

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav materiálového inženýrství



Polyvinylbutyral jako mezivrstva pro čelní
laminovaná skla

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí: Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D.

Vypracovala: Ludmila Růžičková

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Růžičková** Jméno: **Ludmila** Osobní číslo: **457288**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Polyvinylbutyral jako mezivrstva pro čelní laminovaná skla

Název bakalářské práce anglicky:

Polyvinyl butyral as an interlayer for the laminated wind shield

Pokyny pro vypracování:

Zadání: V teoretické části provést rešerši na téma syntézy PVB, výroby fólií z PVB a jejich využití v laminovaném čelním skle automobilů. V praktické části provést měření vybraných vlastností u používaných typů fólií od různých výrobců. Naměřené hodnoty porovnat.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HLAVÁČ, Jan. Základy technologie silikátů. 2. uprav. vyd. Praha: SNTL, 1988. 516 s.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [3] Firemní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D., ústav materiálového inženýrství FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Pavel Vaněk, AGC Automotive Chudeřice

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____



Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry




prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26.4.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci vypracovala samostatně. Veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala informace, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v textu citovány.

V Praze dne 19.7. 2018

.....
Jméno a příjmení studenta

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Zdeňce Jeníkové, Ph.D., za cenné rady, podporu a její čas věnovaný konzultacím.

Dále bych ráda poděkovala kolegům ze společnosti AGC Automotive Czech, za veškeré poskytnuté informace, podrobné vysvětlení celého procesu a v neposlední řadě za jejich čas, který mi v rámci konzultací věnovali. Jmenovitě bych ráda poděkovala Ing. Pavlovi Vaňkovi, Jiřímu Vaníkovvi, Ing. Jaroslavovi Poborskému a Václavovi Soukalovi.

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá měřením relaxace u vybraných druhů polyvinylbutyralových (PVB) fólií používaných k výrobě bezpečnostního čelního skla do automobilů v závodě AGC Automotive Czech. K experimentu byly použity tři různé fólie zpracované odlišnou technologií.

U těchto fólií byla měřena velikost a průběh relaxace. Z výsledků měření byla navržena změna doby relaxace. Nově nastavený čas byl následně ověřován aplikací přídavných komponentů a laminací, nebo v případě kdy se na fólii neaplikují žádné další prvky, pouze laminací.

Klíčová slova

PVB fólie, polyvinylbutyral, relaxace, čelní sklo, laminace, coating, embos

Abstract

Submitted bachelor thesis deals with measuring relaxation of the PVB foil of selected types of polyvinyl butyral foils used for manufacturing of safety windshield in AGC Automotive Czech plant. For the experiment, three different films were processed using a different technology.

For these films, the magnitude and progress of relaxation was measured. From the measurement results new sufficient relaxation time was proposed. The newly set time was subsequently verified by the application of additional components and lamination, or, if no other elements are applied to the film, only lamination.

Key words

PVB film, polyvinyl butyral, relaxation, windshield, lamination, coating, emboss

Obsah

Úvod.....	9
Teoretická část	10
1. Laminovaná skla	10
1.1. Složení předního skla	10
2. PVB fólie	11
2.1. Polyvinylbutyral.....	11
2.1.1. Chemické zařazení a složení.....	11
2.1.2. Vlastnosti materiálu polyvinylbutyral	11
2.2. Syntéza a výroba	12
2.2.1. Možné syntézy materiálu (PVB)	12
2.2.2. Výroba PVB fólie – zpracování nasyntetizovaného materiálu	15
2.3. Druhy PVB fólií	16
2.3.1. Jednovrstvá	16
2.3.2. Akustická	17
2.4. Vlastnosti PVB fólie	19
2.4.1. Fyzikální vlastnosti	19
2.4.2. Kvalita použité vody v procesu mytí	20
2.4.3. Vlhkost PVB fólie	21
2.4.4. Strukturní vlastnosti.....	24
2.4.5. Visko-elastické vlastnosti PVB fólie.....	25
3. Příprava a proces vkládání PVB fólie a skla	27
3.1. Příprava PVB fólie.....	27
3.1.1. Skladování	27
3.1.2. Technologické zpracování fólie	29
3.1.3. Řezání	34
3.1.4. Relaxace	34
3.1.5. Aplikace drátků a sběrnic	35
3.2. Proces výroby laminovaného čelního skla	37
3.2.1. Řezání, broušení	37
3.2.2. Potisk.....	37
3.2.3. Ohýbání	38
3.2.4. Mytí skel	38
3.2.5. Sušení	38
3.2.6. Skládání	39

3.2.7. Předlisování.....	39
3.2.8. Autokláv	42
Experimentální část.....	44
4. Průběh experimentu	45
4.1. Příprava vzorků.....	46
4.2. Metoda HWW	51
4.3. Metoda PSM a PSK.....	51
5. Analýza relaxace fólií.....	53
5.1. G-loop, Výrobce 2, akustická, ABC 1.....	55
5.2. Strečovaná, Výrobce 2, akustická, ABC 1	65
5.3. Strečovaná, Výrobce 1, akustická, DEF 2	74
5.4. G-loop, Výrobce 1, jednovrstvá, GHI 3.....	82
Závěry.....	95
Seznam použité literatury.....	97
Seznam použitých obrázků.....	98
Seznam použitých tabulek.....	101

Seznam symbolů, zkratek a veličin

PVB – polyvinylbutyral

b.m. – běžný metr

μS – mikrosiemens

Hz – Hertz

dB – decibel

mm – milimetr

m – metr

PE – polyethylen

$^{\circ}\text{C}$ – stupeň Celsia

ks – kus

kg – kilogram

% - procento

hod – hodina

nm – nanometr

Úvod

Polyvinylbutyral (PVB) jako materiál patří do skupiny polymerů a řadí se mezi termoplasty. Polyvinylbutyralová fólie se používá jako mezivrstva pro čelní laminovaná automobilová skla. Fólie plní ve skle především bezpečnostní funkci, a sice zajišťuje homogenitu celého sendviče sklo – fólie – sklo. Laminace (proces ohřevu na konkrétní teplotu za vysokého tlaku po stanovený čas) sendviče zajistí, že v případě nehody se sklo neroztříští na fragmenty o definovaném maximálním tvaru a rozměru (jako k tomu dochází u skla kaleného), ale zůstane pohromadě právě díky mezivrstvě z PVB fólie.

V předložené bakalářské práci je popsán celý proces výroby laminovaného skla. Práce popisuje PVB fólii jako materiál z hlediska chemického, mechanického, fyzikálního a procesního. V práci byla hodnocena velikost relaxace (změna rozměrů) fólie v čase, která je závislá na jejích viskoelastických vlastnostech.

Cílem této bakalářské práce je změření změn rozměrů vybraných druhů fólií při jejich relaxaci v čase v závislosti na použité technologii. Určení optimální doby relaxace vybraných fólií před aplikací drátků, pájením konektorů, popř. lepením sběrnic. Změření vlivu zkrácené doby relaxace na aplikaci drátků (různými metodami) a pájení konektorů.

Počáteční hypotéza pro dostatečnou dobu relaxace všech typů fólií, založená na firemních zvyklostech, byla u technologií používaných v současné době 48 hodin. V práci je snaha zjistit, zda není možné tento čas zkrátit.

Teoretická část

1. Laminovaná skla

Laminovaná skla se od kalených liší tím, že se skládají z vícero vrstev. Jsou tedy pevnější, kompaktnější a považují se za tzv. bezpečnostní skla. K tomu dochází právě díky mezivrstvě spojující dvě skla, kterou je polyvinylbutyralová (PVB) fólie – ta zajišťuje kompaktnost celého celku, a to i v případě nehody. Sklo zůstane na fólii přilepeno a nehrozí tak poranění řidiče či ostatních spolujezdců např. řeznými ranami v oblasti hlavy a krku odlomenými kusy čelního skla.

Takto vyráběná bezpečnostní skla mají ještě další výhody. Za prvé je to účinnější ochrana proti nedovolenému vniknutí do automobilu. Za druhé potom kvalitnější odhlučnění kabiny vozu – skrze laminované sklo neprochází takové množství hluku vznikající vibracemi motoru, či prouděním vzduchu kolem automobilu při jízdě ve vyšších rychlostech. U dražších modelů se tedy laminované sklo nevyužívá pouze pro čelní skla, ale také pro skla boční.

Kalená skla se naproti tomu skládají pouze z jedné skleněné tabule, která je zakalena a technologicky upravena tak, aby se sklo v případě nehody sice roztříštilo, ale na malé a zaoblené kousky (defragmentace), které nemají žádné ostré hrany, a tak nedošlo k poranění cestujících.

1.1. Složení předního skla

Čelní sklo je složené celkem ze tří vrstev tzv. sendvič. Tvoří ho dvě tabule ohnutého a potíštěného skla, mezi nimiž je vložena PVB fólie, která za působení teploty a tlaku zprůhlední, vyplní mezery mezi skly, a tak zajistí adhezi a kompaktnost celého sendviče.

2. PVB fólie

Polymerní fólie je vyráběna syntézou polyvinylbutyralu s příměsí aditiv. V následujících podkapitolách jsou podrobněji rozebrány možné syntézy tohoto polymeru.

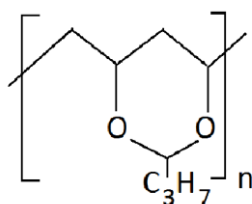
PVB fólie je tenká vrstva (většinou o tloušťce 0,76 mm), která se vyrábí extruzí z granulátu polyvinylbutyralu a tekutých aditiv. Postup výroby je dále vysvětlen.

2.1. Polyvinylbutyral

2.1.1. Chemické zařazení a složení

Polymery se dělí na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Polyvinylbutyral se řadí mezi termoplasty a patří do skupiny amorfních polymerů.

Autor práce [1] potom dále zařazuje polyvinylbutyral do skupiny polyvinylacetalů. Ty vznikají kondenzací polyvinylalkoholu s aldehydy v kyselém prostředí. Vyrábějí se buď přímo hydrolýzou polyvinylacetátu v přítomnosti příslušného aldehydu v prostředí kyseliny sírové nebo chlorovodíkové, či acetylizací polyvinylalkoholu, opět v přítomnosti minerální kyseliny. Tři nejčastější způsoby výroby budou dále rozebrány (viz podkapitola 2.2.). Strukturní vzorec polyvinylbutyralu je na obrázku 1.



Obr. 1 - Strukturní vzorec polyvinylbutyralu [2]

2.1.2. Vlastnosti materiálu polyvinylbutyral

Práce [1] uvádí, že málo viskózní typy polyvinylbutyralu slouží k výrobě laků na hliníkové fólie a tuby a základních nátěrů na kovy. Středně viskózní typy jsou v kombinaci s fenoplasty a aminoplasty surovinou pro vypalovací laky na kovy, které musejí odolávat velkému mechanickému namáhání. Vysoce viskózní typy PVB se používají jako adhezivní mezivrstva při výrobě bezpečnostních skel.

Právě těmto vysoce viskózním typům PVB se tato práce věnuje.

2.2. Syntéza a výroba

2.2.1. Možné syntézy materiálu (PVB)

Následující podkapitola se věnuje možným způsobům syntézy polymeru polyvinylbutyralu. Rozeznáváme tři základní možnosti syntézy, které jsou dále rozebrány podrobněji.

Způsob syntézy, který si daný chemický závod zvolí, závisí na několika faktorech. Především je to ale ekonomický faktor. K výslednému produktu polymeru polyvinylbutyralu lze dojít všemi třemi cestami. Záleží však na tom, co vše chemický závod vyrábí a zpracovává, protože u každého způsobu vznikají jiné vedlejší produkty, které následně závod může efektivně využít.

Meziprodukty syntézy PVB jsou: polyvinylacetát a polyvinylalkohol. Pro lepší pochopení výsledných vlastností polyvinylbutyralu nyní krátce rozebereme stěžejní vlastnosti těchto polymerů.

Autor ve své práci [1] uvádí – polyvinylacetát (PVAc) je dodáván v pevném stavu jako prášek, či transparentní hmota, ve formě roztoků organických rozpouštědel, nebo jako latexový materiál. Polyvinylacetát je poměrně stálý i za zvýšených teplot. Mění své reologické vlastnosti v rozmezí 80°C–200°C v závislosti na střední molekulové hmotnosti. Odolává olejům (oleofilním roztokům), petroleji a etherům, rozpouští se v alkoholech, ketonech, chlorovaných a aromatických uhlovodících. Polymery s nižší střední molekulovou hmotností jsou citlivé k účinkům vody – absorbují jí až 20 %. Samostatně se využívá k výrobě lepidel, disperzních¹ lepidel a nátěrových hmot.

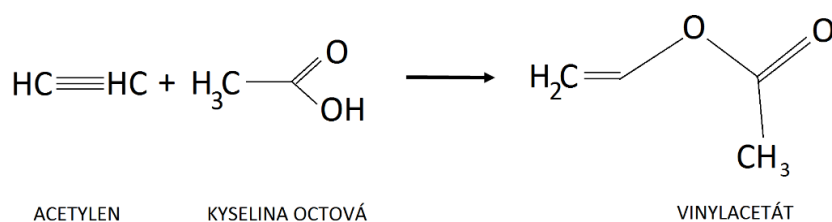
Práce [1] popisuje: polyvinylalkohol (PVA) je bílý prášek zřetelně krystalického tvaru. Vyrábí se hydrolýzou polyvinylacetátu – PVA tedy vždy obsahuje jisté množství polyvinylacetátových skupin – ty polymer modifikují a jsou tak příčinou jeho velmi proměnných vlastností. Svým chováním PVA připomíná želatinu. Používá se k výrobě lepidel, impregnačních hmot odolných benzínu, olejům, tukům a rozpouštědlům, dále se z něj vyrábí například obalové fólie, chirurgické nitě aj.

¹ Disperze (látky) – směs látek z nichž jedna je rozptýlena v druhé

PVB z acetylenu a kyseliny octové

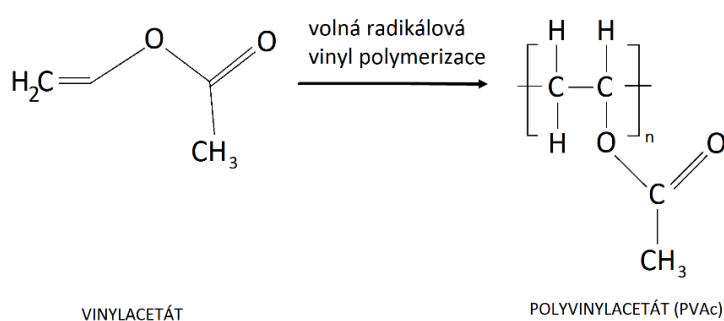
Syntéza polyvinylbutyralu z kyseliny octové je způsob, který využívají dodavatelé PVB fólií pro AGC. Jedná se o společnosti Sekisui a Saflex. Chemická reakce probíhá ve 4 hlavních krocích.

V prvním kroku spolu v prostředí kyseliny sírové a síranu rtuťnatého reagují acetylen a kyselina octová, ze kterých chemickou reakcí vzniká vinylacetát, viz obrázek 2 [2]



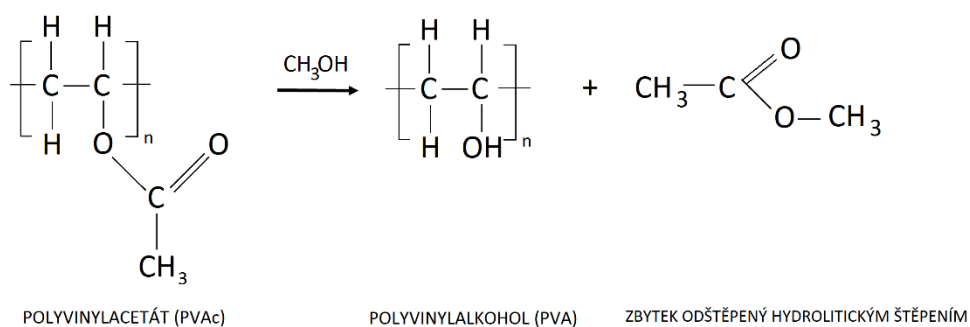
Obr. 2 – Chemická rovnice reakce acetylenu a kyseliny octové [2]

Následně vinylacetát polymeruje na polyvinylacetát. V této fázi se z monomeru (vinylacetát) stává polymer (polyvinylacetát), jak lze vidět na obrázku 3. [2]



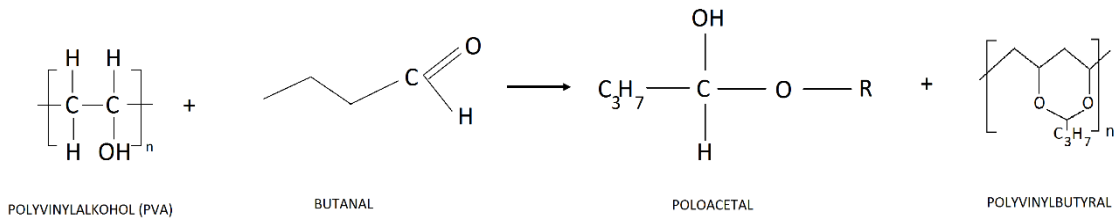
Obr. 3 – Chemická rovnice polymerace vinylacetátu [2]

V druhém kroku hydrolytickým štěpením za přítomnosti metanolu reaguje polyvinylacetát na polyvinylalkohol se zbytkem vzniklým hydrolýzou, viz obrázek 4. [2]



Obr. 4 – Chemická rovnice volné radikálové vinyl polymerace [2]

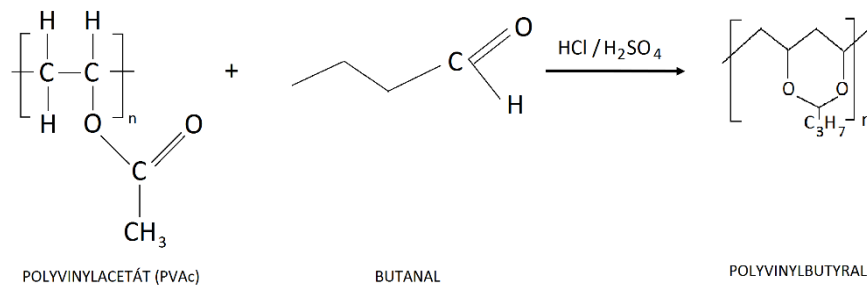
Ve třetím kroku dochází k acetylizaci a to tak, že se vzniklý PVA nechá zreagovat s butanalem za vzniku polyvinylbutyralu a poloacetalu (též hemiacetal). Sousedící molekuly v řetězci polymeru spolu znovu reagují za vzniku acetalu a vody – tím je acetylizace ukončena a syntéza PVB taktéž. Tato reakce je vidět na obrázku 5. [2]



Obr. 5 – Acetylizace, vznik polyvinylbutyralu [2]

PVB z polyvinylacetátu a butanalu

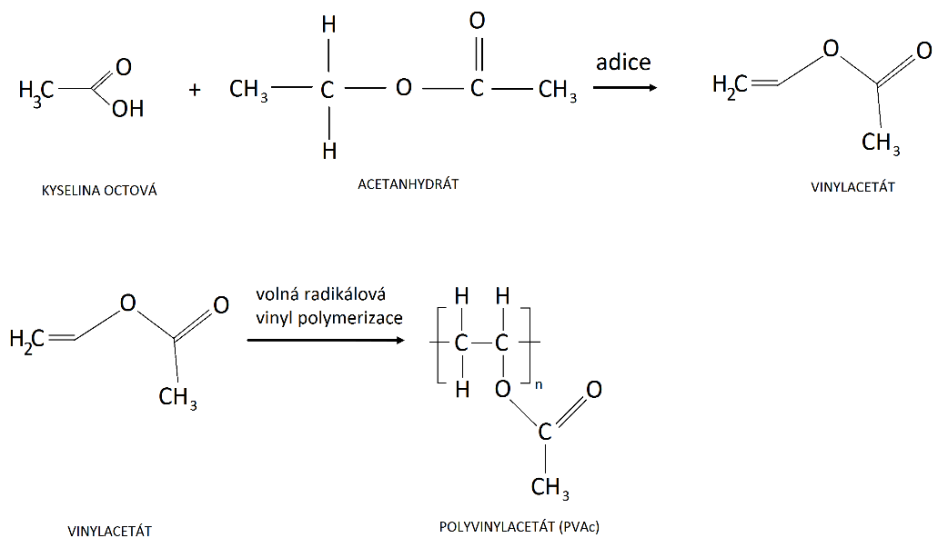
Syntéza polyvinylbutyralu se děje přímo z polyvinylacetátu v přítomnosti aldehydu – butanalu v prostředí kyseliny sírové nebo chlorovodíkové, viz obrázek 6. [2]



Obr. 6 – Syntéza PVB z polyvinylacetátu a butanalu [2]

Výroba polyvinylacetátu z acetanhydridu

Syntéza PVB probíhá podle prvního či druhého výše popsaného způsobu, pouze se jiným způsobem získává polyvinylacetát. Ten se vyrobí z acetanhydridu adicí (Obr.7). [2]



Obr. 7 – Syntéza polyvinylacetátu z acetanhydridu [2]

2.2.2. Výroba PVB fólie – zpracování nasyntetizovaného materiálu

PVB fólie se vyrábí extruzí nasyntetizovaného polyvinylbutyralu – bílý prášek, který se mísí se změkčovadlem a aditivy. Změkčovadla snižují tzv. minimální filmotvornou teplotu, aditivum je v tomto případě látka zvětšující objem substance bez přímého účinku – slouží ke zvětšení objemu (doplnění na žádaný objem). [1]

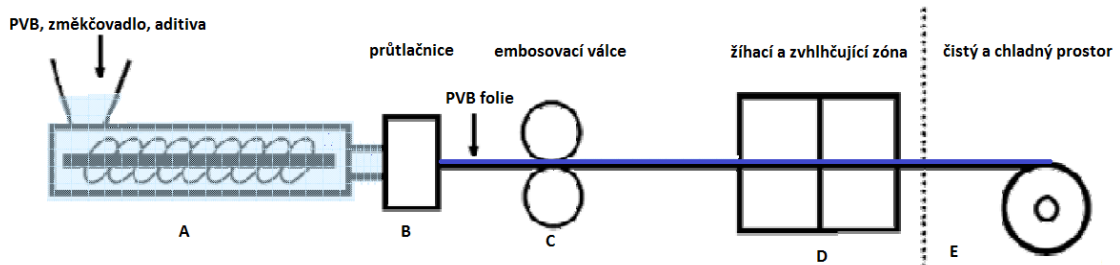
Chemické složení termoplastů se během extruze nijak výrazně nemění. [3]

Proces extruze (vytlačování) je schematicky znázorněn na obrázku 8. Extruze může probíhat ve dvou, resp. čtyřech podobách. Proces extruze se dělí již na počátku, kdy se do lisovacího šneku dodá polymer buď ve skupenství pevném (plastické vytlačování/extruze), či v druhém případě v natavené formě (extruze/vytlačování z taveniny). V prvním případě, kdy se do extrudéru dodává látka v pevném skupenství, plní extrudér role dvě. Nejen funkci základní vytlačovací, ale v této fázi také musí dojít k rozmělnění a natavení materiálu. V případě druhém, slouží pouze jako píst vyvíjející dostatečný tlak, aby polymer dopravil k lisovací formě. Dalším hlediskem pro dělení procesu extruze je jeho plynulost – rozlišujeme dva základní druhy, a to extruzi nepřetržitou a extruzi přetržitou – dávkovací. [3]

PVB fólie je vyráběna plastickým vytlačováním s nepřetržitým extrudérem. Výsledkem je souvislý a plynulý proces výroby fólie, která na pásových dopravnících prochází v jednom dlouhém nekonečném pásu procesem výroby. [3]

Popišme nyní celý proces extruze pomocí schématu na obrázku 8. Prvním krokem (A) je rozmělnění a natavení vstupního materiálu. Potom, co je materiál nataven, je dále pod tlakem vháněn do průtlačnice (extrudéru) (B). Vytlačovaný materiál získává tvar podle trysky na konci extrudéru. Po opuštění průtlačnice se ze vstupního nataveného materiálu stává PVB fólie. Pro kompletní proces, je nutné, aby fólie projela mezi dvěma embosovými válci (C), které na PVB fólii vytlačí potřebný povrchový reliéf (viz. podkapitola 2.4.4.). Posledním krokem výroby je zóna (D). Zde se žiháním (v oblasti viskózního toku nad T_g) zbavujeme napětí v materiálu, které vzniklo během extruze. Kvůli působení zvýšené teploty během žihání, dochází u PVB fólie k poklesu obsahu vody, proto je vlhkost znovu obnovena v následujícím kroku, kterým je zvlhčení fólie. [4]

Následně fólie opouští proces výroby a přesouvá se do čistého a chlazeného prostoru o kontrolované teplotě (E), kde je navíjena do rolí o požadované délce a balena do hliníkových obalů, které udržují předepsanou vlhkost fólie a chrání ji proti nečistotám (viz. podkapitola 3.1.1.) [4]



Obr. 8 Schéma výroby PVB fólie [4]

2.3. Druhy PVB fólií

PVB vrstva může plnit ve výsledném laminátu různé funkce. Zjednodušeně lze říci, že vhodnou fólii zvolíme dle vlastností, které od konečného laminátu požadujeme.

Základní funkci – bezpečnostní, musí a také splňují všechny druhy fólií. Při nehodě či rozbití čelního skla, chrání posádku lépe než skla kalená – například před pořezáním, či vniknutím cizích předmětů jako je větev stromu apod. Pokud plní funkci pouze bezpečnostní, označujeme ji jako jednovrstvou.

Protože polymerní vrstva je hlavním nositelem vlastností výsledného laminátu, je to právě PVB fólie, která je upravována a vylepšována.

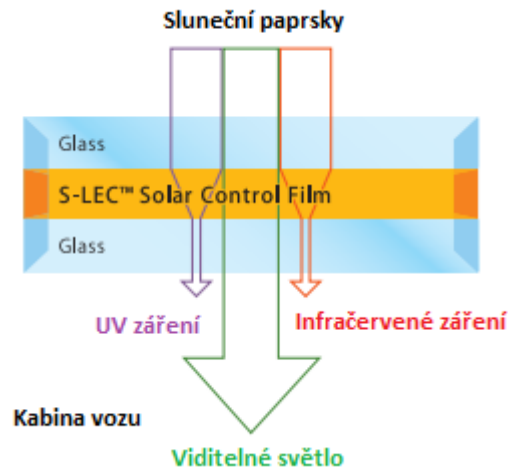
Přidanou hodnotu tvoří dále například menší prostup slunečního záření dovnitř automobilu (solární fólie – jednovrstvá), či odhlučnění kabiny vozu před rušivými vibracemi motoru a proudícím vzduchem kolem vozidla (akustická fólie – vícevrstvá). [5]

2.3.1. Jednovrstvá

PVB fólie, která je homogenní v celém svém průřezu, se nazývá jednovrstvá. Vyrábí se disperzí. [5]

Disperzní systém je směs dvou nebo více jinak nemísitelných složek (kapalin, pevných složek), kdy je nespojitá fáze či složka rozptýlena v druhé spojitě fázi či složce. Pospolu drží díky fyzikálním, nikoliv chemickým vazbám. [6]

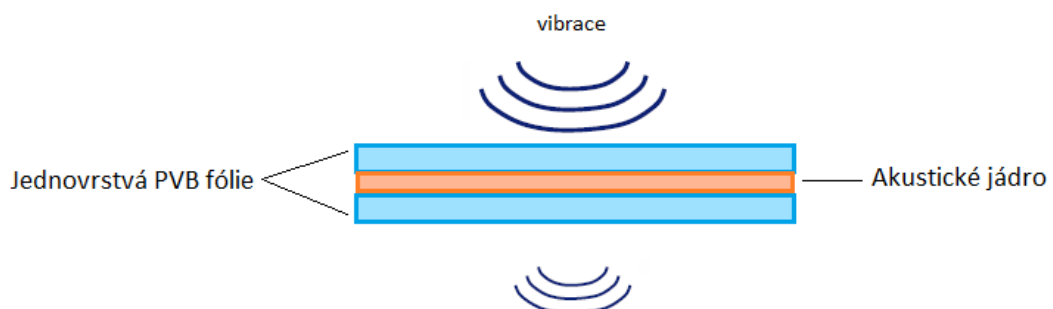
Schéma nejčastějšího druhu jednovrstvé PVB fólie tzv. solární, která zmírňuje průchod infračerveného a UV záření ze slunečních paprsků a zároveň snižuje množství prostupujícího tepla do kabiny automobilu až o 10 °C, se nachází na obrázku 9. [7]



Obr. 9 Schéma průchodu sluneční energie skrz sendvič sklo -solární PVB fólie –sklo [7]

2.3.2. Akustická

Dalším typem fólie je tzv. akustická. Jak je patrné z obrázku 10, fólie je tvořena třemi vrstvami. Jádro fólie tvoří akustická vrstva, která pohlcuje vibrace. Právě tloušťka prostřední vrstvy ovlivňuje absorpci hluku a vibrací. Horní a spodní vrstvu tvoří jednovrstvá PVB fólie. Tento sendvič dohromady tvoří akustickou PVB fólii, která se následně vkládá mezi dvě skla. [8]



Obr. 10 Schéma složení akustické fólie a prostupu vibrací [8]

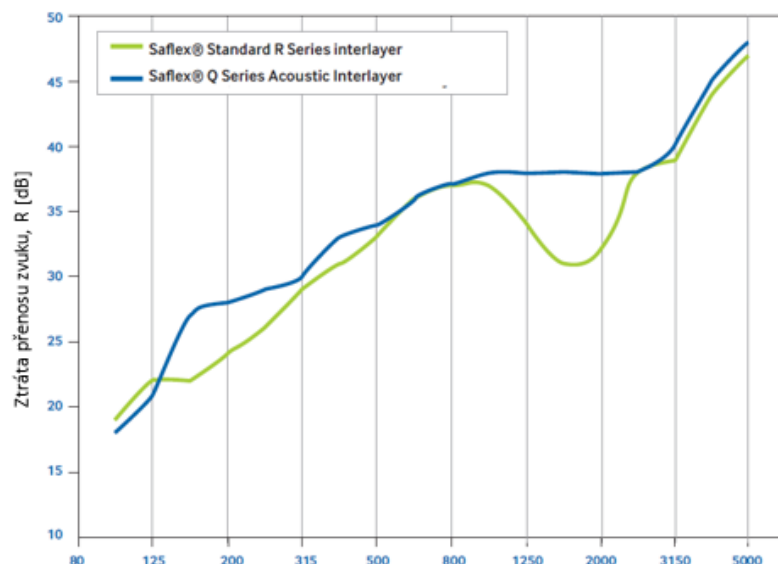
V porovnání akustické fólie s jednovrstvou, dochází k dokonalejšímu odhlučnění kabiny. Akustická fólie dokáže lépe absorbovat vibrace i hluk právě ve frekvenčním

pásmu, ve kterém se pohybuje jedoucí vůz. Tento rozdíl mezi oběma fóliemi je patrný z obrázku číslo 11, kde zelená křivka představuje data pro standardní jednovrstvou fólii a křivka modrá znázorňuje akustickou třívrstvou fólii. [5]

V grafu se na ose y nachází faktor R, který představuje ztrátu zvuku při jeho přenosu v jednotkách dB. Čím vyšší je faktor R, tím lepší je odhlučnění. Na ose x se nachází frekvenční pásmo v jednotkách Hz. [5]

Zaměříme se na tu část grafu, kde jsou nízké frekvence (kolem 200 Hz), ve kterých se pohybuje například hluk motoru a frekvence vysoké (1000–4000 Hz) hluk způsobený proudícím vzduchem kolem automobilu. [5]

Právě při těchto frekvencích má akustická fólie výraznější tlumení než jednovrstvá.

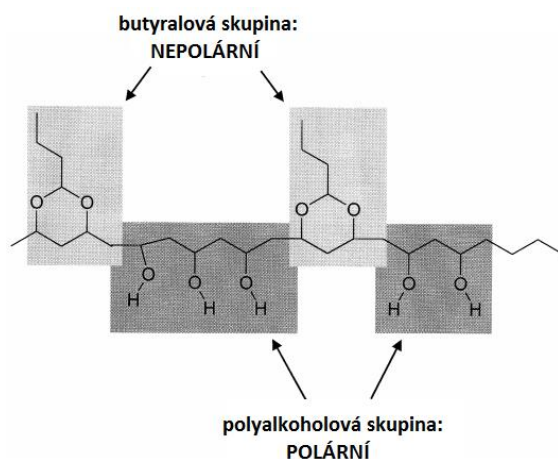


Obr. 11 Porovnání ztrát při přenosu zvuku akustickou a jednovrstvou fólií [5]

2.4. Vlastnosti PVB fólie

2.4.1. Fyzikální vlastnosti

Adhezivní síly jsou ovlivňovány mnoha faktory, nejlépe se ale dají popsat na základě



Obr. 12 Chemická struktura PVB [9]

mechanismů, které řídí adhezi na molekulární úrovni.

Jak již bylo uvedeno výše, PVB fólie je tvořena především polyvinylbutyralem, který může být klasifikován jako kopolymer², tedy polymer sestávající se dvou rozdílných složek, které spolu tvoří řetězec. [9]

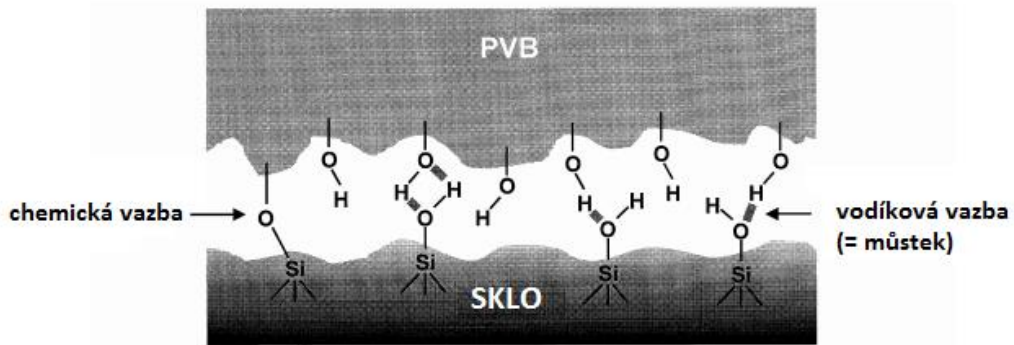
Na obrázku 12 je patrná nepolární butyralová skupina a polární vinylalkoholová skupina, která je vysoce kompatibilní³ s vodou. Používaná změkčovadla v podstatě dodávají fólii požadovanou tvarovatelnost, pružnost a umožňují vyvažovat mechanickou pevnost a elasticitu, zatímco přilnavost zůstává víceméně neovlivněna. [9]

Naproti tomu povrch skla je nutno chápat jako komplexnější chemický systém, v němž dominují polární silanolové skupiny Si-OH, které se tvoří na povrchu absorpcí vody s následným hydrolytickým štěpením SiO-Si. Dále může být povrch skla pokryt zbytkovou vodou z procesu omytí skel, nebo jakoukoli jinou sloučeninou, se kterou bylo sklo v průběhu procesu v kontaktu. Pro správnou adhezi je nutný krok spočívající v omytí skel demineralizovanou vodou, aby bylo sklo zbaveno co nejvíce nečistot a cizích sloučenin na povrchu a následně jeho důkladného vysušení. [9]

² Kopolymer – polymer, jehož makromolekula se skládá z nejméně dvou druhů monomeru s různým uspořádáním

³ Kompatibilní – smísitelný, slučitelný; schopný vytvořit chemicky stabilní systém, stejnorodou směs

Pokud jsou přivedeny do dostatečné blízkosti chemicky podobné alkoholové skupiny PVB a silanolové skupiny na povrchu skla, začnou vytvářet hustou síť slabších sekundárních vodíkových vazeb, nebo silnějších polárních kovalentních vazeb. Aby to bylo možné, PVB fólie musí být schopna přijmout tvar, který dokonale vyplní mikroskopicky členitý povrch skla. [9]



Obr. 13 Mechanismus vazby sklo - PVB – sklo [9]

Je známo, že vlastnosti a ošetření skla, stejně tak jako špatné nakládání s PVB fólií, mají vliv na výslednou adhezi v laminátu. Mezi mnoha faktory, které ovlivňují adhezi v PVB laminátových skleněných vrstvách, lze vybrat dva nejdůležitější, které se objevují častěji než ostatní:

- Vlhkost PVB
- Proces mytí a kvalita použité vody (zejména konduktivita)

Dále to jsou

- Způsob skládání skel
- Koroze povrchu skla
- Kontaminanty na kontaktních površích
- Složení a typ PVB

[9]

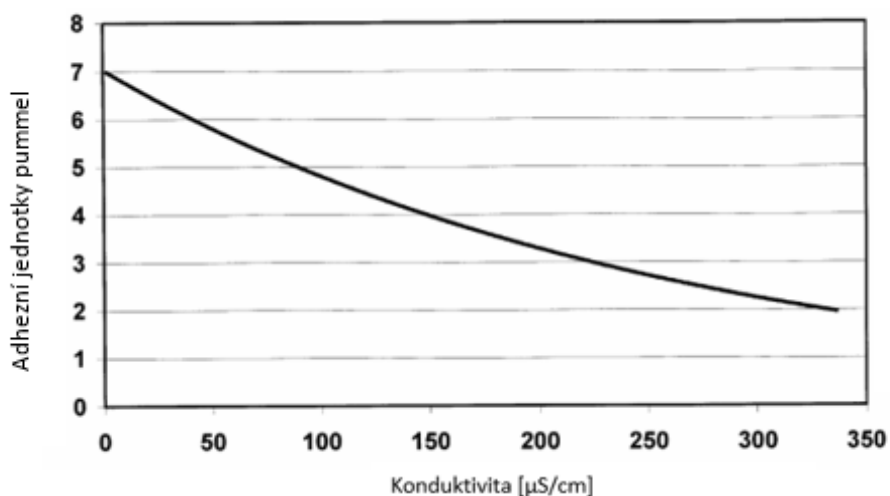
2.4.2. Kvalita použité vody v procesu mytí

Přítomnost iontových kontaminantů na rozhraní PVB fólie a skla ve většině případů naruší soudržné mechanismy, jak již bylo popsáno výše. [9]

Soli, které se mohou na povrch skla dostat v průběhu omývání, mohou způsobit velké odchylky ve velikosti adhezních sil. Pokud myčka, ve které jsou skla omývána

pracuje s vodou, která je silně nasycena solí, adheze může dokonce poklesnout o několik pummel⁴ jednotek. Tato závislost je znázorněna v následujícím grafu na obrázku 14, kde přibližné množství solí rozpuštěné v proplachovací vodě – obvykle kovy alkalických zemin a alkalické kovy – je vyjádřeno v jednotkách konduktivity (iontové vodivosti). [9]

Z grafu lze odečíst, že s rostoucí konduktivitou vody se adheze snižuje exponenciálně. Cílem tedy je, aby oplachová voda měla co nejnižší konduktivitu, maximální povolená hodnota je 20 μS . [9]



Obr. 24 - Pummel adheze ve srovnání s rostoucí konduktivitou vody [9]

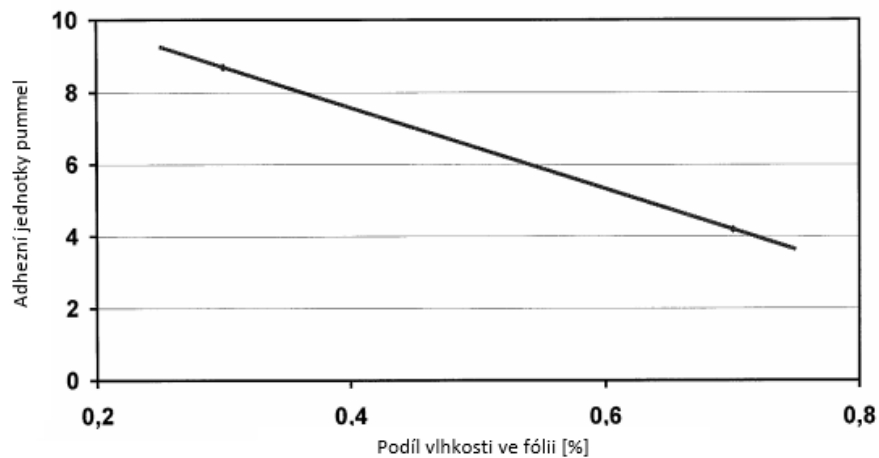
Výrazné snížení adheze nastává, jestliže jsou přítomné ionty kovů alkalických zemin, jako jsou například vápenaté ionty. Ty reagují přímo s alkoholovými skupinami polyvinylbutyralu a činí je neschopnými vytvářet vazby, proto by se měla při oplachu používat demineralizovaná voda. [9]

2.4.3. Vlhkost PVB fólie

Významný podíl polárních alkoholových skupin, činí PVB fólii vysoce hygroskopickým materiálem, který se snaží zvýšit svůj obsah vody, kdykoliv je vystaven vlhkosti. Zatímco doporučená vlhkost fólie v laminátu by se měla pohybovat kolem 0,4 %, v nepříznivých podmínkách může vlhkost v samotné fólii vzrůst až ke 2 %. Voda samotná se jako vysoce polární sloučenina snaží získat volná vazební místa, která jsou

⁴ Pummel – jednotka adheze vycházející z pummel testu

k dispozici na povrchu skla. Jak je patrné z následujícího grafu na obrázku 15, s rostoucí vlhkostí posléze pozorujeme lineární snížení adhezních sil. [9]



Obr. 15 - Adheze ve srovnání s vlhkostí fólie [9]

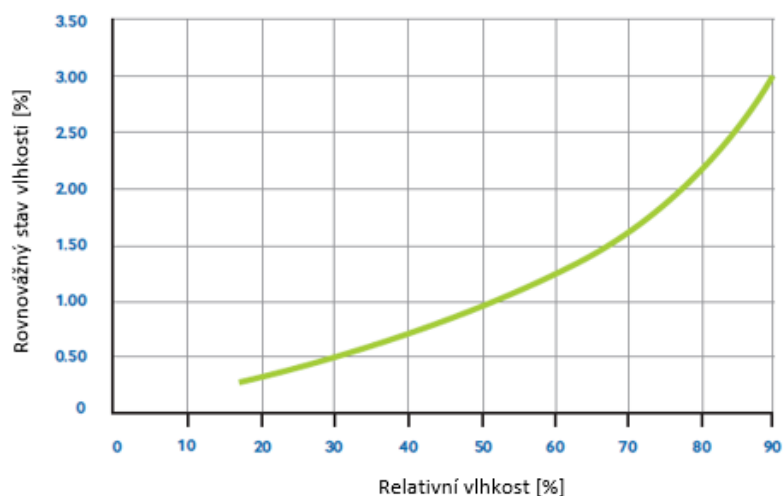
Hygroskopicitá PVB fólie

Polyvinylbutyral je hygroskopický⁵ materiál a jako takový, tedy dokáže pohlcovat či odevzdávat svoji vlhkost na základě velikosti vlhkosti okolí, kterému je vystaven.

Pokud hygroskopický materiál vystavíme konkrétní teplotě a relativní vlhkosti, začne se vlhkost mezi materiálem a atmosférou vyrovnávat až do bodu, kdy je chemický potenciál vlhkosti v atmosféře a PVB fólii vyrovnaný. V tomto bodě je dosaženo rovnováhy a žádné další změny ve vlhkosti materiálu nenastanou. Pro PVB fólie používané v závodech AGC bylo zjištěno, že hodnota rovnovážné vlhkosti je funkcí pouze relativní vlhkosti atmosféry a je nezávislá na teplotě. [5]

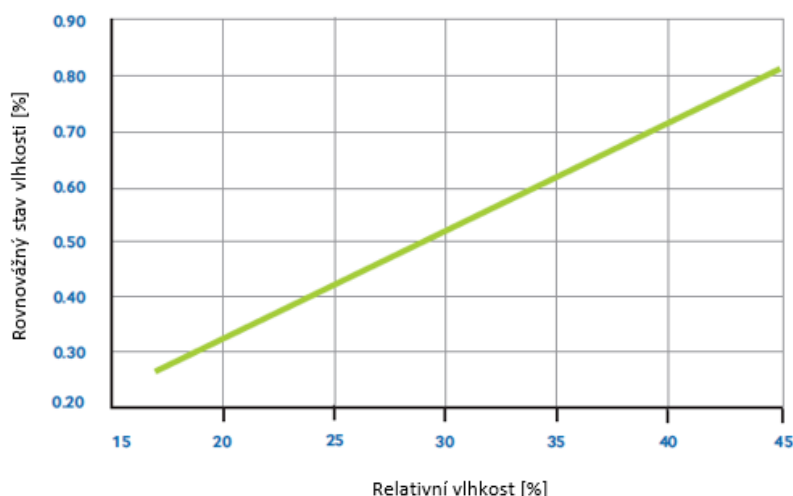
⁵ Hygroskopický – pohlčující, udržující vlhkost

Na obrázku 16 lze vidět graf, který ukazuje vztah mezi rovnovážným stavem vlhkosti PVB fólie a atmosférickou relativní vlhkostí.



Obr. 16 – Graf závislosti rovnovážného stavu vlhkosti a relativní vlhkosti [5]

Na obrázku 17 je detail předchozího grafu v oblasti do 45 %. Je patrné, že při relativní vlhkosti vzduchu do 45 % a rovnovážného stavu vlhkosti do 0,90 % je závislost obou veličin lineární.



Obr. 17 – Detail spodní části grafu závislosti rovnovážného stavu vlhkosti a relativní vlhkosti [5]

Rovnovážný vztah určuje, jaký by byl konečný obsah vlhkosti fólie při dané relativní vlhkosti vzduchu, pokud je fólie vystavena vlhkosti na potřebný čas. Rychlost, s jakou se vlhkost pohybuje směrem k rovnovážnému stavu, je založena na rychlosti, s níž difunduje⁶ vlhkost uvnitř mezivrstvy. Experimentálně byla zjištěna difuzivita jako funkce teploty. [5]

⁶ Difuze – proces samovolného rozptylování částic v prostoru

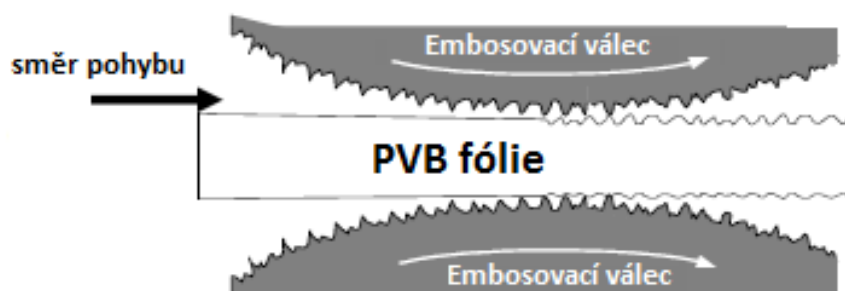
2.4.4. Strukturální vlastnosti

Mezi strukturální vlastnosti fólie pro účely této práce řadíme embos, čili reliéf povrchu.

Embos

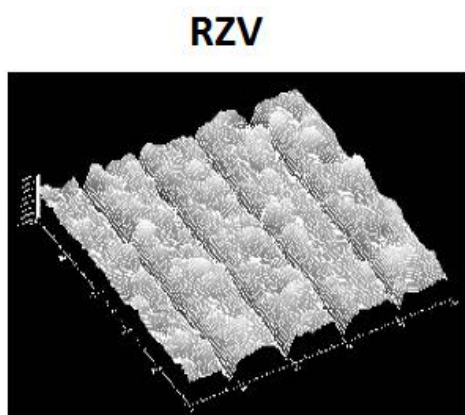
Embos je oboustranně uměle vytvořený reliéf na povrchu fólie dvěma embosovacími válci. Princip vzniku embosu na fólii je patrný z obrázku 18. [4]

Fólie projíždí mezi dvěma válci a ty do jejího povrchu vtlačují výsledný tvar.

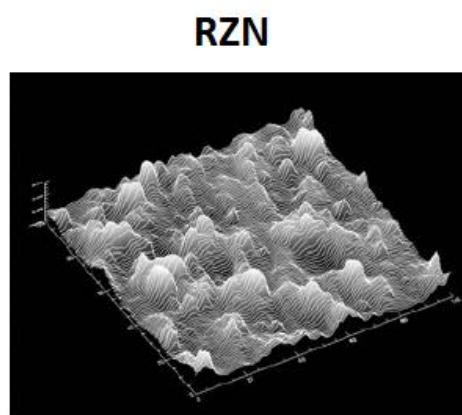


Obr. 18 - Schéma embosování [4]

Rozlišujeme dva základní typy embosu (obr. 19 a 20) – pravidelný RZV a nepravidelný RZN. Pravidelný tvar embosu, jehož tvar je kanálkovitý, je vhodný především pro vakuové předlisování, kdy je vzduch odváděn právě těmito kanálky. Naproti tomu u předlisování mechanického se častěji používá embos nepravidelný. [4]



Obr. 19 - Pravidelný embos RZV [4]



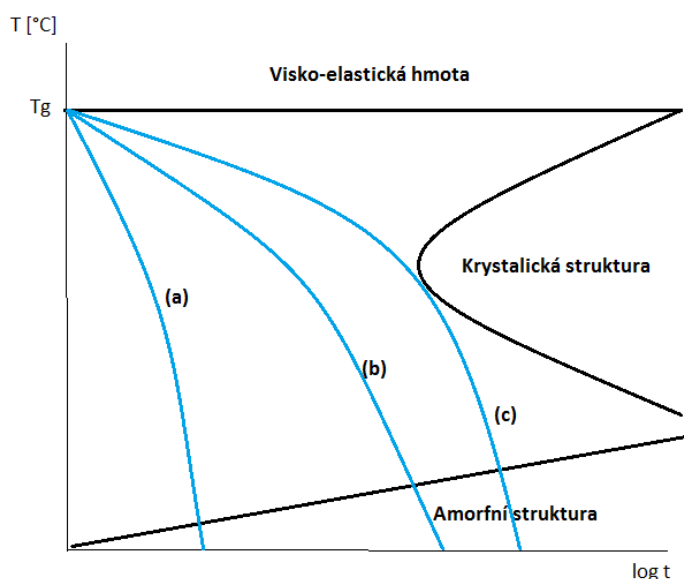
Obr. 20 - Nepravidelný embos RZN [4]

2.4.5. Visko-elastické vlastnosti PVB fólie

Viskoelastické vlastnosti PVB fólie vycházejí z následujícího TTT diagramu (z angl. Time – Temperature – Transition) na obrázku 21. Transformační diagram popisuje přímou závislost změny struktury polymeru na teplotě a čase.

Autor práce [10] popisuje polyvinylbutyral jako amorfní termoplast charakteristický přechodovými teplotami – **teplota skelného přechodu T_g** (také označována jako teplota zesklenní) a **teplota viskózního toku T_f** . Pod teplotou skelného přechodu se amorfní polymer nachází ve sklovitém stavu, nad ní ve stavu kaučkovitém. Pod teplotou T_g je polymer tvrdý, křehký a má vysoký modul pružnosti. V přechodové oblasti v okolí T_g se vlastnosti mění skokem a polymer nabývá kaučkovitou pružnost, např. modul pružnosti E poklesne přibližně o tři řády. Toto chování je způsobeno zvýšenou pohyblivostí částí (segmentů) makromolekul, které konají rotační nebo kývavý pohyb (poklesnou mezimolekulární síly). S dalším nárůstem teploty ztrácí amorfní termoplast v teplotní oblasti charakterizované teplotou viskózního toku (T_f) kaučkovitě elastické vlastnosti. V této oblasti klesá modul pružnosti E na nulovou hodnotu (dochází k pohybu makromolekul vůči sobě navzájem) a polymer se mění ve vysoce viskózní materiál, taveninu.

Izoterma (obr. 21) označená T_g představuje teplotu skelného přechodu. Nad touto teplotou polymer skokově mění své vlastnosti. Křehký a tvrdý materiál se stává měkkým, poddajným a pružným. V diagramu jsou naznačeny tři případy chlazení takto zahřátého polymeru. [11]



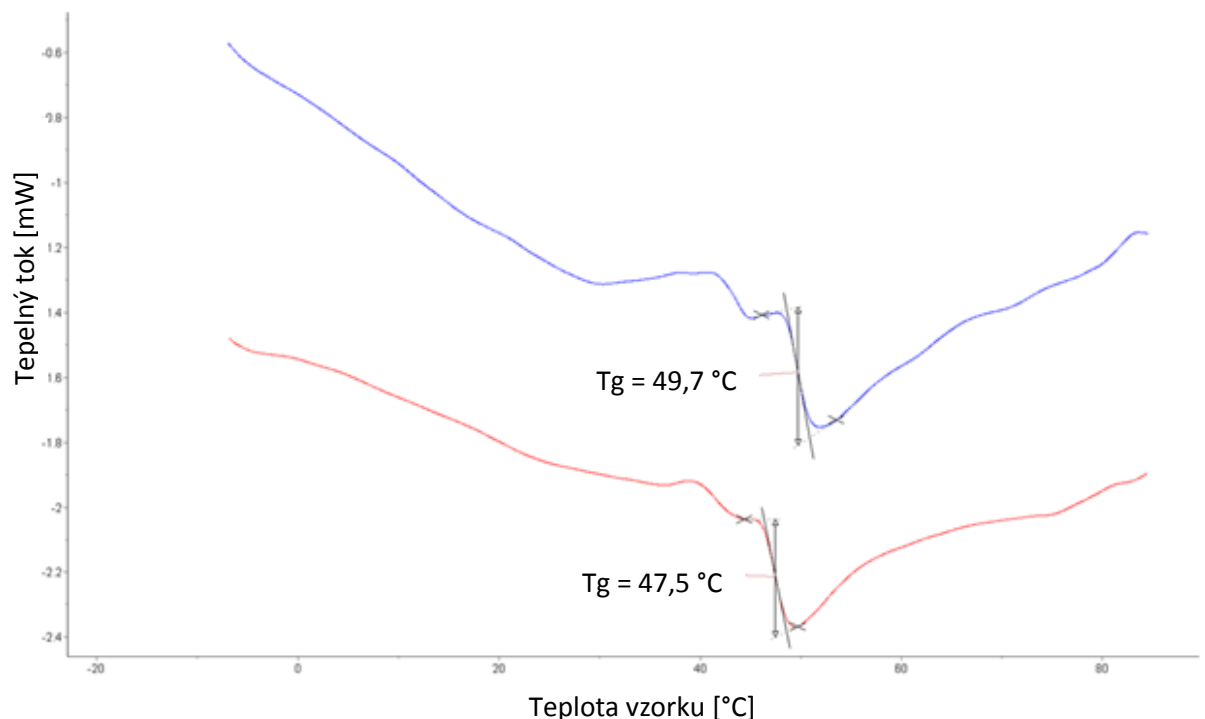
Obr. 21– TTT diagram

Polymer vyrovnává pnutí, vznikající při chlazení, viskózním tokem. V případě (a) je visko-elastická hmota chlazená tak vysokou rychlostí, že vznikající tlakové a tahové pnutí se nestihne viskózním tokem

vyrovnat a z viskoelastické hmoty se stane velmi křehká amorfnní struktura s vysokým vnitřním pnutím a u takto zchlazené struktury dojde k porušení soudržnosti materiálu. Chlazení dle křivky (b) je optimálním chlazením pro dostatečné vyrovnání vnitřních pnutí viskózním tokem, a proto se používá po technologickém zpracování fólie i v závodě AGC. Křivka (c) znázorňuje nejmenší rychlost, se kterou může být polymer zahřátý nad T_g chlazen, aby nedošlo ke vzniku nežádoucí krystalické struktury. [11]

Teplota skelného přechodu byla zjištěna metodou diferenciální skenovací kalorimetrie (metoda při níž se zkoumají tepelné vlastnosti materiálů – široce se využívá pro určení teplot tání, skelných přechodů a krystalizací nejrůznějších materiálů). Spočívá v konstantní rychlosti chlazení nebo ohřevu dvou nádob, jedna nádoba je prázdná – tedy referenční a druhá obsahuje vzorek. Je měřen rozdíl v tepelných tocích do jednotlivých nádob. [12]

Na obrázku 22 je grafický výstup z metody DSC pro PVB fólii. Na ose y se nachází tepelný tok proudící do nádob a na ose x teplota vzorku. Modrá křivka představuje zjišťování teploty skelného přechodu při chlazení vzorku. Červená křivka naopak zjišťování teploty T_g při ohřevu vzorku. Teplota skelného přechodu PVB fólie při ohřevu je rovna $T_g = 47,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, při chlazení $T_g = 49,7 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Obr. 22 – Grafický záznam z testu DSC [13]

Molární hmotnost

Jak uvádí práce [1] molární hmotnost M patří k nejvýznamnějším strukturním charakteristikám polymerů. Hodnota molekulové hmotnosti rozhoduje o chování polymeru za různých podmínek. Má-li mít makromolekulární látka nějakou mechanickou pevnost, musí se její polymerační stupeň (tj. počet merů v makromolekule) pohybovat minimálně v rozmezí od 40–80.

3. Příprava a proces vkládání PVB fólie a skla

3.1. Příprava PVB fólie

Tato kapitola pojednává o přípravě samotné fólie před tím, než dojde k prvnímu kontaktu se sklem. Tedy od jejího rozbalení, navinutí, následných technologických úpravách (strečink/G-loop), nařezání, následné relaxace, aplikace drátků, pájení konektorů, popř. lepení sběrnic.

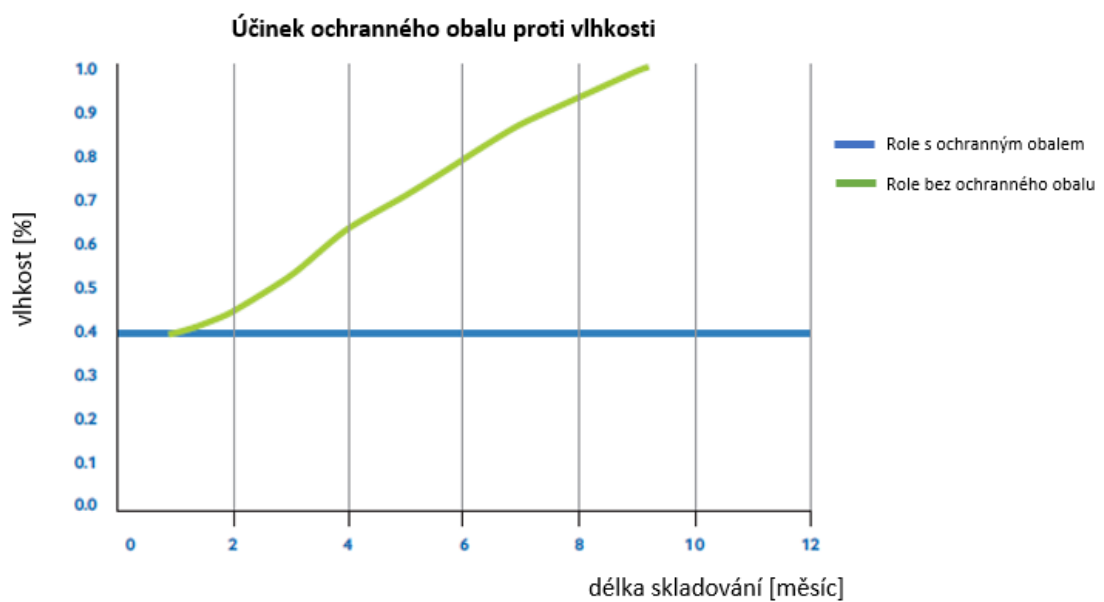
3.1.1. Skladování

PVB fólie se navíjí ve vrstvách do velkých rolí, a to buď bez, nebo s mezivrstvou. Fólie, která je navinuta bez mezivrstvy, kdy se navzájem povrchy jednotlivých vrstev fólie dotýkají, musí být skladována v chladu, ideálně při teplotách 2-8 °C, maximálně však 10 °C, aby se zamezilo přilepení jednotlivých vrstev k sobě. Fólie je ve své podstatě přilnavý materiál, a tak je její správné skladování jednou ze základních podmínek pro její správnou funkčnost. Při vyšších teplotách mají sousední vrstvy fólie tendenci se k sobě lepit a není tak zajištěna homogenita vlastností výsledné laminátové vrstvy. Pokud nelze zajistit tuto teplotu ve skladovacích prostorech, řešením je při navíjení fólie zároveň navíjet i hliníkovou fólii, která vytvoří mezivrstvu. Takto prokládané role mohou být skladovány po krátké časové úseky v teplotách až do 40 °C. Průměrné teploty pro delší časový úsek by však neměly být vyšší než 30 °C. [5]

Role s fólií jsou chráněny hliníkovým obalem, který udržuje stálou vlhkost fólie a zabraňuje proniknutí větší vlhkosti na její povrch a následné absorpci vody. Je nutné udržet obal neporušený a celistvý po dobu transportu i skladování, aby se nezhoršovaly adhezní vlastnosti fólie, které vlhkost přímo ovlivňuje. [5]

Vliv použití ochranného obalu na hodnotu vlhkosti na 15 b.m. fólie o tloušťce 0,76 mm, která je vystavena teplotě 10 °C a 90% relativní vlhkosti prostředí, jako funkci délky skladovaného času, lze vidět na obrázku 23. Modrá přímka s konstantní hodnotou vlhkosti představuje roli, chráněnou ochranným obalem. [5]

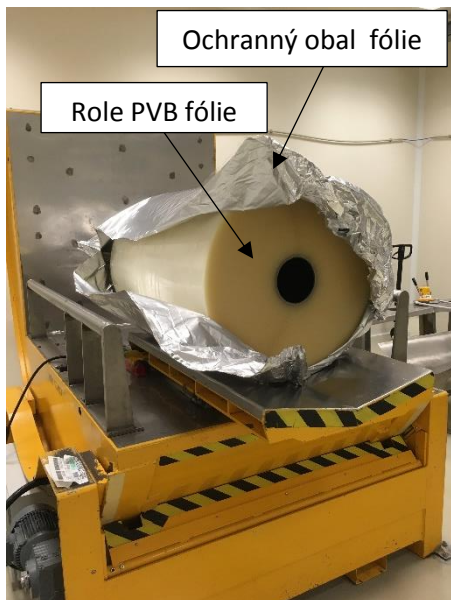
Naproti tomu role, která chráněná obalem není, působení vlhkosti podléhá velmi rychle. Jak je uvedeno výše, jedna ze základních vlastností PVB fólie je její hygroskopicita, což přímo potvrzuje obrázek 23, kde zelená křivka znázorňující navlhavost role bez ochranného obalu, roste velmi prudce. [5]



Obr. 23 – Účinek ochranného obalu [5]

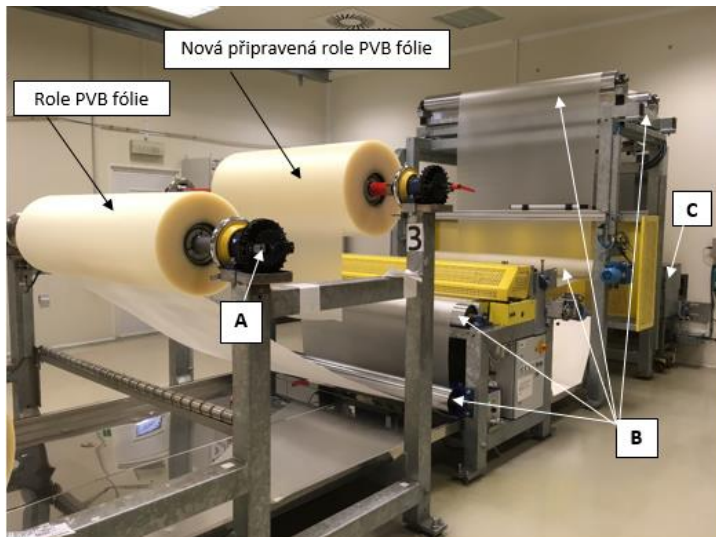
3.1.2. Technologické zpracování fólie

Poté, co se fólie rozbalí (obr. 24) a umístí do čistého prostoru⁷, je připravena k použití.



Obr. 24 - Role PVB fólie v ochranném obalu

Proces po rozbalení fólie je znázorněn na obrázku 25. Prvním krokem je napojení fólie do stroje, který má za úkol ji kontinuálně odvíjet (A). Pás odvíjené fólie prochází přes sadu válců (B), které ji rovnají, případně čistí od nečistot, které by se na fólii však vyskytovat neměly, a dále projíždí pod antistatickým nožem (C), který odvádí nežádoucí elektrický náboj, kterým se fólie nabíjí při manipulaci. Poslední očištění fólie před vstupem na zahříváné válce provede čistící mašinka, kterou lze vidět na obrázku 26. [14]



Obr. 25 - Proces odvíjení fólie



Obr. 26 – Čistící mašinka

⁷ Čistý prostor – pracoviště, kde dochází ke zpracování PVB fólie, o kontrolované a předepsané vlhkosti ($28\% \begin{smallmatrix} +7\% \\ -5\% \end{smallmatrix}$) i teplotě (18 ± 2 °C), kam smí vstoupit člověk pouze pokud je řádně ustrojen (v předepsaném ochranném obleku)

Následně fólie pokračuje přes sadu nahřátých válců (obr. 27) a zahřívané ozubené kolo kuželovitého nebo válcového tvaru tzv. umbrellu (obr. 28, 29, 30), kde se zpracování dělí na dva možné způsoby:

- Strečink
- G-loop

[14]

Po některém z výše uvedených zpracování (podrobně vysvětleno níže) se fólie dostává na chladicí stůl (obr. 31, 32), který je ochlazován na teplotu 13°C. Maximální teplota PVB fólie před najetím na chladicí stůl je 25 °C. Stůl je zakončen řezačkou, která odvíjený pás nařeže na předem nastavený rozměr (obr. 33). [14]



Obr. 27 - Nahřátý válec



Obr. 28 - Fólie na umbrellu



Obr. 29 - Druhá strana umbrelly



Obr. 30 - Fólie před najetím na chladicí stůl



Obr. 31 - Fólie vyjíždějí z místnosti s umbrellou

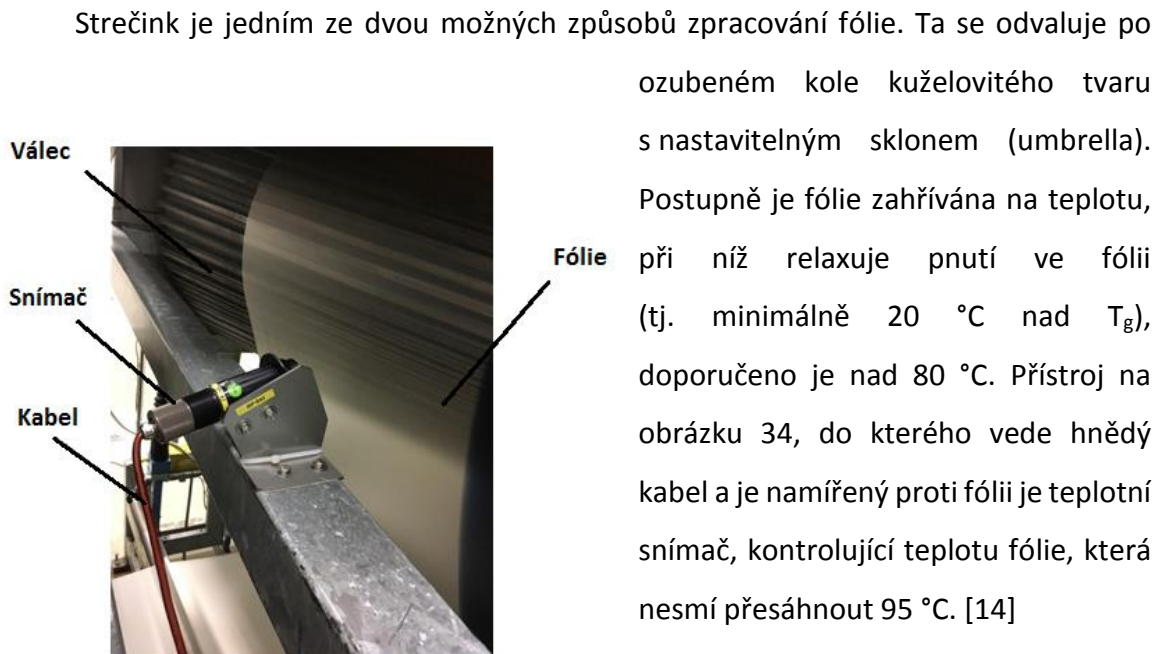


Obr. 32 - Chladicí stůl s fólií



Obr. 33 - Řezačka fólie

Strečink



Obr. 34 - Detail strečinku na umbrelle

Strečink je jedním ze dvou možných způsobů zpracování fólie. Ta se odvaluje po ozubeném kole kuželovitého tvaru s nastavitelným sklonem (umbrella). Postupně je fólie zahřívána na teplotu, při níž relaxuje pnutí ve fólii (tj. minimálně 20 °C nad T_g), doporučeno je nad 80 °C. Přístroj na obrázku 34, do kterého vede hnědý kabel a je namířený proti fólii je teplotní snímač, kontrolující teplotu fólie, která nesmí přesáhnout 95 °C. [14]

Jak bylo popsáno dříve, vlastnosti polymeru PVB se mění v závislosti na teplotě. Právě tohoto jevu se využívá při strečovém zpracování. Fólii, která je za zvýšené teploty (nad T_g) velmi měkká a poddajná, lze snadno tvarovat a pokud ji dostatečně rychle zchladíme, elastická deformace se přetvoří na plastickou a fólie zůstane v požadovaném tvaru. [14]

Bezprostředně po strečinku, se fólie ochladí na teplotu 25 °C. Prudké ochlazení zapříčiní smrštění fólie. [14]



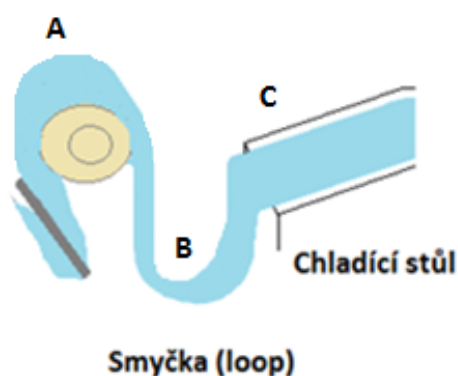
Obr. 35 - Tvarovaná fólie po strečinku na chladícím stole

Díky kuželovitosti umbrelly lze dosáhnout požadovaného tvaru, kde má fólie na své spodní straně rádius větší než u horního okraje. Takto tvarovanou fólii po strečinku vidíme na obrázku 35. [14]

Fólie má schopnost se smrštít přibližně o 5–10 % své plošné velikosti (záleží na druhu fólie a výrobcí). Pokud k co největšímu smrštění dojde ihned po strečinku, fólie již nebude při dalším zpracování tak výrazně měnit svou velikost. K určitým změnám rozměrů ale dochází, protože potenciál smrštění není při strečinku zcela vyčerpán. Tento jev, kdy se vyčerpává zbytkový potenciál a fólie se dále smršťuje se nazývá tzv. relaxace. Právě relaxace fólie je předmětem zkoumání této bakalářské práce. [14]

G-loop

Technologie G-loop je stejně jako strečování prováděna na umbrelle, liší se však v jejím provedení. Umbrella je nastavena do válcovitého tvaru a nemá žádný sklon. Fólie se na vstupu na válce zahřeje na nižší teplotu, a to 80 °C, aby relaxovalo jak tlakové, tak tahové pnutí. Následně se řízeně chladí, již před výstupem z umbrelly (A), pomocí fukarů, které jinak (při streči) rozvádí teplý vzduch, aby se zabránilo vzniku vysokých přechodových pnutí – ať už tlakových, či tahových. [14]



Při technologii G-loop se fólie po výstupu z umbrelly nenechá ihned najet na chladicí stůl, ale vytvoří se takzvaná smyčka (loop) (B), ve které je fólie dále postupně chlazená a má více času zrelaxovat napětí a smrštít se tak o co největší procento (obr. 36). [14]

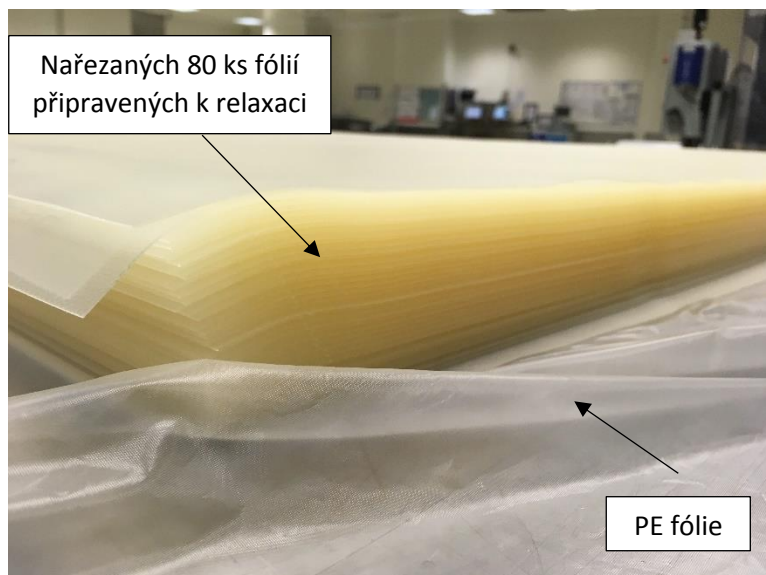
Obr. 36 - Zjednodušené schéma technologie G-loop

Na začátku smyčky je teplota fólie 35-40 °C a těsně před vstupem na chladicí stůl je maximální teplota PVB fólie 25 °C. Chladicí stůl má teplotu 13 °C. [14]

Následné maximální sražení fólie se pohybuje kolem 3 %. Pokud by nedošlo k relaxaci ve smyčce a fólie se ihned dala na chladicí stůl (C) a nařezala, následné sražení by dosahovalo až 15 %. [14]

3.1.3. Řezání

Částečně smrštěná fólie se na konci chladicího stolu automatickým nožem nařeže na přesné rozměry tak, jak je to z hlediska dalšího použití nutné. [14]



Paleta se opatří PE fólií (polyethylenová fólie), na které celý balík přířezů následně leží. Na jedné paletě je 80 kusů PVB fólie. Takto připravenou paletu s přířezy k relaxaci lze vidět na obrázku 37. [14]

Obr. 37 - Paleta s nařezanými fóliemi

3.1.4. Relaxace

Připravená paleta s přířezy se složí na další hotové palety s fóliemi a po dalších 48 hodin fólie pouze takto srovnané leží, aby zrelaxovaly napětí. Napětí vnesené do materiálu jak při jeho samotné výrobě, tak během procesu (strečink/G-loop) se nyní uvolňuje relaxací, tedy částečným smršťováním fólie. Právě zjištění vhodné doby relaxace jednotlivých typů fólií je součástí experimentální části této bakalářské práce. [14]

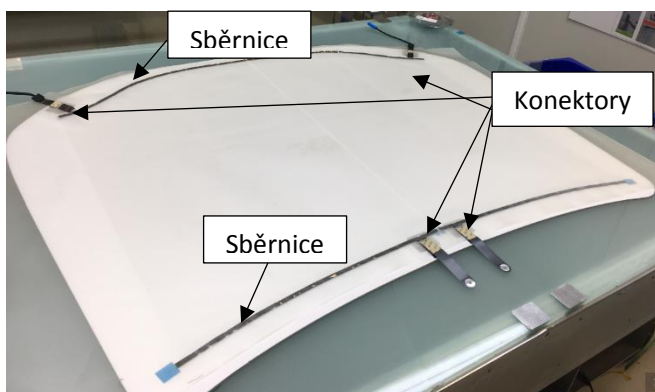
K další manipulaci s fólií a jejím úpravám (aplikace drátků, sběrnic a pájení konektorů) dochází tedy až po 48 hodinách. Nastavení vhodné délky doby relaxace je důležité především proto, že pokud by se drátky a konektory naaplikovaly dříve, než fólie vyrelaxuje většinu napětí, měly by po několika hodinách zcela jinou polohu než při aplikaci – fólie se v čase smršťuje a drátky a konektory by se dostaly do průhledové části skla a to jako takové, by již nesplňovalo nastavené a nařízené parametry. [14]

3.1.5. Aplikace drátků a sběrnice

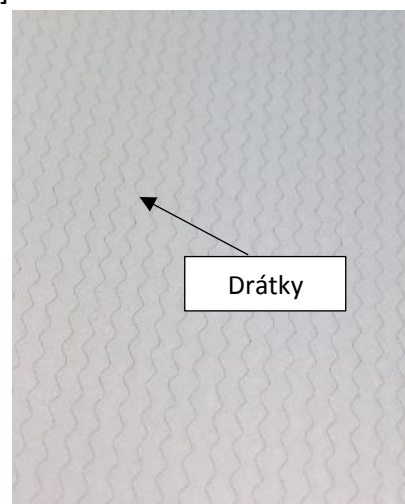
V čelním skle zajišťuje PVB fólie jeho hlavní funkční vlastnosti. Protože výroba skla je svou výrobou náročná a probíhá za velmi vysokých teplot, je zřejmé, že veškeré funkční prvky, které na sklo chceme umístit, musíme aplikovat až potom, co je tabule skla vyrobena. Sklo je křehký amorfnní, ale velmi tvrdý a pevný materiál a své vlastnosti si nejlépe zachovává, když je neporušené a vcelku. Z toho logicky vyplývá jediná možnost, a sice že všechny funkční prvky, které dovnitř čelního skla chceme umístit, je nutno aplikovat na PVB fólii, která se mezi dvě tabule skel vloží a následných technologickým zpracováním (podrobně popsáno v podkapitole 3.2.) se takto složený sendvič (sklo – PVB fólie – sklo) zkompaktní laminací (podkapitola 3.2.8.) a stane se z něj jeden celek, který je z obou stran chráněn velmi tvrdým amorfnním sklem, jehož vlastnosti jsou podpořeny polymerní fólií, která v případě porušení struktury skla, drží celý sendvič pohromadě a nedojde tak k jeho vysklení (defragmentaci). [14]

Fólie propojuje skrze konektory čelní sklo s automobilem a díky tomu lze sklo opatřit senzory, vyhřívat ho a vést signál rádiovou anténou (taktéž umístěnou na fólii). Aby tyto funkce (závislé na dodání elektrické energie) bylo možné aplikovat, je nutné do skla zavést elektricky vodivé prostředí. To se děje dvěma způsoby. [14]

Starší metodou (tzv. necountingová verze) je vyplést do celého povrchu fólie velmi jemný wolframový drátek, který po celé ploše působí jako vodič, který je následně s automobilem spojen skrze dvě cínové sběrnice nalepené na fólii, na které jsou napájené konektory s kabely vedoucí dovnitř automobilu. Takto vyrobenou fólii lze vidět na obrázku 38, detail výpletu drátků na obrázku 39. [14]



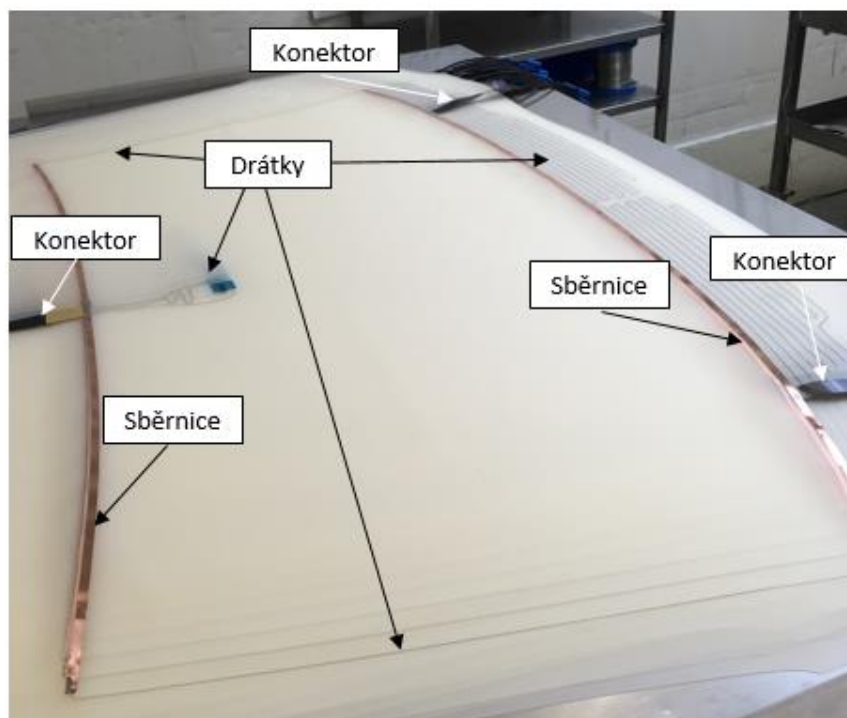
Obr. 38 – Naaplikovaná fólie



Obr. 39 - Detail výpletu drátků

Druhou modernější variantou je tzv. countingové sklo. Drátky se již nevyplétá celý povrch fólie, a tak je i výhled z kabiny vozu pro řidiče sklem komfortnější a čistší. Sklo samotné se již při výrobě pokovuje technologií magnetronového naprašování tenkou vrstvou, o síle přibližně 280 nm, která zajišťuje vodivé prostředí po celé jeho ploše. Aby se zajistil vodivý přechod mezi sklem a fólií, je fólie opatřena dvěma měděnými sběrnici nalepenými na fólii, na které jsou připájené konektory sloužící pro přívod elektrické energie. Jak již bylo řečeno, v countingových sklech se celý povrch fólie nevyplétá, aby ale docházelo k účinnému zahřívání skla, oblast kolem zpětného zrcátka, či stěračů (nebo kombinace obojího) se jemným wolframovým drátkem roboticky vyplete. Fólie se dále opatří sběrnici (viz. obr. 40), které taktéž propojují drátek, a na které se pájí konektory (popř. se konektory pájí přímo na drátky bez přítomnosti sběrnic). Tato oblast však při výhledu z automobilu ven není vidět, a tak řidiče nijak neruší. [14]

Sběrnice je vyrobena z téměř čisté mědi s obsahem 99,6 % Cu a zajišťuje konstantní přenos tepla po skle pracující na principu změny elektrického odporu. Na sběrnici se dále pájí konektory, které následně propojují sklo s automobilem a zajišťují výměnu elektrické energie se sklem. [14]



Obr. 40 - Fólie pro countingovou verzi skla

3.2. Proces výroby laminovaného čelního skla

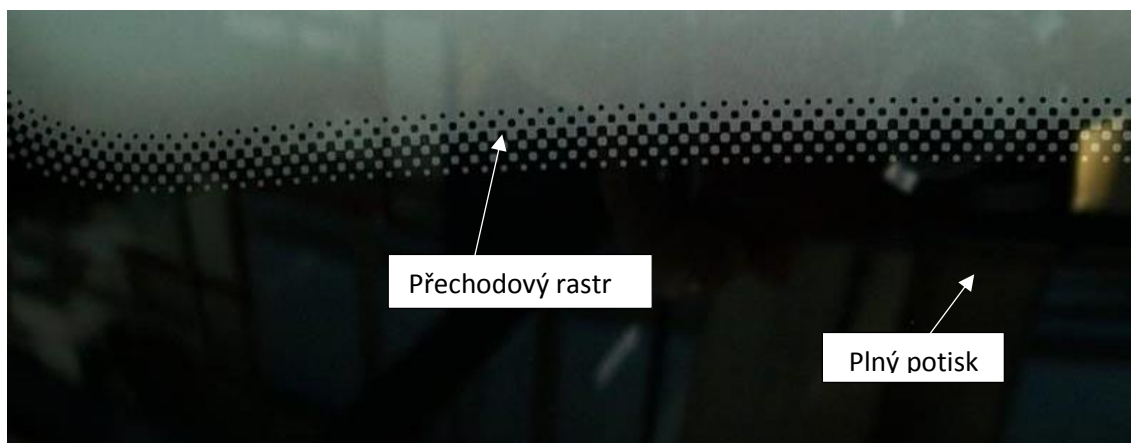
Kapitola se zaměřuje na přípravu samotného skla před prvním kontaktem s fólií a následným procesem, kterým fólie prochází společně se sklem po jejich složení.

3.2.1. Řezání, broušení

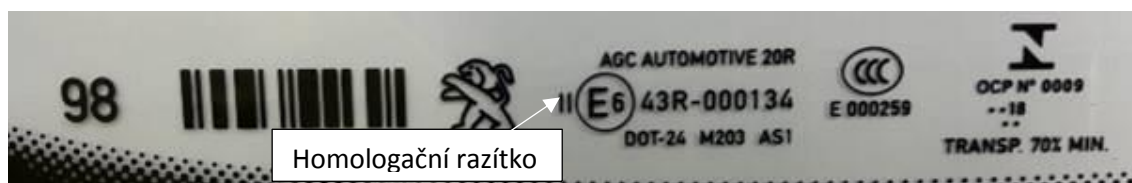
Vstupním polotovarem je tzv. holé sklo (naked glass) skladované v tabulích s předřezaným tvarem finálního čelního skla. Robot sklo uchopí a prořízne připravenou perforovanou konturu. Následně sklo pokračuje po pásovém dopravníku k automatizované brusce, která okraj skla začistí.

3.2.2. Potisk

Na sklo se sítotiskem nanáší zákazníkem požadovaný tvar potisku a označení (logo, číselné označení, homologační razítko...). Jak je patrné z obrázků 41 a 42, tiskne se tmavou barvou. Potisk se aplikuje na vnější sklo. Děje se tak z důvodů funkčních a estetických. Z hlediska funkčních vlastností je vhodné zmínit ztmavení skla po okrajích, které zmírňuje oslňování posádky automobilu přímými slunečními paprsky. Tvar a velikost potisku je také designovou záležitostí, která dotváří celkový vzhled automobilu. [14]



Obr. 41 – Potisk okrajů čelního skla



Obr. 42 - Detail natisknutých označení

3.2.3. Ohýbání

Další fází v přípravě skla je jeho ohýbání, tento krok je velmi důležitý pro správný výsledek laminace. Dvě skleněné tabule používané pro výrobu jednoho čelního skla, se ohýbají společně gravitační technologií. V tomto páru se dále zpracovávají po celou dobu následného procesu. [14]

Klíčovým požadavkem je paralelita skel (tj. geometrické uspořádání jednoho skla vůči druhému v prostoru). Sklo překonává v ohýbací peci teplotu skelného přechodu. Sklo se ohýbá v elektrické peci gravitačním ohýbáním pouze za působení tepla, vlastní tíhy skla a formy s řízeným ohřevem a chlazením. K ohybu dochází při teplotách těsně nad T_g . Teplota skelného přechodu (T_g) skla je přibližně 560°C. [14]

Požadovaným výsledkem jsou co nejvíce souběžná paralelní skla s minimem odchylek vzájemných vzdáleností na odpovídajících místech na sklech, jejichž přípustné maximum je do 0,2 mm. [14]

3.2.4. Mytí skel

Dalším důležitým krokem v procesu je důkladné omytí skel. Jak již bylo řečeno, skla se ohýbají a dále zpracovávají v páru, ve kterém byla ohýbána – z důvodu jejich paralelity. Při mytí skel je pohyb robota nastaven tak, aby se skla před vstupem do myčky oddělila, zároveň se obě omyla a po výstupu ze sušičky se opět složila k sobě. [14]

Mytí skel probíhá v demineralizované vodě o teplotě zhruba 50 °C s maximální vodivostí 20 μS (dešťová voda má vodivost 50 μS a pitná voda 100 μS). Cílem oplachu je umýt sklo po pobytu v peci na takovou úroveň čistoty, aby nedocházelo k porušení adheze mezi sklem a PVB fólií (jak bylo zmíněno dříve). [14]

Vynikající adheze je jednou z hlavních vlastností, kterou se snažíme zlepšovat v průběhu celého procesu přípravy skla i fólie.

3.2.5. Sušení

Jednotlivá skla se suší v sušícím agregátu. Z důvodu změny vlastností fólie při změnách teploty, se skla po usušení musí ochladit na teplotu přibližně 25°C. [14]

Pokud by se sklo po mytí zanechalo vlhké nebo mokré, způsobilo by to při následné laminaci defekty. Pokud se alkalické kovy jako draslík vyskytují na rozhraní

PVB fólie – sklo, mají tendenci přijímat zbytkovou vlhkost. Tento jev vede k navázání vody mezi alkoholové skupiny polyvinylbutyralu a silanolových skupin na povrchu skla. Následkem je snížení adheze. Vlhkost způsobuje v procesu skládání špatné odvodušnění fólie – zbytkový vzduch mezi sklem a fólií zapříčiňuje řadu vad. [14]

3.2.6. Skládání

Ochlazená skla putují dále ke skládání. Skládání je proces vložení fólie mezi dvě k sobě patřící skla, která se po mytí a sušení opět složí dohromady. Zde přichází na řadu poprvé během procesu lidský faktor. Robotická ruka pouze pomáhá s manipulací skel, ale zakládání PVB folie mezi pár skel musí provést člověk. Právě nyní jsou podstatné teploty, na které bylo sklo ochlazené po sušení. Sklo s teplotou 25 °C nemá vzhledem k fólii nijak agresivní reakci. Pokud by sklo nebylo ochlazené na požadovanou teplotu, došlo by při kontaktu fólie se sklem k jejímu částečnému přilnutí a následně by již nebyla možná žádná manipulace s fólií. [14]

Naopak fólie, která by se dostala na přechlazené sklo, by měla tendenci po skle klouzat a nebylo by tak možné zajistit její přesné a bezpečné uložení mezi skly. Je však potřeba, aby se fólie po vložení na sklo vystředila a právě operátor výroby zajistí jak přesné uložení fólie, tak i její kontrolu. [14]

3.2.7. Předlisování

Cílem předlisování je odsát ze soustavy sklo – fólie – sklo maximum vzduchu a poté ihned uzavřít hranu budoucího čelního skla před následným vnikáním vzduchu. Jakmile se hrana jednou uzavře, žádný vzduch už nemůže uniknout ven. Pokud by předlisování nebylo provedené správně a hrana byla uzavřena dříve, než se odsaje maximum vzduchu, mezi sklem a fólií by zůstalo větší než přípustné množství vzduchu, které by následně zapříčinilo nesprávnou a nedokonalou laminaci, nebo by k ní vůbec nedošlo. [14]

Předlisování lze provádět dvěma způsoby. První je mechanický a druhý vakuový. Ten se dále dělí na dva druhy dle provedení, a to pomocí vakuových profilů nebo „rubber bagů“ – česky gumových pytlů. [14]

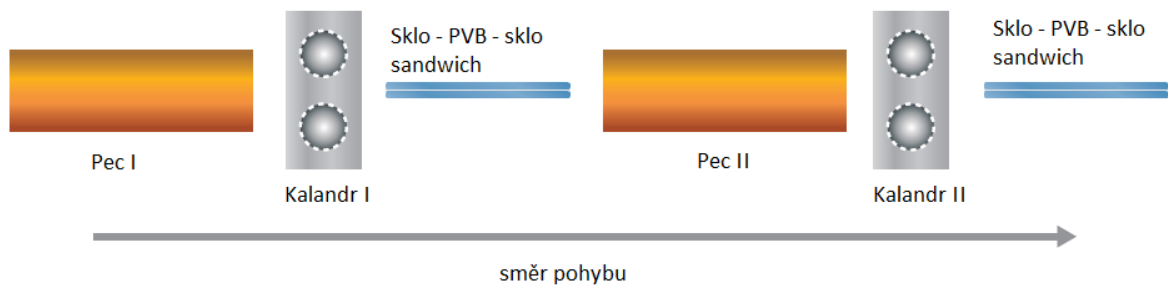
Vliv na kvalitu předlisování má embosování fólie (viz. podkapitola 2.4.4.). Konkrétní reliéf povrchu napomáhá lepšímu odvodu vzduchu z prostoru mezi sklem – folií – sklem. [14]

- Mechanické

Mechanické předlisování se sestává ze dvou částí, schéma je znázorněno na obrázku 43. První je chladnější fáze, kdy se sklo v peci přehřeje na 60 °C a vzduch se odsaje mechanicky pomocí tzv. kalandrů. [14]

Kalandry jsou dva válce umístěné naproti sobě, které zajistí mechanický odvod vzduchu ze soustavy sklo – folie – sklo, vzduch se vytlačuje. Sklo válci projíždí různou rychlostí – zpočátku se pohybuje pomaleji, poté se ve střední části skla nepatrně zrychlí a následně se zase zpomalí. Rychlosti a nastavení pohybů záleží na konkrétním technologickém postupu. [14]

Na závěr nastává fáze teplejší, kde se sklo po vyjetí z prvního páru kalandrů v peci zahřeje na 95 °C a přichází na řadu druhé předlisování za pomoci další dvojice kalandrů. [14]



Obr. 43 - Schéma mechanického předlisování [5]

- Vakuové

Jak plyne již z názvu, tento typ předlisování využívá vakua. Sklo by na vstupu mělo mít teplotu kolem 30°C. Tento druh předlisování se skládá z několika důležitých fází. [14]

o Studená fáze

Probíhá při teplotách 30-35 °C, kdy se odsává vzduch, který se do soustavy sklo – fólie – sklo dostal z prostředí, ve kterém probíhala příprava a skládání. Je nutné

setrvat v této fázi minimálně 5 minut, poté již zůstane v soustavě pouze vzduch, který je v embosu. resp. mezi embosem a fólií. [14]

○ Růst teploty

Postupným zahříváním soustavy za neustálého odsávání vzduchu se zahřívá i embos (vytvořený profil na embosových válčích), který začne zmenšovat svůj profil – pomalým zahříváním vyrovnává svůj povrch a molekuly vzduchu se tak vytlačují z úžlabin pryč a jsou odsávány. Růst teploty je pomalý, do svého maxima 100 °C se dostane během 15–45 minut. Doba ohřevu závisí na složitosti dílu – čím složitější díl, tím je delší doba ohřevu. Čím větší je množství konektorů umístěných na fólii, tím delší je doba potřebná k ohřevu, neboť konektor tvoří pro odváděný vzduch překážku, ten má tendenci se zde hromadit. [14]

Nerovnosti vzniklé nedokonalým ohybem skla, je fólie schopna vyplnit přibližně do velikosti 0,2 mm. Fólie má při zahřívání tendenci zvětšovat svůj objem, a tak vyplňovat prostor ve kterém se nachází, a proto když se vyrovnává profil (embos), fólie vyplňuje a zatéká i do nerovností. Pokud je ale prohlubeň větší než 0,2 mm fólie prostor nevyplní dokonale a v takovém místě pak zůstane vzduchová bublina. [14]

Pomalá teplotní náběhová křivka je důležitá pro odsání maxima vzduchu. Teplo se šíří od středu soustavy směrem k okrajům a jakmile teplota překročí mez 100 °C i po okrajích čelního skla, čímž dochází k uzavírání hrany, nelze již žádný vzduch ze soustavy odsát. [14]

Uzavřením hrany rozumíme ohřátí fólie na krajích nad takovou mez, že se právě její kraje začnou tavit a vyplní zbývající prostor soustavy hrana skla – fólie – hrana skla. [14]

○ Fáze chlazení

Chlazení probíhá na vzduchu. Bezpečná teplota pro obnovení atmosférického tlaku (odpojení vakua) je 40°C. Pokud by byla teplota vyšší, hrozí znovu-otevření skla a tzv. „rozjetí skla a fólie“. Fólie je totiž při vyšších teplotách velmi měkká a brzké vyrovnání tlaku by zapříčinilo, že po sobě sklo a fólie sklouznou. Stejný děj bude popisován v následující podkapitole 3.2.8. o autoklávu. [14]

3.2.8. Autokláv

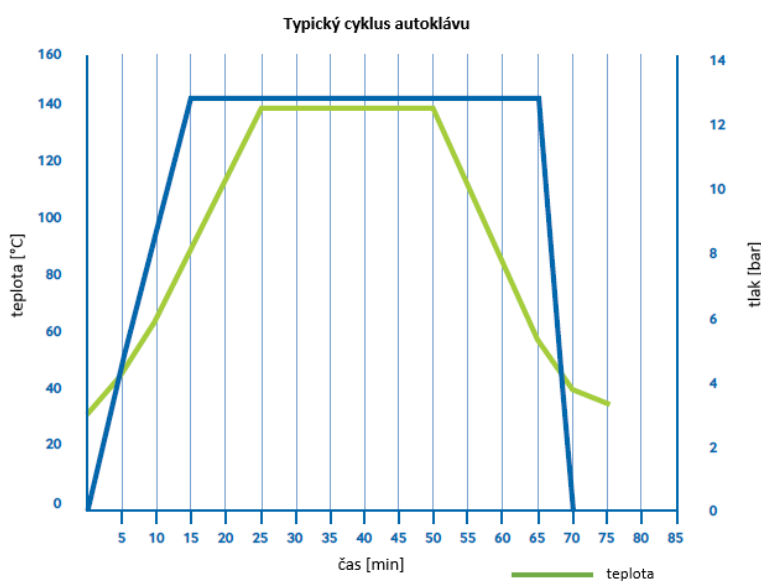
Poslední krok laminace probíhá v tzv. autoklávu, což je stroj, který je konstruovaný pro technologii procesů probíhajících za vysokých teplot a tlaků.

Princip

V autoklávu působí na soustavu sklo – fólie – sklo při teplotě 135 °C tlak o velikosti 13 barů, a tak vzniká dostatečná adheze. Autokláv dokáže rozpouštět zbytkový vzduch – například u konektorů či v nerovnostech. Hrana soustavy je již uzavřená, a tak lze vzduch v PVB fólii a zbytkový vzduch mezi fólií a sklem pouze rozpouštět, nikoliv ho odsávat. Rozpustnost vzduchu v PVB za normální teploty a tlaku je vysoká. [14]

Běžný pracovní cyklus autoklávu znázorňuje obrázek 44. Na ose Y se nachází teplota ve stupních Celsia, na ose X čas v minutách a na vedlejší ose Y je tlak v barech.

Proces se sestává ze tří základních kroků. Počáteční fází je nárůst, kde se teplota zvyšuje z pokojové teploty na 135 °C a tlak z normálního atmosférického (1 bar) na hodnotu 13 barů. Čas potřebný k dosažení předepsaného tlaku a předepsané teploty závisí na faktorech jako jsou: velikost autoklávu, efektivita výhřevu, počet a velikost dílů založených k laminaci. [14]



Obr. 44 - Cyklus autoklávu [5]

Po dosažení teploty a tlaku následuje 25 minutová výdrž, kdy se zbytkový vzduch v soustavě sklo – fólie – sklo rozpouští a dochází k finální laminaci soustavy. [14]

Následuje třetí a poslední fáze, fáze poklesu nastavených hodnot.

Z grafu je patrné, že teplota se začíná snižovat jako první. Teprve když teplota skla dosáhne 55 °C se začne snižovat i tlak. Zde se jedná o stejný princip jako u předlisování. Fólie je ve svém zahřátém stavu velmi měkká a sklo by se od fólie mohlo oddělit („rozjet“) a vytvořit tak po hranách vady. Došlo by totiž k nabourání rovnováhy kapalina – plynná fáze a vzduch by začal v mrzivrstvě tvořit vzduchové bubliny. [14]

Na obrázku 45 lze vidět otevřený autokláv a něm ve stojanech naskládaná skla po laminaci.



Obr. 45 - Otevřený autokláv se zalaminovanými skly

Experimentální část

V teoretické části byly podrobně vysvětleny vlastnosti a popsáno chování PVB fólie i výchozího materiálu – polymeru polyvinylbutyral. Z předchozí části vyplývá, že vlastnosti polyvinylbutyralu i PVB fólie jsou závislé na okolním prostředí. Především na **teplotě a vlhkosti** vzduchu a **čase**, po který je materiál tomuto působení vystaven.

Při nedodržení doporučených hodnot vlhkosti prostředí, fólie jakožto hygroskopický materiál vlhkost absorbuje a její adhezivní vlastnosti se exponenciálně snižují (tento jev byl podrobně popsán v podkapitole 2.4.1.).

Změny, které nastanou za působení zvýšené teploty v průběhu času, charakterizuje TTT diagram (z angl. Time – Temperature – Transformation). Popisuje kinetiku fázové transformace v závislosti na čase a teplotě (podrobněji popsáno a rozebráno v podkapitole 2.4.5.).

V experimentální části bude měřena velikost **relaxace PVB fólie** (tedy její smrštění oproti původní velikosti) **za stálé teploty a vlhkosti** vzduchu **v průběhu času**.

Velikost smrštění PVB fólie po jejím nařezání má klíčovou roli pro další zpracování. Buď se fólie **vkládá do skla holá**, nebo se na ni **aplikují drátky, konektory, popř. sběrnice**. Známa hodnota smrštění a jeho trend je tedy klíčový k porozumění, kdy je vhodné začít s aplikací komponentů, nebo v druhém případě kdy lze čistou fólii, bez přídatných aplikací, vložit do skla.

Pokud by byly fólie vloženy/naaplikovány dříve, než by se vyčerpala většina napětí a nedošlo tak k co největšímu smrštění, nastaly by dva následující problémy:

- 1) U holých fólií vložených do skla (bez drátků, konektorů, sběrnic) by došlo k tzv. **zajetí fólie**. Jedná se o jev, kdy fólie během působení tepla v procesu předlisování (podkapitola 3.2.7.) zrelaxuje své zbývající napětí a smrští se (vzhledem k nedostatečné době relaxace však o větší hodnotu), a tak se okraje fólie smrštěním dostanou dovnitř složeného skla a fólie již nevyplňuje celý prostor skla (v jeho okrajích chybí), a tak sklo nesplňuje bezpečnostní ani kvalitativní předpoklady a nařízení a musí být vyřazeno.

- 2) U fólií, na které se aplikují drátky, pájí konektory, popř. lepí sběrnice, by při nedostatečné době relaxace nastal problém s nesprávnou polohou naaplikovaných prvků.

Protože takto naaplikované a připravené fólie pro vkládání do skel musí z důvodu plánování výroby, popř. expedice do jiných závodů ještě nějakou dobu ležet (nejčastěji 2-7 dní, jsou ale i výjimky v řádu týdnů – zde se jedná právě o fólie expedované do jiných závodů), je nutné, aby fólie po aplikaci již příliš nerelaxovala. Pokud by se fólie po aplikaci i dále výrazně smršťovala, nastal by problém s pozicí drátků, konektorů a sběrnic ve skle. Ty jsou totiž umístěny tak, aby nezasahovaly do průhledové zóny řidiče. Pokud by se tedy fólie smršťila výrazně, naaplikované prvky by zasahovaly do této průhledové zóny a sklo by bylo hodnoceno jako NOK⁸ kus a muselo by být vyřazeno.

4. Průběh experimentu

Tabulka 1 uvádí použité druhy fólií a jejich technologické zpracování pro experiment. Z důvodu zachování jedinečnosti naměřených dat a přínosu z experimentu pouze firmě AGC Automotive Czech, jsou následující výrobci i označení fólií smyšlené.

Tabulka 1 - Fólie použité k experimentu

Výrobce – použitá technologie	Typ fólie	Označení	Doba relaxace
Výrobce 1 - strečovaná	Akustická	DEF 2	48 hodin
Výrobce 1 - G-loop	Jednovrstvá	GHI 3	48 hodin
Výrobce 2 - strečovaná	Akustická	ABC 1	48 hodin
Výrobce 2- G-loop	Akustická	ABC 1	48 hodin

⁸ NOK – not OK; nedobrý, nevyhovující, opakem je OK (dobrý, vyhovující)

4.1. Příprava vzorků

Výchozím materiálem pro zkoušení a měření relaxace byly výše zmíněné akustické i jednovrstvé fólie od výrobců 1 a 2 zpracované oběma používanými technologiemi strečink a G-loop, nařezané na jednotlivé přířezy a složené po 80 kusech, jak již bylo vysvětleno v teoretické části.

Vzorky zpracované procesem G-loop, byly vyrobené za následujících technologických parametrů uvedených v tabulce 2.

Tabulka 2 - Nastavené technologické parametry pro G-loop

Obvodová rychlost válců	9 m/min
Teplota válců	100 °C
Teplota PVB fólie ve smyčce (loop)	45 \pm 5 °C -7
Teplota PVB před vstupem na chladicí stůl	25 °C
Teplota PVB před řezáním	18 °C

Vzorky zpracované metodou strečinku, byly vyrobené za následujících technologických parametrů uvedených v tabulce 3.

Tabulka 3 – Nastavené technologické parametry pro strečink

Obvodová rychlost válců	7,5 m/min
Teplota válců	105 °C
Rádus	2,5 m
Teplota PVB před vstupem na chladicí stůl	25 °C
Teplota PVB před řezáním	18 °C

Obě technologie již byly popsány a podrobně vysvětleny v teoretické části bakalářské práce (viz. podkapitola 3.1.2.).

Aby byl průběh experimentu co nejpresnější a nejbližší reálným podmínkám, byl test relaxace nastaven následujícím způsobem.

Když byla pod řezačku umístěna nová prázdná paleta opatřena polyethylenovou fólií (PE fólie), byla odebrána vždy jedna fólie, kterou řezačka uřízla a ta byla opatřena propisovací tužkou osovým křížem za pomoci metrologicky zkontrolovaného ocelového pravítka.

Horizontálně byla uprostřed fólie vyznačena osa x a vertikálně osa y. Osy se ve svých středech protínaly. Pravítko, které bylo použito pro narýsování osového kříže i následné měření se nachází na obrázku 46. Detail kalibrační značky s platným metrologickým ověřením na obrázku 47.



Obr. 46 - Ocelové pravítko

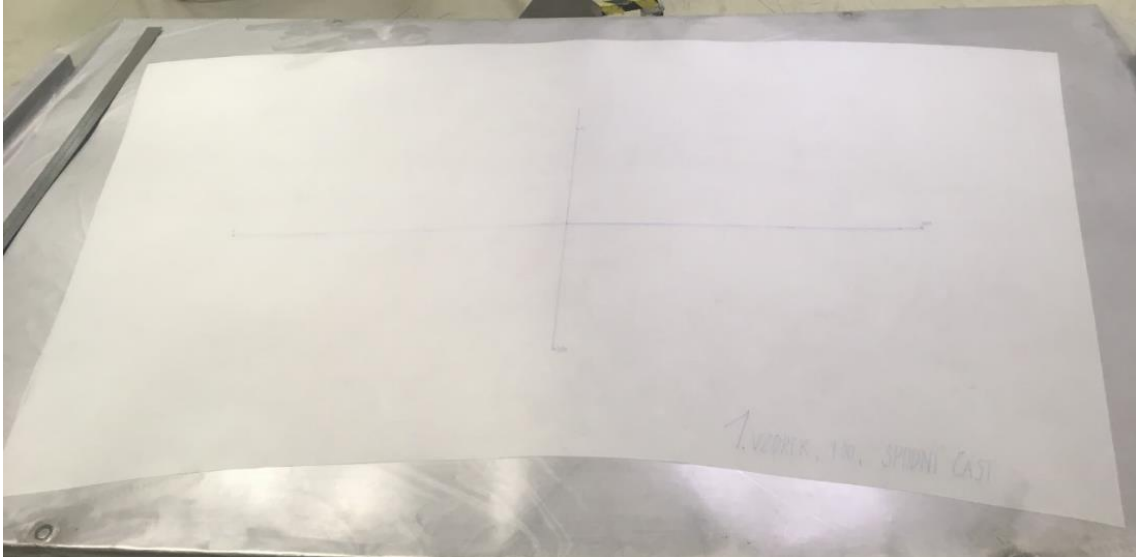


Obr. 47 – Kalibrační značka

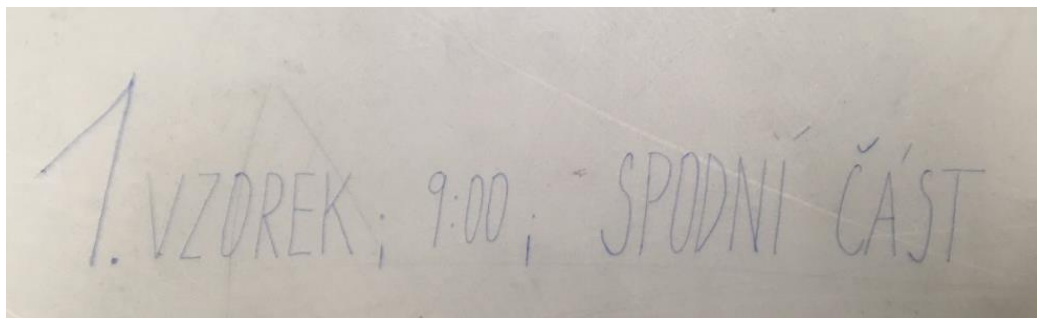
Osový kříž měl rozměry: v ose x: 1000 mm

v ose y: 500 mm

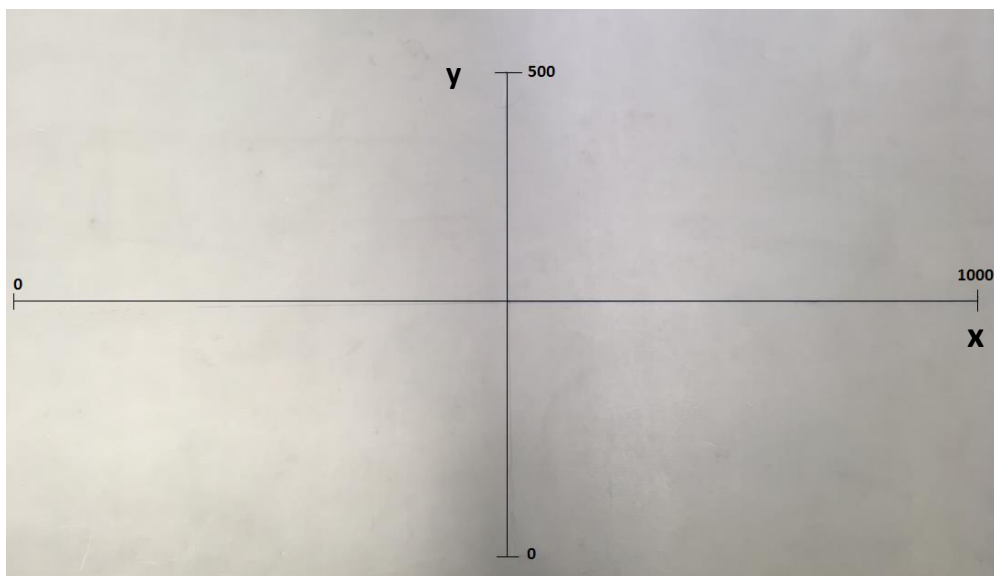
Dále byla fólie označena v jejím pravém dolním rohu číselným označením (1, 2, 3, 4, 5) a slovně popsána, ve které části palety se při testu bude nacházet. Obrázek měřeného vzorku fólie je na obrázku 48. Příklad označení a osového kříže lze vidět na obrázcích 49 a 50.



Obr. 48 - Měřený vzorek fólie



Obr. 49 - Označení příslušného vzorku fólie



Obr. 50 - Osový kříž na fólii

Ke zjištění průběhu relaxace napříč celou paletou, bylo měřeno vždy 5 ks fólie ze spodní části, 5 ks fólie ze střední části a 5 ks fólie z vrchní části stohu.

Relaxace byla měřena jako konkrétní hodnota smrštění fólie v ose x a naopak nárůst rozměrů v ose y. Tyto hodnoty byly v určených časech (1, 2, 3, 5, 24, popř. 30 a 50 hod) zapisovány do tabulky naměřených hodnot.

Označené fólie byly vráceny zpět na paletu a vsunuty do její spodní části (vsunuty z důvodu, že řezačka během odebírání a označování fólií stále pracovala a řezala další přířezy). Stejně byl postup opakován i ve střední části palety – fólie byly postupně odebírány, okamžitě označeny a následně umístěny do střední části palety. Stejným postupem bylo označeno a umístěno i posledních 5 přířezů z horní části palety, které byly položeny až na samý vrchol stohu 80 přířezů, aby byl zjištěn rozdíl v relaxaci v rámci celé palety.

Jeden přířez PVB fólie váží 0,5 – 1 kg. Záleží na modelu automobilu, do kterého je dále fólie použita (velikost přířezů se v závislosti na modelu liší). Spodní vzorky byly zatíženy vahou 75 – 79 ks fólií, na vzorky umístěné uprostřed stohu 40 – 35 ks a na horní fólie tíha 4 – 0 ks přířezů.

Časové rozložení náměrů fólie udává tabulka 4.

Tabulka 4 - Časové rozložení náměrů

	ČAS 0	1 hod	2 hod	3 hod	5 hod	24 hod	30 hod	50 hod
Zanesení osového kříže	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y	Změření os x,y
Výrobce 1, akustická, strečovaná	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	-	-
Výrobce 2, akustická, strečovaná	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Výrobce 2, akustická, G-loop	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	-	-
Výrobce 1, jednovrstvá, G-loop	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	-

S ohledem na viskoelastické vlastnosti polyvinylbutyralové fólie, tedy že manipulací fólii zahříváme, a ta pak po dodání tepla relaxuje rychleji, bylo dalších pět vzorků označených osovým křížem umístěno na druhou paletu, a to do její spodní části. S těmito vzorky se po dobu prvních 5 hodin experimentu nemanipulovalo a hodnoty byly naměřeny po 5 hodinách a následně porovnány rozdíly mezi naměřenými hodnotami fólií manipulovaných a nemanipulovaných, ke zjištění rozdílu průběhu relaxace. Následně se tyto vzorky změřily po 24, popř. 30 hodinách.

Z naměřených hodnot byly vytvořeny spojnicové grafy a z těch pak vyhodnocovány trendy relaxace jednotlivých druhů fólií a určeny nové experimentální dostatečné doby pro relaxaci palet s fóliemi. Ty byly ověřovány následnou aplikací drátků, sběrnic a konektorů po nově nastavených zkrácených dobách a kontrolovány na šablonách, zdali je pozice drátků, konektorů a sběrnic v OK zónách.

Aplikace drátků na fólii se liší podle skla, do kterého je fólie složena. Pro necoutingová skla se využívá metoda HWW, pro countingová skla metody PSM a PSK. Tabulka 5 přiřazuje ke konkrétní fólii použitou aplikaci.

Tabulka 5 – Druh aplikace na jednotlivé fólie použité k experimentu

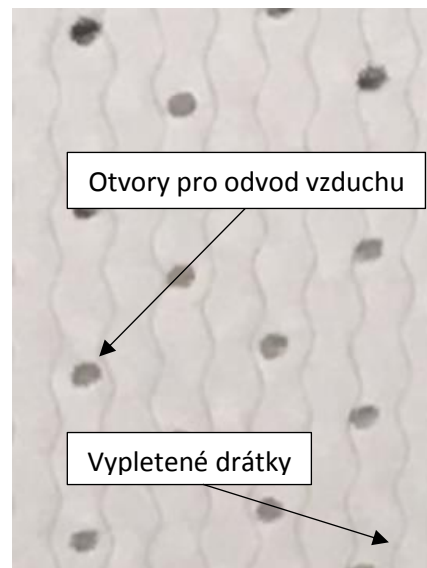
Výrobce – použitá technologie	Typ fólie	Označení fólie	Typ aplikace	Doba relaxace
Výrobce 1 – strečovaná	Akustická	DEF 2	Žádná	48 hodin
Výrobce 1 – G-loop	Jednovrstvá	GHI 3	HWW, PSM	48 hodin
Výrobce 2 – strečovaná	Akustická	ABC 1	Žádná	48 hodin
Výrobce 2 – G-loop	Akustická	ABC 1	PSK	48 hodin

4.2. Metoda HWW

Jedná se o metodu, při které se drátky zapouští do celého povrchu fólie. Na obrázku 51 lze vidět tzv. drum, který se k aplikaci používá. Na jeho povrchu se nacházejí rovnoměrně rozložené otvory, kterými se odvádí vzduch, a tak se podtlakem fólie k jeho povrchu přichytí a během zapouštění drátků má neměnnou pozici. Detail vypletené fólie umístěné na drumu i s otvory pro odvod vzduchu lze vidět na obrázku 52. [14]



Obr. 51 – Drum



Obr. 52 - Detail na povrchu drumu s vypletenou fólií

Během aplikace drátků metodou HWW je celá plocha fólie rovnoměrně tepelně ovlivňována (při aplikaci je drátek ohříván, aby mohl být zapuštěn do povrchu fólie). Pokud by tedy fólie před aplikací již nevyrelaxovala většinu napětí, začala by se výrazně smršťovat přímo na drumu. [14]

4.3. Metoda PSM a PSK

Obě metody se využívají pro countingová skla. Tedy pro skla s pokovovanou vodivou vrstvou, a tudíž není potřeba do celého povrchu fólie vyplétat drátky. Metodu PSM i PSK provádí robot a jedná se v obou případech o totožnou aplikaci drátků na povrch fólie (názvy se liší pouze z důvodu jejich rozlišení – PSM je robot starší a PSK nově zakoupený). [14]

Drátek aplikovaný ultrasonickým perem je zahříván laděnými kmity s konkrétní frekvencí a amplitudou, a tak je pod nastaveným přtlakem a za dané rychlosti zapouštěn

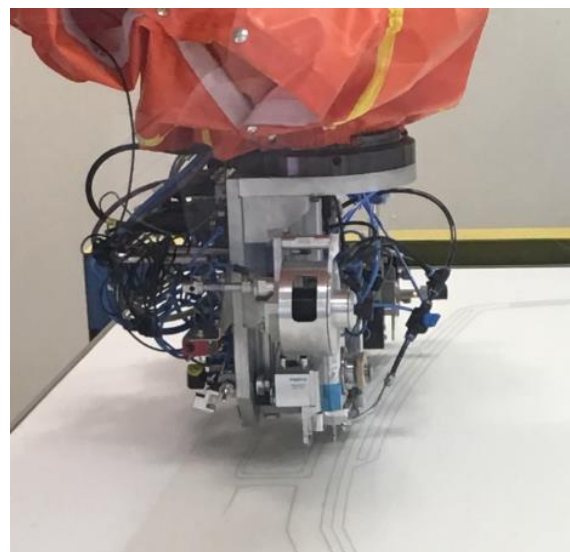
do povrchu fólie – v případě PSM i PSK pouze do oblasti kolem stěračů, popřípadě zpětného zrcátka, či po stranách fólie tak, aby drátek spojoval obě sběrnice. [14]

Ve speciálních aplikacích lze na fólii aplikovat pouze drátek, na který se pájí konektory přímo, bez použití sběrnic. [14]

Robot pro PSM aplikaci se nachází na obrázcích 53 a 54, na obrázcích 55 a 56 robot pro metodu PSK.



Obr. 53 – Aplikační robot PSM



Obr. 54 - Detail aplikační hlavy PSM robota



Obr. 55 - Aplikační robot PSK



Obr. 56 - Detail aplikační hlavy PSK robota

Výsledky a diskuse

5. Analýza relaxace fólií

U vybraných typů fólií byl zjišťován průběh relaxace vyhodnocováním měřených změn velikostí nanesených úseček osového kříže měřených v daných časech ocelovým pravítkem. Na základě těchto měření dále vyhodnocována dostatečně dlouhá doba pro relaxaci fólie před jejím dalším zpracováním (složení holé fólie do skla/aplikace drátků, pájení konektorů, popř. lepení sběrnic). Správnost nově nastaveného času relaxace byla následně ověřována i po tomto dalším zpracování.

- **G-loop, Výrobce 2, akustická, ABC 1**

Technologie: G-loop

Výrobce: Výrobce 2

Druh: akustická

Označení: ABC 1

Model automobilu: MB (Mercedes Benz)

- **Strečovaná, Výrobce 2, akustická, ABC 1**

Technologie: Streč

Výrobce: Výrobce 2

Druh: akustická

Označení: ABC 1

Model automobilu: CI (Citroën)

- **Strečovaná, Výrobce 1, akustická, DEF 2**

Technologie: Streč

Výrobce: Výrobce 1

Druh: akustická

Označení: DEF 2

Model automobilu: CI (Citroën)

- G-loop, Výrobce 1, jednovrstvá, GHI 3

Technologie: G-loop

Výrobce: Výrobce 1

Druh: jednovrstvá

Označení: GHI 3

Model automobilu: ŠK; FO (Škoda, Ford)

5.1. G-loop, Výrobce 2, akustická, ABC 1

Výrobce udává základní vlastnosti vyrobené fólie:

- maximální hodnota vysrážení fólie: 5 %
- tloušťka fólie: 0,76 – 0,82 mm
- vlhkost fólie: 0,25 – 0,50 %

Následující tabulky (Tabulka 6, Tabulka 7) shrnují hodnoty relaxace fólie v čase měřené na osovém kříži – v příslušném čase byla změřena vždy délka osy x a následně délka osy y u každé fólie. Vzorky byly umístěny po 5 kusech do vrchní, střední a spodní části palety (celkem tedy 15 měřených kusů na paletě) a očíslovány vždy od 1–5.

Na druhou paletu bylo umístěno pouze 5 ks označených fólií, a to do spodní části stohu, a ty byly měřeny po 5 a 24 hodinách, aby byl zjištěn předpokládaný rozdíl v relaxaci fólií, se kterými se během prvních 5 hodin relaxace manipulovalo a s těmi se kterými se manipulovalo až po 5 hodinách. Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a vyneseny do grafů.

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty vrchní a střední část palety

Vrchní část palety							Střední část palety						
Vzorek 1	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 1	aplikace PSK po 24 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24	
X [mm]	1000	987,5	986	985,5	984,5	983	1000	988	986	985	983,5	981	
Y [mm]	500	503,5	504	505	505	505	500	503,5	504	504,5	505	505,5	
Vzorek 2	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 2	aplikace PSK po 24 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24	
X [mm]	1000	987	985,5	983,5	981,5	979	1000	987,5	987,5	985	983,5	981	
Y [mm]	500	503,5	504	505	506	506	500	503	503,5	504,5	504,5	505,5	
Vzorek 3	aplikace PSK po 5 hodinách						Vzorek 3	aplikace PSK po 24 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24	
X [mm]	1000	987,5	985,5	984	982,5	-	1000	988	987	985	984	981	
Y [mm]	500	503,5	504	504,5	505	-	500	503,5	504	505	505,5	506	
Vzorek 4	aplikace PSK po 5 hodinách						Vzorek 4	aplikace PSK po 5 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24	
X [mm]	1000	988	988	988	983	-	1000	988	986,5	985,5	983,5	-	
Y [mm]	500	503	504,5	505	505	-	500	503	504	504,5	504,5	-	
Vzorek 5	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 5	aplikace PSK po 5 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24	
X [mm]	1000	988	986,5	984,5	984,5	981,5	1000	987	986,5	985,5	984	-	
Y [mm]	500	503,5	504	504,5	505	505	500	502,5	503,5	504	504,5	-	

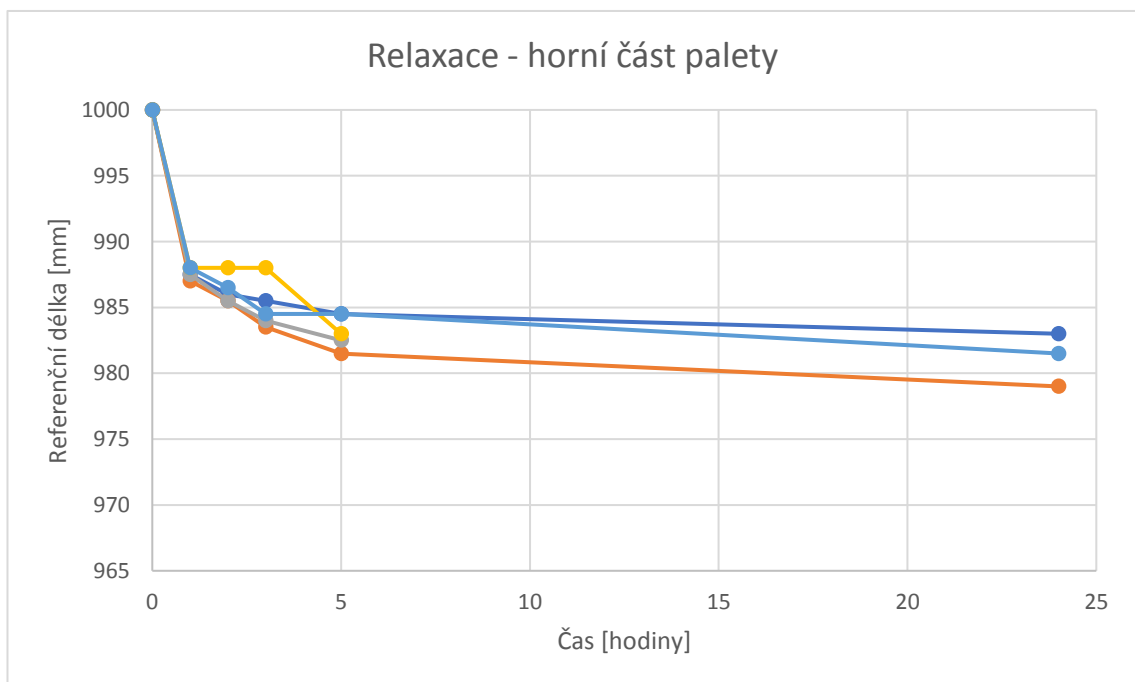
Tabulka 7 - Naměřené hodnoty spodní část palety a vzorky bez manipulace

Spodní část palety							Vzorky manipulované po 5 hodinách (spodní část palety)		
Vzorek 1	aplikace PSK po 5 hodinách						Vzorek 1	aplikace PSK po 24 hodinách	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24
X [mm]	1000	990,5	990,5	990,5	989,5	-	1000	990,5	989
Y [mm]	500	502,5	503	503,5	503,5	-	500	503,5	504
Vzorek 2	aplikace PSK po 5 hodinách						Vzorek 2	aplikace PSK po 5 hodinách	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24
X [mm]	1000	990	989	988,5	988,5	-	1000	989,5	-
Y [mm]	500	502,5	503	503,5	504	-	500	503,5	-
Vzorek 3	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 3	aplikace PSK po 5 hodinách	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24
X [mm]	1000	990	989,5	988,5	987,5	986	1000	990,5	-
Y [mm]	500	503	503,5	503,5	503,5	505	500	503	-
Vzorek 4	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 4	aplikace PSK po 24 hodinách	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24
X [mm]	1000	989,5	988,5	987,5	987,5	985	1000	990,5	989
Y [mm]	500	502,5	503,5	504	504	505	500	503,5	504,5
Vzorek 5	aplikace PSK po 24 hodinách						Vzorek 5	aplikace PSK po 24 hodinách	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24
X [mm]	1000	988,5	988	987,5	986	984	1000	990,5	989,5
Y [mm]	500	503,5	503,5	504,5	504,5	505	500	504	504,5

Pro relaxaci fólie je důležitým rozměrem délka ve ose x. Z toho důvodu jsou všechny grafy znázorněním závislosti délky v ose x na čase a dále vyhodnocované rozměry se týkají taktéž osy x.

Z dat uvedených v tabulce 6 (Vrchní část palety) převedených do grafické podoby, kterou lze vidět na obrázku 57, vyplývá, že fólie nejvíce napětí relaxovaly v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 1,2 % – 1,3 % původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění měnily v rozmezí 0 % – 0,2 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření vzorky opět zůstávaly beze změny, či se smrštily maximálně o 0,2 %. Mezi třetí a pátou hodinou se vzorky smrštily o 0 % – 0,5 %. Jak je patrné i z grafu, tím byla vyčerpána většina potenciálu ke srážení fólie. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 1,85 % z původního rozměru fólie. Technologie G-loop, kterou byla tato fólie zpracována zaručuje **maximální sražení po zpracování 1,5 % – 3 %**. Je tedy zřejmé, že se již po 5 hodinách relaxace vyčerpala většina potenciálu.

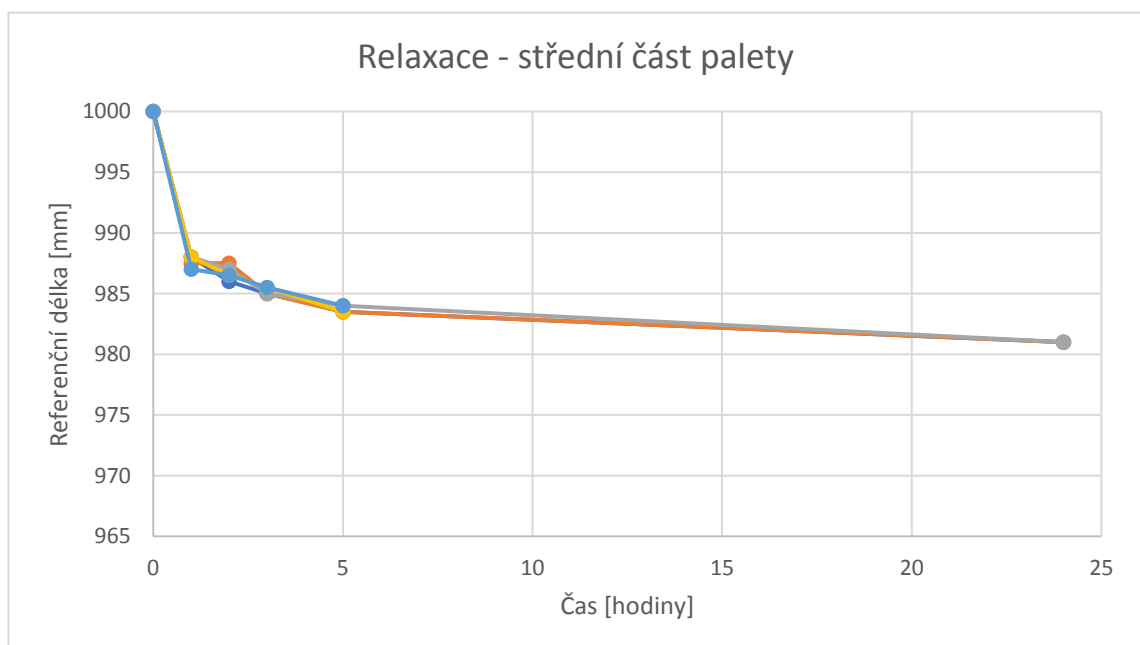
Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,15 % – 0,3 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 24. hodinou měření je relaxace téměř konstantní. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 3, vzorek 4) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 2 a 5) byly naaplikovány po 24 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 24 hodinách.



Obr. 57 - Graf relaxace, horní část

V druhé části tabulky 6 (Střední část palety) se nachází naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných uprostřed stohu. Graficky zpracované jsou na obrázku 58. Fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 1,2 % – 1,3 % z původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění měnily v rozpětí 0 % – 0,2 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření se změnily o 0,1 % – 0,25 %. Mezi třetí a pátou hodinou se vzorky smrštily o 0,15 % – 0,2 %. Během prvních 5 hodin relaxace bylo vysráženo (v maximálním případě) 1,65 % z původního rozměru fólie.

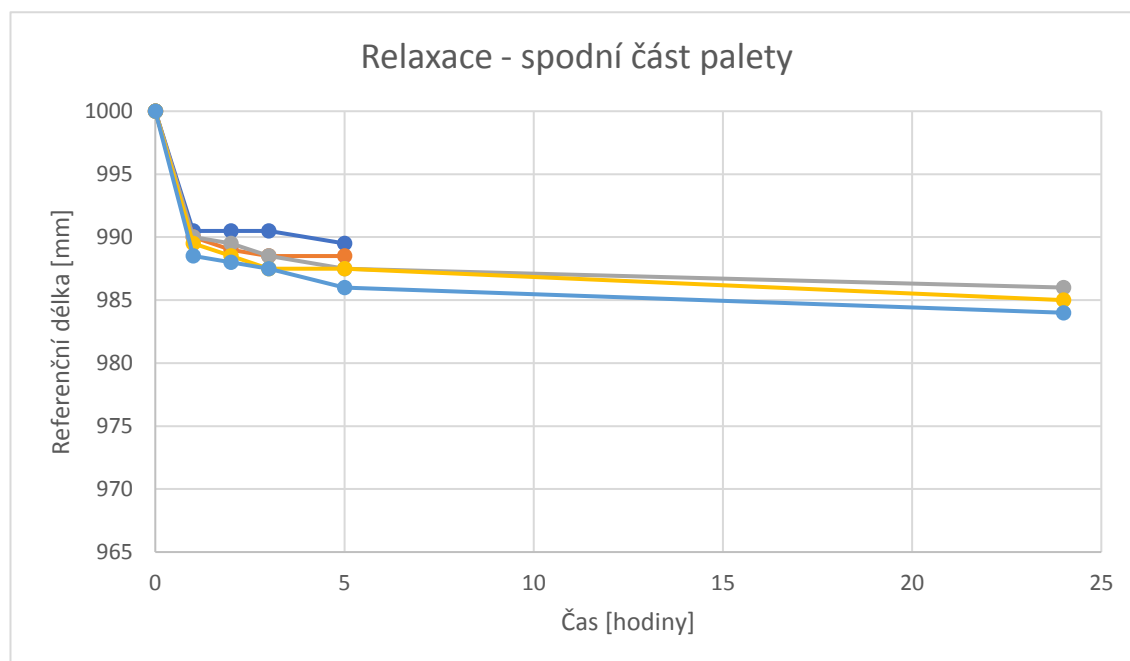
Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,25 % – 0,3 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 24. hodinou měření je relaxace téměř konstantní. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 4, 5) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 2 a 3) byly naaplikovány po 24 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 24 hodinách.



Obr. 58 - Graf relaxace, střední část

V první části tabulky 7 (Spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných vespodu stohu, které jsou zpracované v grafu na obrázku 59. Fólie opět nejvíce napětí relaxovaly napětí v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,95 % – 1,15 % původního rozměru (1 000 mm). Ve srovnání se středními a horními měřenými kusy, fólie zatížené celou tíhou palety relaxují pomaleji. Mezi první a druhou hodinou hodnoty smrštění zůstávaly buď konstantní, nebo se změnily maximálně o 0,1 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření se opět nezměnily vůbec nebo maximálně o 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se některé vzorky opět nesmrštily vůbec a vzorek s největším smrštěním dosahoval hodnoty 0,15 %. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 1,4 % z původního rozměru fólie.

Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštila o hodnotu 0,15 % – 0,25 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 24. hodinou měření je relaxace opět téměř konstantní. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 1, 2) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 3, 4 a 5) byly naaplikovány po 24 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 24 hodinách.

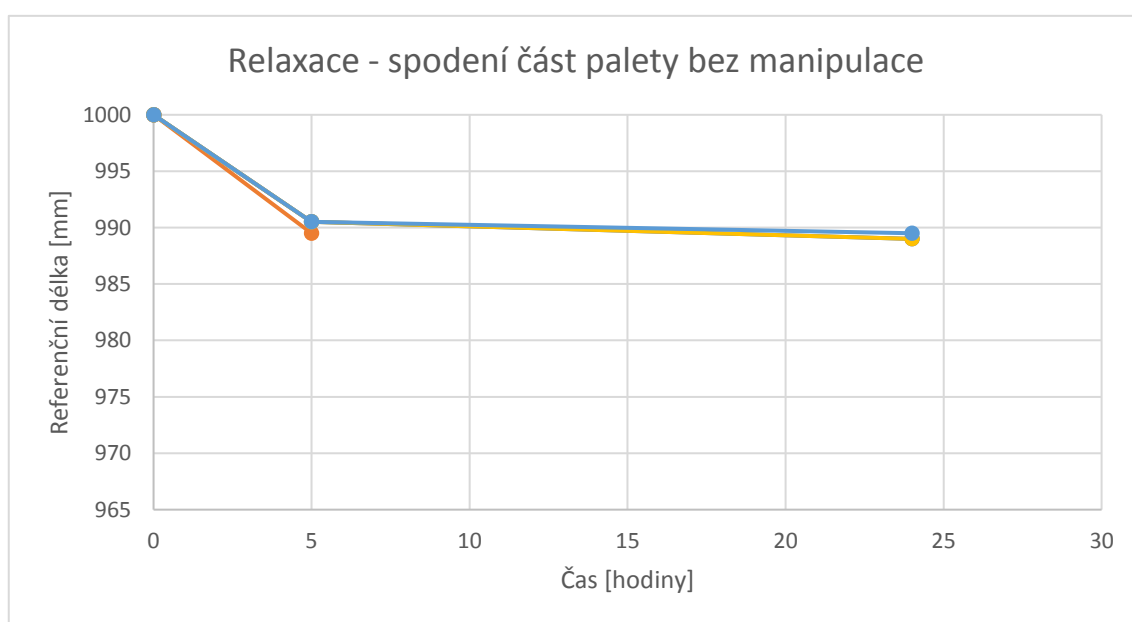


Obr. 59 - Graf relaxace, spodní část

V druhé části tabulky 7 (Vzorky manipulované po 5 hod – spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných opět vespu du palety, ale měřených až po 5 hodinách, aby mohl být pozorován rozdíl mezi měřeními, kdy je s fóliemi z důvodu měření manipulováno a mezi případem, kdy fólie po prvních pět hodin pouze leží na paletě. Tyto fólie totiž přesně reprezentují reálné smrštění fólií ve výrobě. Protože s fóliemi není po nařezání již nijak manipulováno až do jejich zpracování. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 60.

Protože nelze vyhodnotit detailní průběh smrštění v rámci prvních pěti hodin, je známa pouze hodnota celkového smrštění po 5 hodinách, která se pohybuje rozmezí 0,95 – 1,05 % a po 24 hodinách o dalších 0,1 – 0,15 %. Celkem bylo vysráženo (v maximálním případě) 1,1 % z původního rozměru fólie. Z grafu lze odečíst, že většinu napětí fólie relaxovaly během prvních 5 hodin. Mezi 5. a 24. hodinou už byly hodnoty téměř konstantní. Změna se pohybovala od 1 – 1,5 mm (0,1 % – 0,15 %), v porovnání s prvními pěti hodinami, kdy fólie vysrážely 9,5 – 10,5 mm, je to zanedbatelná hodnota, která již další zpracování neovlivní.

Byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 2, 3) na aplikaci drátků a pájení konektorů po 5 hodinách, aby bylo zjištěn případný rozdíl s manipulovanými kusy ze spodní části palety v předchozím případě. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 4 a 5) byly naaplikovány po 24 hodinách, opět pro zjištění možného rozdílu v chování s manipulovanými kusy. Dále také pro porovnání výsledků po 5 a 24 hodinách v rámci nemanipulovaných vzorků.



Obr. 60 - Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Z výsledků měření vyplývá, že fólie relaxují v čase stále. Největší smrštění bylo zaznamenáno během první hodiny relaxace fólií. Během 2. – 5. hodiny se relaxace ustaluje a další smrštění, ke kterému dochází po 5. hodině od nařezání, je již pro další použití zanedbatelné. Pro potvrzení či vyvrácení této hypotézy byly následně fólie zpracovány dle obvyklého technologického postupu – aplikace drátků na PSK robotu.

Z grafů je patrné, že fólie které se nacházely vespodu palety a tudíž na ně působilo největší zatížení se smrštily méně, než fólie ve střední a v horní části palety. Fólie ve střední části se smrštily o podobné hodnoty jako fólie v horní části palety. Procentuální rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěnou fólií po 5 hodinách relaxace v rámci celé palety rovná 0,8 % (8 mm).

Díky hodnotám získaných z měření nemanipulovaných vzorků je zřejmé, že pokud se s fóliemi nemanipuluje, jejich relaxace vykazuje hladší průběh. Všechny fólie v tomto případě relaxovaly velmi podobně a nebyly zaznamenány žádné větší rozdíly ve smrštění, naměřená hodnota osy x po 5 hodinách byla u čtyř vzorků totožná a u pátého se lišila o 1 mm. Při měření po 24 hodinách byly opět dva vzorky totožné a třetí se lišil o 0,5 mm (dva vzorky již byly odebrány na aplikaci PSK po 5 hodinách – proto jsou v měření po 24 hodinách pouze tři fólie).

Při zpracování fólií PSK metodou byly na vzorky aplikovány drátky a přímo na ně následně napájeny konektory pro model automobilu MB. Ihned po aplikaci byl osový kříž fólie přeměřen a zjištěna změněná hodnota rozměrů v obou osách zapříčiněná tepelným ovlivněním. Následně se fólie přeměřila po 18 hod od aplikace a správná pozice drátků a konektorů byla znovu kontrolována na šabloně.

Zpracované fólie pro Mercedes Benz se totiž nezasklívají v závodě AGC Chudeřice, ale odesílají se do jiného evropského AGC závodu. Proto jsou přibližně do 4 hodin od aplikace drátků a napájení konektorů fólie po 20 ks umístěny do obalu izolujícího fólie od vlhkosti a tepla a uloženy v klimatizovaném skladu, kde se teplota pohybuje kolem 4 ± 2 °C. Následný převoz je zajištěn klimatizovaným kamionem. Relaxace fólií se v takto chladném prostředí zastaví. Proto je kontrola fólií po 18 hodinách na šabloně více než dostatečná. V klasickém případě jsou fólie již po 4 hodinách uloženy do klimatizovaného skladu. Pro experiment byly ponechány v čistém prostoru, kde se teplota pohybuje kolem 18 ± 2 °C celých 18 hodin.

Výsledky z těchto měření a kontrol uvádí následující tabulka 8 a přiložené obrázky 61–63.

Tabulka 8 - Naměřené hodnoty po PSK a pozice na šabloně

HORNÍCH 5 KS FÓLIE RELAXOVANÉ 5 HODIN			
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 3			OK
X [mm]	982	981,5	
Y [mm]	505	505	
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 4			OK
X [mm]	982	981,5	
Y [mm]	505	505,5	
PROSTŘEDNÍCH 5 KS FÓLIE RELAXOVANÉ 5 HODIN			
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 4			OK
X [mm]	983	981,5	
Y [mm]	503	505,5	
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 5			OK
X [mm]	982,5	982	
Y [mm]	504,5	504,5	
SPODNÍCH 5 KS FÓLIE RELAXOVANÉ 5 HODIN			
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 1			OK
X [mm]	989,5	984	
Y [mm]	503,5	503,5	
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 2			OK
X [mm]	988	987,5	
Y [mm]	503	503,5	
SPODNÍCH 5 KS FÓLIE RELAXOVANÉ 5 HODIN (MĚŘENÉ A MANIPULOVANÉ AŽ PO 5 HODINÁCH)			
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 2			OK
X [mm]	988,5	987	
Y [mm]	503,5	504	
PSK	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 3			OK
X [mm]	989	987,5	
Y [mm]	503,5	504	

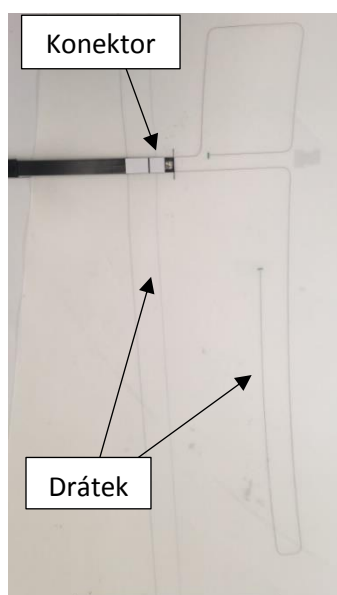
Z tabulky je patrné, že 18 hodin po aplikaci jsou všechny vzorky kontrolovány na šabloně v OK zóně.

Ostatní vzorky, které byly naaplikovány po 24 hodinách relaxace také všechny vyšly jako OK kusy po kontrole na šabloně. Protože je však z předešlých výsledků zřejmé, že relaxace 5 hodin je dostatečná, nebyly již přeměřovány jejich osové kříže a byly pouze zkontrolovány pozičně na šabloně.

Na obrázku 61 se nachází kontrolovaná fólie položená na šabloně. Šablona je výkres, na kterém jsou vyznačeny správné polohy drátků, konektorů i pozičních značek. Poziční značky robot na fólii při aplikaci drátků umístí, aby mohl pracovník následně fólii na šabloně vycentrovat a správně napájet konektory. Na obrázcích 62 a 63 se nachází detail pohledu na levou a pravou kontrolovanou stranu.



Obr. 61 - Kontrola pozice drátků a konektorů na šabloně



Obr. 62 - Detail OK pozice levé strany



Obr. 63 - Detail OK pozice pravé strany

Bylo by tedy vhodné vyrobit zkušební dávku fólií s nově nastavenými parametry relaxace na 5 hodin a se 100 % kontrolou vyhodnotit nově nastavené parametry s větším statistickým souborem.

5.2. Strečovaná, Výrobce 2, akustická, ABC 1

Výrobce udává základní vlastnosti vyrobené fólie:

- maximální hodnota vysrážení fólie: 5 %
- tloušťka fólie: 0,76 – 0,82 mm
- vlhkost fólie: 0,25 – 0,50 %

Následující tabulky (Tabulka 9 – Tabulka 12) shrnují hodnoty relaxace fólie v čase měřené na osovém kříži – v příslušném čase byla změřena vždy délka osy x a následně délka osy y u každé fólie. Vzorky byly umístěny po 5 kusech do vrchní, střední a spodní části palety (celkem tedy 15 měřených kusů na paletě) a očíslovány vždy od 1–5.

Na druhou paletu bylo umístěno pouze 5 ks označených fólií, a to do spodní části stohu, a ty byly měřeny po 5, 24, 30 a 50 hodinách, aby byl zjištěn předpokládaný rozdíl v relaxaci fólií, se kterými se během prvních 5 hodin relaxace manipulovalo a s těmi se kterými se manipulovalo až po 5 hodinách. Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a vyneseny do grafů.

Tabulka 9 - Naměřené hodnoty vrchní část

Vrchní část palety								
Vzorek 1								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	991	990	989,5	987	985,5	985
Y [mm]	500	501,5	503	504	504	504,5	504,5	504,5
Vzorek 2								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	991,5	991	989,5	987,5	986,5	985,5
Y [mm]	500	501,5	502,5	504	503	503,5	503,5	503,5
Vzorek 3								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	991,5	990	989,5	988	986	985,5
Y [mm]	500	501,5	502,5	503	503	503,5	503,5	503,5
Vzorek 4								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	991,5	991	989,5	987,5	986,5	986
Y [mm]	500	501,5	502,5	503	503	503,5	504	504
Vzorek 5								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992	991,5	990	989	987	985,5	983,5
Y [mm]	500	501,5	502,5	503	503,5	504,5	504,5	504,5

Tabulka 10 - Naměřené hodnoty střední část

Střední část palety								
Vzorek 1								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	992	991,5	990,5	988	987,5	986,5
Y [mm]	500	502,5	503	503,5	503,5	504	504,5	504,5
Vzorek 2								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992	991	990,5	990,5	987,5	986	985,5
Y [mm]	500	502	502,5	503	503,5	504,5	504,5	504,5
Vzorek 3								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	993	991,5	990,5	990	987,5	986,5	985,5
Y [mm]	500	502,5	503	504	504	504	504,5	504,5
Vzorek 4								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	993,5	992	991,5	990,5	988,5	987	986,5
Y [mm]	500	502,5	503	504	504	504	504,5	504,5
Vzorek 5								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	993,5	992	991,5	990	988	987	986,5
Y [mm]	500	502,5	503,5	504	504	504,5	505	505

Tabulka 11 - Naměřené hodnoty spodní část

Spodní část palety								
Vzorek 1								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	992	992	991,5	989,5	988	986,5
Y [mm]	500	502	502,5	503	503	503,5	503,5	503,5
Vzorek 2								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	993	992	992	991,5	989,5	988,5	986,5
Y [mm]	500	501,5	502,5	502,5	503	503	503	503
Vzorek 3								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	992,5	992	991,5	991,5	989,5	988	987,5
Y [mm]	500	502	503,5	503,5	503,5	503,5	503,5	503,5
Vzorek 4								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	993	992,5	991,5	991,5	989	988	986,5
Y [mm]	500	502,5	503,5	503,5	504,5	504,5	504,5	504,5
Vzorek 5								
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	30	50
X [mm]	1000	994	993	992,5	992,5	990	989	987,5
Y [mm]	500	502,5	503,5	503,5	504	504	504	504

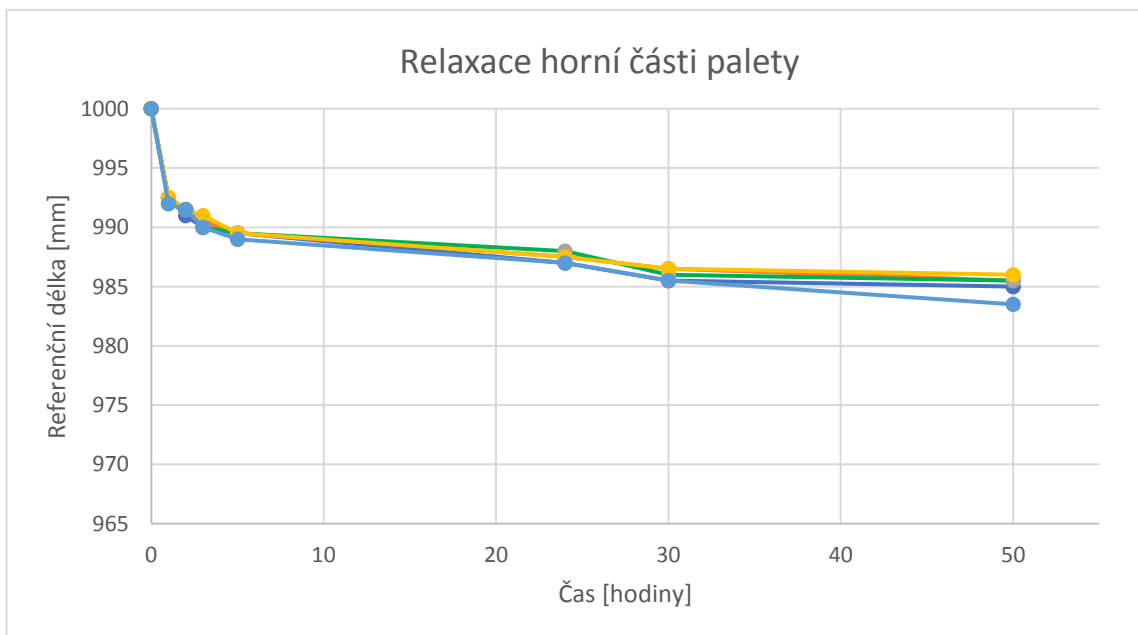
Tabulka 12 - Naměřené hodnoty vzorků bez manipulace

Vzorky manipulované po 5 hodinách (spodní část palety)					
Vzorek 1					
Čas [hod]	0	5	24	30	50
X [mm]	1000	994,5	994	993	992,5
Y [mm]	500	502,5	502,5	502,5	502,5
Vzorek 2					
Čas [hod]	0	5	24	30	50
X [mm]	1000	995	994	993,5	993,5
Y [mm]	500	502,5	502,5	502,5	502,5
Vzorek 3					
Čas [hod]	0	5	24	30	50
X [mm]	1000	994,5	993	992	992
Y [mm]	500	502,5	502,5	502,5	502,5
Vzorek 4					
Čas [hod]	0	5	24	30	50
X [mm]	1000	993,5	992,5	991,5	991,5
Y [mm]	500	502,5	503	502,5	503
Vzorek 5					
Čas [hod]	0	5	24	30	50
X [mm]	1000	995	994	992,5	992,5
Y [mm]	500	502	502	502,5	502,5

Pro relaxaci fólie je důležitým rozměrem délka ve ose x. Z toho důvodu jsou všechny grafy znázorněním závislosti délky v ose x na čase a dále vyhodnocované rozměry se týkají taktéž osy x.

Z dat uvedených v tabulce 9 (Vrchní část palety) převedených do grafické podoby, kterou lze vidět na obrázku 64, vyplývá, že fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x bylo u čtyř vzorků 0,75 %, u pátého 0,80 % původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty změnily v rozmezí 0,05 % – 0,15 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření tomu bylo naprosto totožně. Mezi třetí a pátou taktéž. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 1,05 % z původního rozměru fólie.

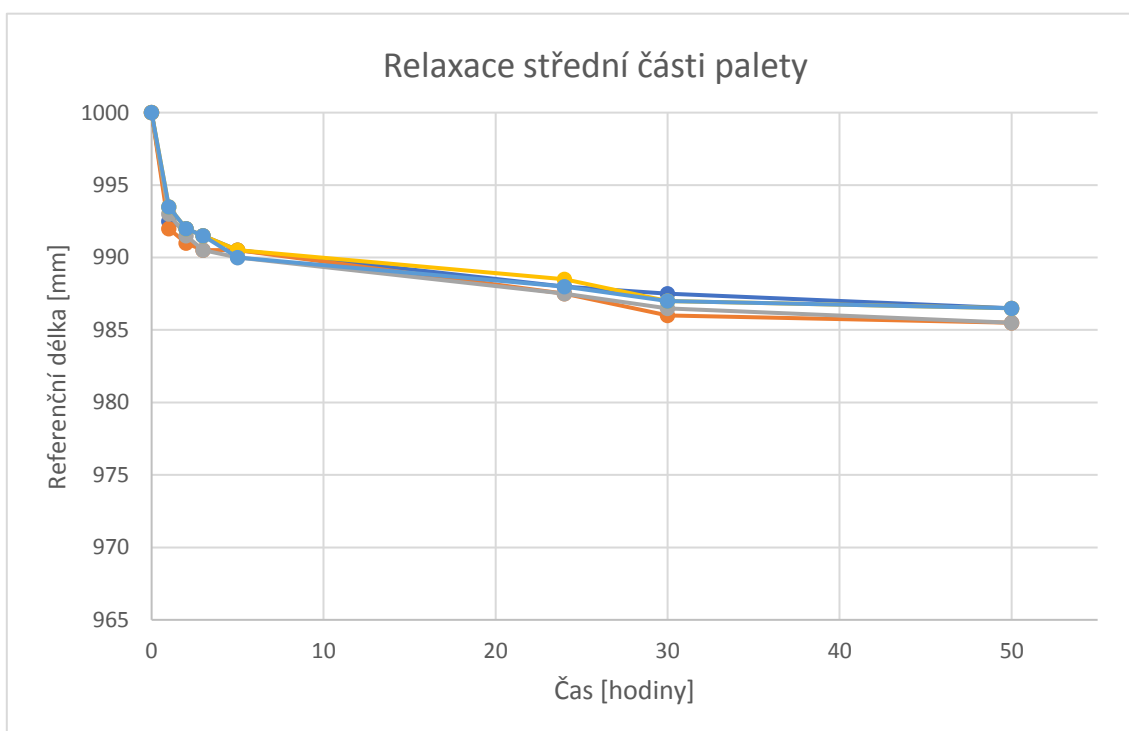
Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,15 % – 0,25 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 30. hodinou měření se fólie smrštily v rozmezí 0,3 % – 0,35 %. Dále mezi 30. a 50. hodinou zůstávaly hodnoty smrštění téměř konstantní. Tři vzorky se smrštily o 0,05 % (0,5 mm), jeden o 0,1 % (1 mm) a poslední jako jediný nejvýrazněji, a to o 0,2 % (2 mm).



Obr. 64 – Graf relaxace, horní část

V tabulce 10 (Střední část palety) se nachází naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných uprostřed stohu. Graficky zpracované jsou na obrázku 65. Fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,65 % – 0,80 % z původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty změnily v rozmezí 0,05 – 0,15 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření se čtyři ze vzorků změnily o 0,05 % a pátý o 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se vzorky smrštily v rozmezí o 0 % – 0,15 %. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 1 % z původního rozměru fólie.

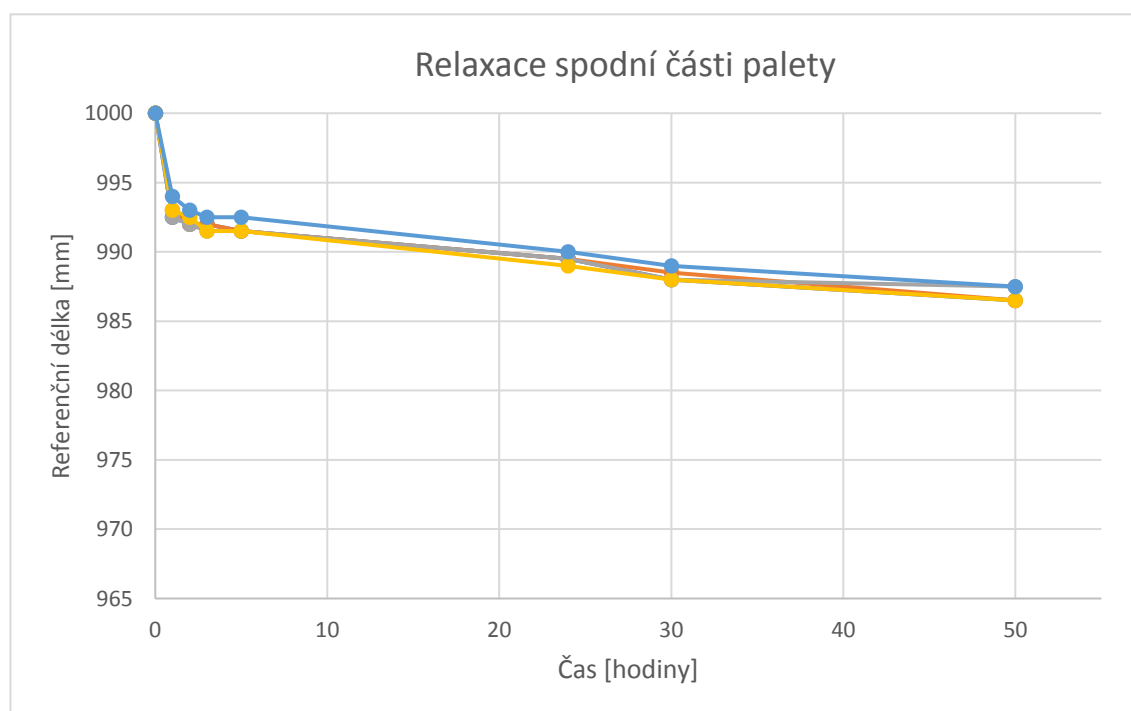
Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,2 % – 0,3 %. Mezi 24. a 30. hodinou o 0,05 % – 0,15 %. Na závěr mezi 30. – 50. hodinou zůstávaly hodnoty téměř konstantní se změnou mezi 0,05 % – 0,1 % (0,5 mm – 1 mm).



Obr. 65 – Graf relaxace, střední část

V tabulce 11 (Spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných vespu du stohu, které jsou zpracované v grafu na obrázku 66. Fólie opět nejvíce napětí relaxovaly napětí v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,6 % – 0,75 % původního rozměru (1 000 mm). Ve srovnání se středními a horními měřenými kusy, fólie zatížené celou tíhou palety relaxují sice pomaleji, ale není to tak výrazný rozdíl jako u předchozího vzorku zpracovaného G-loopem. Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění pohybovaly mezi 0,05 % – 0,1 %, mezi druhou a třetí hodinou měření 0 % – 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se některé vzorky opět nesmrštily vůbec, nebo o 0,05 %. Čtyři z pěti vzorků vysrážely během prvních 5 hodin 0,85 %, pátý 0,75 % z původního rozměru fólie.

Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 24. hodinou měření se fólie smrštily o 0,2 % – 0,25 %. Mezi 24. a 30. hodinou o 0,1 % – 0,15 %. Na závěr mezi 30. – 50. hodinou o 0,05 % – 0,2 %.

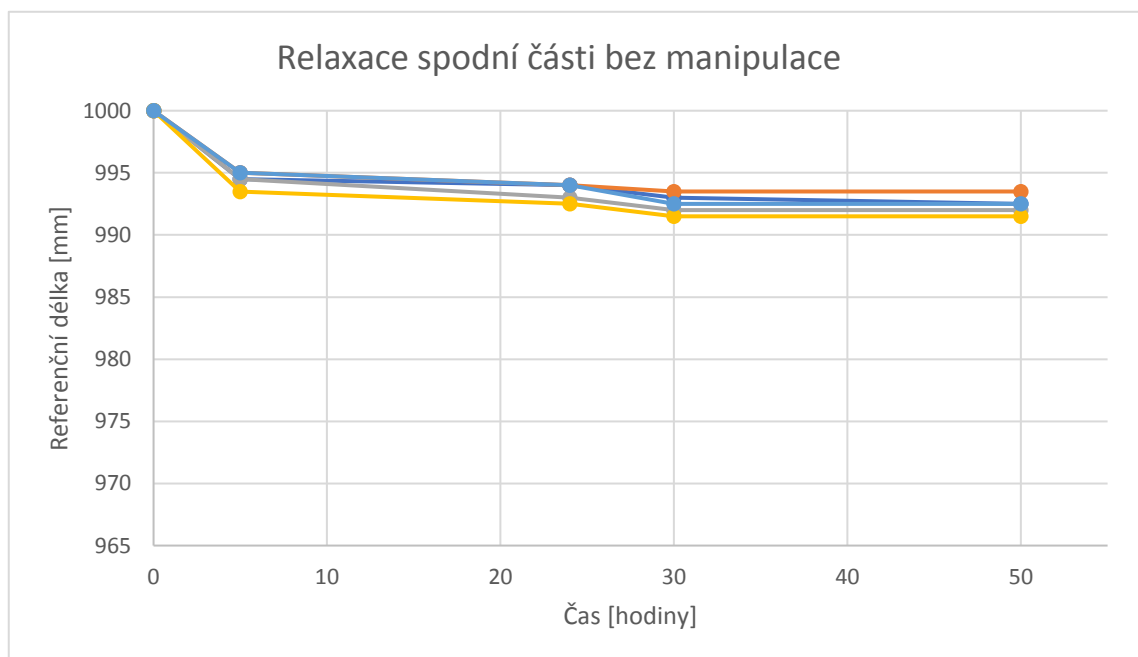


Obr. 66 – Graf relaxace, spodní část

V tabulce 12 (Vzorky manipulované po 5 hod – spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných opět vespuđu palety, ale měřených až po 5 hodinách, aby mohl být pozorován rozdíl mezi měřeními, kdy je s fóliemi z důvodu měření manipulováno a mezi případem, kdy fólie po prvních pět hodin pouze leží na paletě. Tyto fólie totiž přesně reprezentují reálné smrštění fólií ve výrobě. Protože s fóliemi není po nařezání již nijak manipulováno až do jejich zpracování. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 67.

Protože nelze vyhodnotit detailní průběh smrštění v rámci prvních pěti hodin, je známa pouze hodnota celkového smrštění po 5 hodinách, která se pohybuje rozmezí 0,5 % – 0,65 %, po 24 hodinách o dalších 0,05 – 0,15 %, po 30 hodinách o 0,05 % – 0,15 %. Po 50 hodinách již zůstávaly hodnoty u 4 vzorků konstantní a nezměnily se vůbec u páté fólie se hodnota změnila o 0,05 % (0,5 mm). Celkem bylo vysráženo (v maximálním případě) 0,85 % z původního rozměru fólie.

Z grafu lze odečíst, že většinu napětí fólie relaxovaly během prvních 5 hodin. Mezi 5. a 24. hodinou se hodnoty neměnily nijak výrazně neměnily – změna se pohybovala od 0,5 mm – 1,5 mm, v porovnání s prvními pěti hodinami, kdy fólie vysrážely o 5 mm – 6,5 mm. Mezi 24. a 30. hodinou se fólie smrštily o 1 mm – 1,5 mm a mezi 30. a 50. hodinou se relaxace u čtyř z pěti vzorků již úplně zastavila a pátý přířez se změnil o 0,5 mm.



Obr. 67 – Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Z výsledků měření nemanipulovaných vzorků (které nejpřesněji vypovídají o skutečných podmínkách při výrobě) vyplývá, že relaxace fólií se za teploty vzduchu 18 ± 2 °C a vlhkosti vzduchu $28 \% \begin{matrix} + 7 \% \\ - 5 \% \end{matrix}$ po 30 hodinách již úplně zastavila.

Největší smrštění bylo zaznamenáno během první hodiny relaxace fólií. Během 2. – 5. hodiny se relaxace ustaluje a další smrštění, ke kterému dochází po 5. hodině od nařezání, se zdá ve srovnání s prvními 5 hodinami pro další použití zanedbatelné. Z grafu vyplývá, že úplné zastavení relaxace nastává po 30 hodinách.

Z grafů 64–67 je patrné, že fólie které se nacházely vespodu palety a tudíž na ně působilo největší zatížení se smrštily méně, než fólie ve střední a v horní části palety. Procentuální rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěnou fólií po 5 i 30 hodinách relaxace v rámci celé palety se rovná 0,35 % (3,5 mm).

Akustické fólie od Výrobce 2, ABC 1 se čistě, bez dalších aplikací, vkládají do skla. Pro potvrzení či vyvrácení hypotézy, že 5 hodin relaxace je dostatečných, by proto bylo vhodné vložit je po 5 a 30 hodinách do skla, zalaminovat a následně vyhodnotit, zdali je mezi vzorky nějaký rozdíl. Pokud by u 5 hodinových vzorků nedošlo k „zajetí fólie“, bylo by možné dobu relaxace zkrátit ze 48 na 5 hodin. Pokud by fólie zajela z okrajů dovnitř skla, bylo by vhodné relaxaci zkrátit ze 48 na 30 hodin.

Díky hodnotám získaných z měření nemanipulovaných vzorků je zřejmé, že pokud se s fóliemi nemanipuluje, jejich relaxace vykazuje hladší průběh a smrštění dosahuje nižších hodnot. Manipulace s fóliemi data tedy nepatrně zkresluje a je nutné vyhodnocovat data jak manipulovaných (pro zjištění přesnějšího průběhu), tak nemanipulovaných fólií společně.

U tohoto měření se kvůli naplánované výrobě nestihly fólie do skla složit a ověřit, zdali je 5 hodin opravdu dostatečnou dobou pro relaxaci fólie či nikoliv, i když to data z měření naznačují.

Bylo by tedy vhodné vyrobit zkušební dávku skel s nově nastavenými parametry relaxace na 5 hodin a se 100 % kontrolou vyhodnotit nově nastavené parametry s větším statistickým souborem.

5.3. Strečovaná, Výrobce 1, akustická, DEF 2

Výrobce udává základní vlastnosti vyrobené fólie:

- maximální hodnota vysrážení fólie: 8 %
- tloušťka fólie: 0,737 – 0,863 mm
- vlhkost fólie: 0,33 – 0,43 %

Následující tabulky (Tabulka 13, Tabulka 14) shrnují hodnoty relaxace fólie v čase měřené na osovém kříži – v příslušném čase byla změřena vždy délka osy x a následně délka osy y u každé fólie. Vzorky byly umístěny po 5 kusech do vrchní, střední a spodní části palety (celkem tedy 15 měřených kusů na paletě) a očíslovány vždy od 1 – 5.

Na druhou paletu bylo umístěno pouze 5 ks označených fólií, a to do spodní části stohu, a ty byly měřeny po 5 a 24 hodinách, aby byl zjištěn předpokládaný rozdíl v relaxaci fólií, se kterými se během prvních 5 hodin relaxace manipulovalo a s těmi se kterými se manipulovalo až po 5 hodinách. Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a vyneseny do grafů.

Tabulka 13 - Naměřené hodnoty vrchní a střední část palety

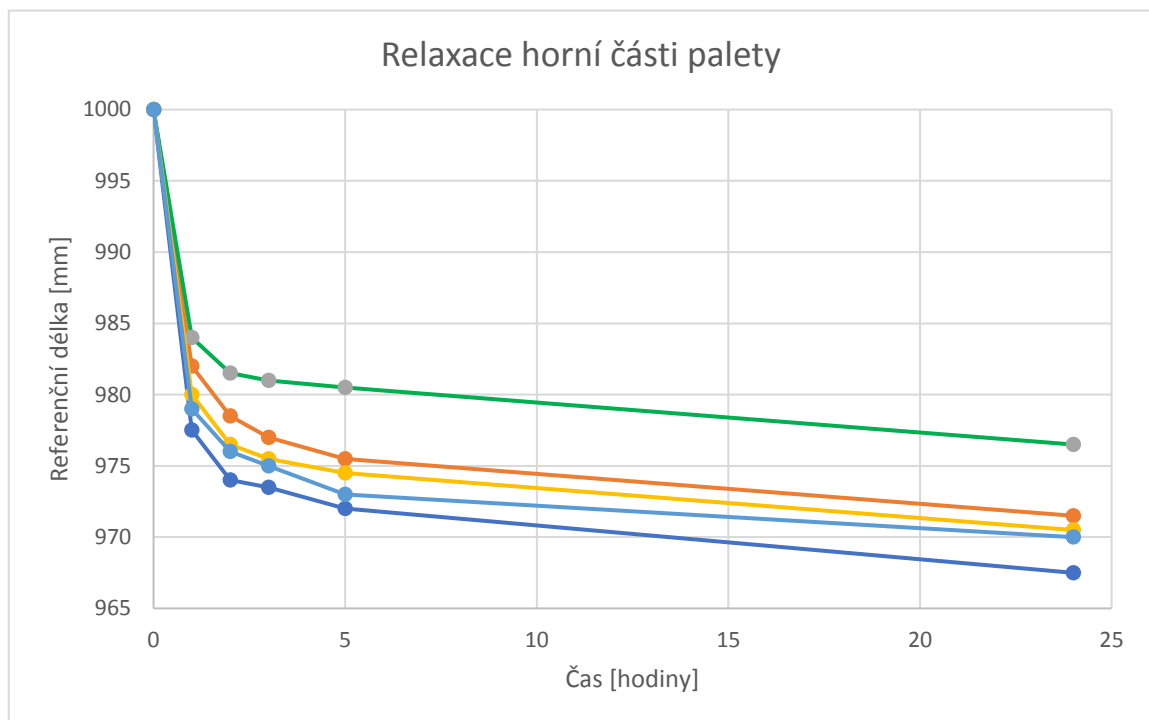
Vrchní část palety							Střední část palety					
Vzorek 1												
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24
X [mm]	1000	977,5	974	973,5	972	967,5	1000	979	977	976	975,5	971,5
Y [mm]	500	505,5	506,5	506,5	507,5	508	500	505	505,5	505,5	506	506,5
Vzorek 2												
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24
X [mm]	1000	982	978,5	977	975,5	971,5	1000	976,5	975	974	972,5	969
Y [mm]	500	505,5	506,5	506,5	507	508	500	505	506	506,5	507	507,5
Vzorek 3												
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24
X [mm]	1000	984	981,5	981	980,5	976,5	1000	977,5	975	974,5	972	970
Y [mm]	500	504,5	505	505	505,5	507	500	506	506	506,5	507	508,5
Vzorek 4												
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24
X [mm]	1000	980	976,5	975,5	974,5	970,5	1000	976,5	974	973	971,5	968
Y [mm]	500	504	505	505,5	506	507	500	505,5	506	506,5	507	507,5
Vzorek 5												
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	1	2	3	5	24
X [mm]	1000	979	976	975	973	970	1000	976,5	974,5	973,5	972	969
Y [mm]	500	505	506	506,5	506,5	507	500	505	506,5	507	507	507,5

Tabulka 14 - Naměřené hodnoty spodní části palety a hodnoty vzorků bez manipulace

Spodní část palety							Vzorky manipulované po 5 hodinách (spodní část palety)			
Vzorek 1							Vzorek 1			
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24	30
X [mm]	1000	984	984	984	983	980	1000	968,5	965,5	965,5
Y [mm]	500	505	506	506	506	507	500	507,5	508,5	509
Vzorek 2							Vzorek 2			
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24	30
X [mm]	1000	976,5	975,5	975	974	971	1000	972	969,5	969,5
Y [mm]	500	505,5	505	505,5	506	506,5	500	507,5	509	509
Vzorek 3							Vzorek 3			
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24	30
X [mm]	1000	975,5	974	973,5	972,5	969	1000	968	965,5	965,5
Y [mm]	500	505,5	506	506	506,5	508	500	507,5	508,5	509
Vzorek 4							Vzorek 4			
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24	30
X [mm]	1000	977,5	975	974,5	973,5	969	1000	971	969	969
Y [mm]	500	505,5	506,5	506,5	506,5	508	500	507,5	508	509
Vzorek 5							Vzorek 5			
Čas [hod]	0	1	2	3	5	24	0	5	24	30
X [mm]	1000	981,5	980,5	980,5	979	976	1000	972	967	967
Y [mm]	500	504	505,5	505,5	505,5	506	500	507,5	508	508

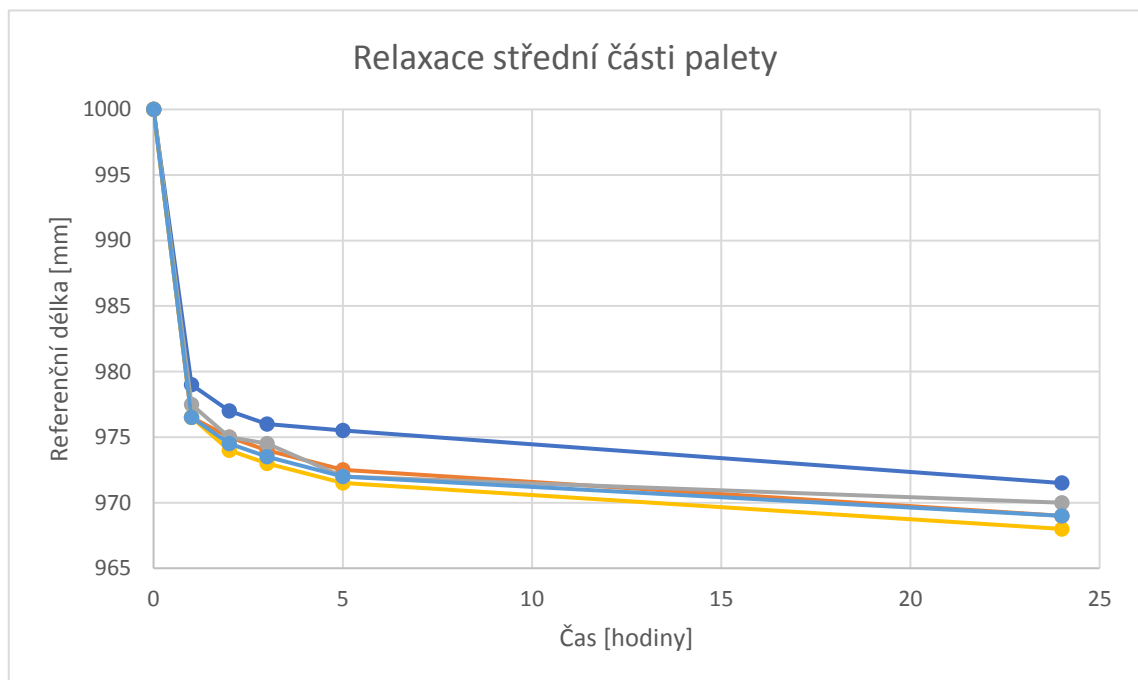
Pro relaxaci fólie je důležitým rozměrem délka ve ose x. Z toho důvodu jsou všechny grafy znázorněním závislosti délky v ose x na čase a dále vyhodnocované rozměry se týkají taktéž osy x.

Z dat uvedených v první části tabulky 13 (Vrchní část palety) převedených do grafické podoby, kterou lze vidět na obrázku 68, vyplývá, že fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybovalo v rozmezí 1,6 % - 2,25 % původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty změnily v rozmezí 0,25 % – 0,35 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření 0,05 % – 0,15 %. Mezi třetí a pátou 0,05 % – 0,2 %. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 2,8 % z původního rozměru fólie. Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,3 % – 0,4 %.



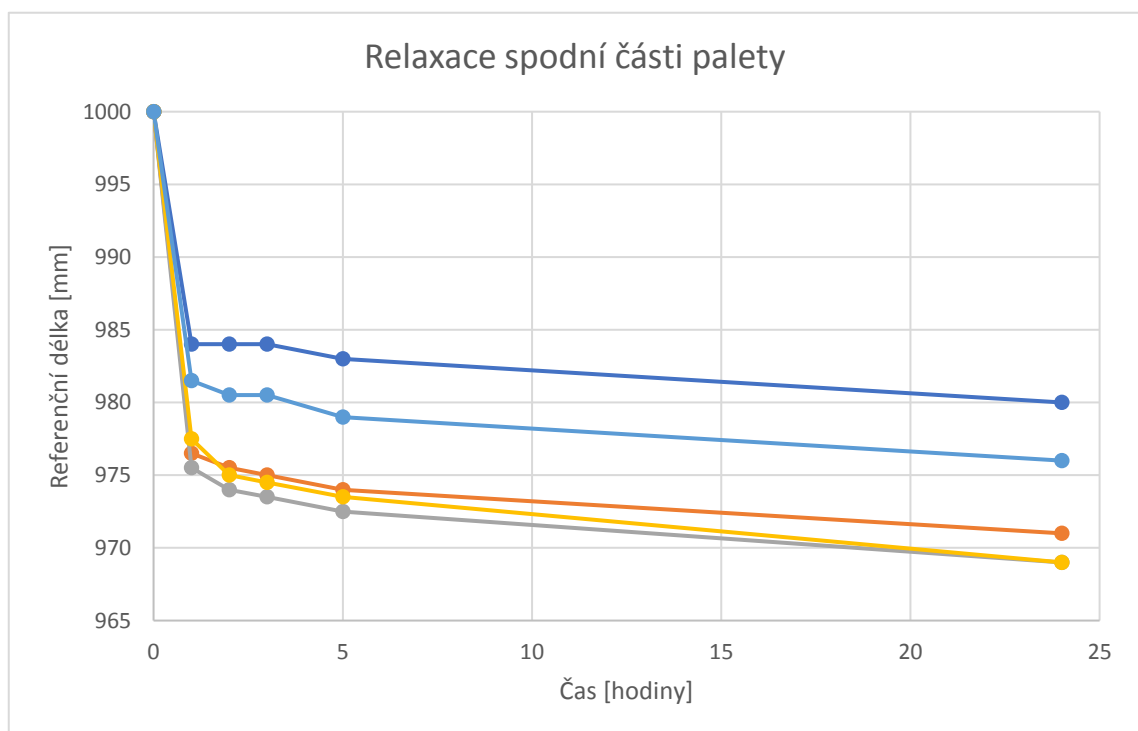
Obr. 68 – Graf relaxace, horní část

V druhé části tabulky 13 (Střední část palety) se nachází naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných uprostřed stohu. Graficky zpracované jsou na obrázku 69. Fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 2,1 % – 2,35 % z původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty změnily v rozmezí 0,15 – 0,25 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření se čtyři ze vzorků změnily o 0,1 % a pátý o 0,05 %. Mezi třetí a pátou hodinou se vzorky smrštily v rozmezí o 0,05 % – 0,15 %. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 2,85 % z původního rozměru fólie. Mezi 5. a 24. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,2 % – 0,4 %.



Obr. 69 – Graf relaxace, střední část

V první části tabulky 14 (Spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných vespodu stohu, které jsou zpracované v grafu na obrázku 70. Fólie opět nejvíce napětí relaxovaly napětí v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 1,6 % – 2,45 % původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění pohybovaly mezi 0 % – 0,25 %, mezi druhou a třetí hodinou měření 0 % – 0,05 %. Mezi třetí a pátou hodinou se čtyři z pěti vzorků vysrážely o 0,1 %, pátý o 0,15 %. Během prvních 5 hodin se velikost relaxace pohybovala v rozmezí 1,7 % – 2,75 % z původního rozměru fólie. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 24. hodinou měření se fólie smrštily o 0,3 % – 0,45 %.

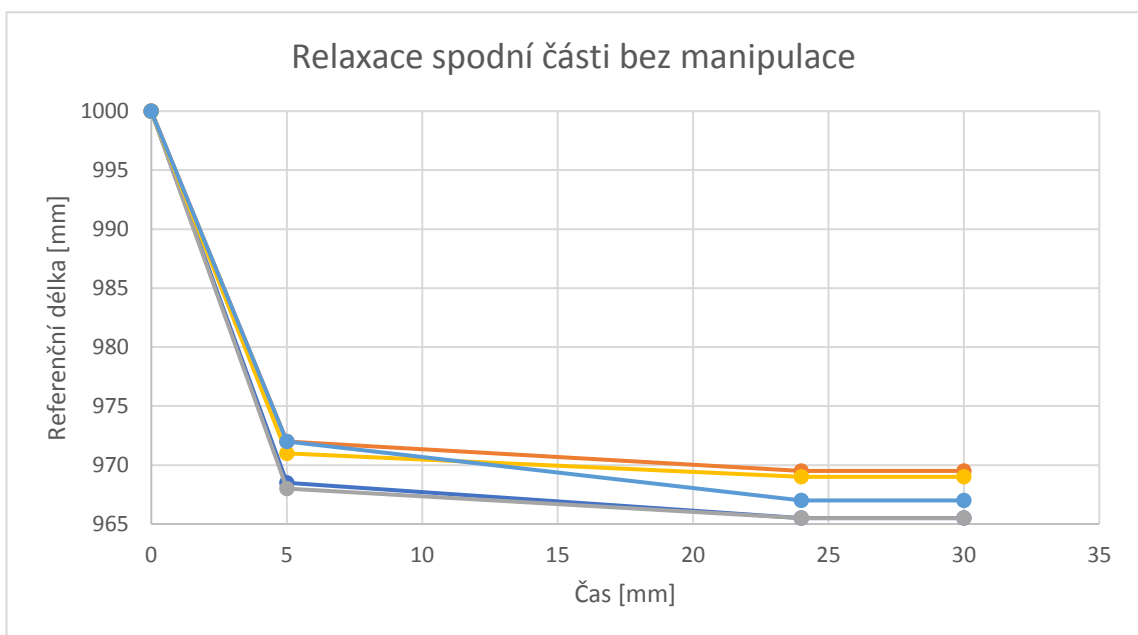


Obr. 70 – Graf relaxace, spodní část

V druhé části tabulky 14 (Vzorky manipulované po 5 hod – spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných opět vespu du palety, ale měřených až po 5 hodinách, aby mohl být pozorován rozdíl mezi měřeními, kdy je s fóliemi z důvodu měření manipulováno a mezi případem, kdy fólie po prvních pět hodin pouze leží na paletě. Tyto fólie totiž přesně reprezentují reálné smrštění fólií ve výrobě. Protože s fóliemi není po nařezání již nijak manipulováno až do jejich zpracování. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 71.

Protože nelze vyhodnotit detailní průběh smrštění v rámci prvních pěti hodin, je známa pouze hodnota celkového smrštění po 5 hodinách, která se pohybuje rozmezí 2,8 % – 3,2 %, po 24 hodinách o dalších 0,25 – 0,5 %. Po 30 hodinách jsou již veškeré hodnoty neměnné a změna je tedy 0 %. Celkem bylo vysráženo (v maximálním případě) 3,45 % z původního rozměru fólie.

Z grafu lze odečíst, že většinu napětí fólie relaxovaly během prvních 5 hodin. Mezi 5. a 24. hodinou, tedy během 19 hodin, se hodnoty výrazně neměnily – změna se pohybovala kolem $2 \pm 0,5$ mm, pouze jeden vzorek se srazil o 5 mm – v porovnání s prvními pěti hodinami, kdy se fólie vysrážely o 28 mm – 32 mm. Mezi 24. a 30 hodinou fólie dále již nerelaxovaly.



Obr. 71 – Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Z výsledků měření nemanipulovaných vzorků (které nejpřesněji vypovídají o skutečných podmínkách při výrobě) vyplývá, že relaxace fólií se za teploty vzduchu 18 ± 2 °C a vlhkosti vzduchu $28 \% \begin{matrix} +7 \% \\ -5 \% \end{matrix}$ po 24 hodinách již úplně zastavila.

Největší smrštění bylo zaznamenáno během první hodiny relaxace fólií. Během 2. – 5. hodiny se relaxace ustaluje a další smrštění, ke kterému dochází po 5. hodině od nařezání, se zdá ve srovnání s prvními 5 hodinami pro další použití zanedbatelné. Z grafu vyplývá, že úplné zastavení relaxace nastává po 24 hodinách.

Z grafů 68–71 je patrné, že fólie které se nacházely vespu du palety a tudíž na ně působilo největší zatížení se smrštily velmi podobně jako fólie ve střední a v horní části palety. Problémem ovšem je široký rozptyl hodnot a to v rámci jednotlivých umístění. Například v horní části stohu je rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěnou fólií po 24 hodinách 10 mm, ve střední části pouze 3,5 mm a ve spodní části 11 mm. Procentuální rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěnou fólií je po 5 hodinách relaxace v rámci celé palety 1,15 % (11,5 mm) a po 24 hodinách se rovná 1,25 % (12,5 mm).

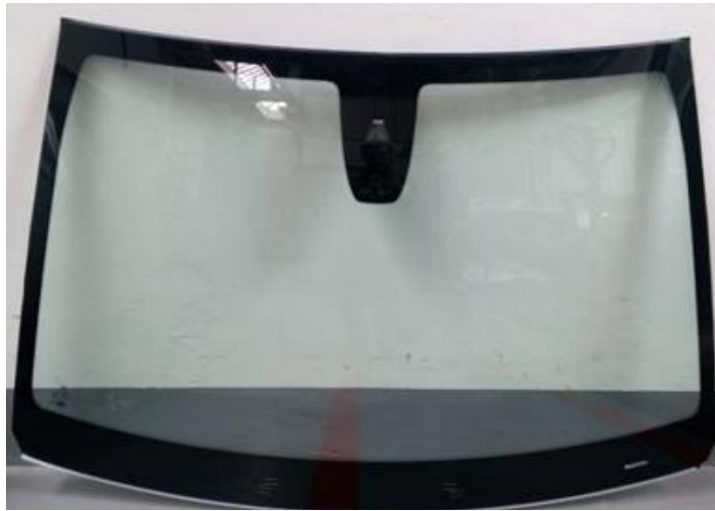
Díky hodnotám získaných z měření nemanipulovaných vzorků je zřejmé, že pokud se s fóliemi nemanipuluje, jejich relaxace opět vykazuje hladší průběh. Smrštění dosahuje sice podobných hodnot jako u manipulovaných vzorků, má ale jednotnější průběh a rozptyl hodnot není tak široký – po 5 i 24 hodinách je rozdíl nejméně a nejvíce smrštěného vzorku 4 mm. Manipulace s fóliemi data tedy zkresluje a je nutné vyhodnocovat data jak manipulovaných (pro zjištění přesnějšího průběhu), tak nemanipulovaných fólií společně.

Akustické fólie od Výrobce 1, DEF 2 se čisté, bez dalších aplikací, vkládají do skla. Pro potvrzení či vyvrácení hypotézy, že 5 hodin relaxace je dostatečných, se proto 10 ks složilo je po 5 hodinách do skla, zalaminovalo.

Všech 10 ks bylo po laminaci vyhodnoceno jako OK výroba a prošly závěrečnou kontrolou. Vzhledem k tomu, že u vzorků nedošlo k „zajetí fólie“, je velmi pravděpodobné, že lze dobu relaxace zkrátit ze 48 na 5 hodin.

Bylo by tedy vhodné vyrobit zkušební dávku skel s nově nastavenými parametry relaxace na 5 hodin a se 100 % kontrolou vyhodnotit nově nastavené parametry s větším statistickým souborem.

Na obrázku 72 se nachází čelní sklo pro model CI, které bylo vyhodnoceno jako OK.



Obr. 72 - OK čelní sklo CI

5.4. G-loop, Výrobce 1, jednovrstvá, GHI 3

Výrobce udává základní vlastnosti vyrobené fólie:

- maximální hodnota vysrážení fólie: 6 %
- tloušťka fólie: 0,737 – 0,787 mm
- vlhkost fólie: 0,38 – 0,48 %

Následující tabulky (Tabulka 15, Tabulka 16) shrnují hodnoty relaxace fólie v čase měřené na osovém kříži – v příslušném čase byla změřena vždy délka osy x a následně délka osy y u každé fólie. Vzorky byly umístěny po 5 kusech do vrchní, střední a spodní části palety (celkem tedy 15 měřených kusů na paletě) a očíslovány vždy od 1 – 5.

Na druhou paletu bylo umístěno pouze 5 ks označených fólií, a to do spodní části stohu, a ty byly měřeny po 5 a 24 hodinách, aby byl zjištěn předpokládaný rozdíl v relaxaci fólií, se kterými se během prvních 5 hodin relaxace manipulovalo a s těmi, se kterými se manipulovalo až po 5 hodinách. Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a vyneseny do grafů.

Tabulka 15 - Naměřené hodnoty vrchní a střední části palety

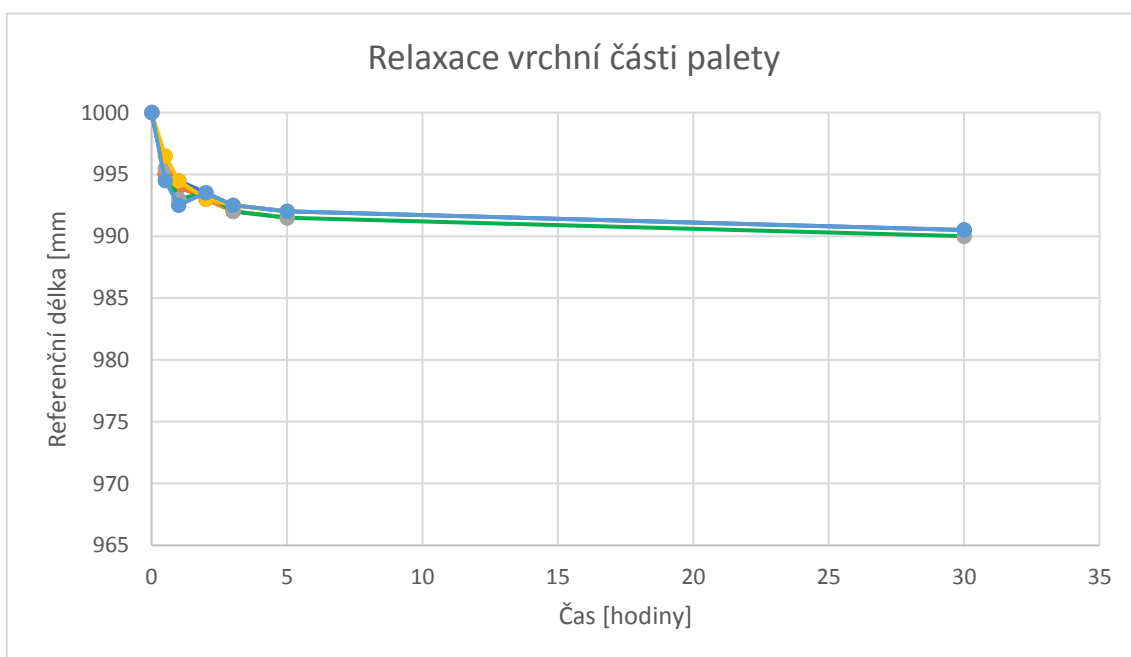
Vrchní část palety							Střední část palety						
Vzorek 1							Vzorek 1	aplikace PSM po 30 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	1	2	3	5	30	
X [mm]	1000	994,5	993,5	992,5	992	990,5	1000	991,5	991	990	990	987,5	
Y [mm]	500	503	503	503	503,5	504	500	504	504,5	505	505	506,5	
Vzorek 2	aplikace HWW po 5 hodinách						Vzorek 2	aplikace PSM po 5 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	1	2	3	5	30	
X [mm]	1000	994	993	992	991,5	-	1000	992	991,5	990,5	990	-	
Y [mm]	500	503	503	504	504	-	500	504	504	505	505	-	
Vzorek 3	aplikace PSM po 30 hodinách						Vzorek 3						
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	1	2	3	5	30	
X [mm]	1000	993	993	992	991,5	990	1000	993	992	992	991,5	989	
Y [mm]	500	503,5	504	504	504	504	500	504,5	505	505	505	506	
Vzorek 4	aplikace PSM po 5 hodinách						Vzorek 4	aplikace HWW po 5 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	1	2	3	5	30	
X [mm]	1000	994,5	993	992,5	992	-	1000	993	993	992	992	-	
Y [mm]	500	503	503	503	504,5	-	500	503	503,5	503,5	504	-	
Vzorek 5	aplikace HWW po 30 hodinách						Vzorek 5	aplikace HWW po 30 hodinách					
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	1	2	3	5	30	
X [mm]	1000	992,5	992,5	992,5	992	990,5	1000	993,5	992,5	992	991,5	989,5	
Y [mm]	500	502,5	503	503,5	503,5	504	500	503	503,5	504	505	505	

Tabulka 16 - Naměřené hodnoty spodní části palety a hodnoty vzorků bez manipulace

Spodní část palety							Vzorky manipulované po 5 hod (spodní část palety)		
Vzorek 1	aplikace PSM po 5 hod						Vzorek 1	aplikace PSM po 30 hod	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	5	30
X [mm]	1000	994	992,5	991,5	991		1000	995	993
Y [mm]	500	503	503	503,5	503,5		500	502	502,5
Vzorek 2	aplikace PSM po 5 hod						Vzorek 2	aplikace PSM po 5 hod	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	5	30
X [mm]	1000	994	993	992,5	992	991	1000	995	-
Y [mm]	500	503	503	503	503,5	504	500	502,5	-
Vzorek 3	aplikace HWW po 30 hod						Vzorek 3	aplikace HWW po 5 hod	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	5	30
X [mm]	1000	994,5	993	992	992	990,5	1000	995,5	-
Y [mm]	500	502,5	503	503	503,5	504	500	502	-
Vzorek 4	PSM po 30 hod – zničeno robotem						Vzorek 4	aplikace HWW po 30 hod	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	5	30
X [mm]	1000	995	994	993,5	993	993	1000	995,5	993,5
Y [mm]	500	503	503	503	503,5	504	500	502	503
Vzorek 5	aplikace HWW po 5 hod						Vzorek 5	zničeno PSM robotem	
Čas [hod]	0	1	2	3	5	30	0	5	30
X [mm]	1000	997	997	997	996		1000	994,5	-
Y [mm]	500	502	502	502	502		500	502	-

Z dat uvedených v první části tabulky 15 (Vrchní část palety) převedených do grafické podoby, kterou lze vidět na obrázku 73, vyplývá, že fólie nejvíce napětí relaxovaly v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,55 % – 0,75 % původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění měnily v rozmezí 0 % – 0,15 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření vzorky opět zůstávaly beze změny, či se smrští maximálně o 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se všechny vzorky smrštily o 0,05 %. Jak je patrné i z grafu, tím byla vyčerpána většina potenciálu ke srážení fólie. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 0,85 % z původního rozměru fólie.

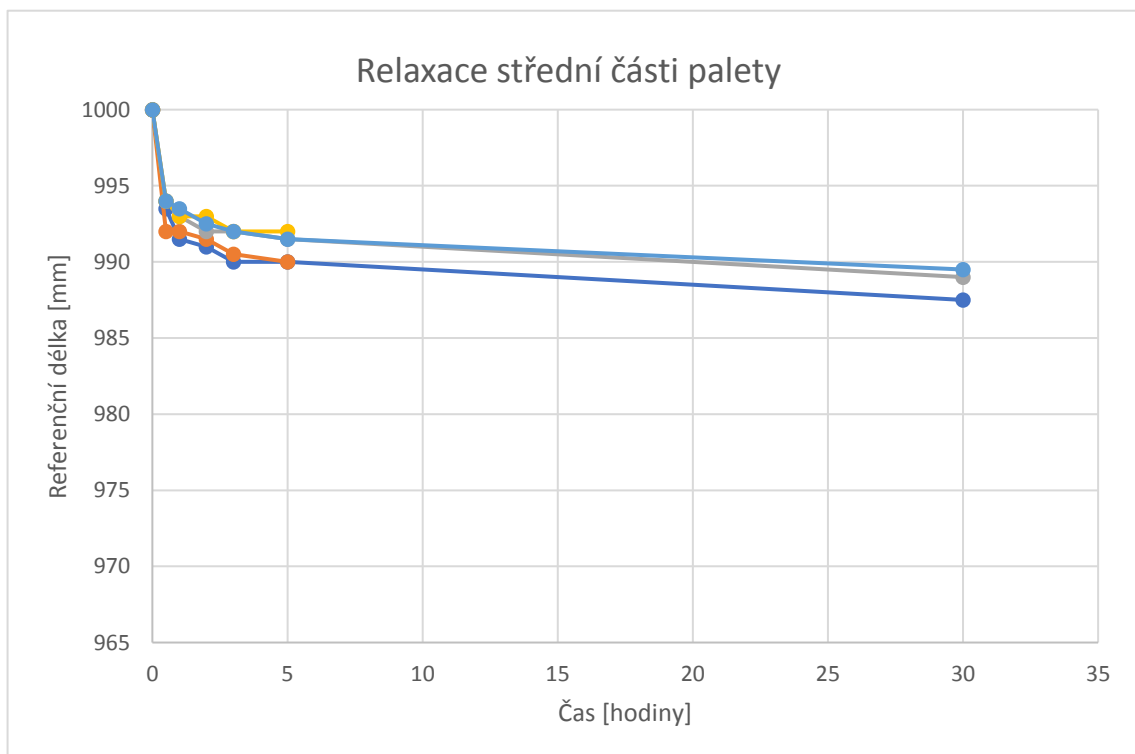
Mezi 5. a 30. hodinou se fólie smrštily pouze o hodnotu 0,15 %, lze tedy konstatovat, že se relaxace již po 5 hodinách téměř zastavila. Tvzení, že mezi 5. a 30. hodinou měření je relaxace téměř konstantní podporuje i graf. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 2, vzorek 4) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 3 a 5) byly naaplikovány po 30 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 30 hodinách.



Obr. 73 – Graf relaxace, vrchní část

V druhé části tabulky 15 (Střední část palety) se nachází naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných uprostřed stohu. Graficky zpracované jsou na obrázku 74. Fólie nejvíce napětí relaxovaly opět v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,65 % – 0,85 % z původního rozměru (1 000 mm). Mezi první a druhou hodinou se hodnoty smrštění měnily v rozpětí 0 % – 0,1 %. Mezi druhou a třetí hodinou taktéž o 0 % – 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se vzorky smrštily o 0 % – 0,05 %. Během prvních 5 hodin relaxace bylo vysráženo (v maximálním případě) 1 % z původního rozměru fólie.

Mezi 5. a 30. hodinou se fólie smrštily o hodnotu 0,2 % – 0,25 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 30. hodinou měření je relaxace téměř konstantní. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 2, 4) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 3 a 5) byly naaplikovány po 30 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 30 hodinách.



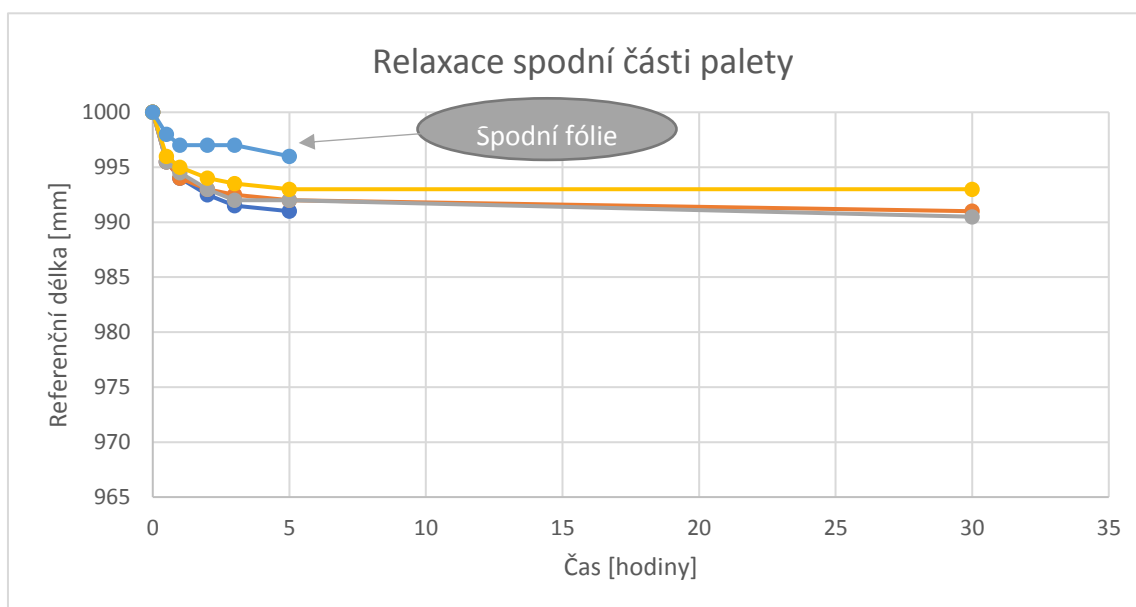
Obr. 74 – Graf relaxace, střední část

V první části tabulky 16 (Spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných vespodu stohu, které jsou zpracované v grafu na obrázku 75. Fólie opět nejvíce napětí relaxovaly napětí v první hodině po nařezání. Smrštění fólií v ose x se pohybuje od 0,3 % – 0,6 % původního rozměru (1 000 mm). Ve srovnání se středními a horními měřenými kusy, fólie zatížené celou tíhou palety relaxují pomaleji.

Mezi první a druhou hodinou hodnoty smrštění zůstávaly buď konstantní, nebo se změnily maximálně o 0,15 %. Mezi druhou a třetí hodinou měření se opět nezměnily vůbec nebo maximálně o 0,1 %. Mezi třetí a pátou hodinou se některé vzorky opět nesmrštily vůbec a vzorek s největším smrštěním dosahoval hodnoty 0,1 %. Během prvních 5 hodin bylo vysráženo (v maximálním případě) 0,9 % z původního rozměru fólie.

Mezi 5. a 30. hodinou se fólie smrštila o hodnotu 0 % – 0,15 %. Z grafu dále vyplývá, že mezi 5. a 30. hodinou měření je relaxace opět téměř konstantní. Proto byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 1, 5) na aplikaci drátků a pájení konektorů již po 5 hodinách, aby bylo zjištěno, jak se bude fólie relaxovaná pouze 5 hodin (místo původních 48) chovat po aplikaci. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 2, 3 a 4) byly naaplikovány po 30 hodinách, pro zjištění případného rozdílu v chování po naaplikování drátků a napájených konektorů po 5 a 30 hodinách.

Horní modrá křivka popisuje fólii, která ležela vespod, přímo na PE fólii, kterou je ocelová paleta potažena. Ukazuje tedy, že PE fólie brání srážení přířezu, a ten pak relaxuje výrazně odlišně než zbylé vzorky umístěné ve stejné části stohu.

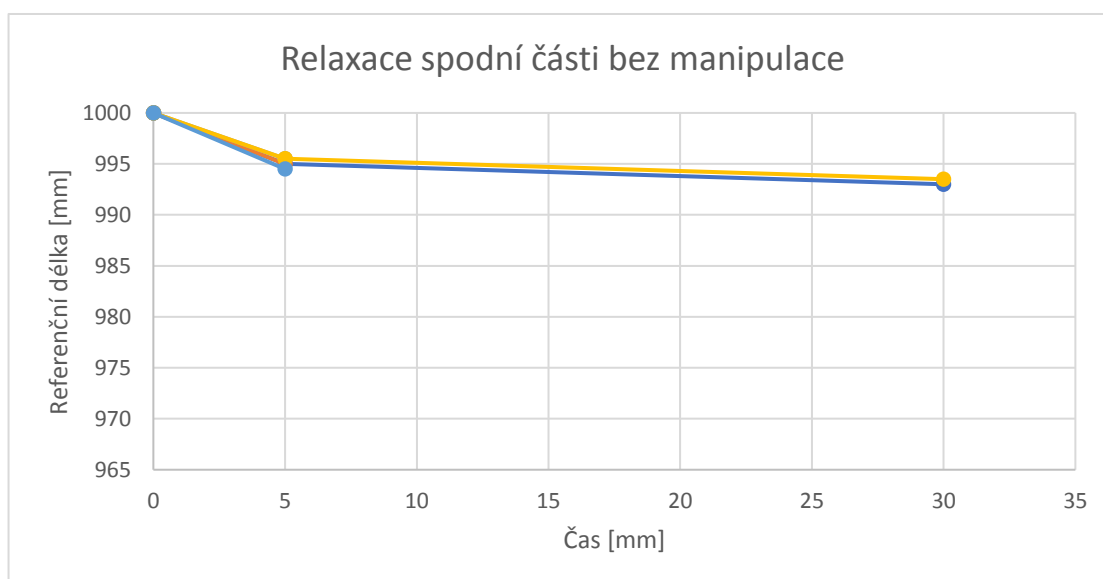


Obr. 75 – Graf relaxace, spodní část

V druhé části tabulky 16 (Vzorky manipulované po 5 hod – spodní část palety) jsou naměřené hodnoty 5 kusů relaxovaných opět vespu du palety, ale měřených až po 5 hodinách, aby mohl být pozorován rozdíl mezi měřeními, kdy je s fóliemi z důvodu měření manipulováno a mezi případem, kdy fólie po prvních pět hodin pouze leží na paletě. Tyto fólie totiž přesně reprezentují reálné smrštění fólií ve výrobě. Protože s fóliemi není po nařezání již nijak manipulováno až do jejich zpracování. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 76.

Protože nelze vyhodnotit detailní průběh smrštění v rámci prvních pěti hodin, je známa pouze hodnota celkového smrštění po 5 hodinách, která se pohybuje rozmezí 0,45 % – 0,55 % a po 30 hodinách o dalších 0,2 %. Celkem bylo vysráženo (v maximálním případě) 0,7 % z původního rozměru fólie. Z grafu lze odečíst, že většinu napětí fólie relaxovaly během prvních 5 hodin. Mezi 5. a 30. hodinou už byly hodnoty téměř konstantní. Vzorky se smrštily o 2 mm (0,2 %), v porovnání s prvními pěti hodinami, kdy fólie vysrážely 4,5 mm – 5,5 mm.

Byly vybrány dva kusy fólií (vzorek 2, 3) na aplikaci drátků a pájení konektorů po 5 hodinách, aby bylo zjištěn případný rozdíl s manipulovanými kusy ze spodní části palety v předchozím případě. Zbylé tři kusy fólie (vzorek 1, 4 a 5) byly naaplikovány po 30 hodinách, opět pro zjištění možného rozdílu v chování s manipulovanými kusy. Dále také pro porovnání výsledků po 5 a 30 hodinách v rámci nemanipulovaných vzorků.



Obr. 76 – Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Z výsledků měření vyplývá, že fólie relaxují v čase stále. Největší smrštění bylo zaznamenáno během první hodiny relaxace fólií. Během 2. – 5. hodiny se relaxace ustaluje a další smrštění, ke kterému dochází po 5. hodině od nařezání, je již pro další použití zanedbatelné. Pro potvrzení či vyvrácení této hypotézy byly následně fólie zpracovány dle obvyklého technologického postupu – aplikace drátků metodou PSM, či HWW.

Z grafů 73–76 je patrné, že fólie které se nacházely vespodu palety a tudíž na ně působilo největší zatížení se smrštily méně, než fólie ve střední a v horní části palety. Fólie ve střední části se smrštily o podobné hodnoty jako fólie v horní části palety. Rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěnou fólií po 5 hodinách relaxace v rámci celé palety je roven 6 mm a pokud by nebyla započítána spodní fólie, jejíž relaxace je negativně ovlivněna PE fólií, rozdíl v rámci palety by byl pouze 3 mm.

Díky hodnotám získaných z měření nemanipulovaných vzorků je zřejmé, že pokud se s fóliemi nemanipuluje, jejich relaxace vykazuje hladší průběh. Všechny fólie v tomto případě relaxovaly velmi podobně a nebyly zaznamenány žádné větší rozdíly ve smrštění, naměřená hodnota osy x po 5 hodinách se lišila o 0 mm – 1 mm. Při měření po 30 hodinách se od sebe vzorky lišily o 0,5 mm (dva vzorky již byly odebrány na aplikaci PSM, HWW a jeden vzorek byl zničen PSM robotem – proto jsou v měření po 30 hodinách pouze dvě fólie).

Při zpracování fólií metodami PSM a HWW byly na vzorky aplikovány drátky, lepeny sběrnice a na ně následně napájeny konektory pro model automobilu FO (pro HWW) a ŠK (pro PSM). Ihned po aplikaci byl osový kříž fólie přeměřen a zjištěna změněná hodnota rozměrů v obou osách zapříčiněná tepelným ovlivněním. Následně se fólie přeměřila po 18 a 90 hod od aplikace a správná pozice drátků a konektorů byla znovu kontrolována na šabloně.

Výsledky z těchto měření a kontrol uvádí následující tabulka 17 a tabulka 18 a přiložené obrázky 77–86.

Tabulka 17 - Naměřené hodnoty po 5 hodinách relaxace a vyhodnocení

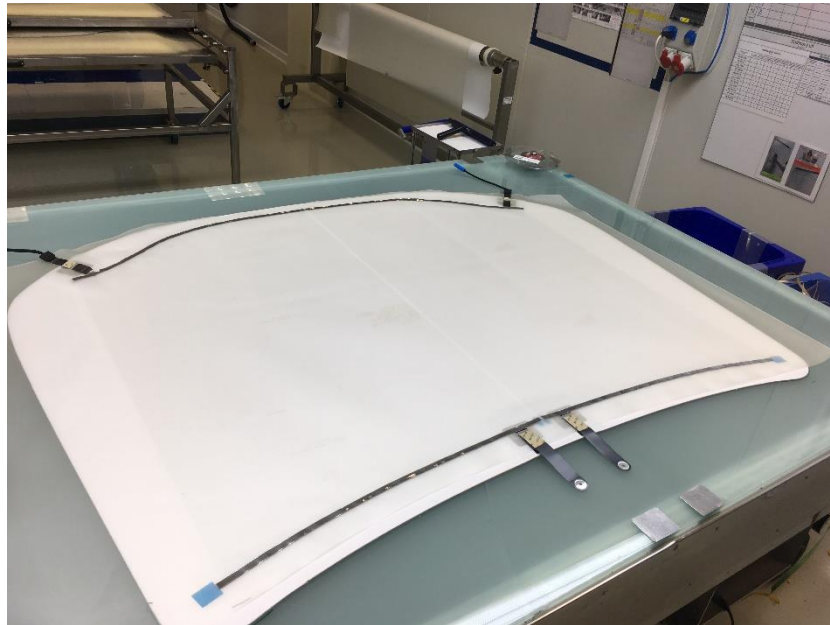
FÓLIE Z HORNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 5 HODIN					
HWW	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 2			OK		OK
X [mm]	989	990		990	
Y [mm]	503	501,5		501	
PSM	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně		Pozice ve skle
Vzorek 4			OK	FÓLIE SLOŽENA DO SKLA PO 48 HOD	OK
X [mm]	989,5	988,5			
Y [mm]	503	504,5			
FÓLIE ZE STŘEDNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 5 HODIN					
HWW	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 4			OK		OK
X [mm]	989	987,5		993,5	
Y [mm]	504	505,5		500	
PSM	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně		Pozice ve skle
Vzorek 2			OK	FÓLIE SLOŽENA DO SKLA PO 48 HOD	OK
X [mm]	992,5	993			
Y [mm]	501	502			
FÓLIE ZE SPODNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 5 HODIN					
HWW	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 5			OK		OK
X [mm]	994	995		995	
Y [mm]	501,5	501,5		501,5	
PSM	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně		Pozice ve skle
Vzorek 1			OK	FÓLIE SLOŽENA DO SKLA PO 48 HOD	OK
X [mm]	989,5	989			
Y [mm]	503	504,5			
FÓLIE ZE SPODNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 5 HODIN (MĚŘENÉ A MANIPULOVANÉ AŽ PO 5 HODINÁCH)					
HWW	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 3			OK		OK
X [mm]	993	994		992,5	
Y [mm]	501	501,5		503	
PSM	Po aplikaci	Po 18 hodinách	Pozice na šabloně		Pozice ve skle
Vzorek 2			OK	FÓLIE SLOŽENA DO SKLA PO 48 HOD	OK
X [mm]	991	991			
Y [mm]	503,5	504,5			

Tabulka 18 - Naměřené hodnoty po 30 hodinách relaxace a vyhodnocení

FÓLIE Z HORNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 30 HODIN			
HWW	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 5			OK
X [mm]	991	991	
Y [mm]	502	501,5	
PSM	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 3			OK
X [mm]	989	988	
Y [mm]	503	504,5	
FÓLIE ZE STŘEDNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 30 HODIN			
HWW	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 5			OK
X [mm]	991	991	
Y [mm]	502	502	
PSM	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 1			OK
X [mm]	987	987,5	
Y [mm]	506	504,5	
FÓLIE ZE SPODNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 30 HODIN			
HWW	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 3			OK
X [mm]	990	992,5	
Y [mm]	503	502,5	
PSM	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 4	FÓLIE ZNIČENA PSM ROBOTEM		
X [mm]			
Y [mm]			
FÓLIE ZE SPODNÍ ČÁSTI PALETY RELAXOVANÉ 30 HODIN (MĚŘENÉ A MANIPULOVANÉ AŽ PO 5 HODINÁCH)			
PSM	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 1			OK
X [mm]	992	989	
Y [mm]	503	503,5	
HWW	Po aplikaci drátků, sběrnic, konektorů	Po 90 hodinách	Pozice na šabloně
Vzorek 4			OK
X [mm]	993,5	993,5	
Y [mm]	502,5	501,5	

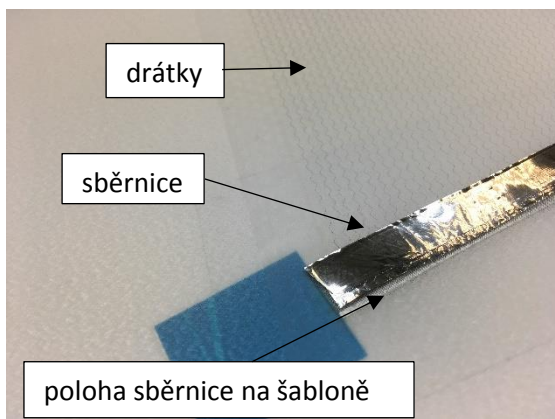
Z tabulek je patrné, že 18 i 90 hodin po aplikaci jsou všechny vzorky kontrolovány na šabloně v OK zóně, a to jak fólie relaxované 5 hodin, tak fólie relaxované 30 hodin.

Kontrolovaná fólie pro model FO položená na šabloně se nachází na obrázku 77.

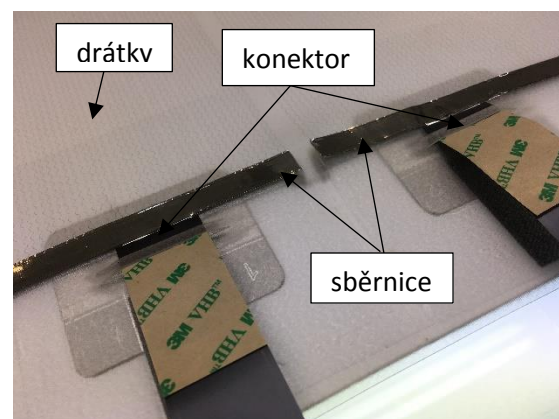


Obr. 77 – Kontrolovaná fólie FO na šabloně

Detail pohledu na kontrolovanou fólii se nachází na obrázcích 78 a 79.

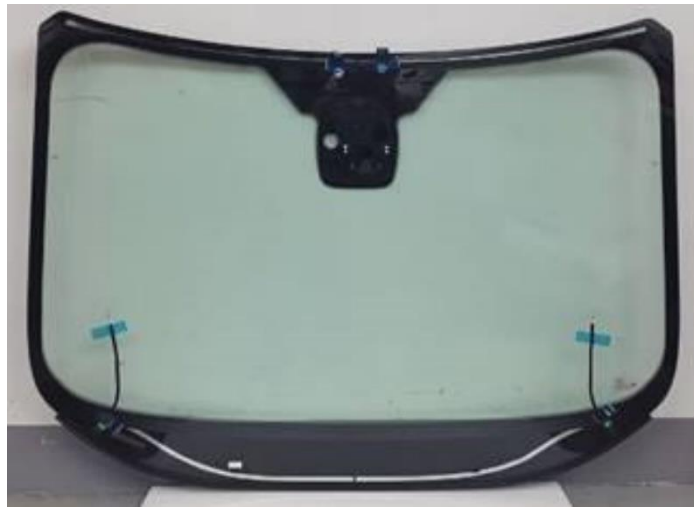


Obr. 78 – Detail kontrolované pozice sběrnice na šabloně



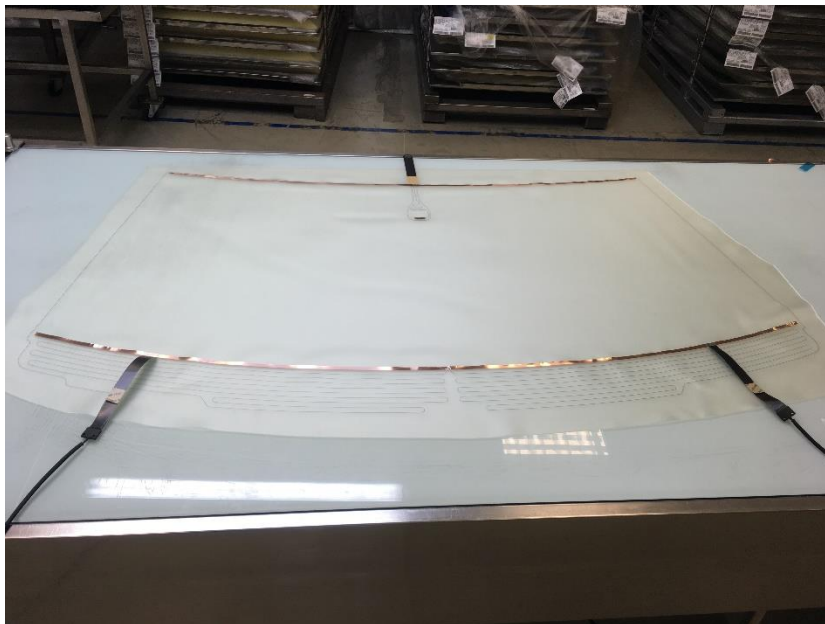
Obr. 79 – Detail kontrolované pozice konektorů na šabloně

Hotové čelní sklo z vnitřní strany lze vidět na obrázku 80.



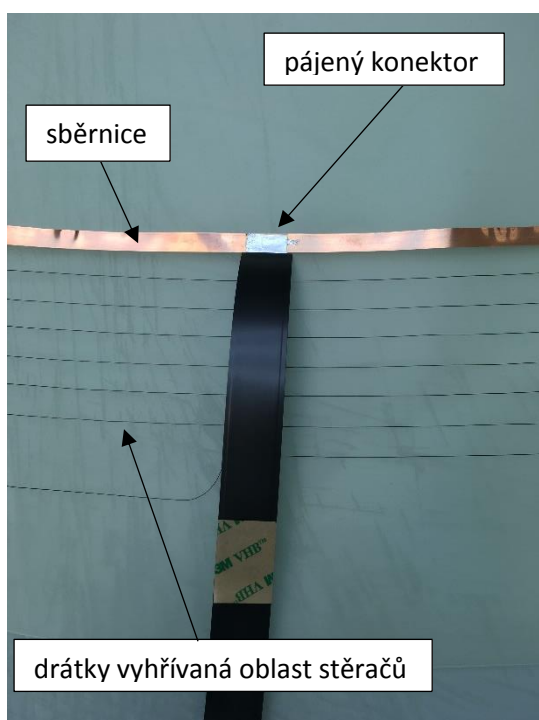
Obr. 80 – Pohled na vnitřní stranu čelního skla FO

Na obrázku 81 se nachází kontrolovaná fólie pro model ŠK.

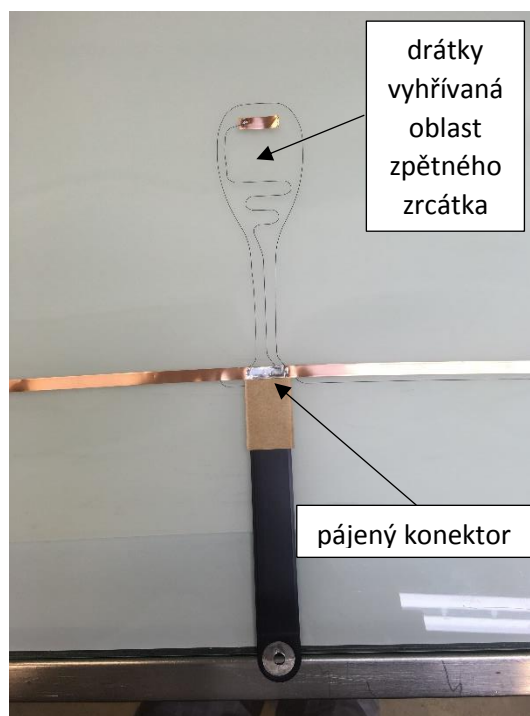


Obr. 81 - Kontrolovaná fólie pro model ŠK

Detail pohledu na horní a spodní kontrolovanou stranu je na obrázcích 82 a 83.



Obr. 82 – Spodní strana – detail pohledu na pájený konektor



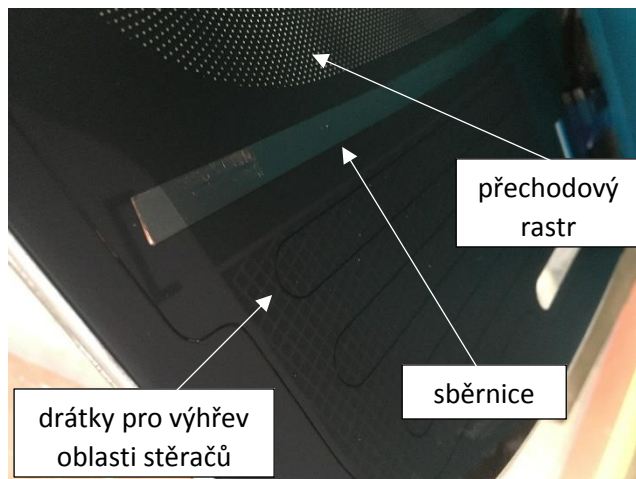
Obr. 83 – Horní strana – detail pohledu na pájený konektor a drátky

Na obrázku 84 lze vidět hotové čelní sklo z vnitřní strany.

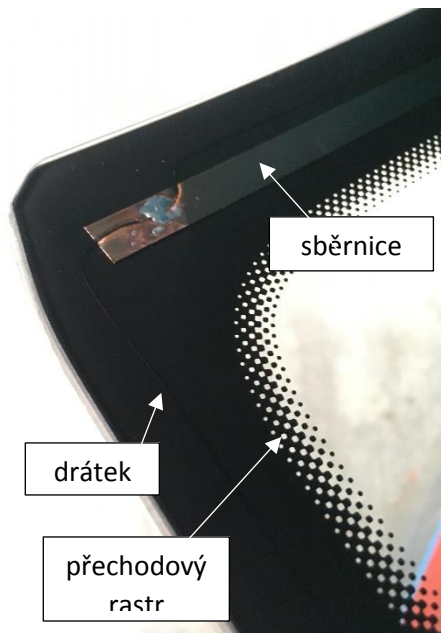


Obr. 84 – Pohled na vnitřní stranu čelního skla ŠK

Detailní snímky OK pozice drátků a sběrnic, které nesmí zasáhnout do přechodového rastru v potisku jsou na obrázcích 85 a 86.



Obr. 85 – Pohled na detail spodní vnitřní strany čelního skla ŠK



Obr. 86 – Pohled na detail horní vnitřní strany čelního skla ŠK

Závěry

Cíle bakalářské práce byly splněny.

- 1) Byl charakterizován materiál polyvinylbutyral a jeho možné syntézy.
- 2) Byla popsána výroba fólií z polyvinylbutyralu a jejich využití jako mezivrstva v laminovaných čelních sklech automobilů.
- 3) Byl změřen průběh relaxace vybraných druhů fólií v čase. Byly změřeny velikosti změn při relaxaci fólií v závislosti na druhu fólie, použité technologii zpracování a následné další aplikaci.
 - a. Na fóliích byla měřena velikost osového kříže s délkami X,Y ve stohu po 80 kusech, a to vždy 5 ks z horní, 5 ks ze střední a 5 ks ze spodní části stohu, v časech 1, 2, 3, 5, 24, popř. 30 a 50 hodin od nařezání fólií.
 - b. Výsledky z těchto častých měření, byly porovnány se stohem, kde bylo měřeno 5 spodních kusů fólie pouze v časech 5, 24, popř. 30 a 50 hodin po nařezání ke zjištění přesnějších dat odpovídajících reálné výrobě a díky tomuto porovnání, tak lépe určena potřebná doba relaxace.
- 4) Byl měřen vliv zkrácené doby relaxace na následnou aplikaci drátků, konektorů, popř. lepení sběrnic a jejich správnou pozici před složením do skla, pomocí šablony.
- 5) Byl navržen dostatečný čas pro relaxaci fólií od nařezání před dalším zpracováním u všech měřených typů fólií z původních **48 hodin na 5 hodin.**
- 6) Kontrola vzorků na šabloně po aplikaci komponentů metodami HWW, PSM i PSK **potvrdila u všech testovaných fólií a druhů aplikací**, že nově nastavená doba relaxace fólií (5 hodin) je dostatečná.

- 7) V případě fólií, které se bez dalších aplikací vkládají do skla ukázaly naměřené hodnoty následující:
- a. Strečovaná akustická fólie ABC 1 od Výrobce 2 vykazuje po 5 hodinách relaxace velmi podobné smrštění všech kusů v rámci celého stohu fólií (maximální rozdíl mezi nejvíce a nejméně smrštěným kusem jsou 3 mm). Rozdíly mezi manipulovanými a nemanipulovanými kusy jsou minimální.
 - b. Manipulované vzorky strečované akustické fólie DEF 2 Výrobce 1 vykazují méně stálé výsledky než fólie ABC 1. Jde především o velké rozměrové rozdíly mezi vzorky umístěnými navrchu a naspodu stohu (max. rozdíl 12 mm). Vzorky se kterými nebylo během prvních 5 hodin manipulováno takovéto výkyvy nevykazují. Jejich maximální rozdíl jsou 3 mm a jejich relaxace má hladší průběh.

Doporučení

- Pro zavedení do praxe je nutné zkrácení času potřebného pro relaxaci ověřit na větším počtu vzorků.
- Pro plynulejší proces při ověřování zkracování dob relaxace fólií a minimalizaci případných chyb, by bylo vhodné toto zkracování doby relaxace implementovat v delším časovém horizontu. Zkrátit dobu relaxace nejprve ze 48 hodin na 30, následně na 24, poté na 12 a konečně na 5 hodin a takto zkrácený čas vždy ověřit testy.

Seznam použité literatury

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2006, ISBN 80-7080-617-6.
- [2] MRÁČEK, Jakub. Možné syntézy polyvinylbutyralu [osobní konzultace]. Teplice [5. 2. 2018]
- [3] RAUWENDAAL, Chris. Polymer Extrusion [online]. 5. Mnichov: Carl Hanser Verlag, 2014, s. 1 [cit. 2018-02-07]. ISBN 978-1-56990-539-5. Dostupné z: https://books.google.de/books?hl=cs&lr=&id=T3bFAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=extrusion&ots=PjyzO73DZz&sig=ZS609E9o2QZjl7NRNm3IFr546As&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [4] Firemní literatura. AGC Automotive Czech - PVB training. General PVB presentation. Roermond, Nizozemí, 2016.
- [5] Firemní literatura. Eastman Chemical Company. *Saflex LAG Guide*. 7. Kingsport, Tennessee, USA, 2013.
- [6] KYMPLOVÁ, Jaroslava. *Katalog metod v biofyzice* [online]. [cit. 2018-02-6]. Dostupné z: <https://el.lf1.cuni.cz/p2kvdbio5po/>
- [7] S-LEC Solar Control Film: Interlayer Film for Automobiles. In: Sekisui [online]. Nizozemí, 2015, s. 4 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: https://www.s-lec.eu/wp-content/uploads/scf_eng.pdf
- [8] Firemní literatura. S-Lec Interlayer film. Roermond, Nizozemí, 2010.
- [9] KELLER, Uwe a Hans MORTELMANS. *Glass Performance Days* [online]. 3. Tampere, Finsko: Glass Performance Days, Glaston Finland Oy, 1999, s. 353-356 [cit. 2018-02-08]. ISBN 952-91-0885-0. Dostupné z: <https://www.aisglass.com/sites/default/files/pdfs/technical%20papers/AIS-18.pdf>
- [10] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2018-07-15]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/06.html>
- [11] Firemní literatura. *Viskoelastické vlastnosti PVB fólie*. Chudeřice
- [12] Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) [online]. [cit. 2018-07-16]. Dostupné z: <https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010367/cwl2js87vLAsPwUA.pdf?redirected>
- [13] Firemní literatura. *DSC testování PVB fólie*. Chudeřice
- [14] Osobní konzultace v AGC Automotive Czech. Chudeřice

Seznam použitých obrázků

- Obr. 1: Strukturní vzorec polyvinylbutyralu
- Obr. 2: Chemická rovnice reakce acetylenu a kyseliny octové
- Obr. 3: Chemická rovnice polymerace vinylacetátu
- Obr. 4: Chemická rovnice volné radikálové vinyl polymerace
- Obr. 5: Acetilizace, vznik polyvinylbutyralu
- Obr. 6: Syntéza PVB z polyvinylacetátu a butanal
- Obr. 7: Syntéza polyvinylacetátu z acetanhydridu
- Obr. 8: Schéma výroby PVB fólie
- Obr. 9: Schéma průchodu sluneční energie skrz sendvič sklo - solární PVB fólie -sklo
- Obr. 10: Schéma složení akustické fólie a prostupu vibrací
- Obr. 11: Porovnání ztrát při přenosu zvuku akustickou a jednovrstvou fólií
- Obr. 12: Chemická struktura PVB
- Obr. 13: Mechanismus vazby sklo - PVB - sklo
- Obr. 14: Pummel adheze ve srovnání s rostoucí konduktivitou vody
- Obr. 15: Adheze ve srovnání s vlhkostí fólie
- Obr. 16: Graf závislosti rovnovážného stavu vlhkosti a relativní vlhkosti
- Obr. 17: Detail spodní části grafu závislosti rovnovážného stavu vlhkosti a relativní vlhkosti
- Obr. 18: Schéma embosování
- Obr. 19: Pravidelný embos RZV
- Obr. 20: Nepravidelný embos RZN
- Obr. 21: TTT diagram
- Obr. 22: Grafický záznam z testu DSC
- Obr. 23: Účinek ochranného obalu
- Obr. 24: Role PVB fólie v ochranném obalu
- Obr. 25: Proces odvíjení fólie
- Obr. 26: Čistící mašinka
- Obr. 27: Nahřátý válec
- Obr. 28: Fólie na umbrella
- Obr. 29: Druhá strana umbrelly

Obr. 30: Fólie před najetím na chladicí stůl

Obr. 31: Fólie vyjíždějící z místnosti s umbrellou

Obr. 32: Chladicí stůl s fólií

Obr. 33: Řezačka fólie

Obr. 34: Detail strečinku na umbrelle

Obr. 35: Tvarovaná fólie po strečinku na chladícím stole

Obr. 36: Zjednodušené schéma technologie G-loop

Obr. 37: Paleta s nařezanými fóliemi

Obr. 38: Naaplikovaná fólie

Obr. 39: Detail výpletu drátků

Obr. 40: Fólie pro countingovou verzi skla

Obr. 41: Potisk okrajů čelního skla

Obr. 42: Detail natisknutých označení

Obr. 43: Schéma mechanického předlisování

Obr. 44: Cyklus autoklávu

Obr. 45: Otevřený autokláv se zalaminovanými skly

Obr. 46: Ocelové pravítko

Obr. 47: Kalibrační značka

Obr. 48: Měřený vzorek fólie

Obr. 49: Označení příslušného vzorku fólie

Obr. 50: Osový kříž na fólii

Obr. 51: Drum

Obr. 52: Detail na povrch drumu s vypletenou fólií

Obr. 53: Aplikační robot PSM

Obr. 54: Detail aplikační hlavy PSM robota

Obr. 55: Aplikační robot PSK

Obr. 56: Detail aplikační hlavy PSK robota

Obr. 57: Graf relaxace, horní část

Obr. 58: Graf relaxace, střední část

Obr. 59: Graf relaxace, spodní část

Obr. 60: Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Obr. 61: Kontrola pozice drátků a konektorů na šabloně

Obr. 62: Detail OK pozice levé strany

Obr. 63: Detail OK pozice pravé strany

Obr. 64: Graf relaxace, horní část

Obr. 65: Graf relaxace, střední část

Obr. 66: Graf relaxace, spodní část

Obr. 67: Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Obr. 68: Graf relaxace, horní část

Obr. 69: Graf relaxace, střední část

Obr. 70: Graf relaxace, spodní část

Obr. 71: Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Obr. 72: OK čelní sklo CI

Obr. 73: Graf relaxace, vrchní část

Obr. 74: Graf relaxace, střední část

Obr. 75: Graf relaxace, spodní část

Obr. 76: Graf relaxace, spodní část bez manipulace

Obr. 77: Kontrolovaná fólie FO na šabloně

Obr. 78: Detail kontrolované pozice sběrnice na šabloně

Obr. 79: Detail kontrolované pozice konektorů na šabloně

Obr. 80: Pohled na vnitřní stranu čelního skla FO

Obr. 81: Kontrolovaná fólie pro model ŠK

Obr. 82: Spodní strana - detail pohledu na pájený konektor

Obr. 83: Horní strana - detail pohledu na pájený konektor a drátky

Obr. 84: Pohled na vnitřní stranu čelního skla ŠK

Obr. 85: Pohled na detail spodní vnitřní strany čelního skla ŠK

Obr. 86: Pohled na detail horní vnitřní strany čelního skla ŠK

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Fólie použité k experimentu

Tabulka 2: Nastavené technologické parametry pro G-loop

Tabulka 3: Nastavené technologické parametry pro strečink

Tabulka 4: Časové rozložení náměrů

Tabulka 5: Druh aplikace na jednotlivé fólie použité k experimentu

Tabulka 6: Naměřené hodnoty vrchní a střední část palety

Tabulka 7: Naměřené hodnoty spodní část palety a vzorky bez manipulace

Tabulka 8: Naměřené hodnoty po PSK a pozice na šabloně

Tabulka 9: Naměřené hodnoty vrchní část

Tabulka 10: Naměřené hodnoty střední část

Tabulka 11: Naměřené hodnoty spodní část

Tabulka 12: Naměřené hodnoty vzorků bez manipulace

Tabulka 13: Naměřené hodnoty vrchní a střední část palety

Tabulka 14: Naměřené hodnoty spodní části palety a hodnoty vzorků bez manipulace

Tabulka 15: Naměřené hodnoty vrchní a střední části palety

Tabulka 16: Naměřené hodnoty spodní části palety a hodnoty vzorků bez manipulace

Tabulka 17: Naměřené hodnoty po 5 hodinách relaxace a vyhodnocení

Tabulka 18: Naměřené hodnoty po 30 hodinách relaxace a vyhodnocení