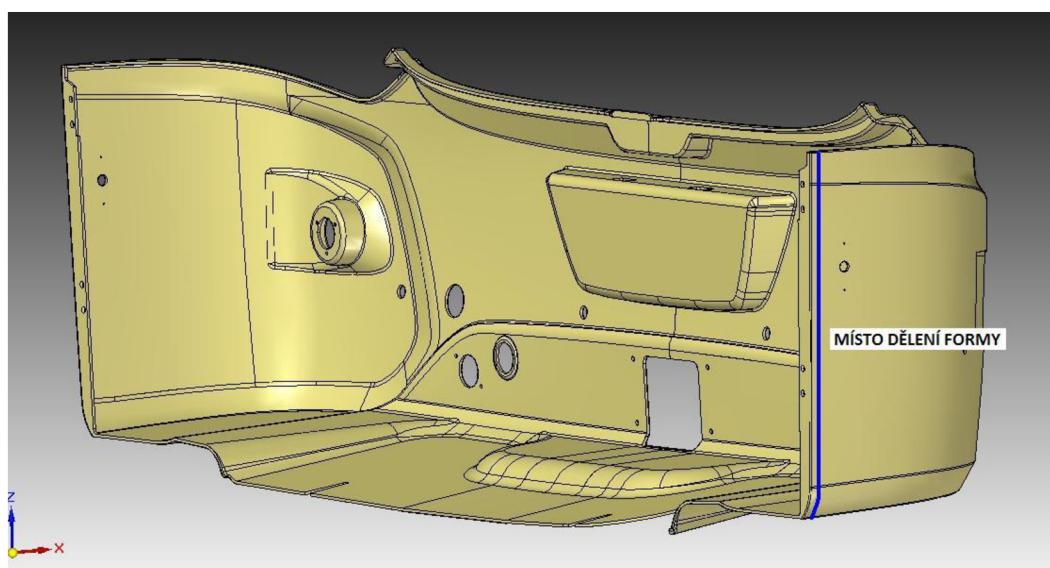
Obr. 16 Zadní nárazník.



Obr. 17 Negativní plochy na díle.

Po obdržení objednávky od zákazníka byl u dodavatele objednán model, který je nezbytný pro výrobu samotné formy. Ten se vyrábí frézováním slepených MDF desek na základě obdržených 3D dat a tvoří negativ samotného dílu. Po obdržení modelu byl jeho povrch

přebroušen, natřen polyesterovou pryskyřicí pro zpevnění povrchu, stříkácí pistolí nanesen polyesterový tmel a nakonec byl model natřen speciálním gelcoatem používaným pouze pro tyto účely. Na takto připravený model se nanasl formový gelcoat a ručně se vylaminovala první vrstva formy, tzv. nárazníková vrstva. Po této vrstvě se nalaminovaly další tři vrstvy pro dosažení požadované tloušťky a pevnosti. Kvůli zavřeným (negativním) plochám se v místech dělení formy postup laminování musel opakovat (obr. 18) s tím, že tyto části pak tvoří vyjímací prvky formy, aby mohl být díl odformovatelný. Obě části jsou k sobě spojeny šrouby a správné pozice zajišťují středící kužele. Následně se z nařezaných OSB desek nalepily výztuhy pro zajištění stability formy a také nohy s kolečky pro snadnou manipulaci a přemísťování formy. Přebytečný materiál vzniklý při laminaci jednotlivých vrstev byl odstraněn broušením. Nakonec byla forma vyčištěna a naseparována a tím připravena k použití.

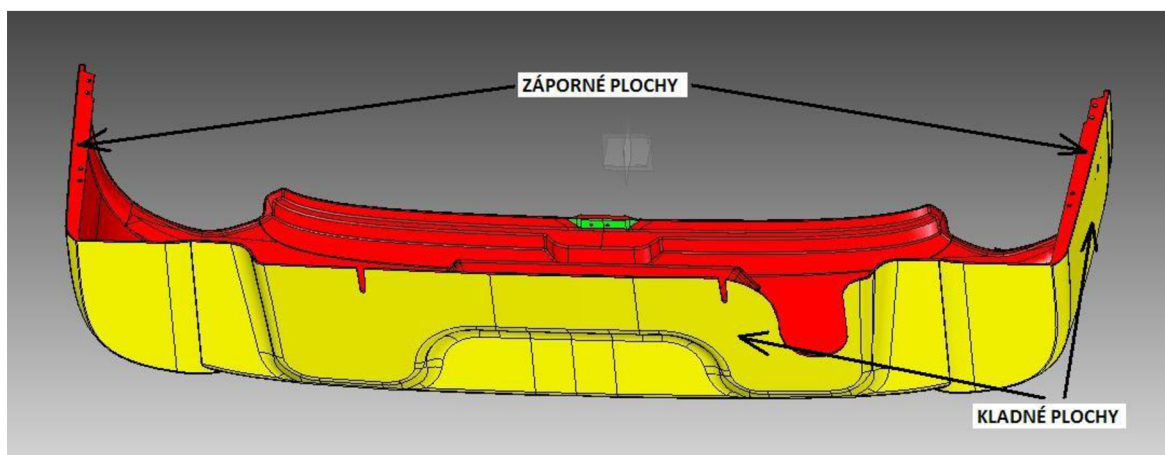


Obr.18 Místo dělení formy.

První díl byl vyroben ruční laminací v tloušťce 5 mm. Na naseparovanou formu byly aplikovány dvě vrstvy gelcoat, jedna vrstva sklovýztuže o gramáži  $300 \text{ g.m}^{-2}$ , jedna vrstva o gramáži  $450 \text{ g.m}^{-2}$  a tři vrstvy sklovýztuže o gramáži  $600 \text{ g.m}^{-2}$ . Každá vrstva sklovýztuže byla prosycena pryskyřicí a vyválněčkována. Po vyvrání laminátu byly vyjmuty dělené části formy a díl byl odformován. Následně byl díl obroušen a byly vyvrtány a vyfrézovány všechny otvory dle dat.

## 5 NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY

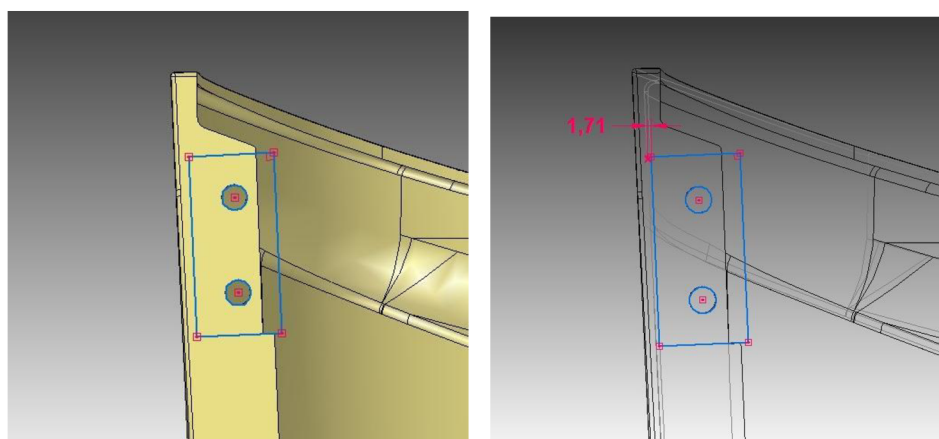
Vzhledem k tomu, že díl je vyráběn technologií ruční laminace, tedy časově nejnáročnější technologií, tvoří podstatnou část ceny dílu náklady na samotnou laminaci. Předpokládaná roční produkce tohoto dílu činí cca 100 ks a lze tedy již uvažovat o výrobě technologií RTM, čímž by se značně uspořil laminační čas a tedy i výrobní náklady. To je však možné pouze v případě, že dojde k modifikaci dat a budou odstraněny negativní plochy, viz analýza úkosu ploch (obr. 19), kde žlutou barvou jsou znázorněny plochy kladné a červenou barvou plochy záporné neboli negativní (pozn.: červené plochy na vnitřní straně dílu nás z hlediska odformovatelnosti nezajímají, protože pohledové plochy dílu jsou ty vnější). Veškeré úpravy níže popsané a znázorněné včetně tvorby nových dílů a sestav byly realizovány v programu Solid Edge.



Obr. 19 Analýza úkosu ploch.

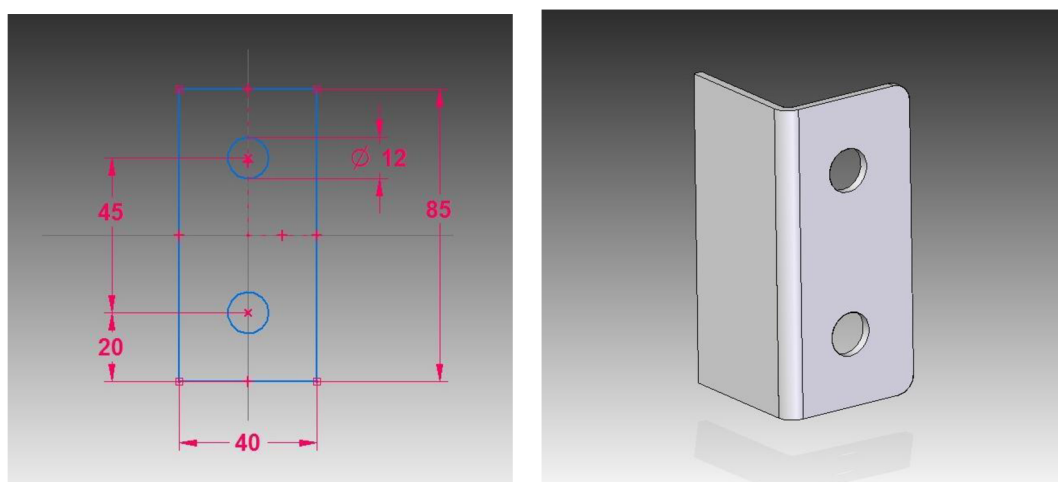
Negativní plochy dílu, které brání odformování, tvoří plochy důležité pro montáž a přichycení na kostru autobusu, jde zejména o čtyři otvory na každé straně dílu. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné je nějakým způsobem zachovat. V tomto případě se nabízí možnost nahradit plochy s montážními otvory čtyřmi kovovými díly (zálisky), které se nalepí na vnitřní strany laminátu. Důležité je, aby pozice otvorů zůstaly na stejném místě. Ve fázi úpravy dat toho bude docíleno tvorbou skici zálisku přímo na plochu laminátu, která bude nahrazena (obr. 20), a skica se pak zkopíruje do modulu pro vytvoření nového

dílu. Tím jsou také získány hrubé rozměry dílu. Při tvoření skici zálisku je potřeba počítat s mezerou na lepidlo 1,5 až 2 mm. Je proto vhodné při odměřování vzdálenosti od hrany laminátu přepnout pohled na styl „Viditelné a skryté hrany“, aby mezera pro lepidlo byla odpovídající (obr. 20). Při samotném lepení zálisků na laminátový díl bude pozice montážních otvorů zajištěna použitím lepícího přípravku, který musí být také vyroben.



Obr.20 Tvorba skici na díle – vlevo viditelné hrany, vpravo viditelné a skryté hrany.

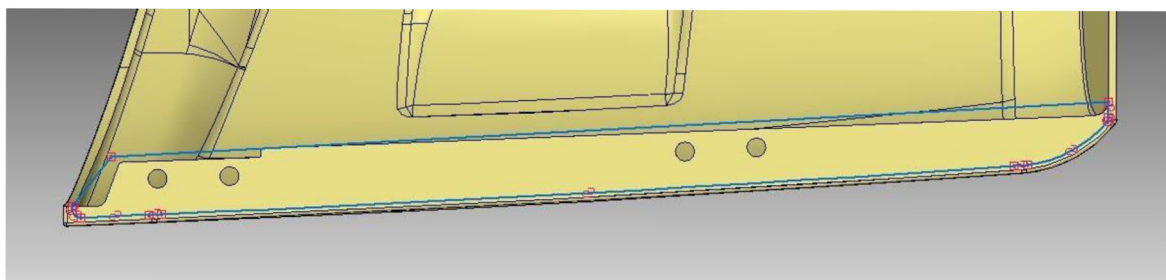
Ze skici zálisku byl vymodelován kompletní díl tak, že mu byla přidána tloušťka (zde konkrétně 2,5 mm) a dotvořena boční plocha, která bude při kompletní sestavě sloužit jako lepící (obr. 21).



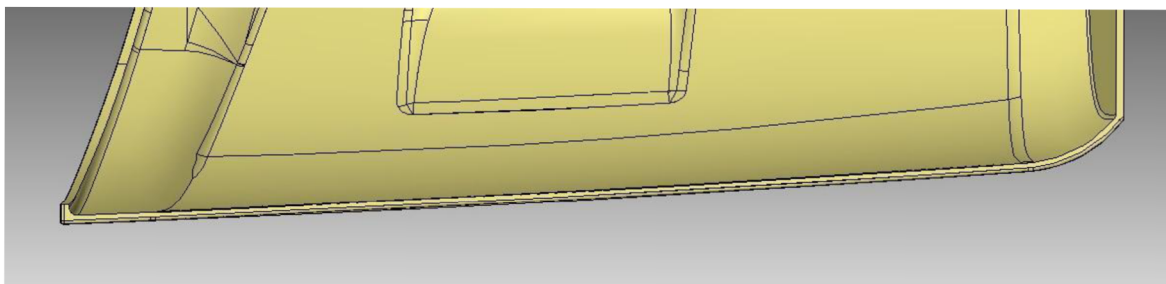
Obr. 21 Skica zálisku (vlevo), hotový díl (vpravo).



Po vytvoření zálisku bylo potřeba provést nejdůležitější část úpravy, a to odstranit negativní plochy na obou stranách laminátu. Pomocí nástroje „Vyříznout“ je na plochu nejprve nakreslena skica, kterou se ohraničí oblast k vyříznutí (obr. 22). Při tvorbě skici je důležité s využitím funkce „Zahrnout“ označit hrany na vnitřní straně laminátu, aby při vyříznutí byla zachována tloušťka dílu. Výsledek odstranění negativní plochy je vidět na obrázku č. 23. Plocha na opačné straně dílu byla odstraněna s použitím funkce „Zrcadlit“, která využívá osové souměrnosti dílu.

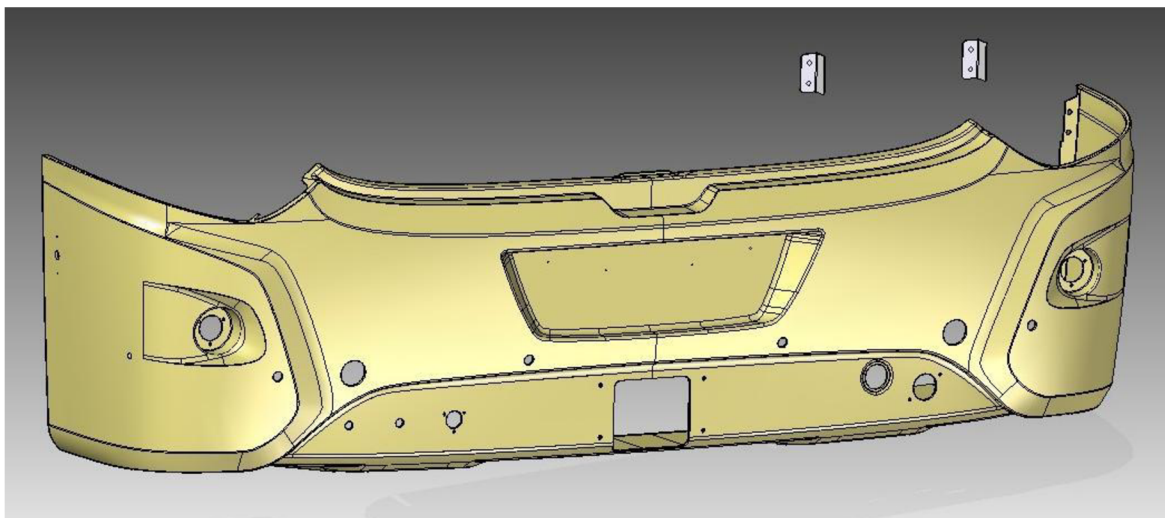


Obr. 22 Skica pro odstranění (vyříznutí) plochy.



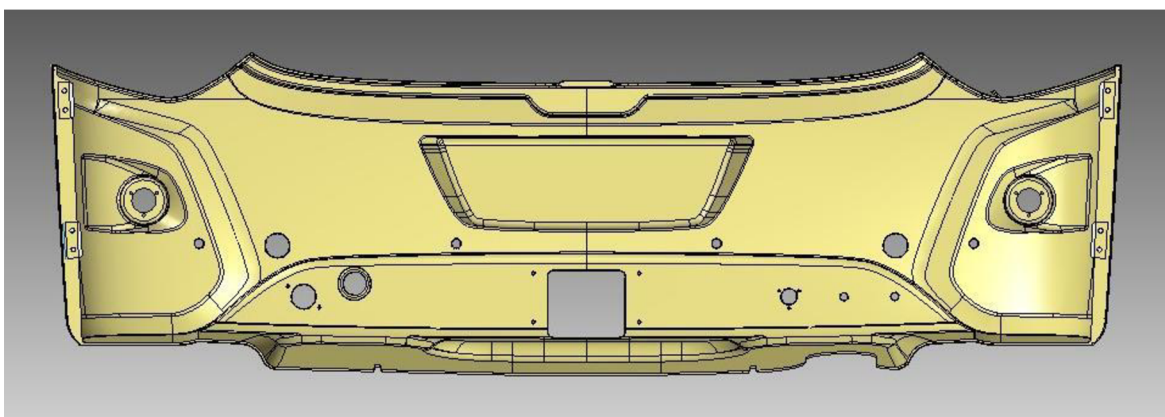
Obr. 23 Dokončení vyříznutí.

Po upravení laminátového dílu a vymodelování kovového zálisku bylo posledním úkolem vytvoření finální sestavy z laminátového dílu a zálisků. V modulu „Vytvoření sestavy“ byly vloženy laminátový díl před modifikací a dva kusy zálisku (obr. 24).



Obr. 24 Vložení dílů do sestavy.

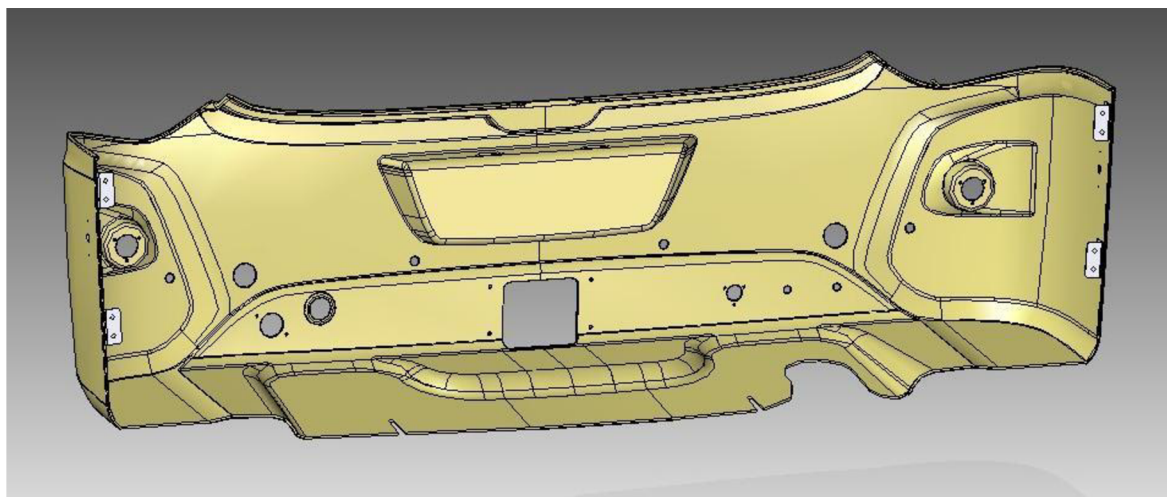
Původní data laminátu byla využita pouze pro zachování přesné pozice montážních otvorů a později byla nahrazena novými daty. Pomocí vazeb byly oba zálisky umístěny na požadovaná místa, v prvním případě byla využita souosost obou otvorů na záliscích s otvory v laminátu a následně shodnost čelních ploch obou dílů. Funkcí „Zrcadlit“ pak byly oba zálisky zkopírovány přes středovou osu i na opačnou stranu dílu (obr. 25).



Obr. 25 Vložení dílů do sestavy.

Posledním krokem bylo nahrazení původního laminátového dílu v sestavě tím upraveným. To bylo provedeno snadno označením dílu pravým tlačítkem myši, zvolením funkce „Nahradit“ a vybráním nového dílu ze složky umístění. Finální díl je možno vidět na

obrázku 26.



Obr. 26 Finální díl.

## 6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Předchozí kapitola by postrádala smysl, kdyby předem nebylo jisté, že změna technologie výroby přinese značné finanční úspory i přes nutné počáteční investice.

### 6.1 Vstupní náklady

Základním předpokladem pro výrobu dílu technologií RTM je výroba nových přípravků, tj. modelu, formy A, formy B (víka) a lepícího přípravku. Náklady na tyto přípravky jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3 Vstupní náklady.

Přípravek	Cena [€]
Model	2 969
Forma A	1 971
Forma B	2 907
Lepící přípravek	160
Přípravky celkem	8 007

### 6.2 Ceny dílů

Cena dílu vyrobeného ruční laminací včetně rozpisu materiálových nákladů a nákladů na pracnost jednotlivých operací je uvedena v tabulce č. 4.

Tab. 4 Cena dílu z ruční laminace.

Materiálové náklady	Gelcoat	16,42 €
	Peroxid	0,20 €
	Sklovýztuž 300 g.m <sup>-2</sup>	1,88 €
	Sklovýztuž 450 g.m <sup>-2</sup>	2,95 €
	Sklovýztuž 600 g.m <sup>-2</sup>	11,81 €
	Pryskyřice	37,93 €
	Peroxid	1,13 €
Materiálové náklady celkem		72,32 €
Pracnost	Laminace	88,89 €
	Broušení	26,26 €
	Dokončení	9,38 €
Pracnost celkem		124,53 €
Zisk		33,50 €
Cena dílu		230,35 €

Cena dílu po změně výrobní technologie, tedy RTM, je uvedena v tabulce č. 5.

Tab. 5 Cena dílu z technologie RTM.

Materiálové náklady	Gelcoat	16,41 €
	Peroxid	0,20 €
	Sklovýztuž 1450 g.m <sup>-2</sup>	22,65 €
	Pryskyřice	36,46 €
	Peroxid	1,48 €
	Urychlovač	2,73 €
	Lepidlo	0,68 €
	Zálisky	3,80 €
Materiálové náklady celkem		84,41 €
Pracnost	Laminace	41,67 €
	Broušení	26,26 €
	Dokončení	6,25 €
	Kompletace	3,13 €
Pracnost celkem		77,31 €
Zisk		27,48 €
Cena dílu		189,20 €

### 6.3 Zhodnocení

Změnou technologie výroby z ruční laminace na RTM lze ušetřit na jednom kuse 41,15 €. Při roční produkci 100 ks to činí 4 115 € za rok. Návratnost prostředků vynaložených na nové přípravky jsou necelé dva roky. Pokud uvažujeme, že životní cyklus autobusu se pohybuje v rozmezí 7 až 10 let, může celková úspora za celou dobu výroby dílů činit cca 20 800 až 33 150 €.

Při porovnání obou kalkulací můžeme dále vidět, že materiálové náklady u dílu z RTM technologie jsou proti dílu z ruční laminace vyšší o téměř 17 %, zatímco náklady na pracovní operaci laminace jsou ani ne poloviční (47 %). Výše zisku je rovněž nižší, což je dáno tím, že je počítána procentuální sazbou z celkových nákladů. Procenta zde uvedená platí pro tento konkrétní díl a nelze je brát jako průměrné hodnoty, mohou se měnit v závislosti na velikosti a složitosti jednotlivých dílů.

## 7 ZÁVĚR

V této práci byla pozornost věnována představení sklolaminátů, jejich složení a různým technologiím výroby dílů. Na konkrétním příkladu byl popsán vznik nového dílu a zefektivnění výroby nahrazením technologie výroby z ruční laminace na technologii RTM. Z technicko-ekonomického vyhodnocení vyplývá, že:

- vstupní investice za přípravky (model, formy, lepicí přípravek) spojené se změnou technologie výroby činí 8 007 €,
- úspora ceny nahrazením technologie ruční laminace technologií RTM činí na jednom díle 41,15 €,
- návratnost investice za přípravky při roční produkci 100 ks vychází na necelé dva roky a při životním cyklu autobusu 7-10 lze vypočítat, že celková finanční úspora se může pohybovat v rozmezí 20 800 až 33 150 €.

Pokud to charakter dílu dovoluje a je možnost volit mezi jednotlivými technologiemi výroby, lze obecně konstatovat, že důležitými faktory pro výběr technologie jsou velikost a složitost dílu, roční objem produkce a předpokládaný výrobní cyklus (počet let výroby).

Téma výroba dílu ze sklolaminátu a její zefektivnění může být dále podrobněji popsáno v obsahově rozsáhlejší práci (např. diplomové), kde se autor může zaměřit např. na operaci broušení, která zahrnuje ořez dílu na požadované rozměry a vrtání či frézování otvorů. Jelikož hlavním faktorem při výběru nástrojů je v dnešní době cena, nemusí to v důsledku znamenat úsporu nákladů. Rozborem cen a životností nástrojů z různých materiálů vhodných pro obrábění sklolaminátů (rychlořezná ocel, povlakované slinuté karbidy, polykrystalický diamant) mohou být navržena doporučení pro další snížení nákladů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] O nás. COMPOSITE COMPONENTS, a. s. *Composite Components, a. s.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.compositecomponents.eu/cs/o-nas>
- [2] Meziměstské autobusy: Arway. IVECO - A FIAT INDUSTRIAL COMPANY. *Iveco* [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://web.iveco.com/czech/produkty/pages/irisbus-arway.aspx>
- [3] Futura: Efficient. VDL BUS & COACH BV. *VDL: Bus & Coach* [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.vdlbuscoach.com/Producten/Touringcars/Futura/Efficient.aspx>
- [4] Galerie. AGRIO, s. r. o. *Agrio: Nekompromisní české postřikovače* [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.agrio.cz/galerie>
- [5] Thermo King HVAC products for bus: Athenia range. INGERSOLL-RAND COMPANY. *Thermo King* [online]. 2012 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://europe.thermoking.com/bus/athenia.html>
- [6] KRATOCHVÍL, B., V. ŠVORČÍK a D. VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-7080-568-4.
- [7] MICHNA, Štefan. *Kompozitní materiály*. *Doc. Ing. Štefan Michna, PhD.* [online]. 2007-20xx [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: [http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf)
- [8] MÍŠEK, Bohumil. *Kompozity*. 1. vyd. Brno: Technický dozorčí spolek Brno - Sekce materiálů a svařování, 2003, 81 s. ISBN 80-903386-0-7.
- [9] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Definice a historie kompozitů*. *Volny.cz* [online]. 1996-2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/historie.pdf>
- [10] *Materiálové vlastnosti*. GDP KORAL S.R.O. *GDP KORAL: Kompozity - vyztužené plasty* [online]. 2006-2009 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/materialove-vlastnosti/p126>
- [11] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004, 156 s. ISBN 80-704-3273-X.
- [12] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Matrice*. *Volny.cz* [online]. 1996-2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/matrice.pdf>
- [13] VRBKA, Jan. *Mechanika kompozitů*. In: [online]. Brno, 2008 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=52474](http://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=52474)



[14] Matrice vláknových kompozitů. *Wikipedie* [online]. 6. 11. 2011 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice\\_vl%C3%A1knov%C3%BDch\\_kompozit%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice_vl%C3%A1knov%C3%BDch_kompozit%C5%AF)

[15] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-85920-72-7.

[16] Katalogy: Hlavní katalog. HAVEL COMPOSITES. *Havel composites* [online]. 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/katalogshop/1-hlavni-katalog/0-list.html>

[17] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.

[18] COMPOSITE COMPONENTS, a. s. *Základy pro výrobu skelného laminátu*. Firemní materiál, Choceň, 2006, 6 s.

[19] COMPOSITE COMPONENTS, a. s. *Obecný popis procesu*. Firemní materiál, Choceň, 2008, 5 s.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>RIM</b>	[-]	Reaction injection moulding
<b>RTM</b>	[-]	Resin transfer moulding
<b>SMC</b>	[-]	Sheet moulding compound
<b>UP</b>	[-]	Unsaturated polyester resin

