



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYUŽITÍ VAKUOVACÍ MEMBRÁNY PŘI VÝROBĚ DLOUHOVLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

APPLICATION OF A REUSABLE VACUUM MEMBRANE FOR PRODUCTION OF FIBER REINFORCED PLASTICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Talavášek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Gregor

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Václav Talavášek**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Gregor**
Akademický rok: 2021/22

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

Využití vakuovacích membrán při výrobě dlouhovláknových kompozitů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě kompozitních dílů vyztužených dlouhými vlákny se často využívá pro zlepšení vlastností vakuovacích pytlů. Jejich nevýhodou je zejména nemožnost opakovaného použití a časová náročnost balení. Alternativou a zlepšením při sériové výrobě může být využití znovupoužitelných vakuovacích membrán.

Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika výrobních technologií kompozitních materiálů.
2. Technologické požadavky na využití a výrobu membrány.
3. Volba vhodného dílu pro využití silikonového pytle.
4. Konstrukční návrh forem a zvoleného dílu.
5. Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook: Volume 21, Composites, ASM International, The Material Information Company, 2001.

CAMPBELL, F. C. ASM INTERNATIONAL. Structural Composite Materials. Materials Park: ASM International, 2010. ISBN 9781615030378.

Composite materials handbook. Volume 1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials. USA: SAE International on behalf of CMH-17, a division of Wichita State University, 2012. 700 s. ISBN 978-0-7680-7811-4.

MALLICK, P. K. Composites engineering handbook. New York: Marcel Dekker, 1997. 1249 s. ISBN 0-8247-9304-8.

NIU, C. Y. M. Composite Airframe Structure, Hong Kong Conmilit Press Ltd., 664 s., 2005.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá výrobou součástí z dlouho vláknových kompozitů s polymerní matricí. Teoretická část přibližuje konvenční způsoby výroby a inovativní způsob výroby s pomocí vakuovací membrány. V experimentální části proběhla úprava staré formy a byla na ní vytvořena vakuovací membrána, která byla následně odzkoušena. Výsledkem testů je analýza celého procesu výroby, jejímž cílem bylo získat seznam konstrukčních úprav, které by měly být vytvořeny při konstrukci nové formy. Další kapitolou je ekonomické srovnání konvenční výroby a výroby s použitím vakuovací membrány. Na závěr práce byla provedena aplikace získaných výsledků do návrhu nové formy. Cílem bylo vytvořit kompletní formu, kterou by bylo možné použít pro sériovou výrobu.

Klíčová slova

Kompozity, znovupoužitelná vakuovací membrána, autokláv, prepreg

ABSTRACT

The thesis focuses on the manufacturing process of the composites with fiber reinforcement and polymer matrix. The theoretical part contains a description of conventional manufacturing processes. The experimental part of the thesis was based on the design modification of an old convention mold. The aim was to make design changes for the usage of a vacuum membrane. On the mold were made several tests. The goal was to find out the design faults of the mold. The next chapter focuses on the economic comparison of the conventional process and the reusable vacuum membrane process. The last chapter focuses on the design of a new mold, which is going to be utilized for mass production.

Key words

Composites, reusable vacuum membrane, autoclave, prepreg

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TALAVÁŠEK, Václav. *Využití vakuovacích membrán při výrobě dlouhoválnových kompozitů* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140366>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 60 stran. Vedoucí práce Lukáš Gregor.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Využití vakuovací membrány při výrobě dlouhovláknových kompozitů vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 19. 5. 2022

místo, datum

Bc. Václav Talavášek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Lukášovi Gregorovi, za vedení práce, za jeho ochotnou pomoc a cenné rady, které mi poskytnul při vypracování této práce.

Chtěl bych také poděkovat firmě MSR Engines za umožnění práce na tomto projektu. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům této firmy za jejich pomoc a rady při experimentálních zkouškách.

Také bych chtěl poděkovat firmě 3Tooling za poskytnuté konzultace.

Moje poděkování patří i mé rodině za jejich podporu v celém průběhu mého studia.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Kompozitní materiály	12
1.1 Charakteristika kompozitů	12
1.2 Výztuže v dlouho-vláknových kompozitech	12
1.2.1 Materiály výztuží	12
1.2.2 Vyráběné výztuže	14
1.3 Matrice.....	16
1.4 Prepreg.....	17
1.4.1 Výroba prepregu	17
2 Výrobní technologie kompozitních materiálů	18
2.1 Ruční (mokrý) laminování.....	18
2.2 Vakuové technologie	19
2.2.1 Lisování vakuovaným pytle (vacuum bag moulding)	19
2.2.2 Vakuové technologie s vytvrzením v autoklávu.....	20
2.2.3 Technologie Resin Transfer Moulding (RTM)	20
2.2.4 Vacuum assisted resin transfer moulding (VARTM).....	21
2.3 Ostatní metody	21
2.3.1 Lisování pomocí tlakového vaku.....	21
2.3.2 Navíjení vláken.....	21
2.3.3 Pultruze.....	21
3 Vakuovací membrány	22
3.1 Charakteristika znovupoužitelné vakuovací membrány.....	22
3.2 Způsoby těsnění plachetky na formu.....	22
3.2.1 Membrány s těsnicí drážkou v plachetce.....	22
3.2.2 Membrány s těsnícím profilem na plachetce i na formě.....	23
3.2.3 Membrány ve formě pytle	24
3.3 Výrobní metody využívající znovupoužitelnou plachetku.....	24
3.4 Materiály pro výrobu znovupoužitelných vakuovacích membrán	25
4 Experimentální část	26
4.1 Forma.....	26
4.2 Úprava formy pro vytvoření silikonové plachetky.....	26
4.3 Zhotovení plachetky	27
4.4 Vady plachetky	28
4.4.1 Vady vzniklé při nanášení silikonu	28
4.4.2 Vady způsobené nevhodnou konstrukcí formy	30
4.5 Úprava formy po výrobě plachetky	30
4.6 Separace formy	31
4.7 Kompletace formy	32
5 Analýza vyrobených dílů.....	35
5.1 Metoda I	36
5.2 Metoda II	37
5.3 Metoda III.....	40

5.4	Metoda IV	41
5.5	Metoda V	42
6	Technicko – ekonomické zhodnocení	43
6.1	Ekonomika konvenčního balení	43
6.2	Ekonomika balení plachetkou	44
6.3	Ekonomické porovnání metod.....	46
7	Aplikace získaných poznatků při konstrukci nové formy	49
7.1	Analýza slabin testovací formy	49
7.2	Nová forma.....	50
7.3	Konstrukce formy pro vakuovací membránu	51
7.3.1	Rozměr formy.....	51
7.3.2	Odsávání	51
7.3.3	Hadice.....	53
7.3.4	Podpěry.....	54
7.4	Ekonomické zhodnocení nové formy	54
	Závěr.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH	60

ÚVOD

Výroba dílů z dlouho vláknových kompozitů s polymerní maticí má neustále vzestupnou tendenci a lze předpokládat, že tento trend bude dále pokračovat. Díky své nízké hmotnosti a dobrým mechanickým vlastnostem si tyto materiály neustále nacházejí své uplatnění v nových odvětvích. Zejména v automotive a aerospace průmyslu, kde je kladen velký důraz na snižování hmotnosti součástí jsou kompozity ceněným materiálem.

V posledních letech je ve všech oborech čím dál více kladen důraz na ekologii. To se týká i odvětví, které se zabývá výrobou a zpracováním kompozitů. Jako nejviditelnější krok k ekologické udržitelnosti v oboru kompozitních materiálů lze označit zvýšené používání rostlinných vláken jako výztužného materiálu. V současné době je již možné se běžně setkávat s výrobky, které jsou vyztužené konopím nebo lnem.

Dalším způsobem, jakým je možné zvýšit ekologičnost dlouho vláknových kompozitů je inovace procesu jejich výroby. Ve snaze vyrábět kompozitní materiály se špičkovými vlastnostmi se při výrobě používá vakuum. Vakuum se používá za účelem zvýšení tlaku na materiál při jeho vytvrzování a zároveň pro odstranění bublin ze struktury. Vakua se nejčastěji dosahuje zabalením celé formy do jednorázových plastových pytlů a odsátím vzduchu. Metoda je osvědčená, ale tato výroba s sebou přináší nevýhodu v podobě velkého množství plastového odpadu. Pokud se firma zabývá výrobou kompozitních dílů ve velkém objemu, ročně tímto vyprodukuje stovky kilogramů plastového odpadu. Při konvenčním balení je zaměstnanec vystaven zdlouhavému procesu balení, který u tvarově složitějších forem může trvat až několik hodin. Při sériové výrobě kompozitních dílů tak náklady na zabalení tvoří poměrně vysokou částku v rozpočtu firmy.

Řešením těchto problémů je technologie, při které se místo jednorázového balícího materiálu používá znovupoužitelná vakuovací membrána. Při použití této metody se významně redukuje množství vzniklého odpadu a zároveň snižuje čas zaměstnance při balení na minimum. Díky tomu má firma možnost navýšit objem vlastní produkce.

Tato diplomová práce se zabývá využitím vakuovacích membrán v praxi a zároveň přináší poznatky z reálných zkoušek, které mohou posloužit při snaze zavést tuto metodu balení do provozu. Cílem celé práce je vytvoření přehledu konstrukčních prvků, které mají vliv na funkčnost vakuovací membrány, provést jejich optimalizaci a následně je aplikovat do konstrukčního návrhu nové formy, se kterou se počítá pro sériové využití.

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

1.1 Charakteristika kompozitů

Jako kompozitní materiály se označují materiály, které se skládají minimálně ze dvou rozdílných složek s různými strukturními vlastnostmi a mají mezi sebou rozpoznatelné rozhraní.

Obecně lze kompozity popsat tak, že se skládají ze spojitě matrice, která obklopuje vyztužující složky. Výztuže jsou většinou houževnatější a pevnější, než matrice. Vyztuž v těchto materiálech zlepšuje houževnatost výsledného kompozitu. Výsledný kompozit má mechanické vlastnosti lepší, než jsou vlastnosti jednotlivých složek, ze kterých je složen. Tyto zlepšené vlastnosti jsou způsobeny mechanismem sdíleného zatížení.

Kompozity se obvykle dělí pomocí dvou různých parametrů. Prvním parametrem je rozdělení dle použité výztuže. Takto se dělí na sekaná vlákna, dlouho vláknové výztuže, kuličky, vločky, částice nebo tyčinky. Druhým parametrem je dělení podle materiálu matrice. Dle tohoto parametru se kompozity dělí na kompozity s organickou matricí, s kovovou matricí a s keramickou matricí.

Kompozity se používají pro svoje mechanické, elektrické, tribologické a ekologické vlastnosti. [1; 2]

Vzhledem k tématu této práce jsou následující řádky věnovány pouze kompozitům, které jako výztužný element využívají dlouhá vlákna a mají polymerní matrici.

1.2 Výztuže v dlouho-vláknových kompozitech

Principem výztuže je poskytnutí vyšší pevnosti a houževnatosti. Ve dlouho vláknových kompozitech poskytují vlákna veškerou pevnost a houževnatost.

Dlouho vláknové kompozity nacházejí své využití v případech, kde je možné určit směr budoucího namáhání. V aplikacích, kde toto nelze jednoznačně určit nebo je namáhání ve více směrech se používají kompozity s krátkým vláknem. Pokud je třeba dosáhnout stejného efektu u dlouho vláknových kompozitů, je nutné na sebe položit několik vrstev výztuže s různou orientací vláken. [1; 5]

1.2.1 Materiály výztuží



Obr. 1.1 Z leva: skelná výztuž, aramidová výztuž, uhlíková výztuž [9].

Skelná vlákna

Skelné vlákno se v dnešní době řadí mezi nejuniverzálněji používané materiály (obr. 1.1). Skelné vlákno se vyrábí ze surovin, kterých je na světě „nevyčerpatelné“ množství. Stejně jako sklo mají vlákna tyto vlastnosti: tvrdost, transparentnost a nepodléhají chemickým reakcím. Zároveň mají vlastnosti žádoucí pro vlákna, což je zejména ohebnost, houževnatost a pevnost.

Skelných vláken je velké množství druhů. Nejpoužívanějším druhem je E-sklo, které vyniká nízkou elektrickou vodivostí a dobrou tvárností, dále se hojně používá S-sklo, které vyniká svojí vysokou pevností nebo C-sklo, které má vysokou chemickou odolnost. E-sklo má pevnost v tahu cca 3450 MPa a Youngův modul pružnosti 75 GPa.

Důvod využívání skelného vlákna je zejména jeho příznivá cena, dobrá dostupnost na trhu, dobrá zpracovatelnost při výrobě kompozitu a již zmíněné mechanické vlastnosti.

[1; 2; 6]

Uhlíková vlákna

Průlom v používání uhlíkových vláken nastal v 70. letech minulého století, když se tento produkt uvolnil pro civilní využití, a to zejména ve sportovních odvětvích. To mělo za následek zvýšení výroby uhlíkových vláken a zároveň snížení jejich ceny. V současné době jsou uhlíková vlákna nejpoužívanější výztuží vysokopevnostních kompozitů. Vlákna se používají v kompozitech s matricí tvořenou pryskyřicí, kovem, sklem, keramikou nebo uhlíkem (náběžné hrany křídel raketoplánů).

Youngův modul pružnosti je 250 – 400 GPa, pevnost v tahu se pohybuje v rozmezí 3500 – 7000 MPa. Tloušťka uhlíkových vláken se běžně pohybuje v rozmezí 8 až 10 μm . Tažnost je přibližně 2,2 %.

Surovinami, ze kterých se vyrábí, jsou polyakrylonitril (PAN), smola, zemní plyn a umělé hedvábí, přičemž nejčastěji je výroba z PAN a smoly. Z každého materiálu se vlákna vyrábějí jiným způsobem.

Vlákna na bázi PAN

Základem těchto vláken mohou být akrylová vlákna, nebo prekurzorová vlákna vyráběná z polymeru. Při spřádání je cílem dosáhnout co nejlepšího uspořádání polymerních řetězců. Získaná orientace se stabilizuje při teplotě 220°C. Vlákno má nejlepší vlastnosti, pokud je během celé výroby natahováno.

Vlákna vyráběná ze smoly

Smola je syntetický materiál, vyráběný z ropy nebo z černého uhlí. Často se jako vstupní surovina pro výrobu smoly používá ropný nebo uhelný dehet. Vlákna se spřádají ze smolové taveniny, stabilizují se, karbonizují a grafitizují.

Vlákna na bázi smoly mají ve srovnání s vlákny na bázi PAN vyšší modul pružnosti. Vlákna na bázi PAN mají menší tloušťku, nižší specifickou hmotnost a lepší pevnost v tahu než vlákna na bázi smoly. [1; 2; 4]

Aramidová vlákna

Jedná se o aromatické polyamidy, které byly poprvé odzkoušeny v 60. letech 20. století. Aramidová vlákna mají největší poměr pevnost-váha ze všech na trhu dostupných výztužných materiálů. Díky této vlastnosti jsou velmi žádaným materiálem v leteckém a kosmickém průmyslu (kryty raketových motorů, křídla letadel atd.). Nejvýznamnějšími aramidovými vlákny jsou ta s obchodním označením kevlar.

Tato vlákna jsou ve srovnání s ostatními anorganickými vlákny velmi odolná vůči abrazi, poškození a mají vyšší pevnost v podélném směru než v radiálním směru. Nevýhodou je nižší přilnavost k pryskyřicím, které tvoří matrici. Kevlar není odolný vůči kyselinám a zásadám. Zároveň není vhodné ho vystavovat UV záření, protože ztrácí svoji pevnost. Aramid je hydrofilní a snadno saje vlhkost, proto se před použitím vysušuje, aby byla zajištěna maximální přilnavost k matrici.

Pokud aramidová vlákna spleteme, získáme velmi kvalitní lana s výbornou odolností vůči tahu. Ve formě kompozitu se používají jako balistická ochrana, ochranné prostředky nebo výztuže pneumatik. [1; 2]

Ostatní materiály vláken

Bórová vlákna

Jsou to historicky nejstarší vlákna pro vysokopevnostní kompozity. V posledních letech jsou na ústupu, protože jsou nahrazovány levnějšími uhlíkovými vlákny, která mají stejné, nebo lepší vlastnosti. Mezi přednosti kompozitů vyztužených bórovými vlákny jsou zejména odolnost vůči zatížení tlakem, teplotní stabilita a nižší reaktivita s matricí oproti uhlíkovým vláknům. Kvůli vyšším cenám těchto vláken mají momentálně největší využití při opravách hliníkových prvků v letectví. [1]

Křemenná vlákna

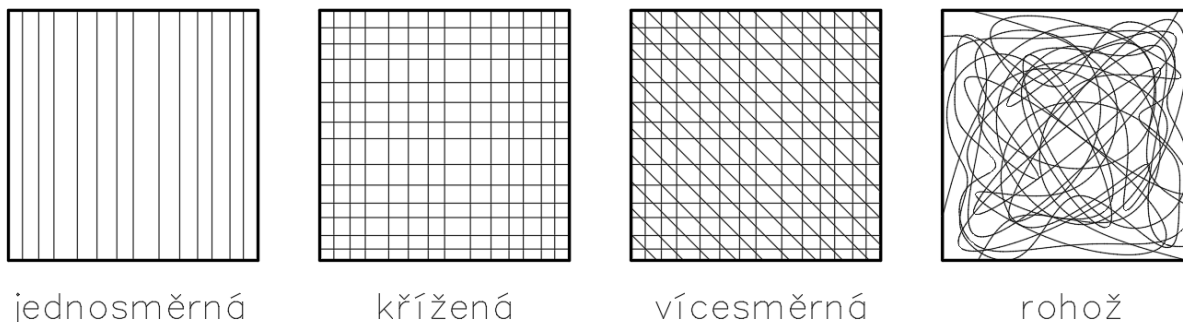
Vlákna se vyrábějí pomocí chemického napařování z karbidu křemíku. Každé vlákno má povlak na bázi uhlíku, který zlepšuje odolnost vlákna a zlepšuje manipulaci s vlákny. [1]

Přírodní vlákna

V současné době, se stále více naléhá na využívání ekologicky přívětivějších řešení. Díky tomu je čím dál větší poptávka po kompozitních materiálech s přírodní výztuží. Jako výztužná vlákna se používá juta, vlákna dřeva, konopí, len nebo kokosová vlákna. Populární jsou zejména hybridní kompozity, kdy je výztužné vlákno z přírodního materiálu a pryskyřice je syntetická. Tyto materiály se úspěšně používají jako obalový materiál, v zemědělství ale i pro automotive průmysl. Využití matric z přírodních materiálu (vstupním materiálem jsou rostlinné oleje) není zatím tolik rozšířené, jako využívání ekologických výztuží. [1; 3; 6]

1.2.2 Vyráběné výztuže

Základní formou výztuže u dlouho vláknových kompozitů je vlákno. Když se vlákno spojí bez kroucení se stovkami dalších vznikne pramen. Pokud se spojí bez překroucení několik pramenů, získáme roving. Takováto forma výztuže se může dále upravovat do požadovaných tvarů s požadovanou orientací vláken například tkaním nebo pletením (obr. 1.2). Pokud nemá výztuž jasně danou orientaci, jedná se o rohož. [1; 2]

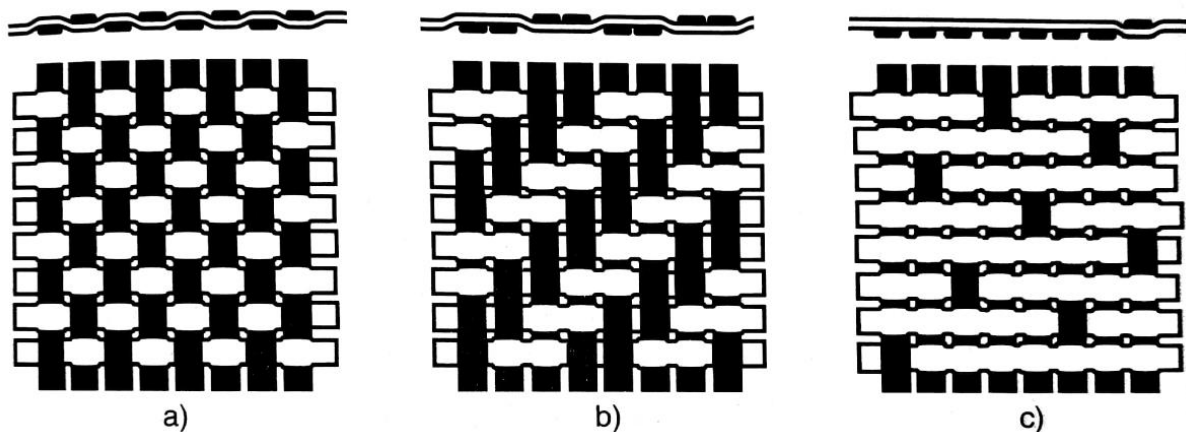


Obr. 1.2 Základní druhy výztuže, dle orientace vláken [2].

Vlákna jsou uspořádána v jedno-, dvoj-, troj-, nebo ve více směrném rozložení. Výhodou více směrného rozložení je kombinace vlastností podél více os a tím se vykompenzují nedostatky jednosměrného systému. Dvojsměrné rozložení se získává tkaním, trojsměrné a více směrné se vyrábí pletením. [1; 2]

Tkané polotovary

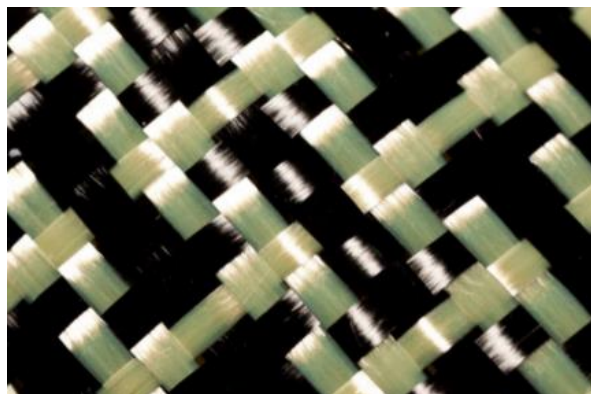
Vzor, který se také označuje jako konstrukce je orientovaný ve směru x a y. V ose y jsou osnovy, což jsou dlouhé rovingy, které vedou v podélné ose. Tyto rovingy jsou stejně dlouhé, jako celá tkaná metráž. U metráže v roli to mohou být desítky až stovky metrů. Osa x označuje šířku tkaniny. Tkanina je běžně dodávána v šířce do 3050 mm. Díky vhodné kombinaci rovingů existuje nepřeberné množství stylů a hustot s jakými jsou finální tkaniny vyráběny. Různé vazby se používají, protože každý styl má svoje výhody (obr. 1.3). Každá vazba má jinou vzájemnou soudržnost, hladkost nebo se liší v náročnosti při dalším zpracování. [1; 2]



Obr. 1.3 a) plátnová vazba, b) keprová vazba, c) saténová vazba [2].

Hybridní tkaniny

Jsou tkané z minimálně dvou druhů vláken. Nejběžnějším druhem je kombinace uhlík-aramid (obr. 1.4). Tyto materiály kombinují velmi dobrou houževnatost aramidových vláken s pevností uhlíkových vláken. Používají se zejména pro svoji dobrou odolnost vůči nárazu. [1; 2]



Obr. 1.4 Hybridní tkanina uhlík – aramid [5].

Pletené polotovary

Touto metodou se vyrábějí zejména punčochy (obr. 1.5). Rozděluje se na 2D pletení a na 3D pletení. Jako 2D úplety se označují pletené punčochy, které mají po celé délce konstantní velikost. Při 3D pletení je oplétána forma, podle které potom rukáv získává svůj tvar. [1]



Obr. 1.5 Pletená punčocha [8].

1.3 Matrice

Hlavním úkolem matrice je vytvořit pevnou vazbu mezi výztužemi a tím dodat celému dílu pevný tvar. Další důležitou funkcí matrice je ochrana výztuží před vlivy okolního prostředí. Matrice vynikají svojí adhezí a kohezí. Matrice drží vlákna v potřebné pozici a udržuje jejich správnou orientaci, díky čemuž mohou efektivně přenášet potřebné zatížení. Při porovnání mechanických vlastností matrice a výztuže má matrice vyšší tažnost a výztuž má vyšší pevnost.

U konstrukčních kompozitů se nejčastěji setkáváme s matricemi tvořenými reaktoplastem. Teplota vytvrzování závisí na tom, jaké vytvrzovací činidlo je v matrici obsaženo. Pryskyřice obsahuje také tzv. katalyzátory, které ovlivňují práci vytvrzovacího činidla.

Pro epoxidové pryskyřice existuje celá řada příměsí, se kterými dostává vytvrzená pryskyřice nové vlastnosti. Nejzákladnější směs se skládá pouze z pryskyřice a katalyzátoru, který ovlivňuje práci vytvrzovacího činidla. Do pryskyřice je možné přimíchat látky, které ovlivňují funkci či vzhled materiálu po vytvrzení. Běžně používané příměsi jsou například modifikátory tuhosti, blokátory hoření nebo pigmenty. [1; 2; 3]

Polyesterové a vinyl-esterové pryskyřice

Vzhledem k problému s dosažením dostatečné adheze k uhlíkovým a aramidovým vláknům, se tyto pryskyřice používají primárně pro skelná vlákna, se kterými se používají na různě zatěžované součásti. Vzhledem k tomu, že s ostatními vlákny jsou vlastnosti poměrně horší, se tento typ kompozitů používá tam, kde nároky na mechanické vlastnosti nejsou tolik vysoké.

Ve spojení s různými výztuhami a plnivý nám tento typ matrice dává nesmírně široký sortiment produktů které lze vyrábět. Nejčastěji se používají pro součásti dopravních prostředků nebo v chemickém prostředí, kde se využívají pro svoji chemickou stabilitu. Setkat se s nimi můžeme i v domácnosti, kde je můžeme najít aplikované, například ve formě koupelnové vany.

[1; 2; 6]

Epoxidové pryskyřice

Epoxidy poskytují vysokou pevnost, výbornou přilnavost k nejrozličnějším podkladům, dobrou elektrickou izolaci, malé smrštění při tunutí, chemickou odolnost, nejsou toxické a mají příznivou cenu. Využití nacházejí jak v letectví, tak i v hobby prostředí.

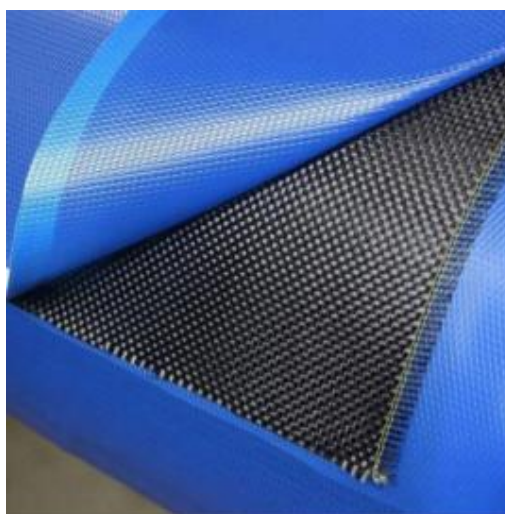
Pryskyřice se dodávají ve formě prášku nebo tekutiny a s příměsemi se míchají až při manipulaci. Nejpoužívanější tvrdidla jsou na bázi amidů a anhydridů. Rychlost vytvrzování při pokojové teplotě může být v extrémních případech od sekund až po dobu několika let.

[1; 2; 6]

1.4 Prepreg

Je to označení pro druh polotovaru, jehož vlákna jsou již před impregnovaná matriční pryskyřicí (obr. 1.6). Může se jednat o polotovar s kontinuálními vlákny, nebo se sekanými vlákny. Tato forma polotovaru je oblíbená díky tomu, že zpracovatel nemusí připravovat a nanášet pryskyřici. Pryskyřice je v prepregu rozložena rovnoměrně na celé ploše a v ideálním množství. Prepregy mají své využití od hobby výrobků až po vysoce namáhané dílce v letectví. Nejpoužívanější prepregy jsou ty ze skelných, aramidových, uhlíkových a hybridních vláken.

Jejich výhodou je, že díky příměsím v pryskyřici je proces vytvrzování při pokojové teplotě velice pomalý, což zajišťuje dobré ruční zpracovávání. Při zvýšených teplotách však reagují velmi rychle. I vytvrzování při pokojové teplotě však může ztížit následné zpracování, proto se prepregy skladují v mrazácích. Při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je možné skladování až po dobu jednoho roku. [2; 3]



Obr. 1.6 Prepreg z uhlíkové tkaniny navinutý na roli [3].

1.4.1 Výroba prepregu

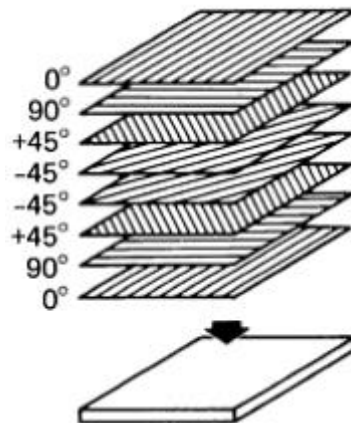
U dlouhoválnových kompozitů se používají jednosměrné, vícesměrné i tkané prepregy. Tkaniny poskytují vysokou flexibilitu při zpracování, jejich nevýhodou je vyšší cena.

Pryskyřice se na tkaninu nanáší pomocí lázně, ve které je pryskyřice smíchána s rozpouštědlem, což způsobuje, že má pryskyřice vyšší přilnavost, lépe kryje veškerá vlákna, při výrobě vzniká malé množství odpadní pryskyřice a vzhledem k rychlejšímu procesu výroby je produkt levnější. Nevýhodou metody je, že v prepregu zůstává malé procento rozpouštědla, kvůli kterému je pryskyřice řidší a trvá déle, než se vytvrdí.

Druhou metodou je nanášení horké pryskyřice. Při tomto procesu je vzhledem k absenci rozpouštědel v pryskyřici horší přilnavost a horší krytí vláken. Výhodou jsou lepší vlastnosti kompozitu za vyšších teplot nebo ve vlhkém prostředí. Cena je oproti první metodě vyšší a vzniká také větší množství odpadu. [1; 2]

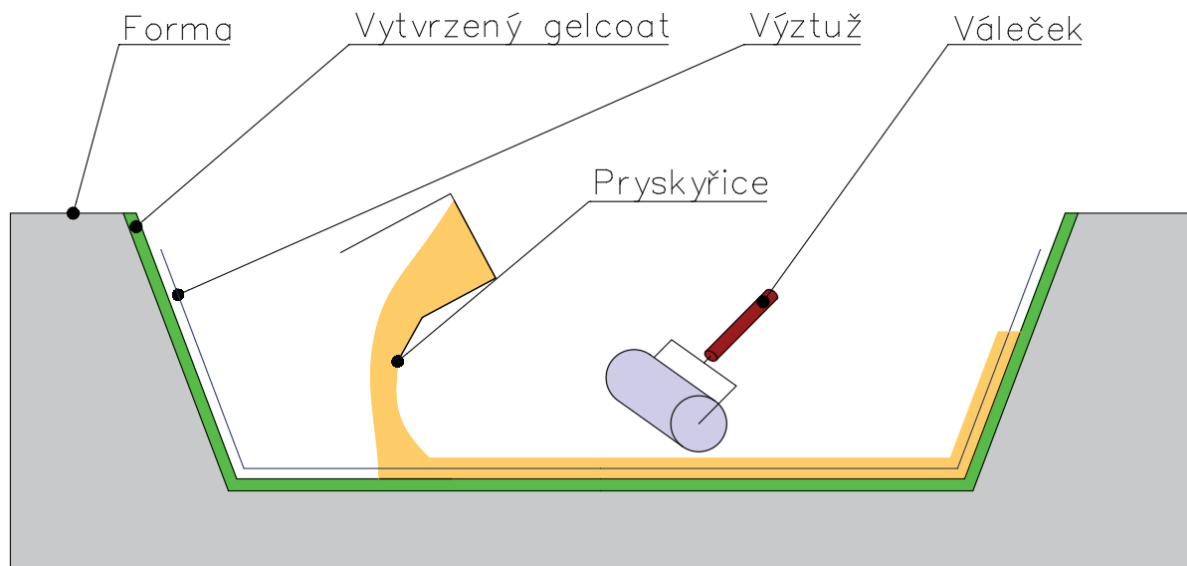
2 VÝROBNÍ TECHNOLOGIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Při výrobě dílů z dlouho-vláknových kompozitů je vždy potřeba skládat výztuž v takovém směru, aby byla vhodně orientovaná k zatížení, které bude na dílec působit v provozu. Pokud není možné jednoznačně určit směr zatěžování nebo zatěžování bude probíhat ve více směrech, dlouho-vláknové výztuže se pokládají v několika směrech (obr. 2.1). To je důležité zejména u jednosměrných výztuží. Běžné tkaniny poskytují výztuž ve 2 osách. Orientace vláken se nejčastěji rozlišuje na 0° , $+45^\circ$, -45° , 90° , prakticky však může být v jakémkoliv úhlu. [1,2]



Obr. 2.1 Postup kladení různě orientovaných vrstev na sebe [1].

2.1 Ruční (mokrý) laminování



Obr. 2.2 Princip mokrého laminování [10].

Je to nejjednodušší způsob výroby, který je vhodný zejména pro malé série, velkoplošné díly a prototypy.

Nejčastěji se laminuje na formu s negativním tvarem budoucího dílce. Formy se vyrábějí z kovu, dřeva nebo kompozitu.

Na začátku je nutné důkladně očistit formu. Poté se na formu nanáší separátor, který usnadňuje vyjmutí hotového dílce z formy. Pro tyto účely se používají přípravky na bázi silikonu, nebo polyvinyl-alkohol. Následně se na formu nanese gelcoat, což je tenká vrstva pryskyřice.

Nanášení probíhá pomocí stříkací pistole, nebo ručně štětcem či válečkem. Gelcoat slouží jako ochranný prvek dílce proti povětrnostním podmínkám, UV záření a mechanickému poškození. Po vytvrzení se nanese matriční pryskyřice a na ní se aplikuje vrstva výztuže. Poté je nutné celý povrch zaválcovat ručním válečkem, aby došlo k rovnoměrnému prosycení výztuže a k vytlačení vzduchu. (obr. 2.2).

Tato forma zpracování se uplatňuje jak u dlouho-vláknových, tak u sekaných výztuží. Vytvrzování běžně probíhá za pokojových podmínek. [1; 3]

Výhody:

- Jednoduchý postup
- Není potřeba žádné speciální vybavení

Nevýhody:

- Horší kvalita výrobků
- Výskyt bublin na povrchu
- Nerovnoměrná tloušťka stěny
- Oproti ostatním metodám je pro dělníka fyzicky namáhavější

[1; 3]

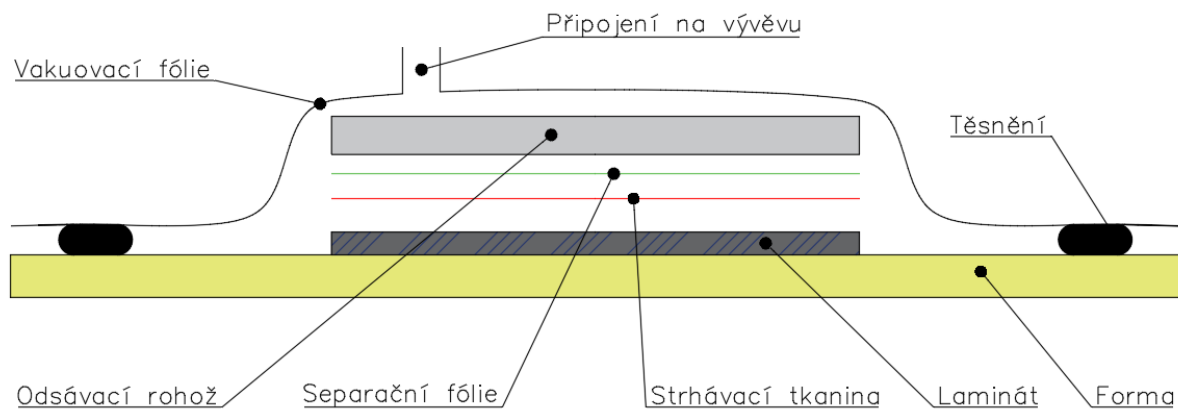
2.2 Vakuové technologie

Technologie využívající vakuum nacházejí své uplatnění zejména při výrobě dílců s vyššími nároky na kvalitu. Tyto metody vyžadují vývěvu pro odvod vzduchu a po celou dobu vytvrzovacího procesu je nutné dbát na důkladné utěsnění pytle, ve kterém je forma uložena. Díky výraznému podtlaku v uzavřeném pytli se laminát formuje okolním atmosférickým tlakem, tím se dosáhne rovnoměrného rozložení pryskyřice v dílci, což v praxi znamená výraznou redukci bublin a rovnoměrnou tloušťku stěny. Pokud se vakuovací proces doplní ještě o vytvrzení za zvýšené teploty, výsledkem jsou výrobky výborné kvality.

Nevýhodou je používání velkého množství balícího materiálu. Většinou je balící materiál jen na jeden výrobní cyklus a tím pádem vzniká velké množství odpadu. [2; 3]

2.2.1 Lisování vakuovaným pytlím (vacuum bag moulding)

Používá se forma, do které se naskládá materiál, ten se překryje separační fólií a na ní se pokládá vrstva odsávací textilie. Poté se forma ručně utěsní fólií a těsnící páskou. Těsnící fólie se přikládá na formu, nebo je z fólie vytvořen pytel, do kterého se vkládá celá forma. Fólie může být nahrazena na míru vyrobenou pružnou silikonovou plachetkou. Následně je připojen ventil na vývěvu a odsaje se veškerý vzduch. Přebytková pryskyřice se zachytí v odsávací textilií. Laminát je formován a hutněn tlakem okolního prostředí. Vytvrzování může probíhat za pokojové teploty, ale i při zvýšené teplotě. Takto popsaná metoda se používá pro prepreg (obr.2.3). Pro suchou výztuž se používá metoda vycházející z principu mokrého laminování, nebo metoda resin infusion. [2; 3]



Obr. 2.3 Princip lisování prepregu vakuovaným pytlem [10].

2.2.2 Vakuové technologie s vytvrzením v autoklávu

Princip je stejný, jako u metody lisování vakuovým pytlem. Po odsátí vzduchu se forma vkládá do autoklávu. V autoklávu je forma stále připojena na vakuum a zvyšuje se teplota a tlak. Po určitém čase se vývěva vypne a v autoklávu vystoupá přetlak na cca 10 bar a teplota na 120 – 180 °C. Vlivem zvýšené teploty je pryskyřice řidká a dobře vyplňuje veškeré prostory mezi vlákny. U této metody se většinou jako polotovar používá prepreg. Po úplném vytvrzení je dílec pomalu ochlazen na teplotu okolí a je od něj oddělena přebytečná pryskyřice. Metoda je vhodná pro součásti, u kterých je nutné minimalizovat vady (vzduchové bubliny, nedotlačená výztuž k formě nebo přebytek matrice). [2; 3; 7]

Výhody:

- Vysoká kvalita výrobků.
- výroba i velmi složitých dílců např. křídlo letadla včetně vnitřních výztužných žebër.

Nevýhody:

- Rozměry vyráběného dílu jsou omezeny vnitřní velikostí autoklávu.
- Omezená výrobní kapacita autoklávu.
- Náklady na pořízení a provoz autoklávu.

[2; 3; 7]

2.2.3 Technologie Resin Transfer Moulding (RTM)

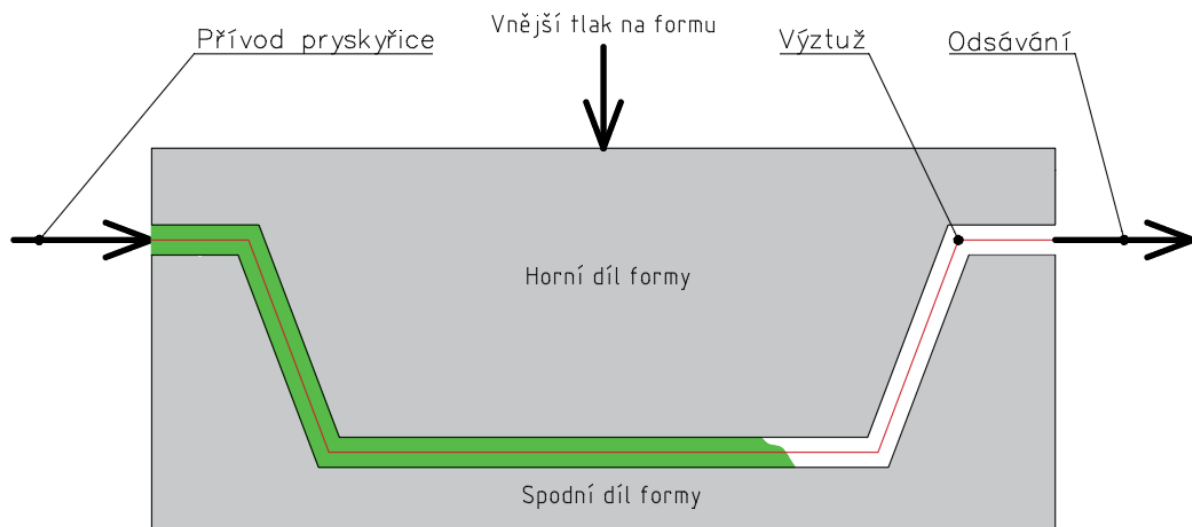
Metoda, při které se pryskyřice injektuje do uzavřené dvoudílné formy. Dutina formy má tvar a velikost budoucího výrobku. Ve formě jsou za sucha naskládány výztuže s požadovanou orientací a vývěvou se v uzavřené formě vytvoří vakuum. Poté se vstřikuje pryskyřice, které protéká mezerami mezi vlákny výztuže a postupně je vyplňuje. Poté se forma zahřeje a kompozit se vytvrzuje. Je to poměrně rychlá metoda. [2; 7]

Výhody:

- Výrobky zhotovené touto metodou mohou mít obě strany hladké (pohledové).
- Malé množství bublin ve struktuře.
- Rychlá metoda.
- Použití vyhřívaných forem zvyšuje kvality výrobků.

Nevýhody:

- Kvůli dvoudílnné formě jsou vysoké počáteční investice.
- Náklady na zařízení pro injektáž pryskyřice.



Obr. 2.4 Princip metody RTM [10].

2.2.4 Vacuum assisted resin transfer moulding (VARTM)

Metoda kombinující lisování vakuovým pytlem a RTM. Používá se suchá výztuž. Při použití suché výztuže nelze přesně odhadnout požadované množství pryskyřice, a proto je do formy přivedeno více pryskyřice, než je nutné. Přebytková pryskyřice se potom odsaje z formy pryč, z toho důvodu musí být vakuovací pytel vybaven dalšími technologickými díly, které to umožní. [2; 3]

2.3 Ostatní metody

2.3.1 Lisování pomocí tlakového vaku

Metoda pracuje na opačném principu než vakuové metody. Forma s negativním tvarem je zakrytována a do prostoru mezi krytem a naskládaným materiálem je přiveden přetlak, který zhuťuje laminát. Dochází k lepšímu zhuťnutí než u metody vacuum bag moulding. Nevýhodou jsou vysoké nároky na stabilitu formy. [2; 3]

2.3.2 Navíjení vláken

Pro výrobu dutých a rotačních součástí. Kontinuální proces, při kterém se na rotující trn navíjí z cívky roving napuštěný pryskyřicí. Namáčení rovingu v pryskyřici probíhá kontinuálně, těsně před samotným navinutím na trn. Orientace vláken je zajištěna posouváním kladecího zařízení. Metoda je plně automatizovaná. [2; 3]

2.3.3 Pultruze

Kontinuální proces, kterým se vyrábějí profily. Do procesu vstupují vlákna, která se máčejí ve vaně s pryskyřicí, postupně v tvarovacích hlavách získává materiál finální tvar. Vytvrzování probíhá ve vyhřívaných hlavicích. Na konci procesu se vyrobené profily řezou na požadované délky. Vyrábět se takto dají profily s téměř libovolným průřezem. Metoda je plně automatizovaná. [3]

3 VAKUOVACÍ MEMBRÁNY

3.1 Charakteristika znovupoužitelné vakuovací membrány

Jedná se o plachetku z tuhého silikonu nebo z gumy, která se používá u technologií, které při výrobě využívají vakuum. Plachetka nahrazuje vakuový pytel a těsnící pásku zároveň. Jejich největší výhodou je opakovatelné použití. Membrány se nejčastěji používají jako jednoúčelové pro konkrétní výrobek, kdy tvar plachetky přesně kopíruje tvar formy.

Výhody při použití plachetky:

- Snadné a rychlé použití
- Znovu použitelnost (životnost závisí na kvalitě výroby a na zacházení. Běžně až 100 cyklů) = výrazná redukce množství odpadu oproti konvenční metodě
- Vyšší odolnost vůči poškození při manipulaci ve srovnání s konvenční metodou.
- Díky vysoké elasticitě ve všech směrech a výrobě přímo na formu je eliminován vznik mostů v dutinách a rozích.
- Použitelnost i při vytvrzování v autoklávu

Nevýhody:

- Vysoká počáteční investice na zhotovení plachetky

3.2 Způsoby těsnění plachetky na formu

3.2.1 Membrány s těsnící drážkou v plachetce

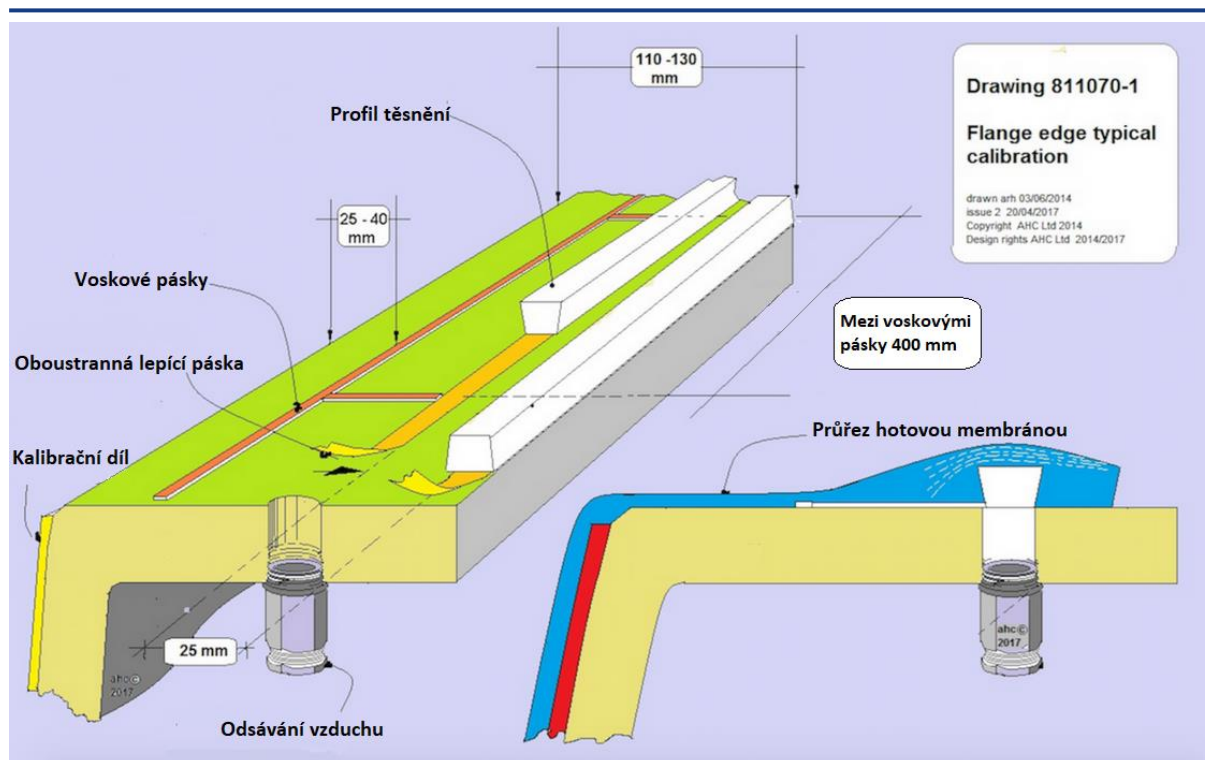
Při výrobě se na formu lepí profil, který je po nastříkání silikonu obtištěn do plachetky (obr.3.1). Voskové pásky se připojují těsně k profilu, aby společně vytvořili propojenou síť pro lepší utěsnění. Na okraj formy se přikládá bariéra, která zabraňuje stékání silikonu mimo formu a zajišťuje, že po obvodu má membrána dostatečnou tloušťku. Pokud by na obvodu měla membrána nedostatečnou tloušťku mohlo by při odsávání docházet ke zkroucení okraje plachetky a tím k narušení těsnosti soustavy.

Výhody:

- Nejjednodušší druh vakuové membrány.
- Není potřeba vytvářet do formy těsnící prvek, stačí odsávací díry.

Nevýhody:

- U plochých forem bez výrazných geometrických prvků může být obtížné přesně umístit plachetku.



Obr. 3.1 Princip membrány s drážkou [11].

3.2.2 Membrány s těsnícím profilem na plachetce i na formě

Ve formě je drážka, do které zapadá profil, který je součástí membrány. Tvar těsnících profilů by měl zajistit pevné utěsnění i při manipulaci.

Výhody:

- Jednoznačné ustavení plachetky na formě
- Soustava je odolnější vůči narušení těsnosti než membrána s těsnící drážkou.

Nevýhody:

- Potřeba zhotovení drážky do formy.



Obr. 3.2 Těsnící drážka ve formě, do které zapadá profil na plachetce [12].

3.2.3 Membrány ve formě pytle

Do membrány je zakomponován silikonový zip, který zajišťuje opakované utěsnění. Tyto membrány jsou pro univerzální použití. Vzhledem k tvaru pytle lze do membrány umístit díly s různou velikostí. Je vhodná spíše pro plošné dílce, ideálně pro laminování na sklo. Profil zipu se liší dle výrobce.

Výhody:

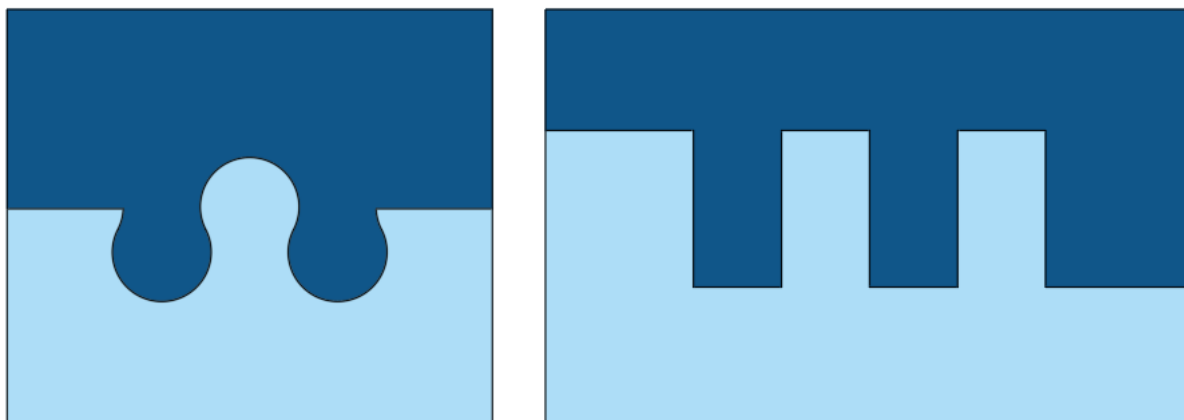
- Lze použít pro různé formy.
- Lze umístit více malých forem zároveň.

Nevýhody:

- Složitější výroba membrány



Obr. 3.3 Znovupoužitelný pytel [12].



Obr. 3.4 Používané varianty silikonových zipů [12].

3.3 Výrobní metody využívající znovupoužitelnou plachetku

Znovu použitelné plachetky je možné využívat pro metody, při kterých se využívá metoda mokrého laminování, tak i pro metody využívající prepreg.

Pro jednotlivé metody se mezi sebou plachetky konstrukčně liší tak, aby bylo zajištěna technologicky správná výroba laminátu.

Plachetky pro výrobu z prepregu

Jedná se o konstrukčně nejjednodušší druh. V plachetce je pouze těsnicí plocha. Dále je možné do plachetky zakomponovat i ventil pro odvod vzduchu.

Plachetky pro metodu Resin infusion

Při nanášení silikonu se do materiálu zalévají i některé funkční prvky. Důležitý je zejména ventil pro odvod vzduchu a přebytečné pryskyřice, ventil pro přívod pryskyřice, kanál pro rozvod pryskyřice a těsnicí prvek.

U velkorozměrných plachet, kde hmotnost znemožňuje ruční manipulaci se při výrobě do plachetky přidělávají manipulační kovová oka, aby se mohlo s plachetkou manipulovat s pomocí jeřábu.

3.4 Materiály pro výrobu znovupoužitelných vakuovacích membrán

Jako materiál pro výrobu plachetky se nejčastěji používá dvousložkový silikon. Je také možné setkat se s materiály, které jsou založené na přírodním kaučuku. Použití kaučukových materiálů je limitováno horší dostupností na našem trhu.

Hlavní výhodou těchto silikonů je vysoká tažnost a odolnost vůči vysokým teplotám. Tvrdost většiny silikonů po vytvrzení se pohybuje kolem 25 Sh. Na trhu je možné potkat i silikony, které mají po vytvrzení tvrdost až 80 Shore A (Diasil 80)

Materiály se dodávají v kartuších s aplikátorem, v plechovkách, nebo v sudech. Cenové rozdíly mezi jednotlivými silikony jsou zanedbatelné. Průhlednost materiálu nám umožňuje lépe pozorovat proces pod plachetkou (při infuzi pryskyřice)

Každý materiál má v technickém listě přesně specifikovanou metodu aplikace. Obecně by se dalo říct, že existují 2 druhy aplikace, a to rozstříkem nebo ručně. Při aplikaci rozstříkem je nutné používat speciální stroj, který mísí složky materiálu a následně směs pomocí stlačeného vzduchu rozstříkuje. [14; 15; 16; 17; 18]

Tabulka 1 Přehled materiálů. [14; 15; 16; 17; 18]

Obchodní označení produktu	Cena bez DPH [Kč/kg]	Forma materiálu	Protažení do poškození [%]	Způsob aplikace	Průsvitnost Barva	Zpracovatelnost při 23°C [min]
Wacker Elastosil C1200 A/B	1100	Dvousložkový silikon	500	Rozstřík/ručně	✓ Modrá	20
EZ-Spray silicone 20	1200	Dvousložkový silikon	470	Rozstřík/ručně	✓ Zelená	3
EZ-Spray silicone 22	1200	Dvousložkový silikon	450	Rozstřík	✓ Zelená	5
CHT VBS26-35	1260	Dvousložkový silikon	590	Ručně	✓ Modrá	7
Sprayomer HT 15	-	Jednosložkový kaučuk	650	Rozstřík	× Běžová	15*
EZ-Brush Vac Bag Silicone	1300	Dvousložkový silikon	364	Ručně	✓ Zelená	30

* Teplota při vytvrzování je 50 - 60 °C

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Forma

Pro experimentální část práce byla zvolena stará, již nepoužívaná forma, na které se mohla prakticky vyzkoušet funkčnost metody. Vyřazená forma byla vytipována z toho důvodu, že pro experiment bylo nutné na formě udělat několik konstrukčních změn.

Forma je ze slitiny hliníku. Má tvar kvádrů s rozměry 500 x 530 mm a výškou 45 mm. Na středu plochy je mírně vypuklá. Jedná se formu s pozitivním tvarem. Rozměry plochy, na kterou se laminuje jsou 400 x 430 mm

Technologičnost výsledného dílce.

Vyráběným dílem je část krytu motorového prostoru pro Jetsurf.

Jedná se o plošnou, mírně vydutou součást zhotovenou ze 2 vrstev laminátu (obr. 4.1). Maximální rozměry dílce jsou 420 mm x 390 mm a tloušťka je 1,2 mm. Na vypuklé straně je plocha úmyslně zdrsňená. Vydutá strana je pohledová a z toho důvodu jsou požadavky na její kvalitu vysoké. Po laminaci, oříznutí na přesný rozměr a dalších kosmetických úpravách je díl lepen dohromady s protikusem. Lepidlo se nanáší na zdrsňenou plochu, která zlepšuje adhezi.

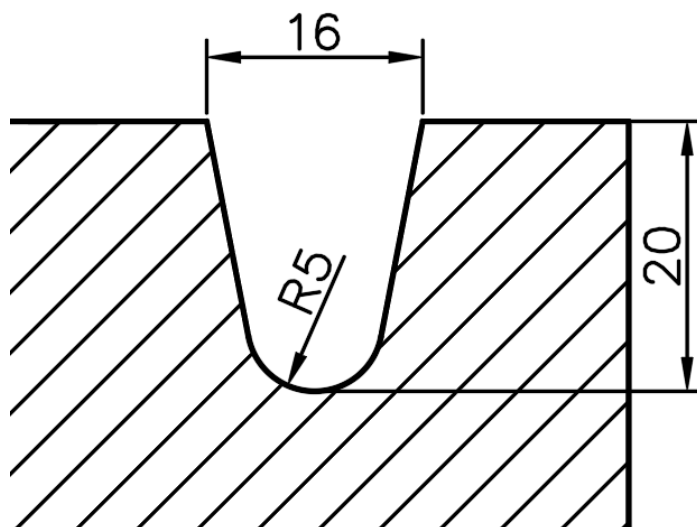


Obr. 4.1 Ilustrativní náčrt průřezu vyráběného dílu.

4.2 Úprava formy pro vytvoření silikonové plachetky.

Jelikož je nutné, aby se celá plachetky vyrobila najednou, bylo nutné na formě provést určité konstrukční úpravy. Po celém obvodu funkční plochy byla vyfrézována klínová drážka (obr.4.2). Při výrobě plachetky je drážka částečně vyplněna silikonem. Při praktickém použití drážka slouží jako hlavní těsnicí plocha.

Ostatní úpravy na formě se provedly až po výrobě plachetky, aby nedošlo k zatečení silikonu do míst, kde nemá být. Tomu by se dalo předejít i překrytím daných míst páskou.



Obr. 4.2 Průřez těsnicí drážkou.

4.3 Zhotovení plachetky

Před samotným procesem byla forma důkladně očištěna a ošetřena separačními prostředky.

Dalším krokem byla instalace voskových pásků po obvodu formy a silikonového válečku do klínové drážky.

Silikonový váleček se volně vkládá na dno klínové drážky (obr. 4.3). Váleček je nutné při aplikaci zkrátit na potřebnou délku, aby vyplnil dno drážky po celé délce a zároveň, aby se vlivem větší délky nekroutil a nevylézal z drážky ven. Funkcí válečku je vytvoření žlábků v plachetce, který slouží k rovnoměrnému odsávání po celém obvodu těsnicí drážky (obr. 4.4).

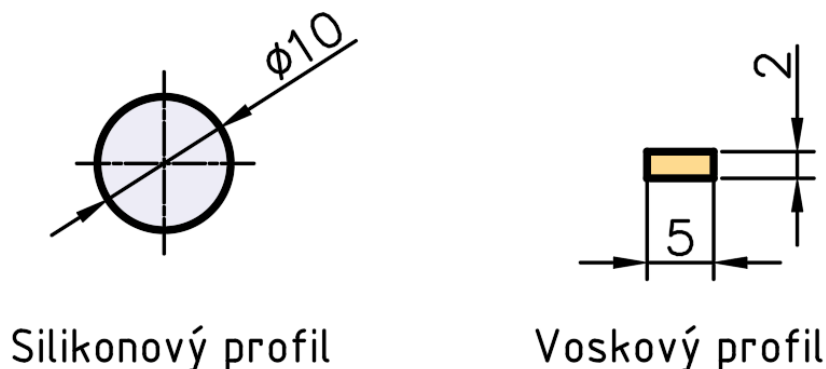
Voskové pásky se otisknou v silikonu a vytvářejí drážku po obvodu vnitřní oblasti plachetky. Takto vzniklá drážka umožňuje lepší lokální deformaci silikonu, což má pozitivní vliv na těsnost.

Před výrobou plachetky se na formě vyrobil klasickou metodou díl, ten se v této fázi vložil do formy.

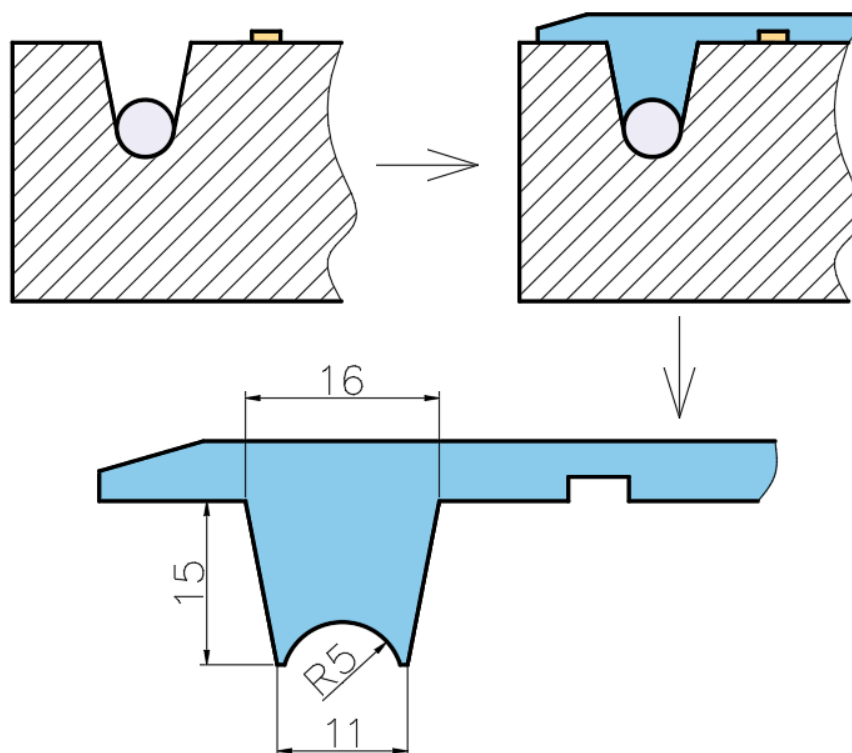
Pod plachetkou se bude lisovat prepreg, proto není potřeba do plachetky zakomponovat žádné funkční díly na přívod a odvod pryskyřice.

Pro výrobu plachetky byl použit dvousložkový silikon od firmy Wacker s obchodním označením Elastosil C 1200 A/B.

Pro optimální nanesení silikonu na formu se silikon nanáší stříkáním speciální aplikační pistolí. Po nanesení první vrstvy se na kriticky namáhaná místa plachetky (hrany, okraje, těsnicí plochy a prudké změny tvaru) klade speciální textilie, která zvyšuje životnost plachetky bez toho, aby byla omezena pružnost plachetky (textilie je pružná ve všech směrech). Poté následuje nanášení dalších vrstev silikonu. V tomto případě se silikon nanášel roztíráním štětcem a špachtlí.



Obr. 4.3 Pomocné materiály.



Obr. 4.4 Postup výroby vakuovací plachetky.

4.4 Vady plachetky

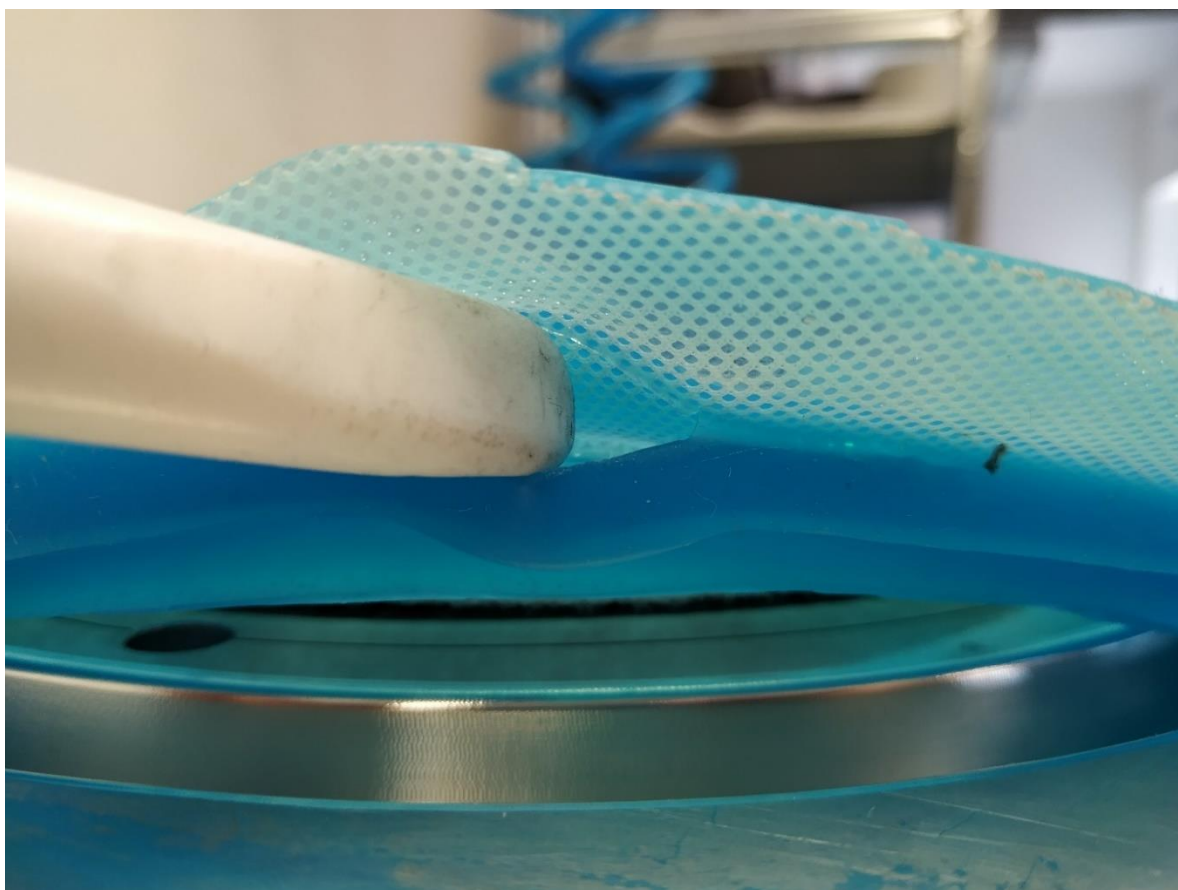
4.4.1 Vady vzniklé při nanášení silikonu

Při výrobě plachetek došlo při nanášení silikonu ke vzniku shluků bublin (obr 4.6). Vzhledem k vysoké hustotě silikonu zůstali bubliny na spodní straně plachetky, která je ve styku s formou a laminátem. Některé bubliny svým rozměrem zasahovali až k výztužné textilii, která je přibližně v polovině tloušťky plachetky. Bubliny negativně ovlivňují životnost plachetky a na laminátu mohou vznikat bulky pryskyřice.

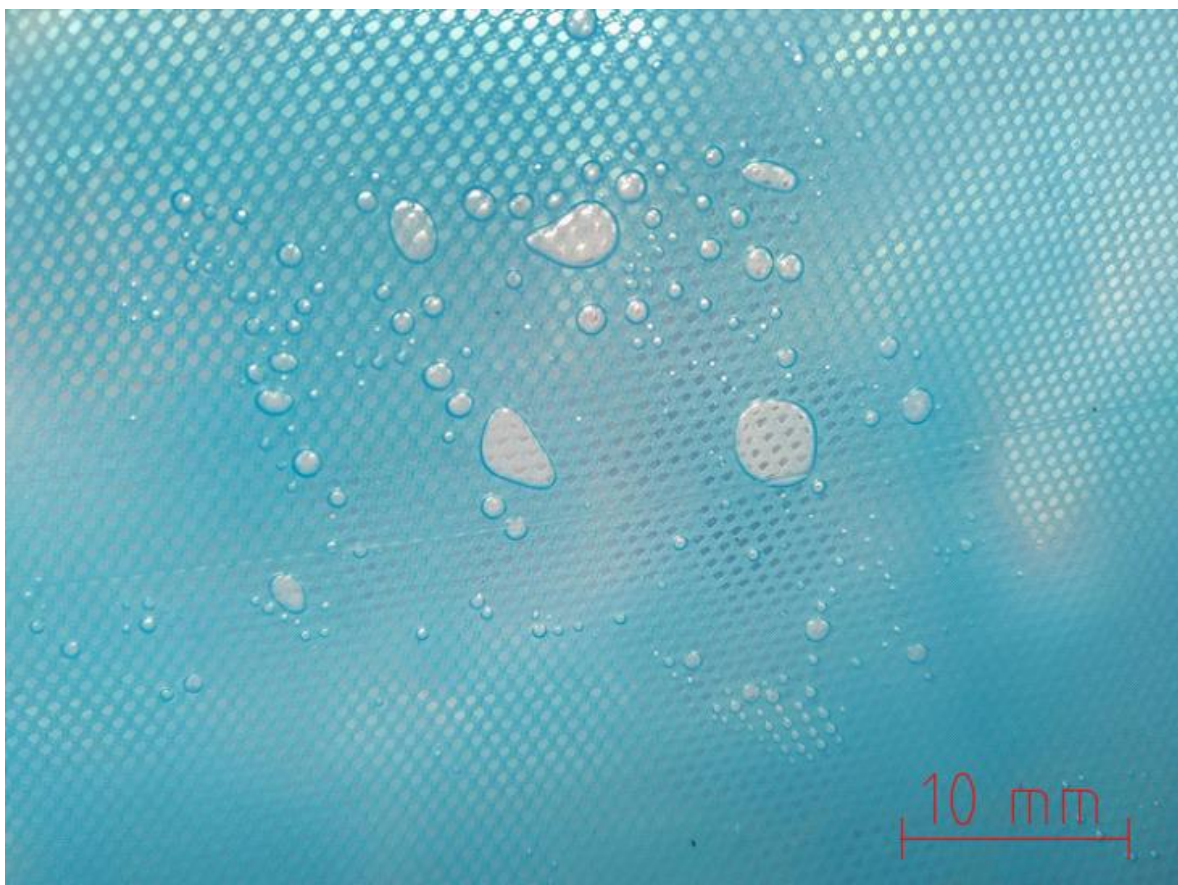
U jedné plachetky došlo ke špatnému přilnutí těsnícího výstupku, což způsobilo vznik kapsy, která při používání propouštěla vzduch. Tato vada způsobila nemožnost utěsnění, a tudíž nepoužitelnost plachetky.

Obě uvedené závady je možné dodatečně odstranit opravárenskou sadou pro použitý druh silikonu, avšak je to práce navíc a kvalita a odolnost opravované plachetky nemusí být na stejné úrovni, jako u správně vyrobené plachetky.

Velikost bublin by bylo možné eliminovat nanášením pryskyřice po tenčích vrstvách a důslednou kontrolou. Další možností by bylo využití jiné technologie nanášení silikonu.



Obr. 4.5 Vadné spojení těsnícího výstupku s pláčetkou.



Obr. 4.6 Shluk bublin na povrchu pláčetky.

4.4.2 Vady způsobené nevhodnou konstrukcí formy

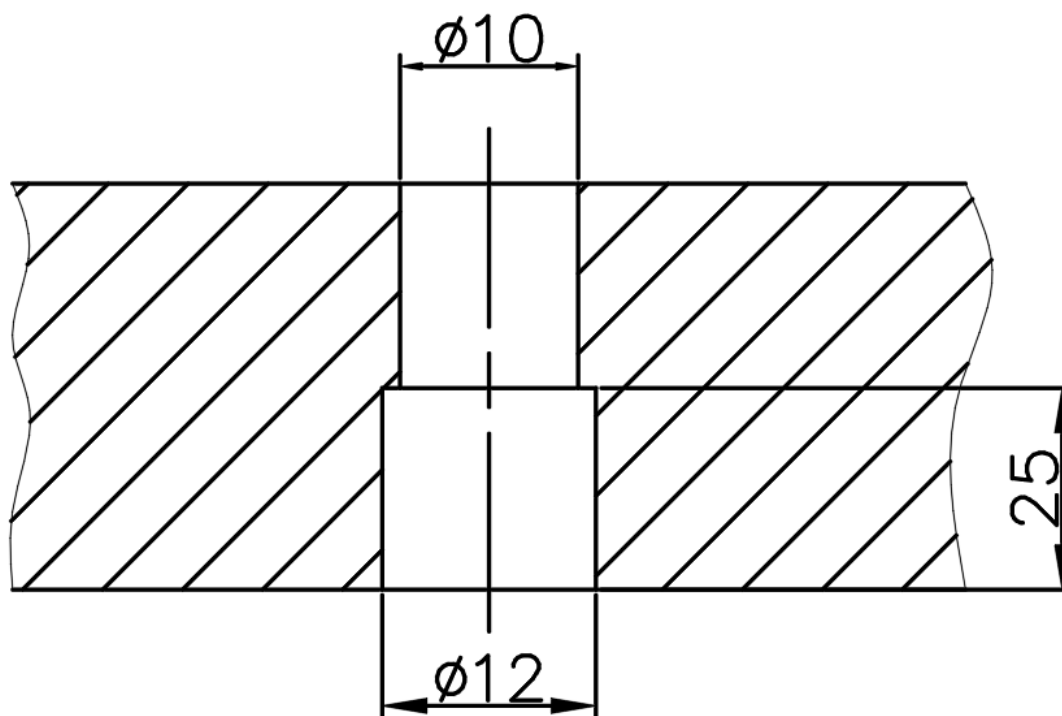
Další vady, které na plachetce vznikly byly konstrukčního charakteru. Tyto chyby byly způsobeny použitím nevhodné formy pro výrobu plachetky. Hlavní chybou byla nedostatečná vzdálenost drážky od hrany formy. U testované formy byla vzdálenost přibližně 30 mm. Dalším problémem byl tenký okraj plachetky. Vlivem těchto nedostatků neměla plachetka na okraji dostatečnou tuhost a docházelo k přílišnému vtahování okraje plachetky do těsnicí drážky. V těchto místech byla plachetka náchylnější ke zvlnění a ztrátě svých těsnících vlastností.

4.5 Úprava formy po výrobě plachetky

Cílem bylo vytvořit díry na odsávání těsnicí drážky a skupinu odsávacích děr, které budou odsávat vzduch z prostoru formy. Pro experiment bylo úmyslně vytvořeno více odsávacích děr, aby se mohlo experimentovat s intenzitou odsávání.

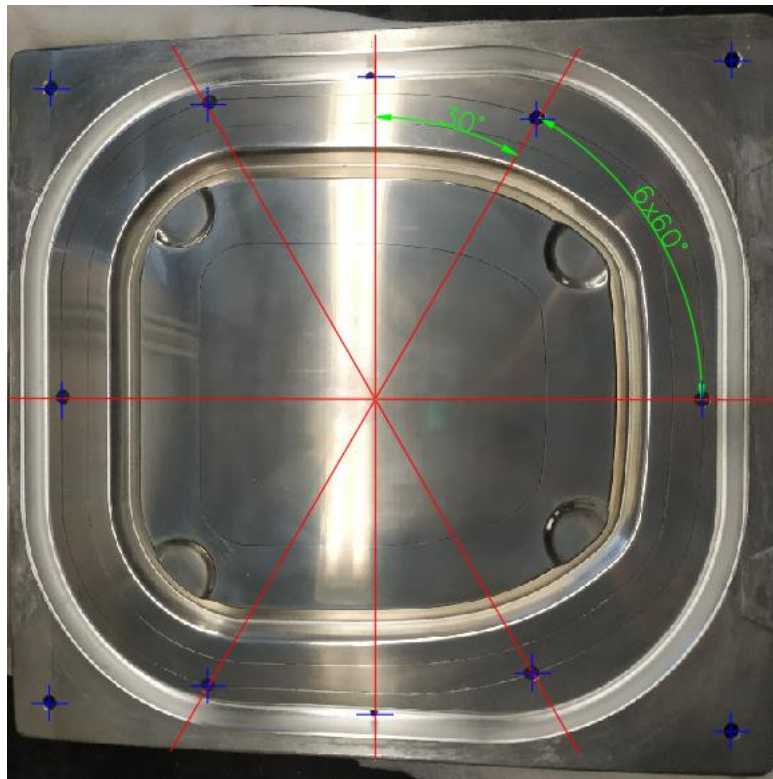
Celkově se zhotovilo 8 děr pro odvod vzduchu. 2 díry o průměru 6 mm byly vyvrtány do dna těsnicí drážky. Tyto díry tak zajišťují pouze utěsnění plachetky na formě. Zbýlých 6 děr má průměr 10 mm a byly zhotoveny rovnoměrně po obvodu funkční plochy formy. Úkolem těchto děr je odsátí vzduchu z prostoru, kde je naskládán laminát. U všech děr se provedlo zahloubení vrtákem $\varnothing 12$ mm do hloubky 25 mm (obr. 4.7). Zahloubení bylo vytvořeno na spodní (nefunkční) straně formy. Do tohoto prostoru se později vložila odsávací hadička a vzniklá kapsa kolem hadičky se vyplnila těsnicí butyl kaučukovou páskou.

Vzhledem ke způsobu vedení hadic v prostoru pod formou bylo nutné k formě přidělat nožičky, aby se zabránilo mechanickému poškození hadic. V rozích formy byly vytvořeny 4 průchozí díry $\varnothing 10,3$ mm, do kterých byl ručně vyřezán závit M12.



Obr. 4.7 Detail odsávacího otvoru na funkční ploše formy.

Vzhledem k nepravidelnému tvaru formy proběhlo umístění děr na linku, symbolizující okraj naskládaného karbonu. Tato linka je součástí formy. Dodrženo bylo rovnoměrné rozložení po obvodu formy. Rozložení děr ilustruje obr. 4.8.



Obr. 4.8 Rozmístění děr na formě.

4.6 Separace formy

Separace zajistí, že pryskyřice po vytvrzení nebude ulpívat na formě a díl bude možné bez problému sejmout z formy. Při separaci dochází ke zlepšení kvality povrchu formy. Toto zlepšení je potom přímo viditelné i na povrchu vyrobených dílů.

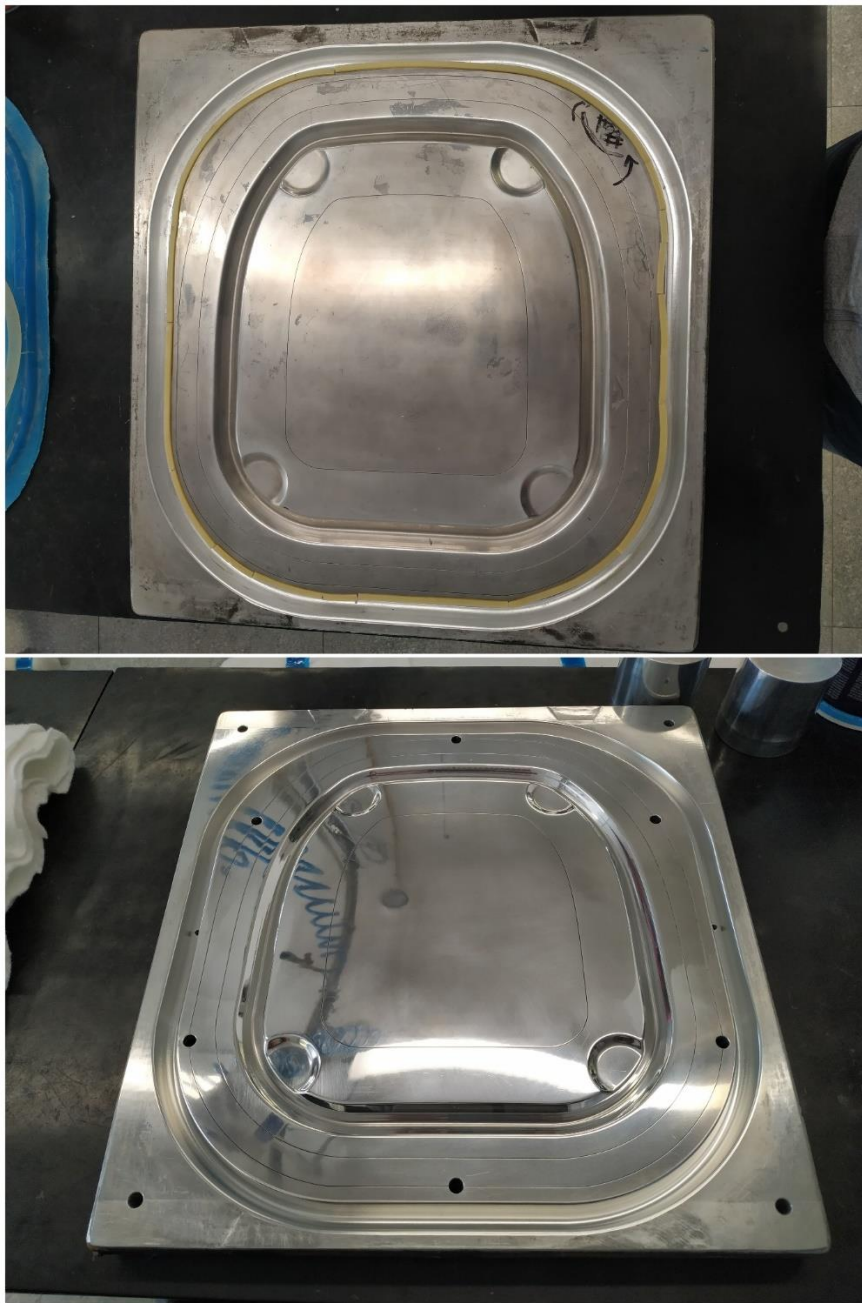
Celý proces se skládá z několika na sebe navazujících úkonů:

- Čištění (Chemtrend Chemlease mold cleaner EZ): Forma byla vyčištěna speciálním čističem na formy.
- Leštění (leštící pasta s velmi jemným brusivem Oskars M-100): Pasta byla nanесena hadříkem a po lehkém zaschnutí na formě se pomocí vrtačky s leštícím kotoučem se forma rozleštila do zcadlového lesku. Následovalo ruční doleštění těžko dostupných míst.
- Čištění: Opětovné vyčištění formy čističem na formy. Cílem je odstranit rezidua leštící pasty.
- Nanášení sealeru (Chemtrend Chemlease 15 Sealer EZ): Po nanесení hadříkem se nechal na formě lehce zavadnout a následně se rozleštil hadříkem. Nanášení sealeru se provádí po malých částech, aby bylo možné kvalitně rozleštit povrch. Celkově se sealer nanáší ve 2–4 vrstvách v intervalech po 20 minutách. Po poslední vrstvě se nechává technologická přestávka 1 hodina.
- Nanášení separátoru (Chemtrend Chemlease PMR-90 EZ): Separátor je doporučeno nanášet ve 2–4 vrstvách. Technologická přestávka mezi jednotlivými vrstvami je 20 minut. Postup nanášení je identický, jako u sealeru.

Po provedení těchto procesů je forma připravena k používání (obr. 4.9).

Při všech výše uvedených procesech se pracuje s agresivními látkami a je nutné používat ochranné prostředky. Zároveň je vhodné pracovat v dobře odvětrávaném prostoru, aby se zabránilo inhalaci nebezpečných výparů.

Postupem času dochází k narušování separované vrstvy a po určitém počtu cyklů je potřeba tento proces opakovat.



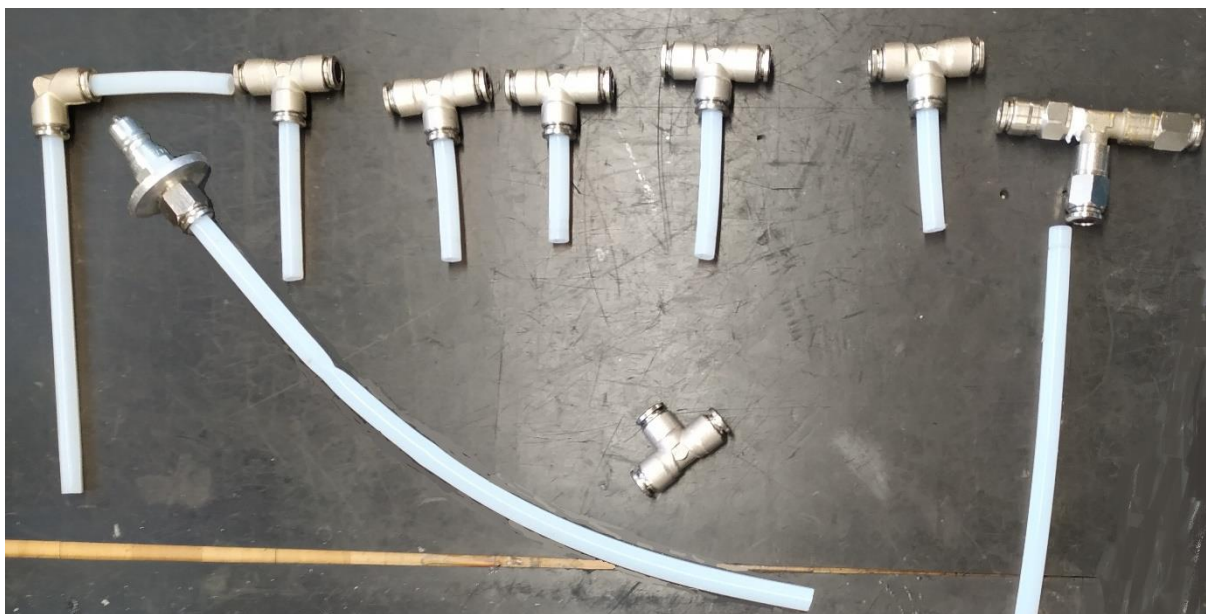
Obr. 4.9 Porovnání vzhledu před a po separaci.

4.7 Kompletace formy

Vzájemné propojení kanálků a následné vyústění na ventil proběhlo pomocí teflonových hadic o vnějším průměru 10 mm a tloušťce stěny 1 mm.

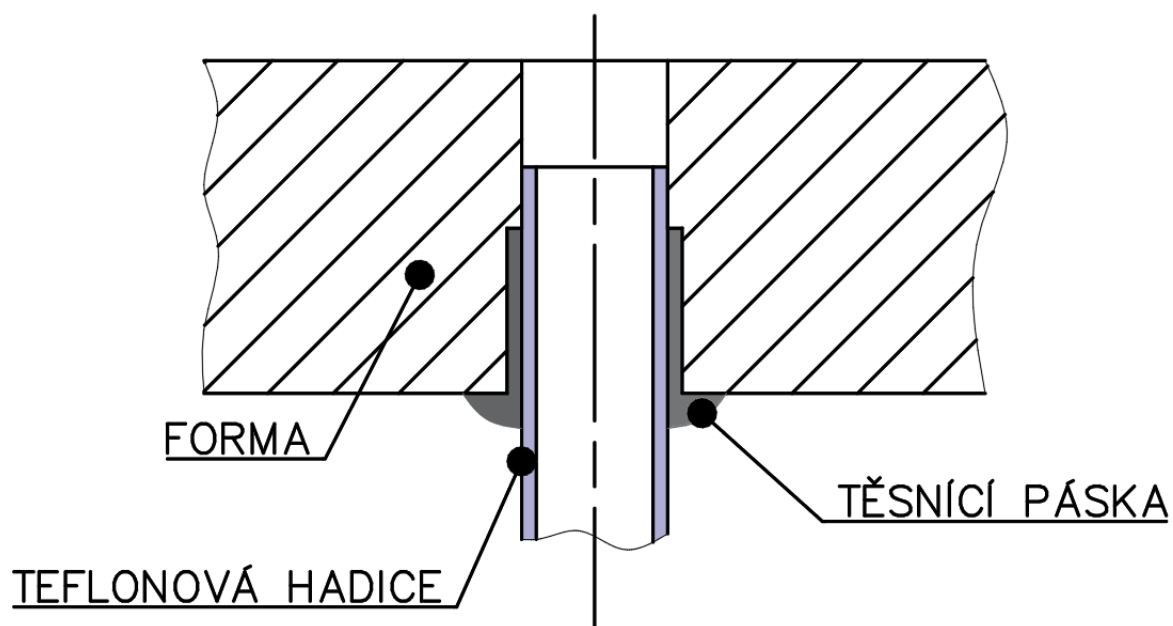
Tyto hadice byly vybrány z čistě ekonomických důvodů: Na pracovišti se nacházely použité zbytky této hadice v dostatečné délce a s veškerými potřebnými spojkami (Obr. 4.10).

Pro experiment byla tato hadice plně dostačující. Hadice byly vzájemně propojeny pomocí systému nástrčných spojek pro rozvod tlakového vzduchu.



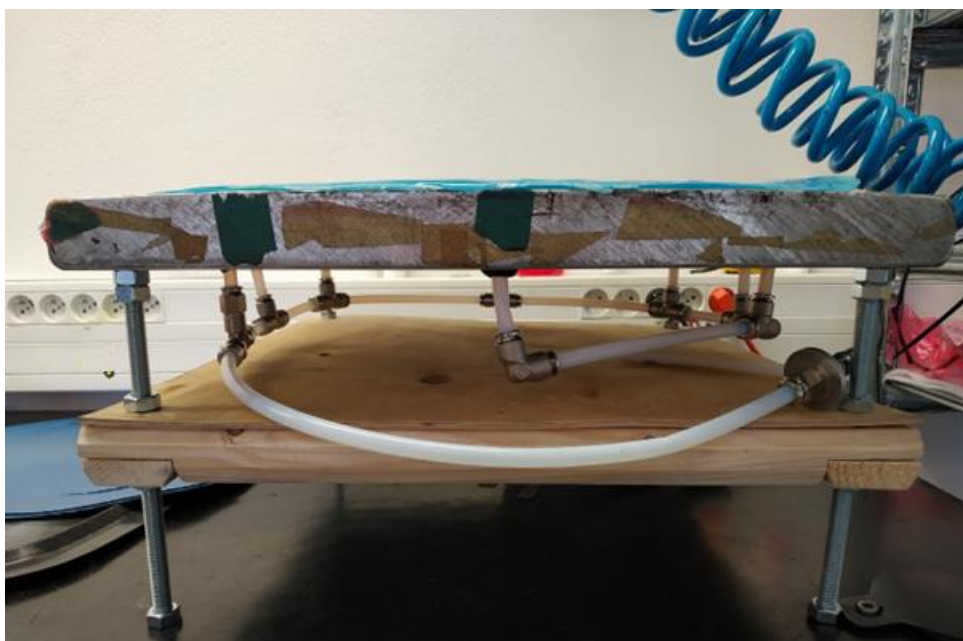
Obr. 4.10 Použité hadice a nástrčné spojky.

K utěsnění hadic na formu se použila černá butyl kaučuková těsnící páska, která se při konvenčním balení používá na těsnění vakuových pytlů (obr. 4.11).



Obr. 4.11 Spasování formy s hadicí.

Do děr se závity byly zašroubovány závitové tyče M12 o délce 25 cm. Vzhledem k tomu, že forma má hmotnost přibližně 34 kg a mezi jednotlivými pracovišti je při používání přenášena v ruce, byla na spodní část nožiček přidělána lehká konstrukce z překližky a dřevěných hranolů (obr. 4.12). Tato konstrukce plní ochranou funkci pro celou soustavu hadic před nechtěným vytržením z formy a zároveň umožňuje lepší uchopení formy při přenášení. Konstrukce byla nasunuta na závitové tyče a z obou stran pevně sevřena maticemi.



Obr. 4.12 Kompletní forma.

5 ANALÝZA VYROBENÝCH DÍLŮ

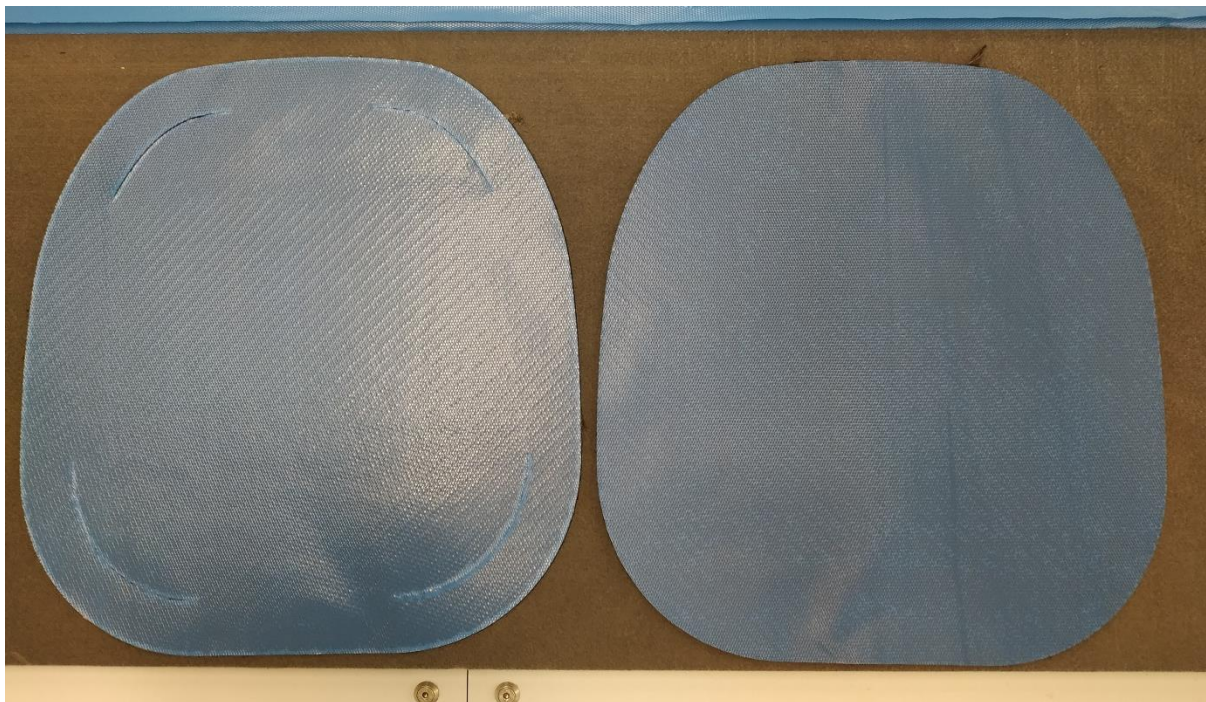
Pro odzkoušení funkčnosti upravené formy s plachetkou byly provedeny 4 zkoušky, při kterých se měnily způsoby balení. Cílem těchto zkoušek bylo zjištění praktických vlastností plachetky a zjistit, jaký způsob balení by byl při sériové výrobě nejlepší.

Hodnoceny byli zejména tyto parametry:

- Kvalita povrchu vyrobeného dílu
- Množství pryskyřice, které se dostalo do odsávacích děr

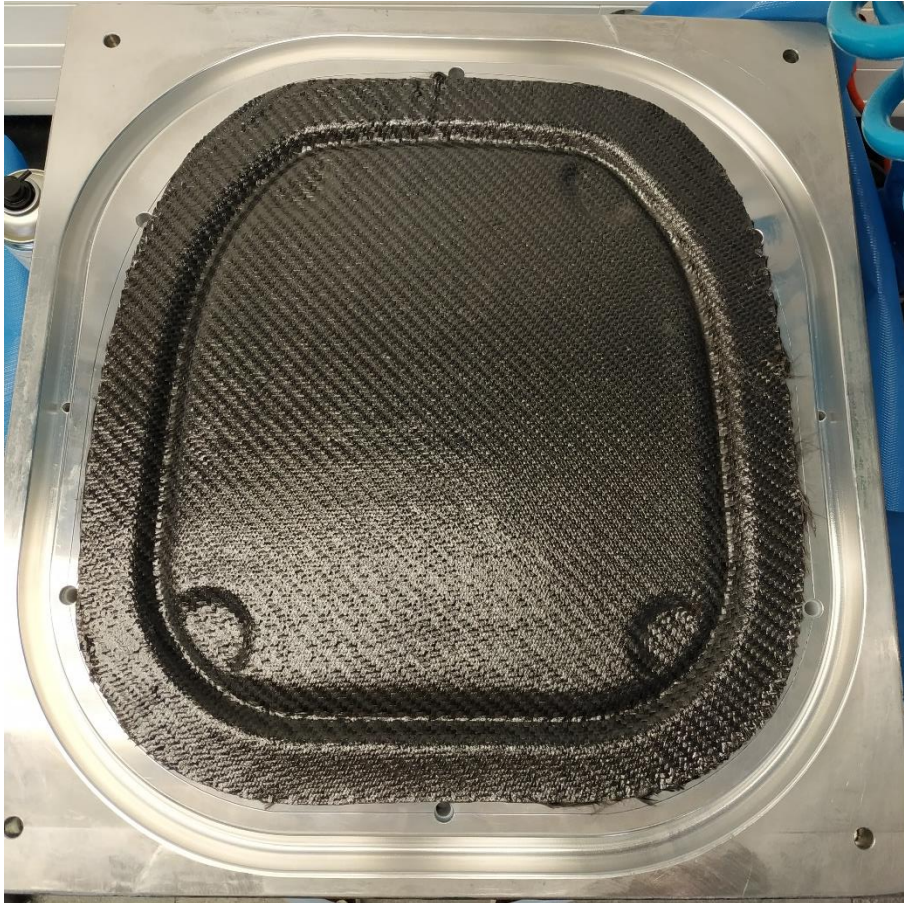
Vlivem provádění zkoušek za plného provozu firmy nebylo možné dosáhnout rovných podmínek pro všechny vzorky. To se týká hlavně doby v debulku, což je časový úsek, který trvá od chvíle, kdy se forma zabalí a odsaje do chvíle, kdy se vkládá do autoklávu. Čím déle je díl v debulku, tím je kvalita jeho povrchu lepší. Je to tím, že je dostatek času na odsátí všech bublin. Bubliny se tím odstraní i ze struktury dílu. Avšak i s různou dobou v debulku lze na dosažených výsledcích jasně vidět, jaké metody jsou vhodné a jaké ne.

Všechny použité nástřihy byly vyřezány na plotru ze stejné role uhlíkového prepregu (Obr. 5.1). Tím bylo zajištěno, že všechny pokusy proběhly s materiálem, který měl vždy stejné nasycení pryskyřicí.



Obr. 5.1 Kompletní karbonový nástřih pro jeden díl.

Výsledky jednotlivých metod je třeba brát s rezervou, jelikož experimenty neproběhly na správně zkonstruované formě.



Obr. 5.2 Naskládání karbon.

5.1 Metoda I

Použitý balící materiál: Strhávací tkanina, odsávací rohož, separační folie a plachetka.

Při skládání se laminát překryl strhávací tkaninou, separační fólií a odsávací rohoží která měla přesah až na odsávací díry, což zajistilo výborné odsávání z celé plochy formy (Obr. 5.3). Při zpracování v autoklávu se odsávací rohož dostala do odsávacích děr a po vsáknutí přetečené pryskyřice tam zatvrdla. Po odformování proto bylo nutné vyškrabat otvory od jejích zbytků a pryskyřice.

Touto metodou byl vyroben dílec, který měl ze všech kusů nejvyšší kvalitu povrchu (obr. 5.4).

Doba v debulku: 52 hodin. (Důvodem pro tak dlouhý debulk bylo velké množství forem čekajících na vložení do autoklávu.)

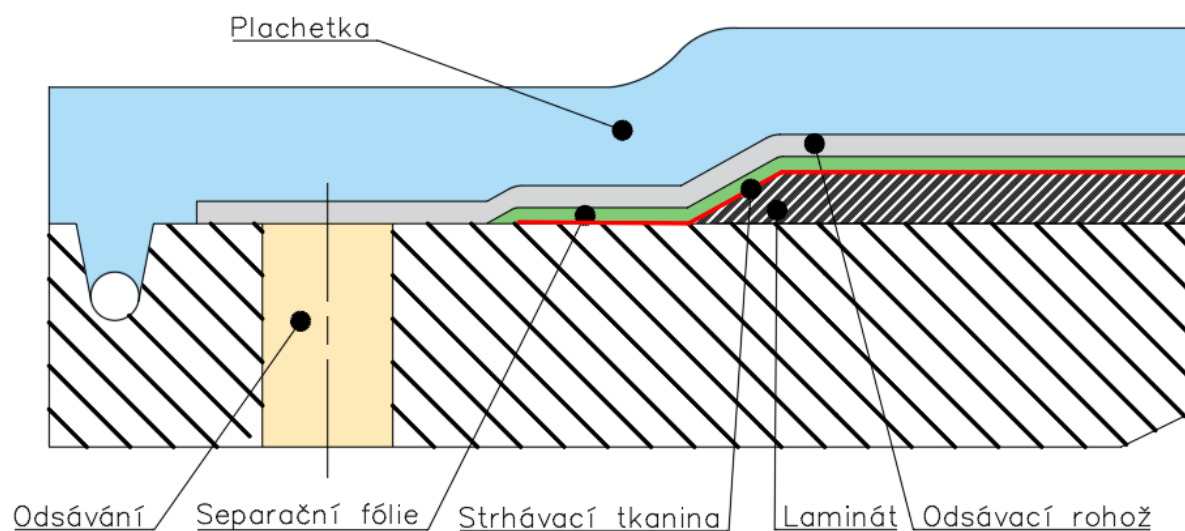
Výsledky metody:

Výhody:

- Výborná kvalita povrchu
- Jednoduché balení

Nevýhody:

- Pryskyřice se dostala do všech odsávacích děr. (Hlavní vliv na to měla konstrukce formy, protože odsávací díry nebyly dostatečně vzdálené od naskládaného prepregu. V některých místech přímo docházelo k částečnému překrytí odsávání prepregem.)



Obr. 5.3 Princip metody I



Obr. 5.4 Díl vyrobený metodou I

5.2 Metoda II

- Strhácí tkanina, Separační fólie zahnutá pod laminát a plachetka.

Metoda se zahnutou folií by se dala označit, jako nouzové řešení, aby se zabránilo ztrátám pryskyřice. Takové řešení se v praxi používat nebude. Díky zahnuté separační fólii se veškerá pryskyřice udržela v prostoru naskládaného laminátu, a navíc se žádná pryskyřice nedostala do

odsávání. Kvalita povrchu byla slušná, ovlivnění krátkým časem v debulku bylo však patrné. Z důvodu krátkého debulku vznikly na povrchu pin-hole vady (Obr. 5.6).

V místě, kde byla separační fólie zahnutá není laminát lesklý (Obr. 5.7), je proto nutné dávat pozor, aby se separační fólie přiložila pouze na ta místa, která se budou v dalších operacích ořezávat. Ve stejných místech zůstávají na formě otisky pryskyřice, které je vhodné před další operací očistit dřívkem (Obr. 5.8).

Doba v debulku: 3 hodiny

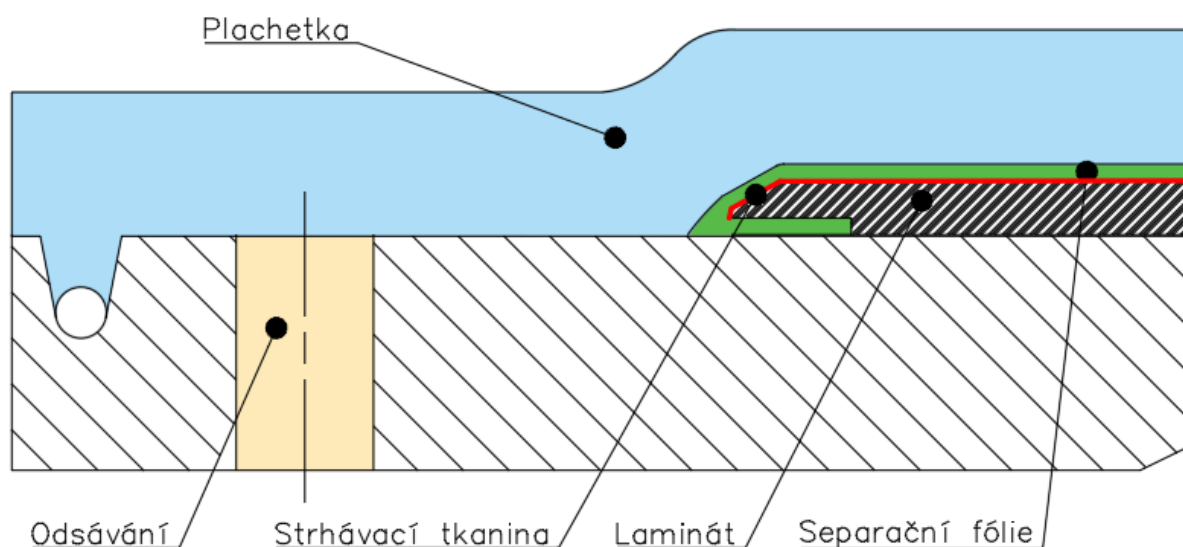
Výsledky metody:

Výhody:

- Pryskyřice se nedostala do odsávání

Nevýhody:

- Výskyt pin-hole vad na povrchu.
- Okraj laminátu, kde byla separační fólie je matný.
- Čištění zbytkové pryskyřice z formy.
- Skládání je vlivem zahýbání separační fólie asi o 1 minutu delší.



Obr. 5.5 Princip metody II.



Obr. 5.6 Pin-hole vady na povrchu dílu vyrobeného metodou II.



Obr. 5.7 Detail povrchu výrobku v místě zahnuté separační folie.



Obr. 5.8 Zbytková pryskyřice na formě.

5.3 Metoda III

- Strhávací tkanina, separační folie, plachetka.

Jedná se o nejjednodušší metodu balení, ale výrobek zhotovený touto metodou má velmi špatnou kvalitu povrchu. Úroveň kvality povrchu byla částečně ovlivněna krátkým časem v debulku.

Doba v debulku: 3 hodiny.

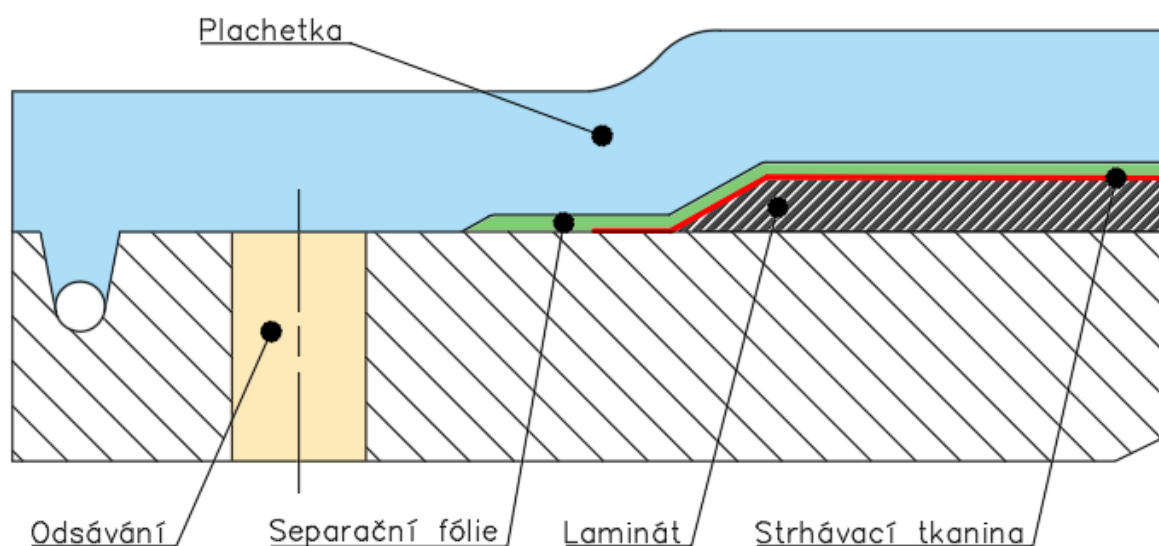
Výsledky metody:

Výhody:

- Jednoduché balení

Nevýhody:

- Kvalita povrchu na velice podprůměrné úrovni (obr. 5.10).
- Neakceptovatelné množství bublin na povrchu.
- Velký přetok pryskyřice do odsávání.



Obr. 5.9 Princip metody III.



Obr. 5.10 Metoda III. - detail povrchu součásti.

5.4 Metoda IV

- Strhávací tkanina, separační fólie zahnutá pod laminát, odsávací rohož a plachetka.

Stejně, jako u metody II, i tady se jedná o nouzovou úpravu pro zabránění únikům pryskyřice. Díky zahnuté separační fólii se veškerá pryskyřice udržela v prostoru naskládaného laminátu a kvalita povrchu byla velice dobrá. Na povrchu byl pouze minimální počet pin hole vad. Žádná pryskyřice se nedostala do odsávání.

V místě, kde byla separační fólie zahnutá není laminát lesklý, je proto nutné dávat pozor, aby se separační fólie přiložila pouze na ta místa, která se budou v dalších operacích ořezávat. Ve stejných místech zůstávají na formě otisky pryskyřice, které je vhodné před další operací očistit dřevěnou špachtlí.

Doba v debulku: 29 hodin

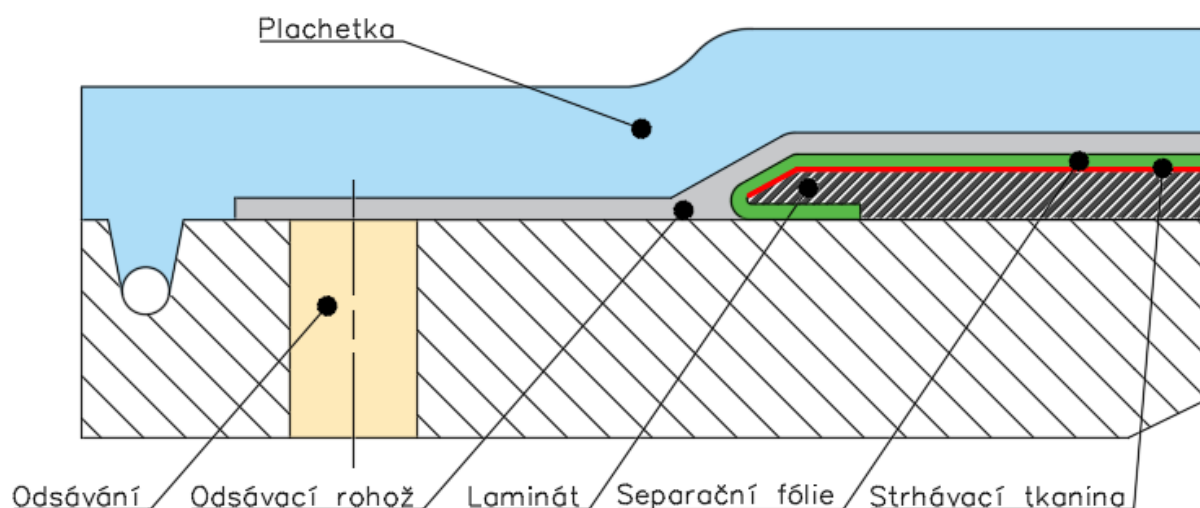
Výsledky metody:

Výhody:

- Velmi dobrá kvalita povrchu.
- Pryskyřice se nedostala do odsávání.

Nevýhody:

- Okraj laminátu, kde byla separační fólie je matný.
- Zbytková pryskyřice na formě.
- Skládání je vlivem zahýbání separační fólie asi o 1 minutu delší oproti ostatním metodám.



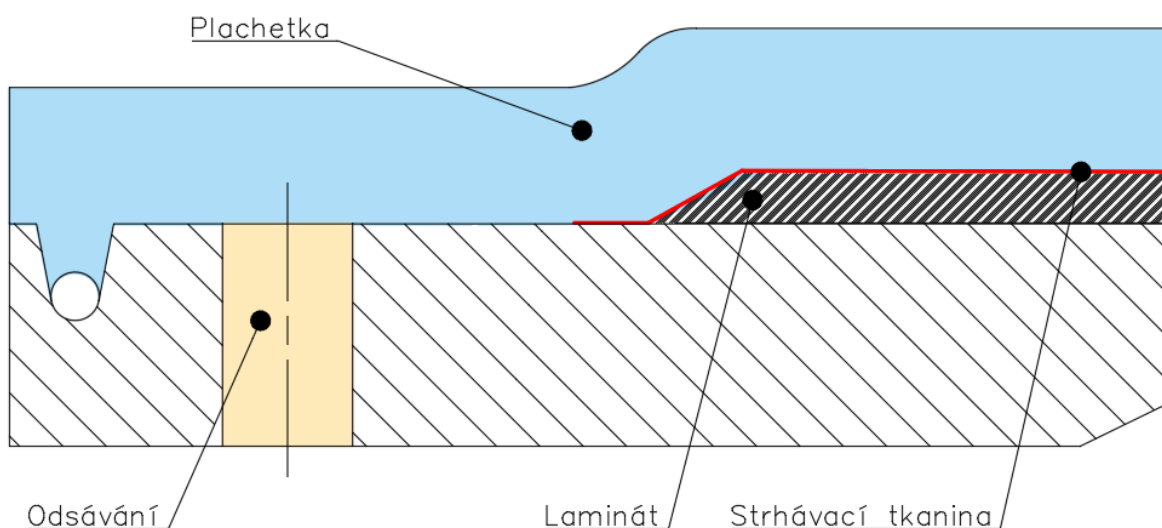
Obr. 5.11 Princip metody IV.

5.5 Metoda V

- Naskládané vrstvy prepregu jsou zakryty pouze strhávací tkaninou a vakuovací membránou

Tato metoda nemohla být využita z důvodu výskytu povrchových bublin v plaketce. Pokud bychom použili tuto metodu se stávající plaketkou, pryskyřice by zatekla do bublin na plaketce, došlo by ke spojení s výztužnou textilií plaketky a při odformování by se plachetka roztrhla.

Metoda je při využití vakuovací membrány nejrozšířenější. Vzhledem k nulové spotřebě balícího materiálu je tato metoda byla finančně nejzajímavější.



Obr. 5.12 Princip metody V.

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Zhodnocení je zaměřeno na porovnání konvenčního balení s metodou rozebranou v předchozí kapitole.

Cílem bylo zjistit, zda se metoda využívající vakuovací membránu finančně vyplatí.

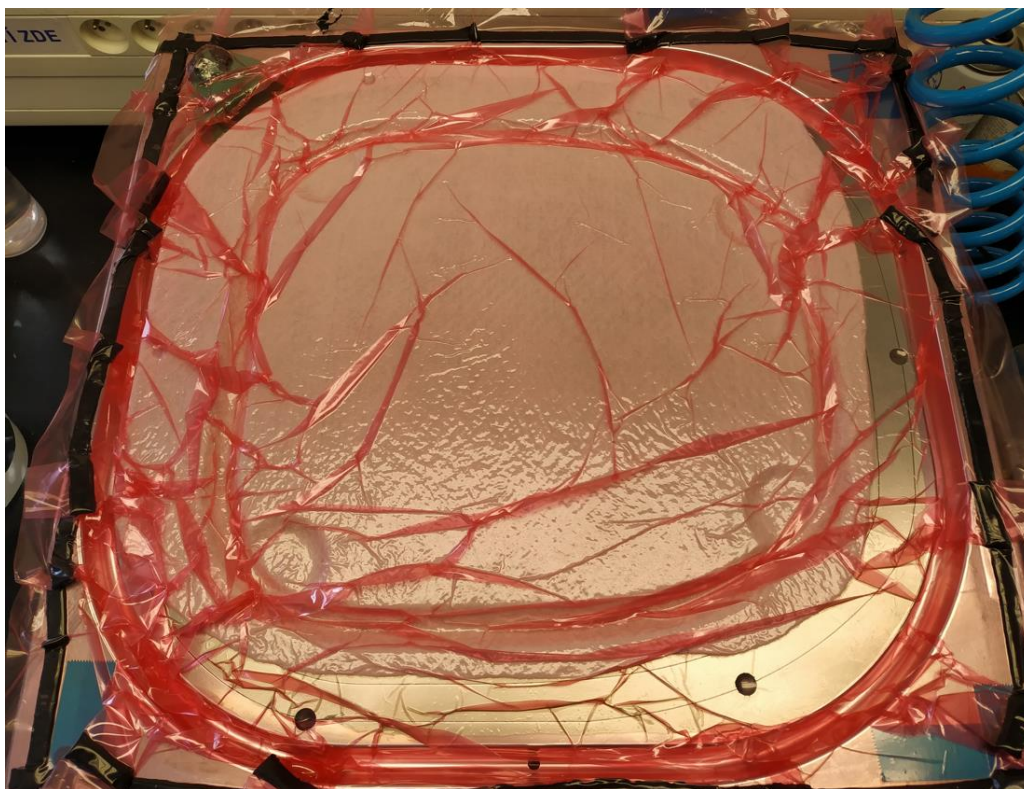
Porovnání proběhlo na stejné formě, která byla pro tyto účely upravena viz. kapitola 4.

Technicko-ekonomické zhodnocení se zabývá pouze materiály použitými na balení a časovou náročností balení. Do propočtů nebyly zahrnuty náklady na samotný laminát, na dobu skládání laminátu ani náklady na provoz autoklávu a vedlejší náklady, protože mezi jednotlivými metodami není v těchto ohledech rozdíl.

6.1 Ekonomika konvenčního balení

Při konvenčním balení tohoto dílu se na naskládané vrstvy prepregu nejdříve těsně přiloží strhávací tkanina a na tu se rozprostře separační folie. Na separační folii se položí vrstva odsávací rohože, ze které se ještě vyvede tenký proužek do prostoru dostatečně daleko od laminátu. Na konec tohoto proužku se pokládá spodní část ventilu (cílem proužku odsávací rohože je zajistit odsávání a zároveň zamezit průniku pryskyřice až do ventilu). Poté se na vakuovací folii přilepí těsnící páska a vakouvací folie se lepí na formu. Folie musí být větší, než je forma, aby ji bylo možné při lepení zvlnit. Zvlnění se provádí na kritických místech (v hlubokých kapsách a v rozích) a zabraňuje vzniku tahových prasklin na folii (obr. 6.1).

Další možností balení by bylo vložení celé formy do vakuového pytle. Došlo by tím ke zvýšení spotřeby vakuovací folie na dvojnásobek, ale spotřeba těsnící pásky by klesla na polovinu. Při tomto balení se celá forma balí do odsávací rohože, která díky své tloušťce obaluje hrany formy a ochraňuje pytel před protržením o formu. Spotřeba odsávací rohože by se tudíž zvýšila také dvojnásobně. Tato metoda by na druhou stranu byla o několik minut rychlejší, protože by se těsnili pouze dvě strany pytle místo celého obvodu.



Obr. 6.1 Zkoušená forma zabalená konvenční metodou.

Použité materiály:

Pro každý cyklus balení je potřeba použít nový kus od každého materiálu. Balicí materiály musí mít o několik centimetrů větší rozměr, než je rozměr naskládaného laminátu ve formě, aby došlo k dokonalému překrytí.

- Separáční folie: 45 x 50 cm
- Odsávací rohož: 45 x 50 cm + na proužek se použijí odstřížky
- Vakuovací folie: 1 vrstva z foliového rukávu o rozměrech 90 x 80 cm
- Butyl kaučuková těsnicí páska: 2 x 80 cm + 2 x 75 cm

Časová náročnost balení pro zaučeného zaměstnance je bezmála 20 minut.

Při měření času byly materiály předem nastříhané na potřebný rozměr, měřilo se tedy pouze naskládání vrstev balicích materiálů na sebe a odsátí formy, až do úplného utěsnění.

Balení provádí 1 zaměstnanec.

Tab. 6.1 Použitý materiál, množství na 1 výrobní cyklus a jednotková cena při konvenčním balení.

Konvenční balení		
Položka	Množství	Cena
Strhávací tkanina	0,16 m ²	40 Kč/m ²
Separáční fólie	0,225 m ²	13,9 Kč/m ²
Odsávací rohož	0,225 m ²	31 Kč/m ²
Těsnicí páska	3 m	7 Kč/m
Vakuovací pytel*	0,72 m ²	14,5 Kč/m ²
Čas zaměstnance	0,33 hod	500 Kč/h

Všechny ceny v Tab. 6.1 byly stanoveny na základě konzultace s firmou.

Tab. 6.2 Spotřeba materiálu a kalkulace nákladů pro různé výrobní série při konvenčním způsobu balení.

Konvenční balení	Vyráběné množství		
	1 ks	18 ks	100 ks
Položka	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]
Strhávací tkanina	6,4	115,2	640
Separáční fólie	3,13	56,295	312,75
Odsávací rohož	6,98	125,55	697,5
Těsnicí páska	21	378	2100
Vakuovací pytel *	5,22	93,96	522
Čas zaměstnance	165	2970	16500
Náklady na dávku [Kč]	207,72	3739,01	20772,25

* Vakuovací pytel je dvouvrstvý, použije se pouze jedna vrstva (polovina)

6.2 Ekonomika balení plachetkou

Princip balení plachetkou je téměř stejný, jako při konvenčním balení s tím rozdílem, že místo zdlouhavého těsnění vakuovací folie na formu se forma přikryje silikonovou plachetkou. Těsnicí páska uvedená v kalkulaci se v tomto případě používá pro zatěsnění hadic do formy.

Použité materiály:

Pro každý cyklus se používá nový kus strhávací tkaniny, separační folie a odsávací rohože. Ostatní níže uvedené komponenty se mění až v momentě, kdy dojde k jejich poškození. Trvanlivost těchto komponent není snadné určit, záleží totiž na tom, jak s nimi uživatel zachází. Trvanlivost proto byla určena empiricky.

- Silikonová plachetka (výrobce zaručuje životnost cca 100 cyklů).
- Butyl kaučuková těsnicí páska: 8 x 10 cm (počítáme s výměnou po 10 cyklech).
- Teflonové hadice: 1,5 m (počítáme s trvanlivostí 50 cyklů)

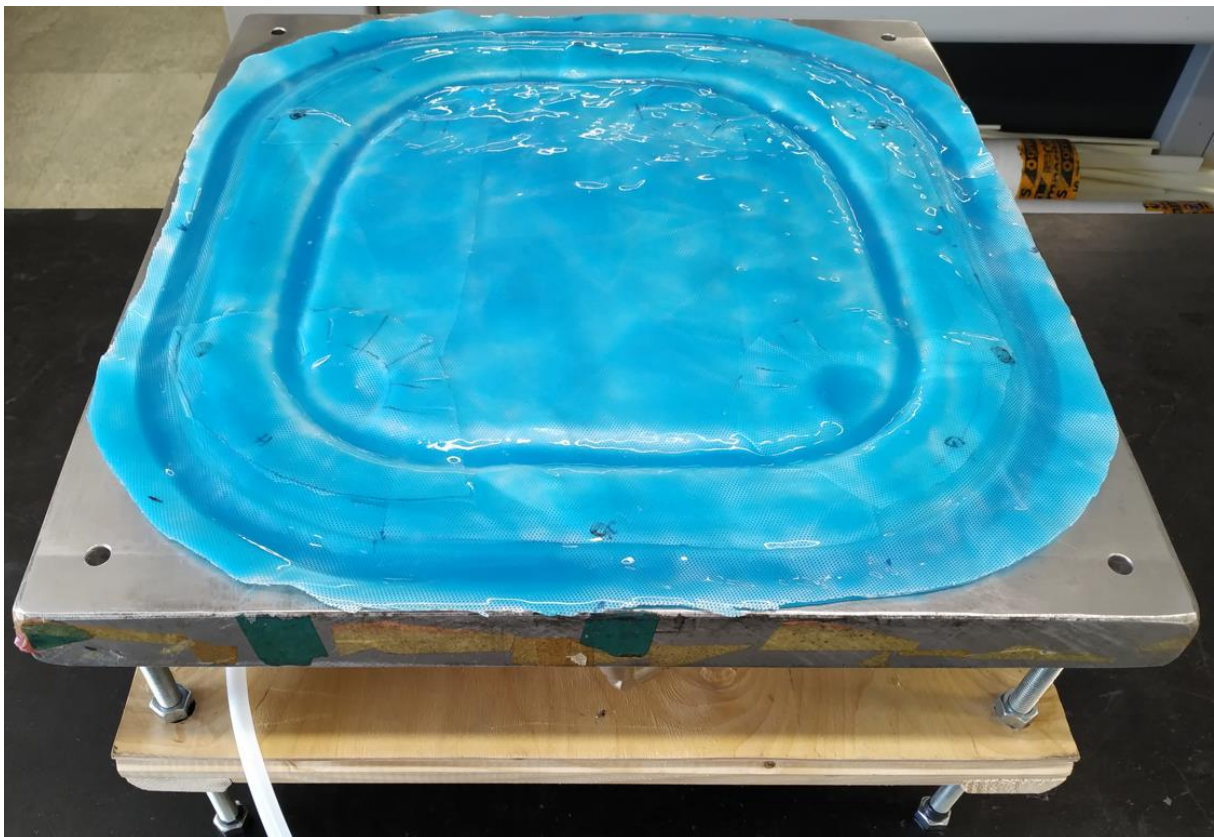
Do kalkulace nejsou započteny náklady na dodatečné úpravy formy a sadu nástrčných spojek pro hadice. Trvanlivost těchto položek je prakticky neomezená, a proto by při sériovém použití byl nárůst ceny na 1 kus zvýšen o zanedbatelnou částku.

Kalkulace proběhla pro variantu balení dle metody I. Důvodem je, že metoda I má nejvyšší náklady.

Časová náročnost balení je 45 sekund.

Při měření času byly materiály předem nastříhané na potřebný rozměr, měřilo se tedy pouze naskládání vrstev balících materiálů na sebe a odsátí formy až do úplného utěsnění.

Balení provádí 1 zaměstnanec.



Obr. 6.2 Forma s vakuovací membránou

Tab. 6.3 Seznam použitého materiálu, množství na 1 výrobní cyklus a cena. Metoda I.

Balení pomocí plachetky		
Položka	Množství	Cena
Strhávací tkanina	0,16 m ²	40 Kč/m ²
Separální fólie	0,225 m ²	13,9 Kč/m ²
Odsávací rohož	0,225 m ²	31 Kč/m ²
Těsnící páska *	0,8 m	7 Kč/m
Čas zaměstnance	0,0125 hod	500 Kč/h
Výroba plachetky **	1 kg	3000 Kč/kg
Teflonové hadice ***	1,5 m	140 Kč/m

Všechny ceny v Tab. 6.3 byly stanoveny na základě konzultace s firmou.

Při reálném použití ve výrobě by se většina materiálu, který je uveden v tab 6.3 a tab 6.4 nepoužilo. Tato kalkulace si však klade za cíl pouze informovat o přibližných nákladech na balení.

Tab. 6.4 Kalkulace nákladů pro různé výrobní série při použití vakuovací membrány. Metoda I.

Balení pomocí plachetky	Vyráběné množství		
	1 ks	18 ks	100 ks
Položka	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]
Strhávací tkanina	6,4	115,2	640
Separální fólie	3,13	56,295	312,75
Odsávací rohož	6,98	125,55	697,50
Těsnící páska *	5,6	11,20	56
Čas zaměstnance	6,25	112,5	625
Výroba plachetky **	3000	3000	3000
Teflonové hadice ***	210	210	420
Náklady na dávku [Kč]	3238,35	3630,75	5751,25
Náklady na 1 ks [Kč]	3238,35	201,71	57,51

* Těsnící páska se mění po 10 cyklech

** Výrobce udává životnost plachetky min. 100 cyklů

*** Životnost teflonových hadic je odhadnuta na 50 cyklů

6.3 Ekonomické porovnání metod

Tabulky (tab. 6.2 a tab. 6.4) popisují vývoj nákladů na balení při určitém množství vyrobených kusů. Je tak patrné, že návratnost nákladů vložených do výroby plachetky je již při 18 cyklech balení. Dalším kladným aspektem je zrychlení procesu, což umožňuje navýšení produkce ve firmě. Zároveň je z tabulek patrné, že největší rozdíl v nákladech tvoří náklady na zaměstnance. Jelikož je balení vakuovací membránou velmi rychlé, náklady na zaměstnance jsou prakticky zanedbatelné. U konvenční metody, která je časově náročná jsou však náklady na zaměstnance hlavní složkou celkových nákladů.

Vzhledem k prototypové úpravě formy je kalkulace pro vakuovací membránu je v této kapitole pouze orientační a slouží jako informace, zda se vyplatí dále rozvíjet myšlenku používání vakuovací membrány.

Kalkulace nákladů pro formu použitelnou v sériové výrobě je v kapitole 7.

Tab. 6.5 porovnání nákladů jednotlivých metod.

Porovnání nákladů na balení			
Množství [ks]	Náklady na balení		Rozdíl [Kč]
	Membránou [Kč]	Konvenční [Kč]	
1	3232,75	207,72	3025,03
18	3619,55	3739	119,46
100	5695,25	20 772,25	15 077,00
150	7126,88	31 158,38	24 031,51

	Výhodnější metodou je konvenční balení
	Výhodnější metodou je balení membránou

Rozdíl v nákladech na zabalení 1 kusu:

$$C_{r1} = C_{VM1} - C_{K1} = 3\,238,35 - 207,72 = 3\,025,03 \text{ Kč} \quad (6.1)$$

kde: C_{r1} - rozdíl v mezi metodami při výrobě jednoho kusu [Kč],
 C_{VM1} - náklady na použití vakuové membrány při výrobě jednoho kusu [Kč],
 C_{K1} - náklady na konvenční balení, při výrobě jednoho kusu [Kč].

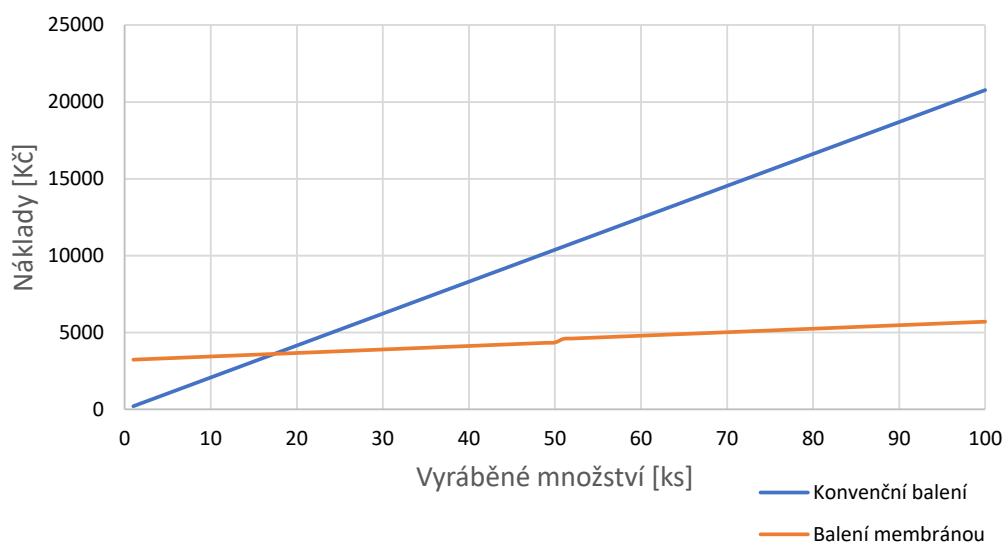
Rozdíl v nákladech na zabalení 100 kusů:

$$C_{r100} = C_{K100} - C_{VM100} = 20\,772,25 - 5\,695,25 = 15\,077 \text{ Kč} \quad (6.2)$$

kde: C_{r100} - rozdíl v mezi metodami při výrobě 100 kusů [Kč],
 C_{VM100} - náklady na použití vakuové membrány při výrobě 100 kusů [Kč],
 C_{K100} - náklady na konvenční balení, při výrobě 100 kusů [Kč].

Pokud by vakuovací plachetka vydržela 100 cyklů balení, došlo by k úspoře 15 077 Kč. Jak je patrné z tab. 6.5 a obr. 6.3, s rostoucí životností jedné plachetky roste rozdíl v nákladech oproti konvenční metodě. Pokud tedy plachetka přesáhne garantovanou životnost 100 cyklů, úspora se bude dále zvyšovat.

Závislost výrobních nákladů na vyráběném množství



Obr. 6.3 Graf závislosti nákladů na vyráběném množství.

Časový rozdíl mezi metodami: (6.3)

$$T_{r1} = T_K - T_{VM} = 20 - \frac{45}{60} = 19,25 \text{ min}$$

kde: T_{r1} - časový rozdíl mezi metodami [min],
 T_{VM} - časová náročnost při balení vakuovou membránou [min],
 T_K - časová náročnost při konvenčním balení [min].

Celková úspora času při zabalení 100 forem pomocí vakuovací membrány: (6.4)

$$T_{r100} = T_{r1} \cdot 100 = 19,25 \cdot 100 = 1\,925 \text{ min} = 32,1 \text{ hod}$$

kde: T_{r100} - časový rozdíl mezi metodami při 100 cyklech [min],
 T_{r1} - časový rozdíl mezi metodami [min].

Časová úspora při výrobě jednoho dílu je přibližně 19 minut. Pokud tento časový údaj vztáhneme na celou sérii 100 kusů dostaneme časovou úsporu 32 hodin, což jsou 4 směny trvající 8 hodin.

Výsledkem ekonomického porovnání je zjištění, že používání vakuovací membrány je pro firmu finančně velice výhodné a má smysl začít implementovat tuto metodu na další vyráběné součásti.

7 APLIKACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ PŘI KONSTRUKCI NOVÉ FORMY

Díky získaným poznatkům z výroby a používání vakuové membrány bylo rozhodnuto, že se provede konstrukční návrh nové formy, která bude disponovat technickým řešením odsávání v dostatečné kvalitě pro pravidelné používání formy bez nutnosti častých oprav.

7.1 Analýza slabin testovací formy

Forma z předchozí kapitoly nebyla určena k sériové výrobě a provedené konstrukční úpravy byly pouze provizorním řešením, které mělo za úkol zajistit výrobu malé testovací série. Konstrukční úpravy byly provedeny tak, aby jejich ekonomické náklady byly co nejmenší. Tato testovací série měla názorně ukázat slabá místa použité formy a posloužit jako zdroj informací.

Hmotnost formy

Při výrobě formy je důležité myslet na zaměstnance, kteří s formou ručně manipulují, tuto činnost provádějí i ženy, a proto by měla mít forma co nejnížší hmotnost. Zároveň je však nutné myslet na stabilitu formy, aby nedocházelo k jejímu kroucení vlivem tepelných změn. Proto by měla mít forma minimální tloušťku stěny 8 mm a výztužná žebra.

Odsávání

Největší improvizací při řešení testovací formy byl systém odsávání.

Tenkostěnné teflonové hadice spojené rychlospojkami sice testovací sérii vydržely bez ztráty těsnosti, ale kvalita a trvanlivost tohoto řešení byla na první pohled nízká. Hned při prvním výrobním cyklu v autoklávu došlo ke změknutí hadic a vlivem tlakového rozdílu mezi vnitřkem a vnějškem hadic došlo ke zborcení jejich profilu v místech, kde byl jejich vnější povrch volný (obr. 7.1). I přes tuto vadu však nedošlo ke ztrátě funkčnosti. Došlo však k radikálnímu snížení průchodnosti a zároveň ke vzniku koncentrátorů napětí na povrchu hadice. Hadice navíc měli sklony „lámání“.



Obr. 7.1 Teflonová hadice po vytažení z autoklávu.

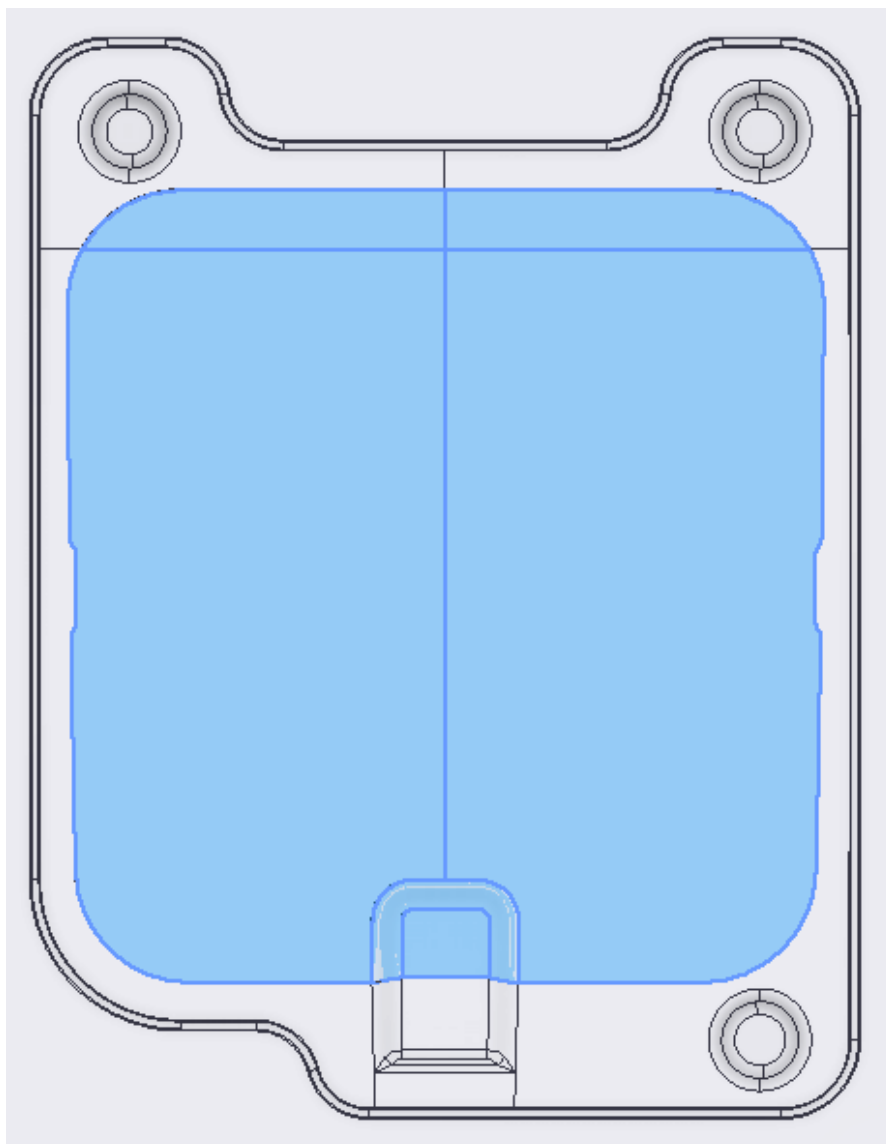
Těsnění vrstvou butyl kaučukové pásky bylo použito pouze jako improvizované řešení pro prototypovou výrobu. Metoda není vhodná hned z několika důvodů. Prvním problémem byla nízká pevnost spoje, kdy se při neopatrné manipulaci mohla hadička poměrně snadno vytáhnout z formy. Druhým problémem byla špatná přilnavost těsnicí pásky na hladký povrch formy. Posledním zjištěným problémem byla nízká životnost takto provedeného těsnění. Toto utěsnění proto není možné doporučit pro používání.

Pro takto velkou formu bylo vytvořeno zbytečně mnoho odsávacích děr, jejichž údržba by v sériové výrobě zabrala hodně času.

7.2 Nová forma

Pro aplikaci získaných poznatku byla vybrána forma pro výrobu součásti „Dekl“. Laminátová součást, která se na formě vyrábí je plošná, na středu mírně vypuklá s maximálními rozměry 362 x 275 mm.

Forma obsahuje 3 důlky o hloubce 5,3 mm. Důlky slouží pro ustavení karbonového dílu do přípravku v pracovním prostoru robota, kde dojde k přesnému ořezu. Forma ještě obsahuje 3 mm hlubokou drážku. Na obrázku je vidět celá funkční plocha formy. Modře zvýrazněné plochy odpovídají finálnímu výrobku po oříznutí (obr. 7.2).



Obr. 7.2 Tvar vyráběné laminátové součásti.

7.3 Konstrukce formy pro vakuovací membránu

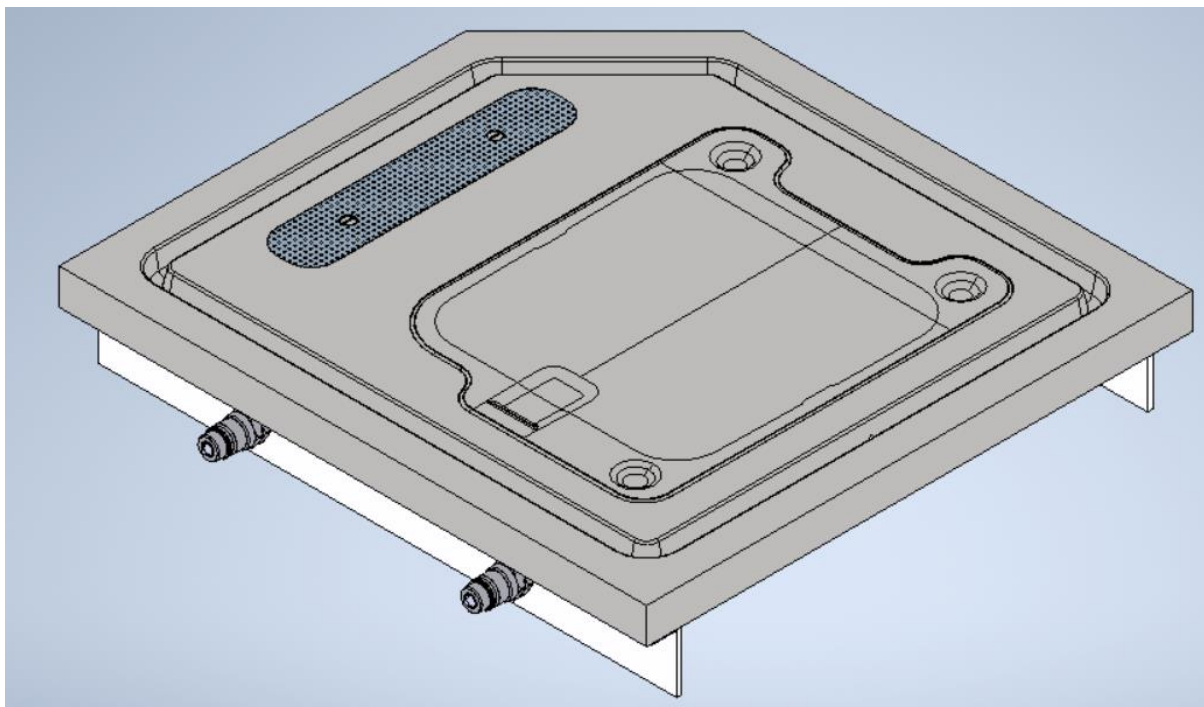
Návrh formy byl proveden v programu Autodesk Inventor Professional 2020.

7.3.1 Rozměr formy

Forma je konstrukčně řešena, jako hliníkový výrobek. Maximální rozměry samotné formy jsou 559 x 519 x 35 mm.

Kolem funkční plochy je ze tří stran zvětšen okraj o 80 mm a ze čtvrté strany o 200 mm. Jeden roh formy je odříznutý. Důvodem je, že nepravidelný tvar formy a silikonové plachetky usnadní zaměstnancům orientaci při zakrývání formy plachetkou. Ve vzdálenosti 30 mm od hrany formy je navržena těsnicí drážka s klínovým tvarem. Stejná drážka, jako u testovací formy. Drážka vede po celém obvodu formy (obr. 7.3).

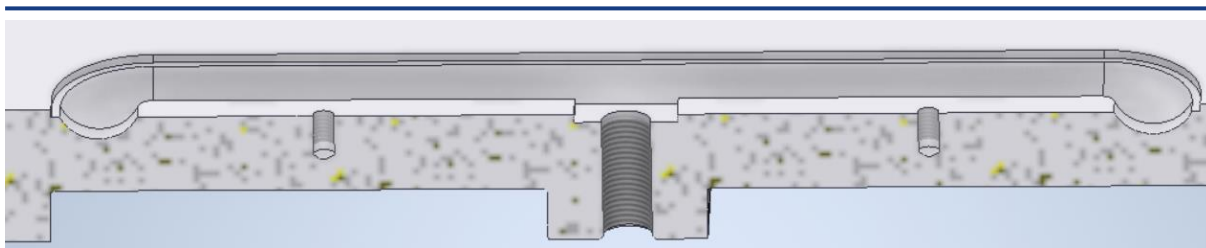
Na spodní straně formy je navržena skořepina, z důvodu redukce hmotnosti. Skořepina obsahuje vyztužující žebra. Tloušťka stěny formy je přibližně 8 mm. Zesílená stěna je v oblasti těsnicí drážky, na okraji formy a v místech odsávání.



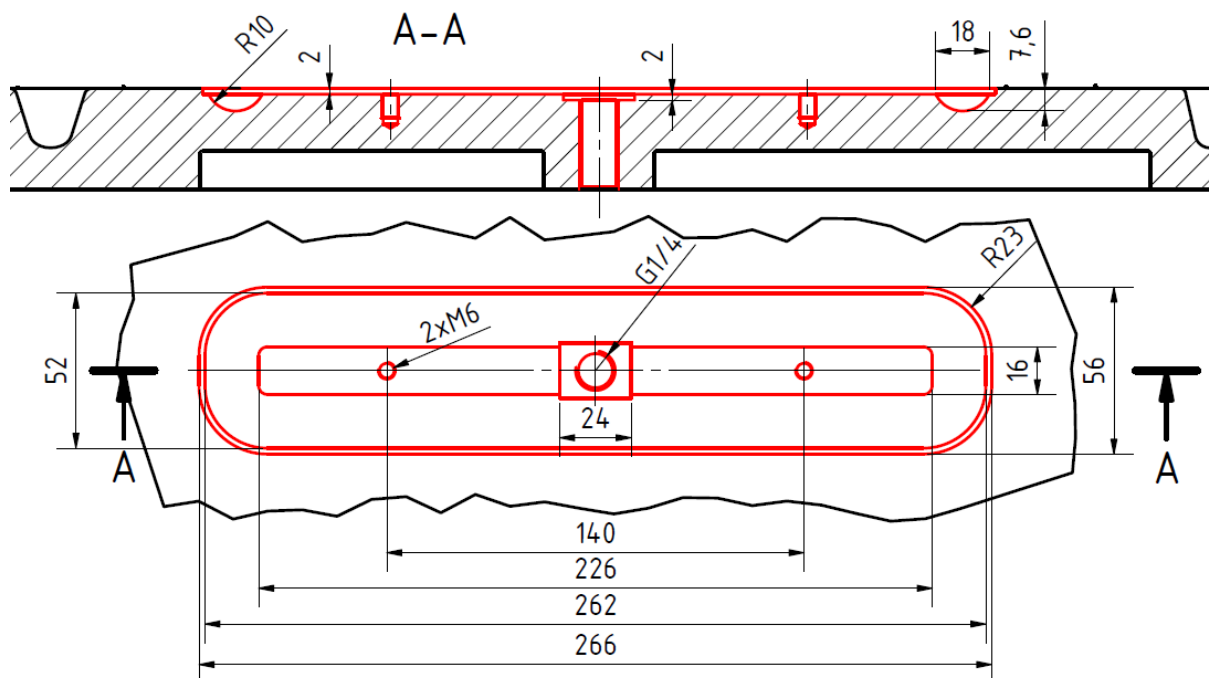
Obr. 7.3 Pohled na kompletní formu shora.

7.3.2 Odsávání

Do formy je navrženo samostatné odsávání drážky a funkční plochy formy. O odsávání drážky se stará jedna díra se závitem G 1/4, která je umístěná na dně drážky. Pro odsávání vzduchu z funkčního prostoru formy je navržena jedna díra se závitem G 1/4. Tato díra je umístěná uprostřed speciálního žlabu (obr. 7.4). Žlab je navržena, jako drážka o rozměrech 262 x 52 mm s hloubkou 7,6 mm. Dno drážky tvoří plocha s rádiusem 10 mm. Uprostřed žlabu je výstupek, na jehož vrcholu je vyústění odsávací díry. Tento výstupek tvoří zábranu proti zatečení pryskyřice do odsávání. V místě odsávání je ještě malé vybrání, které zajistí bezproblémové propojení díry se žlabem. Na výstupku jsou 2 díry se závitem M6, které slouží k přichycení krycího pásu. Po obvodu žlabu je navržena rámeček, který společně s výstupkem tvoří podpěru roštu. Celý žlab je vzdálen od místa, kde bude naskládán prepreg natolik, aby se co nejvíce předešlo dotečení pryskyřice až do žlabu. Tvar a rozměry žlabu jsou navrženy tak, aby byla zaručena jednoduchá separace všech ploch a aby bylo možné provádět běžné čištění (obr. 7.5).



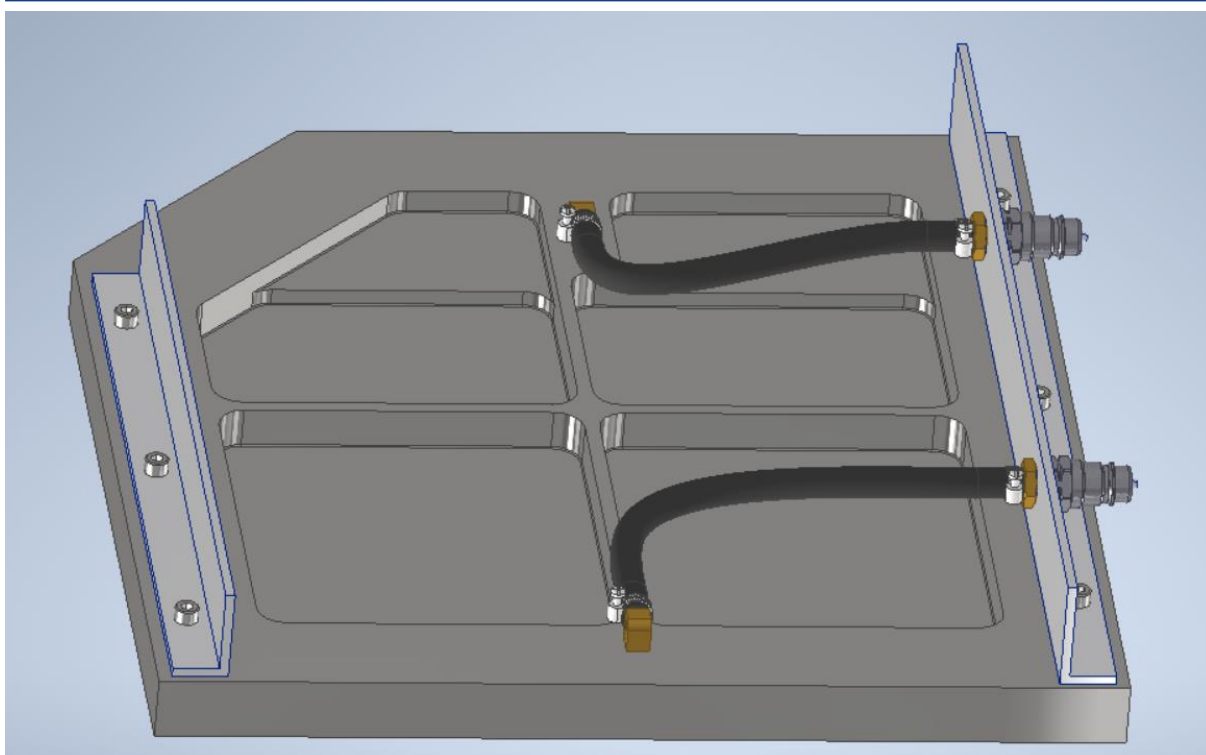
Obr. 7.4 3D pohled na odsávací žlab (pohled je v řezu).



Obr. 7.5 Základní rozměry žlabu.

Pro zakrytí žlabu byl navržen rošt z děrovaného plechu s kruhovými dírami. Aby nedošlo k prohýbání vlivem vakua a zvýšené teploty byl zvolen ocelový plech o tloušťce 2 mm. Plech byl zvolen s dírami o průměru 2 mm, díky takto malým dírám bude docházet jen k minimálnímu vtahování silikonu do děr. Rošt má v sobě 2 díry s kuželovým zahloubením, aby ho bylo možné pevně upevnit k formě pomocí dvou šroubů M6 se zápusťnou hlavou (obr. 7.3).

Do odsávání jsou zašroubované hadičníky (obr. 7.6). Byly zvoleny mosazné, rohové hadičníky s vnějším závitem G1/4 a s hadicovým trnem o průměru 10 mm. Utěsnění závitů se provede teflonovou páskou.



Obr. 7.6 Pohled na kompletní formu zespodu.

7.3.3 Hadice

Vzhledem k tomu, že se samotné teflonové hadice neosvědčili, bylo rozhodnuto, že se použije jiný materiál hadic. Hlavními požadavky na nové hadice byla tepelná odolnost minimálně 180 °C, odolnost proti zborcení při rozdílu tlaku v autoklávu, vysoká flexibilita, dlouhá životnost a jednoduchá úprava jejich délky.

V tomto případě byla zvolena silikonová hadice s vnějším průměrem 14 mm a tloušťkou stěny 3 mm. Materiál hadice je odolný vůči teplotě 240 °C, je velmi pružný, odolává lámání a zkrácení na potřebnou délku lze provést nožem.

I u této hadice by v autoklávu docházelo k borcení profilu, ale po vytažení by opět získala svůj původní tvar. Tyto změny by při dlouhodobém používání měly negativní vliv na životnost hadic. Z toho důvodu je navrženo vyplnění hadice výztužnou pružinou, která zabrání defomaci profilu (obr. 7.7). Pružina by měla ideálně vyplňovat celý volný prostor hadice mezi fitinkami, a ještě by měla mít malý přesah až do hadičníků. Při šetrném zacházení s takto vytvořenou soustavou vznikne velice odolné a trvanlivé odsávání. Při stejné kompletaci by bylo možné použít jakoukoliv hadici, která by měla dostatečnou tepelnou odolnost a pružnost.



Obr. 7.7 Kompletní soustava hadice – pružina – hadičník [13].

Dalším důvodem pro zvolení silikonové hadice je způsob, jakým dojde k utěsnění na hadičník. Silikonová hadice s menším vnitřním průměrem se snadno nasune na větší hadičník a díky své elasticitě se sama utěsní. Pro spolehlivé těsnění je ještě navrženo zajištění hadice pomocí hadicové spony.

Další variantou, jakou by bylo možné provést odsávání je využití ocelových trubiček, které by byly vzájemně spojeny kovovými fitinkami. Nevýhodou tohoto řešení by byla pracná příprava systému, hlavně ohýbání trubek a utěšňování. Navíc by se na každém odsávacím kanálu musel vytvořit kompenzátor pro kompenzaci tepelné dilatace. U silikonové hadice se kompenzátor řeší zvětšením délky hadice o několik centimetrů.

7.3.4 Podpěry

Jako podpěry byly zvoleny L profily 60x30x5mm. Formu drží 2 profily, jeden o délce 400 mm a druhý 550 mm. Profily jsou umístěny na dvou protilehlých stranách na okraji formy. Uchycení každé podpěry zajišťují 3 šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem o velikosti M8 (obr. 7.6).

V podpěře o délce 550 mm jsou vyvrtány 2 díry o průměru 23 mm, přes které je vyvedeno vyústění odsávání v podobě přímého hadičníku zašroubovaného do rychloupínací vakuové spojky (samec).

7.4 Ekonomické zhodnocení nové formy

Při ekonomickém hodnocení lze díky podobným rozměrům součásti vyráběné na experimentální formě (kapitola 5) a součásti vyráběné na navrhované formě (kapitola 7) usoudit, že náklady na konvenční balení by byly u obou forem téměř stejné. Hodnoty použité v tab. 7.1 jsou proto stejné, jako hodnoty v tab. 6.2.

Tab. 7.1 Náklady na konvenční balení u nové formy.

Konvenční balení	Vyráběné množství		
	1 ks	17 ks	100 ks
Položka	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]	Náklady [Kč]
Strhávací tkanina	6,4	108,8	640
Separační fólie	3,13	53,1675	312,75
Odsávací rohož	6,98	118,575	697,5
Těsnící páska	21	357	2100
Vakuovací pytel *	5,22	88,74	522
Čas zaměstnance	165	2805	16500
Náklady na dávku [Kč]	207,72	3531,28	20772,25

* Vakuovací pytel je dvouvrstvý, použije se pouze jedna vrstva (polovina)

Jelikož jsou formy skoro stejně rozměrné bude se u navrhované formy používat stejná cena za plachetku, jako u experimentální formy. Plachetka bude z materiálu Elastosil C 1200 A/B.

Tab. 7.2 Použité součásti a náklady na membránu.

Kalkulace nákladů na membránu		
Položka	Množství	Cena
Silikonová hadice	0,62 m	200 Kč/m
Výztužná pružina	0,66 m	105 Kč/m
Hadičnick koutový	2 ks	80 Kč/ks
Hadičnick přímý	2 ks	55 Kč/ks
Hadicová spona	4 ks	15 Kč/ks
Silikonová plachetka	1 ks	3000 Kč/ks
Celkové náklady		3523 Kč

Kalkulace nezahrnuje náklady na úpravu formy, na podpěry a na šrouby.

Pokud by vyrobená plachetka neměla povrchové vady, nebylo by nutné používat žádný dodatečný balicí materiál. To by mělo za následek redukci času balení na naprosté minimum. Díky těmto faktorům by se daly celkové náklady z tab. 7.2 považovat, jako konečná suma, která se s počtem vyrobených kusů nebude nijak zvyšovat.

Vzhledem k vysoké odolnosti všech položek z tab. 7.2 lze předpokládat, že jedinou pravidelnou investicí do této formy by byla výroba nových plachetek.

Tab. 7.3 Porovnání nákladů na balení pro novou formu.

Porovnání nákladů na balení			
Množství [ks]	Náklady na balení		Rozdíl [Kč]
	Membránou [Kč]	Konvenční [Kč]	
1	3523,00	207,72	3315,28
17	3523,00	3531,28	8,28
100	3523,00	20 772,25	17 249,25
	Výhodnější metodou je konvenční balení		
	Výhodnější metodou je balení membránou		

Stejně jako v kapitole 6.3 i u této formy dojde k rychlé návratnosti investice. Výsledkem je úspora 17 249 Kč při výrobě 100 kusů. Zároveň se ušetří celý čas, který by zaměstnanec strávil balením formy. V tomto případě by se jednalo o úsporu asi 20 minut při výrobě jednoho kusu.

ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a na experimentální část. V teoretické části jsou charakterizovány konvenční způsoby výroby dílců z dlouho vláknových kompozitů a popis vakuovacích membrán.

Experimentální část obsahuje popis transformace konvenční formy na formu, která bude využívat vakuovací membránu. Součástí experimentální části bylo vytvoření funkční soustavy odsávání vzduchu a výroba plachetky. Dále byly popsány experimentální zkoušky se znovupoužitelnou vakuovací membránou. Byla provedena analýza vzniklých vad, které způsobily nedokonalosti při používání vakuovací membrány. Mezi hlavní problémy lze zařadit zejména bubliny na silikonové plachetce a nevhodná konstrukce formy.

Pro zjištění rentability bylo na experimentální formě provedeno technickoekonomické zhodnocení. Bylo zjištěno, že při použití vakuovací membrány dojde nejen ke značné finanční úspoře ale také k výrazné časové úspoře. Navzdory vyšším výrobním nákladům je návratnost investice do znovupoužitelné vakuovací membrány již při 18 vyrobených kusech. Úspora nákladů pro deklarovanou životnost jedné silikonové plachetky byla vyčíslena na 15 000 Kč a časová úspora pro celou životnost plachetky je 32 hodin.

Po zjištění, že výroba s vakuovací membránou bude výhodná se vypracoval návrh nové formy, která bude vyrobena a zavedena do provozu. Díky výsledkům ze zkoušek s experimentální formou byla provedena optimalizace jednotlivých funkčních částí.

Bylo provedeno:

- Celkové zvětšení rozměrů formy.
- Snížení celkové hmotnosti formy.
- Zvolení silikonových hadic s vnitřním vyztužením pružinou.
- Pouze jedna odsávací díra v drážce a jedna díra ve funkčním prostoru.
- Návrh odsávacího žlabu pro zabránění přetokům pryskyřice do hadic.

Konstrukce a použité materiály by měly zaručit dlouhou životnost znovupoužitelné vakuovací membrány.

Ekonomické zhodnocení ukázalo, že náklady na kompletaci navrhované formy budou přibližně 3500 Kč. Návratnost nákladů bude při 17 vyrobených kusech a úspora při 100 vyrobených kusech přibližně 17250 Kč. Časová úspora na balení jednoho kusu bude přibližně 20 minut.

Závěrem je třeba dodat, že práce na toto téma bude pokračovat i po odevzdání tohoto dokumentu. Proběhne výroba navržené formy a při jejím používání se budou sbírat nové poznatky, které povedou k dalším konstrukčním vylepšením.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ASM Handbook. Volume 21 , Composites. Materials Park: ASM International, 2001, 1201 s. ISBN 0-87170-703-9.
 2. EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6
 3. KREBS, Stefan, Ladislav KOLAŘÍK a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Technologie zpracování plastů a kompozitů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020, 161 stran. ISBN 978-80-01-06722-2.
 4. LEGENDRE, André a Jan JEHLÍČKA. *Uhlíkové materiály: od černé keramiky k uhlíkovým vláknum*. Praha: Informatorium, 2001, 173 s. ISBN 80-86073-82-3.
 5. Veba - Hybridní tkaniny. *Veba - Czech manufacturer of top quality Clothing fabrics, African brocades, Voiles and Prints* [online]. Copyright © VEBA, textilní závody a. s. [cit. 27.12.2021]. Dostupné z: <https://www.veba.cz/cs/hybridni-tkaniny>
 6. MACHEK, Václav a Jaromír SODOMKA. *Nauka o materiálu. 4. část, Polymery a kompozity s polymerní matricí*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 86 s. : il. ; 30 cm. ISBN 978-80-01-03927-4.
 7. IRVING, P. a C. SOUTIS. *Polymer Composites in the Aerospace Industry* [online]. Cambridge: Elsevier, 2015 [cit. 2022-05-20]. ISBN ISBN 978-0-85709-918-. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpPCAI0001/toc>
 8. Carbon braided hose. *Carbon scout* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.carbonscout-shop.de/Carbon-CFRP-braided-hose-O-8-22-mm-2294.html>
 9. About reinforcements. *Fibreglast* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.fibreglast.com/product/about-reinforcements/Learning_Center
 10. *Gurit Guide to Composites* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.gurit.com/-/media/Gurit/Datasheets/guide-to-composites.pdf>
 11. Technical data. *Alan Harper composites* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://alanharpercomposites.com/technical-data/>
 12. *Diatex Composite division, Catalog 2021, Index F* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://en.calameo.com/read/0048631852fa48780c6dd?page=1>
 13. Reinforcement spring. *Easy composites* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.easycomposites.eu/reinforcement-spring-for-8mm-hose>
 14. *Technický list, Elastosil C 1200* [online]. 2020 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.tooling.cz/media/technicke-listy/elastosil-c1200ab.pdf>
-

15. *Technical bulletin, EZ spray silicone 20, 22. Smooth-On* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.smooth-on.com/tb/files/EZ-SPRAY_SILICONE_20_TB.pdf
16. *Product data sheet HT 15. SRcomposites* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.srcomposites.com/SRC_Sprayomer_HT15_PDS_2020.pdf
17. *EZ-Brush vac bag silicone Product overview. Smooth on* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.srcomposites.com/SRC_Sprayomer_HT15_PDS_2020.pdf
18. *VBS26-35 Silicone. CHT silicones* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://cht-silicones.com/products/moulding_rubbers/VBS26-35

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_{r1}	- Rozdíl v mezi metodami při výrobě jednoho kusu,
C_{VM1}	- náklady na použití vakuové membrány při výrobě jednoho kusu,
C_{K1}	- náklady na konvenční balení, při výrobě jednoho kusu,
C_{r100}	- rozdíl v mezi metodami při výrobě 100 kusů,
C_{VM100}	- náklady na použití vakuové membrány při výrobě 100 kusů,
C_{K100}	- náklady na konvenční balení, při výrobě 100 kusů,
T_{r1}	- časový rozdíl mezi metodami,
T_{VM}	- časová náročnost při balení vakuovou membránou,
T_K	- časová náročnost při konvenčním balení,
T_{r100}	- časový rozdíl mezi metodami při 100 cyklech,
T_{r1}	- časový rozdíl mezi metodami.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Technický list pro silikon Elastosil C 1200 A/B



QR Code ELASTOSIL® C 1200 A/B



ELASTOSIL® C1200 A/B

RTV-2 silikonkaučuk na tvorbu vakuovacího vaku při výrobě kompozitů

05/2020

Tento technický list nahrazuje všechny dosud platné.

Obecně:

ELASTOSIL C1200 AB je dvousložkový silikonkaučuk s adičním vytvrzováním při pokojové teplotě na výrobu odolných vakuovacích vaků, lze zpracovávat štětcem, nástřikem, odléváním.

Speciální charakteristika:

- nízká viskozita
- samo upravitelná tekutost
- vynikající mechanické vlastnosti
- rychle vytvrzuje
- snadno se vyformuje

Použití:

Elastosil C1200 je speciálně vyvinut na profesionální výrobu odolných vakuovacích vaků, používaných na výrobu kompozitových dílů. Vzhledem k jeho tixotropnímu chování a samonivelační vlastnosti, nestéká ani z vertikálních povrchů.

Má střední dobu zpracování, čímž je umožněno použití na rozlehlejší povrchy se zachovaným rychlým vytvrzením vaku.

Údaje před vytvrzením:

Složky, nevytvrzeno		A	B
Barva		transparentní	modrá
Hustota při 23 °C, ISO 2811	g/cm ³	1,05	1,05
Viskozita dynamická při 23 °C, ISO 3219	mPa s	20000	20000
Směs			
Směsný poměr A : B	hmot.podíl	1 : 1	
Barva směsi		modrá, průhl.	
Doba zpracovatelnosti, 23 °C	min	20	
Doba vyformování po	min	60	

Fyzikální vlastnosti:

Po vytvrzení 24 h při 23 °C

Tvrdost Shore A			25
Pevnost v tahu	ISO 868		
	ISO 37	N/mm ²	5,0
Protažení do lomu	ISO 37	%	500
Odolnost proti vzniku trhlin			
	ASTM D 624,B	N/mm	25
Maximální pracovní teplota		°C	220

(hodnoty udávají základní informace o produktu)

Zpracování:

Elastosil C1200 lze zpracovávat za použití manuální nebo pneumatické pistole. Dodává se ve dvojkartuši a nanáší se přímo na potřebný povrch nástroje.

Pro aplikaci většího množství lze použít dvou komponentní odměrný a nanášecí stroj. Lze také použít nástřík pod stlačeným vzduchem.

Doporučujeme dodatečné vytvrzování vakuovacího vaku po dobu 2-3 hod na pracovní teplotě, 220 °C maximálně.

Důležité upozornění: Ve složce A je obsažen platinový katalyzátor. Proto pro zpracovávání platí zásadní pravidlo, kdy lze smíchat složku A se složkou B **pouze** stejného výrobního čísla.

Skladování:

Složky A i B Elastosil C1200 A/B jsou použitelné, při skladování v rozmezí teplot 5 – 30 °C v původních neotevřených obalech. Období použitelnosti je vyznačeno na etiketě od výrobce.

U materiálů, u nichž došlo k překročení stanovené doby použitelnosti (vyznačené na etiketě), tato skutečnost ještě neznamená, že jsou nutně nepoužitelné, ale je třeba je nejprve prakticky odzkoušet.

Bezpečnostní informace:

Složky A i B Elastosil C1200 silikon kaučuku s adičním typem vytvrzování, obsahují pouze látky, které byly po mnoho let testovány a jsou netoxické a neagresivní. Proto není vyžadováno speciální zacházení. Dodržujte proto všeobecné hygienické předpisy pro pracující v průmyslu.

Podrobné hygienické informace jsou uvedeny v příslušném hygienickém a bezpečnostním listu dodávaném na požádání.

Jiné:

Další informace naleznete též na www.wacker.com

Hodnoty, uvedené v tomto technickém listě zobrazují naše dosavadní znalosti, a nezprostřují uživatele nutnosti pečlivého vlastního ověření zpracování a výsledků. Vyhrazujeme si právo na možné pozměnění hodnot produktu v rámci technického zpracování nebo nového vývoje. Doporučení, uvedená v tomto listě musí být u uživatele ověřena předběžnými zkouškami, z důvodu možných odlišných pracovních podmínek, za které nemůžeme nést záruku, zejména pokud se používají produkty jiných výrobců. Tato doporučení nezprostřují uživatele povinnosti, při případném zjištění možného dotčení práv třetích osob, jejich respektování. Uvedená doporučení použití nevytváří záruku, způsobilosti či vhodnosti produktu pro určitý účel použití.