

Vývoj technologie lisování kompozitu pro automobilový průmysl

Bc. Tomáš Žalek

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Žalek**
Osobní číslo: **T13539**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vývoj technologie lisování kompozitu pro automobilový průmysl**

Zásady pro vypracování:

1. I. Teoretická část:
2. Vypracovat literární studie na dané téma
3. Kompozitní materiály v automobilovém průmyslu
4. Lisování kompozitních materiálů–princip, rozdělení
5. II.Experimentální část:
6. Přehled dílů vhodných pro technologii lisování–výběr dílů pro experimentální studium dle doporučení
7. Výroba prototypu a stanovení technologického postupu výroby
8. Vzájemné srovnání materiálů pro lisování–mechanické vlastnosti stanovených dle norem
9. Diskuze naměřených výsledků a formulace závěru

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. EHRENSTEIN, GOTTFRED. Polymerní kompozitní materiály. Praha: Scientia, 2009
2. BAREŠ, R. Kompozitní materiály. Praha: SNTL, 1988
3. VRBKA, Jan. Mechanika kompozitů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008
4. JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003
5. DAĐOUREK, Karel. Kompozitní materiály – druhy a jejich užití. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

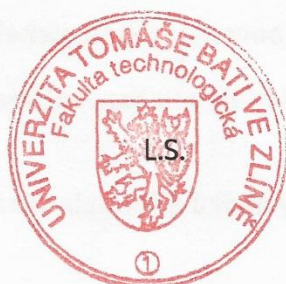
30. ledna 2015

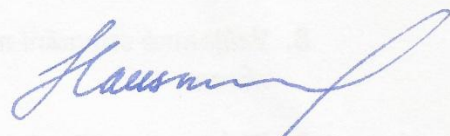
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologií lisování dlouhvláknových kompozitů s následnou aplikací v automobilovém průmyslu.

V praktické části bylo vybráno složení vzorků, samotná výroba a testování mechanických vlastností při třech různých teplotních podmínkách. Výsledky byly zpracovány do tabulek a grafů. Dalším krokem praktické části byla výroba prototypu a stanovení technologického postupu.

Klíčová slova: kompozity, lisování, mechanické vlastnosti, prepreg

ABSTRACT

The thesis deals with technology of moulding of long fibres composites with following applications in automotive industry.

In the practical part was choosen composition samples of layers, their production and testing of mechanical properties by three temperature conditions. Results were processed to diagrams and tables. The next practical part was production of prototype and processing technological process.

Keywords: composites, moulding, mechanical properties, prepreg

Nyní bych chtěl poděkovat doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D., za poskytnuté rady, odborné vedení, ochotný přístup a za čas, který věnovala mé diplomové práci. Dále děkuji Ing. Vladimírovi Rusnákovu a společnosti Form s.r.o., za umožnění výroby vzorků a za připomínky při řešení technologického postupu. Rád bych zmínil a poděkoval i Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D., který mi pomáhal při řešení mechanických vlastností. V neposlední řadě chci poděkovat rodině za podporu během celého mého studia.

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	13
1.1 POŽADAVKY NA KOMPOZITY V DNEŠNÍM SVĚTĚ.....	13
1.2 DĚLENÍ DLE GEOMETRIE A ORIENTACE VÝSTUŽE.....	13
1.3 VÝZTUŽ.....	14
1.4 DRUHY VLÁKEN	15
1.4.1 Skleněná vlákna.....	15
1.4.2 Uhlíková vlákna	15
1.4.3 Aramidové vlákna	15
1.5 MATRICE	16
1.5.1 Dělení kompozitu dle typu matrice	16
2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ	18
2.1 RUČNÍ KLADENÍ	18
2.2 STŘÍKÁNÍ.....	20
2.3 LISOVÁNÍ VE FORMĚ.....	21
2.4 TECHNOLOGIE RTM.....	21
2.5 VAKUOVÁ INFUZE VFI	22
2.6 VAKUOVÉ LISOVÁNÍ Z PREPREGŮ.....	24
2.7 NAVÍJENÍ.....	25
2.8 PULTRUZE.....	26
2.9 SMC.....	28
3 VYUŽITÍ KOMPOZITŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	29
3.1 PRUŽINY ZE SKLENĚNÝCH VLÁKEN	29
3.2 KOMPOZITY V AUTOMOBILECH BMW.....	29
3.3 INTERIÉR AUTOMOBILŮ	30
3.4 STŘECHA AUTOMOBILŮ	31
3.5 KRYT VÍKA ALTERNÁTORU	31
3.6 LISOVÁNÍ Z PŘÍRODNÍCH VLÁKEN	32
3.7 VYUŽITÍ SMC MATERIÁLŮ	32
3.8 VYUŽITÍ SKLOLAMINÁTU	33
3.9 KOMPOZITY V ZÁVODNÍCH AUTECH	33
3.10 NÁDRŽE NA ZEMNÍ PLYN.....	34
4 LISOVÁNÍ.....	35
4.1 DRUHY LISU.....	36
4.2 AUTOMATIZOVANÉ VÝROBNÍ POSTUPY.....	37
4.2.1 Lisování za tepla.....	37
4.2.2 Lisování za studena	38

4.3	LISOVACÍ CYKLUS PRO REAKTOPLASTY	38
4.4	LISOVÁNÍ ZA TEPLA A TLAKU	38
4.5	MATERIÁLY PRO LISOVÁNÍ	39
4.5.1	SMC materiál	39
4.5.2	DMC materiál.....	40
4.5.3	BMC materiál.....	40
4.5.4	Ostatní druhy na lisování	40
4.6	PREPREGY.....	40
4.6.1	Definice matrice	41
4.6.2	Rozdělení tkanin.....	41
4.7	VÝROBA PREPREGU	42
4.8	PROČ SE POUŽÍVAJÍ PREPREGY?.....	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
5	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
6	PŘEHLED DÍLŮ VHODNÝCH PRO TECHNOLOGII LISOVÁNÍ	47
6.1	VÝROBA A POPIS ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	50
6.1.1	Postup výroby zkušebních vzorků.....	51
6.2	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	55
6.2.1	Zkouška dle normy ČSN EN ISO 14125	55
6.2.2	Zkouška dle normy ČSN EN ISO 179-2	56
6.2.3	Zkouška dle normy ČSN EN ISO 6603-2.....	57
6.3	PROVEDENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK	58
6.3.1	Vyhodnocování naměřených výsledků	59
6.4	TŘÍBODOVÁ ZKOUŠKA OHYBEM	60
6.4.1	Trhací stroj Zwick 1456.....	60
6.4.2	Vyhodnocení výsledků tříbodového ohybu	61
6.5	RÁZOVÁ ZKOUŠKA HOUŽEVNATOSTI.....	66
6.5.1	Provedení rázové houževnatosti metodou Charpy	66
6.5.2	Vyhodnocení výsledků Charpyho kladiva	67
6.6	PRŮRAZOVÁ ZKOUŠKA	70
6.6.1	Vyhodnocení výsledků padajícím tloukem.....	71
7	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	73
7.1	CENOVÉ SROVNÁNÍ A VÝBĚR MATERIÁLŮ.....	73
7.2	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU.....	73
7.3	FOTODOKUMENTACE.....	77
8	DISKUZE VÝSLEDKŮ	78
8.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ OHYBOVÉ ZKOUŠKY.....	78
8.2	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ RÁZOVÉ ZKOUŠKY CHARPYHO KLADIVA	80
8.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PADAJÍCÍHO TLOUKU	81
	ZÁVĚR.....	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	91

SEZNAM TABULEK	94
SEZNAM PŘÍLOH	95

ÚVOD

Kompozity jsou materiály, které se skládají ze dvou a více částí, přičemž každá jejich část vykazuje jiné vlastnosti. V posledních desítkách let nastává výrazný pokrok v používání těchto materiálů, přičemž mezi hlavní důvody můžeme zařadit snížení hmotnosti, zvýšení tuhosti, pevnosti, houževnatosti, odolnosti proti chemickému prostředí a korozi. Svě největší uplatnění nacházejí kompozity v leteckém, kosmickém, lodním a také v rozvíjejícím se automobilovém průmyslu.

V dnešním dopravním průmyslu je velký vliv kladen na snížení nákladů a taktéž na snížení hmotnosti, přičemž musí být zachovány mechanické vlastnosti, bezpečnost a taktéž je kladen důraz na design. Při konstrukci automobilů můžeme spatřit čím dál více kompozitních výrobků. Jako hlavní atributy můžeme zmínit krycí panely v interiéru, ale taky snahu zavádění např. kompozitních pružin.

Kompozity s polymerní matricí se dnes již dobře vyrovnávají zavedeným materiálům, tudíž jsou velkým kandidátem pro nahrazení kovů a jiných materiálů v různých odvětvích průmyslu, ale i v konstrukčních aplikacích. Neustále se vyvíjí výrobní technologie a v dnešní době je např. vakuové lisování či vytvrzování v autoklávu dobře zavedenou značkou.

V teoretické části se nejprve nachází obecné popsání kompozitů a jejich využití v automobilovém průmyslu, dále je zaměřena na zpracovatelské technologie.

Praktická část diplomové práce zahrnuje technologii lisování, přehled kompozitních dílů v automobilovém průmyslu a následně přípravu vzorků pro zkoušení mechanických vlastností, výrobu prototypu a stanovení technologického postupu.

Kompozitní výrobky nacházejí v dnešním světě čím dál větší uplatnění a dá se očekávat, že se budou neustále rozvíjet nové výrobní technologie a jejich uplatnění v průmyslu bude neustále růst.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozit můžeme definovat jako materiál, jež je složen ze dvou a více složek tvořící heterogenní materiál. Složky se od sebe vzájemně liší svými mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Obecně je kompozitní materiál složen ze spojitě a nespojitě fáze. Spojitou fází nazýváme matici a v kompozitní struktuře má hlavním úkolem zastávat funkci pojiva. Nespojitá fáze se nazývá výztuž, čili vlákno a v kompozitní struktuře zastává funkci vyztužující. Kompozitní materiály se liší od slitin, které jsou rovněž heterogenní tím, že se vyrábějí mechanickým mísením jednotlivých složek. [1]

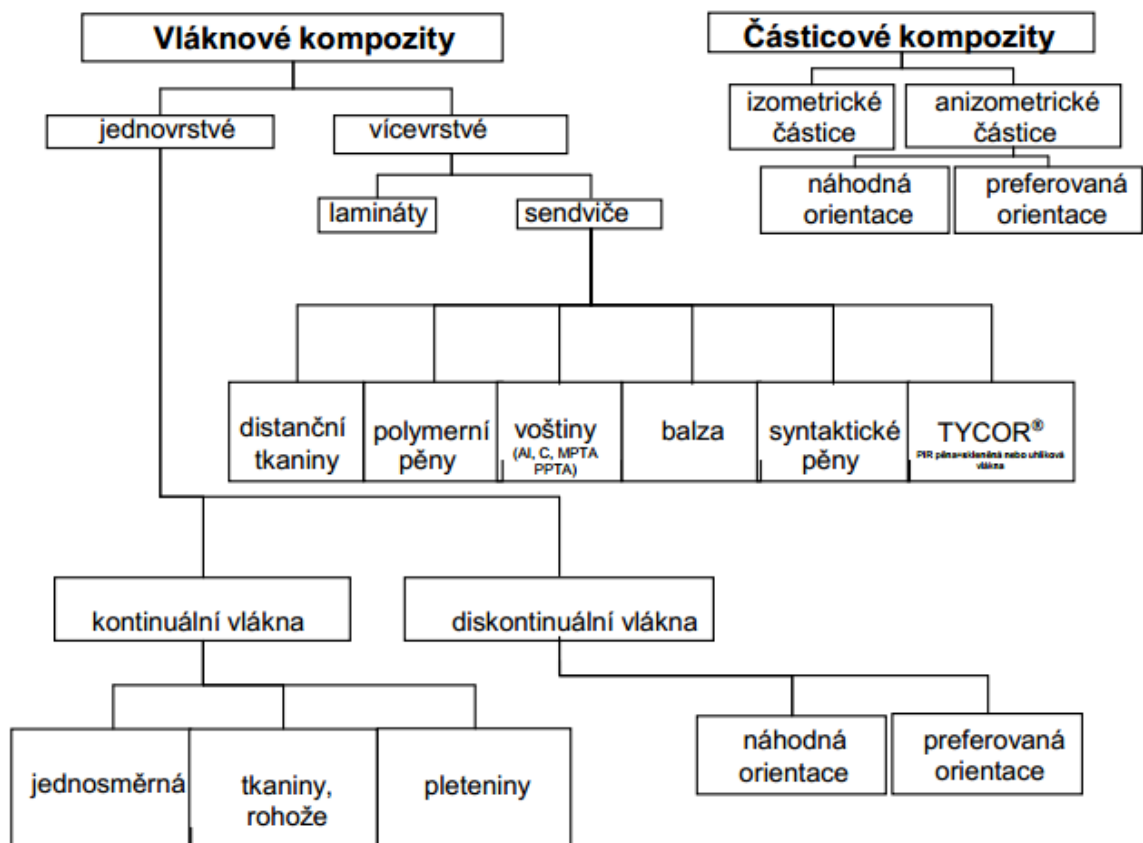
1.1 Požadavky na kompozity v dnešním světě

Plasty a kompozity splňují následující soubor vlastností: [2]

- pevnost a modul pružnosti přibližující se kovovým materiálům
- odolnost proti únavě lepší než u kovů
- vysokou rázovou a vrubovou houževnatost a odolnost proti šíření trhlin
- vysokou teplotní odolnost (vysokou teplotu skelného přechodu nebo tání)
- schopnost tlumení vibrací
- nehořlavost
- bariérové vlastnosti
- kvalitu povrchu třídy A, výrobu komponent, které nevyžadují lakování
- nízkou, případně nulovou teplotní roztažnost
- elektrickou vodivost
- korozní odolnost proti vysoce agresivnímu prostředí
- recyklovatelnost.

1.2 Dělení dle geometrie a orientace výstuže

Rozdělení mikrokompozitních materiálů podle geometrie a orientace výstuže je patrné z následujícího schématu: [3]



Obr. 1 Dělení dle orientace výstuže a geometrie [3]

1.3 Výztuž

Vlákna jsou vždy mnohem pevnější než stejné materiály v kompaktní podobě (Tab.1). Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, protože přirozené defekty struktury jsou u vláken malých průměru také malé a navíc příznivě orientované svým delším rozměrem ve směru osy vlákna. Pevnost vlákna závisí také na jeho délce. Části vzniklé porušením vlákna při tahovém namáhání mají větší pevnost než vlákno původní, protože k prvnímu lomu došlo z největšího defektu vlákna. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez o průměru od 5 do 20 μm . Menší průměry se nepoužívají z technologických důvodů - produkty s velmi tenkými vlákny se obtížně prosycují matricemi. [4]

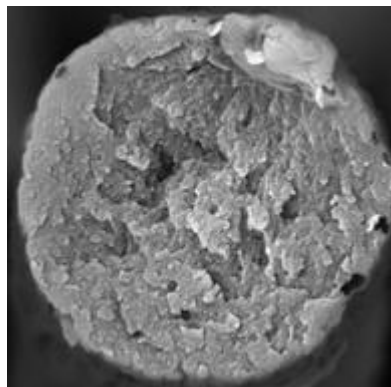
1.4 Druhy vláken

1.4.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber) je název pro tenká vlákna (3,5 až 24 μm) s pravidelným kruhovým průřezem. Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou výborným izolantem s vysokou prostupností pro záření a označují se jako E-vlákna. Je to nejpoužívanější druh skloviny pro výrobu vláken. [5]

1.4.2 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber) jsou vlákna, které vykazují extrémně vysokou pevnost a tuhost, ovšem s nízkou tažností. Výchozí suroviny se nejprve karbonizují, při čemž se odpaří všechny prvky kromě uhlíku. S rostoucí teplotou a zvyšující grafitizací se zlepšují mechanické vlastnosti. [5]



Obr. 2 Uhlíkové vlákno, příčný řez [6]

1.4.3 Aramidové vlákna

Aramidové vlákna (AF – Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovaletní vazby se orientují dle osy vlákna. Aramidové vlákna jsou hydrofilní, což znamená, že absorbují vlhkost. Mezi přednosti vlákna můžeme zařadit vysokou pevnost i tuhost. Aramidová vlákna mají rozsáhlé využití při zvyšování pevnosti kompozitních materiálů, kde se často kombinují s uhlíkovými a křemíkovými vlákny [5], [7]



Obr. 3 Člun z uhlíkových a aramidových vláken [7]

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností [4]

Materiál	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]
Sklenění vlákno	73	2500
Uhlíkové vlákno	230 - 950	2000 - 6000
Keramické vlákno	300	3000
Polyethylenové vlákno	90 - 170	3000

1.5 Matrice

Matrice vytváří základní stavební prvek výsledného kompozitu. Matrice má za úkol přenášet namáhání na jednotlivá vlákna, ochranu vláken před vlivy prostředí, zajištění jejich geometrické polohy a tvarové stálosti výrobku. [5]

1.5.1 Dělení kompozitu dle typu matrice

Typy matrice: [5]

- s kovovou maticí (MMC – Metal Matrix Composites)
- s keramickou maticí (CMC – Ceramic Matrix Composites)
- s polymerní maticí (PMC – Polymer Matrix Composites)

Tab. 2 Mechanické vlastnosti vybraných druhů matric [8]

Pryskyřice	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Hustota [g/cm³]	Deformace do lomu [%]
Epoxidová	2,1-6	35-90	1,1-1,4	1-10
Polysterová	1,3-4,5	45-85	1,1-1,5	1-5
Fenolická	4,4	50-60	1,3	1-3

2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ

Základní dělení všech technologií je možné provést podle formy. Je to jednak otevřená (jednodílná), ale také uzavřená forma. [9]

Významné faktory pro zvolení technologie je dána především charakterem výrobku a řídí se danými faktory: [10]

- Sériovost dílce
- Velikost a členitost výrobku
- Kvalita povrchu
- Požadované vlastnosti
- Limit nákladů

Obvykle se volí kompromis, aby se mohlo vyhovět všem požadavkům, které jsou nejdůležitější nebo se jim aspoň přiblížit. Sériovost je jedním ze základních faktorů ovlivňující volbu zpracování. Je zřejmé, že dílce v malých sériích není možno vyrábět strojními technologiemi, naopak velké série není ekonomické vyrábět ručním kladením. [10]

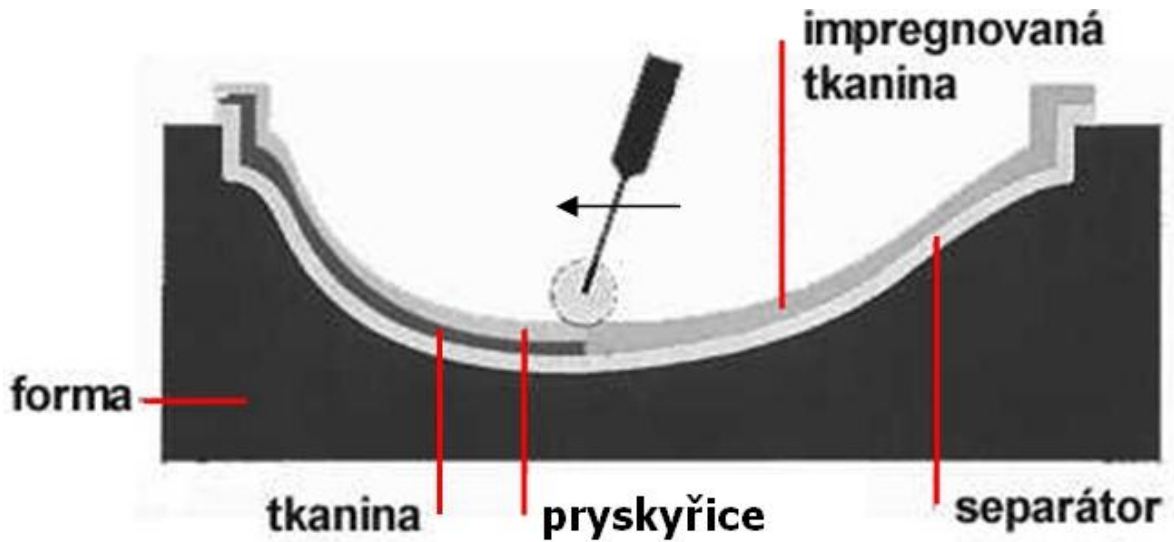
2.1 Ruční kladení

Jedná se o výrobní technologii, v níž je nanášení pryskyřice i výztuže realizováno ručně na vhodný povrch pozitivní nebo negativní formy. Dle toho, na který povrch jsou komponenty nanášeny, je dosaženo kvality povrchu vytvrzeného kompozitního dílce. Zvláštností tohoto výrobního procesu je fakt, že pouze jedna strana výrobku má kvalitní povrch. Jednotlivé fáze daného výrobního procesu jsou: [8]

- Upravení formy separačním činidlem
- Nanesení gelcoatu
- Katalyzovaná pryskyřice
- Výztuž
- Vrstva pryskyřice je válečkem vtlačena do výztuže, přičemž se vytlačí přebytečné bubliny
- Vytvrzení v klidu
- Vyjmutí z formy

Výztuže jsou ve formě skleněných vláken, uhlíkových vláken, aramidových vláken a jiných syntetických nebo přírodních vláken v různých formách.

Nejvíce se používají epoxidové nebo polyesterové pryskyřice. Druh pryskyřice a tužidla, též i iniciátoru je vhodné volit podle potřebné doby zpracování při výrobě, podle požadavků na teplotní a chemickou odolnost, pevnostní charakteristiky a jiné. [10]



Obr. 4 Ruční laminace [11]

Výhody:

- Jednoduchost
- Minimální náklady na nástroje
- Variabilita tvarů
- Jednoduché dokončovací operace

Nevýhody:

- Nereprodukovatelnost odpadu
- Malá produktivita
- Kvalita závisí na pracovníkovi [8]

2.2 Stříkání

Jedná se o strojní technologii, v níž se nanáší pneumatically na formu, pomocí speciální pistole, současně iniciovaná pryskyřice a sekaný roving. Způsob nanášení může být ručně, nebo je lze mechanizovat a řídit počítačem.

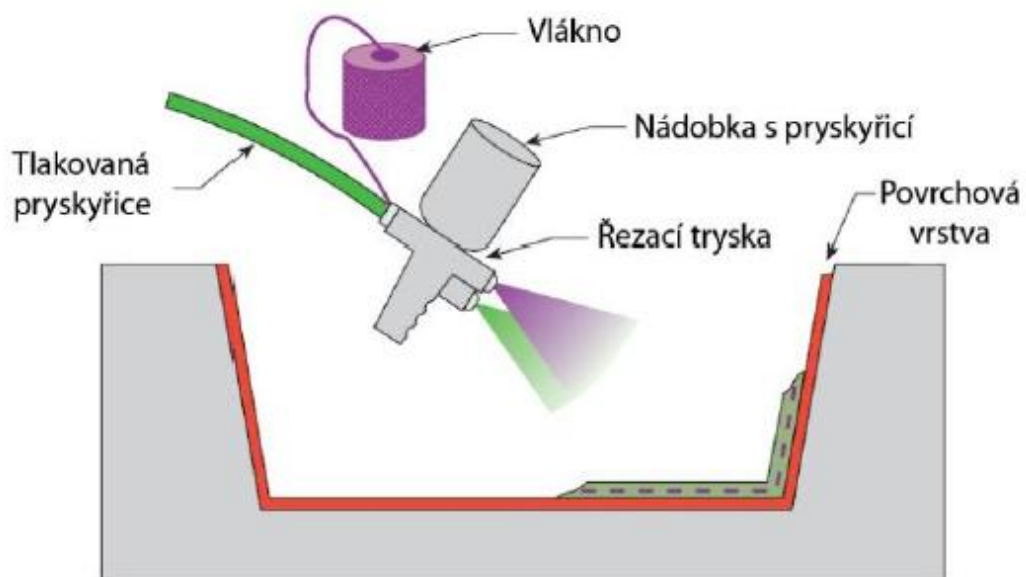
Nejprve se aplikuje gel coatová vrstva. Samotné stříkání se provádí v několika vrstvách „mokrě do mokrého“ v závislosti na požadované tloušťce výrobku. Každá vrstva nanesené směsi je nutné zhutňovat štětinovými nebo rýhovanými válečky, při čemž se vytlačí vzduchové bubliny. [10]

Výhody:

- Nízká cena zařízení
- Dobrá produktivita
- Neomezená velikost výrobku

Nevýhody:

- Dosažení přesných tolerancí
- Požadavky na kvalitu



Obr. 5 Nanášení sprejem[12]

2.3 Lisování ve formě

Lisování ve formě je proces, který se používá pro masovou výrobu dílů. Ve formě jsou najednou obsaženy všechny komponenty najednou, a to výztuž, pryskyřice, plniva, barviva, vnitřní mazadla, separační činidla a jiné. Dutina formy má konečný tvar dílu, přičemž pomocí tlaku se kompozit zalisuje a následně vytvrdí. Mezi vstupní materiály můžeme zařadit SMC (Sheet Moulding Compound), prepreg a jiné. [8]

2.4 Technologie RTM

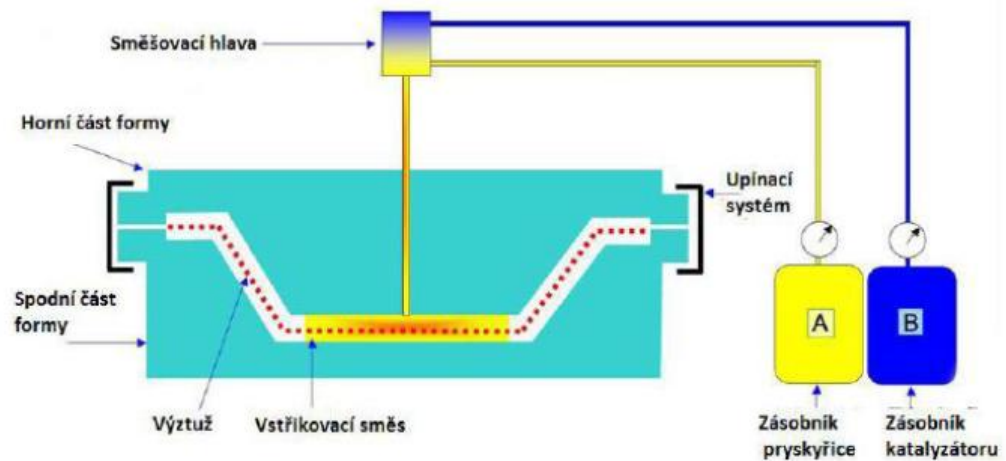
Jedná se o technologii vysokotlakého vstřikování RTM (Resin Transfer Moulding), kdy forma má robustní konstrukci (kovové nebo polymerbetonové), aby snesla vysoké vnitřní tlaky. Obě strany formy se nejdříve naseparují a poté se nanese gel coat. Následně se vyskládá suchá výztuž dle konstrukčního návrhu, při velkosériové výrobě se vkládají tzv. předlisky z výztužného materiálu. Vyztužující materiál, jenž je na bázi skleněných nebo jiných vláken, musí mít strukturu umožňující snadný tok pryskyřičného systému, aby se dosáhlo úplného prosycení v krátkém čase. Forma se poté uzavře vrchním dílem. Do vstřikovacího otvoru se umístí injektážní pistole, která přivede pojivo ze speciálního strojního zařízení – vysokotlaké pumpy s regulovatelným směřováním iniciátoru. Pryskyřice se přivádí pod tlakem 0,2-0,35 MPa. Pojivo se vstřikuje takový čas, dokud nezačne vytékat z kontrolních otvorů na okrajích formy. V tom případě už je výztuž prosycena v celém objemu. [8], [10]

Výhody:

- Kompozitní díl má obě své strany hladké
- Přesné řízení tloušťkové tolerance
- Vyrábí se velké plošné výrobky 5-19 m²

Nevýhody:

- Těžké, drahé kovové formy
- Nízký obsah skla, horší fyzikální vlastnosti
- Díly se nepoužívají v konstrukčních aplikacích [8]



Obr. 6 Technologie RTM [13]

Výrobky vyrobené pomocí RTM: [14]

- autobusů (nárazníky, boční lemy, kryty strojových elementů)
- nákladních automobilů (spojlery, kapoty, podběhy)
- zemědělských nebo stavebních strojů



Obr. 7 Díl vyrobený RTM technologií [14]

2.5 Vakuová infuze VFI

Vakuová infuze VFI (Vacuum Foil Infusion) pod pružnou folií využívá podtlak k prosycení suchých výztuží. Výztuže ve formě tkanin nebo speciálních tkaných rohoží se postupně kladou do dutiny formy. Následně se kladou další technologické materiály – se-

parační folie, rozváděcí tkanina a vakuovací folie, díky které se materiály ve formě zlisují. Pryskyřice je do dutiny formy distribuována pomocí vakua a vytvrzují při standardních atmosférických podmínkách.

Postup vakuové infuze:

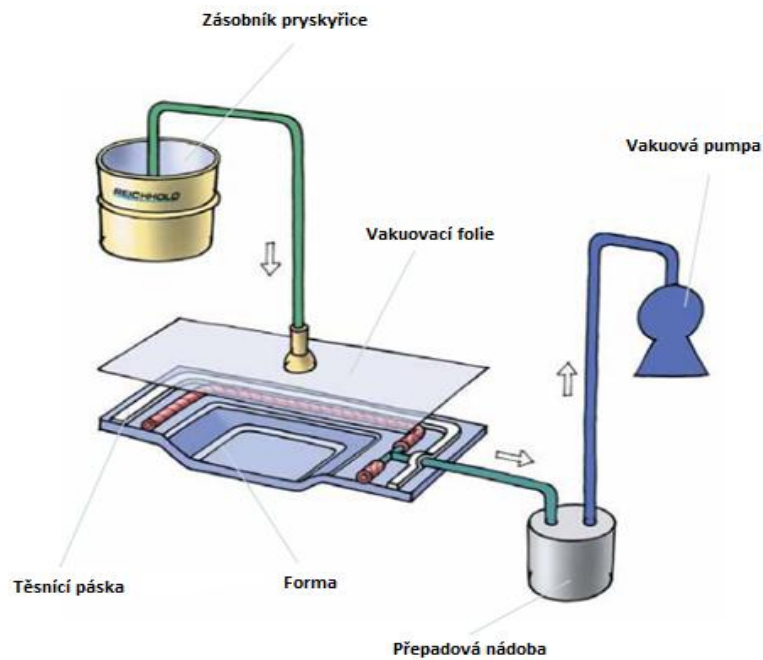
- Separace, čištění formy
- Příprava výztuže
- Nátěr gel coatu
- Lepení těsnící pásky
- Kladení výztuže do formy a pomocných materiálů
- Aplikace vakuové folie
- Instalace vakua
- Odformování

Výhody:

- Vhodná pro malé série
- Vhodná pro velkorozměrové výrobky
- Vyšší pevnost a tuhost výrobku

Nevýhody:

- Technologicky složitý proces
- Náklady na pomocné materiály
- Zkušenost pracovníků



Obr. 8 Vakuová infuze pod pružnou folií VFI

2.6 Vakuové lisování z prepregů

Prepreg je zkrácený název pro preimpregnovanou vyztužující tkaninu. Obsahuje přesný poměr pryskyřice a výztuže a je uložen ve formě tenkých vrstev. Výhodami prepregu je přesné uložení výztuže, má tudíž dobré izotropní vlastnosti. Mezi nevýhody lze zařadit vyšší cena prepregu, velký odpad a skladování prepregu při nízkých teplotách. [8]

Prepregy se kladou do dutiny formy ve více vrstvách a následně se přidávají další technologické potřebné materiály, jako je odtrhová tkanina, separační fólie, odsávací rohož či vakuovací fólie. Pod vakuovací folií se vytvoří pomocí vakua podtlak, čímž se všechny vrstvy zlisují. Poté se celá forma vloží do vyhřívací pece nebo autoklávu, kde začíná prepreg vytvrzovat. Prepregy se vytvrzují za zvýšených teplot, pokud je použit autokláv, tak i za zvýšeného tlaku. [10]

Používané materiály:

Prepregy na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken (pro letecké a kosmické aplikace jsou užívána také vlákna borová) nejčastěji s epoxidovou matricí, vytvrzující při 120-200°C.

Lisování v autoklávu se používá pro nejnáročnější velkorozměrové struktury, např. pro letecký průmysl, závodní automobily, velké obkladové panely do dopravních prostředků.

[10]



Obr. 9 Autokláv [15]

2.7 Navíjení

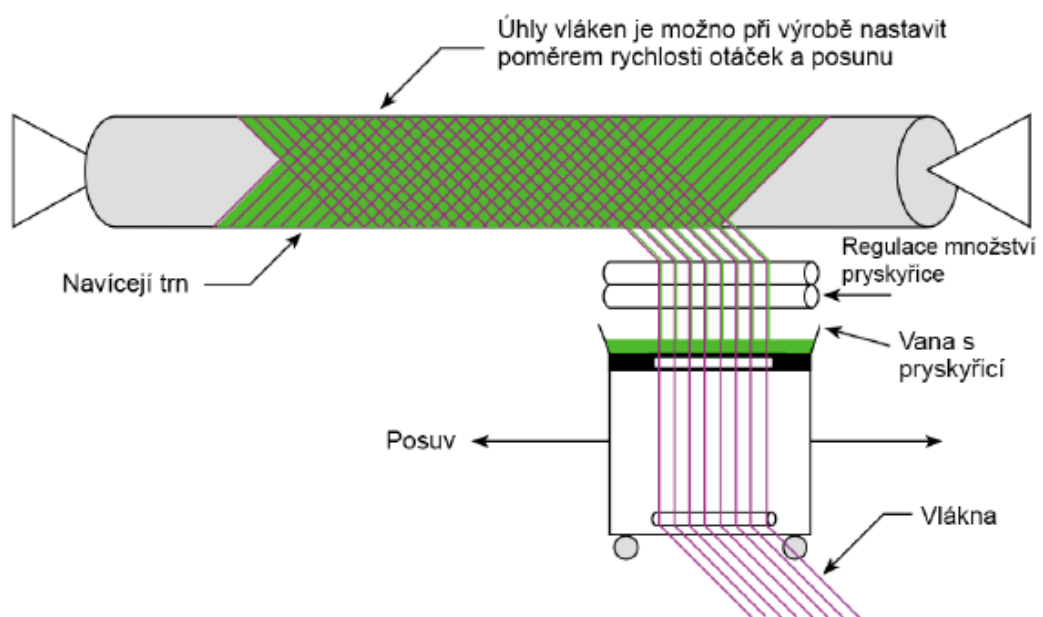
Navíjení je založeno na kontinuálním navíjení vláken či upravených výztuží na kruhovou formu. Vlákná mohou být již navlhčena pryskyřicí nebo se navlhčí až po samotném navíjení. Při technologii navíjení se výztuž a to, skleněné, uhlíkové či aramidové vlákno, navíjí na jádro (trn) ve tvaru výrobku. Pro snadnější vyjmutí výrobků se trny vyrábí s malým úkosem. Při navíjení se spojuje rotační pohyb trnu a posuvný pohyb vany s pryskyřicí. Požadovaných vlastností výrobku se dosahuje uspořádáním a orientací pramenů vláken a výztuží. Výsledné produkty navíjení jsou dutá tělesa, nádrže a trubky. [8], [10]

Výhody:

- Velmi dobrá produktivita
- Výroba potrubí, velkých součástí
- Výborné fyzikální vlastnosti

Nevýhody:

- Vysoká cena navíjecích strojů [8]



Obr. 10 Navíjení [12]

2.8 Pultruze

Při klasické pultruzi je výztuž kontinuálně impregnována tekutou UP nebo VE pryskyřicí a je vtahována do tvarovací a vytvrzovací hlavy. V ohřívané části hlavy, mikrovlnný ohřev pryskyřice se používá pro skleněná vlákna a indukční ohřev pro uhlíková vlákna, je vytvrzena a hotový profil je odtahován housenkovými pásy nebo dvojicí střídavě popojíždějících vozíků a řezán na potřebnou délku. Stroje obvykle mívají horizontální uspořádání.

U novějších pultruzních strojů je pryskyřice do tvarovací hlavy vstřikována (RIP, Resin Injection Pultrusion), což zajistí lepší prosycení výztuže a odstranění par reaktivního rozpuštědla při použití UP a VE pryskyřic. Nekonečný profil je řezán na potřebné délky

2.9 SMC

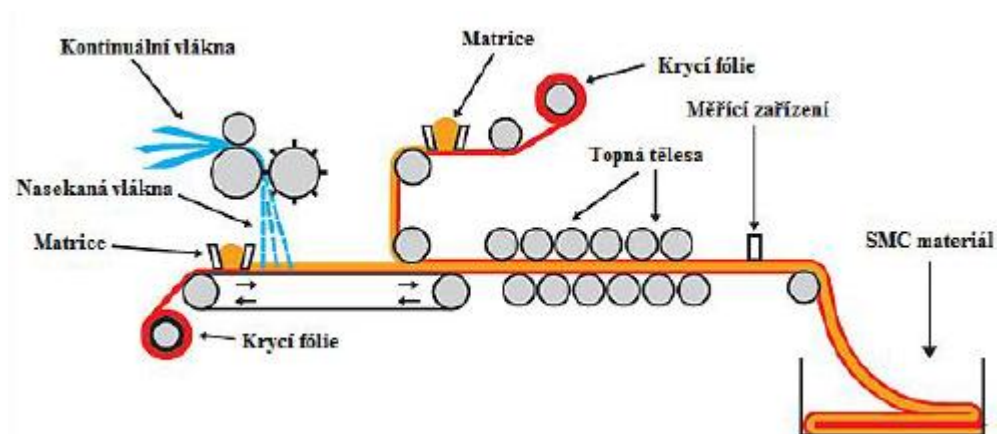
Jde o lisovací technologii (Sheet Moulding Compound) ve vytápěné ocelové dvoudílné formě. Polotovar pro lisování lze nazývat také prepreg. K lisování SMC je potřeba hydraulický lis a ocelová vyhřívaná forma s leštěnými povrchy dutin. Tento aspekt je finančně náročný a proto se tato technologie uplatňuje při velkém množství požadovaných kusů. Výsledné povrchy daného dílu mají vysokou kvalitu. SMC se vyrobí, pokud smícháme polyesterovou pryskyřici s levnými částicemi (křemičitý prášek, uhličitán vápenatý) a nejčastěji nasekanými skelnými vlákny a vytvoříme plátno. Rychlost výroby jednoho výrobku je dán časem vytvrzování ve formě. SMC materiály mají výborné mechanické vlastnosti. Výlisky se používají např. jako panely karoserií automobilů. [10]

Výhody:

- Vysoká produktivita
- Bez potřeby odborné znalosti obsluhy zařízení
- Vyrábění dílů o různé tloušťce

Nevýhody:

- Vysoká cena nástrojů a forem
- Málo flexibilní metoda [8]



Obr. 12 Schéma výroby SMC materiálu [10]

3 VYUŽITÍ KOMPOZITŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Polymery a kompozity se v současnosti ve velké míře využívají při konstrukci automobilů. Velké možnosti v automobilovém průmyslu mají polymerní kompozity, které jsou v porovnání s tradičními kovovými materiály lehčí a disponují lepšími mechanickými vlastnostmi.

V roce 1970 se při výrobě automobilu střední třídy spotřebovalo 40 kg plastů, v roce 1983 až 90 kg a v roce 1995 přibližně 130 kg. Podíl plastů na celkové hmotnosti automobilu představuje 10 až 15 %. Z materiálů se především používají termoplasty vyztužené sklenými vlákny, přičemž ve speciálních případech se používají i vlákna uhlíková. [17]

3.1 Pružiny ze skleněných vláken

Audi koncem května 2014 představilo novou generaci modelu Audi A7. Může se chlubit novými pružinami, které nejsou vyrobeny z oceli, ale ze skleněných vláken, aby se ušetřilo na hmotnosti. Nové pružiny jsou proto vyrobeny z látky zvané GFRP. Jde tedy o plasty/polymery tvrzené skleněnými vlákny. Každá taková pružina váží 1,6 kg místo obvyklých 2,7 kg pro ocelové pružiny, tudíž hmotnost se snížila o 4,4 kg. Audi A7 nicméně nebude zdaleka prvním vozem, který pružiny z GFRP využije. K nalezení jsou mimo jiné i ve starších vozech Chevrolet Corvette. [18]



Obr. 13 Pružiny [18]

3.2 Kompozity v automobilech BMW

BMW se díky dlouhodobému vývoji výroby a použití uhlíkových kompozitů stalo v daném oboru světovým technologickým lídrem. Na automobilu BMW M3 CSL jsou dveře a střecha z uhlíkových kompozitů. Uhlíkový kompozit nahradil také plast na náraznících a spoi-

lrech, odtučňovací kúře se nevyhnulo dokonce ani zadní okno, které bylo vyrobeno z tenčího skla. Díky všem těmto úpravám se podařilo konstruktérům snížit váhu vozu o 110 kg na 1385 kg. [19]



Obr. 14 BMW M3 CSL

3.3 Interiér automobilů

Britská automobilka McLaren využila uhlíkový kompozit ve všech komponentech a panelech. Vyrábí tudíž palubní desku, podlahy, prahy, strop i dveře z uhlíkového kompozitu, aby si zachovala co nejmenší hmotnost. V základní výbavě nenajdeme ani koberečky a to z důvodu nízké hmotnosti. [20]



Obr. 15 Interiér automobilu McLaren P1 [20]

3.4 Střecha automobilů

Karbon i nadále zůstává velice drahým materiálem a automobilový průmysl řeší jak odlehčit hmotnost při stále nízkých nákladech. V případě sportovních golfů je uhlíkový kompozit nalepen na tenkém ocelovém plechu, jenž plní nosnou funkci střechy.[21]



Obr. 16 Sportovní Golf [21]

3.5 Kryt víka alternátoru

Ducati 1199 - kryt víka alternátoru GB Racing. Kompozitní materiál vyrobený z 60% vstříkovaného skelného vlákna nylonu. Velká odolnost proti nárazu. Tato víka mají oproti karbonovým víkům nespočet výhod: větší efekt ochrany při pádu, estetický vzhled a jiné. [22]



Obr. 17 Kryt alternátoru [22]

3.6 Lisování z přírodních vláken

Horký lis, jenž je vybaven vakuovou komorou se používá pro vytvrzení, což vede k velmi krátkému cyklu zpracování. Tvarované prvky nevykazují žádnou deformaci po vyjmutí z formy a po následném chlazení. Přírodní vlákna pro technické aplikace jsou obvykle zpracovány jako rohože a jsou impregnované s polymerní matricí. Navzdory nízkému obsahu matrice vykazují díky dobré vlastnosti. Materiál byl vyvinut především pro automobilový průmysl, tudíž se používá k výrobě různých složek, zásobníků a sportovních sedaček. [23]



Obr. 18 Panel do auta [23]



Obr. 19 Lisování sportovní sedačky [23]

3.7 Využití SMC materiálů

SMC materiály mají velké zastoupení při výrobě sklápěcích střech, palivových nádrží, a zadních částí vozů.



Obr. 20 SMC střecha u Renault Wind [24]

3.8 Využití sklolaminátu

Sklolaminát je kompozitní materiál, tvořený skleněnými vlákny (tkaninou) a vytvrzenou umělou pryskyřicí (polymerem). Vyznačuje se velkou pevností, odolností vůči chemikáliím i počasí, nízkou hmotností i cenou a dobrými hygienickými vlastnostmi. Jako pryskyřice se užívají epoxidy, termosety (polyester, vinylester) nebo termoplasty.



Obr. 21 Doplněk na nárazník Peugeot 306 [25]

3.9 Kompozity v závodních autech

Pro výrobu závodních sedadel se mohou používat dané materiály. Vysoce pevný, skelnými vlákny vyztužený plast, ultralehký Carbon-Kevlar nebo celokarbonová konstrukce pro high-tech. [26]



Obr. 22 Sedadlo z Carbonu- RECARO Ultima 1.0 [26]

3.10 Nádrže na zemní plyn

Nádrže pro skladování zemního plynu v automobilech jsou vyráběny výhradně jako válcové z kovu nebo kompozitu. Nejvíce používané jsou nádrže kovové, jelikož jsou výrazně levnější než kompozitové. Omezením pro jejich montáž do vozidel je velká hmotnost. Tato nevýhoda kovové nádrže je zvláště patrná u montáže do osobních vozidel. Hmotností nádrže je omezena kapacita tankování paliva a tím pádem i dojezd vozidla na jedno natanování. Z toho důvodu se v praxi stále častěji a více uplatňují kompozitové nádrže, jejichž hmotnost představuje 1/3 hmotnosti ocelové nádrže při stejném objemu. Jako materiál kompozitních nádrží se používají polymerní lamináty. [27]



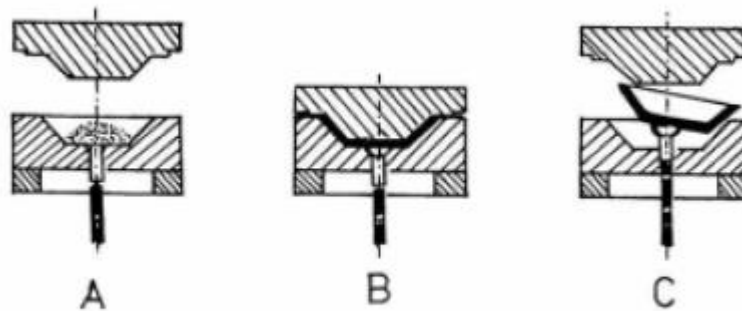
Obr. 23 Automobil Volkswagen [27]

4 LISOVÁNÍ

Lisování patří mezi nejstarší způsob zpracování polymerů. Jeho počátky byly evidovány v posledních desetiletí 19. století. Lisování je způsob tváření polymerů při zvýšených teplotách a tlacích, při čemž výsledný tvar dává lisovanému materiálu forma. Podle velikosti použitých tlaků rozdělujeme lisování na vysokotlaké a nízkotlaké. Jako vysokotlaké se označuje lisování při tlacích nad 3MPa. [28]

Lisováním se zpracovávají reaktoplasty, kaučuky a méně i termoplasty. Lisování je cyklický tvářecí proces, kdy fixace materiálu nastává buď fyzikálně – (ochlazení pod T_f) nebo chemicky – síťování (vulkanizace, reaktoplasty). [29]

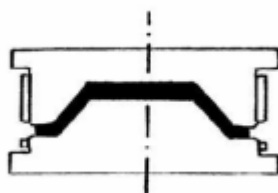
Vysokotlaké lisování rozdělujeme dle provedení na lisování přímé (rázem) a nepřímé (přetlačování). K vysokotlakému lisování se využívají hlavně pístové hydraulické lisy. [28]



Obr. 24 Vysokotlaké přímé lisování [28]

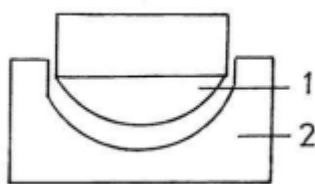
A – plnění formy, B – vlastní lisování, C – vyjímání výlisku z formy

Nízkotlaké lisování se používá hlavně při zpracování reaktoplastů, hlavně fenoplastů a aminoplastů, v největší míře k výrobě vyztužených polyesterů. Před nanesením pryskyřice se musí výztuž upravit tak, aby byla rovnoměrně rozložena v hotovém výrobku. Nízkotlaké lisování se liší především podle používaných forem. Dělíme je na výrobky z lisů s pevnými formami a lisování pomocí pružných forem.[28]



Obr. 25 Pevná forma [28]

Na obr. 25 je znázorněna pevná forma pro nízkotlaké lisování se zalisovaným polymerním materiálem (např. skelným laminátem)



Obr. 26 Pružný dílec [28]

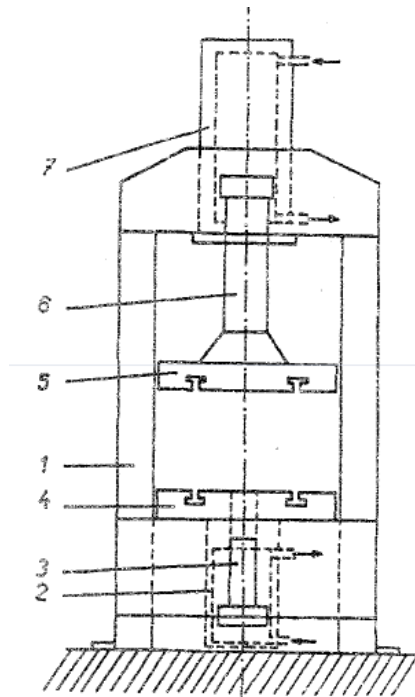
1- pružný dílec, 2- pevná forma

4.1 Druhy lisu

Lis je zařízení, které vyvozuje sílu na zpracovávaný materiál. Lis se skládá ze stojanu, ve kterém je upevněn nepohyblivý stůl lisu, proti stolu působí beran, který se pohybuje vlivem lisovací síly. U většiny lisů působí síla vertikálně, na stůl lisu a na beran upínán spodní a horní díl formy, tj. tvárnice a tvárník.

Podle způsobu vyvození síly rozdělujeme lisy na:

1. **Mechanické** – vřetenové, ruční, kloubové
2. **Hydraulické** – hornotlaké, dolnotlaké. Větší lisovací síly.



Obr. 27 Hydraulický lis [29]

1-Rámový stojan lisu, 2-Válec vyhazovacího pístu, 3- Vyhazovací dvoučinný píst, 4- Nepohyblivý stůl, 5- Beran, 6- Hlavní lisovací dvoučinný píst, 7- Hydraulický válec

Na Obr. 27 je znázorněn Hornotlaký hydraulický lis s hydraulickým lisováním. [29]

4.2 Automatizované výrobní postupy

Technologii lisování lze rozdělit na dva výrobní postupy. Jedná se o lisování za studena a tepla anebo tzv. mokré lisování. Lisování za studena probíhá za teploty cca 30-60 °C, lisování za tepla při zvýšených teplotách cca 80-150 °C. Po vytvrzení odpadá např. odstranění přetoků, leštění, ale jen pokud se jedná o částečně nebo plně automatické lisování. Při této technologii jsou vysoké finanční nároky na lisy, lisovací formy a další zařízení.

4.2.1 Lisování za tepla

Používají se ocelové formy a hydraulické lisy. Formy jsou vyhřívány elektricky, olejem nebo párou. U polyesterových pryskyřic je lisovací teplota 130-160 °C a u epoxidových pryskyřic 125-200 °C.

4.2.2 Lisování za studena

Do formy se vloží vrstvy výztuže a poté se nalije pryskyřice, nástroj se uzavře. Může se provádět lisování za studena, nebo za tepla – vytápěná forma. Lisovací tlak je v rozmezí 0,5-2 MPa. Nástroje na lisování jsou obvykle vyrobeny z plněných pryskyřic. [5]

4.3 Lisovací cyklus pro reaktoplasty

Cyklus pro reaktoplasty: [29]

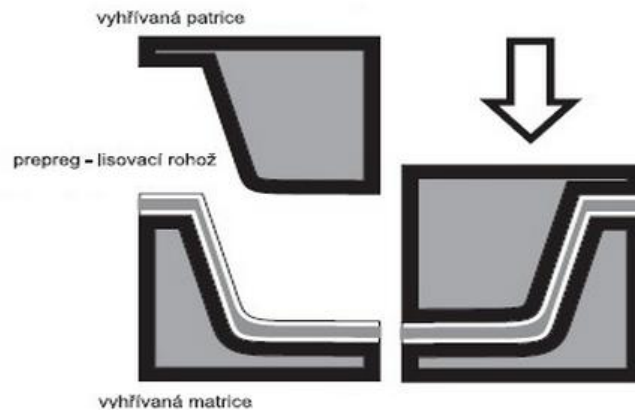
- Úprava formy
- Plnění formy
- Uzavření formy
- Prohřev
- Zalisování
- Otevření formy
- Vyhazování vylisku
- Příp. dosíťování

4.4 Lisování za tepla a tlaku

Provádí se za zvýšených teplot a tlaků ve dvou nebo vícedílných kovových formách, které musí mít leštěné nebo lépe tvrdě chromované pracovní povrchy. Formy se vyhřívají nejčastěji elektricky nebo topným médiem a jsou upevněny v hydraulických lisech schopných vyvodit tlaky 10-300 kg/cm². Při uzavření formy vyšším tlakem materiál teče a vyplňuje prostor formy ve tvaru konečného výrobku. Výchozím materiálem jsou buď prepregy- tzv. lisovací rohože (SMC – sheet moulding compounds), lisovací těsta (DMC- dough moulding compounds) nebo lisovací směsi -premixy (BMC – bulk moulding compounds). [8], [9]

Postup výroby: [8]

- Vyhřívání forma je vložena do lisu s předepsanou kapacitou, tlakem, rychlostí uzavírání, teplotou atd.
- Vstupní materiál je vložen do otvoru formy a forma je uzavřena
- Po vytvrzení je forma otevřena a výrobek vyjmut, následně je forma naplněna pro další cyklus



Obr. 28 Lisování za tepla a tlaku SMC [9]

4.5 Materiály pro lisování

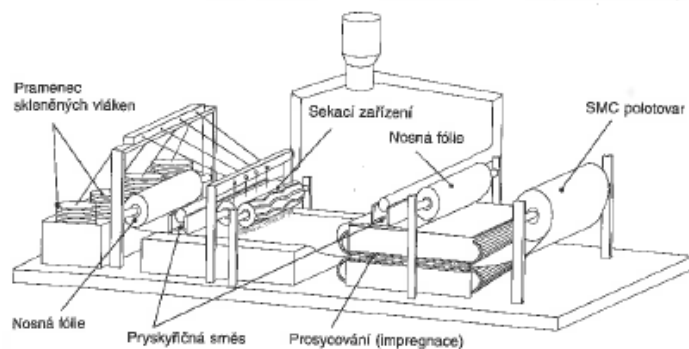
4.5.1 SMC materiál

Polotovar pro lisování lze nazývat také prepreg. Podle orientace a tvaru výztuže se rozlišují tyto technologie SMC: [8]

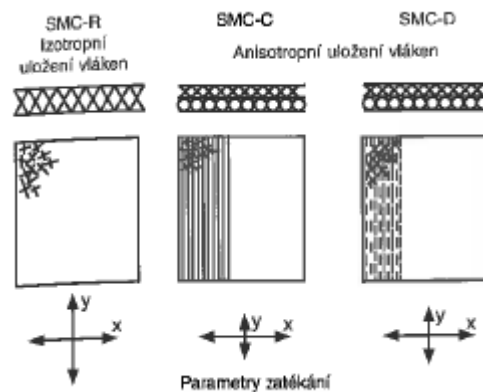
R - "Sheet Molding Compound Random" – náhodně uložená nasekaná skleněná vlákna o délce 25-50 mm (izotropní uložení vláken)

C - "Sheet Molding Compound Continuous " - náhodně uložená nasekaná skleněná vlákna spolu s jednosměrně uloženými pramenci (anizotropní uložení vláken)

D - "Sheet Molding Compound Directed" - náhodně uložená nasekaná skleněná vlákna spolu s částí orientovaně uložených sekaných vláken o délce 75-200 mm (anizotropní uložení vláken) [8]



Obr. 29 Výroba SMC [5]



Obr. 30 Způsob uložení vláken v SMC [5]

4.5.2 DMC materiál

Do vytápěné uzavřené formy se vloží těstovitá hmota vytvořená smíšením katalyzované pryskyřice, sekaných vláken, plniv a barviv. K toku směsi dojde při lisování.

4.5.3 BMC materiál

Do uzavřené vytápěné formy je vložena tableta nebo prášek směsi reaktoplastu ve stavu resitolu s plnivou, sekanou vláknovou výztuží (délka kolem 12 mm) a tvrdidly. Teplem dojde k roztavení resitolu, k jeho toku a vytvrzení (dojde k změně pryskyřice v resit). [9]

4.5.4 Ostatní druhy na lisování

- **Fenoplasty** – nevhodné pro zdravotnický a potravinářský průmysl.
- **Polyesterové lisovací hmoty** – plní se uhlíkovými nebo skleněnými vlákny. Existují též ve formě vícesložkových roztoků (pryskyřicí nasycené skleněné rohože). Vhodné pro ruční výrobu a malé série. Vyrábí se tuningové součásti, lodě, bazény.
- **Epoxidové lisovací hmoty** – podobné použití jako polyesterové pryskyřice, mají lepší mechanické vlastnosti. Jsou vyztuženy skleněnými vlákny. Používají se pro kosmický a letecký průmysl.
- **Kaučukové směsi** – výroba pneumatik, řemenů, těsnění.
- **Termoplasty** – lisují se jen výjimečně, např. PMMA a PTFE. [29]

4.6 Prepregy

Pro výrobu dílů v autoklávu nebo lisováním se především používá předimpregnovaná výztuž, tzv. prepreg. Výhodou prepregů je, že je oddělen složitý proces prosycování výztuže pojivem od dalšího zpracování. Daný postup se provádí na kontrolovaných a reprodukovatelných

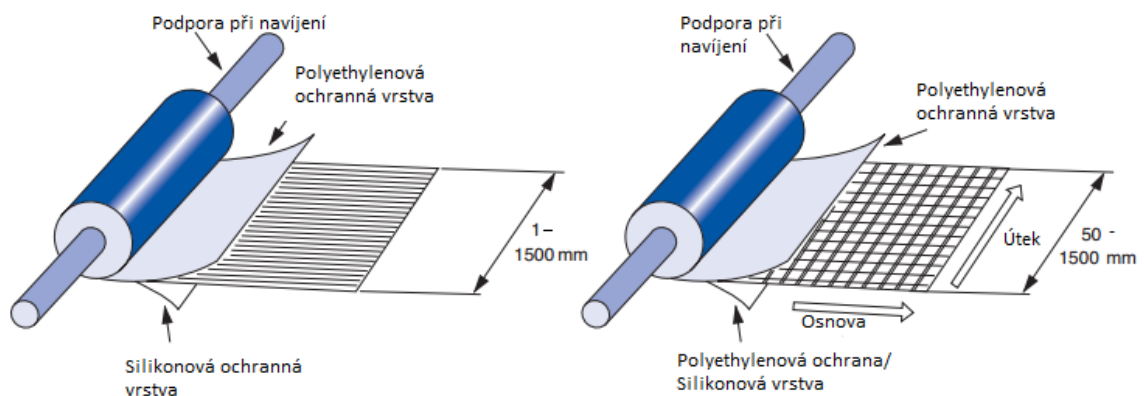
telných podmínek na speciálním zařízení a má velký vliv na vlastnosti a kvalitu budoucího výrobku. [5]

Mezi výhody předimpregnované tkaniny patří vysoký podíl vláknové výztuže, rovnoměrné rozložení pryskyřice a minimalizace dutin. Prepregy se prodávají ve formě rolí o dané šířce, z které výrobce určuje nástřihový plán, jehož cílem je minimalizovat odpad. [30]

Prepregy s reaktoplastickým pojivem se musí do doby, kdy se budou dále zpracovávat, skladovat za teploty cca -20°C a po dobu maximálně 6 měsíců. Před vlastním zpracováním se přibližně 6 hodin předem rozmrazí, nejlépe bez přístupu vzduchu (aby se nesrážela vzdušná vlhkost na povrchu prepregu). Následně se připravuje podle daného nástřihového plánu. [5]

Prepreg se skládá z kombinace matrice (pryskyřice) a vlákna. Poté je daný komponent připraven k použití ve výrobním procesu. [31]

Prepreg může být:



Obr. 31 Jednosměrný a dvousměrný prepreg [31]

4.6.1 Definice matrice

Hlavní rolí matrice je fixace, tzn., že je zajištěna jejich vzájemná orientace, a přenos napětí na vlákna. Matrice chrání vlákna před vnějšími vlivy a určuje nám i teplotní rozmezí při užívání prepregů. [31]

4.6.2 Rozdělení tkanin

Výztuže v matrici se mohou vyskytovat ve formě tkanin, pásků nebo rovingových svazků.

Tkaniny se skládají minimálně ze dvou vláken, které jsou společně tkané – osnova, útek.

Existují tři druhy tkanin:

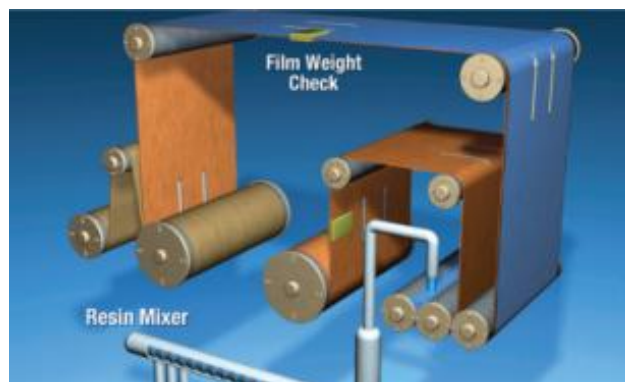


Obr. 32 Druhy tkanin [31]

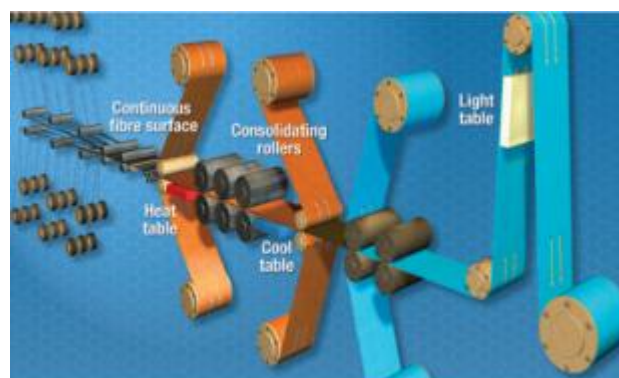
4.7 Výroba prepregu

Výroba prepregu je rozdělena na dva možné způsoby – jednostupňový a dvoustupňový. U jednostupňové výroby se linky rozdělují na vertikální a horizontální uspořádání.

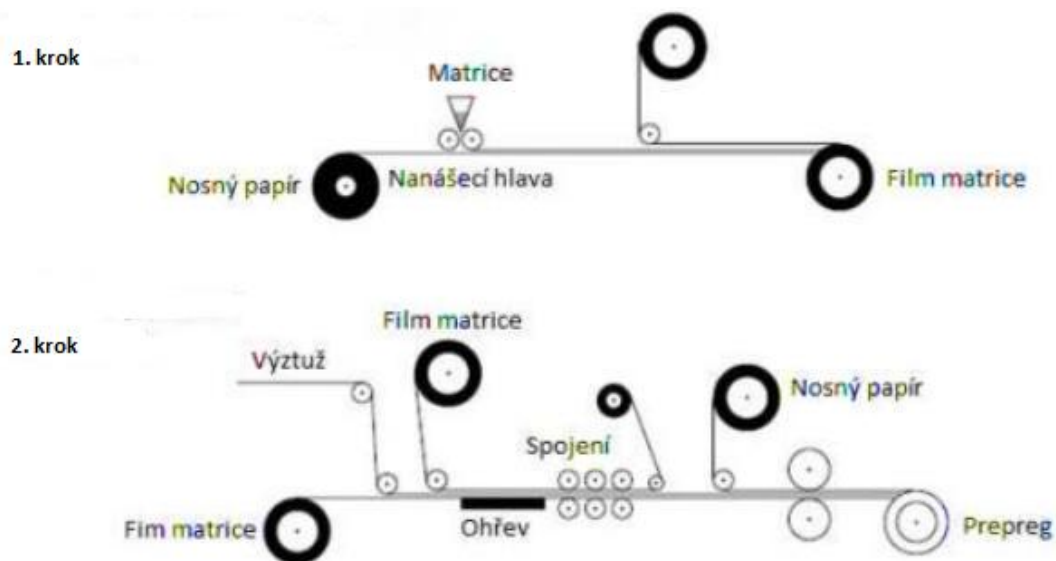
- Dvoustupňová výroba



Obr. 33 Výroba filmu [31]

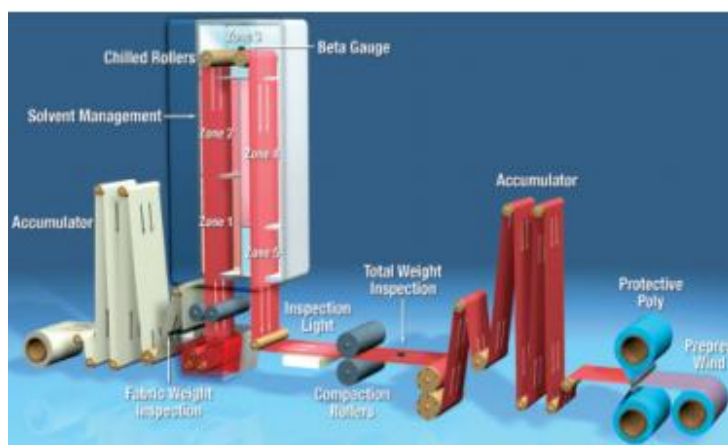


Obr. 34 Impregnace filmu [31]

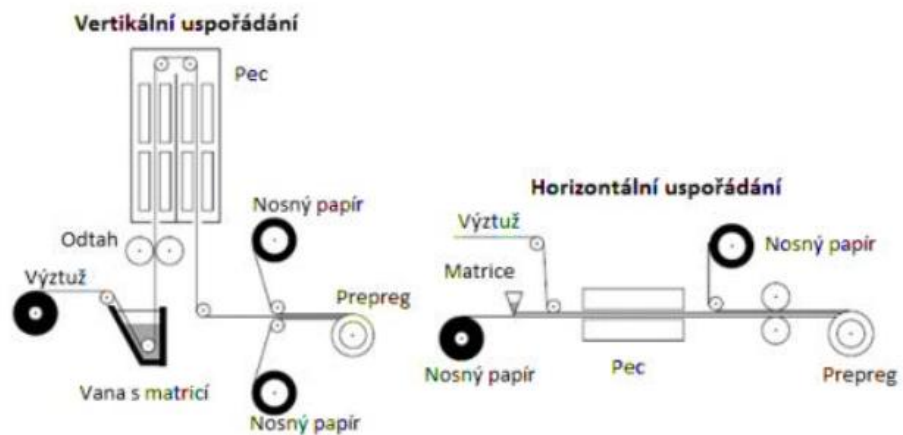


Obr. 35 2D schéma dvoustupňové výroby

- **Jednostupňová výroba**



Obr. 36 Jednostupňová výroba [31]



Obr. 37 2D schéma jednostupňové výroby [31]

4.8 Proč se používají prepregy?

Mezi hlavní faktory při výběru prepregu lze zařadit cenu a provedení.

➤ Výroba

- Snadnější zpracování
- Nižší cena na polotovar
- Snížení energetické náročnosti
- Snížení počtu dílů
- Kontrola obsahu vláken
- Vlastnosti na zpracování

➤ Konečný výrobek

- Dobré mechanické vlastnosti
- Odolnost proti únavě
- Vysoká pevnost, tuhost
- Odolnost proti korozi a stárnutí
- Opravitelnost

➤ Konstrukce

- Optimalizace váhy a poměru výkonu [31]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je využití technologie lisování kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu s ohledem na různé typy vláken. Technologie lisování reaktoplastických kompozitních materiálů s dlouhovláknovou výztuží je zejména vhodná pro menší a střední rozměry dílů (1m²). V dnešní době je rozšířené hlavně zpracování termoplastů s krátkými (skelnými) vlákny. Lisované díly je možné po skončení lisování lakovat a získávat tak designové díly, které jsou v automobilovém průmyslu produkty s přidanou hodnotou. Výroba vzorků a prototypu probíhala ve firmě FORM s.r.o. v obci Střelná.

1. Návrh materiálové skladby kompozitních dílu z předimpregnovaných materiálu s ohledem na využitelnost v automobilovém průmyslu.
2. Výroba vzorků technologii ručního kladení prepregů a následné vytvrzování v peci.
3. Experimentální testování vzorku dle stanovených norem
 - Tříbodová zkouška ohybem dle normy ČSN EN ISO 14125 (zkoušky vzorků prováděny za teploty 23, 60 a 90°C).
 - Rázová zkouška Charpyho kladivem dle normy ČSN EN ISO 179-2 (zkoušky vzorků prováděny za teploty 23, 60 a 90°C).
 - Průrazová zkouška dle normy ČSN EN ISO 6603-2 (zkouška prováděna za teploty 23°C).
4. Vzájemné srovnání naměřených výsledků.
5. Výroba prototypu a určení technologického postupu výroby.
6. Cenové srovnání používaných prepregů.
7. Diskuze naměřených výsledků.

6 PŘEHLED DÍLŮ VHODNÝCH PRO TECHNOLOGII LISOVÁNÍ



Obr. 38 Část palubní desky vyrobeného z uhlíkových vláken [32]



Obr. 39 Panel do automobilu z přírodních vláken [23]



Obr. 40 Výroba sedačky z přírodních vláken [23]



Obr. 41 Potah pod nohy [33]



Obr. 42 Zpětná zrcátka [34]



Obr. 43 Střecha [35]



Obr. 44 Carbonová anténa [36]



Obr. 45 Větrací otvor ze skelných vláken [33]



Obr. 46 Část volantu [37]



Obr. 47 Palubní deska [38]



Obr. 48 Část dveří [39]

6.1 Výroba a popis zkušebních vzorků

Vzorky byly vyráběny ve firmě FORM s.r.o. za dohledu zkušených pracovníků. Jednalo se o ruční kladení prepregů a následné vytvrzování v peci. Byly vyrobeny rovné desky. Jedná se o technologii, jež je vhodná spíše pro kusovou výrobu.

Vzorky byly následující:

1. Vzorek z uhlíkového vlákna (celkem 5 vrstev) - dále označován jako Typ I



■ Uhlíkový prepreg

2. Vzorek ze skelného vlákna (celkem 5 vrstev) – dále označován jako Typ II



3. Vzorek z aramido - uhlíkového vlákna a ze skelného vlákna (vrchní vrstva z aramido - uhlíkového vlákna a následně 4 vrstvy ze skelného vlákna). Dále označován jako Typ III



6.1.1 Postup výroby zkušebních vzorků

1. Z balíků byly naměřeny a následně nastříhány vzorky o zadaných rozměrech 300 x 350 mm. Jako pomůcky sloužil svinovací metr, ruční nůžky a velké pravítko.



Obr. 49 Balík ze skelného (vlevo) a uhlíkového (vpravo) prepregu

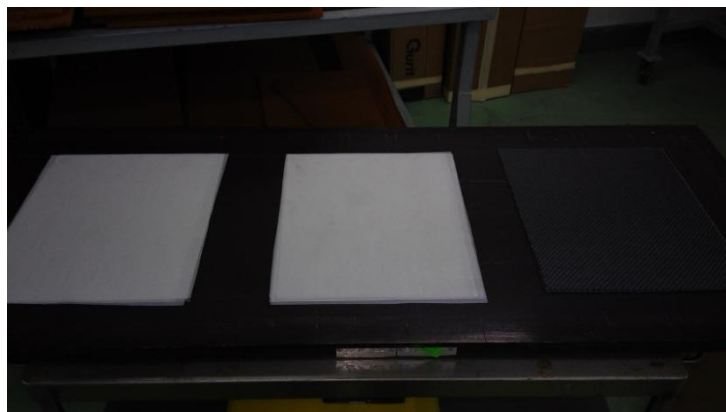


Obr. 50 Nastříhané vzorky s ochranou folií

2. Z nařezaných vzorků byly strhnuty ochranné folie a v přesně stanovených vrstvách byly kladeny na otevřenou část formy. Na obrázku č.51 se nachází vlevo vrstva aramido-uhlíkového vlákna, uprostřed je skelné vlákno a úplně vpravo je vlákno uhlíkové. Na obrázku č.52 jsou už vzorky připraveny – na aramido-uhlíkovém vláknu se již nachází vrstvy ze skelného vlákna.

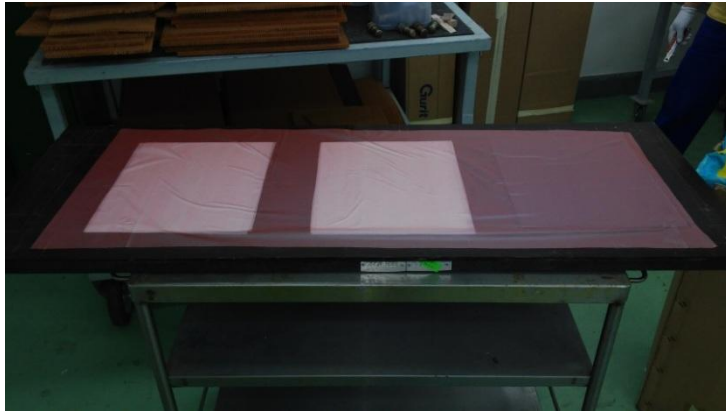


Obr. 51 Ruční kladení prepregu



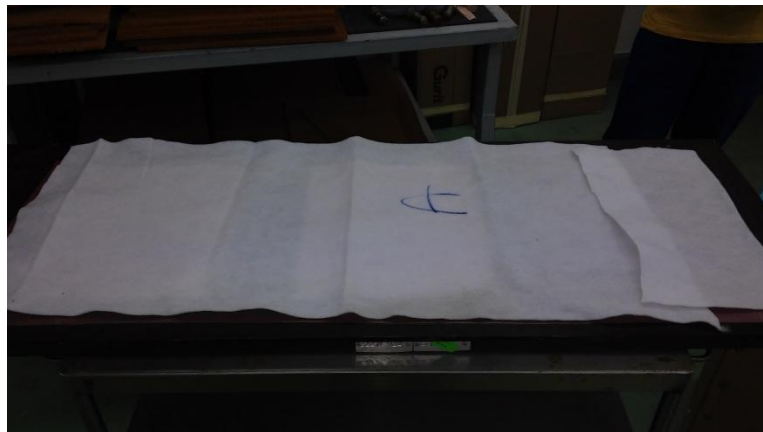
Obr. 52 Kompletní sestava prepregu

3. Dalším krokem byla aplikace separační folie. Jejím úkolem je oddělení vyráběného materiálu od dalších pomocných materiálů.



Obr. 53 Separáční folie

4. Na separační folie přichází vrstva odsávací rohože. Odsávací rohož slouží k bezpečnému odsátí přebytečného vzduchu a k absorpci přebytečné pryskyřice. Jedná se o netkanou textilií.



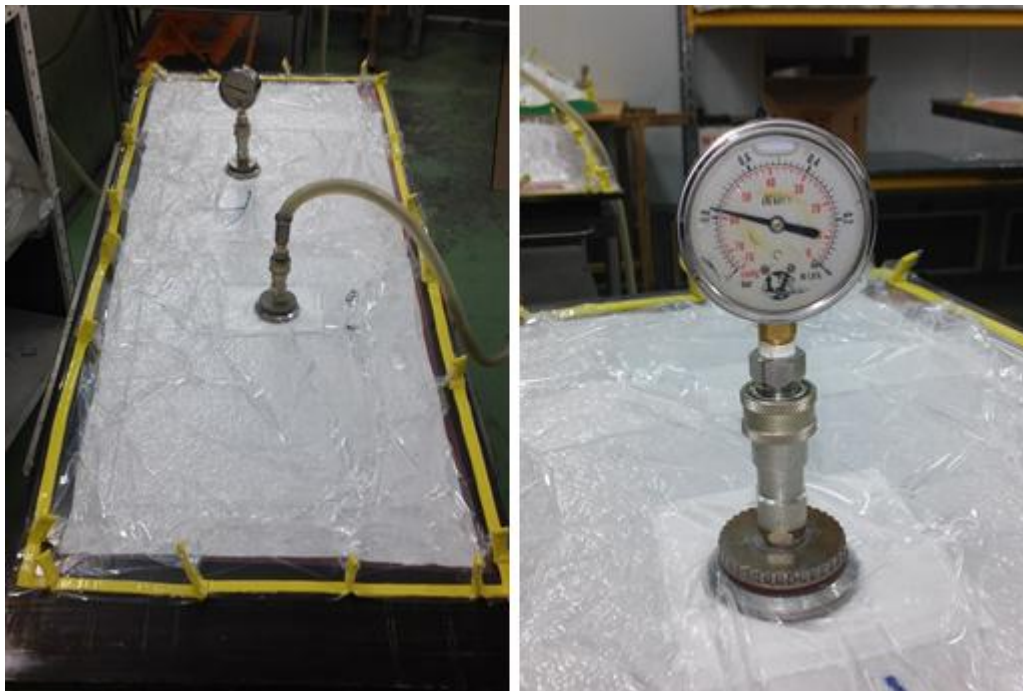
Obr. 54 Odsávací rohož

5. V další fázi byly aplikovány držáky odsávacích ventilů. Ventily byly podloženy opět odsávací rohoží. Rohož se přeložila, aby se předešlo po odsátí vzduchu k otlacení do materiálu. Následně byla použita vakuovací folie, která tvoří horní díl formy a slouží k vyvození vakua. Vakuovací folie byla utěsněna pomocí těsnící pásky. Vzniká vzduchotěsný spoj mezi spodní částí formy a vakuovací folií.



Obr. 55 Aplikace vakuovací folie

6. V poslední řadě přichází vytvoření podtlaku a kontrola těsnosti. Měřicí přístroj se připevní na odsávací ventil. Hodnota podtlaku by se měla pohybovat cca kolem 0,8 MPa.



Obr. 56 Vytvoření podtlaku (vlevo) a kontrola těsnosti (vpravo)

7. Nyní je forma připravena k vytvrzování do pece. Vytvrzovací program byl volen dle materiálového listu.



Obr. 57 Pohled do otevřené (vlevo) a pohled do uzavřené pece (vpravo)

6.2 Mechanické zkoušky

Mechanické vlastnosti umožňují kvantitativně hodnotit chování materiálů za působení vnějších sil a dalších vlivů. Některé hodnoty mají fyzikální význam - lze je tedy přepočítávat pro jiný tvar a rozměr, jiné vystihují chování za určitých podmínek (nelze převádět) pro posouzení vlastností a zpracování materiálů (vrubová houževnatost). Celkové zkoušení je nezbytné pro kontrolu jakosti výrobků, jako důležitý poznatek výzkumných prací i k hodnocení úrovně technologie výroby. [40]

Mechanické zkoušky se dělí podle: [40]

- charakteru zatěžování (statické, dynamické)
- zjišťovaných vlastností (pevnost, tvrdost, únavy ap.)
- druhu namáhání (tah, tlak, ohyb, krut ap.)
- teploty a prostředí

6.2.1 Zkouška dle normy ČSN EN ISO 14125

Norma je určená pro vlákny vyztužené kompozity plastové kompozity. Metoda určuje stanovení ohybových vlastností pro trojbodový i čtyřbodový ohyb. Definovány jsou zkušební tělesa, i různé zkušební rychlosti. Metoda není vhodná pro posuzování konstrukčních parametrů, ale pro posuzování materiálů a kontrolu jakosti. [41]

Podstata zkoušky:

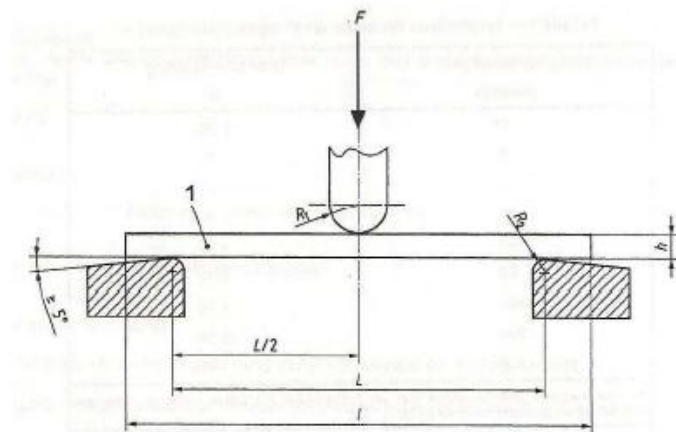
Zkušební těleso ve tvaru hranolu je umístěno v přípravku a je ohýbáno konstantní rychlostí, do doby, než dojde k porušení tělesa nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. Během zkoušky se měří síla působící na těleso a průhyb.

Metoda je vhodná pro stanovení ohybových vlastností, pevnosti v ohybu, ohybového modulu a jiných parametrů vyplývajících ze vztahu ohybové napětí/deformace za předepsaných podmínek. [41]

Pro účel normy se používají následující definice: [41]

- Zkušební rychlost [$\text{mm}/\text{min}^{-1}$]
- Ohybové napětí [MPa]
- Ohybové napětí při porušení [MPa]
- Pevnost v ohybu [MPa]
- Průhyb [mm]
- Průhyb při porušení [mm]
- Ohybová deformace [-]
- Modul pružnosti E [MPa] a další.

Zkušební těleso nesmí být zkroucené, ani na povrchu poškrábané, mít přetoky, propadliny ani trhliny. Vzdálenost podpěr se nastaví dle L/h , kde L je vzdálenost podpěr, h je tloušťka tělesa. [41]



Obr. 58 Třibodový ohyb [40]

6.2.2 Zkouška dle normy ČSN EN ISO 179-2

Stanovení rázové houževnatosti Charpy, část 2 – instrumentovaná rázová zkouška. Definuje různé typy zkušebních těles tvaru hranolu, různé uspořádání a parametry zkoušky dle typu plastu a zkoušeného tělesa. [42]

Pro účel normy se používají následující definice: [42]

- Rychlost nárazu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
- Setrvační pík
- Rázová síla [N]
- Průhyb [mm]
- Rázová energie [J]
- Maximální rázová síla [N]
- Průhyb při maximální rázové síle [mm]
- Energie pro maximální rázovou sílu [J]
- Průhyb při přeražení [mm]
- Rázová energie při přeražení [J]
- Rázová houževnatost Charpy [$\text{Kj}\cdot\text{m}^{-2}$]
- Typ přeražení

Zkušební těleso ve tvaru hranolu, umístěné vodorovně na podpěrách, je namáháno ve směru kolmém k přímce rázu, procházející středem mezi podpěrami a ohýbáno vysokou, konstantní silou. Během rázu je zaznamenána rázová síla. [42]

6.2.3 Zkouška dle normy ČSN EN ISO 6603-2

Stanovení tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání, část 2- instrumentovaná rázová zkouška. Používají se rovinné zkušební tělesa, s použitím zkušebních strojů pro měření síly a deformace. [43]

Pro účel normy se používají následující definice: [43]

- Rychlost nárazu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
- Rázová síla [N]
- Průhyb [mm]
- Rázová energie [J]
- Maximální rázová síla [N]
- Průhyb při maximální rázové síle [mm]
- Energie při maximální rázové síle [J]
- Průhyb při průrazu [mm]
- Rázová energie při průrazu [J]

- Charakter rázového porušení

Zkušební těleso je vystaveno nárazu tlouku s namazanou rázovou plochou, při čemž ráz se provádí konstantní silou kolmo na povrch tělesa. Výsledek se zaznamenává elektronicky. Zkušební těleso může být během zkoušky upnuto. [43]

6.3 Provedení mechanických zkoušek

Při tříbodové zkoušce a rázové zkoušce (Charpyho kladivo) probíhalo měření na Ústavu výrobního inženýrství. Průrazová zkouška (padostroj) byla naměřena ve výzkumném centru CEBIA-Tech. Samotné měření tříbodové zkoušky probíhalo na trhacím stroji Zwick 1456, na kterém se může měřit tahová i ohybová zkouška. Dalšími přístroji pro měření byly zvoleny Ceast Resil Impactor (Charpyho kladivo) a Zwick/Roell HIT 230F (padostroj).

Zkouška ohybových vlastností se prováděla na přístroji Zwick 1456 dle normy ČSN EN ISO 14125. Jednalo se o zkoušku tříbodovým ohybem. Zkoušený vzorek byl umístěn mezi dvě podpory a byl zatěžován určitou silou do středu vzorku. Následně vyhodnocovanými výsledky jsou modul pružnosti, pevnost v ohybu a poměrné prodloužení. Zkoušky vzorků probíhaly za pokojové teploty cca 23°C a za zvýšených teplot 60° a 90°C. Vzorky byly zahřívány v teplotní komoře, kdy se jednalo o dosažení stanovené teploty a následně vydrží na dané teplotě 20 minut.

Pro zkoušku rázové houževnatosti byl použit přístroj Ceast Resil Impactor junior (Charpyho kladivo). Měření probíhalo dle stanovené normy ČSN EN ISO 179-2. Mezi vyhodnocované parametry lze zařadit maximální sílu, a energii vztaženou k maximální síle či energii vztaženou na celou plochu. Zkoušky opět probíhaly za pokojové teploty, následně při teplotě 60° a 90°C. K nahřátí vzorků na danou teplotu byla opět použita teplotní komora přístroje Zwick 1456.

Na průrazovou zkoušku byl použit padostroj Zwick/Roell HIT 230F. Zkouška se prováděla dle stanovené normy ČSN EN ISO 6603 za teploty 23°C. Vyhodnocovanými výsledky byly maximální síla, energie při maximální rázové síle a průhyb při maximální rázové síle.

Při stejném počtu kladení vrstev jsou bohužel rozdílné tloušťky vzorků u Typu I, II, II. Je to způsobeno rozdílnou gramáží prepregů na 1m².

6.3.1 Vyhodnocování naměřených výsledků

Pro vyhodnocování výsledů byly použity následující vztahy:

Aritmetický průměr:

- je definován jako podíl sumy výsledku k jeho počtu n .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Kde: \bar{x} ... aritmetický průměr

n ... počet měření

x ... i -tá hodnota měřené veličiny

Směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Kde: s ... směrodatná odchylka

\bar{x} ... aritmetický průměr

n ... počet měření

x ... i -tá hodnota měřené veličiny

Variační koeficient:

- je definován jako podíl směrodatné odchylky k aritmetickému průměru v procentech

$$\nu = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (3)$$

Kde: s ... směrodatná odchylka

\bar{x} ... aritmetický průměr

6.4 Tříbodová zkouška ohybem

Zkouška probíhala na přístroji Zwick 1456 dle normy ČSN EN ISO 14125. Zkušební vzorky byly testovány za pokojové teploty 23°C a za zvýšených teplot 60° a 90°C. Vzorky byly zahřívány v teplotní komoře, kdy se jednalo o dosažení stanovené teploty a následné výdrži na dané teplotě 20 minut. Rozměry vzorku byly stanoveny 60x20 mm.

6.4.1 Trhací stroj Zwick 1456

Tříbodová zkouška ohybem byla prováděna na trhacím přístroji Zwick 1456 s pomocí softwaru testXpert v7.11. Při provádění ohybové zkoušky byly podpěry od sebe vzdáleny 40 mm. Přístroj Zwick 1456 je vybaven i teplotní komorou, která byla následně využita při měření vzorků za zvýšené teploty. Samotné výsledky si přístroj vyhodnocuje automaticky, výsledky jsou zpracovány do grafů a tabulek. Jednotlivé výsledky jsou uvedeny v příloze P I.

Hodnoty nastavené pro měření:

- Rychlost před zatížení 2 mm.min⁻¹
- Rychlost zatížení 10 mm.min⁻¹

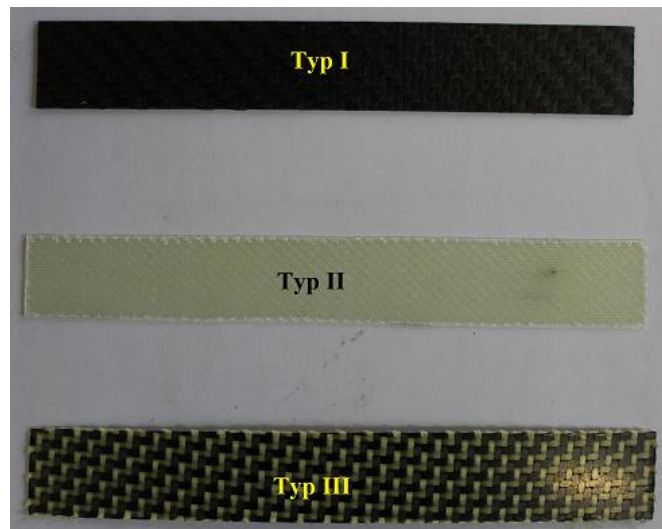
Technické informace o Zwick 1456:

- Maximální posuv příčnicku 800 mm.min⁻¹
- Rozsah teplotní komory od -80+250°C
- Druh prováděných zkoušek tlak, tah, ohyb



Obr. 59 Zwick 1456 (vlevo), teplotní komora Zwick 1456 (vpravo)

6.4.2 Vyhodnocení výsledků tříbodového ohybu



Obr. 60 Zkušební tělesa před provedením zkoušky

Výsledky při pokojové teplotě 23°C

Tab. 3 Typ I při teplotě 23°C

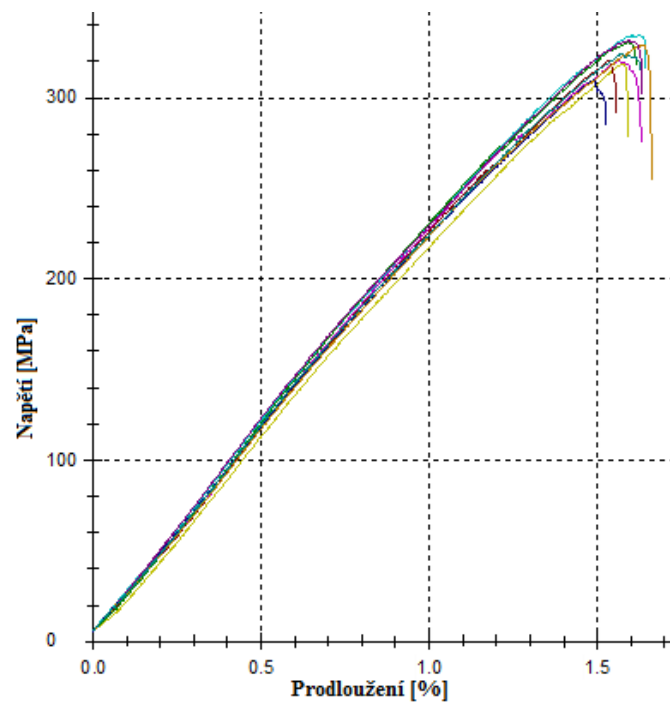
n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1	21,04	1400	86500	1,7
s	0	0,21	76,8	3080	0,1
v	0	1,01	5,5	3,56	4,2

Tab. 4 Typ II při teplotě 23°C

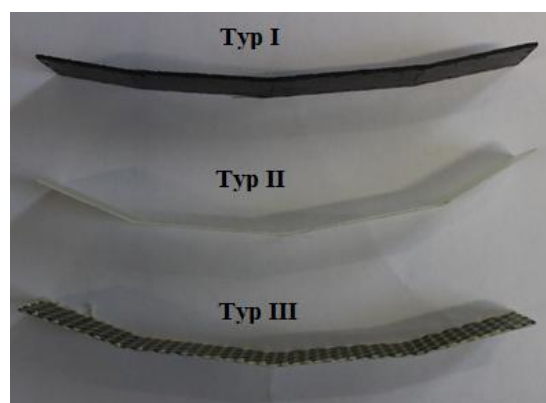
n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	0,8	20,67	392	27200	1,6
s	0	0,31	27,7	2050	0,1
v	0	1,51	7,08	7,52	3,8

Tab. 5 Typ III při teplotě 23°C

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1	21,1	325	21900	1,6
s	0	0,2	7,8	678	0
v	0	0,98	2,4	3,1	2,7



Obr. 61 Graf Typ III při 23°C



Obr. 62 Zkušební tělesa po provedení zkoušky při teplotě 23°C

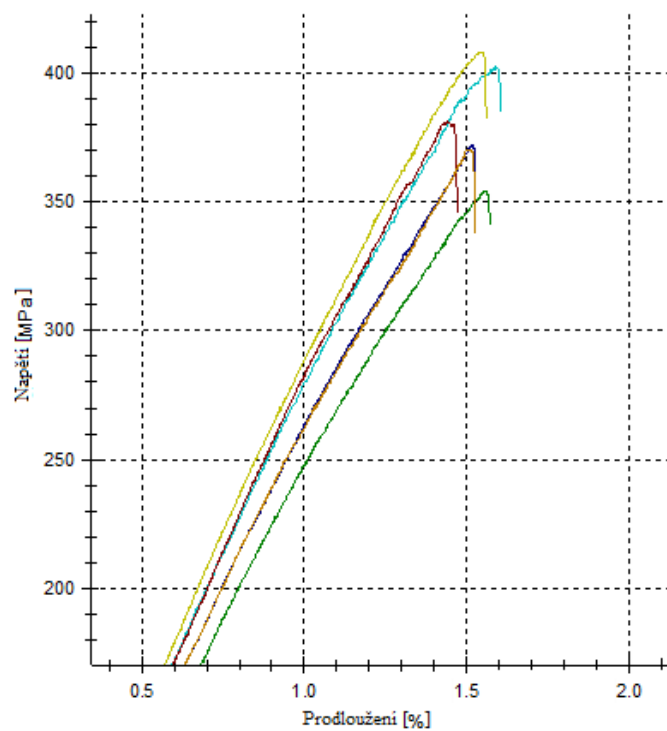
Výsledky při zvýšené teplotě 60°C

Tab. 6 Typ I při teplotě 60°C

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1,1	21,22	1060	63900	1,8
s	0	0,13	45	2120	0,1
v	0	0,63	4,27	3,33	6,9

Tab. 7 Typ II při teplotě 60°C

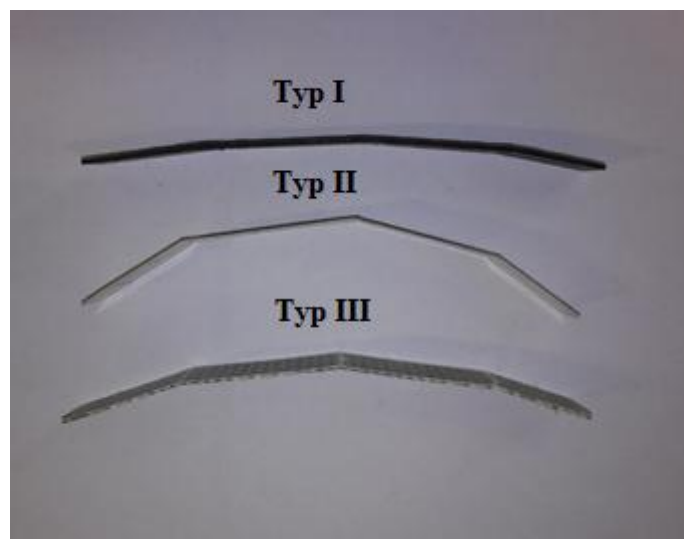
n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	0,8	21	382	25100	1,5
s	0	0,19	20,5	1620	0
v	0	0,90	5,36	6,46	3,01



Obr. 63 Graf Typ II při 60°C

Tab. 8 Typ III při teplotě 60°C

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1	21	294	20600	1,5
s	0	0,27	20,5	1530	0,1
v	0	1,28	6,98	7,46	4,28

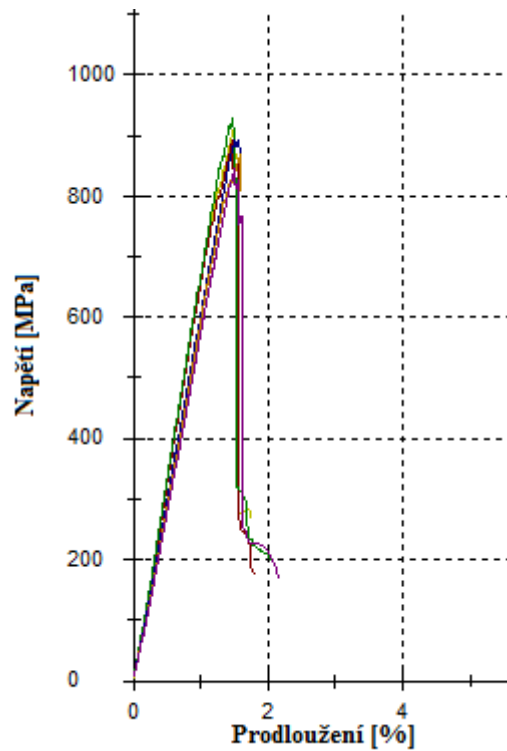


Obr. 64 Zkušební tělesa po provedení zkoušky
při teplotě 60°C

Výsledky při zvýšené teplotě 90°C

Tab. 9 Typ I při teplotě 90°C

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1,1	21,07	890	59000	1,8
s	0	0,22	30,40	5030	0,2
v	0	1,03	3,41	8,53	12,76



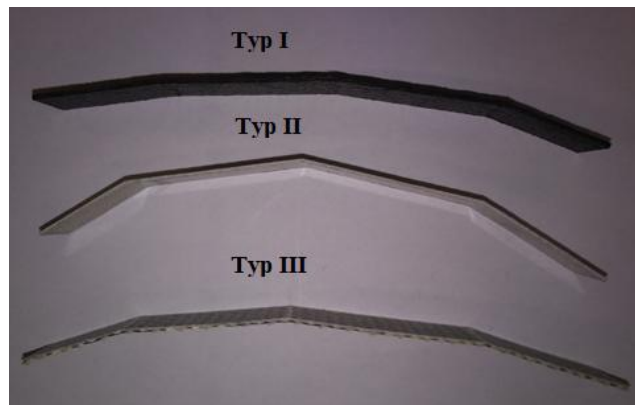
Obr. 65 Graf Typ I při teplotě 90°C

Tab. 10 Typ II při teplotě 90°C

n=5	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	0,8	20,40	389	25500	1,5
s	0	0,46	11,30	523	0
v	0	2,25	2,89	2,05	1,4

Tab. 11 Typ III při teplotě 90°C

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
\bar{x}	1	21,13	289	21100	1,5
s	0	0,08	8,51	719	0,1
v	0	0,37	2,94	3,41	3,81



Obr. 66 Zkušební tělesa po provedení zkoušky při teplotě 90°C

6.5 Rázová zkouška houževnatosti

Rázová zkouška houževnatosti patří mezi zkoušky dynamické, jedná se o zatížení materiálu rázem v krátkém časovém intervalu. Účelem dynamických zkoušek je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil. Zkušební těleso je volně vloženo mezi dvě podpěry a je uprostřed přeraženo kyvadlem (v našem případě Charpyho kladivo) s definovanou energií úderníku a určenou rychlostí. Měříme energii potřebnou k přeražení tělesa.[8]

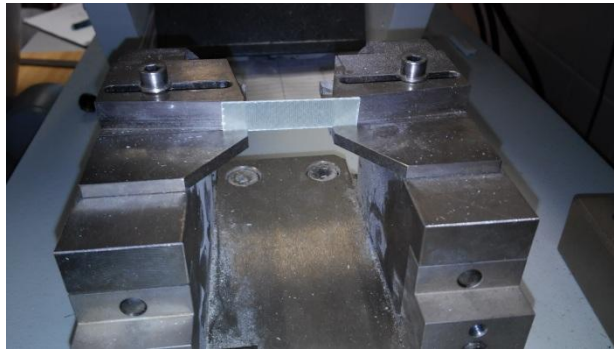
6.5.1 Provedení rázové houževnatosti metodou Charpy

Dynamická zkouška rázové houževnatosti se prováděla na přístroji Ceast Resil Impactor junior. Počáteční úhel kladiva byl zvolen 160° a vzdálenost podpěr byla 30 mm. Rozměry zkušebních těles byly 50x10 mm. Zkoušky byly prováděny za teploty 23°, 60° a 90°C. Jednotlivé naměřené výsledky jsou uvedeny v příloze P II.



Obr. 67 Přístroj Ceast Resil Impactor junior

6.5.2 Vyhodnocení výsledků Charpyho kladiva

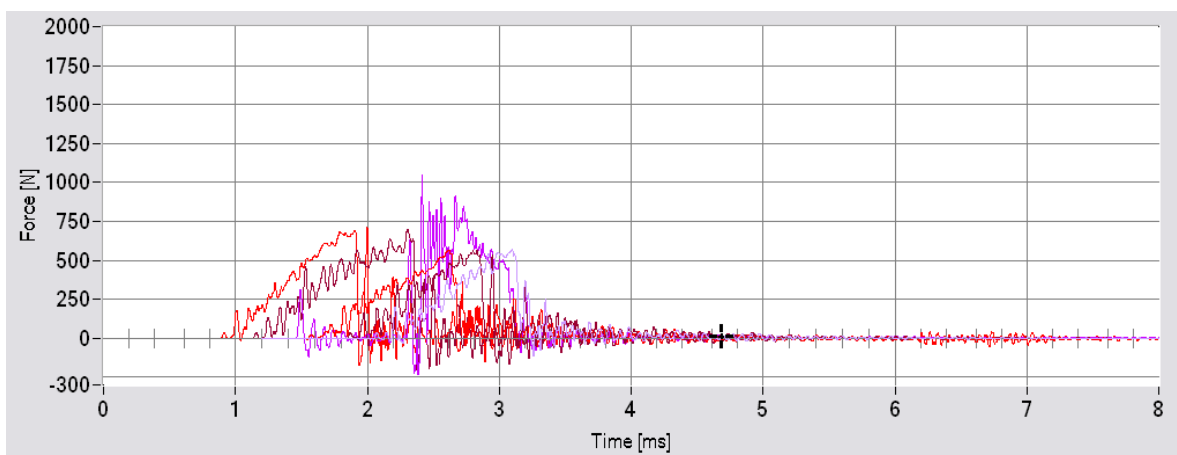


Obr. 68 Typ II před zahájením zkoušky

Výsledky při pokojové teplotě 23°C

Tab. 12 Typ I při teplotě 23°C

n=5	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	622,52	98,33	106,66
s	68,82	18,59	17,77



Obr. 69 Grafické vyhodnocení Typu I při teplotě 23°C

Tab. 13 Typ II při teplotě 23°C

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	260,63	90,82	110,21
s	57,24	23,49	23,97

Tab. 14 Typ III při teplotě 23°C

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	268,15	81,82	112,52
s	37,91	15,16	13,84

Výsledky při zvýšené teplotě 60°C

Tab. 15 Typ I při teplotě 60°C

n=6	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	631,72	79,70	93,68
s	58,74	13,46	9,01

Tab. 16 Typ II při teplotě 60°C

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	250,75	81,31	100,30
s	63,73	15,13	11,03

Tab. 17 Typ III při teplotě 60°C

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	288,37	61,74	97,96
s	34,97	12,57	12,71

Výsledky při zvýšené teplotě 90°C

Tab. 18 Typ I při teplotě 90°C

n=6	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	653,14	94,36	103,14
s	59,14	7,01	6,28

Tab. 19 Typ II při teplotě 90°C

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	282,41	98,81	118,62
s	83,81	29,80	27,70

Tab. 20 Typ III při teplotě 90°C

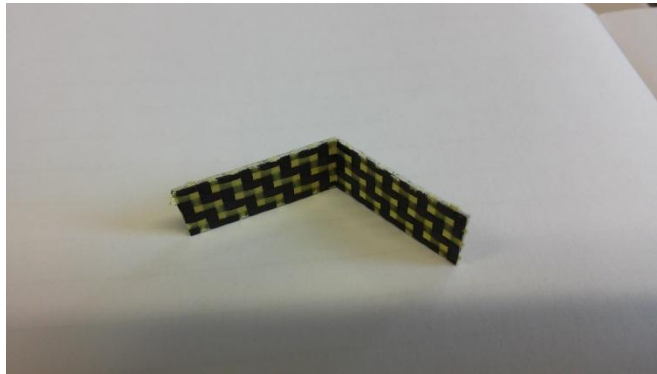
n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
\bar{x}	274,29	69,16	95,53
s	40,87	13,30	12,94



Obr. 70 Přetrhnutý Typ I



Obr. 71 Přetrhnutý Typ II

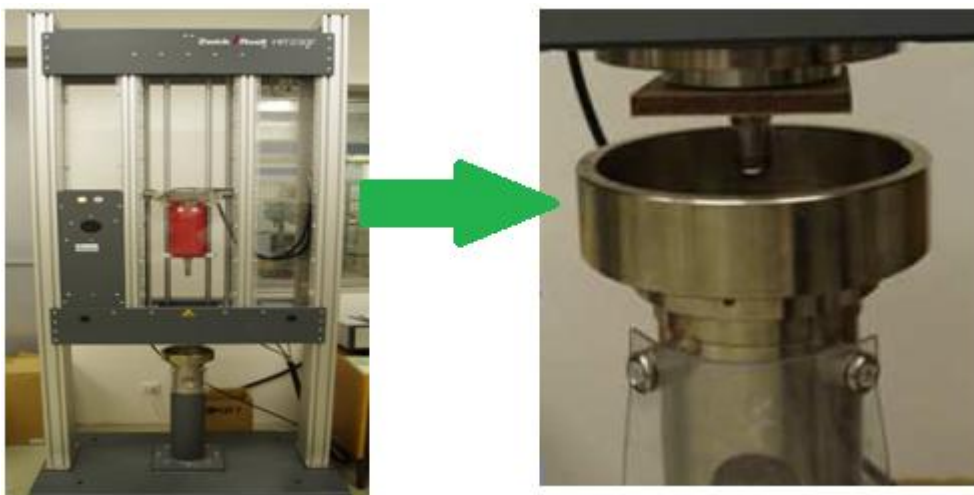


Obr. 72 Porušený Typ III

6.6 Průrazová zkouška

Jedná se o mechanickou zkoušku, která nám udává, kolik je potřeba energie v KJ, abychom přerazili zkušební těleso.

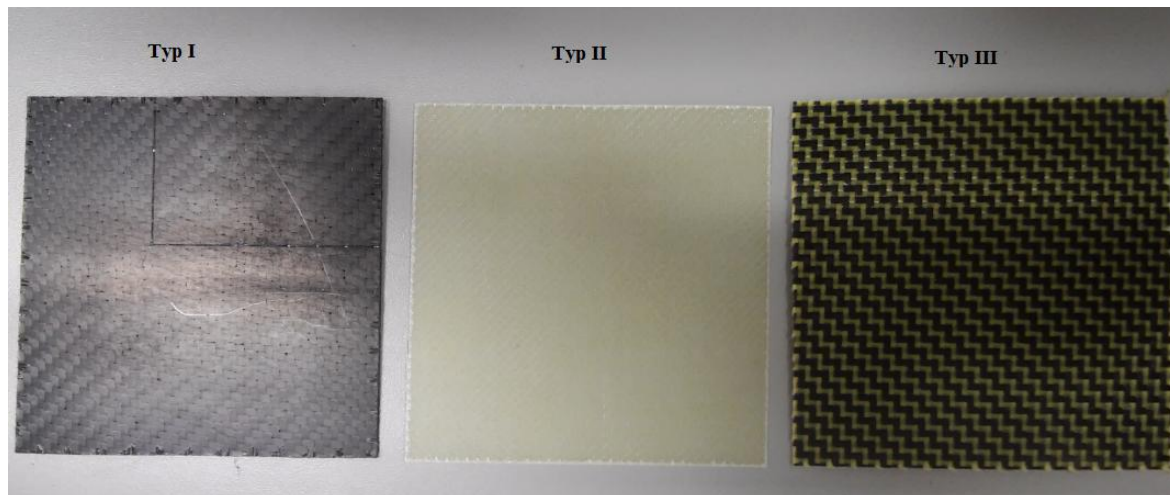
Padostroje pracují na principu padajícího tělesa na zkušební vzorek s libovolně volitelnou kinetickou energií (závisí na hmotě padající tělesa) a rychlosti (ovlivněna výškou pádu). Padostroje představují alternativní způsob měření rázové houževnatosti polymerních materiálů, když eliminují nedostatky kyvadlových přístrojů (volba energie, rychlost provedené deformace). [34]



Obr. 73 Padostroj

6.6.1 Vyhodnocení výsledků padajícím tloukem

Zkušební vzorky měly rozměry 100x100 mm. Výška pádu byla stanovena 440 mm. Zkoušky probíhaly za teploty 23°C.



Obr. 74 Zkušební tělesa před provedením zkoušky

Tab. 21 Typ I při teplotě 23°C

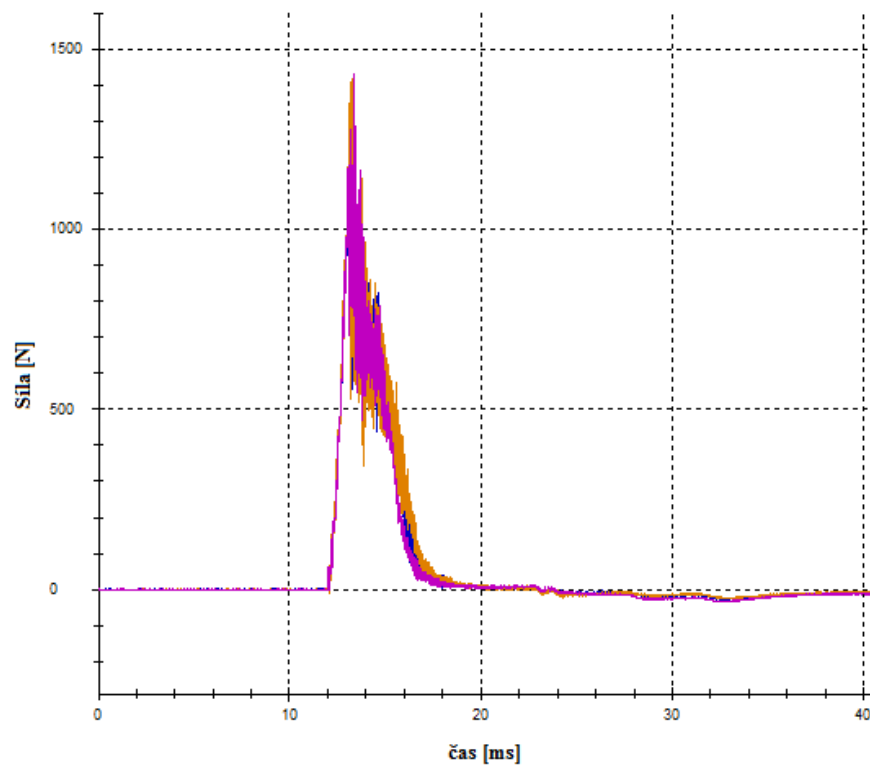
n=5	F_{\max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
\bar{x}	1906,15	2,73	5,08	953,07	11,44
s	82,14	0,24	2,37	41,07	0,66
v	4,31	8,72	46,67	4,31	5,78

Tab. 22 Typ II při teplotě 23°C

n=5	F_{\max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
\bar{x}	1135,33	1,62	3,41	567,67	5,84
s	46,19	0,24	0,17	23,1	0,38
v	4,07	14,63	5,05	4,07	6,45

Tab. 23 Typ III při teplotě 23°C

n=5	F_{\max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
\bar{x}	1383,87	1,87	3,35	691,93	6,93
s	71,12	0,30	0,17	35,56	0,32
v	5,14	16,16	5,22	5,14	4,60



Obr. 75 Graf Typu III při 23°C



Obr. 76 Zkušební tělesa po provedení zkoušky

7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologickým postupem se rozumí proces, při němž chceme vyrobit co nejefektivněji požadovaný díl. V technologickém postupu se nachází výrobní výkres a také je nezbytný výrobní postup.

Technologickým postupem se tudíž rozumí sled operací, jakým způsobem bude vyroben díl. Nachází se v něm všechny výrobní podmínky, materiál, z něhož se bude daná součást vyrábět, pomocné nástroje a v neposlední řadě i závěrečná kontrola jakosti a balení součástí.

7.1 Cenové srovnání a výběr materiálů

Pro technologický postup byly vybrány prepregy z aramido-uhlíkového a skelného vlákna. Skelný prepreg byl volen pro svou nízkou cenu a aramido-uhlíkový prepreg byl volen jako pohledová vrstva. Výsledný díl se tudíž skládá z aramido-uhlíkové vrstvy a čtyř vrstev ze skelného vlákna. Nutno podotknout, že při zkoušce mechanických vlastností Charpyho kladiva nebyl ani jeden zkušební vzorek přeražen celý. Vyráběný prototyp bude sloužit jako ochranný kryt v automobilu motoru, čili bude vystaven zvýšeným teplotám a vibracím. Následně v Tab. 24 je uvedeno cenové srovnání prepregu v Kč za 1m² při kurzu eura 27,45.

Tab. 24 Cenové srovnání

Vzorek	Cena (Kč/1m ²)
Uhlíkový prepreg	645
Skelný prepreg	261
Aramido-uhlíkový prepreg	631

7.2 Stanovení technologického postupu

Diplomová práce se zabývá problematikou lisování. Materiál forem může být z nástrojových ocelí, hliníku, silikonu, dřeva. Důležitou částí je určení, zda se jedná o prototypovou formu, která má životnost pouze na pár dílů anebo na formu, která je určená na sériovou výrobu. Na prototypové formy se používají např. MDF (dřevovláknité desky). Jelikož prepregy vytvrzují při teplotách cca 130°C, formy i další pomocné materiály musí být odolné

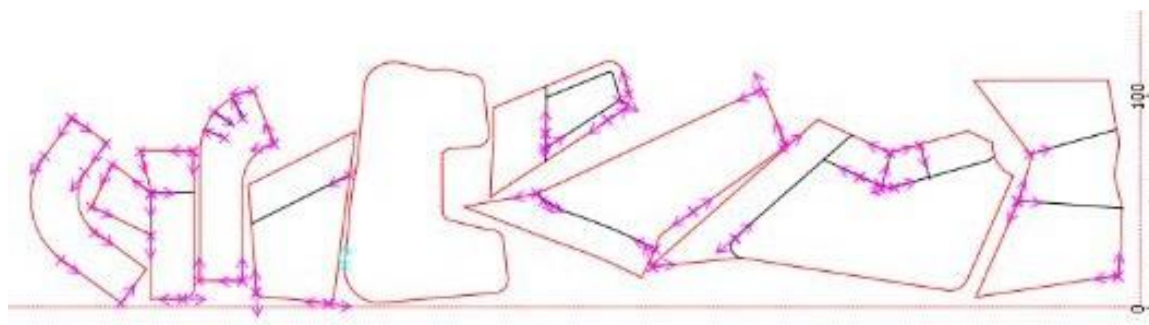
proti vyšším teplotám. Formy se vyrábí na 5- osé CNC frézce. Po frézování následuje další operace a tou je broušení. Broušením získáváme lepší jakost opracované plochy. Nyní se musí forma pořádně vyčistit a následně naseparovat. Separace nám zabezpečuje následné oddělení dílu od formy. Následně se musí připravit daný typ prepregu. Musí se ověřit číslo šarže, číslo role a expirační doba. Prepregy jsou skladovány při teplotách -20°C , čili před použitím se musí nejprve rozmrazit, tudíž z chladicího boxu se vytahují jeden den před jejich použitím. Prepregy musí být stále zabalené v PE obalu, aby se na jeho povrchu nersázela vzdušná vlhkost. Poté se zkouší lepidlost prepregu. Prepreg se nesmí lepit na ochranné rukavice, ale zároveň musí přilnout na formu. Na 2D stříhací stroji se dle nástřihového plánu vystřihne díl i s přídávky. Dalším krokem je kladení prepregu do formy, první aramido-uhlíková (v technologickém postupu dále vzorek A) vrstva se celá zavakuuje, aby se zamezilo vzduchovým bublinám. Cca po jedné hodině se pokládají další vrstvy, nyní už skelného prepregu (v technologickém postupu vzorek B). Kladení prepregů musí probíhat na pracovišti, na němž nekolísá teplota, nesmí být zvýšená prašnost a vlhkost. Poté přichází aplikace pomocných materiálů - separační folie, odsávací rohože a vakuovací folie. Všechny pomocné materiály jsou rozděleny dle teplot. Tudíž v našem případě byly vybírány materiály, které jsou odolné do teploty 240°C . Separací folie nám odděluje vyráběný díl od pomocných materiálů, odsávací rohož absorbuje přebytečnou pryskyřici a vzduch. Dalšími operacemi jsou vytvrzování v peci, odformování dílu pomocí stlačeného vzduchu, pomocí vyrážecích klínů nebo ocelových kleští. Po vyjmutí dílu se forma chystá na další lisování – následuje čišění a separace. Vyrobený díl se musí ořezat pomocí diamantových kotoučů. Následně se kontroluje vyrobený tvar, čistota dílu. V neposlední řadě se díl lakuje z důvodu finální úpravy designu.

č.o	Operace	Použité nářadí	Materiál	Kontrola
1.	Příprava prepregu (vytáhnutí z chladicího boxu 1 den před lisováním)	Paletový vozík	-	Vizuální vzhled
2.	Vyčištění formy	Čistý bavlněný hadřík	Láh	Vizuální vzhled
3.	1. Separace formy (plnič pro formy, zacelí nedokonalosti na formě, aplikovat min. 2 vrstvy, časová prodleva mezi nátěry 30 min)	Papírový ubrousek	Separátor B15	Vizuální vzhled
4.	2. Separace formy (aplikovat 3-4 nátěry, časová prodleva mezi nátěry 5-10 min)	Papírový ubrousek	Separátor 770 NC	Vizuální vzhled
5.	Nastřihání prepregu (dle střížného plánu)	2D řezací stroj, nůžky	-	Metr, úhelník
6.	1. Pokládání prepregu (vrchní vrstva z aramido-uhlíkového prepregu, aplikace separační folie a odsávací rohože, následné zavakuování pomocí folie a těsnicí pásky po dobu jedné hodiny)	Gumové kladivo, nůž, válečky	A Ipplon KM 1300 Sealant Tape GS-213	Vizuální vzhled, správné uložení

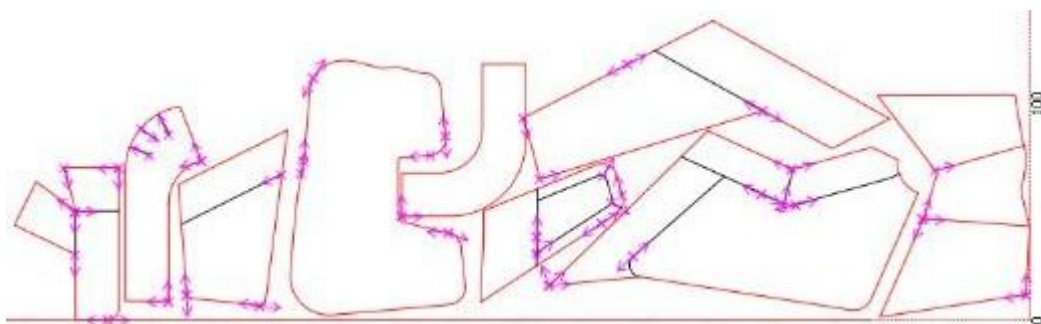
7.	2. Pokládání prepregu (4 vrstvy skelného vlákna)	Gumové kladivo, nůž, válečky	B	Vizuální vzhled, správné uložení
8.	Aplikace Separáční folie	Nůžky, válečky	Wrightlon 5200 P3	Vizuální vzhled, čistota, správné umístění
9.	Aplikace Odsávací rohože (Následné položení patek vakuových ventilů)	Nůžky, válečky	Airweave	Vizuální vzhled, čistota, správné umístění
10.	Aplikace Vakuovací folie +těsnění (připevnění folie pomocí oboustranně lepicí pásky a upevnění vakuovacích ventilů patky)	Nůž, nůžky, vaakum	Ipplon KM 1300 Sealant Tape GS-213	Celková kontrola formy
11.	Vakuování	Vakuometr	-	Kontrola podtlaku (0,8 bar)
12.	Vytvrzování (Vozík se napojí na rozvod v peci, uložení formy na vozík, závěrečná kontrola, odvezení do pece a spuštění vytvrzovacího cyklu)	Vozík, Vytvrzovací pec	Kompletní forma	Uložení formy, kontrola propojení, vizuální vzhled
13.	Odformování (vozík se vyveze z pece po schlazenutí na 50°C, odpojení hadic, odstranění pomocných materiálů)	Hadice se stlačeným vzduchem na odformování, klíny, kladivo	-	Kontrola tvaru a jakosti
14.	Ořezání výrobku (odstranění přebytečného materiálu)	Diamantové kotouče, bruska	Vyrobený díl	Kontrola tvaru a jakosti
15.	Lakování dílu	-	Emailack	Vizuální vzhled

16.	Čištění formy a příprava na další cyklus	Bavlněný hadřík, Papírový ubrousek	Lih, Separátor B15, Separátor 770 NC	Vizuální vzhled
-----	--	---------------------------------------	---	-----------------

7.3 Fotodokumentace



Obr. 77 Nástřihový plán prepregu A



Obr. 78 Nástřihový plán prepregu B



Obr. 79 Vyrobený díl

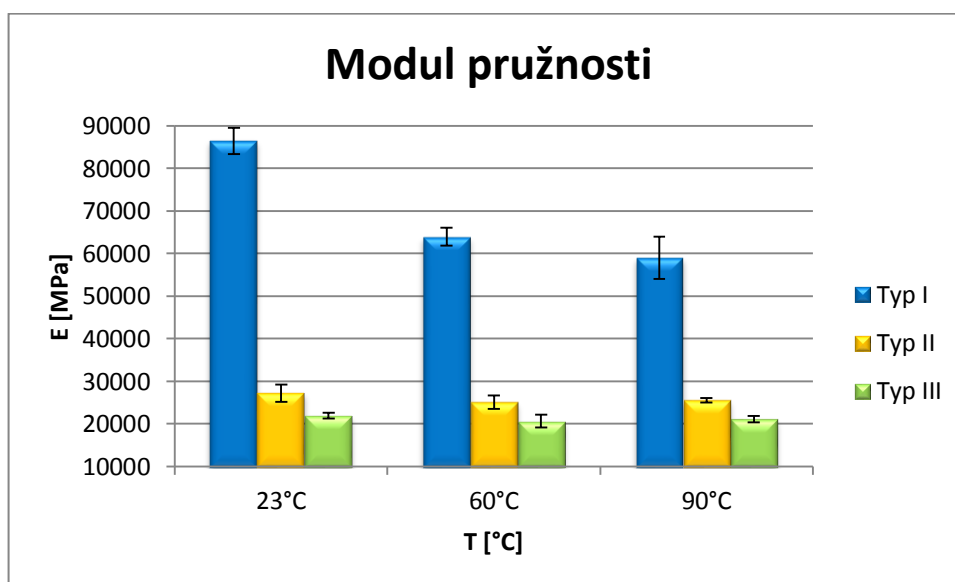
8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení naměřených výsledků.

Tab. 25 Legenda popisu vzorků

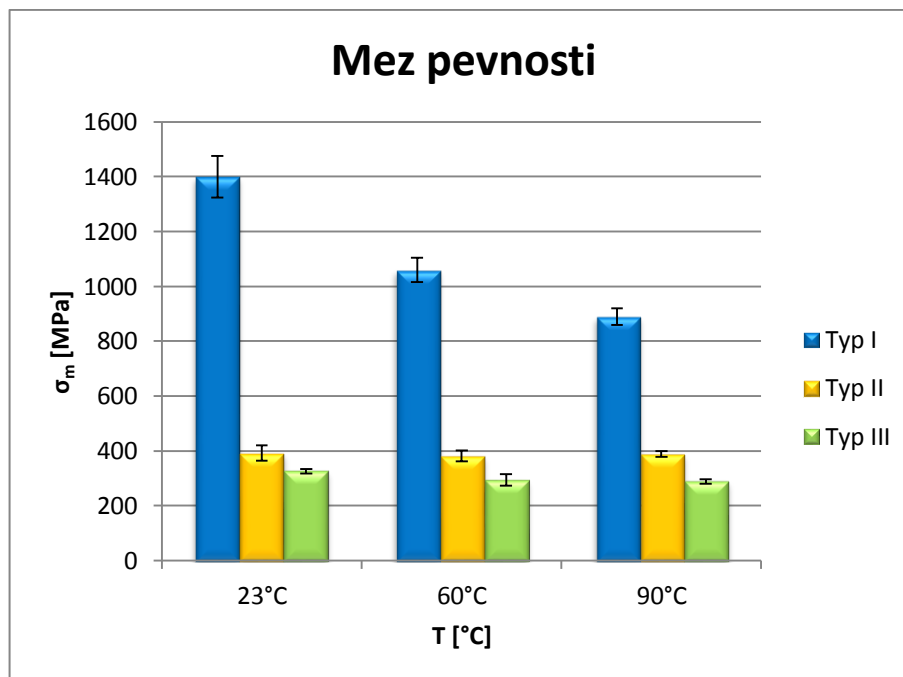
Typ I	5 vrstev uhlíkového prepregu
Typ II	5 vrstev skelného prepregu
Typ III	1 vrstva aramid-uhlíkový prepreg a 4 vrstvy skelného prepregu

8.1 Vyhodnocení výsledků ohybové zkoušky



Obr. 80 Vyhodnocení modulu pružnosti při tříbodové zkoušce

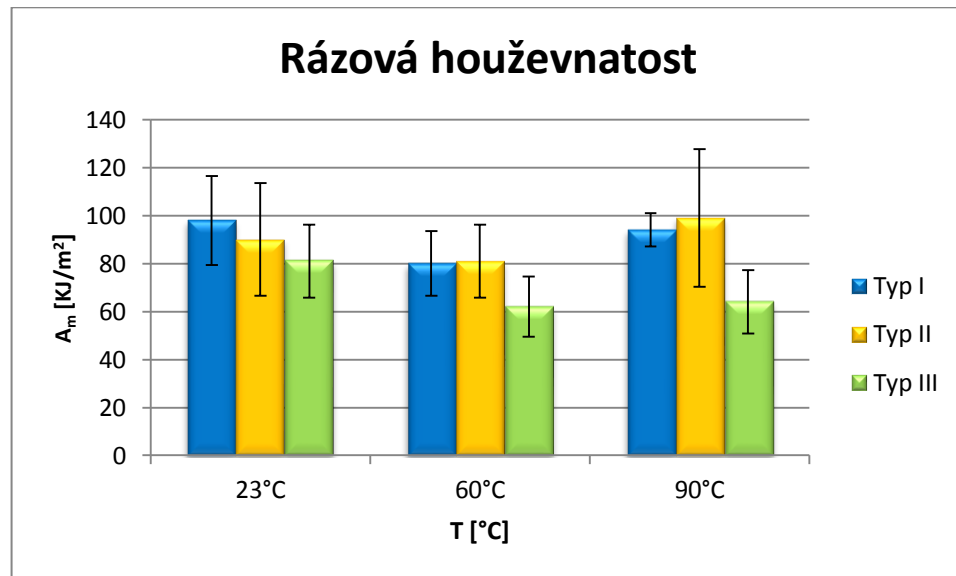
Z grafu je zřejmé, že u Typu I s rostoucí teplotou klesal modul pružnosti. Největší modul pružnosti byl tedy naměřen 86500 MPa při teplotě 23°C. U vzorku Typu II a III nehrála teplotní změna u modulu pružnosti velkou roli. U Typu II byl nejvyšší modul naměřen při 23°C a rozdíl při teplotách 60°C a 90°C činil pouze 400 MPa. U posledního Typu III byl zjištěn nejvyšší modul u teploty 23°C a to 21900 MPa.



Obr. 81 Vyhodnocení meze pevnosti při tříbodové zkoušce

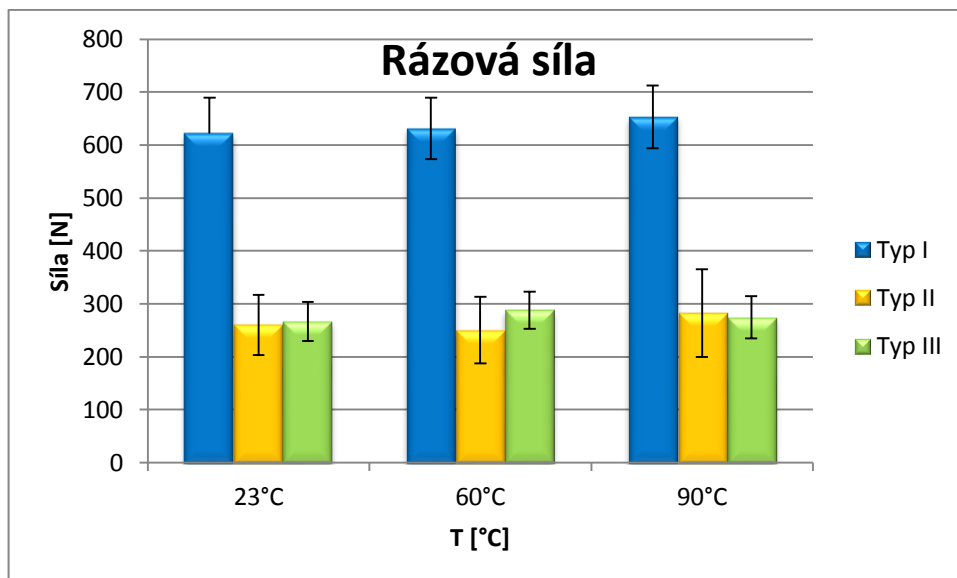
Z naměřených výsledků je patrné, že s rostoucí teplotou klesala mez pevnosti u vzorku Typu I. Nejvyšší hodnota meze pevnosti byla u vzorku Typu I při teplotě 23°C a to 1400 MPa. U vzorku Typu II vyšly výsledky téměř identicky, když nejvyšší hodnota byla u teploty 23°C s mezí pevnosti 392 MPa, rozdíl mezi nejvyšší a nejmenší hodnotou činil pouze 10 MPa. Stejně jako u Typu I tak i u Typu III s rostoucí teplotou klesala mez pevnosti. Nejvyšší mez pevnosti byla naměřena 325 MPa, avšak výsledný rozdíl mezi nejvyšší a nejmenší mezí pevnosti byl jen 36 MPa.

8.2 Vyhodnocení výsledků rázové zkoušky Charpyho kladiva



Obr. 82 Vyhodnocení rázové houževnatosti

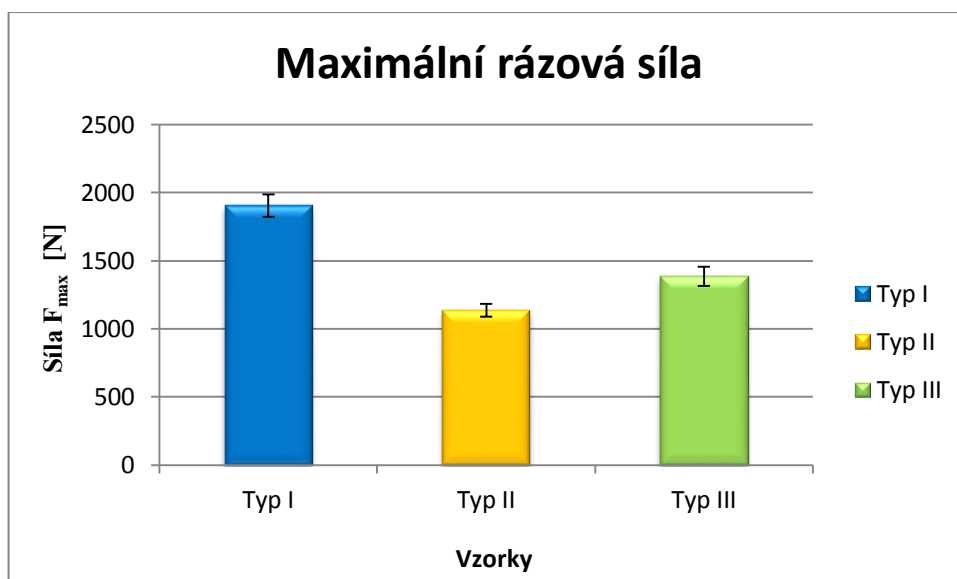
Na obr. 81 je vyhodnocení zkoušky rázové houževnatosti. Tato zkouška nám určuje, kolik je potřeba energie na porušení zkušebního tělesa. Z výsledků nám vyplývá, že u všech typů vzorků byla nejmenší práce vynaložena při zvýšené teplotě 60°C. Při zkoušce rázové houževnatosti je patrné, že nejvyšší hodnoty spotřebované energie dosahoval vzorek Typu I při teplotě 23°C a to 98,33 KJ/m². U vzorku Typu II byla naměřena nejvyšší hodnota energie 98,81 KJ/m² při teplotě 90°C. U Typu III byla nejvyšší hodnota zjištěna tak jako u Typu I při teplotě 23°C a to 81,82 KJ/m². Svůj vliv na naměřené výsledky má bezesporu manipulace se zkušebním vzorkem, který byl vyjmut z teplotní komory, a před měřením rázové houževnatosti došlo k určitým teplotním ztrátám. Pouze u Typu III nedošlo ani jednou k úplnému porušení zkušebního tělesa.



Obr. 83 Grafické vyhodnocení rázové síly

Z grafu je patrné, že u vzorku Typu I byla s rostoucí teplotou potřeba větší rázová síla. Kdežto u Typu II a III změna teploty neovlivňovala naměřené výsledky. U Typu II byla nejvyšší rázová síla naměřena u teploty 90°C a to 282 N. U Typu III byla naměřena 288 N při teplotě 60°C.

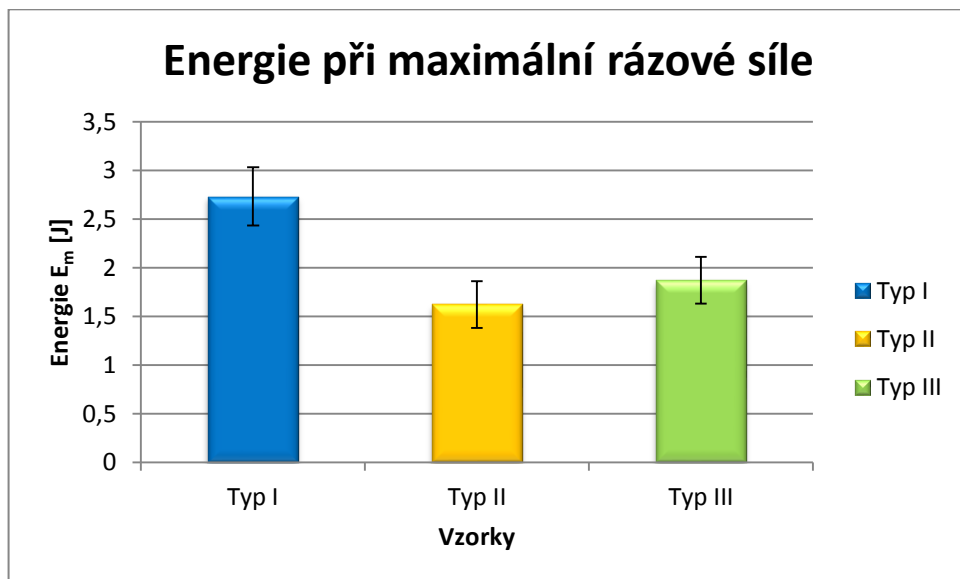
8.3 Vyhodnocení výsledků Padajícího tlouku



Obr. 84 Vyhodnocení maximální rázové síly

Z naměřených výsledků je patrné, že největší maximální rázová síla byla pro proražení zkušebního tělesa potřeba u vzorku Typu I a to 1906 N. Velký podíl na naměřených vý-

sledcích má tloušťka zkušebních těles, jelikož u Typu I byla tloušťka největší, bylo potřeba nejvíc maximální rázové síly.



Obr. 85 Vyhodnocení energie při maximální rázové síle

Stejně jako u maximální rázové síly vyšly naměřené výsledky stejně. Čili největší energie při maximální rázové síly byla naměřena u Typu I (2,73 J), dále u Typu III a nejmenší energie byla zjištěna u Typu II.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala problematikou a vývojem lisování kompozitních materiálů s následným využitím v automobilovém průmyslu. Lisují se hlavně termoplasty ve spojení např. s krátkými skelnými vlákny, ale v mé diplomové práci jsem se zabýval lisováním reaktoplastických kompozitních materiálů s dlouhovláknovou výztuží.

V teoretické části byly popsány jednotlivé vlákna, technologie lisování a prepregy. V praktické části jsem se zabýval nejdříve návrhem materiálového složení. Byly vybrány prepregy, které byly předimpregnovány epoxidovou pryskyřicí. Následně probíhala samotná realizace a stanovení jednotlivých počtu vrstev – u všech třech Typů bylo zvoleno 5 vrstev prepregu. Vzorek Typu I byl složen z uhlíkového prepregu, vzorek Typu II ze skelného prepregu a pro poslední třetí vzorek Typu III byla zvolena kombinace jedné aramido-uhlíkové vrstvy a čtyř vrstev skelného prepregu. Nyní probíhala samotná výroba vzorků na provedení mechanických zkoušek. Prepregy byly ručně kladeny do formy, dále se aplikovaly další pomocné materiály, posledním krokem bylo zavakuování a následné vytvrzování v peci. I přes stejný počet kladených vrstev prepregu se bohužel lišila tloušťka u jednotlivých Typů I, II a III. Je to způsobeno rozdílnou gramáží prepregů na 1 m^2 .

Po výrobě vzorků byly provedeny mechanické zkoušky. Jednalo se o zkoušku tříbodovým ohybem, zkoušku Charpyho kládíkem (rázová zkouška) a zkoušku padajícím tloučkem (průrazová zkouška). Zkoušky probíhaly za teploty 23°C a při zvýšených teplotách 60° a 90°C . Pouze průrazová zkouška byla měřena při teplotě 23°C . Z naměřených výsledků je patrné, že u Typu I se v tříbodové zkoušce s rostoucí teplotou zmenšoval jako modul pružnosti tak i mez pevnosti. U zbylých dvou Typů II a III změna teploty příliš neovlivňovala mechanické vlastnosti. Při rázové zkoušce byla největší rázová energie naměřena u Typu II při teplotě 90°C . Avšak pouze u Typu III nenastalo během zkoušky ani v jednom případě úplné porušení vzorku, jelikož aramidové vlákna vykazují vysokou houževnatost. U poslední průrazové zkoušky byla největší maximální rázová síla naměřena u Typu I. Z teoretického hlediska se jedná o křehká vlákna s nízkou odolností proti rázu, ale díky větší tloušťce zkušebního tělesa byla naměřena největší hodnota právě překvapivě u Typu I.

Poslední částí diplomové práce bylo zpracování technologického postupu. Pro výrobu prototypu s ohledem na cenu a vhodnost použití byla zvolena varianta Typu III. Vyráběný prototyp bude složit jako ochranný kryt v automobilu motoru, tudíž bude vystaven zvýšeným teplotám a vibracím a díky své houževnatosti bude odolný proti případnému rázu.

Kompozitní díly jsou do budoucna určitě velkým příslibem pro automobilový průmysl a pevně věřím, že budou nacházet čím dál větší uplatnění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DAŘOUREK, K.: *Kompozitní materiály – druhy a jejich využití*, Technická univerzita v Liberci, 1. vydání, 7 s., 2007, ISBN 978-80-7372-279-1.
- [2] Požadavky kompozitů [online]. 2005 Vlastnosti [cit. 2014-10-01]. Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-a-kompozity-naplnuji-materialove-pozadavky-moderniho-strojirens.html>>
- [3] KOŘÍNEK, Z.: Volny.cz. *Kompozity* [online]. 2010 [cit. 2014-10-01]. Dostupné z: < <http://mujweb.cz/zkorinek/historie.pdf>>
- [4] Charakteristika výstuže [online]. Dělení výstuže [cit. 2014-10-01]. Dostupné z: < http://umi.fs.cvut.cz/files/6_kompozitni-materialy.pdf>
- [5] EHRENSTEIN, W. G. *Polymerní kompozitní materiály*. Vydání 1. Praha: Scientia, 2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [6] Uhlíkové vlákna [online]. Řez uhlíkovým vláknem [cit.2014-10-02]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/?q=cs/uhlik>>
- [7] Aramidové vlákna [online].Kevlar a uhlík [cit.2014-10-02]. Dostupné z: <http://technologie.specwar.info/kevlar/>>
- [8] JANČÁŘ, J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 193 s.
- [9] KOŘÍNEK, Z.: Volny.cz. *Kompozity* [online]. 2010 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: < <http://mujweb.cz/zkorinek/technologie.pdf>>
- [10] *Technologie a jejich druhy* [online]. 2005 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: < <http://www.havel-composites.com/clanky/4-%20Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>>
- [11] *Ruční laminování* [online]. [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <<http://www.csve.cz/en/clanky/vyroba-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/315#prettyPhoto>>
- [12] Gurit.com. *Gurit* [online]. 2012 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <[http://www.gurit.com/files/documents/Gurit_Guide_to_Composites\(1\).pdf](http://www.gurit.com/files/documents/Gurit_Guide_to_Composites(1).pdf)>
- [13] *Resin transfer moulding*. [online]. 2011 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <<https://www.flickr.com/photos/core-materials/5905060290/in/photostream/>>

- [14] *Form composite*. RTM[online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <<http://www.form-composite.com/rtm-technologie>>
- [15] *Autokláv*. Nádobu autoklávu[online]. 2012 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <<http://www.letectvi.cz/letectvi/Article73963.html>>
- [16] *Pultruze*. Postup výroby pultruze[online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <<http://fibrolux.com/cs/main/knowledge/pultruze/>>
- [17] *Kompozity*. Podíl v automobilech [online]. 2014 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <<http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/automobilovy-priemysel/909-polymer-y-a-ich-kompozity-v-automotive>>
- [18] *Pružiny*. Novinka v automobilech [online]. 2014 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-audi-a7-odpruzeni-ze-sklenenych-vlaken-misto-oceli>
- [19] *Uhlíkové vlákna*. [online]. 2013 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <<http://www.autorevue.cz/bmw-m3-csl-oslava-10-vyroci-specialni-serie>>
- [20] *Uhlíkové vlákna*. [online]. 2013 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <<http://www.autoforum.cz/predstaveni/mclaren-p1-odhalil-svuj-interier-pripravte-se-na-karbonove-orgie/>>
- [21] *Střecha z uhlíkových vláken*. [online]. 2013 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/volkswagen-pripravuje-karbonovou-strechu-ostre-golfy-74492>>
- [22] *Kryt alternátoru*. [online]. 2014 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <<http://www.abmoto.cz/cz/e-shop/c27937/padaci-ramy-a-protektory-2c-ochranna-vika-motoru.html?page=26>>
- [23] *Přírodní vlákna*. [online]. 2013 [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <<http://www.jeccomposites.com/news/composites-news/natural-fibre-thermoset-composite-prepregs>>
- [24] *Renault Wind* [online]. Topspeed.com.2010 [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <<http://www.topspeed.com/cars/renault/2010-renault-wind-ar84442.html>>
- [25] *Peugeot 306* [online]. Tuning-centrum.cz 2012 [cit. 2014-10-06].

- Dostupné z: <<http://www.tuning-centrum.cz/product/13431-predni-naraznik-peugeot-306-laminat>>.
- [26] *Sportovní sedačky* [online]. 2012 [cit. 2014-10-07]. Dostupné z: <<http://www.autoseating.cz/recaro/recaro-ultima-10/>>
- [27] *Nádrže v automobilech* [online]. 2014 [cit. 2014-10-07]. Dostupné z: <<http://www.elpigas.cz/prestavba-lpg-cng/prestavba-cng/cng-v-motorech>>
- [28] DUCHÁČEK, V. *Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. [online]. 2006 [cit. 2014-10-23]. Dostupné z : <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6>
- [29] *Lisování* [online]. Lisování, druhy lisů 2012 [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: < http://www.utb.cz/file/36174_1_1>.
- [30] *Prepreg* [online]. Využití prepregu 2012 [cit. 2014-10-26]. Dostupné z: < <http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/22817>>.
- [31] *Prepreg technology* [online]. 2014 [cit. 2014-10-27]. Dostupné z: <http://www.hexcel.com:82/pdf/Technology%20Manuals/Prepreg_Technology/index.html#?page=0>
- [32] *Uhlíkové vlákna* [online]. 2015 [cit. 2015-3-5]. Dostupné z: <http://www.lacomposite.com/produkty_automotive.html >
- [33] *Uhlíkové a skelné vlákna* [online]. 2015 [cit. 2015-3-5]. Dostupné z: <<http://www.trs-motorsport.com>>
- [34] *Uhlíkové vlákna* [online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z: <<http://www.globalsources.com/si/AS/Guangzhou-SDX-QY/6008847738799/pdtl/BMW-E92-CARBON-FIBER-SIDE-MIRROR-COVER/1088615777.htm>>
- [35] *Střecha* [online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z: <<http://www.autoevolution.com/news/revozport-bmw-1-series-coupe-carbon-roof-39455.html>>
- [36] *Anténa* [online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z: http://www.mines-wave.com/E_09/CATALOG/CF_ANTENNA_COVER_E.html>
- [37] *Část uhlíkového vlákna na volant* [online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z: <<http://mbworld.org/forums/sl55-amg-sl63-amg-sl65-amg-r230/345661-sl55-carbon-fiber-steering-wheel-interior-panels.html>>

- [38] *Uhlíkové vlákna*[online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z:
<<http://zilvia.net/f/showthread.php?t=484880>>
- [39] *Uhlíkové vlákna*[online]. 2015 [cit. 2015-3-15]. Dostupné z:
<<http://www.eissmann.com/en/products/carbon-components.html>>
- [40] *Mechanické zkoušky*[online]. 2015 [cit. 2015-4-03]. Dostupné z:
<<http://tzs.kmm.zcu.cz/material2.pdf>>
- [41] ČSN EN ISO 1425. *Vlákny vyztužené plastové kompozit – Stanovení ohybových vlastností.*. Praha: Český normalizační ústav, 1998
- [42] ČSN EN ISO 179-2. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška.* Praha: Český normalizační ústav, 2000.
- [43] ČSN EN ISO 6603-2. *Plasty - Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška.* Praha: Český normalizační ústav, 2001.
- [44] *Rázová zkouška pádem*[online]. 2015 [cit. 2015-4-10]. Dostupné z:
<http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_11.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	Tloušťka zkušebního tělesa.
AF	Aramidové vlákna (Aramid Fiber).
A_m	Energie potřebná k přeražení tělesa.
A_b	Celková energie
b	Šířka zkušebního vzorku.
CMC	Ceramic matrix composite.
CF	Uhlíkové vlákno.
ČSN	Česká technická norma.
E	Modul pružnosti v ohybu.
EN	Evropské normy.
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci .
σ_m	Mez pevnosti v ohybu.
ε	Prodloužení.
F	Síla.
F_{max}	Maximální rázová síla.
F_p	Rázová síla při průrazu.
\bar{x}	Aritmetický průměr.
s	Směrodatná odchylka
v	Variační koeficient.
GF	Skelné vlákno (Glass Fiber).
GFRP	Polymerem tvrzené skelné vlákno.
h	Tloušťka tělesa.
L	Vzdálenost podpěr při ohybu.
L_p	Průhyb při průrazu
MMC	Metal Matrix Composite.

- n Počet měření
- PMC Polymer Matrix Composite.
- RTM Vysokotlaké vstřikování.
- SMC Sheet molding compounds.
- UP Polyesterové pryskyřice.
- VE Vinylesterové pryskyřice.
- VFI Vakuová infuze (Vacuum foil infusion).
- E_m Energie při maximální rázové síle.
- E_p Rázová energie při průrazu.
- .

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Dělení dle orientace výstuže a geometrie [3]</i>	14
<i>Obr. 2 Uhlíkové vlákno, příčný řez [6]</i>	15
<i>Obr. 3 Člun z uhlíkových a aramidových vláken [7]</i>	16
<i>Obr. 4 Ruční laminace [11]</i>	19
<i>Obr. 5 Nanášení sprejem[12]</i>	20
<i>Obr. 6 Technologie RTM [13]</i>	22
<i>Obr. 7 Díl vyrobený RTM technologií [14]</i>	22
<i>Obr. 8 Vakuová infuze pod pružnou folii VFI.....</i>	24
<i>Obr. 9 Autokláv [15]</i>	25
<i>Obr. 10 Navíjení [12]</i>	26
<i>Obr. 11 Pultruze [16]</i>	27
<i>Obr. 12 Schéma výroby SMC materiálu [10]</i>	28
<i>Obr. 13 Pružiny [18]</i>	29
<i>Obr. 14 BMW M3 CSL</i>	30
<i>Obr. 15 Interiér automobilu McLaren P1 [20]</i>	30
<i>Obr. 16 Sportovní Golf [21]</i>	31
<i>Obr. 17 Kryt alternátoru [22]</i>	31
<i>Obr. 18 Panel do auta [23]</i>	32
<i>Obr. 19 Lisování sportovní sedačky [23]</i>	32
<i>Obr. 20 SMC střecha u Renault Wind [24]</i>	33
<i>Obr. 21 Doplněk na nárazník Peugeot 306 [25]</i>	33
<i>Obr. 22 Sedadlo z Carbonu- RECARO Ultima 1.0 [26]</i>	34
<i>Obr. 23 Automobil Wolkswagen [27]</i>	34
<i>Obr. 24 Vysokotlaké přímé lisování [28]</i>	35
<i>Obr. 25 Pevná forma [28]</i>	36
<i>Obr. 26 Pružný dílec [28]</i>	36
<i>Obr. 27 Hydraulický lis [29]</i>	37
<i>Obr. 28 Lisování za tepla a tlaku SMC [9]</i>	39
<i>Obr. 29 Výroba SMC [5]</i>	39
<i>Obr. 30 Způsob uložení vláken v SMC [5]</i>	40
<i>Obr. 31 Jednosměrný a dvousměrný prepreg [31]</i>	41
<i>Obr. 32 Druhy tkanin [31]</i>	42

<i>Obr. 33 Výroba filmu [31]</i>	42
<i>Obr. 34 Impregnace filmu [31]</i>	42
<i>Obr. 35 2D schéma dvoustupňové výroby</i>	43
<i>Obr. 36 Jednostupňová výroba [31]</i>	43
<i>Obr. 37 2D schéma jednostupňové výroby [31]</i>	44
<i>Obr. 38 Část palubní desky vyrobeného z uhlíkových vláken [32]</i>	47
<i>Obr. 39 Panel do automobilu z přírodních vláken [23]</i>	47
<i>Obr. 40 Výroba sedačky z přírodních vláken [23]</i>	47
<i>Obr. 41 Potah pod nohy [33]</i>	48
<i>Obr. 42 Zpětná zrcátka [34]</i>	48
<i>Obr. 43 Sítěcha [35]</i>	48
<i>Obr. 44 Carbonová anténa [36]</i>	49
<i>Obr. 45 Větrací otvor ze skelných vláken [33]</i>	49
<i>Obr. 46 Část volantů [37]</i>	49
<i>Obr. 47 Palubní deska [38]</i>	50
<i>Obr. 48 Část dveří [39]</i>	50
<i>Obr. 49 Balík ze skelného (vlevo) a uhlíkového (vpravo) prepregu</i>	51
<i>Obr. 50 Nastříhané vzorky s ochranou folii</i>	51
<i>Obr. 51 Ruční kladení prepregu</i>	52
<i>Obr. 52 Kompletní sestava prepregu</i>	52
<i>Obr. 53 SeparáčnÍ folie</i>	53
<i>Obr. 54 Odsávací rohož</i>	53
<i>Obr. 55 Aplikace vakuovací folie</i>	54
<i>Obr. 56 Vytvoření podtlaku (vlevo) a kontrola těsnosti (vpravo)</i>	54
<i>Obr. 57 Pohled do otevřené (vlevo) a pohled do uzavřené pece (vpravo)</i>	55
<i>Obr. 58 Trojbodový ohyb [40]</i>	56
<i>Obr. 59 Zwick 1456 (vlevo), teplotní komora Zwick 1456 (vpravo)</i>	60
<i>Obr. 60 Zkušební tělesa před provedením zkoušky</i>	61
<i>Obr. 61 Graf Typ III při 23°C</i>	62
<i>Obr. 62 Zkušební tělesa po provedení</i>	62
<i>Obr. 63 Graf Typ II při 60°C</i>	63
<i>Obr. 64 Zkušební tělesa po provedení zkoušky</i>	64
<i>Obr. 65 Graf Typ I při teplotě 90°C</i>	65

<i>Obr. 66 Zkušební tělesa po provedení zkoušky</i>	66
<i>Obr. 67 Přístroj Ceast Resil Impactor junior</i>	66
<i>Obr. 68 Typ II před zahájením zkoušky</i>	67
<i>Obr. 69 Grafické vyhodnocení Typu I při teplotě 23°C</i>	67
<i>Obr. 70 Přetrhnutý Typ I</i>	69
<i>Obr. 71 Přetrhnutý Typ II</i>	69
<i>Obr. 72 Porušený Typ III</i>	70
<i>Obr. 73 Padostroj</i>	70
<i>Obr. 74 Zkušební tělesa před provedením zkoušky</i>	71
<i>Obr. 75 Graf Typu III při 23°C</i>	72
<i>Obr. 76 Zkušební tělesa po provedení zkoušky</i>	72
<i>Obr. 77 Nástřihový plán prepregu A</i>	77
<i>Obr. 78 Nástřihový plán prepregu B</i>	77
<i>Obr. 79 Vyroběný díl</i>	77
<i>Obr. 80 Vyhodnocení modulu pružnosti při tříbodové zkoušce</i>	78
<i>Obr. 81 Vyhodnocení meze pevnosti při tříbodové zkoušce</i>	79
<i>Obr. 82 Vyhodnocení rázové houževnatosti</i>	80
<i>Obr. 83 Grafické vyhodnocení rázové síly</i>	81
<i>Obr. 84 Vyhodnocení maximální rázové síly</i>	81
<i>Obr. 85 Vyhodnocení energie při maximální rázové síle</i>	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností [4].....	16
Tab. 2 Mechanické vlastnosti vybraných druhů matric [8].....	17
Tab. 3 Typ I při teplotě 23°C.....	61
Tab. 4 Typ II při teplotě 23°C.....	61
Tab. 5 Typ III při teplotě 23°C.....	62
Tab. 6 Typ I při teplotě 60°C.....	63
Tab. 7 Typ II při teplotě 60°C.....	63
Tab. 8 Typ III při teplotě 60°C.....	64
Tab. 9 Typ I při teplotě 90°C.....	64
Tab. 10 Typ II při teplotě 90°C.....	65
Tab. 11 Typ III při teplotě 90°C.....	65
Tab. 12 Typ I při teplotě 23°C.....	67
Tab. 13 Typ II při teplotě 23°C.....	67
Tab. 14 Typ III při teplotě 23°C.....	68
Tab. 15 Typ I při teplotě 60°C.....	68
Tab. 16 Typ II při teplotě 60°C.....	68
Tab. 17 Typ III při teplotě 60°C.....	68
Tab. 18 Typ I při teplotě 90°C.....	68
Tab. 19 Typ II při teplotě 90°C.....	69
Tab. 20 Typ III při teplotě 90°C.....	69
Tab. 21 Typ I při teplotě 23°C.....	71
Tab. 22 Typ II při teplotě 23°C.....	71
Tab. 23 Typ III při teplotě 23°C.....	72
Tab. 24 Cenové srovnání.....	73
Tab. 25 Legenda popisu vzorků.....	78

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I – Naměřené hodnoty tříbodového ohybu

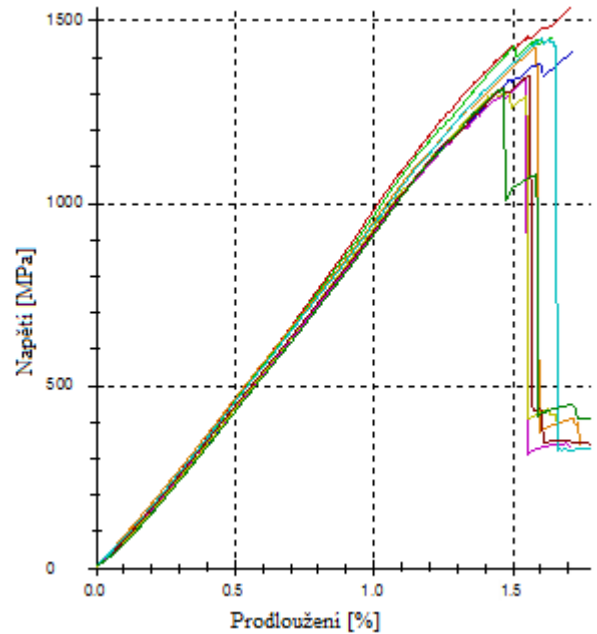
Příloha P II – Naměřené hodnoty rázové houževnatosti

Příloha P III – Naměřené hodnoty padajícím tloukem

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ HODNOTY TŘÍBODOVÉHO OHYBU

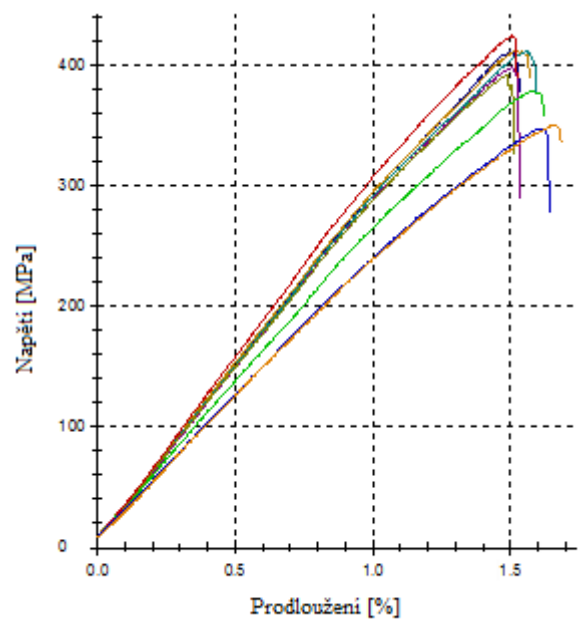
Typ I při teplotě 23°C:

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	1	21	1540	89800	1,7
2.	1	21	1450	90200	1,6
3.	1	21,3	1420	84200	1,7
4.	1	20,8	1430	90000	1,8
5.	1	20,8	1340	83800	1,7
6.	1	20,9	1450	86900	1,9
7.	1	21	1300	83200	1,7
8.	1	21,2	1350	87700	1,8
9.	1	21,4	1320	82800	1,8
\bar{x}	1	21,04	1400	86500	1,7
s	0	0,21	76,8	3080	0,1
v	0	1,01	5,49	3,56	4,23



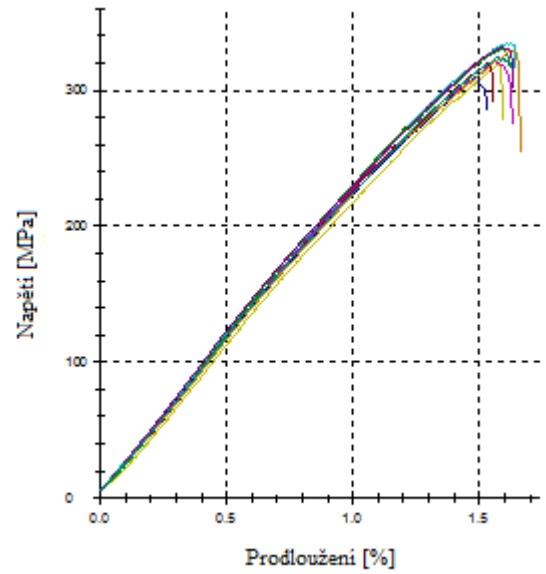
Typ II při teplotě 23°C:

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	0,8	21	411	27900	1,5
2.	0,8	20,8	412	28800	1,6
3.	0,8	20,8	398	27700	1,5
4.	0,8	20,4	411	28600	1,6
5.	0,8	20,2	392	28100	1,5
6.	0,8	20,3	425	29300	1,5
7.	0,8	20,6	379	26900	1,6
8.	0,8	20,8	347	23700	1,6
9.	0,8	21,1	351	23900	1,7
\bar{x}	0,8	20,67	392	27200	1,6
s	0	0,3122	27,7	2050	0,1
v	0	1,51	7,08	7,52	3,77



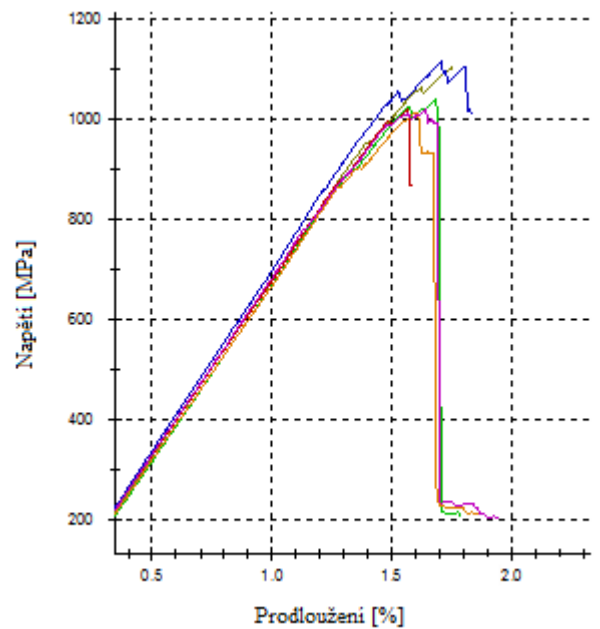
Typ III při teplotě 23°C:

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ϵ [%]
1.	1	21,3	321	21500	1,6
2.	1	21,2	335	22400	1,6
3.	1	21	318	21200	1,6
4.	1	21	320	21200	1,6
5.	1	21,3	331	22500	1,6
6.	1	21,4	310	22000	1,5
7.	1	20,9	329	21200	1,7
8.	1	20,8	332	23100	1,6
9.	1	21	325	21900	1,6
\bar{x}	1	21,1	325	21900	1,6
s	0	0,2062	7,8	678	0
v	0	0,98	2,4	3,1	2,73



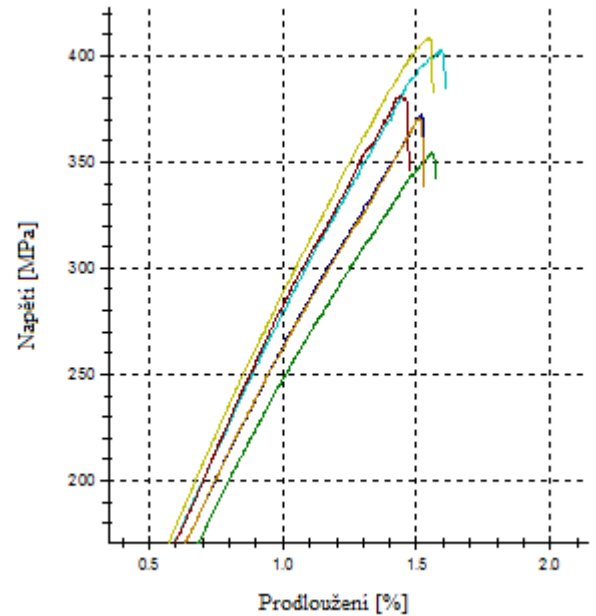
Typ I při teplotě 60°C:

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ϵ [%]
1.	1,1	21,4	1110	62700	1,7
2.	1,1	21,3	1020	64900	1,6
3.	1,1	21,1	1040	61300	1,8
4.	1,1	21,1	1120	67300	1,8
5.	1,1	21,3	1020	62500	1,9
6.	1,1	21,1	1020	64400	1,9
\bar{x}	1,1	21,22	1060	63900	1,8
s	0	0,1329	45	2120	0,1
v	0	0,63	4,27	3,33	6,9



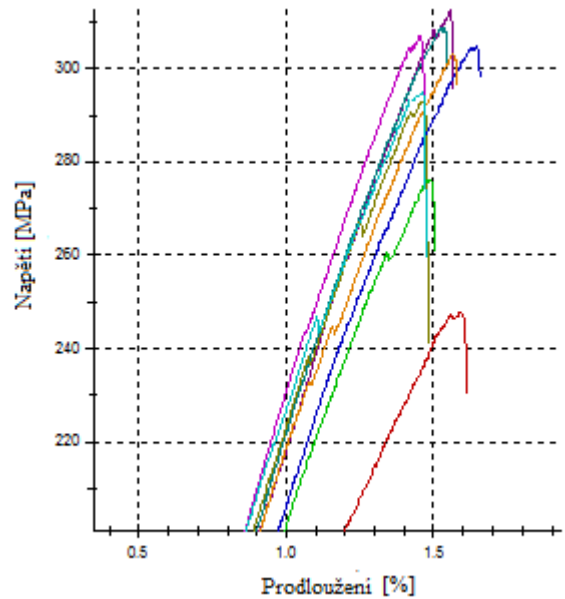
Typ II při teplotě 60°C:

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	0,8	21,2	403	25900	1,6
2.	0,8	21,2	408	26800	1,6
3.	0,8	20,9	381	26400	1,5
4.	0,8	21	355	22400	1,6
5.	0,8	21	373	24400	1,5
6.	0,8	20,7	370	24900	1,5
\bar{x}	0,8	21	382	25100	1,5
s	0	0,1897	20,5	1620	0
v	0	0,9	5,36	6,46	3,01



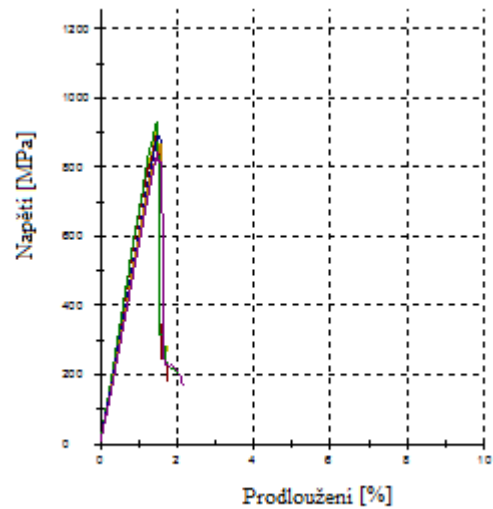
Typ III při teplotě 60°C:

n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	1	21,1	313	21100	1,6
2.	1	21,2	309	22000	1,5
3.	1	21,1	293	20900	1,5
4.	1	21,2	248	16900	1,6
5.	1	20,9	276	19900	1,5
6.	1	20,9	305	20400	1,7
7.	1	20,4	303	20800	1,6
8.	1	20,9	307	21300	1,5
9.	1	21,3	295	22000	1,5
\bar{x}	1	21	294	20600	1,5
s	0	0,2693	20,5	1530	0,1
v	0	1,28	6,98	7,46	4,28



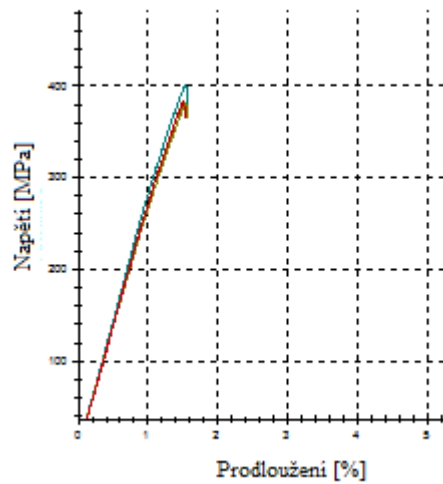
Typ I při teplotě 90°C:

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	1,1	20,8	912	63100	1,7
2.	1,1	21,1	891	63200	1,8
3.	1,1	20,8	931	63400	2
4.	1,1	21,2	893	58000	1,6
5.	1,1	21,3	868	53300	1,6
6.	1,1	21,2	845	52700	2,1
\bar{x}	1,1	21,07	890	59000	1,8
s	0	0,216	30,4	5030	0,2
v	0	1,03	3,41	8,53	12,76



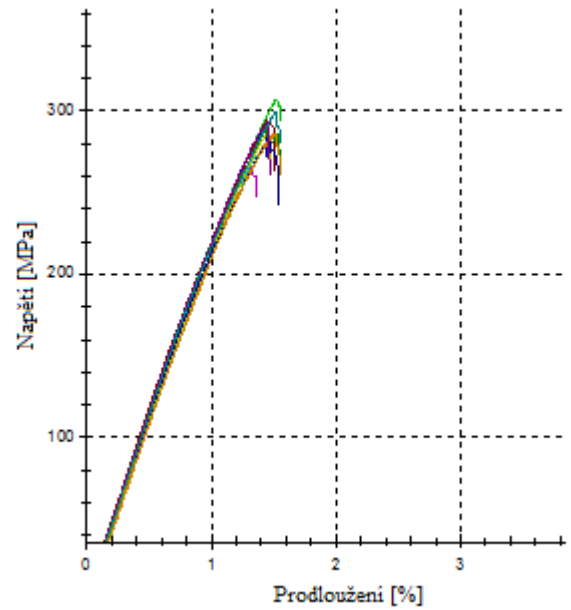
Typ II při teplotě 90°C:

n=6	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	0,8	20,9	402	26100	1,6
2.	0,8	20,3	382	25100	1,6
3.	0,8	20	384	25400	1,5
4.	0,8	20,1	383	25300	1,5
5.	0,8	20,3	382	25100	1,6
\bar{x}	0,8	20,4	389	25500	1,5
s	0	0,46	11,3	523	0
v	0	2,25	2,89	2,05	1,37



Typ III při teplotě 90°C:

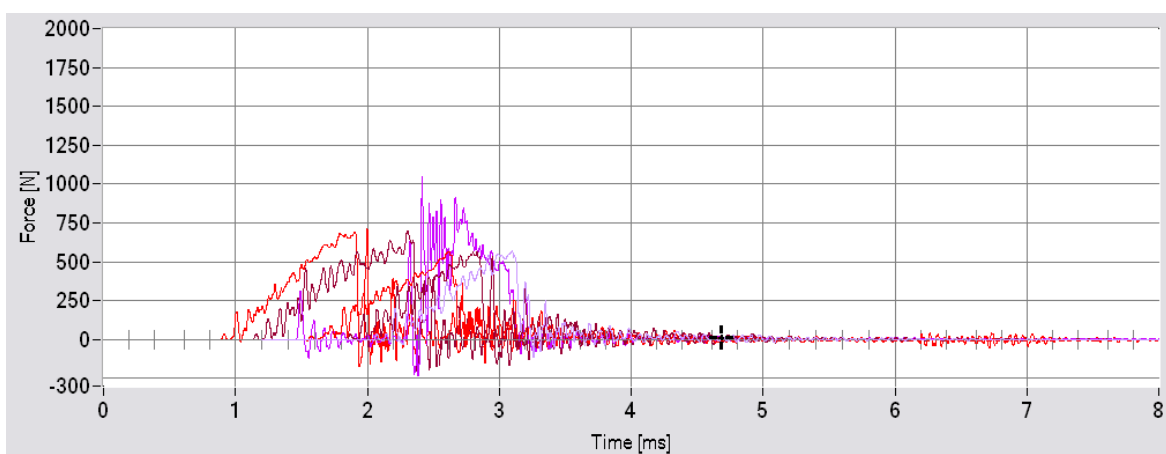
n=9	a [mm]	b [mm]	σ_m [MPa]	E [MPa]	ε [%]
1.	1	21,1	307	21500	1,6
2.	1	21,2	290	20900	1,4
3.	1	21,1	285	19700	1,5
4.	1	21,1	274	20600	1,4
5.	1	21,1	283	21900	1,5
6.	1	21	286	20500	1,5
7.	1	21,2	294	22200	1,5
8.	1	21,1	290	20900	1,5
9.	1	21,1	284	21500	1,5
\bar{x}	1	21,13	289	21100	1,5
s	0	0,077	8,51	719	0,1
v	0	0,37	2,94	3,41	3,81



PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI

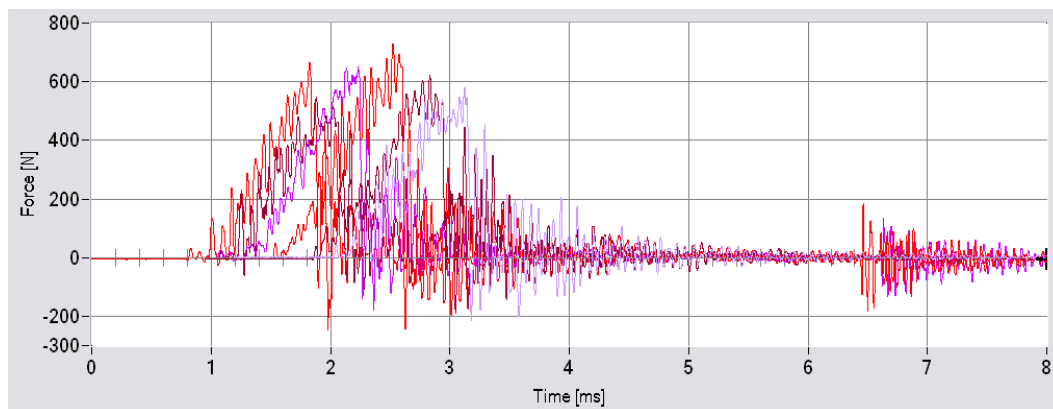
Typ I při teplotě 23°C

n=5	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	714,49	116,75	118,77
2.	698,49	124,89	135,32
3.	562,93	84,17	95,12
4.	564,28	80,72	87,04
5.	572,4	85,13	97,03
\bar{x}	622,52	98,33	106,66
s	68,83	18,60	17,77



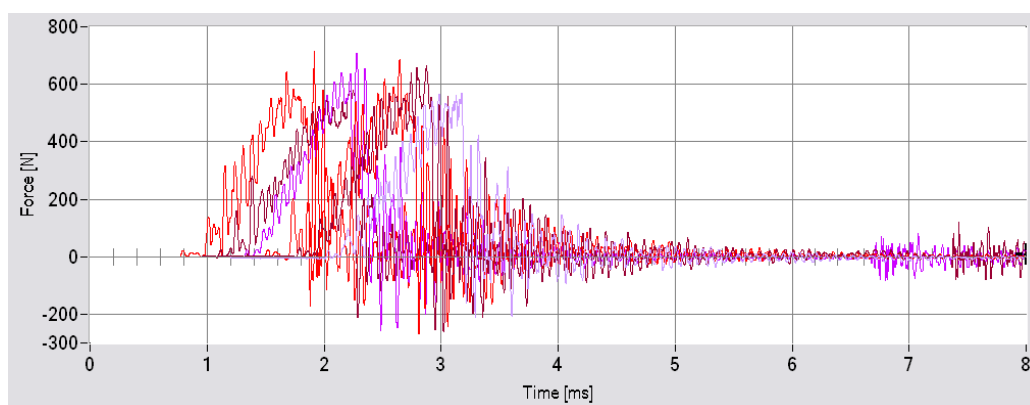
Typ I při teplotě 60°C:

n=6	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	663,07	73,63	82,89
2.	546,69	53,14	83,66
3.	650,89	90,83	94,83
4.	728,02	92,4	109,25
5.	622,47	80,92	98,76
6.	579,17	87,28	92,69
\bar{x}	631,72	79,70	93,68
s	58,74	13,46	9,01



Typ I při teplotě 90°C:

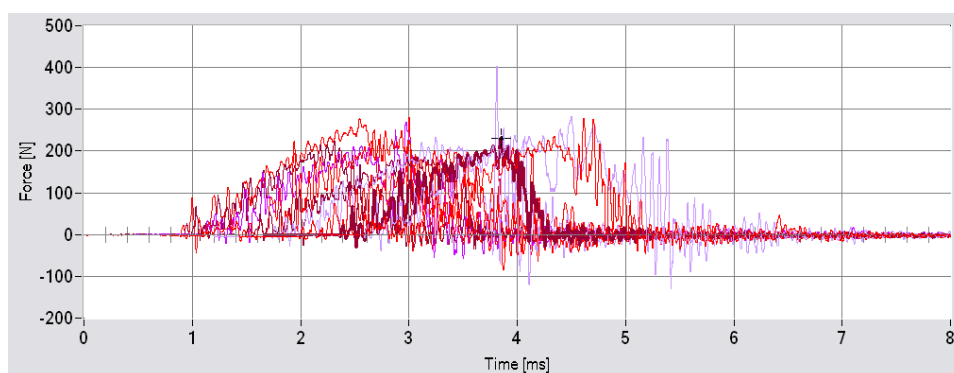
n=6	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	715,84	96,11	97,5
2.	579,17	101,89	105,93
3.	707,72	88,54	102,36
4.	686,07	84,59	105,77
5.	663,07	104,06	113,37
6.	566,99	90,99	93,91
\bar{x}	653,14	94,36	103,14
s	59,14	7,01	6,28



Typ II při teplotě 23°C:

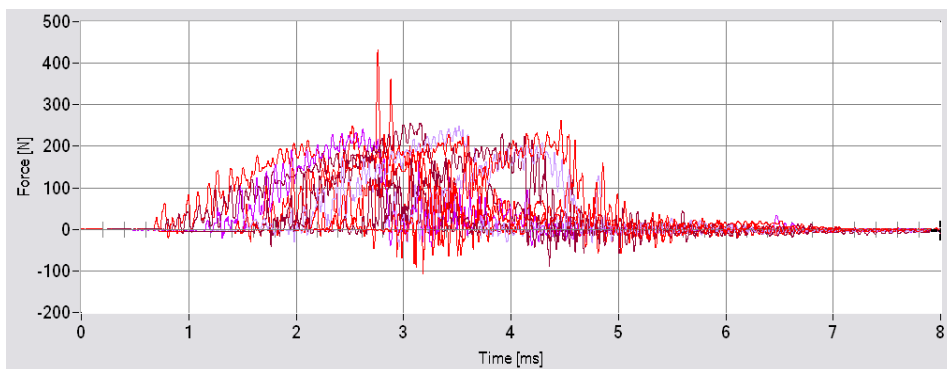
n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	280,11	131,8	133,31
2.	223,28	67,02	81,2
3.	269,29	97,9	111,77
4.	248,99	85,6	110,85

5.	185,39	70,95	95,97
6.	403,25	108,48	111,05
7.	204,33	54,37	83,68
8.	231,4	71,56	89,32
9.	281,47	114,48	164,15
10.	278,76	106,04	120,83
\bar{x}	260,63	90,82	110,21
s	57,25	23,49	23,97



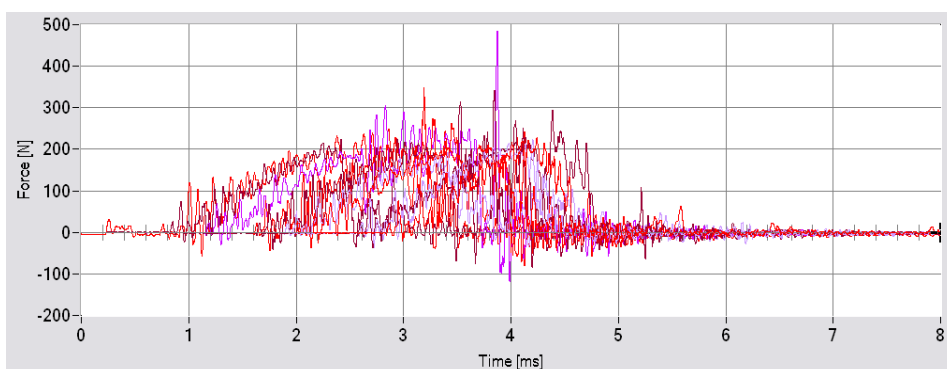
Typ II při teplotě 60°C:

n=10	F [N]	A_m [KJ/m ²]	A_b [KJ/m ²]
1.	431,67	109,83	123,91
2.	196,21	94,09	103,04
3.	240,87	78,85	98,21
4.	208,39	58,71	90,3
5.	255,75	83,82	106,5
6.	248,99	95,21	110,35
7.	227,34	63,18	93,26
8.	230,04	72,45	90,72
9.	207,04	69,15	84,11
10.	261,17	87,77	102,58
\bar{x}	250,75	81,31	100,30
s	63,74	15,13	11,03



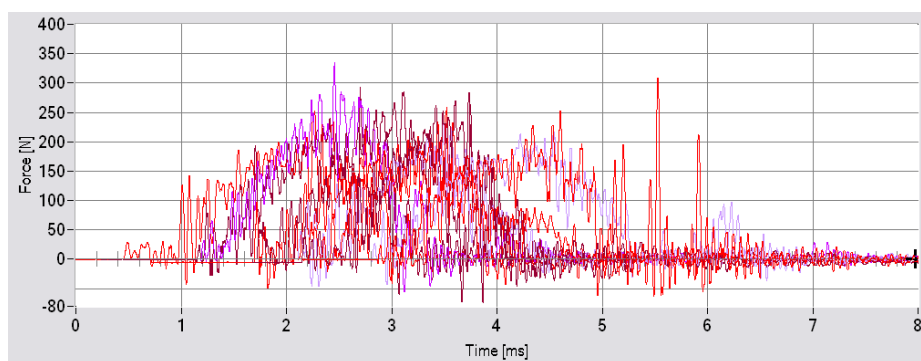
Typ II při teplotě 90°C:

n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	247,64	115,04	149,07
2.	223,28	79,96	86,02
3.	484,45	169,33	172,17
4.	349,13	74,87	125,76
5.	342,36	116,71	134,99
6.	190,8	67,31	82,74
7.	242,22	114,75	117,35
8.	293,64	97,85	127,04
9.	223,28	83,9	101,42
10.	227,34	68,34	89,64
\bar{x}	282,41	98,81	118,62
s	83,81	29,80	27,70



Typ III při teplotě 23°C:

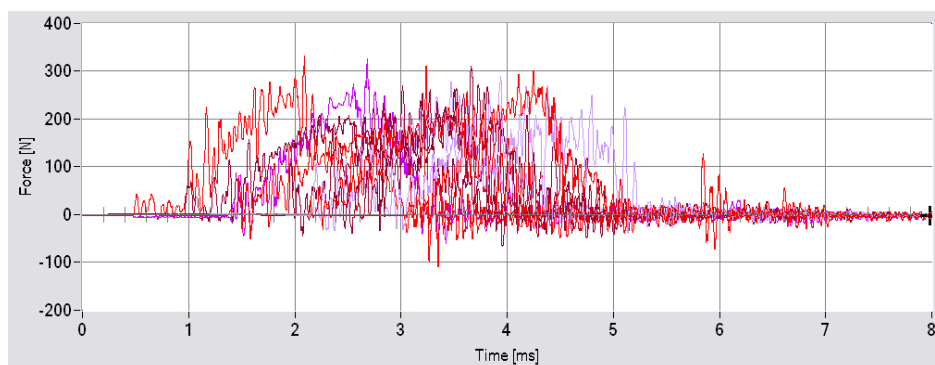
n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	251,7	80,33	121,11
2.	292,29	82,07	103,04
3.	334,24	78,66	134,41
4.	208,39	67,32	99,53
5.	285,53	84,32	120,33
6.	242,22	64,58	86,26
7.	258,46	65,15	109,13
8.	284,17	84,26	103,81
9.	216,51	92,61	126,5
10.	308	118,86	121,04
\bar{x}	268,15	81,81	112,51
s	37,91	15,15	13,84



Typ III při teplotě 60°C:

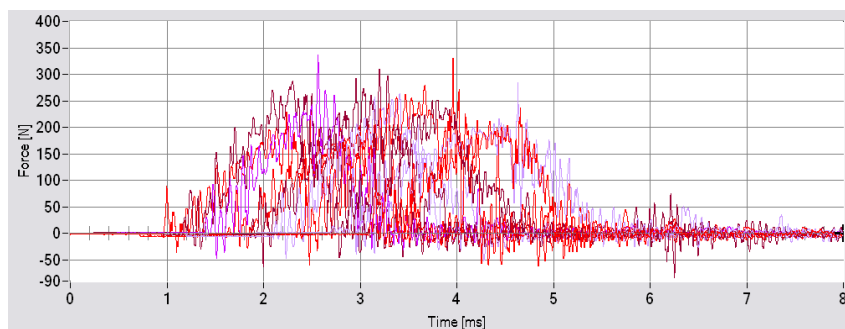
n=10	F [N]	A _m [KJ/m ²]	A _b [KJ/m ²]
1.	331,53	82,69	121,33
2.	208,39	45,53	83,6
3.	326,12	68,64	101,06
4.	309,88	73,99	75,54
5.	269,29	48,15	101,06
6.	277,41	59,94	96,43
7.	258,46	71,9	94,77
8.	311,24	60,54	90,46
9.	289,58	42,15	114,09

10.	301,76	63,86	101,26
\bar{x}	288,366	61,739	97,96
s	34,97127	12,57058	12,70463



Typ III při teplotě 90°C:

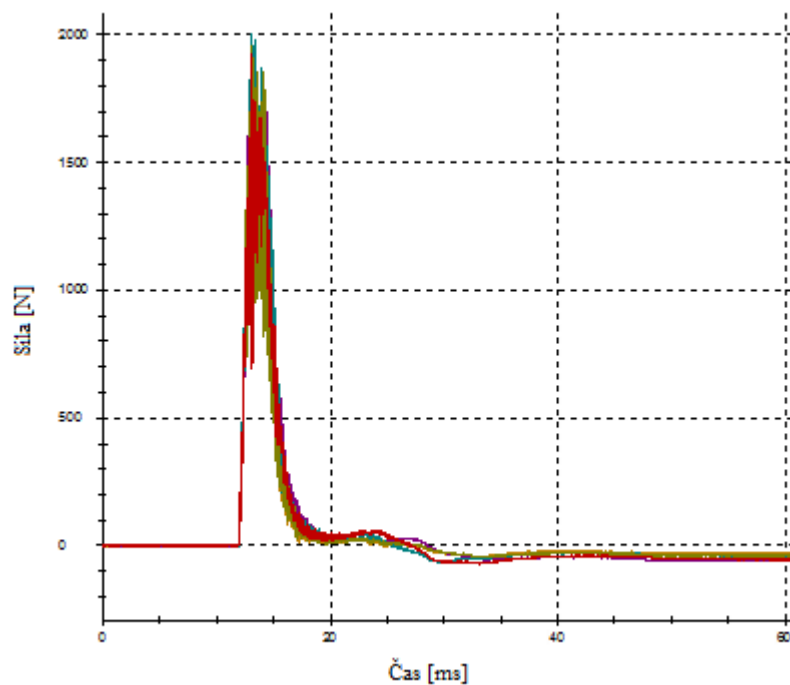
n=10	F [N]	A_m [KJ/m²]	A_b [KJ/m²]
1.	236,81	62,8	103,55
2.	286,88	62,64	101,6
3.	336,95	58,67	87
4.	205,69	59,42	71,51
5.	309,88	72,83	100,8
6.	263,87	64,11	86,13
7.	330,18	94,47	101,14
8.	251,7	52,9	92,66
9.	284,17	92,2	122,34
10.	236,81	71,54	88,54
\bar{x}	274,29	69,16	95,53
s	40,87	13,30	12,94



PŘÍLOHA PIII: ZKOUŠKA PADAJÍCÍM TLOUKEM

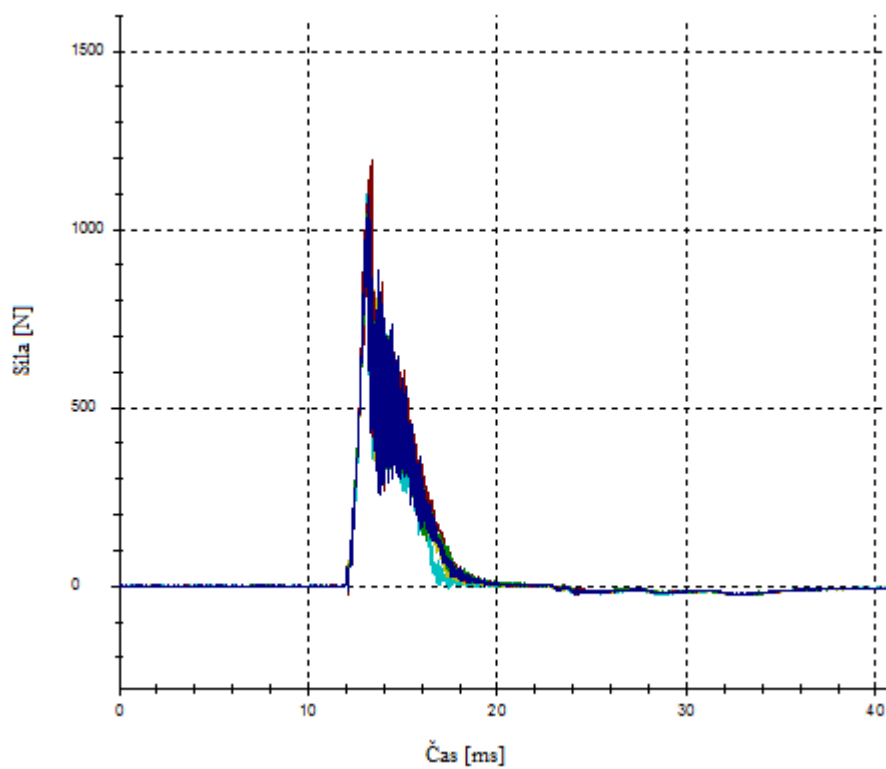
Typ I

n=5	F_{\max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
1.	1816,60	2,85	7,45	908,3	10,81
2.	1827,95	2,91	7,80	913,97	12,15
3.	2005,89	2,93	4,16	1002,95	11,99
4.	1957,32	2,48	3,12	978,66	10,70
5.	1922,97	2,46	2,89	961,48	11,55
\bar{x}	1906,15	2,73	5,08	953,07	11,44
s	82,14	0,24	2,37	41,07	0,66
v	4,31	8,72	46,67	4,31	5,78



Typ II

n=5	F_{max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
1.	1158,77	1,65	3,34	579,38	5,32
2.	1142,9	1,74	3,58	571,45	5,74
3.	1195,98	1,94	3,62	597,99	6,37
4.	1084,47	1,44	3,29	542,23	5,93
5.	1094,54	1,34	3,24	547,27	5,85
\bar{x}	1135,33	1,62	3,41	567,67	5,84
s	46,19	0,24	0,17	23,1	0,38
v	4,07	14,63	5,05	4,07	6,45



Typ III

n=5	F_{max} [N]	E_m [J]	l_p [mm]	F_p [N]	E_p [J]
1.	1302,25	1,53	3,22	651,12	6,99
2.	1416,79	1,95	3,29	708,39	7,21
3.	1432,57	2,12	3,55	716,28	6,58
4.	1384,44	1,85	3,24	695,15	6,81
5.	1354,54	1,72	3,27	685,27	7,02
\bar{x}	1383,81	1,87	3,35	691,93	6,93
s	71,12	0,30	0,17	35,56	0,32
v	5,14	16,16	5,22	5,14	4,6

