

Materiály folií na bázi pryže pro technologii vakuování

Marek Krsička

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek KRŠIČKA**
Osobní číslo: **T10273**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Materiály folií na bázi pryže pro technologii vakuování**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši v dané oblasti
2. Připravte zkušební tělesa pro mechanické zkoušky
3. Provedte experimentální zkoušky
4. Získané výsledky vyhodnoťte z hlediska praktických aplikací

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno:KRSIČKA MAREK.....

Obor: TECHNOLOGICKÁ
ZARÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje 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, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 19. 5. 2014

Marek Krsička

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávajíc zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-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

Tato bakalářská práce byla vypracována na téma „Materiály folií na bázi pryže pro technologii vakuování“. Teoretická část práce se zabývá druhy pryžových materiálů, mechanickými zkouškami pryží a použitím pryžových folií. Praktická část se zaměřuje na experimentální zkoušky pryžových materiálů a jejich vyhodnocení z hlediska praktických aplikací.

Klíčová slova: technologie vakuování, pryž, mechanické zkoušky

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is the „Foil Materials Based on Rubber for Vacuum Technology“. The theoretical part deals with kinds of rubber materials, mechanical tests and use of rubber foils. The practical part is focused on experimental tests of rubber materials and their evaluation from practical applications viewpoint.

Keywords: vacuum technology, rubber, mechanical tests

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Milanu Žaludkovi Ph. D., za odborné vedení, čas a ochotu, kterou mi věnoval při jejím vypracování.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VAKUOVÁNÍ	12
1.1 VAKUUM – VŠEOBECNÉ POJMY	12
1.1.1 Získávání vakua	13
1.2 VAKUUM PŘI VÝROBĚ KOMPOZITŮ	14
1.2.1 Materiálové portfolio pro tvorbu vakua	14
1.2.2 Techniky vakuování	16
1.2.3 Zhodnocení vakuování pomocí folií	17
2 PRYŽE PRO TECHNOLOGII VAKUOVÁNÍ	18
2.1 ELASTOMERY	18
2.1.1 Vlastnosti elastomerních materiálů	18
2.2 KAUČUKOVÉ SMĚSI	19
2.2.1 Kaučuky	20
2.2.2 Plniva.....	21
2.2.3 Vulkanizační činidla.....	22
2.2.4 Urychlovače vulkanizace	23
2.2.5 Retardéry vulkanizace	24
2.2.6 Změkčovadla	25
2.2.7 Antioxidanty, antiozonanty	26
2.2.8 Pigmenty	26
2.2.9 Nadouvadla	27
2.3 NEJBĚŽNĚJŠÍ KAUČUKY	27
3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PRYŽÍ	29
3.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA	30
3.1.1 Podstata zkoušky	30
3.1.2 Měřené veličiny.....	30
3.1.3 Zkušební tělesa.....	34
3.1.3.1 Hlediska pro výběr tvaru zkušebních těles	35
3.1.3.2 Příprava zkušebních těles.....	36
3.1.3.3 Kondicionování vzorků a zkušebních těles	37
3.1.3.4 Měření zkušebních těles.....	38
3.1.4 Zkušební zařízení	38
3.1.5 Postup zkoušky.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
4 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	42
4.1 ZKOUŠENÉ MATERIÁLY	42
4.2 ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES	43
5 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY	44
5.1 ZKOUŠKA TAHEM	44
5.1.1 Vzorek 1. - pryžová deska 1mm CIIR	46
5.1.2 Vzorek 2. – pryžová deska 1mm EPDM.....	47
5.1.3 Vzorek 3. – pryžová deska 1mm CIIR.....	48

5.1.4	Vzorek 4. – pryžová deska 1mm MVQ	49
5.1.5	Vzorek 5. – pryžová deska 1mm MVQ	50
5.1.6	Vzorek 6. – pryžová deska 0,5mm NR-SRB	51
5.1.7	Vzorek 7. – pryžová deska 2mm MVQ	52
5.1.8	Vyhodnocení tahové zkoušky	53
5.2	ELASTICITA A TVAROVÁ PAMĚŤ PRYŽOVÝCH FOLIÍ (MEMBRÁN)	55
5.3	SEPAROVATELNOST PRYŽOVÝCH FOLIÍ.....	56
5.3.1	Vyhodnocení separace pryskyřic dle adhezních materiálů	56
6	ZHODNOCENÍ POUŽITÍ VAKUOVÝCH FOLIÍ (MEMBRÁN)	59
6.1	VÝHODY A NEVÝHODY	59
6.2	JEDNORÁZOVÉ FOLIE VERSUS PRYŽOVÉ FOLIE (MEMBRÁNY).....	59
6.1	KRITÉRIA PRO VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU PRO VAKUOVÁNÍ.....	60
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ÚVOD

Technologický proces výroby náročnějších kompozitních konstrukcí respektive kompozitních sendvičových konstrukcí vyžaduje použití vakua a určitých varovacích technik. Vakuum je aplikované na definovaný počet navrstvených materiálů, které po polymeraci tvoří kompozitní výrobek. Na aplikaci vakua v průmyslu výroby kompozitů se využívají zejména plastové foliové materiály, které se aplikují jednorázově a jejich aplikace je poměrně složitý a časově náročný technologický proces vyžadující určité praktické i teoretické zkušenosti.

Myšlenka využití membrán není nová a technologie vakuování pomocí membrán jsou známé na základě literární rešerše a informací od dodavatelů tradičních varovacích materiálů zatím jenom v zahraničí (USA, Francie, Velká Británie). Využívají se zejména silikonové desky tloušťky 0,5-2mm, které jsou instalované ve speciálních rámech, častokrát je rám instalovaný jako součást vyhřívaných varovacích stolic a lisů. V těchto lisech je umístěný výrobní nástroj (forma), vakuované materiály jsou různé, převažují však foliové materiály, prepregy a semipregy, technologie lepení na úkor mokrých laminačních procesů. Podle dostupných zdrojů doposud není známa funkční aplikace vakuování membránou v ČR.

Hlavním úkolem této bakalářské práce je hledat a ověřit nové, produktivnější materiály a postupy při vakuování materiálů ve výrobě kompozitů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VAKUOVÁNÍ

Vakuová zařízení jsou v současné době využívána v celé řadě technologických aplikací, v potravinářském průmyslu i při výzkumu. Zdroje vakua jsou naprosto nezbytné například pro nanášení či napařování tenkých vrstev na nejrůznější substráty (polovodiče, reflexní vrstvy na sklo, pokovování plastu, aj.). Vakuové pece jsou používány při výrobě a výzkumu nových materiálů s komerčně zajímavými vlastnostmi, pro odstranění materiálového pnutí po tvářecích procesech, pro kapilární pájení nebo odplynění povrchu materiálů. Zcela běžně jsou v provozech zavedeny vakuové destilace nebo filtrace a stejně tak se moderní strojírenské provozy neobejdou bez automatických montážních linek, kde jsou jako uchopovací prvky používány podtlakové přísavky. [5]

Tab. 1 Využití vakua [6]

Průmysl		Technická aplikace	Použitý technologický postup
Odvětví	Obor		
Elektronika	Součástky	Elektronky, Obrazovky	Evakuace, gelování, kontrola těsnosti, zátavy
		Rezistory	Napařování, naprašování vrstev
		Kondenzátory	Vakuové napařování a naprašování papíru a plastických folií
		Integrované obvody	Napařování, naprašování vrstev
Elektro- technika	Světelné zdroje	Žárovky, zářivky, výbojky	Evakuace, gelování, vakuové plnění, odplyňování, pokovování
Hutnictví	Vakuová metalurgie	Speciální materiály	Vakuové tavení, spékání, odlévání
Chemie	Vakuové čištění	Monokrystaly vysoce čisté látky	Vakuová rafinace, zonální tavba, destilace
	Plastické materiály	Polymerové vrstvy	Polymerace monomerů
Optika	Přístroje	Čočky, hranoly, filtry	Evakuace, pokovování
Spotřební	Sklo, keramika, bižuterie	Povrchové povlaky, vrstvy	Vakuové pokovování, nanášení
Potravinářství	Potraviny	Masné, mléčné výrobky	Vakuová sterilizace, konzervace, balení
Zemědělství	Produkty	Obilí, semena	Evakuace

1.1 Vakuum – všeobecné pojmy

Vakuum je ve fyzice a technice označení pro prostor, v němž je tlak plynu výrazně nižší než normální atmosférický tlak okolí, přesnější definice užívána zejména v teoretické fyzice zní: Vakuum je stav systému s nejnižší možnou energií. Je to tedy prostor tak

prázdný, jak je to jen možné. K vymezení vakua se používají zejména jednotky tlaku. Absolutnímu vakuu, které vyhovuje teoretické definici, by odpovídala nulová hodnota. V ideálním případě označujeme vakuum takový fyzikální stav, v němž není přítomna žádná částice, a to jak hmoty (např. Molekuly, částice, apod.), tak ani záření (např. fotony). Jedná se tedy o část prostoru, která neobsahuje hmotu, ale může obsahovat pole (gravitační, magnetické aj.). Takové vakuum bývá označováno jako dokonalé. O vakuu neobsahujícím pole se mluví jako o prázdném prostoru. [5]

1.1.1 Získávání vakua

Prostředkem k získávání vakua je vývěva, kterou lze v zásadě považovat za otvor o ploše S do prostoru s nižším tlakem. Připojíme-li nějaký systém s tlakem p_1 k jinému systému, kde je vakuum charakterizované tlakem p_2 , začnou otvorem mezi oběma systémy proudit molekuly oběma směry. Počet molekul vytékajících ze systému do vývěvy je dán rozdílem $N_1 - N_2$. [5]

$$N_1 - N_2 = S(p_1 - p_2) \sqrt{\frac{N_A}{2\pi kMT}} \quad (1)$$

Typy vývěv:

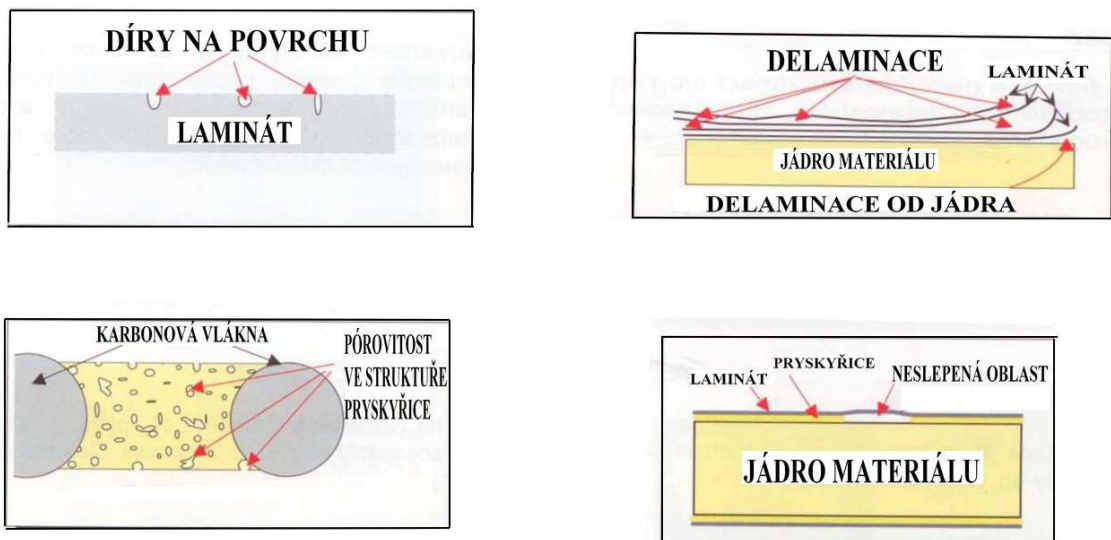
- Mechanické
- Hybnostní
- Adsorpční



Obr. 1 vakuová komora + zdroj vakua [5]

1.2 Vakuum při výrobě kompozitů

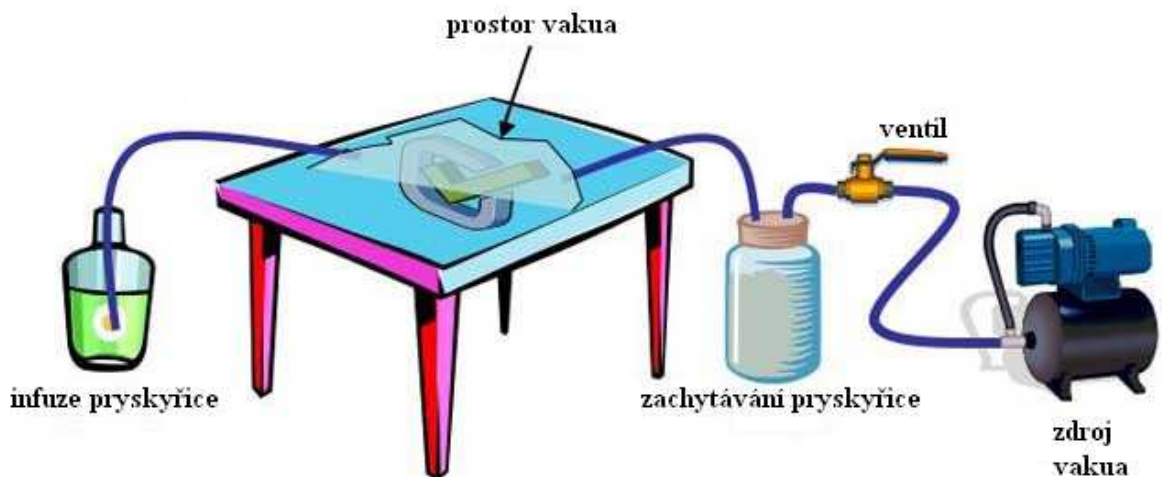
Využití vakua v průmyslu kompozitů je různé. Největší význam má však při konsolidaci (stlačení) uloženého materiálu k povrchu formy. Zlepšením konsolidace materiálu snižujeme obsah dutin v kompozitu, čím výrazně zlepšujeme jeho mechanické ale i estetické vlastnosti. Použitím vakua předcházíme tvorbě některých defektů (obr. č. 2). V některých případech (např. při technologii RTM Light, nebo vakuové infuzi slouží vakuum i pro transport pryskyřice přes materiál uložený ve formě). Používání uzavřených technologií má i hygienický a ekologický aspekt, protože uzavřený systém neumožňuje emisi používaných pryskyřic do výrobního prostředí. [16]



Obr. 2 Typy defektů, jejichž výskytu zabraňuje použití vakua [16]

1.2.1 Materiálové portfolio pro tvorbu vakua

Při vakuování výrobků z kompozitů se používá celá řada materiálů – od fólií přes různé technické tkaniny, těsnící pásy, vakuové konektory a příslušenství (spojky, hadice, vakuometry...) [16]



Obr. 3 schéma vakuovací soupravy pro výrobu kompozitů [11]

Vakuovací fólie – Na vytvoření vakua na materiál se ve velké míře využívají plastové fólie z různého materiálu (polyolefinové, polyamidové, PTFE...). Při výběru těchto fólií je nutné zohledňovat taky chemickou odolnost a komptabilitu s vakuovanými materiály v technologii stanoveném teplotním režimu.

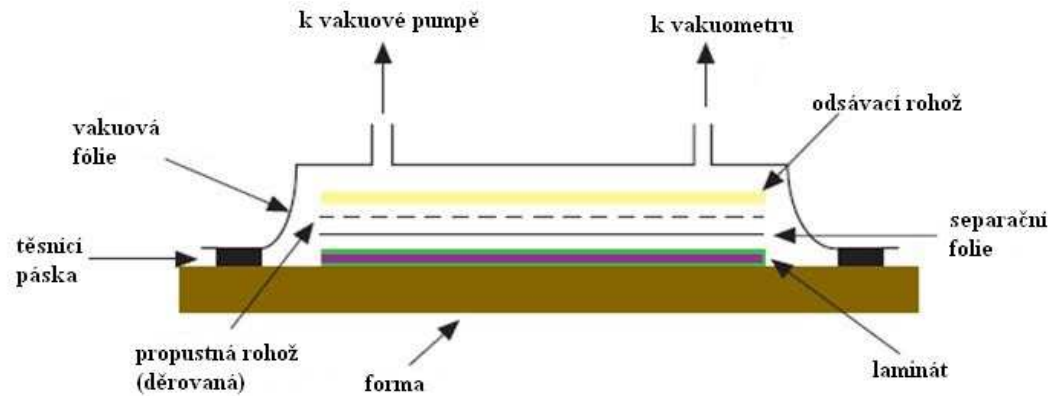
Odsávací rohože – Netkané textilie mají dvě funkce – zabezpečují odsávání vzduchu z uzavřeného prostoru a absorbují přebytečnou pryskyřici přes separační fólii.

Parametry – plošná gramáž a teplotní odolnost

Separační fólie – slouží na oddělení popisovaných technologických materiálů od vyráběného výrobku. Parametry: teplotní odolnost, komptabilita, flexibilita, performace.

Těsnící materiály – Na utěsnění vakuovací fólie slouží speciální flexibilní těsnící pásky průřezu cca. 3x15mm. Vytvářejí vzduchotěsný spoj mezi formou a vakuovací fólií. Parametry: teplotní rozsah, přilnavost a lepivost.

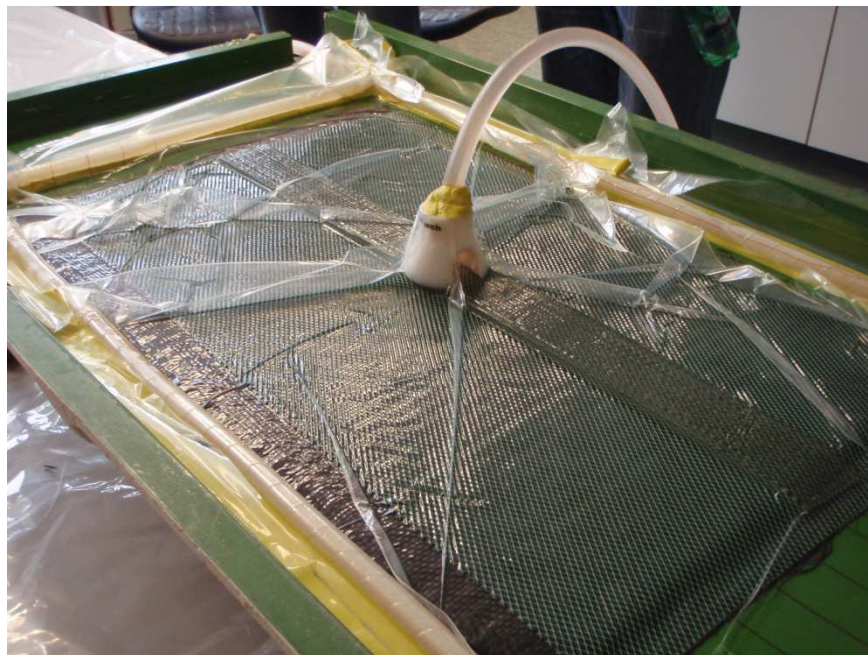
Ostatní materiály pro vakuování – K ostatním materiálům, které se používají při vakuování, můžeme zařadit například tlakově-senzitivní pásky, separační fólie, distribuční tkaniny a média. [16]



Obr. 4 schéma technologie prepreg [16]

1.2.2 Techniky vakuování

Při vakuování pomocí fólií se používají dvě základní techniky vakuování. První z nich je plošné vakuování, kde se technologické materiály kladou na jednu stranu formy a následně i vakuování probíhá na jedné straně formy. Druhá možnost je vakuovat materiály spolu s formou přímo do vakuového rukávu – v tomto případě je celá forma obalená do vakuovací fólie. Tato technika se využívá při malých a velmi složitých výrobcích s dělenými formami. První technika se využívá hlavně pro jednodušší a velkoplošné výrobky. [16]



Obr. 5 plošné vakuování

Celý proces vakuování je poměrně složitý a časově náročný technologický postup. Vyžaduje jistou manuální zručnost a dostatek zkušeností konkrétního pracovníka. Častokrát vakuování a ustálení materiálů probíhá vícestupňově, První položená vrstva nebo hned více vrstev se pomocí vakua postupně ustalují za účelem co nejlepšího uložení materiálů v kompozitním výrobku. [16]

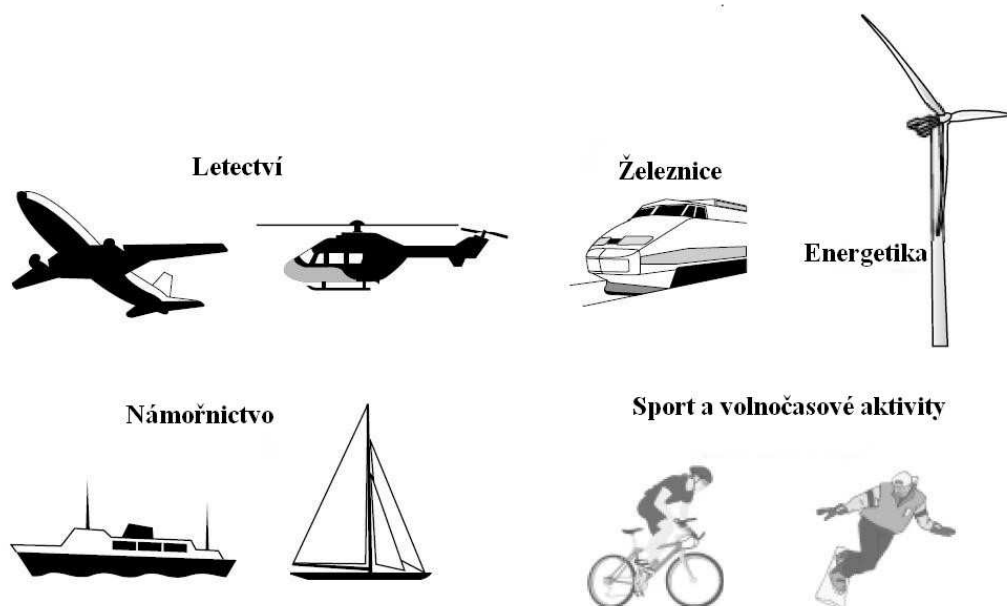
1.2.3 Zhodnocení vakuování pomocí folií

Technika vakuování materiálů pomocí folií momentálně výrazně převažuje při výrobě kompozitů v porovnání s ostatními druhy materiálů – v porovnání s membránami nebo kompozitními skořepinami. Je to z následujících důvodů:

- Univerzální a osvědčený systém u více technologií – prepregy, vakuová infuze, vytvrzování v autoklávě.
- Velké množství ověřených materiálů.
- Materiály jsou poměrně levné.
- Tuto techniku můžeme využívat i při složitých výrobcích a negativních tvarech.

Tento způsob má však i určité a poměrně významné nevýhody

- Nízká produktivita práce při vakuování a utěšňování (na vakuování výrobku o ploše 1m² potřebuje průměrně zručný pracovník minimálně 30 až 40 minut)
- Potřeba manuálně zručných a zároveň technicky odborných pracovníků. [16]



Obr. 6 příklady využití kompozitů vyrobených technologií vakuování [12]

2 PRYŽE PRO TECHNOLOGII VAKUOVÁNÍ

2.1 Elastomery

Elastomery (pryže) lze obecně považovat za vysoce kondenzované plyny, protože většina dílčích monomerů se vyskytuje v plynném skupenství. Polymerizací vznikají řetězce dlouhých molekul. Jejich molekulová struktura může být amorfní, semikrystalická anebo krystalická. Kaučuky jsou typické amorfní polymery s náhodným uspořádáním molekul. Elastomer (pryž) je výjimečný svou velkou pružnou deformací. V inženýrské praxi je smykový modul elastomerů definován jako $G = nkT$, kde n je počet řetězců elastomeru v jednotkovém objemu, k je Boltzmannova konstanta a T je teplota ve stupních Kelvina. Mnoho elastomerních materiálů má při stejné teplotě (nad bodem skelného přechodu) podobné hodnoty smykového modulu G nebo tvrdosti. Teplota a některé další parametry mají výrazný vliv na jejich vlastnosti. Elastomerní materiály patří do hlavní skupiny polymerů, které dále rozdělujeme do pod skupina přírodní a syntetické materiály. [15]

2.1.1 Vlastnosti elastomerních materiálů

Vlastnosti, které charakterizují materiál je možné rozdělit z hlediska jejich využití pro konstrukční prvky do dvou základních skupin. První skupinou jsou vlastnosti fyzikální (mechanická odolnost) a druhou skupinou vlastnosti chemické (chemická odolnost). Tyto vlastnosti se mohou dále měnit na základě působení zejména způsobu jejich výroby, teploty, času atd.

Fyzikální vlastnosti konstrukčních materiálů v praxi charakterizují zejména vlastnosti jako je pružnost, plasticita, pevnost, tvrdost a houževnatost. Fyzikálních vlastností materiálu, které jsou konstruktéry vyhodnocovány je však mnohem více.

Vlastnosti konstrukčních elastomerní materiálů se v mnoha směrech liší od ostatních konstrukčních materiálů. Rozdíly jsou ve fyzikálních, tak chemických vlastnostech, omezeném teplotním intervalu jejich použití, vlivu času na změny vlastností apod. Proti těmto omezujícím vlastnostem stojí řada předností. Jsou to zejména vysoká elasticita (hyperelasticita), schopnost snášet opakovaně značnou deformaci při dlouhé životnosti, schopnost tlumení (přeměňovat energii mechanickou na tepelnou), chemická stabilita v řadě prostředí, elektrické vlastnosti, nepropustnosti pro tekutiny atd. [15]

2.2 Kaučukové směsi

Pro připravení pryže požadovaných vlastností je nutné smísit kaučuk s přísadami. Tyto přísady jsou obsaženy v gumárenské směsi v malém množství, ale značně ovlivňují zpracovatelnost a výsledné vlastnosti směsi a tedy i výrobku. Mezi přísady řadíme vulkanizační činidla, aktivátory a retardéry vulkanizace, urychlovače vulkanizace, plniva a ztužovadla, antidegradanty, změkčovadla, pigmenty a organická barviva, speciální přísady. [10]

Kaučuky - jejich obsah může být od 5 až 95 %. Obecně kaučuky dělíme na přírodní a syntetické. Druh kaučuku v kaučukové směsi může být jeden, např. přírodní kaučuk (PK,NR), který může být buď jednoho druhu, nebo více druhů (podle čistoty, kvality, dostupnosti, účelnosti atd.). Kaučukové směsi mohou obsahovat i více druhů kaučuků přírodních a syntetických.(Pozor, nelze vyrábět kaučukové směsi z libovolných typů kaučuků).

Vulkanizační činidla - tyto látky jsou schopné vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi řetězcí kaučukového uhlovodíku. Hlavním vulkanizačním činidlem je síra. Často používanými činidly jsou také peroxidy, pryskyřice, oxidy kovů apod.

Aktivátory vulkanizace - tato skupina látek umožňuje aktivovat vulkanizační činidla.

Retardéry - gumárenské přísady, které jsou schopné regulovat zpracovatelskou bezpečnost směsí a málo ovlivňují rychlost síťování a vlastnosti vulkanizátu. Používají se při zpracování kaučukových směsí, u kterých vznikají problémy s předčasným navulkanizováním směsi tzv. pálení směsi. [9]

Urychlovače vulkanizace - přísady z této skupiny výrazně zrychlují vulkanizační proces.

Dělíme je na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultra rychlé urychlovače.

Plniva- vulkanizáty ze základní směsi by byly pro většinu technických účelů nepoužitelné, málo odolné a také příliš drahé. K eliminování těchto vlastností využíváme plniva. Kaučukové směsi plníme plnivy nejčastěji ve formě prášku ve větším množství. Přidáním plniva do směsi se mění vlastnosti směsi a následně i pryže. Plniva dělíme na aktivní a neaktivní. Mezi aktivní plniva řadíme ty, které ovlivňují technicky důležité vlastnosti.

Antidegradanty - zabraňují změnám mechanických vlastností pryží. Zpomalují stárnutí výrobku a prodlužují tedy jeho životnost.

Antioxydanty - zpomalují oxidaci a stárnutí vulkanizátu

Antiozonanty - ozonuvzdornost vulkanizátu je nutná pro výrobky vystavené expozici slunečního světla a tepla při jejich napětí. Aktivní působí ve hmotě. Pasivní vytváří na povrchu vulkanizátu ochrannou vrstvu

Zpracovatelské přísady - řada chemikálií zejména ke snížení molekulové hmotnosti kaučuků usnadňující zpracovatelnost, disperzi, energii procesu.

Pryskyřice - zvyšují konfekční lepivost

Faktisy - zlepšují zpracovatelnost, zejména usnadňují vytlačování a válcování tenkých fólií (povrch) i vulkanizační schopnosti směsi

Retardéry hoření - přísady snižující hořlavost, samozhášivost

Změkčovadla - přísady, které nám usnadňují zpracovatelnost gumárenské směsi tím, že snižují její tuhost. Usnadňují zpracování při válcování, míchání, vytlačování apod.

Pigmenty - umožňují dosažení barevnosti výrobků. [10]

2.2.1 Kaučuky

Pod pojmem kaučuky rozumíme takové polymery, které mohou být převedeny chemickým (nebo i fyzikálním) zesíťováním v elastomery (pryže).

Kaučuk je základní složkou, který dává směsi i pryži základní charakteristické vlastnosti. Existuje široká škála kaučuků s typickými vlastnostmi, podle nichž volíme vhodný kaučuk pro danou aplikaci.

Po zvolení základního elastomeru je třeba uvážit jeho gumovitost, tj. obsah ve směsi. Kaučuk jako základní složka směsi se někdy doplňuje regenerátem, popř. jiným polymerem. Ten mimo svou kaučukovitou hodnotu dává směsi i další vlastnosti, usnadňuje a zkracuje míchání, což představuje úsporu energie a zvýšení kapacity zařízení. Dále ovlivňuje zpracovatelnost, tj. směs se snadno a dobře tváří, dotéká a vyplňuje formu při lisování. Je-li regenerát jemný, směs se dobře vytlačuje, méně sráží a narůstá a vytlačený profil se při volné vulkanizaci nedeformuje. [13]

Základní dělení elastomerů:

- Přírodní kaučuk - se získává ze stromů kaučukovníku, zejména druhu *Hevea brasiliensis*. Kaučukovníky rostou a přibližně od roku 1900 se i uměle pěstují na plantážích v tropických pásmech Jižní Ameriky, jihovýchodní Asie i Afriky. Po naříznutí kůry stromu vytéká bílá, mlékovitá kapalina zvaná latex, která obsahuje 30 - 40% koloidních částic kaučuku (koloidní částic se myslí látky, které nejsou schopny krystalizace). Z jediného stromu lze získat 5 - 25 kg kaučuku.
- Syntetický kaučuk (Butadien kaučuk, Izopren kaučuk, Chloropren kaučuk, Butadienstyren kaučuk, Butadiennitril kaučuk, Etylénpropylén kaučuk, Butyl kaučuk, Akryl kaučuk, Polyester kaučuk, Fluor kaučuk, Polysulfidový kaučuk, Silikon kaučuk) [15]

2.2.2 Plniva

Použití plniv v kaučukových směsích má obecně dva důvody. Prvořadým důvodem je úprava zpracovatelnosti směsí a fyzikálních vlastností vulkanizátů. Druhý důvod je ekonomický, použitím levných plniv se dosahuje podstatného snížení ceny výrobku.

Při volbě plniva vycházíme z uvedených záměrů a z dalších technických požadavků.

Pro běžnou praxi vyhovuje rozdělení do tří skupin:

- saze
- světlá plniva (aktivní a neaktivní)
- ostatní

Základní vlastnosti směsi se upravují plněním, tj. přidáním většího množství nejčastěji práškových přísad. Tím se mění prakticky všechny vlastnosti: hustota, tvrdost, modul, elasticita, tažnost, strukturní pevnost, dále zpracovatelnost, ale především cena pryže, neboť plniva se používají především ke snížení její ceny. S plněním klesá plasticita a směs se hůře hněte. Podle fyzikálního významu jsou plniva dělena na:

- aktivní (ztužovadla): přechodně zlepšují pevnost, (př. saze MPC, HAF, Silika),
- pasivní: pevnost zhoršují, (př. saze MT, kaolín, křída). [15]

Plnivo se používá k úpravě vlastností, jenž by samotný polymer buď neměl výrazné, nebo by je neměl vůbec - např. neplněný kaučuk SBR dnes nemá komerční využití. Další funkce plniva je snížení ceny výsledného produktu. Dnešní polymerní materiály jsou komplexní směsi, kde základem je monomer a příměsi se pohybují v řádech desítek procent.

Přítomnost plniv má významný vliv na vlastnosti vulkanizátů. Například modul elasticity se proti neplněným vulkanizátům obvykle zvýší cca desetinásobně. U většiny vulkanizátů zlepšují plniva také odolnost proti oděru. Zlepšení vlastností vulkanizátů přidávkem plniv se nazývá ztužení. Pod pojmem ztužení obecně rozumíme změny viskoelastických vlastností vulkanizátu s pozitivním vlivem na vlastnosti výrobků.

Velikost ztužení závisí na struktuře a velikosti částic plniva a na aktivitě jeho povrchu. Tyto parametry ovlivňují interakci mezi kaučukem a plnivem.

Starší rozdělení plniv na sazová a nesazová je dnes nahrazeno progresivnějším dělením s ohledem na:

- velikost částic
- velikost povrchu plniva
- tvar částic
- velikost povrchové aktivity [15]

2.2.3 Vulkanizační činidla

Podstatou vulkanizace je vytváření chemických vazeb mezi molekulami kaučuku. K tomu, aby se zabránilo neomezenému toku molekul vzhledem k sousedním molekulám stačí poměrně malé množství příčných vazeb rozmístěných podél řetězce. Vlastnosti kaučuku se přitom podstatně mění. Z převážně plastického stavu přechází v elastickou pryž. Zlepšují se vlastnosti jako pevnost, odrazová pružnost, odolnost proti nízkým a vysokým teplotám, roste tvrdost a modul, snižuje se tažnost a trvalá deformace. Vulkanizační činidla jsou látky, které mají schopnost vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi molekulami kaučuku. Nejběžnější vulkanizační činidla jsou: síra, donory síry, selen, telur, peroxidy, kovové kysličníky, reaktivní pryskyřice, diaminy a diizokyanáty.

Nejčastějším vulkanizačním činidlem je síra, ta se při vulkanizaci váže na kaučuk za tvorby síťové struktury. Dle množství vázané síry rozdělujeme vulkanizáty na pryž:

- měkkou: do 4 dsk síry, vyznačuje se výraznou schopností vratných deformací,
- polotvrdou: 12 – 25 dsk síry, má špatné mechanické vlastnosti a omezené použití,
- tvrdou: má význačnou tvrdost, nepatrnou tažnost a omezenou ohebnost.

Čím více síry, tím je pryž tvrdší. Zkouší se i jiná vulkanizační činidla - organické peroxidy a vulkanizační pryskyřice. [15]

2.2.4 Urychlovače vulkanizace

Jsou látky, které zkracují dobu vulkanizace z hodin na minuty, snižují vulkanizační teplotu a zpomalují stárnutí. Tyto látky obsahují v molekule dusík a síru. Jejich účinek je různě velký. Vulkanizační činidlo umožňuje vulkanizaci a urychlovače a aktivátory upravují její průběh, stupeň a do značné míry i mechanické vlastnosti vulkanizátu. Zvyšují síťovací činnost, čímž umožňují omezit dávkování síry. Organické urychlovače podstatně zkracují vulkanizační dobu a zároveň umožňují snížit vulkanizační teplotu, čímž se spoří energie, ale chrání také jiné složky směsi jako jsou organická barviva či materiál kombinovaný s kaučukem. Bez přídavku aktivátoru by byla síra málo účinným vulkanizačním činidlem. K dosažení potřebné koncentrace příčných vazeb by bylo třeba ve směsích bez aktivátoru dávkovat podstatně více síry nebo donoru síry. Podstata aktivace při vulkanizaci sírou spočívá ve zvýšení síťovací účinnosti vulkanizačního systému. Jako aktivátorů se používá různých oxidů kovů: ZnO, MgO, CaO, PbO, aj. Podporují plné využití síry a urychlovače vulkanizace. Téměř ve všech směsích se používá kysličníku zinečnatého. Přírodní kaučuk obsahuje kolísavé množství mastných kyselin, a proto je třeba přidávat organickou kyselinu, nejčastěji stearovou, aby byl zinek převáděn na formu rozpustnou v kaučuku. Účinnost urychlovačů zvyšuje tzv. aktivátor, což je oxid zinečnatý. Do směsi se přidává malé množství kyseliny stearové, která s ním vytváří stearan zinečnatý. Vstupní suroviny (zvláště ZnO) se kontrolují na přítomnost těžkých kovů (Cu, Mn, Cr, Fe), které působí jako tzv. kaučukové jedy. Vytvářely by v kaučucích různé sloučeniny, které by narušovaly řetězce makromolekul. Význam urychlovačů vulkanizace spočívá nejen ve zrychlení procesu, ale i ve zvýšení efektivnosti vázání síry a tím ve zlepšení užitečných vlastností pryže (teplovzdornosti, odolnost proti stárnutí). Spolu se sírou a aktivátory vulkanizace tvoří urychlovače vulkanizační systém. Dále upravují specifické vlastnosti vulkanizátu, jako je modul, pevnost, odolnost proti opotřebení, stárnutí. [15]

Vyráběné urychlovače je možno rozdělit podle různých kritérií. Podle rychlosti vulkanizace je dělíme na:

- pomalé (aminy, guanidiny),
- rychlé (tiazoly, sulfonamidy),
- velmi rychlé (tiuramy a kombinace urychlovačů),
- ultraurychlovače (ditiokarbamáty, xantogenáty).

Všeobecně platí, že čím aktivnější je urychlovač, tím menší množství se ho přidává do směsi, tím menší množství síry vyžaduje a tím nižší teploty je třeba k dosažení optimálních vlastností pryže. Výběr urychlovače závisí na řadě okolností. Především na použitém elastomeru, dále na složení směsi, uvažované technologii vulkanizace a na požadovaných vlastnostech pryže. Dobrý urychlovač musí mít následující vlastnosti:

- bezpečný při zpracování danou technologií
- rychlý při vulkanizaci
- musí příznivě upravovat vlastnosti kaučuku
- nesmí být jedovatý nebo dráždivý
- nemá zbarvovat vulkanizát
- má být ekonomický [15]

2.2.5 Retardéry vulkanizace

Použití retardérů vulkanizace je nezbytné pro směsi obsahující vysoce aktivní vulkanizační přísady nebo urychlovače vulkanizace, mají-li se takové směsi zpracovávat při vyšších teplotách. Retardéry chrání směs před předčasným navulkanizováním při míchání a dalším zpracování. [15]

Retardéry dělíme na:

- anorganické (MgO, PbO),
- organické (octan sodný, kalafuna, kyselina sebaková).

2.2.6 Změkčovadla

Změkčovadla zvyšují plasticitu a usnadňují tak mechanické zpracování. Používají se různé minerální oleje.

Ovlivňují v různé míře zpracovatelnost směsí a tím vlastnosti vulkanizátu. Pronikají mezi makromolekuly kaučuku, zvětšují jejich průměrnou vzdálenost, zmenšují propletení, omezují vnitřní tření mezi molekulami a usnadňují tak přeskupování hmoty. Vulkanizát lze pak deformovat menší silou, jsou méně tuhé, mají nižší teplotu křehnutí. Nevýhodou je, že přítomnost změkčovadla zhoršuje mechanické vlastnosti pryže. Zpracovatelností se myslí plasticita, tvarovatelnost a lepivost.

Při vyšším dávkování plniv do směsi dochází již v nevulkanizovaném stavu k takovému ztužení, že by zpracovatelnost byla velmi špatná. Z toho důvodu je třeba do směsi přidávat změkčovadla. Z hlediska takových vlastností nemá rozhodující vliv druh použitého změkčovadla, důležité je především jeho množství.

Další důvody pro použití změkčovadel jsou:

- zlepšení disperze plniv a přísad,
- snížení teploty a spotřeby energie při míchání,
- úprava fyzikálních a mechanických vlastností pryže.

Obecně můžeme rozdělit změkčovadla do následujících skupin:

- produkty ropného původu (minerální oleje, parafín, asfalty, vosky),
- produkty zpracování uhelných dehtů (oleje, pryskyřice, smoly),
- produkty zpracování dřeva (smrkový dehet, kalafuna),
- syntetická změkčovadla (estery, kapalné polymery, pryskyřice),
- látky rostlinného a živočišného původu (oleje, tuky, vosky).

Základní požadavky kladené na změkčovadla v gumárenském průmyslu jsou:

- dobrá mísitelnost s kaučukem,
- nízká viskozita a malá závislost viskozity na teplotě,
- chemická a tepelná stabilita při zpracování směsí,
- nízká těkavost,
- nejedovatost,
- nízká cena. [15]

2.2.7 Antioxidanty, antiozonanty

I po vulkanizaci zůstávají v zesíťovaném polymeru dvojně vazby, které jsou napadány kyslíkem a ozonem. Obsah ozonu ve vzduchu sice není velký, ale je mnohem agresivnější než kyslík. Vznikají nestabilní peroxidy nebo ozonidy, které se radikálově štěpí a tak dochází k narušení struktury - stárnutí pryže. Tento proces výrazně zpomalují látky zvané antioxidanty a antiozonanty.

Stárnutí elastomerů a vulkanizátů má řadu příčin. Úkolem stabilizace je zpomalit nebo dočasně úplně zastavit průběh stárnutí.

K tomu účelu se používá tří způsobů:

- volí se takový polymer, který v předpokládaných podmínkách nejméně stárne
- polymer se modifikuje, případně se povrchově chrání
- přidávají se stabilizační přísady – antidegradanty

Antidegradanty je možno rozdělit do těchto hlavních skupin:

- antioxidanty a antiozonanty (nejdůležitější)
- činidla chránící proti účinkům světla (UV absorbéry)
- ochranné vosky
- přísady potlačující hydrolýzu funkčních skupin
- akceptory rozkladných produktů [15]

2.2.8 Pigmenty

Používají se k vybarvení směsí do různých odstínů. Původně byly pouze minerální pigmenty, které umožňovaly jen omezený rozsah barevných odstínů. Zavedením organických pigmentů necitlivých k vulkanizační teplotě a síře se možnosti vybarvování pryže rozšířily a zvýšila se účinnost vybarvování. Z toho důvodu moderní organické pigmenty, přestože jsou dražší, postupně vytlačují anorganické pigmenty. U bílých nebo světlých se musí použít elastomerů a antioxidantů na světle nebarvících. Jako základního pigmentu se používá litoponu, titanové běloby, řidčeji zinkové běloby, která je drahá a stopy olova v ní obsaženého způsobují při vulkanizaci zšednutí. [15]

Na pigmenty jsou kladeny značné požadavky:

- musí se v kaučuku dobře dispergovat,
- nesmějí se rozpouštět,
- musí snášet vulkanizační teplotu v přítomnosti síry a běžných přísad kaučukových směsí,
- nesmějí měnit odstín účinkem přímé páry,
- nesmějí ovlivňovat průběh vulkanizace,
- nesmějí nepříznivě ovlivňovat fyzikální vlastnosti a stárnutí pryže,
- musí být stále na světle a odolávat povětrnostním vlivům. [15]

2.2.9 Nadouvadla

Pro výrobu lehčené pryže se používá různých druhů nadouvadla, což jsou látky, které se při vyšších teplotách v průběhu vulkanizace rozkládají za vzniku většího objemu plynů. Teplota rozkladu a objem plynů závisí především na druhu použitého nadouvadla. Teplotu rozkladu je možno dále ovlivnit přísadami, které působí jako aktivátory rozkladu nadouvadla. Kaučukové směsi musí mít vysokou plasticitu a určitý průběh vulkanizace, aby nadouvání proběhlo v požadovaném rozsahu. [14]

2.3 Nejběžnější kaučuky

- SRB (styren butadien) – Folie na bázi kaučuku jsou určeny pro všeobecné použití v teplotním rozsahu od -20 do $+80^{\circ}\text{C}$. Tento materiál je částečně odolný povětrnostním vlivům, krátkodobě působením olejům při pokojové teplotě. Doporučuje se pro nenáročné aplikace těsnivo voda, vzduch, kyslík, acetylén.
- EPDM (etylen propylen) – Folie na bázi kaučuku se vyznačují vynikající odolností proti povětrnostním vlivům, tedy stárnutí a ozónu. Dále velmi dobrou odolností vůči kyselinám, zásadám. Nejsou vhodné pro styk s oleji, benzíny a jinými ropnými produkty. Použití je v teplotním rozsahu od -25 do $+90^{\circ}\text{C}$
- NBR (nitril) – Fólie na bázi kaučuku se vyznačuje velmi dobrou odolností proti olejům, tukům, benzínům a všeobecně ropným látkám a špatnou vůči silným oxidačním činidlům.

- CR (polychloropren) – Známý taky pod názvem neopren je odolný ozonu, částečně olejům a ropným látkám. Jeho využití je všeobecně pro nejrůznější aplikace. Teplotní použití od -25 do +70°C.
- MVQ – Fólie silikonové se vyznačují vynikající teplotní odolností a to od -40 do +200°C. Tento materiál má využití pro nejrůznější těsniva.
- FPM Viton – Se vyznačuje vynikající teplotní odolností a to od -10 do +250°C, odolností proti kyselinám, oleji a benzínu a také povětrnostním vlivům. Tento materiál má nejrůznější využití pro těsniva pro benzíny, oleje při vyšších teplotách, vynikající odolnosti povětrnosti, kyselinám, zásadám.
- NR – Fólie na bázi čistého přírodního kaučuku a to v nejcistší podobě. Je to v podstatě pouze z vulkanizovaný NR kaučuk s vulkanizačními činidly a popřípadě pigmenty. Vyniká vysokou pevností a tažností. Jsou určeny pro všeobecné použití v teplotním rozsahu od -40 do +80°C. Tento materiál je málo odolný povětrnostním vlivům, není odolný vůči olejům a jiným ropným produktům. [7]
- CSM (Hypalon) – Je známý pro svou dobrou odolnost proti korozivním chemikáliím, ozonu a zvětrávání. Také vykazuje odolnost proti stárnutí a otěru, má nízkou propustnost plynů, špatnou odolnost vůči pohonným hmotám. Teplotní rozsah je od -50 do +160°C
- IIR (Butyl) – Butylkaučuk nabízí vynikající odolnost proti kyselému a alkalickému prostředí, povětrnostním podmínkám a ozonu. Má nízkou propustnost plynů a špatnou odolnost proti minerálním olejům. Teplotní rozsah je od -40°C do +130°C. [8]

3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PRYŽÍ

Mechanické vlastnosti pevných látek jsou odezvou materiálu na působení vnějšího zatížení nebo vnějších sil. Konstrukce výrobku a volba jeho materiálu se řídí znalostmi různých mechanických, fyzikálních, chemických, technologických vlastností materiálu. Z jakého materiálu bude výrobek vyroben se rozhodujeme právě podle znalostí těchto vlastností a požadovaných kritérií na výrobek. Například zda-li bude vystaven povětrnostním vlivům, chemickému prostředí, dynamickému namáhání atd. [2]

Mechanické vlastnosti materiálů jsou prakticky čtyři:

- Pružnost
- Plasticita
- Pevnost
- Houževnatost

Pružnost – Vlastnost těles nabýt původního tvaru, přestanou-li na ně působit síly, které vyvolaly jejich přetvoření. [1]

Plasticita – Schopnost pevné hmoty podržet deformace, vyvolané účinkem vnějších sil. [1]

Pevnost – Schopnost materiálu nebo součástí odolávat účinkům působení sil, aniž by došlo v některém místě k porušení. [1]

Houževnatost – odolnost materiálu s velkou tvárností a pevností proti vzniku lomu. Je podmíněna velkou schopností k plastické deformaci. [1]

Mechanické zkoušky lze dělit z několika hledisek. Nejčastěji je dělíme podle nejdůležitějších parametrů, které významně ovlivňují mechanickou zkoušku. Mechanické zkoušky lze dělit podle: [1]

Teploty, za které zkoušky probíhají:

- Za okolní teploty (rozumí se teploty cca 20°C)
- Za zvýšené teploty
- Za snížené teploty [1]

Rychlosti deformace:

- Statické zkoušky – rychlost zatížení pomalu narůstá

- Cyklické zkoušky – zkušební těleso je cyklicky namáháno, Rychlost zkoušení se udává v počtech cyklů za jednotku času.
- Dynamické rázové zkoušky – zatížení probíhá jednorázově do porušení tělesa v čase několik ms. [3]

Napět'ového stavu, který v tělese při zkoušce vzniká:

- Jednoosá napjatost – klasické zkoušky jako tah, tlak, ohyb apod.
- Rovinná napjatost – zkoušky stříhem, smykem, přetlakem apod.
- Prostorová napjatost – zkoušky těles s vruby a trhlinami, kombinace namáhání (např. tah a krut, ohyb a krut apod.) [3]

3.1 Tahová zkouška

Používá se pro stanovení tahových vlastností pryže z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Vyhodnocovanými vlastnostmi mohou být pevnost v tahu, tažnost, napětí při dané deformaci a prodloužení při daném napětí. Předmětem zkoušky je také specifikace a stanovení hodnot při mezi kluzu. [4]

3.1.1 Podstata zkoušky

Standardní zkušební tělesa, buď ve tvaru oboustranných lopatek nebo kroužků, jsou protahována v trhacím stroji konstantní rychlostí v upínacích čelistech nebo na kladkách. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení, potřebné k hodnocení požadovaných charakteristik protahovaných zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku protržení. [4]

3.1.2 Měřené veličiny

Pro zkušební tělesa ve tvaru oboustranných lopatek

Napětí v tahu, S: napětí způsobující protažení zkušebního tělesa. Vypočítává se jako použitá síla, vztažená na jednotku plochy původního příčného průřezu v pracovní části zkušebního tělesa.

Prodloužení, E: protažení vzniklé působením napětí v tahu na zkušební těleso, vyjádřené v procentech délky pracovní části.

Pevnost v tahu, TS: maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušebního tělesa do okamžiku přetržení (viz obrázky 7a) až 7c)).

$$TS = \frac{F_m}{W_t} [MPa] \quad (2)$$

Pevnost v tahu při přetržení TS_b : tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení (viz obrázky 7a) až 7c)).

$$TS_b = \frac{F_b}{W_t} [MPa] \quad (3)$$

Tažnost, E_b : tahová deformace pracovní délky zkušební tělesa v okamžiku přetržení (viz obrázky 7a) až 7c)).

$$E_b = \frac{100 \cdot (L_b - L_0)}{L_0} [\%] \quad (4)$$

Prodloužení při daném napětí, E_s : tahová deformace pracovní části zkušební tělesa při dosažení dané hodnoty tahového napětí.

$$E_s = \frac{100 \cdot (L_s - L_0)}{L_0} [\%] \quad (5)$$

Napětí při daném prodloužení, S_e : tahové napětí způsobující dané prodloužení pracovní části zkušební tělesa.

$$S_e = \frac{F_e}{W_t} [MPa] \quad (6)$$

Mez kluzu, S_y : tahové napětí v prvním bodě křivky napětí-deformace, kdy další zvětšování deformace probíhá bez jakéhokoliv zvětšování napětí. Tento bod je buď inflexním bodem křivky (viz obrázek 7b)), nebo je maximem křivky (viz obrázek 7c)).

$$S_y = \frac{F_y}{W_t} [MPa] \quad (7)$$

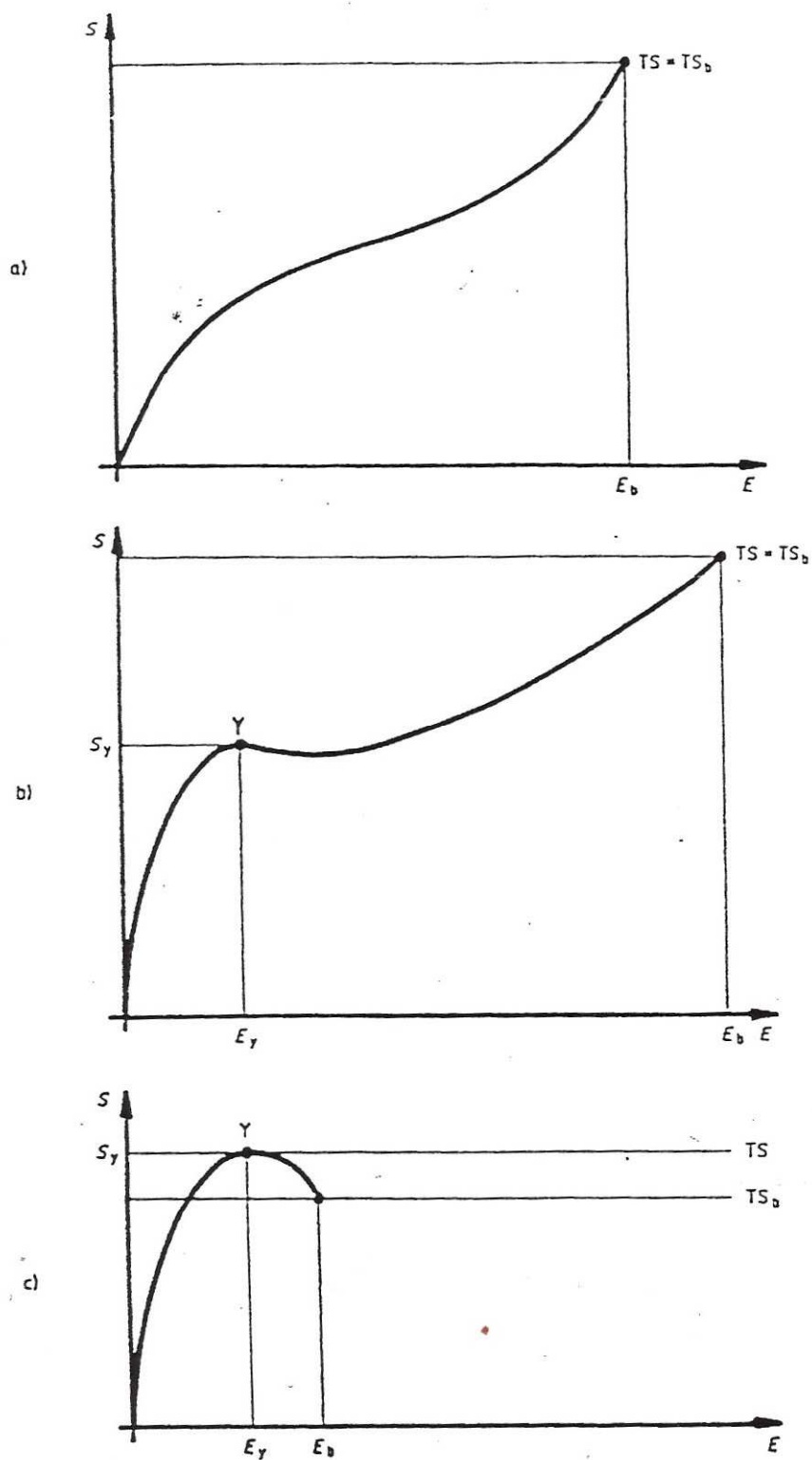
Prodloužení při mezi kluzu, E_y : tahová deformace v prvním bodě křivky napětí deformace, kdy další zvětšování deformace není provázeno zvětšováním napětí (viz obrázky 7b) a 7c)).

$$E_y = \frac{100 \cdot (L_y - L_0)}{L_0} [\%] \quad (8)$$

Délka pracovní části zkušebního tělesa tvaru oboustranných lopatek: počáteční vzdálenost mezi označenými body, určujícími v zúžené části zkušebního tělesa tvaru oboustranné lopatky pracovní část a používanými pro měření prodloužení (viz obrázek 8)

Symboly použité ve vztazích:

F_m	maximální zaznamenaná síla (N)
F_b	síla zaznamenaná při přetržení (N)
F_e	síla odečtená při dané deformaci (N)
F_y	síla zaznamenaná při kluzu (N)
W	šířka zúžené části vysekávacího nože (mm)
t	tloušťka pracovní části (mm)
L_b	délka pracovní části při přetržení (mm)
L_s	délka pracovní části při daném napětí (mm)
L_y	délka pracovní části při kluzu (mm)
L_0	počáteční délka pracovní části (mm)



Obr. 7 zobrazení tahových charakteristik [4]

3.1.3 Zkušební tělesa

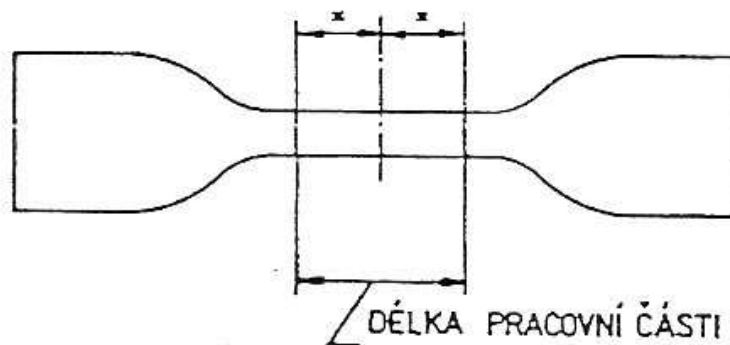
- Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek

Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek mají obrys uvedený na obrázku 3.

Standardní tloušťka zúžené části musí být $2,0\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$ pro typy 1, 2 a 3 a $1,0\text{mm} \pm 0,1$ pro typ 4.

Délka pracovní části musí odpovídat tabulce 1. Ostatní rozměry lopatek jsou dány příslušným sekacím nožem (viz tabulka 2).

Pro nestandardní zkušební tělesa, odebíraná např. z hotových výrobků, může být maximální tloušťka zúžené části $3,0\text{ mm}$ pro typ 1; $2,5\text{ mm}$ pro typy 2 a 3 a $2,0\text{ mm}$ pro typ 4. [4]



Obr. 8 tvar oboustranných lopatek [4]

- Počet zkušebních těles

Zkoušena musejí být minimálně 3 zkušební tělesa

- Označování zkušebních těles tvaru oboustranných lopatek

Při používání bezkontaktního průtahoměru je nutné definovat na oboustranných lopatkách vhodným značkovačem dvě referenční rysky vymezující pracovní délku podle tabulky 2.

Při označování nesmí být zkušební tělesa zdeformována. Vyznačené rysky musejí být umístěny v zúžené části zkušební tělesa, tak jak je uvedeno na obrázku 3, tj. rovnoměrně od středu zkušební tělesa a v pravém úhlu k jeho podélné ose. [4]

Tab. 2 Délka pracovní části oboustranných lopatek [4]

Typ zkušebního tělesa	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Délka pracovní části	25,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5	10,0 ± 0,5	10,0 ± 0,5

3.1.3.1 Hlediska pro výběr tvaru zkušebních těles

Hlavními hledisky pro výběr zkušebních těles tvaru kroužků nebo oboustranných lopatek jsou:

- Pevnost v tahu

Pro stanovení pevnosti v tahu jsou vhodnější spíše zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek. Kroužky poskytují nižší, někdy mnohem nižší, hodnoty než oboustranné lopatky.

- Tažnost

Kroužky poskytují přibližně stejné hodnoty jako oboustranné lopatky za předpokladů, že:

- prodloužení kroužků je vypočítáno v procentech z jejich počátečního vnitřního obvodu.
- oboustranné lopatky jsou vysekány kolmo na směr orientace, pokud je vyznačen.

Oboustranné lopatky jsou používány tehdy, je-li požadováno sledování vlivu orientace, k čemuž kroužky jako zkušební tělesa nejsou vhodné.

- Prodloužení při daném napětí a napětí při daném prodloužení.

Přednostně jsou doporučována zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek typ 1 a 2, která by, pokud je to možné, měla sloužit ke specifikačním účelům.

Kroužky a oboustranné lopatky poskytují přibližně stejné hodnoty za předpokladu, že:

- prodloužení u kroužků je vypočítáno v procentech z jejich počátečního středního obvodu
- u oboustranných lopatek jsou určovány průměrné hodnoty z těles vysekávaných podél a kolmo na směr orientace, pokud je vyznačen.

Zkušební tělesa tvaru kroužků jsou pro snazší manipulaci a snazší stanovení napětí při dané deformaci používána přednostně při automatizovaném provádění zkoušek. [4]

- Malá zkušební tělesa mohou oproti velkým zkušebním tělesům poskytovat poněkud odlišné, obvykle vyšší hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti.

Je možné používat šest typů zkušebních těles, tj. tělesa tvaru oboustranných lopatek typů 1, 2, 3 a 4 a tvaru kroužků typů A (normální) a B (malý). Výsledky získané u daného materiálu budou pravděpodobně kolísat v závislosti na použitém typu zkušebního tělesa a výsledky získané u různých materiálů nemohou proto být považovány za srovnatelné, pokud není použit stejný typ zkušebních těles.

Vyžaduje-li příprava zkušebních těles jejich broušení nebo úpravu tloušťky, mohou tím být výsledky ovlivněny. [4]

Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek typu 3 a 4 a kroužku B mohou být použita pouze v případě nedostatečného množství materiálu pro přípravu velkých zkušebních těles.

Malá zkušební tělesa jsou výhodná hlavně pro zkoušení hotových výrobků a jsou předepsána v některých výrobových normách, Např. oboustranné lopatky typu 3 jsou předepsány pro zkoušení těsnících kroužků pro potrubí a u kabelů. [4]

3.1.3.2 Příprava zkušebních těles

- Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek

Zkušební tělesa musejí být připravena některou z vhodných metod popsanych v ISO 4661-1. Pokud je to možné, mají být lopatky vysekávány ve směru orientace materiálu, jestliže není sledován její vliv. V takovém případě musí být soubor oboustranných lopatek vyseknut také kolmo na směr orientace. [4]

3.1.3.3 Kondicionování vzorků a zkušebních těles

- Doba mezi vulkanizací a zkoušením

Časový interval mezi vulkanizací a zkoušením musí být v souladu s ISO 1826. Pro všechny účely zkoušení musí být minimální doba mezi vulkanizací a zkoušením 16 h.

Maximální doba mezi vulkanizací a zkoušením, pokud se nejedná o zkoušení výrobků, musí být 4 týdny. V těch případech, kdy je záměrem hodnocení porovnání materiálů, musejí být zkoušky podle možnosti provedeny po stejném časovém intervalu.

V případě zkoušení výrobků nemá doba mezi vulkanizací a zkoušením, pokud je to možné, přesáhnout 3 měsíce. V jiných případech může být zkoušení uskutečněno do 2 měsíců od data převzetí výrobku zákazníkem. [4]

- Ochrana vzorků a zkušebních těles

Vzorky a zkušební tělesa musejí být v době mezi vulkanizací a zkoušením co nejdokonaleji chráněny proti působení vnějších vlivů, které by mohly způsobit jejich poškození např. působením světla a tepla. [4]

- Kondicionování vzorků

Kondicionování všech vzorků, s výjimkou vzorků z latexu, se provádí podle ISO 471 při standardní teplotě bez regulace vlhkosti po dobu nejméně 3 h před vysekáváním zkušebních těles.

Kondicionování všech vzorků připravených z latexu, se provádí podle ISO 471 při standardní teplotě, s regulací vlhkosti, po dobu nejméně 96 h před vysekáváním zkušebních těles. [4]

- Kondicionování zkušebních těles

Kondicionování zkušebních těles se provádí podle ISO 471. Je-li součástí výroby těles také broušení, doba mezi broušením a zkoušením musí být nejméně 16 h nejvíce 72 h.

U zkoušek při standardní teplotě, jestliže není požadována další úprava zkušebních těles, mohou být zkoušena ihned po vyseknutí z kondicionovaných vzorků. V případě dodatečné úpravy musí následovat kondicionování zkušebních těles 3 h při standardní teplotě.

U zkoušek při jiných teplotách než standardních jsou podmínky temperování zkušebních těles při těchto teplotách a potřebné doby do dosažení rovnováhy jednotlivých zkušebních těles s prostředím uvedeny v ISO 33383. [4]

3.1.3.4 Měření zkušebních těles

- Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek

Tloušťkoměrem se změří tloušťka ve středu a na každém konci pracovní délky. Pro výpočet plochy příčného průřezu se použije hodnota mediánu těchto tří měření. U každé jednotlivé lopatky se nesmí žádná z těchto tří tloušťek, měřených v zúžené části, lišit od mediánu tloušťky o více než 2%. Jsou-li srovnávány dva soubory zkušebních těles, medián tloušťky každého souboru se nesmí lišit od společného mediánu tloušťky obou souborů o více než 7,5%. Šířka zkušebních těles musí být brána jako vzdálenost řezných hran vysekávacího nože v jeho zúžené části a tato vzdálenost musí být dodržena podle ISO 4661-1 s přesností 0,05mm [4]

3.1.4 Zkušební zařízení

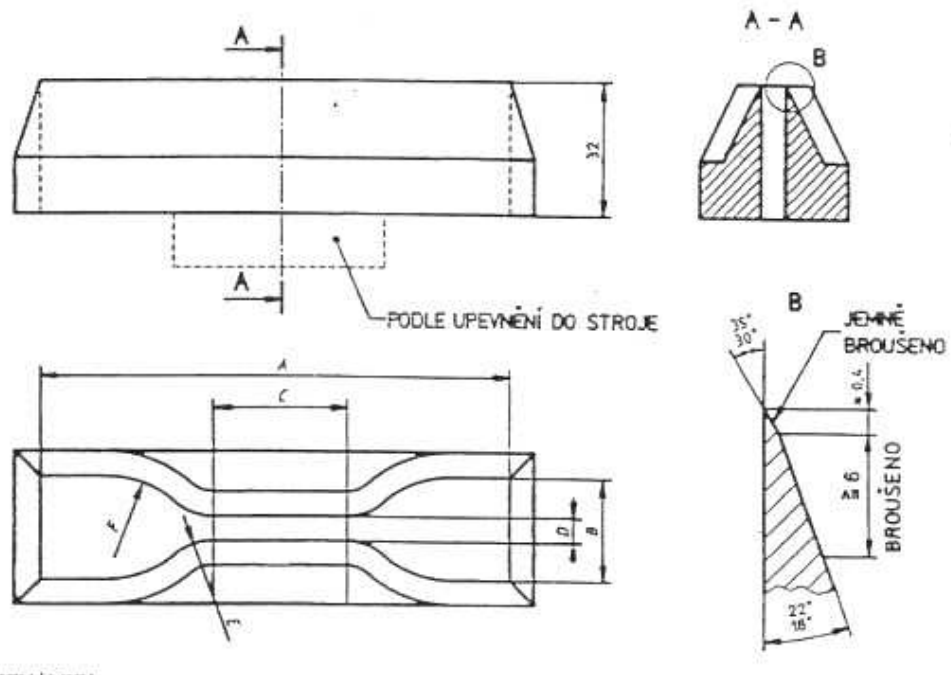
- Vysekávací a vyřezávací nože

Všechny vysekávací a vyřezávací nože musejí odpovídat ISO 4661-1. Vysekávací nože pro přípravu oboustranných lopatek musejí mít rozměry uvedené v tabulce 3 a na obrázku 4. Odchyłka šířky od vzdálenosti břitů v zúžené části nože nesmí v žádném bodě přesáhnout 0,05 mm od dané šířky. [4]

Tab. 3 Rozměry vysekávacích nožů pro zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek [4]

Rozměr	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
A Celková délka (minimální)	115	75	50	35
B Šířka lopatek	25,0±1,0	12,5±1,0	8,5±0,5	6,0±0,5
C Délka zúžené části	33,0±2,0	25,0±1,0	16,0±1,0	12,0±0,5
D Šířka zúžené části	6,0 ^{+0,4} _{0,0}	4,0±0,1	4,0±0,1	2,0±0,1
E Přejíhový poloměr (vnější)	14,0±1,0	8,0±0,5	7,5±0,5	3,0±0,1
F Přejíhový poloměr (vnitřní)	25,0±2,0	12,5±1,0	10,0±0,5	3,0±0,1

Větší celková délka může být nutná pro zajištění, aby do kontaktu s čelistmi stroje přicházeli jenom rovnoběžné části rozšířených konců, což zabraňuje trhání zkušebních těles v rozšiřujících částech.



Obr. 9 Vysekávací nůž pro zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek [4]

- Tloušťkoměr

Přístroj pro měření tloušťky zkušebních těles tvaru oboustranných lopatek a axiální tloušťky zkušebních těles tvaru kroužků musí odpovídat požadavkům metody A v ISO 4648:1991. [4]

Přístroj pro měření radiální šířky zkušebních těles tvaru kroužků musí být obdobou výše uvedeného zařízení a kontaktní a základová destička musejí být tvarovány do tvaru vhodného pro zakřivenost kroužku. [4]

- Kuželový kalibr

K měření vnitřního průměru zkušebních těles tvaru kroužků musí být použit kalibrovaný kuželový trn nebo jiné vhodné zařízení. Zařízení musí být schopno měřit průměry s chybou menší než 0,01 mm. Způsob posouvání měřeného kroužku musí být takový, aby nedošlo k žádné znatelné změně měřeného rozměru. [4]

- Trhací stroj

Trhací stroj musí vyhovovat požadavkům ISO 5893:1993; v přesnosti měřené síly musí odpovídat stupni A a v případě používání průtahoměru přesnosti stupně D' u oboustranných lopatek typu 1 a 2 a kroužků typu A a stupni E' pro oboustranné lopatky typu 3 a 4 a kroužky typu B. Rychlost posuvu příčnicku musí být možno nastavit minimálně na hodnoty 100 mm/min, 200 mm/min a 500 mm/min a doporučuje se vybavení stroje možností automatického grafického záznamu napětí a deformace.

Pro zkoušení při jiné než standardní laboratorní teplotě, musí být trhací stroj vybaven vhodnou temperanční komorou. Postupy pro dosažení zvýšených nebo snížených teplot jsou uvedeny v ISO 3383. [4]

3.1.5 Postup zkoušky

- Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek

Zkušební těleso se vloží do trhacího stroje tak, aby bylo zabezpečeno symetrické upnutí rovnoběžných částí lopatek a aby byl tah rozložen rovnoměrně na příčný průřez tělesa. Pokud je to potřeba, připevní se na zkušební těleso mechanismus průtahoměru. Spustí se chod stroje a průběžně se zaznamenávají změny pracovní délky zkušebního tělesa a síly po celou dobu zkoušky s přesností $\pm 2\%$ jak je požadováno pro účely vyhodnocení.

Jmenovitá rychlost příčnicku s pohyblivou upínací čelistí musí být 500 mm/min pro zkušební tělesa typu 1 a typu 2 a 200 mm/min pro zkušební tělesa typu 3 a typu 4.

Zkušební těleso, u kterého dojde k přetržení mimo pracovní část (viz obrázek 2), musí být z hodnocení vyřazeno a zkouška se opakuje na dalším zkušebním tělese. [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

4.1 Zkoušené materiály

Pro zkoušky bylo vybráno sedm pryžových materiálů folií o různých tloušťkách. Vzorky byly zhotoveny z CIIR (halobutyl), EPDM (ethylen-propylen-dien-monomer), MVQ (silikon), NR-SRB (přírodní pryž-styren-butadien).

Tab. 4 Vlastnosti vybraných materiálů

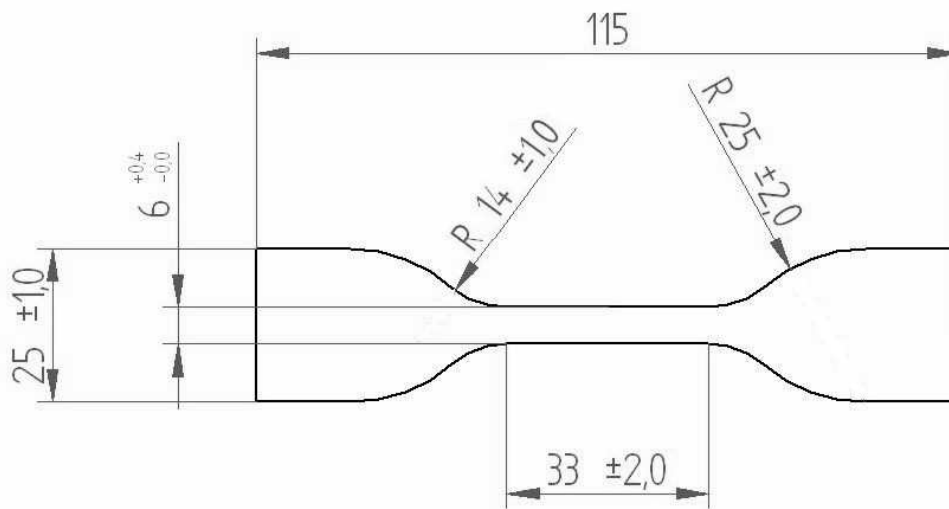
vzorek	Materiál folie	Hustota [g/mm ³]	Maximální teplota [°C]	Cena [kč/m ²]	Zdroj
1	pryžová deska 1 mm CIIR	1,22	130	405	nákup
2	pryžová deska 1 mm EPDM	1,11	140	294	nákup
3	pryžová deska 1 mm CIIR	1,3	180	720	výroba
4	pryžová deska 1 mm MVQ	1,2	230	886	nákup
5	pryžová deska 1 mm MVQ	1,2	230	986	nákup
6	pryžová deska 0,5 mm NR-SBR	1,1	90	450	Semperit
7	pryžová deska 2 mm MVQ	1,2	180	1200	výroba



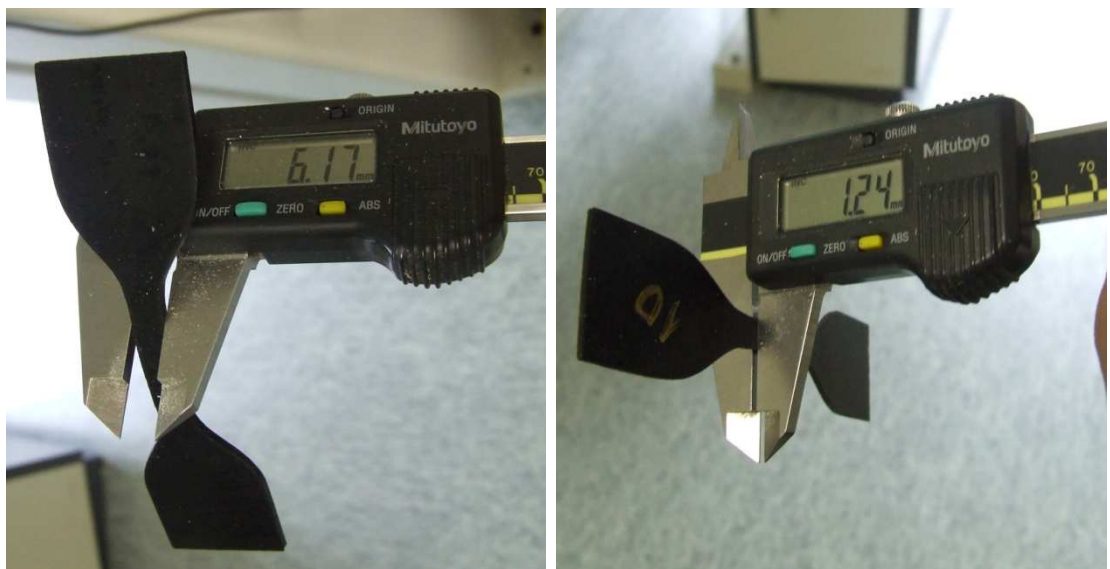
Obr. 10 Připravené zkušební vzorky

4.2 Rozměry zkušebních těles

Pro tahovou zkoušku byla použita standardní zkušební tělesa ve tvaru oboustranných lopatek rozměrového typu 1 dle normy ČSN EN ISO 37



Obr. 11 Náčrt zkušebního tělesa (typ1) dle ČSN ISO 37



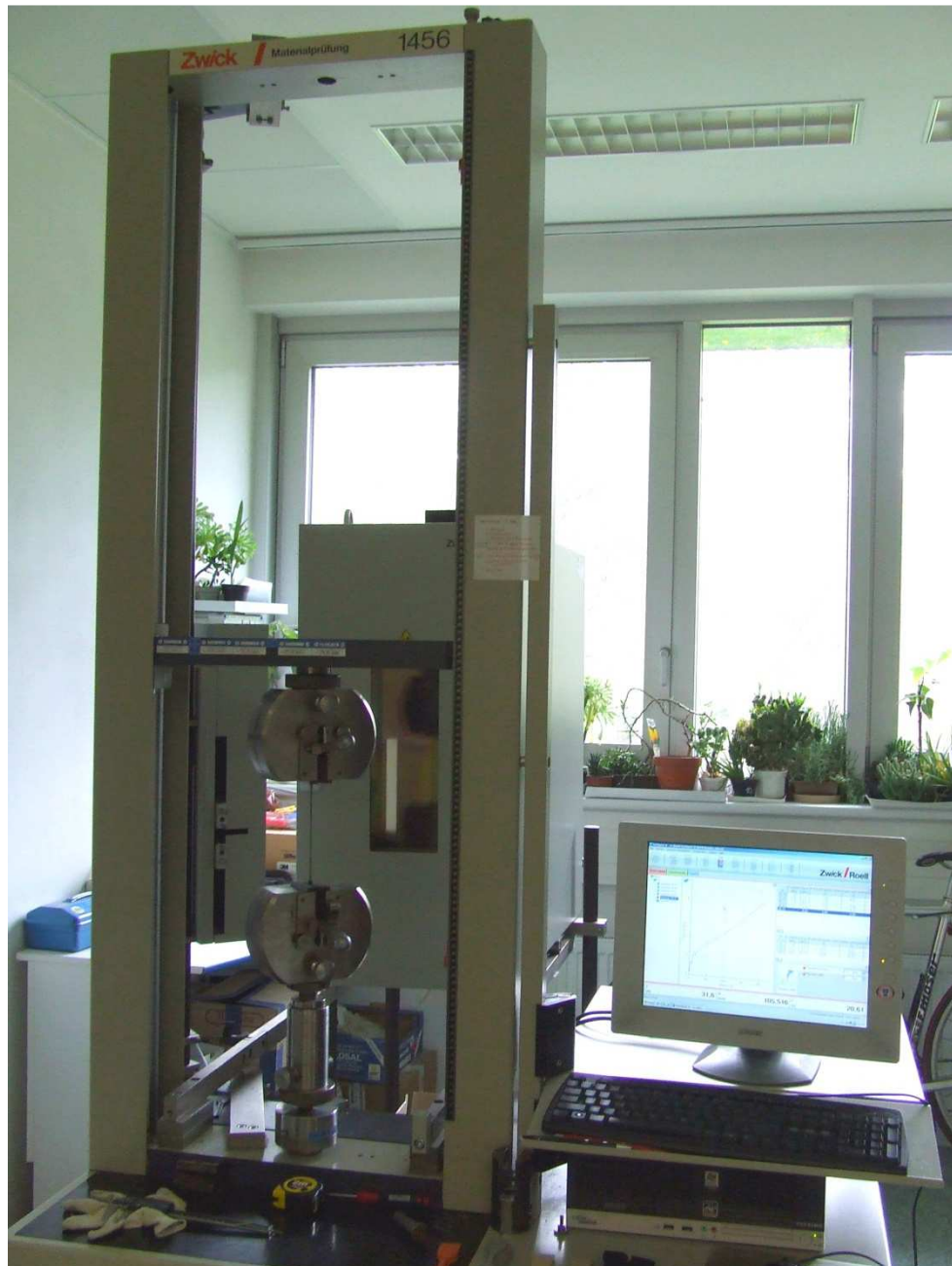
Obr. 12 Kontrolní měření zkušebních vzorků

5 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY

5.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem se provádí na univerzálním zkušebním stroji ZWICK 1456, který je propojen s osobním počítačem vybaveným programem testExpert.

Tento program umožňuje vyhodnocení měřených veličin spolu s tahovým diagramem.

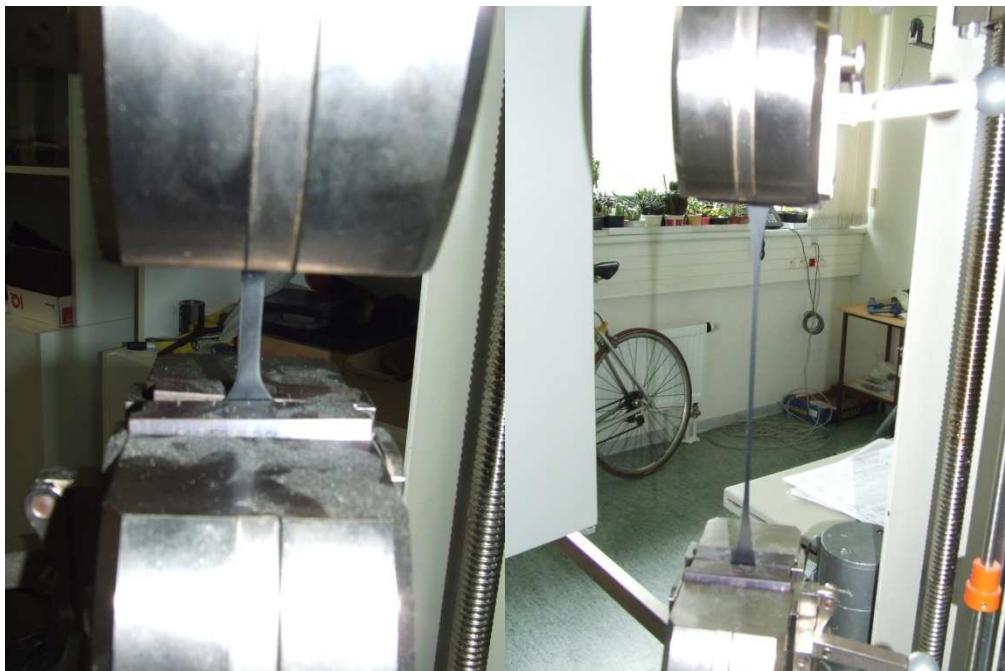


Obr. 13 Zkušební stroj ZWICK 1456

Parametry univerzálního zkušebního stroje ZWICK 1456

- Maximální posuv příčnicku: 800mm/min
- Snímače síly: 2,5 a 20kN
- Teplotní komora: -80 - +250°C
- testExpert software: tah/ohyb/tlak

Bylo testováno sedm sérií různých vzorků po osmi kusech. Ke každé sérii je uveden tahový diagram (závislost pevnosti v tahu T_S na tažnosti E_b) a tabulka naměřených veličin (napětí (modul) při daném prodloužení 100% S_e (MPa), pevnost v tahu T_S (MPa), tažnost E_b (%), práce nutná k přetržení tělesa W_{TS} (Nmm)), ke kterým je vypočítán aritmetický průměr (\bar{x}), směrodatná odchylka (SMODCH) a variační koeficient (V). Po vyhodnocení zkoušky se vyberou dva materiály s vlastnostmi nejvhodnějšími pro zkoušku tvarovatelnosti.

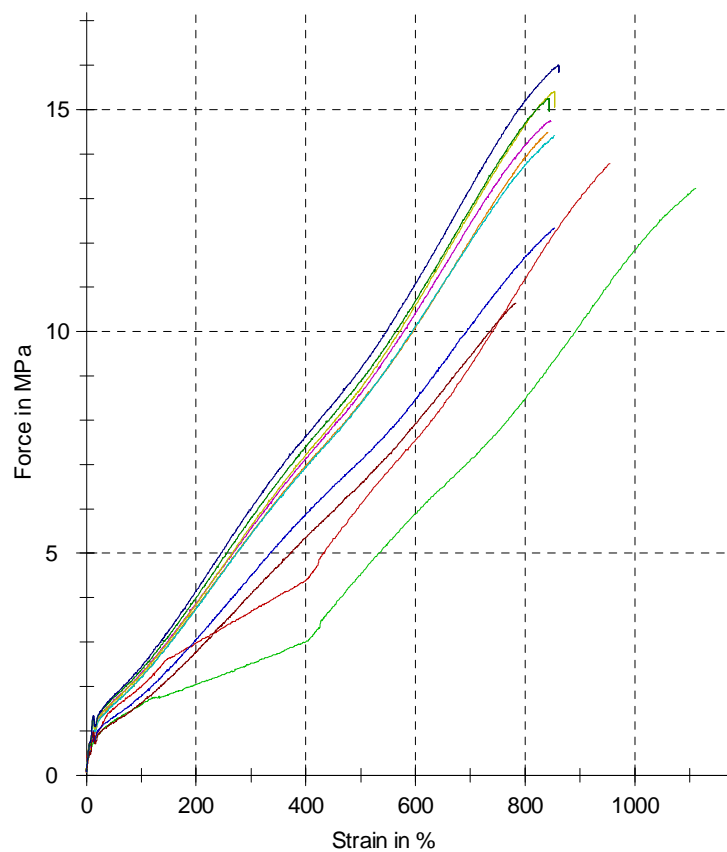


Obr. 14 Průběh tahové zkoušky

5.1.1 Vzorek 1. - pryžová deska 1mm CIIR

Tab. 5 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 1

vzorek 1.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	2,38	15,30	843,70	25806,56
2	2,44	16,00	861,70	27842,93
3	1,78	12,30	852,80	20826,56
4	2,21	14,50	840,70	24212,94
5	2,30	14,80	845,30	25118,20
6	2,20	14,40	852,30	24754,58
7	2,26	15,40	852,80	25994,63
8	1,62	10,60	782,30	26222,65
\bar{x}	2,08	14,00	879,50	23967,08
SMODCH	0,31	1,61	91,20	3601,85
V	15,15	11,46	10,37	42,87

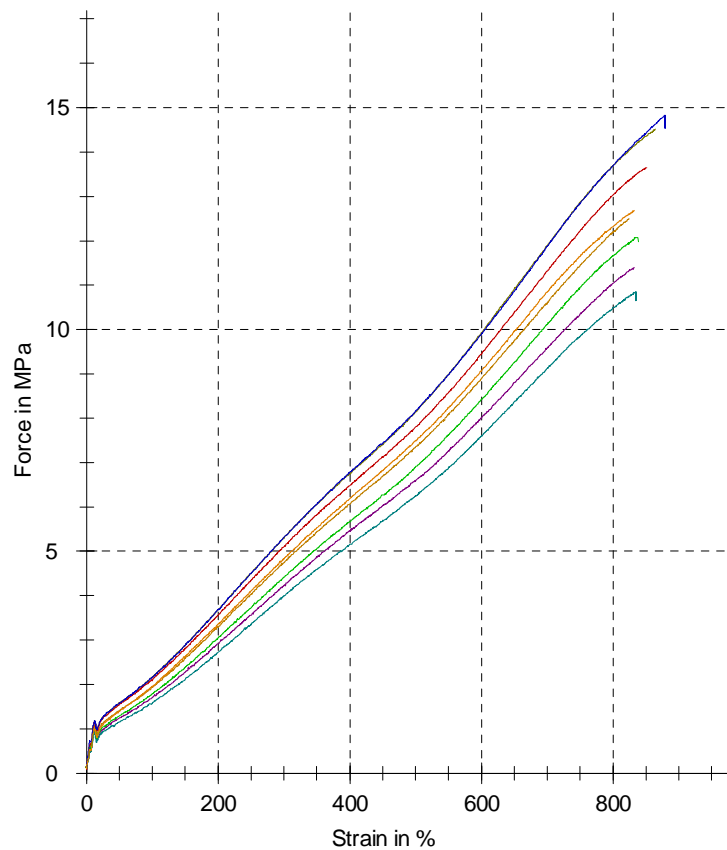


Obr. 15 Tahový diagram vzorku 1

5.1.2 Vzorek 2. – pryžová deska 1mm EPDM

Tab. 6 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 2

vzorek 2.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	1,95	12,50	824,30	23558,02
2	1,69	11,40	832,00	21551,61
3	1,57	10,80	834,90	20547,43
4	2,16	14,50	864,40	28897,98
5	2,08	13,70	851,20	26817,43
6	1,79	12,10	835,10	22795,97
7	2,16	14,80	879,20	29882,04
8	1,95	12,70	832,30	24423,90
\bar{x}	1,92	12,80	844,20	24809,30
SMODCH	0,22	1,43	19,00	3402,24
V	11,39	11,13	2,26	13,71

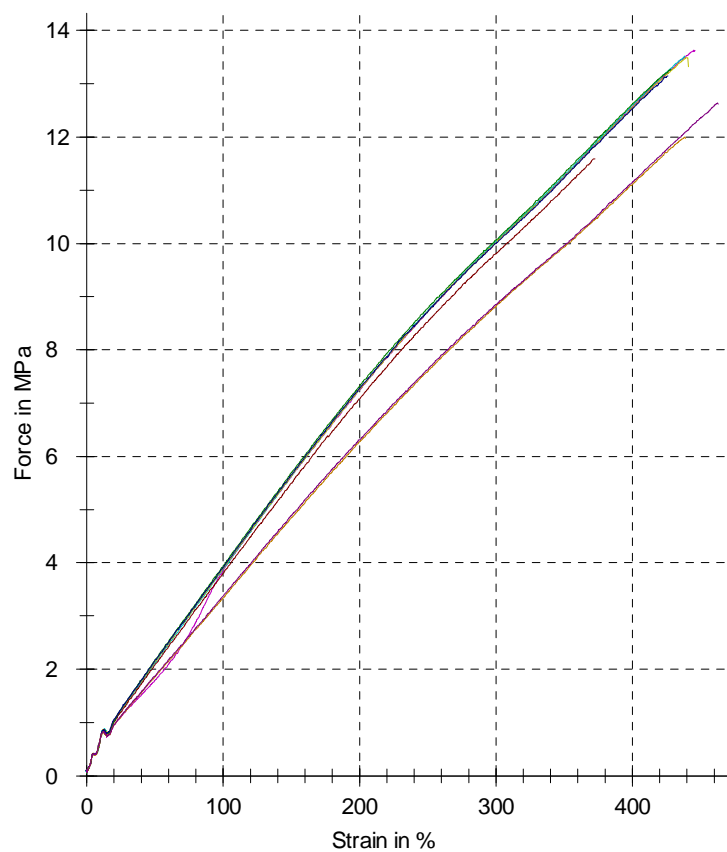


Obr. 16 Tahový diagram vzorku 2

5.1.3 Vzorek 3. – pryžová deska 1mm CIIR

Tab. 7 Délka Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 3

vzorek 3.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	3,85	13,60	444,90	19997,46
2	3,88	13,50	438,50	19627,88
3	3,89	13,50	440,30	19753,08
4	3,80	11,60	372,30	14251,26
5	3,93	13,30	428,80	18950,10
6	3,90	13,10	425,90	18607,92
7	3,33	12,00	438,40	17172,78
8	3,37	12,60	462,50	19047,99
\bar{x}	3,74	12,90	431,40	18426,06
SMODCH	0,25	0,76	26,30	1903,71
V	6,56	5,88	6,11	10,33

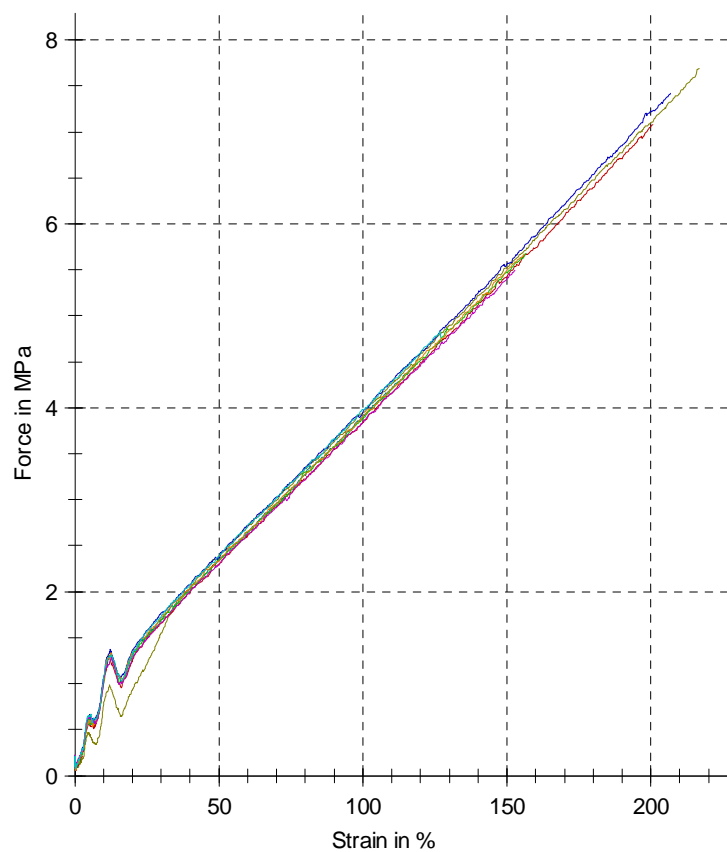


Obr. 17 Tahový diagram vzorku 3

5.1.4 Vzorek 4. – pryžová deska 1mm MVQ

Tab. 8 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 4

vzorek 4.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	3,91	4,48	118,90	1922,05
2	3,94	7,69	216,60	2692,23
3	3,85	7,08	200,60	2318,21
4	3,88	5,68	156,60	1493,82
5	3,96	7,42	206,90	2523,90
6	3,90	5,67	155,90	1487,54
7	3,84	5,50	152,90	1414,84
8	3,98	4,83	126,80	1051,58
\bar{x}	3,91	6,04	166,90	1738,02
SMODCH	0,05	1,20	36,90	679,13
V	1,31	19,93	22,12	39,08

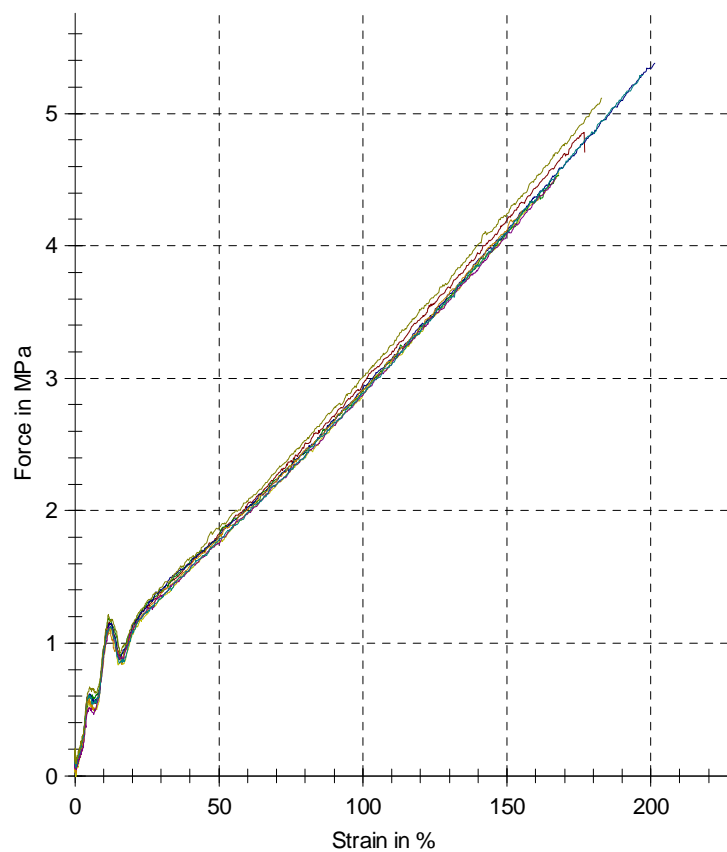


Obr. 18 Tahový diagram vzorku 4

5.1.5 Vzorek 5. – pryžová deska 1mm MVQ

Tab. 9 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 5

vzorek 5.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	2,87	4,55	168,10	1401,23
2	2,95	4,86	176,70	1580,98
3	2,90	4,53	167,70	1419,00
4	2,92	5,38	201,40	1972,17
5	2,91	4,26	155,20	1231,71
6	2,87	4,51	166,80	1386,89
7	2,89	5,29	196,20	1878,99
8	3,01	5,12	182,90	1709,60
\bar{x}	2,91	4,81	176,90	1569,30
SMODCH	0,05	0,41	15,80	259,19
V	1,62	8,53	8,92	16,52

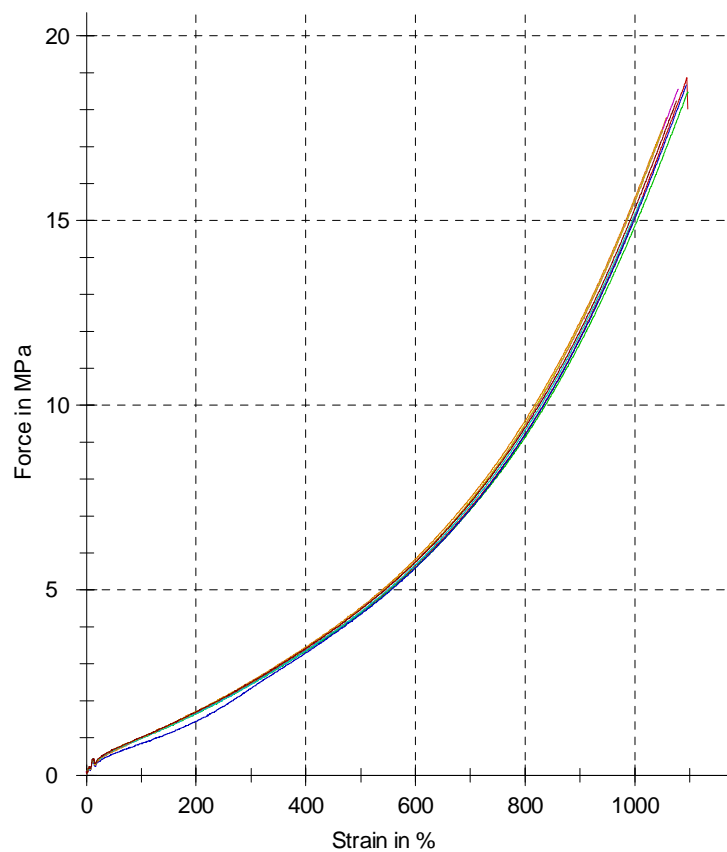


Obr. 19 Tahový diagram vzorku 5

5.1.6 Vzorek 6. – pryžová deska 0,5mm NR-SRB

Tab. 10 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 6

vzorek 6.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	1,01	18,90	1095,30	46526,62
2	0,99	18,50	1096,10	46023,63
3	0,85	18,70	1094,00	45752,22
4	1,01	17,80	1057,90	43410,51
5	1,00	18,60	1078,60	45505,28
6	0,99	15,60	1013,00	37350,82
7	1,01	17,40	1050,50	42229,32
8	1,02	18,20	1075,70	44839,19
\bar{x}	0,98	18,00	1070,10	43954,70
SMODCH	0,06	1,05	28,70	3028,37
V	5,75	5,86	2,69	6,89

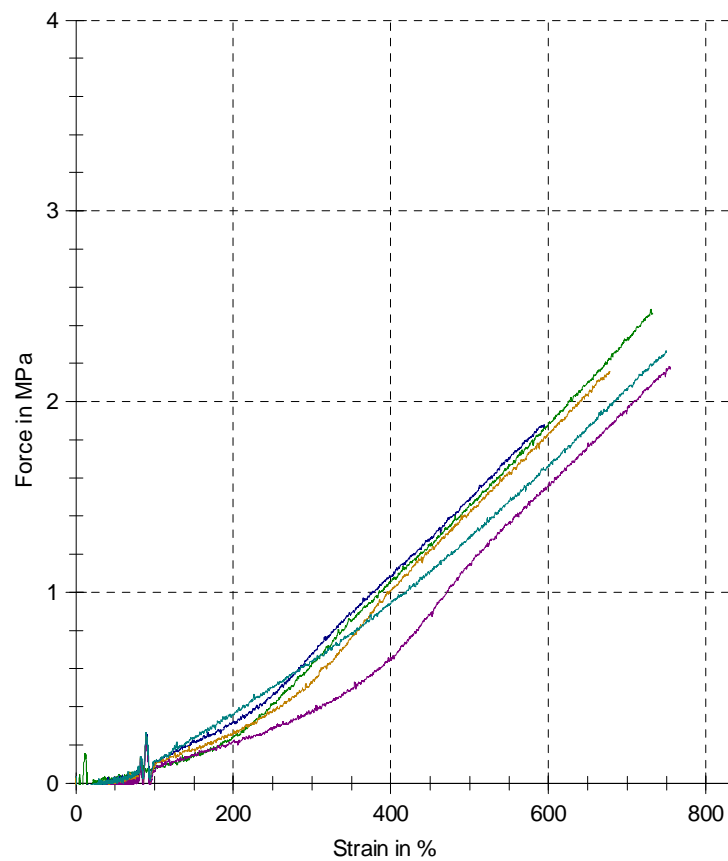


Obr. 20 Tahový diagram vzorku 6

5.1.7 Vzorek 7. – pryžová deska 2mm MVQ

Tab. 11 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 7

vzorek 5.	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	0,08	2,49	732,20	3871,52
2	0,11	1,88	594,60	2411,87
3	0,10	2,16	678,20	3096,87
4	0,07	2,19	755,00	3262,97
5	0,11	2,27	749,70	3811,79
\bar{x}	0,09	2,19	700,90	3291,00
SMODCH	0,02	0,22	66,80	595,73
V	20,74	9,96	9,53	18,10



Obr. 21 Tahový diagram vzorku 7

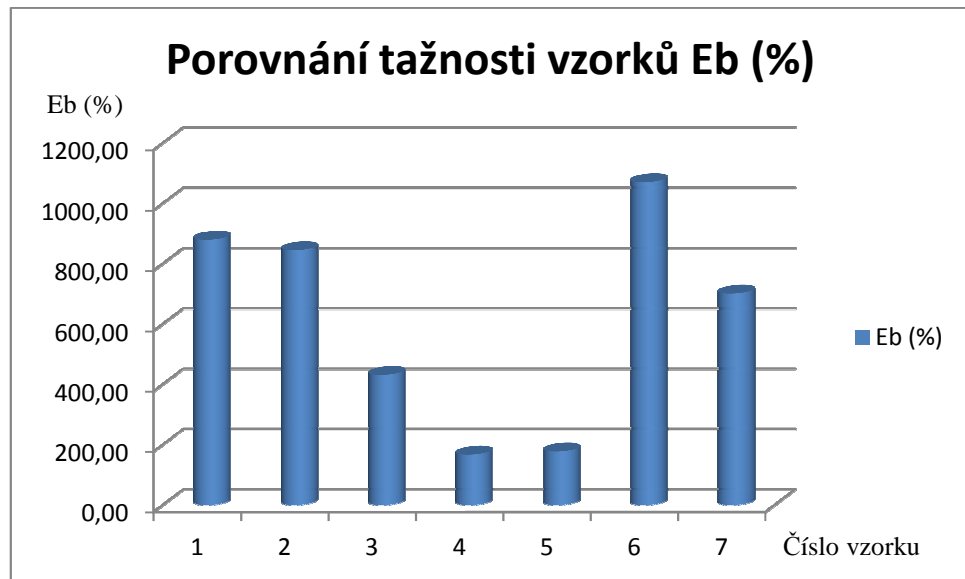
5.1.8 Vyhodnocení tahové zkoušky

Tab. 12 porovnání naměřených hodnot sérií

Vzorek	Materiál Folie	Se (Mpa)	TS (Mpa)	Eb (%)	W _{TS} (Nmm)
1	pryžová deska 1 mm CIIR	2,08	14,00	879,50	23967,08
2	pryžová deska 1 mm EPDM	1,92	12,80	844,20	24809,30
3	pryžová deska 1 mm CIIR	3,74	12,90	431,40	18426,06
4	pryžová deska 1 mm MVQ	3,91	6,04	166,90	1738,02
5	pryžová deska 1 mm MVQ	2,91	4,81	176,90	1569,30
6	pryžová deska 0,5 mm NR-SBR	0,98	18,00	1070,10	43954,70
7	pryžová deska 2 mm MVQ	0,90	2,19	700,90	3291,00



Obr. 22 Porovnání pevnosti v tahu TS vzorků



Obr. 23 Porovnání tažnosti Eb vzorků

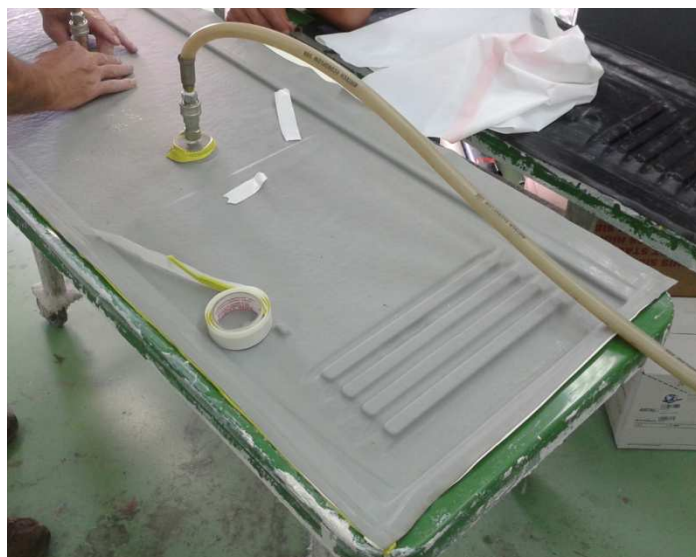
Závěr:

Z výsledků tahové zkoušky byly vybrány dva vzorky pryžových materiálů s nejlepšími vlastnostmi pro zkoušku tvarovatelnosti ve formě. Staly se jimi vzorek číslo 1 pryžová deska 1mm CIIR (Halobutyl), který disponuje druhou nejvyšší pevností v tahu $TS=14\text{MPa}$ a druhou největší tažností $Eb=879,5\%$. Druhým vybraným vzorkem se stal vzorek číslo 6 pryžová deska 0,5mm NR-SRB (přírodní pryž-styren-butadien), který disponuje nejvyšší pevností v tahu $TS=18\text{MPa}$ a největší tažností $Eb=1070,1\%$. V tahové zkoušce dopadly nejhůře silikonové materiály MVQ (vzorky 4,5,7), které vykazují nejmenší pevnost v tahu (7. Pryžová deska 2mm MVQ $TS=2,19\text{MPa}$) a nejmenší tažnost (4. Pryžová deska 1mm MVQ $Eb=166,9\%$).

5.2 Elasticita a tvarová paměť pryžových folií (membrán)

V rámci testování pryžových folií (membrán) vybraných pomocí výsledků tahové zkoušky, byly vykonány prvotní testy tvarovatelnosti membrán na konkrétní formě. Forma byla plošného charakteru na její funkční ploše se nachází několik tvarových výstupků vysokých cca. 20mm. Forma má technologickou plochu po obvodě širokou cca. 30 až 50mm, její plocha je cca. 1,2m².

Tvarování membrán se vykonalo pomocí vakua, pro utěsnění se použila standardní těsnicí páska (stejná jako na utěšňování jednorázových folií), respektive kombinace těsnicí pásky s kovovým rámem. Zkoušené materiály: pryžová deska 1mm CIIR a pryžová deska 0,5mm NR-SRB.



Obr. 24 Zkouška tvarovatelnosti pryžových membrán

Závěr:

Zkouškou tvarovatelnosti prošly oba zkoušené materiály, ale jako vhodnější byla vybrána pryžová deska 1mm CIIR (halobutyl) kvůli větší tepelné odolnosti 130°C (pryžová deska 0,5mm NR-SRB tepelná odolnost 90°C)

Na základě výsledků bylo také možné konstatovat, že folie jsou schopné tvarové deformace (dočasné nebo trvalé podle typu membrány) podle tvaru předložené formy. Protože při zkoušce nebyl použit těsnicí kovový rám, nebylo možné dosáhnout podtlak menší než -0,8 bar. Test potvrdil fakt, že membrány není možné těsnit tradičními těsnicími páskami.

5.3 Separovatelnost pryžových folií

5.3.1 Vyhodnocení separace pryskyřic dle adhezních materiálů

Pro posouzení vhodnosti-separovatelnosti jednotlivých pryžových materiálů od 2 typů používaných pryskyřic (epoxid, polyester) při použití dostupných separátorů byl zvolen následující postup.

Na zvolené vybrané materiály folií (očíslovány 1-10) byly naneseny dostupné separátory 5 typů (označeny A-E). Pro simulaci reálné deformace materiálu při kopírování tvaru formy při vakuování výrobku, byly deformovány o 30% v tahu. Na takto připravené zkušební tělesa pak byla aplikována příslušná pryskyřice. Po vytvrzení pryskyřice byl sledován separační účinek testovaných separačních činidel. Požadavkem je aby materiál folie šel co nejsnadněji oddělit od vytvrzené pryskyřice.

Při testování epoxidové pryskyřice se ukázal jako nejuniversálněji použitelný separátor s označením E, který separoval výborně všechny testované typy folií. Ostatní separátory jsou vhodné vždy jen pro některé typy materiálů, viz tab13. Pro materiál 5,7,8,9 a 10 se ukazuje, že separátory B a C nejsou vhodné. Z materiálu 9 jde epoxid. Pryskyřice sloupnout obtížně, z materiálu číslo 10 téměř vůbec.

Při deformaci folií o 30% se ukázalo, že materiál číslo 3 vykazuje po deformaci značnou separaci všech typů separátorů, na ostatních materiálech drží separátory poměrně lépe, podrobnější hodnocení je, ale obtížně proveditelné. Také separátor A vykazuje menší soudržnost s materiály číslo 5,8,9 a 10.

Separátory B, C a D způsobují deformaci-bobtnání některých materiálů viz. tabulka 13.

Při testování polyesterové pryskyřice se také ukázal jako nejuniversálněji použitelný separátor s označením E, který separoval výborně všechny testované typy folií a nezpůsobil žádné jiné problémy. Oproti epoxidové pryskyřici, však ve většině případů vyhovují víceméně i ostatní použité separátory, viz tabulka 14. Pouze materiál číslo 5 a 8 je deformován navíc samotnou polyesterovou pryskyřicí.

Tab. 13 Separovatelnost pryžových materiálů od epoxidové pryskyřice

vzorek číslo	Materiál separátor	Vyhodnocení separace				
		A	B	C	D	E
1	pryžová deska 1 mm MVQ	a	a	ad	ad	a
2	pryžová deska 2 mm MVQ	a	a	a	a	a
3	pryžová deska 0.5 mm SBR, NR	a	a	add	ad	a
4	pryžová deska 1 mm MVQ	a	a	ad	ad	a
5	pryžová deska 1 mm NBR	b	cd	cd	ad	a
6	pryžová deska 1 mm SBR, NR	a	a	add	ad	a
7	pryžová deska 1 mm SBR	b	c	c	a	a
8	pryžová deska 1 mm NBR	b	c	c	a	a
9	pryžová deska 1 mm Butyl	b	ed	ed	a	a
10	pryžová deska 1 mm CIIR	b	e	e	a	a

Tab.14 Separovatelnost pryžových materiálů od polyesterové pryskyřice

vzorek číslo	Materiál separátor	Vyhodnocení separace				
		A	B	C	D	E
1	pryžová deska 1 mm MVQ	a	a	ad	ad	a
2	pryžová deska 2 mm MVQ	a	a	a	a	a
3	pryžová deska 0.5 mm SBR, NR	a	a	add	ad	a
4	pryžová deska 1 mm MVQ	a	a	ad	ad	a
5	pryžová deska 1 mm NBR	a	a	a	ad	a
6	pryžová deska 1 mm SBR, NR	a	a	add	ad	a
7	pryžová deska 1 mm SBR	a	a,lepi	a,lepí	a	a
8	pryžová deska 1 mm NBR	a	b	a	a	a
9	pryžová deska 1 mm Butyl	a,lepkavé	b	b	a	a
10	pryžová deska 1 mm CIIR	a	b,lepkavé	b	a	a

Kde:

a- výborně. b- velmi dobře. c- dobře, d-deformuje pryž.desku, e-obtížně,

dd-velká deformace

testované separátory:

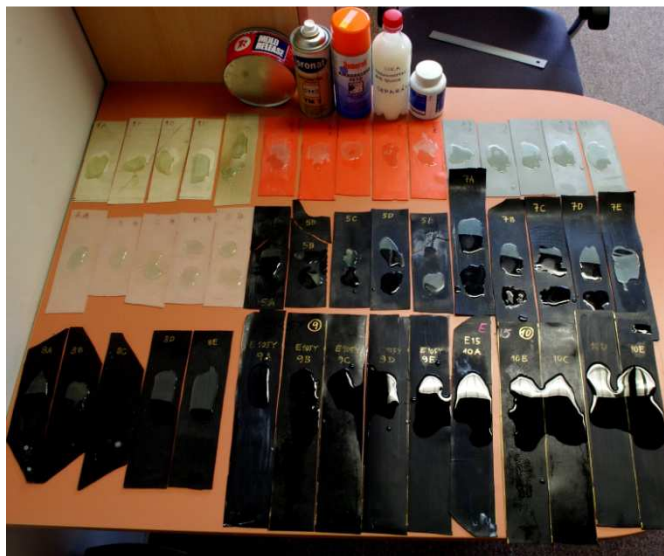
A=TR Mold release wax 105

B=ipronat trennmittel TM7

C=amberklee FE 10

D=sika trennmittel B15 quick

E=včelí vosk+benzín



Obr. 25 Testování separovatelnosti pryžových folií

Závěr: Jako nejuniverzálněji použitelný separátor je stanovený typ E.

6 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ VAKUOVÝCH FOLIÍ (MEMBRÁN)

6.1 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Výrazně vyšší produktivita práce při vakuování a utěsňování
- Menší nároky na manuální zručnost pracovníků
- Široká teplotní a materiálová odolnost
- Nižší náklady na vakuovací materiály

Nevýhody:

- Potřeba použití rámu při utěsňování (nedá se těsnit těsnícími páskami)
- Specifická a náročnější konstrukce formy
- Technologická náročnost výroby těsnícího rámu
- Omezené tvarové použití (nevhodné pro negativní tvary)
- Nutnost skladování, údržby a ochrany membrány
- Využití jenom při vyšších sériích

6.2 Jednorázové folie versus pryžové folie (membrány)

Vakuovací membrány jsou schopny některé nevýhody jednorázových folií eliminovat. Využitím jejich lepších mechanických vlastností můžeme vakuové membrány používat o mnoho déle než jednorázové folie, celková životnost membrán se odhaduje na desítky kusů. Také je musíme spojovat jinými složitějšími způsoby. Vyšší cena membrán i náklady na výrobu instalačního rámu výrazně zvyšují celkové investiční náklady na výrobu náradí. Tyto zvýšené náklady však mohou být refundovány v podobě zefektivnění varovacího procesu až o 75%. Pro vytvrzovací teploty do 120°C jsou ceny varovacích folií na bázi polyolefinu poměrně nízké (cca. 4-5kč/m²), proto ušetření z hlediska materiálů je zanedbatelné, respektive je v neprospěch varovacích membrán (ceny některých membrán jsou až 800-1000 kč/m²). Při vyšších vytvrzovacích teplotách však tento rozdíl může být zajímavý. Při používání varovacích membrán je nutné brát do úvahy i potřebu skladování, ochrany, případně poškození/opravy membrán. Také je potřebné v rámci instalace a přípravy membrány do výroby řešit otázku zabudování varovacích ventilů přímo do membrány jako její součást.

6.1 Kritéria pro výběr vhodného materiálu pro vakuování

Rozhodující kritéria pro výběr vhodného materiálu pro vakuování:

- Druh technologie (ruční laminování, vytvrzování prepregů, vakuová infuze)
- Celkový počet vyráběných výrobků
- Geometrie výrobku
- Teplotní režim vytvrzování
- Časová náročnost projektu

ZÁVĚR

V teoretické části se zabývám technologií vakuování zvláště pak jejím použitím při výrobě kompozitů. Dále popisuji mechanické zkoušky pryží, přičemž se podrobně zaměřuji na tahovou zkoušku, kterou uskutečňuji v praktické části bakalářské práce. V teoretické části se také zabývám druhy pryží a složením kaučukových směsí.

V praktické části nejdříve volím materiály zkušebních vzorků a jejich tvar, na kterých posléze provádím tahovou zkoušku na univerzálním zkušebním stroji pro mechanické zkoušky ZWICK 1456, jejíž výsledky včetně tahových diagramů vyhodnotil program testExpert (naměřené hodnoty a diagramy jsou přiloženy v příloze bakalářské práce). Z výsledků tahové zkoušky vybírám dva materiály ze sedmi zkoušených s nejlepšími vlastnostmi pro zkoušku tvarovatelnosti ve formě - pryžová deska 1mm CIIR (Halobutyl), který disponuje druhou nejvyšší pevností v tahu $TS=14\text{MPa}$ a druhou největší tažností $E_b=879,5\%$. a pryžová deska 0,5mm NR-SRB (přírodní pryž-styren-butadien), který disponuje nejvyšší pevností v tahu $TS=18\text{MPa}$ a největší tažností $E_b=1070,1\%$ ze všech zkoušených materiálů. V tahové zkoušce nejhůře dopadly silikonové materiály MVQ.

Na základě výsledků zkoušky tvarovatelnosti je možné konstatovat, že folie jsou schopné tvarové deformace podle tvaru předložené formy a taky potvrdil fakt, že membrány není možné těsnit tradičními těsnícími páskami. Ze zkoušky tvarovatelnosti vyšla lépe pryžová deska 1mm CIIR (halobutyl) kvůli větší tepelné odolnosti 130°C (pryžová deska 0,5mm NR-SRB tepelná odolnost 90°C)

Dále se zabývám separovatelností pryžových folií od zatvrzené pryskyřice, kde hledám nejuniverzálnější použitelný separátor, kterým se stává včelí vosk + benzín.

Nakonec se zabývám foliemi na bázi pryže (membránami) a jejich použití v technologii vakuování, popisuji jejich výhody, nevýhody a porovnávám je s jednorázovými foliemi.

Doporučuji se touto tematikou zabývat i nadále a to z důvodu, že se v budoucnu předpokládá vyšší podíl vakuových technologií a pryžové membrány poskytují poměrně velký potenciál na zvýšení produktivity.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KORBAŘ, T.; STRÁNSKÝ, A. Technický slovník naučný. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 676 s. ISBN 04-029-63
- [2] PLUHAŘ, J., a kol. Nauka o materiálech. Praha : SNTL, 1989. 552 s. ISBN 04-205-89
- [3] ZELINGER, J., A. KUTA a J. ŠTĚPEK. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Bratislava: SNTL, 1989.
- [4] ČSN ISO 37. *Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků – stanovení tahových vlastností*. Praha: ČNI, 1994.
- [5] ERBEN, Milan. *Vakuová technika – Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií* [online]. 2008, Učební text, Univerzita Pardubice. Dostupný z WWW: <<http://www.upce.cz/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf>>
- [6] JANOUD, Jan. *Základy vakuové technologie* [online]. 2009. Dostupný z WWW: <http://www.janoud.cz/sub/jcueltech/09a_Zaklady_vakuove_technologie.pdf>
- [7] *Katalog produktů* [online]. [cit. 2013-02-10]. Společnost Rubcom s.r.o. Dostupný z WWW: <<http://www.rubcom.cz/>>
- [8] *KLINGERlastic Elastomers* [online]. [cit. 2013-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.industrysearch.com.au/KLINGERlastic-Elastomers-NR-NBR-FPM-EPDM-SBR-CR-VMQ-IIR-CSM/p/54947>
- [9] PREKOP, Š., a kol. *Gumárska technológia I*. 1.vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 1998. 282 s. ISBN 80-7100-483-9.
- [10] FRANTA, I., a kol. *Gumárenská technologie I : gumárenské suroviny*. 2.vyd. Praha 1979. 608 s. ISBN 04-618-79
- [11] RIJNDERS R.. Always Use a Resin Trap With Vacuum Infusion [online]. 2009. Dostupný z WWW: <http://fiberglasshelp.com/2009/03/always-use-a-resin-trap-when-vacuum-infusion/>
- [12] Katalog HEXCEL – Prepreg technology 2005. Publication NO: FGU 017b
- [13] POLCER, ing. Jaroslav. *Způsoby výroby vláknových kompozitů*. 1997.
- [14] REICHHOLD Company: *Fire Retardant EMEA*, 28.2.2005
- [15] DVOŘÁK, ZDENĚK. *Zpracovatelské procesy gumárenské* [online]. 2013. Dostupný z WWW: www.utb.cz/file/41195_1_1/
- [16] RUSNÁKOVÁ, S. *Zpracovatelské inženýrství kompozitů: přednášky*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SRB	Styren butadien
EPDM	Etylen propylen
NBR	Nitril
CR	polychloropren
VMQ	Fólie silikonové
FPM	Viton
NR	Přírodní kaučuk
CSM	Hypalon
IIR	Butyl
S	Napětí v tahu
E	Prodloužení
TS	Pevnost v tahu (MPa)
TS _b	Pevnost v tahu při přetržení (MPa)
E _b	Tažnost (%)
E _s	Prodloužení při daném napětí (MPa)
S _e	Napětí při daném prodloužení (MPa)
S _y	Mez kluzu (MPa)
E _y	Prodloužení při mezi kluzu (%)
F _m	Maximální zaznamenaná síla (N)
F _b	Síla zaznamenaná při přetržení (N)
F _e	Síla odečtená při dané deformaci (N)
F _y	Síla zaznamenaná při kluzu (N)
W	Šířka zúžené části vysekávacího nože (mm)
t	Tloušťka pracovní části (mm)
L _b	Délka pracovní části při přetržení (mm)

L_s	Délka pracovní části při daném napětí (mm)
L_y	Délka pracovní části při kluzu (mm)
L_0	Počáteční délka pracovní části (mm)
ČSN	České státní normy
EN	Evropské normy
ISO	Světové normy
V	Variační koeficient
\bar{x}	Aritmetický průměr
W_{TS}	Práce nutná k přetržení tělesa (Nmm)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 vakuová komora + zdroj vakua [5]	13
Obr. 2 Typy defektů, jejichž výskytu zabraňuje použití vakua [16]	14
Obr. 3 schéma vakuovací soupravy pro výrobu kompozitů [11]	15
Obr. 4 schéma technologie prepreg [16]	16
Obr. 5 plošné vakuování	16
Obr. 6 příklady využití kompozitů vyrobených technologií vakuování [12]	17
Obr. 7 zobrazení tahových charakteristik [4]	33
Obr. 8 tvar oboustranných lopatek [4]	34
Obr. 9 Vysekávací nůž pro zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek [4]	39
Obr. 10 Připravené zkušební vzorky	42
Obr. 11 Náčrt zkušebního tělesa (typ1) dle ČSN ISO 37	43
Obr. 12 Kontrolní měření zkušebních vzorků	43
Obr. 13 Zkušební stroj ZWICK 1456	44
Obr. 14 Průběh tahové zkoušky	45
Obr. 15 Tahový diagram vzorku 1	46
Obr. 16 Tahový diagram vzorku 2	47
Obr. 17 Tahový diagram vzorku 3	48
Obr. 18 Tahový diagram vzorku 4	49
Obr. 19 Tahový diagram vzorku 5	50
Obr. 20 Tahový diagram vzorku 6	51
Obr. 21 Tahový diagram vzorku 7	52
Obr. 22 Porovnání pevnosti v tahu TS vzorků	53
Obr. 22 Porovnání tažnosti Eb vzorků	54
Obr. 22 Zkouška tvarovatelnosti pryžových membrán	55
Obr. 25 Testování separovatelnosti pryžových folií	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Využití vakua [6]	12
Tab. 2 Délka pracovní části oboustranných lopatek [4]	35
Tab. 3 Rozměry vysekávacích nožů pro zkušební tělesa [4]	38
Tab. 4 Vlastnosti vybraných materiálů	42
Tab. 5 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 1	46
Tab. 6 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 2	47
Tab. 7 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 3	48
Tab. 8 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 4	49
Tab. 9 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 5	50
Tab. 10 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 6	51
Tab. 11 Naměřené hodnoty tahové zkoušky pro vzorek 7	52
Tab. 12 porovnání naměřených hodnot sérií	53
Tab. 13 Separovatelnost pryžových materiálů od epoxidové pryskyřice	57
Tab. 14 Separovatelnost pryžových materiálů od polyesterové pryskyřice	57

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Naměřená data ze zkoušky tahem
- PII Tahové diagramy zkoušených vzorků