



Procesní optimalizace výroby CR V klínového řemenu

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

Jan Rýdlo

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie





Zadání bakalářské práce

Procesní optimalizace výroby CR V klínového řemenu

Jméno a příjmení: Jan Rýdlo
Osobní číslo: S17000069
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky výroby klínových řemenů
2. Rozbor problematiky hodnocení kvality a užitných vlastností klínových řemenů
3. Optimalizace procesu výroby klínových řemenů
4. Stanovení vlivu změny procesních parametrů na kvalitu klínových řemenů
5. Vyhodnocení a závěr

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

tabulky, grafy
cca 30 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] ERICKSON, Wallace D. (ed.). *Belt selection and application for engineers*. CRC Press, 1987.
- [2] SHARMA, C. S., PUROHIT, Kamlesh. *Theory of Mechanisms and machines*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2006.
- [3] MORTON, Maurice (ed.). *Rubber technology*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [4] MARK, James E., ERMAN, Burak, ROLAND, Mike (ed.). *The science and technology of rubber*. Academic press, 2013.
- [5] DICK, John S. (ed.). *Rubber technology: compounding and testing for performance*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2014.

Vedoucí práce:

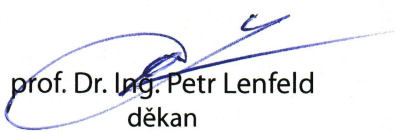
Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání práce:

31. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

30. dubna 2021


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

12. července 2020

Jan Rýdlo

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Milanu Říhovi, Jaromíru Kulkovi a společnosti Trelleborg Bohemia a.s. za možnost uskutečnění této práce, odborné vedení a čas jimi věnovaný. Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Brdlíkovi, Ph. D. za konzultace a čas.

Bez výše zmiňovaných by tato práce nemohla vzniknout, a proto jim srdečně děkuji za veškerou podporu a pomoc.



Procesní optimalizace výroby CR V klínového řemenu

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá technologií a procesní optimalizací výroby chloroprenových (CR) klínových řemenů ve společnosti Trelleborg Bohemia a.s. Optimalizace byla prováděna změnou procesních parametrů strojů i změnou materiálů, za účelem zvýšení životnosti řemenů. Životnost byla kontrolována sérií destrukčních zkoušek na jednoúčelovém zkoušejícím zařízení při zadaném zatížení a také jednou zkouškou vnitropodnikovou.

Klíčová slova:

Gumárenství, klínové řemeny, vulkanizace, chloropren, procesní optimalizace

Production process optimization of CR V belt

Annotation

This bachelor thesis deals with technology and process optimization of chloroprene (CR) V-belts production in the company Trelleborg Bohemia a.s. Optimization was done by changing production process parameters and by usage of different materials to increase lifespan of V-belts. Lifespan was tested by series of destruction tests on the one-purpose machine using specific strains and by one inner company's policy test.

Keywords:

Rubber industry, V-belts, vulcanization, chloroprene, process optimization



1. Úvod.....	10
2. Teoretická část práce	12
2.1. Řemeny	12
2.1.1. Rozdělení řemenů.....	12
2.1.2. Klínové řemeny	13
2.1.3. Značení klínových řemenů	16
2.2. Materiálové složení klínových řemenů.....	18
2.2.1. Kaučuky a pryže	18
2.2.2. Přísady	21
2.2.3. Vulkanizační činidlo	22
2.2.4. Plniva.....	23
2.2.5. Vlákná	23
2.2.6. Míchání materiálu a výroba směsi	24
2.2.7. Válcování profilů.....	26
2.2.8. Příprava pogumovaných textilií	27
2.2.9. Konfekce	28
2.2.10. Značení řemenů	28
2.2.11. Lisování - vulkanizace.....	29
2.2.12. Skladování a kontrola kvality	31
3. Praktická část.....	33
3.1. Rozbor požadavků zákazníka	33
3.2. Produkce klínových řemenů a její optimalizace.....	34
3.2.1. Volba materiálů	34
3.2.2. Příprava materiálu a postupu výroby	35
3.2.3. Válcování profilů.....	36
3.2.4. Příprava pogumovaných textilií	37



3.2.5.	Konfekce, obalování a kompletace	38
3.2.6.	Značení řemenů	39
3.2.7.	Lisování – vulkanizace	40
4.	Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze	43
4.1.	Kontrola rozměrů	43
4.2.	Destrukční zkouška řemenů	44
5.	Závěr	49
	Použitá literatura	50



Seznam zkratk a symbolů

Zkratka / symbol	Vysvětlení	Jednotka
AU	Polyester-uretan	-
BV	Označení vulkanizačního lisu	-
CR	Chloroprenový kaučuk	-
d_{dmin}	Průměr nejmenší řemenice v dotyku	[mm]
dsk	Počet hmotnostních dílů přísady na sto hmotnostních dílů kaučuku	-
h	Výška řemene	[mm]
IR	Izoprenový kaučuk	-
MH	Maximální dosažená viskozita Mooney	[dNm]
ML	Viskozita Mooney před vulkanizací	[dNm]
NR	Přírodní kaučuk	-
SBR	Styren-butadienový kaučuk	-
T90	Doba, po které dojde ke zvulkanizování většiny řetězců ve směsi	[min]
T_g	Teplota zesklňování	[°C]
TS1	Doba, za kterou dojde k dosažení momentu $ML + 1 \text{ dNm}$	[Min]
w	Vrchní šířka řemene	[mm]
w_d	Šířka řemene (jmenovitý rozměr)	[mm]



1. Úvod

Klínové řemeny a řemeny obecně jsou po staletí nedílnou součástí průmyslu, zemědělství i mnohých přístrojů běžně používaných v našich domácnostech. Řemeny nabízejí levné a snadno udržovatelné řešení přenosu menších a středních výkonů za relativně tichého chodu. O užitných vlastnostech řemenů rozhoduje především jejich stavba a materiály, ze kterých jsou vyrobeny, ale překvapivě významnou roli mohou hrát i relativně drobné úpravy ve výrobní technologii. Ačkoli se může zdát, že v tak zavedeném odvětví, jako je gumárenská výroba, není pro významné inovace prostor, požadavky zákazníků na kvalitu provedení a životnost výrobků jsou i zde významnou hnací silou. Vůdčí firmy trhu, mezi něž bezpochyby patří Trelleborg Bohemia a.s., proto věnují značné úsilí tomu, aby nadále posouvaly hranice možností řemenů.

Cílem této práce je rozebrat problematiku výroby klínových řemenů, hodnocení kvality a užitných vlastností klínových řemenů, optimalizovat proces výroby a stanovit vliv změny procesních parametrů na kvalitu klínových řemenů.

V teoretické části této práce bude pojednáno o vlastnostech a využití řemenů se zaměřením na obalované klínové řemeny. Pozornost je věnována především zmapování současných možností a zdůvodnění volby typu řemene, materiálu, konstrukce a technologie výroby pro daný účel. Popsány jsou také měřitelné parametry materiálu i výrobku, na nichž stojí celé vyhodnocování kvality, technologických a užitných vlastností. Teoretická část vychází především z odborné literatury, informačních materiálů zveřejňovaných výrobcí klínových řemenů, jakož i z vlastních poznatků ze studia a prvotních studijních návštěv ve firmě Trelleborg Bohemia a.s.

V praktické části práce je řešen proces tvorby a výroby produktu – obalovaného polyklínového řemene (Satz Keilriemen DIN 2251 – $2 \times B 2700$) často užívaného v zemědělských strojích. Následuje návrh a volba optimálního využití dostupných materiálů a technologií. Z hlediska praktické využitelnosti provedených inovací v gumárenském provozu je důležitou součástí optimalizace sledování dopadů volby materiálů a technologií na skutečný průběh výrobního procesu. Ačkoli je zřejmé, že při výrobě prototypu je prioritou kvalita výrobku, nikoli procesní optimalizace ve smyslu nejlevnější a nejplynulejší výroby, pro další využití zvoleného technologického procesu je významné s měřítkem náročnosti výrobního postupu pracovat. Pro srovnání vlastností výsledného výrobku s dosavadní produkcí budou



provedeny dva druhy destrukční zkoušky – klasická a vnitropodniková – které se zaměří především na životnost řemene při extrémním zatížení.



2. Teoretická část práce

Pro přenos výkonu lze využít několik druhů převodů. Jedná se například o převod ozubenými koly, řetězy, řemeny aj. Řemeny jsou využívány zejména tam, kde je potřeba snadná a rychlá a levná údržba převodu, tichý chod či převod výkonu na velké vzdálenosti.

2.1. Řemeny

Obecně je řemen smyčka pružného materiálu, která umožňuje přenášet výkon z jedné hřídele na druhou. Přenášení výkonu je zajištěno pomocí třecí nebo tvarové vazby mezi řemenem a řemenicí pevně spojenou s hřídelem.

Mezi hlavní výhody řemenových převodů patří nízké výrobní a provozní náklady, snadná údržba, popř. výměna. Oproti např. řetězovým převodům nabízejí zpravidla tišší a klidnější chod. Používaný materiál je zpravidla lehký a pružný, na rozdíl od kovových ozubených kol a řetězů daleko lépe tlumí momentové rázy a účinky odstředivé síly nebývají tak velké jako v případě řetězů [1]. Řemeny se dají použít i na hřídele od sebe dosti vzdálené. Na převod výkonu lze použít paralelně i více řemenů, nebo jeden násobný.

Využití řemenů je limitováno výkonem, který je jednotlivý řemen schopen přenést. Nevýhodou jsou relativně větší rozměry, citlivost na provozní podmínky (např. vysokou teplotou) a okolní prostředí (množství prachu a olejů v okolí) [1]. Velmi důležitým aspektem výroby klínových řemenů je velká variabilita a možnost výrobek optimálně přizpůsobit potřebám zákazníka.

2.1.1. Rozdělení řemenů

Řemenové převody jsou realizovány nejčastěji pomocí plochých, klínových, kruhových a ozubených řemenů. Jednotlivé druhy se liší konstrukcí i využitelností.

Ploché řemeny (Obr. 1 - a)

- Výhody: Jsou jednoduché, levné, vhodné na převod výkonu na velké vzdálenosti, flexibilní a odolné. Největšího účinku dosahují za vyšších rychlostí. [2]
- Nevýhody: Častěji dochází k prokluzu, nedokáží účinně přenést velké výkony, vzhledem k povaze materiálu se často mění délka řemene a poměr úhlové rychlosti není konstantní. [2]

Klínové řemeny – (Obr. 1 – b)



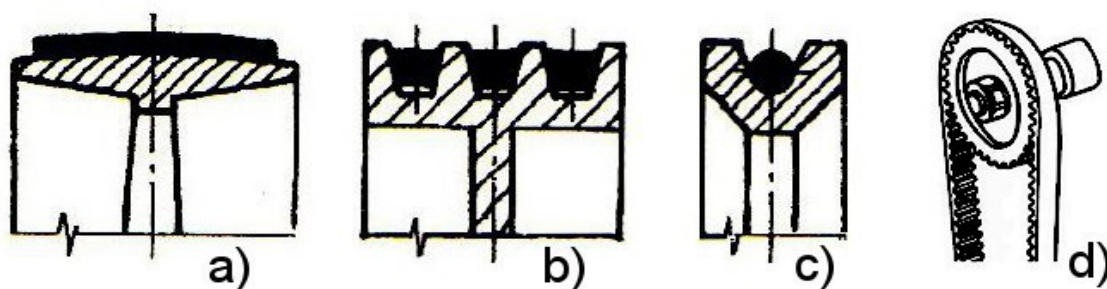
- Výhody: Díky tvaru třecí vazby, dokáží přenést stejný výkon za nižšího zatížení.
- Nevýhody: Nejsou vhodné na zkřížené uložení řemene na řemenicích.

Kruhové řemeny – (Obr. 1 – c)

- Výhody: Není potřeba nastavovat předpětí. Mohou být uloženy ve V i U řemenicích, jsou snadno čistitelné. [3]
- Nevýhody: V řemenicích typu V dochází k malému přenosu výkonu a rychlému otěru a opotřebení.

Ozubené řemeny - (Obr. 1 – d)

- Výhody: Tvarová vazba umožňuje přenášet největší výkony, neprokluzuje, tichý chod, vysoká účinnost (98%). [4]
- Nevýhody: Nehodí se pro řemenice s malým průměrem a vysoké rychlosti, těžko se nastavuje přesný převod. [4]



Obr. 1 - Druhy řemenů. [5]

2.1.2. Klínové řemeny

Klínové řemeny lze popsat jako uzavřené pryžové pásy lichoběžníkového průřezu. Nejčastěji používanými druhy klínových řemenů jsou:

- Obalované klínové řemeny
- Řezané klínové řemeny (často s odlehčovacím ozubením)

Řezaný řemen je oproti obalovanému díky profilovaným zubům po celé jeho délce pohybově daleko poddajnější, což je využíváno například ve variátorech, kde se průběžně s otáčkami mění průměr řemenice. Řezaný řemen se liší nejen stavbou, ale také výrobní technologií.

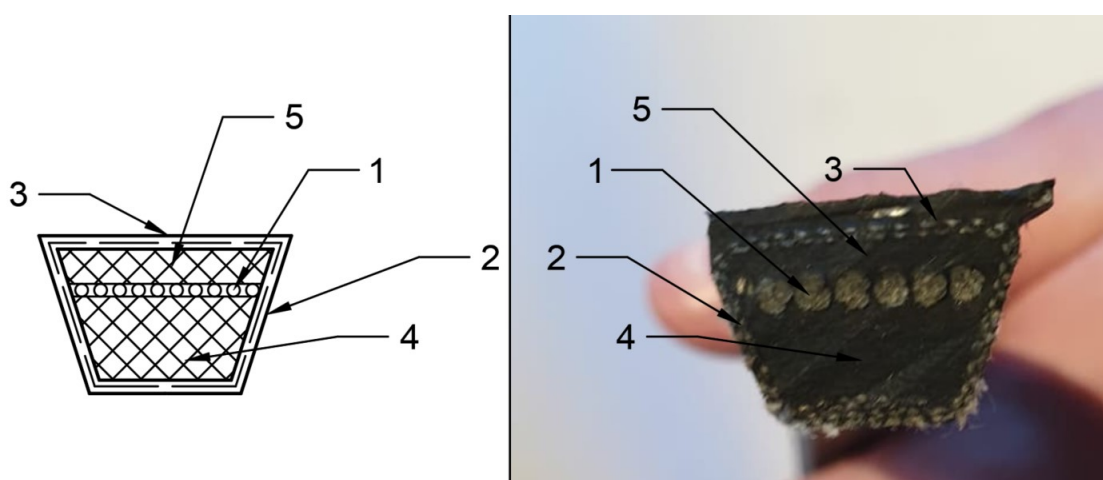
Obalované řemeny lze snadněji vyrábět v libovolných rozměrech. Vzhledem k používané výrobní technologii, zde hrozí vyšší riziko rozměrových nepřesností, než je tomu u řezaných



klínových řemenů. Zásadní výhodou obalovaných řemenů je především ochrana proti vnějším vlivům po celém povrchu.

Obalované i řezané klínové řemeny se dále dělí na klasické a úzké. U klasických řemenů se velká část objemu nepodílí na přenášení sil, proto se pro vysoké rychlosti a přenášení velkých výkonů v některých případech používají úzké řemeny. Úzkých řemenů může být (při stejných rozměrech) aplikováno více, což zapříčiňuje (vzhledem k nižším hmotnostem) snížení účinku odstředivých sil. Na druhou stranu, klasický řemen je robustnější než úzký a zpravidla vydrží déle.

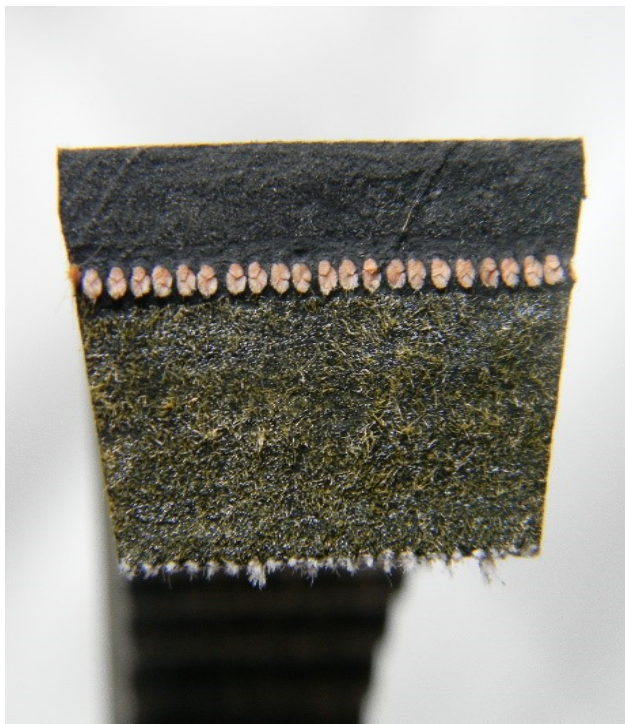
Základem stavby klasického obalovaného klínového řemene je několik vrstev (Obr. 2):



Obr. 2 - Schéma vrstev obalovaného řemene: 1 - tažná vrstva (kostra), 2 - Třecí vrstva (obal), 3 - Krycí vrstva (obal), 4 - Jádro, 5 - nárazník

Stavba řezaného klínového řemene je velmi podobná obalovanému, kde ovšem místo obalu plní funkci třecí vrstvy jádro (Obr. 3).





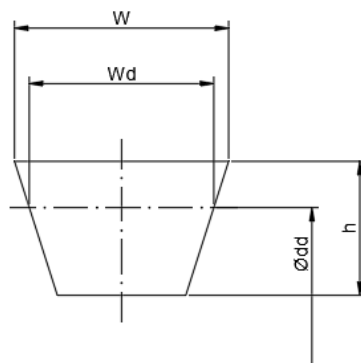
Obr. 3 – Příklad průřezu řezaného řemene

1. Tažná vrstva: Jedná se o nosnou vrstvu, která leží v neutrální ose průřezu, aby nedocházelo k přidavnému namáhání ohybem. Tato vrstva má za úkol přenášet tahové napětí. Zpravidla je tvořena vlákny (viz kapitola 2.2.5.)-volenými adekvátně k danému použití. [1]
2. Třecí vrstva: Zajišťuje třecí vazbu mezi povrchem řemenice a řemene. Často se jedná o tkaninu impregnovanou pryží, která zajistí delší životnost. [1]
3. Krycí vrstva: Zajišťuje ochranu řemene proti vnějším vlivům. [1]
4. a 5. Nárazník a jádro zajišťují výplň řemene a umístění tažné vrstvy. Poměr velikosti jádra k nárazníku má vliv na životnost řemene.

Profil řemene (Obr. 4) je definován zpravidla čtyřmi rozměry.

- W- vrchní šířka řemene
- W_d – šířka řemene (jmenovitý rozměr)
- h – výška řemene
- $d_{\min}$ – průměr menší řemenice v dotyku





Obr. 4 - Profil klasického klínového řemene podle normy DIN 2215 [6]

Je snahou vyrábět sortiment podle mezinárodních i národních norem, avšak plnění norem se vztahuje převážně na tvar profilu. Délky klínových řemenů jsou v mnoha normách (viz. ISO 4184, DIN 2215) pouze doporučené. Finální podoba klínového řemene je tedy zpravidla určena zákazníkem.

Většina norem na výrobu klínových řemenů vychází z mezinárodní normy ISO 4184. Na normu ISO 4184 navazují národní a firemní normy. Další často používané normy jsou: DIN 2215 (klasické klínové řemeny), DIN 2218 (výpočet převodů), DIN 7753-1 (úzké klínové řemeny). Tyto normy doplňují normu ISO 4184 o další profily a podrobnější popis zkoušení a měření řemenů.

2.1.3. Značení klínových řemenů

Klínové řemeny se značí příslušnou normou podle profilu a jmenovitých rozměrů. Příklady rozměrů klasických i úzkých klínových řemenů jsou představeny v tabulce (Tabulka 1).



Tabulka 1 - Výtah z norem DIN 2215 a DIN 7753/1, přehled značení jednotlivých profilů a jejich rozměry.[6, 7]

Klasické klínové řemeny DIN 2215					
Řemen	ISO	w [mm]	wd (jmenovitý rozměr) [mm]	h [mm]	ddmin [mm]
Obalovaný	Y	6	5,3	4	28
řezaný s ozubením	YX	6	5,3	4	20
Obalovaný	Z	10	8,5	6	50
řezaný s ozubením	ZX	10	8,5	6	40
Obalovaný	A	13	11	8	75
řezaný s ozubením	AX	13	11	8	63
Obalovaný	B	17	14	11	125
řezaný s ozubením	BX	17	14	11	90
Obalovaný	C	22	19	14	200
řezaný s ozubením	CX	22	19	14	140
Obalovaný	D	32	27	20	355
Obalovaný	E	40	32	25	500
Úzké klínové řemeny DIN 7753/1					
Řemen	ISO	w [mm]	wd (jmenovitý rozměr) [mm]	h [mm]	ddmin [mm]
Obalovaný	SPZ	9,7	8,5	8	63
řezaný s ozubením	XPZ	9,7	8,5	8	50
Obalovaný	SPA	12,7	11	10	90
řezaný s ozubením	XPA	12,7	11	9	63
Obalovaný	SPB	16,3	14	13	140
řezaný s ozubením	XPB	16,3	14	13	100
Obalovaný	SPC	22	19	18	224
řezaný s ozubením	XPC	22	19	18	160

V tabulce (Tabulka 1) je možné si všimnout značení profilů podle jejich rozměrů. Základní značení profilů: Y, Z, A, B, C, D, E je závislé na jmenovitém rozměru (konkrétně jmenovité šířce). Další rozměry se vyvozují podle druhu řemene. Značení X před značením profilu u klasických řemenů naznačuje, že se jedná o řemen řezaný s ozubením. U úzkých řemenů je značení velmi podobné viz norma DIN 7753/1.



Příklady značení:

Podle normy DIN 7753/1 jsou označovány např. Úzké řezané řemeny s ozubením a s délkou 710 mm o profilu Z takto:

Schmalkeilriemen DIN 7753 – XPZ 710

Podle normy DIN 2251 značíme např. řemeny obalované a s délkou 1 550 mm o profilu A takto:

Keilriemen DIN 2251 – A 1550

Pokud by se jednalo o řemen řezaný s ozubením:

Keilriemen DIN 2251 – AX 1550

Pro polyklínové řemeny např. konkrétně pro tříklínový:

Satz Keilriemen DIN 2251 – 3 × A 1550

2.2. Materiálové složení klínových řemenů

Klínové řemeny jsou zpravidla pryžové, ale výjimečně mohou být i z jiných materiálů, například kožené (na historických strojích) či polyuretanové [8]. Tato práce je však věnována výhradně současným pryžovým klínovým řemenům – bude tedy pojednáno o materiálovém složení pryží, vlákních a dalších funkčních komponentách, které zlepšují celkové fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti klínových řemenů.

2.2.1. Kaučuky a pryže

Pryž vzniká **vulkanizací kaučuku** (podrobněji k procesu vulkanizace viz 2.3.6. Lisování – vulkanizace). „Pod pojmem **kaučuky** rozumíme takové polymery, které mohou být převedeny chemickým (nebo i fyzikálním) zasítováním v elastomery (**pryže**).“ [9] Pro výslednou podobu pryže je zcela zásadní volba vhodného kaučuku, protože jeho vlastnosti hrají v užitných vlastnostech produktu zásadní roli. Mezi klíčové vlastnosti kaučuku, které je nutné technologicky zohlednit, patří:

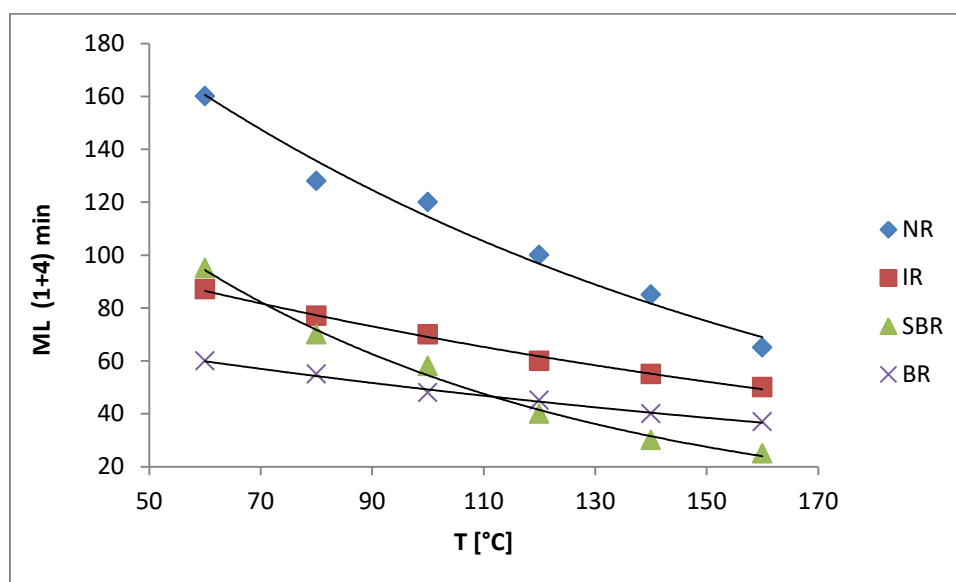
- teplota skelného přechodu (zeskelnění) T_g
- viskozita
- vulkanizovatelnost (schopnost být vulkanizací převeden na pryž)



V současném gumárenství jsou využitelné pouze ty kaučuky, které jsou tvárné v rozmezí provozních a procesně zpracovatelských teplot – **teplota skelného přechodu** by měla být tedy ideálně pod 0°C . [10] U některých polymerů je potřeba tuto teplotu upravit přidáváním změkčovadel nebo tužidel (např. u polynorbornenu přidáním olejů pro snížení teploty skelného přechodu). [10]

Viskozita je vlastností závislou na molární hmotnosti a disperzi. Jedná se o vlastnost determinující zpracovatelnost daného kaučuku, jelikož charakterizuje jeho schopnost být mechanicky hněten a dále zpracováván. V technické praxi je pro popis viskozity kaučuku využívána často jednotka viskozity **Mooney** (ML). [10]

Čím více je kaučuk mechanicky zpracováván, hněten, tím více se zmenšuje jeho střední molární hmotnost a disperze. Ke snižování viskozity dochází v závislosti na teplotě vlivem poklesu mezimolekulárních soudržných sil (Obr. 5). [10]



Obr. 5 - Závislost viskozity Mooney typických kaučuků na teplotě [10]

Vulkanizovatelnost je schopnost kaučuků dosáhnout stabilního tvaru a dobrých mechanických vlastností vlivem vulkanizace. Kaučuky se vyznačují schopností snadno měnit svůj tvar za působení napětí. Před vulkanizováním jsou deformace u kaučuků převážně trvalé (nejčastěji při teplotách okolo 100°C), po vulkanizaci ztrácí zpravidla většinu původních vlastností a stávají se elastičtějšími a méně rozpustnými. [10]

Jak už bylo řečeno z kaučuku během vulkanizace a za pomoci přísad vzniká **pryž**. Pro **pryž** jsou na rozdíl od nevulkanizovaného kaučuku typické vlastnosti:



- velká elasticita
- odolnost proti cyklickým deformacím
- značná chemická odolnost
- elektroizolační vlastnosti
- schopnost akumulovat část energie při deformaci (Joulův efekt)

Hlavní určující vlastností většiny pryží je právě jejich specifické chování při deformaci v tahu. U pryží dochází k většímu protažení, než je tomu tak u jiných technických materiálů. Obecně můžeme pryže také považovat za téměř nestlačitelné [10].

Vlastnosti výsledné pryže závisí nejen na typu vulkanizovaného kaučuku, ale také na aditivech a technologickém výrobním postupu.

V tabulce (Tabulka 2) je hrubé porovnání výsledných vlastností pryží v závislosti na použitém kaučuku. Pro přesnější porovnání směsí by bylo potřeba je rozdělit podle přesného složení směsí a postupu přípravy/vulkanizace.

Tabulka 2 – Porovnání základních kaučuků Hodnocení: A-velmi dobré, B-dobré, C-průměrné, D-neuspokojivé, E-špatné [11]

Porovnání základních elastomerů					
Elastomer	Tvrdost [Shore A]	Teplotní rozsah [°C]	Elasticita	Stárnutí	Odolnost proti Olejům
NR	30 - 100	-55 až +100	A	D	E
SBR	30 - 100	-50 až +100	B	D	D
CR	20-90	-40 až +100	B	B	C
AU	40-95	-25 až +80	C	A	A

Pro výrobu klínových řemenů se nejčastěji používají tyto elastomery:

Přírodní kaučuk (NR) – Získává se z rostlin v podobě latexu, které se pěstují na rozlehlých plantážích obzvláště v tropických oblastech Asie [9].

Izoprenový kaučuk (IR) – Ze všech syntetických kaučuků se nejvíce podobá přírodnímu kaučuku z hlediska: lepivosti, pevnosti, odrazové pružnosti, hysterezi a strukturní pevnosti za tepla [9].

Polyester-uretan (AU) – Termoplastický elastomer (není potřeba vulkanizovat), který se používá na výrobu řemenů jako alternativa ke klasickým kaučukovým pryžím, nabízí značnou pevnost a odolnost proti olejům, avšak za zpravidla nižší elasticity.

Styren-butadienový kaučuk (SBR) – kopolymer styrenu a butadienu. Vlastnosti kopolymeru záleží silně na poměru styrenu a butadienu [12]. Hojně využíván ve všech oblastech gumárenství.



Chloroprenový kaučuk (CR) - základem je molekula **2-chlorbuta-1,3-dienu**, polymerací této molekuly vzniká polychloropren. Vliv na rychlost a kvalitu polymerace výsledného kaučuku má teplota, kyslík a tlak [13].

Chloroprenový kaučuk je významný svojí vysokou elasticitou, malou hořlavostí a velmi dobrou odolností vůči stárnutí vlivem povětrnostních podmínek.

Vlastnost chloroprenového kaučuku se od běžných kaučuků liší jeho špatnou schopností se plastifikovat válcováním a nevykazuje silné termoplastické vlastnosti. Nerozpouští se v benzenu, nitrobenzenu ani etyl-acetátu. Dále na rozdíl od přírodního kaučuku méně nasává benzin i lubrikační oleje. [13] Mnohé CR směsi mají špatnou přilnavost (nejsou tak „lepkavé“ v neztvrděném stavu).

2.2.2. Přísky

Přísky se ke kaučuku přimíchávají za účelem změnit výsledné vlastnosti pryže, nebo k úpravě průběhu vulkanizace. Pro dávkování přísad ke kaučuku se používá označení **dsk**, což znamená počet hmotnostních dílů přísady na sto hmotnostních dílů kaučuku (na 100 gramů, na 100 kilogramů, ...). Je tedy zřejmé, že celková hmotnost směsi závisí i na celkovém obsahu přísad. [10]

Přísky dělíme na:

- **Vulkanizační přísky** – jedna nebo více složek přidávaných do kaučuku, která po zahřátí kaučukové směsi způsobí chemickou reakci s kaučukem jeho vulkanizací. Směs kaučuku a vulkanizačních přísad nazýváme **vulkanizačním systémem**. Vulkanizační přísky mají za úkol zlepšit či urychlit účinnost vulkanizace a vlastnosti vulkanizátu (směsi, ve které probíhá vulkanizace). **Vulkanizační činidlo** je základní složkou vulkanizačního systému. Dále mohou být použity **urychlovače**, které výrazně urychlují rychlost vulkanizace, **aktivátory**, jež snižují závislost rychlosti vulkanizace na teplotě a **inhibitory** prodlužující zpracovatelskou bezpečnost (bez toho aniž by ovlivnili dobu vlastního zesíťování - viz kapitola 2.3.6. Lisování - vulkanizace). [10]
- **Antidegradanty** – zajišťují větší odolnost vůči vlivům prostředí způsobujícím stárnutí.
- **Plniva** – podstatně zvyšují tvrdost a modul pružnosti, často i pevnost, odolnost proti oděru.



- **Změkčovadla** – používají se pro zlepšení zpracovatelnosti kaučukových směsí, snížením tvrdosti, modulu, teploty skelného přechodu.
- **Ostatní** – např. pigmenty, vlákna, nadouvadla, regeneráty. Tyto látky slouží k dosažení specifických vlastností pryží či k dosažení ekonomických úspor.

2.2.3. Vulkanizační činidlo

Důležitým vulkanizačním činidlem je **síra**, která se používá zejména pro kaučuky s dvojnými vazbami. Při nízké koncentraci okolo 2 dsk (2 hmotnostní díly na 100 hmotnostních dílů polymeru) je využito malé množství dvojných vazeb a zbylé dvojné vazby snižují odolnost pryže proti stárnutí. Naopak při koncentraci síry okolo 30 dsk vzniká tzv. ebonit. Ebonit je charakteristický svojí tvrdostí i bez plniv, vysokou odolností proti botnání, ozónu a UV záření. Optimální množství síry závisí na účelu výsledné pryže. Dále vulkanizační systém ovlivňuje, jaké vazby vznikají. Systémy podporující vznik S-S vazeb, nebo C-S. vazba S-S je silnější, avšak systém ji podporující hůře odbourává napětí vznikající při cyklickém namáhání. [14]

Sírou se vulkanizuje naprostá většina kaučuků – z výše jmenovaných se jedná např. o NR, IR, SBR.

V případech, kde nelze použít síru, se používají **peroxydy**. Ty se obvykle během vulkanizace rozpadnou na volné radikály odtrhávající vodík z kaučukových řetězců, což vede ke vzniku vazby C-C, která je ještě silnější, než vazba C-S, opět ale za cenu většího únavového stárnutí. Z výše jmenovaných se peroxydy vulkanizuje chloroprenový kaučuk (CR, chloropren).



2.2.4. Plniva

Plniva v kaučukových směsích mají dvě funkce. První je úprava fyzikálních vlastností a ta druhá je ekonomická [9]. Pro praxi je postačující rozdělení na tři základní skupiny:

- saze
- světlá plniva
- ostatní

Přidávání plniv má vliv (pozitivní či negativní) na hustotu, tvrdost, elasticitu, tažnost, strukturní pevnost, atd.

Z hlediska modifikace fyzikálních vlastností je možno plniva rozdělit na aktivní (ztužovadla zlepšující pevnost) a pasivní, které naopak mohou pevnost zhoršit.

Za nejdůležitější plnivo, ztužovadlo je potřeba pokládat **saze**, které nejen že dávají mnohým pryžovým výrobkům typickou černou barvu, ale také nezanedbatelně zlepšují, díky tvaru sazí, jejich mechanické vlastnosti. [9]

2.2.5. Vlákna

Hlavní role vláken v řemenech je zajistit jejich tahovou únosnost a také zachovat jejich integritu, jakož i integritu obalu řemene. Můžeme si je proto rozdělit dle účelu na vlákna nosná (lana) a obalová (tkaniny).

Příklady využívaných vláknových materiálů:

- polyester – levný a pevný materiál, dobře zvládá rázy,
- aramid – používá se jako tažná vrstva pro velká statická zatížení řemene, na rozdíl od polyesteru daleko hůře snáší velké změny zatížení,
- bavlna – často se používá v gumárenství v kombinaci s polyesterem aj. pro zlepšení celkových vlastností textilu,
- ocel – dobře definují tvar pryžového výrobku, využívá se např. v pneumatikách.

Příklady uspořádání vláken v tažné vrstvě (např.):

- Provazcové uspořádání – lanka spletená do sebe i mezi sebou. Provazce lze použít v hromadné konfekci (viz 2.3.4 Konfekce), kde se pokládá souvislá vrstva textilu.



- Kordové uspořádání – více vrstev lanek rozestavěných v řadách nad sebou, která se natáčí na konfekční buben po řádkách, než vznikne souvislá kordová tažná vrstva.

Výroba klínových řemenů

Výroba klínových řemenů vždy vychází z konkrétního konstrukčního zadání a zahrnuje po sobě jdoucí kroky (procesy): Příprava a míchání směsi, řezání profilů a polotovarů, konfekce, lisování a kontrola.

2.2.6. Míchání materiálu a výroba směsi

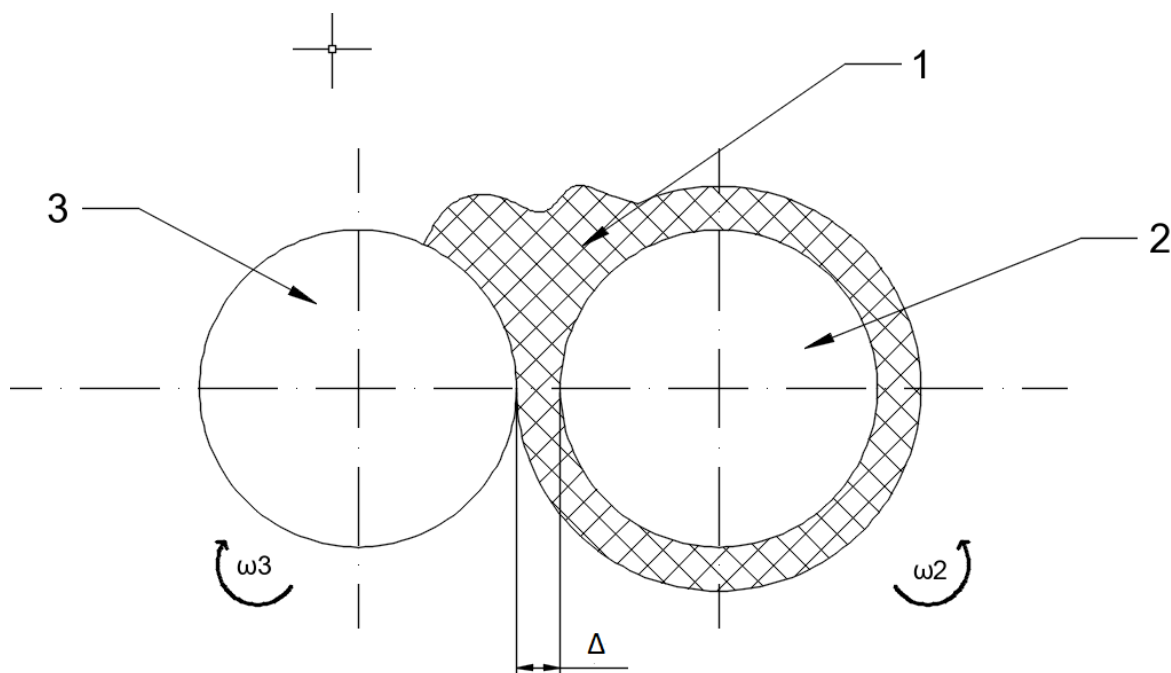
Prvním krokem, kterým surový kaučuk prochází v rámci gumárenské výroby je **plastikování** (zvýšení plasticity materiálu jeho zahřátím). Cílem tohoto procesu je zlepšení zpracovatelnosti, jakož i zlepšení schopnosti kaučuku přijímat přísady. K plastikaci se nejčastěji využívají **dvouválce, hnětiče a šnekové extrudery** [9]. Šnekové extrudery se však technologicky na výrobu klínových řemenů hodí nejméně, proto se takřka nevyužívají.

Při optimalizaci plastifikace na **dvouválci** pracujeme s parametry:

- množství válcovaného kaučuku,
- průměr válců,
- obvodová rychlost válců,
- frikce/skluzový poměr (poměr obvodových rychlostí),
- rozměr mezery (štěrbiny) mezi válci,
- teplota kaučuku,
- doba plastikace,
- koncentrace činidel.

Vlivem tření kaučuku (směsi) mezi válci a mezi médii uvnitř směsi dochází k jeho ohřevu. Obvodová rychlost jednoho z válců je záměrně lehce vyšší, aby se při toku materiálu směs přichytávala na daný válec, což pomáhá při další manipulaci se směsí. Celkové promíchání zajišťuje kolování směsi podél rychlejšího válce a jeho „nahnětění“ před štěrbinou (Obr 6.)

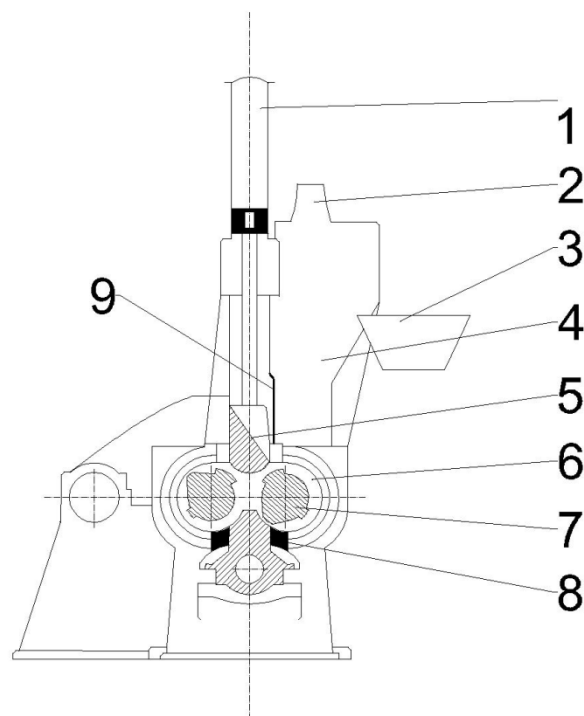




Obr. 6 – Princip válcování směsi (1), kde válec (2) je nepatrně rychlejší, než válec (3), Δ označuje rozměr šterbiny [9]

Průchod materiálu mezi válci způsobuje zaznamenané **prohnutí válců** v řádech setin až desetin milimetrů, které způsobuje, že výrobek je pak uprostřed tlustší než na okrajích. Tento problém se konstrukčně řeší klenutím, tj. protiprohnutím nebo křížením válců. [15]

Hnětiče (příklad na Obr. 7) nabízí oproti dvouválcům větší výkon, lepší homogenitu směsi. K hnětení dochází hlavně na stěnách komory pomocí otáčejících se hnětadel. Existují hnětiče kontinuální a diskontinuální, kde kontinuální hnětiče odstraňují nedostatky diskontinuálních strojů (zejm. rozdílné homogenity různých šarží). [16]



Obr. 7 – Tlakový hnětič, 1 - vzduchový válec pro klín, 2 - odsávání prachu, 3 - plnění, 4 - plnicí násypka, 5 - přitlačný klín, 6 - míchací komora, 7 - hnětadla, 8 - spodní výpust, 9 - klapka [16]

Při plastifikaci v **hnětiči** hrají roli:

- rozměry hnětiče,
- geometrie hnětadel,
- rozměr šterbiny mezi hřbety rotorů a stěnou komory,
- stupeň zaplnění,
- otáčky hnětadel,
- teplota kaučuku,
- doba plastikace,
- koncentrace činidel.

2.2.7. Válcování profilů

Profilový polotovár (tvar) klínového řemene vzniká vytlačáním/válcováním profilu na speciálních válcích a následným uříznutím polotovaru v požadované délce.

Směs je potřeba nejdříve předeřhřát před zpracováním na víceválcové lince, aby se usnadnil proces tvarování profilů. Předeřhřátí se nejčastěji provádí na dvouválcí. Předeřhřátá směs se

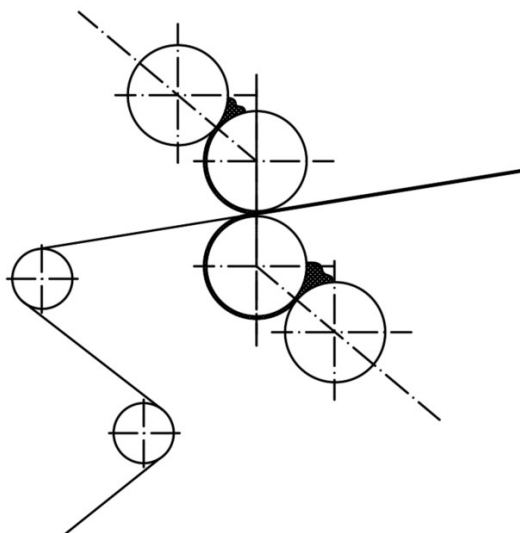


poté přesune do válcovacího stroje, kde se směs uchytí mezi válci a následně protlačí válcem, jenž má drážky požadovaného profilu řemene. Z válců kontinuálně vylézá profil jádra klínového řemene, kde následně materiál prochází vodní lázní a sušením, aby došlo k ustálení tvaru. Na požadované délce se profil ustříhne strojně nebo ručně.

2.2.8. Příprava pogumovaných textilií

Pro tažnou vrstvu a obal řemenů se zpravidla používá pogumovaná textilie. Úlohou obalování tkaniny elastickou gumou je zabránit posuvu tkanin po sobě navzájem, primárním cílem zde není zvýšení pevnosti. Další úlohu sehrávají pogumované textilie při následné konfekci, kde pogumovaný textilní obal pomáhá přilnout k dalším kaučukovým polotovarům a pomáhá držet celkový nezvulkanizovaný polotovar pohromadě. [9]

K pogumování dochází nejčastěji na čtyřválnové víceúčelové válcovací lince, kde na čtyřválnci dochází k nalisování gumových vrstev na tkaninu (Obr. 8). Pomocí odvalování a přitlaku kaučuku na tkaninu se vrstvy nezvulkanizované pryže nalepí z obou stran na tkaninu. Směs je během válcování zahřáta (plastikována), proto následuje chladicí a sušicí zařízení. [9] Pogumovanému textilu se v provozu přezdívá „ségl“.



Obr. 8 - Princip pogumování tkaniny na čtyřválnci [9]



2.2.9. Konfekce

Během konfekce dochází ke spojení všech částí řemene. Tyto operace lze provádět jednotlivě i hromadně.

Při jednotlivé konfekci se na stroji se dvěma řemenicemi navine jádro, tažná vrstva a nakonec krycí vrstva. Vzniklý polotovár se následně napne na obalovací stroj, kde pomocí kladek dojde postupně k obalení řemene. Hromadná konfekce se provádí na konfekčním bubnu (Obr. 9), kde se postupně navijí jednotlivé vrstvy řemene, počínaje nárazníkem, následuje tažnou vrstvou a konče jádrem. Tažnou vrstvou se navine nejčastěji buď ve formě kordů (jednotlivých lanek seřazených vedle sebe), nebo provazců (lanek provázaných mezi sebou s určitým stoupáním). Posléze klíny se nařezají na jednotlivé profily, aby bylo možno je jednotlivě obalit.



Obr. 9 – Navíjení kordového provazce na konfekční buben

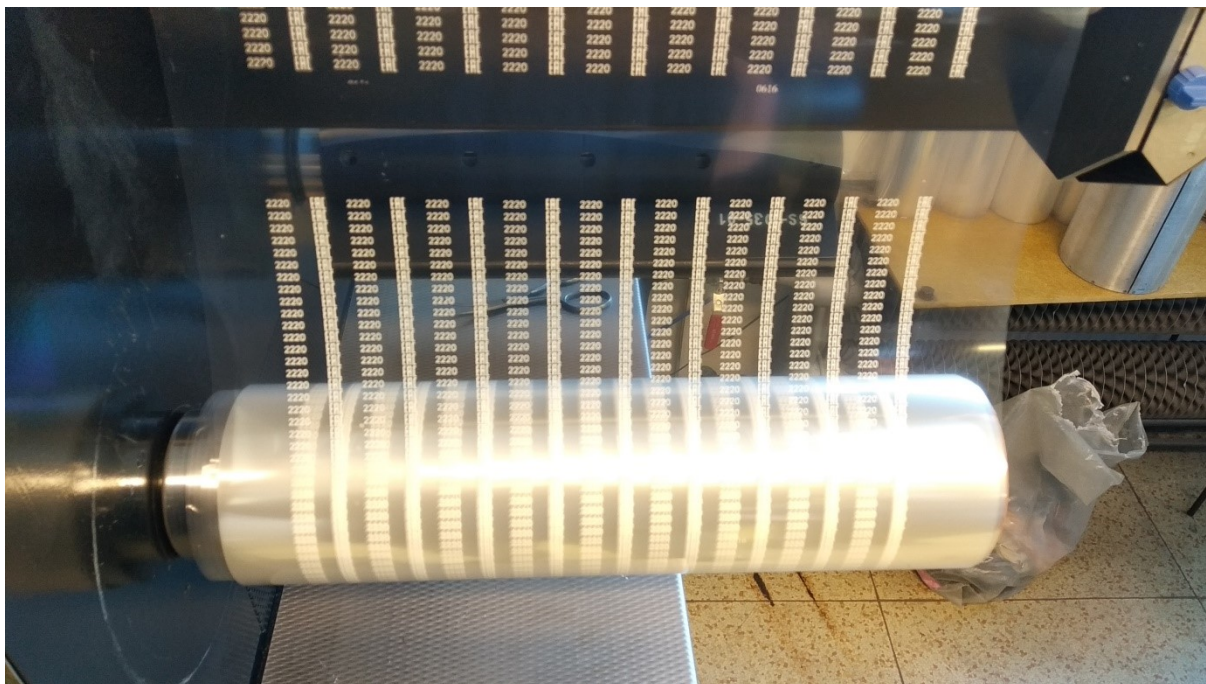
2.2.10. Značení řemenů

Značení řemenů je proces, při kterém se na obal výsledného řemene přidá označení a parametry.

První možností, jak této úpravě dosáhnout je využití fólií s barvou. V jiném případě lze vytlačit označení pomocí šablony, tato metoda se více hodí pro kusovou výrobu velkých řemenů, neboť zhotovení šablon (ve formě razítka, matrice apod.) je jinak dražší než výroba fólií.



Výhodné pro kusovou i sériovou výrobu je nalepení fólie (Obr. 10) na krycí vrstvu neztvrdělého řemene, která se během vulkanizace „zapeče“ na obal řemene.



Obr. 10 – Fólie s potiskem

Tato operace nijak nezlepšuje vlastnosti řemene, slouží k pouze k jeho označení (typ, profil, délka výrobce, ...).

2.2.11. Lisování - vulkanizace

Vulkanizací nazýváme chemický proces, kde dochází k aktivaci složek vulkanizačního systému pomocí změny teploty, což vede ke vzniku chemických příčných vazeb mezi pryžovými řetězci a zastoupení složek vulkanizačního systému postupem klesá. **Z lineárních struktur kaučuku se postupně stávají struktury prostorové**, s čímž se mění i vlastnosti fyzikálně-mechanické. Vznikající vulkanizát (pryž) se především vyznačuje vysokou vratnou deformací při relativně nízké hodnotě modulu pružnosti [9]. **Vytvořením sítě dochází také k omezení pohyblivosti makromolekul projevující se:**

- praktickou nerozpustností zesíťovaného polymeru,
- vzrůstající pevností (nepřekročí-li se optimální stupeň vulkanizace),
- zlepšenou odolností proti trvalé deformaci,
- odolností vůči dynamické únavě (strukturální pevnost),
- zachováním tuhosti a ohebnosti v širokém teplotním rozsahu.



Celkový výsledek vulkanizace závisí na délce průběhu, teplotě a tlaku. Tlak je důležitý zejména pro zabránění vzniku nežádoucích pórů, kavit atd. [9, 10]

K vulkanizaci řemenů se používá speciálních lisů nebo parních, horkovzdušných zařízení.

Speciální lisovací zařízení se skládají ze dvou válců, točících se kolem svých os, kde alespoň na jednom dochází k přítlaku a ohřevu na vulkanizační teplotu (Obr. 11).



Obr. 11 – Detail lisovacího zařízení (na obrázku zobrazen hotový produkt)

Část vulkanizovaná kolem válce může být poté chlazena vodou a sušena. Tento cyklus se může opakovat i vícekrát, než se řemen optimálně zvulkanizuje. Tato metoda umožňuje výrobu libovolných délek a je vhodná pro výrobu obalovaných řemenů.

Další často využívanou technologií (zejména pro řezané klínové řemeny) je vulkanizace párou, horkým vzduchem. Využívané technologické zařízení se skládá z uzavřených nádob s vnitřním bubnem o daném průměru definující délku řemenů. Buben může mít drážky (tvarující zuby). Teprve po navlečení polotovaru na buben dochází k naplnění nádoby přetlakovaným horkým vzduchem, nebo vodní párou, což zapříčiní vulkanizaci řemenů. Teprve po vulkanizaci se hotový polotovar nařeže na jednotlivé (řezané) řemeny. Výhodou



této metody je možnost konfekci provést rovnou na stroji a také vyšší geometrická přesnost a kvalita řemenů. Ozubení bývá vytvarované přímo lisem. Nevýhodou je, že lze vyrábět jen řemeny omezené délky (v případě dlouhých řemenů je zařízení velmi drahé a náročné na prostor).

2.2.12. Skladování a kontrola kvality

Na konci výroby by mělo docházet k průběžné kontrole řemenů. Rozměrová přesnost (např. délka řemene, házivost aj.), statické a dynamické vlastnosti se zkoušejí na speciálních měřicích zařízeních. Zkoušky únosnosti se provádí nejlépe na zařízeních napodobujících podmínky, pro které jsou určeny (např. pro zkoušku řemenů pro zahradní sekačku se vyrobí skeleton s přesně umístěnými řemenicemi podle předlohy a následně se za daného zatížení provede test únosnosti měřením doby, než dojde k poruše řemene.)

Měření rozměrových přesností a dalších vlastností řemenů se provádí nejčastěji metodou volné řemenice, kterou si testovací zařízení samo natáhne (Obr. 12), roztočí na danou rychlost a napne na požadovanou hodnotu. Data nasnímaná ze sensorů jsou poté vyhodnocena počítačem



Obr. 12 – Pohled na řemenice měřicího zařízení

Během skladování je potřeba zajistit, aby řemeny byly chráněné před slunečním světlem velkými výkyvy teplot, oleji, rozpouštědly a vlhkostí, podle druhu materiálů je také omezená



maximální délka skladování řemenů, kde dochází po určité době (většinou v řádu let) ke zhoršení vlastností materiálu.



3. Praktická část

V praktické části práce byla řešena výroba a procesní optimalizace výroby klínových řemenů ve firmě Trelleborg Bohemia a.s. Hlavním cílem praktické části je zajistit stabilní výrobní postup, stejně tak jako urychlení výroby, zlepšení kvality výrobků úpravou technologických procesů a úspěšně tak umožnit užívání CR směsí místo dříve používaných SBR směsí.

3.1. Rozbor požadavků zákazníka

Společnost Trelleborg Bohemia a.s. (dříve Rubena a.s.) je gumárenskou společností zabývající se mj. výrobou klínových řemenů. Jednou z vývojových aplikačních možností sériové výroby je oblast výroby klínových řemenů pro zemědělské stroje, konkrétně pro kombajny a traktory. Stejně jako v jiných oblastech, také v této oblasti se odborníci snaží zlepšit, ekonomičnost a účinnost strojů, při zachování či zvýšení kvality a živostnosti jednotlivých komponent. Pro zvýšení účinnosti strojů (aby bylo možné obdělávat daleko větší plochy) je snahou zvětšovat a více namáhat přídavná zařízení (žací lišty, pluh, mulčovače, rozmetadla hnojiv, kultivátory apod.), tím jsou na řemeny kladeny stále větší nároky (odebíráním větších výkonů). Proto je snahou inovovat materiálové a výrobní složení řemenů, tak aby vydrželo zatížení daného převodu co nejdéle.

Vzhledem k náročnosti celkového procesu je práce zaměřena na optimalizaci prototypové výroby a následné ověření kvality obalovaného klínového řemene **Satz Keilriemen DIN 2251 – 2 × B 2700** (nebo také 2-HB 2700), zobrazen na obrázku (Obr. 13), který bude uživateli zatěžován výkonem 40-60 kW při 3000 ot.min⁻¹.





Obr. 13 – Klínový řemen Satz Keilriemen DIN 2251 – 2 × B 2700 (2-HB 2700)

3.2. Produkce klínových řemenů a její optimalizace

3.2.1. Volba materiálů

Pro daný účel je nejdůležitější nejprve zvolit správný materiál jako základ kaučukové směsi. V dané objednávce byla jako limitující faktor životnosti řemene identifikována nedostatečná výdrž klasických směsí při vysokých teplotách. Proto byla pro daný účel vybrána prototypová chloroprenová směs (pro potřeby této práce označená CR-B1), jejíž mechanické a technologické vlastnosti by měly odpovídat údajům dle tabulky (Tabulka 3.). Jednotlivé hodnoty jsou vybrány tak, aby je bylo možné kontrolovat a porovnávat na základě zkoušek prováděných dle ČSN ISO 37. Tato směs byla vybrána, neboť se u ní předpokládá zvýšená tepelná odolnost (výsledný produkt by měl degradovat pomaleji při vyšších teplotách).

Z tabulky (Tabulka 3) je možno vyčíst: viskozitu Mooney (ML & MH); pevnost v tahu v momentě přetržení (pevnost); medián tvrdosti; předpokládanou dobu, za kterou se zesítuje většina řetězců v směsi (T90) a tažnost.



Tabulka 3 – Požadované vlastnosti CR-B1 směsi

	ML	TS1	T90	MH	medián tvrdosti	hustota	pevnost	tažnost
jednotka	dNm	min	min	dNm	ShoreA	g/cm ³	MPa	%
min. tolerance	0,00	0,31	1,50	19,83	58,00	1,14	8,80	250,00
max. tolerance	2,00	0,52	2,40	32,72	91,00	1,66	21,60	670,00

Pro lepší pochopení průběhu vulkanizace směsi CR-B1 bylo provedeno několik zkoušek dle ČSN ISO 37 a zkoušek na reometru (veškeré hodnoty byly v normě, avšak na přání společnosti není možno kompletní výsledky zkoušek zveřejnit, nicméně pro zavedení optimalizace je zásadní hodnota T90. Průměrná doba T90 pro směs CR-B1 byla v **1,86 min.** Přibližně po uplynutí doby T90 by se viskozita měnila minimálně a tím pádem, lze brát hodnotu T90 jako pomocnou pro nastavování technologických parametrů na vulkanizačním lisu.

Vlákna pro tažnou vrstvu byla volena z aramidu, aby byla zaručená dostatečná pevnost v tahu. Obal se bude vyrábět z dvojité vrstvy potaženého textilu ze směsi polyesteru a bavlny. Tato kombinace je osvědčeným kompromisem zaručujícím dostatečnou pevnost a dobrou zpracovatelnost.

3.2.2. Příprava materiálu a postupu výroby

Směs CR-B1 byla připravena ve společnosti Trelleborg Bohemia a.s. Náchod. Připravené směsi musí svými vlastnostmi splňovat hodnoty tolerancí popsané v tabulce (Tabulka 3).

Směs je dodávána po 100 dm³, rozdělená na 10 fólii, což odpovídá kapacitě hnětiče. Pro provedení zkoušek byly provedeny tři série výroby po 32 profilech **B** podle DIN 2215 (pro 32 profilů na sérii jsou staticky nastavené některé výrobní stroje) Objem jednoho řemene je přibližně 0,285 dm³ (podle údajů z normy DIN 2215). Celkový objem 96 řemenů (jedenoklínových) je 27,316 dm³, z čehož plyne, že jedna dodávka by měla stačit na tuto prototypovou výrobu. Rezerva poslouží jako předvýplň zásobníků strojů, než se rozběhne výroba řemenů, a zbytek bude použit jako regenerát, nebo výplň pro výrobu jiných výrobků, kde není nutný důraz na čistotu směsi.

Velkým problémem je citlivost chloroprenových směsí na okolní atmosféru (kyslík), která způsobuje relativně rychlé samovolné zesítnění. Proto je doporučeno tuto směs zpracovat nejdéle do 14 dnů od chvíle přípravy, než dojde ke ztrátě potřebných vlastností. Dalším úskalím použití této směsi je špatná adheze znesnadňující konfekci. Proto bylo nutné

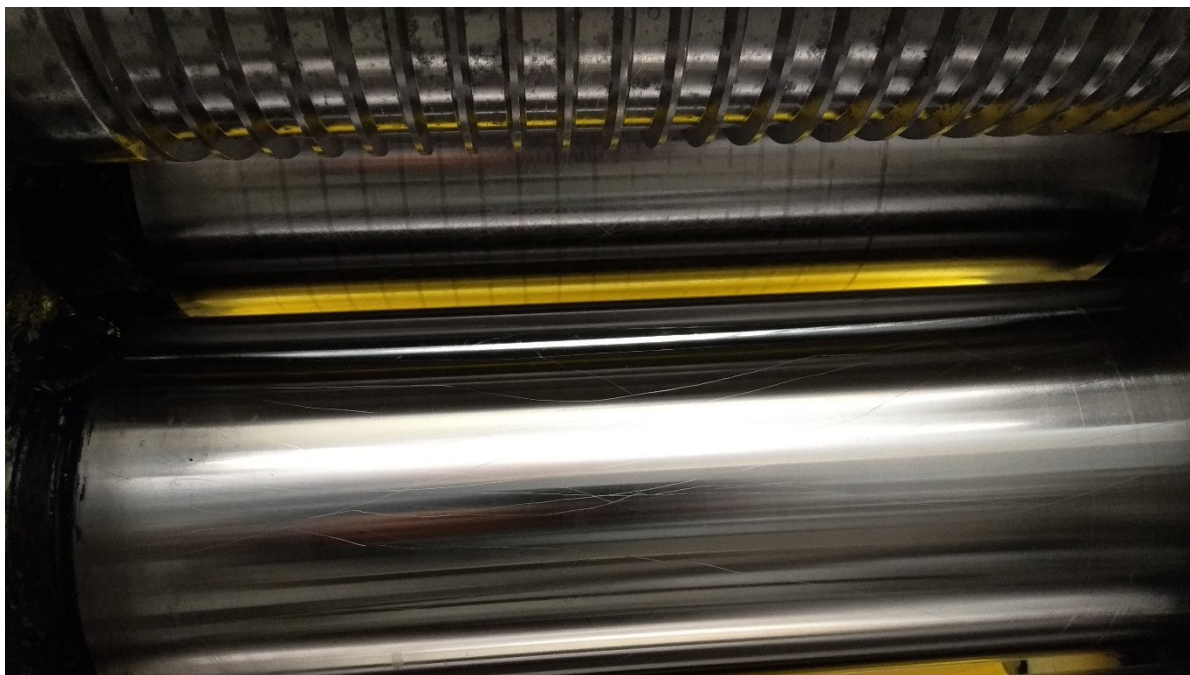


v průběhu konfekce aplikovat prostředky umožňující lepší přilnutí povrchů jednotlivých komponent řemene. Právě volba těchto prostředků se ukázala jako podstatný krok optimalizace procesu výroby.

3.2.3. Válcování profilů

Směs je nejprve potřeba předeřt (plastifikovat), k tomu byl využit dostupný dvouválec s průměrem válců 610 mm o délce 1800 mm. Rychlosti na obou válcích a frikce jsou mechanicky pevně zafixovány (cca $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). V tomto procesu je možno ovlivnit jen dobu válcování a množství válcované směsi a velikost mezery mezi válci. Pro potřeby předeřtí je potřeba dosáhnout poměrně přesné teploty (doporučená teplota předeřtí je cca 70°C). Plastifikace trvá v rozmezí 60 až 90 vteřin na 10 dm^3 (na jednu fólii).

Poté se plastifikovaná směs postupně vkládá do profilovacího čtyřválce (Obr. 14), na kterém se nasadí protiválec s drážkami profilu B. Rychlost válcování profilů je určena podle vstupní teploty a velikosti profilu. Pro profil B při vstupní teplotě cca. 60°C je doporučená rychlost $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Profily vytlačované z čtyřválce projdou 1,5 m chladicí vodní lázní a poté se přestříhnou v délce 2710-2720 mm. Důvodem pro delší profil, než má být vyroben, je potřeba rezervy pro případ korekce při konfekci pro nesériovou (prototypovou) výrobu. Celý proces je nastaven tak, aby po průchodu vodní lázní a sušením byla výstupní teplota do 30°C .

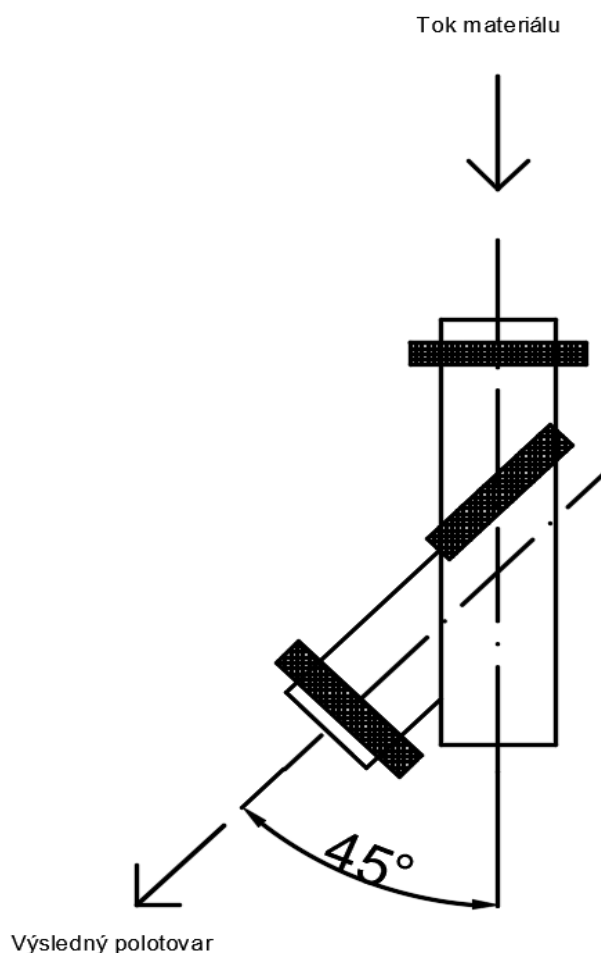


Obr. 14 – Detail čtyřválce, kde dochází k protlačování profilu řemenů (zde bez materiálu)

3.2.4. Příprava pogumovaných textilií

K přípravě obalu klínového řemene bylo využito čtyřválcových linek pro pogumování textilu. Vyráběný pogumovaný textil se navine na ocelové válcovité nosníky, a aby se materiálové vrstvy nenalepily k sobě, je návin proložen separační vrstvou (zpravidla textilní nebo plastovou).

K dosažení lepších mechanických vlastností obalu řemene byly na sebe nalepovány dvě vrstvy připraveného pogumovaného textilu, a to pod úhlem 45° , což by mělo zajistit dostatečnou pevnost v namáhání ve všech směrech. Tento proces byl prováděn na jednoúčelovém stroji (Obr. 15), kde zároveň došlo k nařezání. Takto upravený dvouvrstvý textil byl slepen a použit jako obal klínového řemene.



Obr. 15 – Schéma řezacího stroje obalové vrstvy

V přípravě pogumovaných textilií nebyly provedeny žádné úpravy oproti původní výrobě. Veškeré využití technologie byly prováděny na strojích s fixními procesními parametry, které byly optimalizovány v průběhu mnoha let výzkumu v této společnosti.



3.2.5. Konfekce, obalování a kompletace

Konfekce polyklínového obalovaného klasického klínového řemene je velmi komplexní proces a jeho automatizace je velmi komplikovaná, proto bylo v tomto případě mnoho mezioperací prováděno ručně (např. válečkování fólie na konfekčním bubnu).

Tabulka (Tabulka 4) poskytnutá společností Trelleborg Bohemia a.s. zahrnuje veškerá nastavení používaného konfekčního stroje a podle ní bylo nutné zkontrolovat, že nastavení konfekčního stroje souhlasilo s požadavky prototypové výroby.

Tabulka 4 – Návěští parametrů používaného konfekčního jednoúčelového stroje

Délkový rozsah bubnu [mm]	Posuv matice X [mm]	Velikost mez. doraz. šroubu Y [mm]	Velikost protizávaží	Maximální počet otáček na otáčkoměru [n/min.]	Č. v. plechové skruže
710 - 820	2,5	10	-	380	5501 B2
810 - 960	2,5	10	-	320	5511 B2
950 - 1120	3,0	12	-	260	5301 B2
1100 - 1250	3,0	12	-	240	5311 B2
1200 - 1375	4,0	16	-	220	5321 B2
1325 - 1500	4,0	16	-	200	5381 B2
1450 - 1650	6,0	24	-	200	5331 B2
1600 - 1800	6,0	24	-	180	5341 B2
1750 - 1980	6,0	24	vložit závaží I	160	5351 B2
1930 - 2200	11,0	44	vložit závaží I	160	5361 B2
2150 - 2400	11,0	44	vložit závaží I	150	5371 B2
2350 - 2700	17,5	70	vložit závaží I	140	5171 B2
2650 - 3000	17,5	70	vložit závaží I	110	5181 B2

Během první fáze konfekce se nanese na konfekční buben (Obr. 16), s aktivní délkou 512 mm na 32 B profilů, 2mm tenká pryžová fólie, na který se nanesou aramidová lanka s parametry: dtex 1x3x3 S67 / S90 / Z85, cementováno SBR. Aby byl provazec nanášen postupně se správným stoupáním je potřeba nastavit mechanicky stoupání (pomocí šroubů) a rychlosti bubnu podle tabulky (Tabulka 4). Na konfekčním stroji je namontována skruž 5181 B2, kterou je možno roztahovat na délky 2650 – 2700 mm. Rychlost otáčení je nastavena tak, aby byla blízko hranici 110 ot.min⁻¹. Podle tabulky (Tabulka 4) se také nastaví na konfekčním



stroji posuv matice a doraz šroubu, které korigují nanášení provazců na pryžovou fólii. Provazce se nanáší s četností 6 provazců na 12 mm šířky fólie. Po pokrytí fólie provazci se nanese velmi tenká CR fólie, která je válcována drobným válečkem, aby fólie dostatečně přilnula k vláknům a zároveň se zamezilo vzniku vzduchových bublin (uzavřeného vzduchu) v polotovaru.



Obr. 16 - Odebírání polotovaru klínového řemene (bez obalové vrstvy a jádra) z konfekčního stroje

Poté byl polotovar nařezán na 32 stejných pruhů.

Pro obalování bylo použito jednoúčelového ručního stroje, kde bylo nutné zkontrolovat, odpovídá-li tvar řemenic délce mezi řemenicemi. Po nanesení polotovarů (tažná vrstva s nárazníkem a profil) na hlavní řemenici stroje se připravil obal řemene, který byl po roztočení soustavou kladek nanesen po celé délce a obvodu polotovaru, takto vznikl jednotlivý klínový řemen, připravený k lisování.

Jak již bylo řečeno, chloroprenové směsi mají velmi špatnou adhezi, pročež je nutné během konfekce a spojování používat adhezní prostředky, které povrch směsi naleptají a vzájemnou přilnavost zlepšují. Pro první a druhou výrobní sérii bylo využito toluenu, jehož aplikace vyžaduje náročné odvětrávání prostoru a užití ochranných pomůcek. Při výrobě třetí série je testován přípravek IMPASOL® ACET, který je zdravotně nezávadný a nevyžaduje tak náročné zacházení.

3.2.6. Značení řemenů



Po nasazení kompletních polotovarů do lisu a přidání spojovací krycí vrstvy se na krycí vrstvu položila fólie s logem. Tato fólie se „zapeče“ během lisování. Dále byla do lisu vložena matrice (razítko), která v průběhu vulkanizace otiskne do materiálu technické označení řemene.

3.2.7. Lisování – vulkanizace

Po uložení obalených řemenů do lisu typu BV byly nastaveny parametry vulkanizace odpovídající typu profilu a materiálu.

Pokud je znám optimální čas vulkanizace (T90) prototypové směsi CR-B1 a optimální čas vulkanizace předchůdce používané směsi, na které byl původně lis nastaven (Styren-butadienová směs – SBR, průměrná doba T90 je 1,02 min), lze vidět, že u SBR dochází k vulkanizaci za stejných podmínek a pro stejný objem výrazně rychleji. Z tohoto porovnání bylo usouzeno, že v ideálním případě pro nastavení optimální doby vulkanizace, stačí nastavit dobu lisování přibližně větší o rozdíl T90 porovnaných materiálů.

K ověření významu výrazně delší vulkanizace byly pro první sérii výroby použity původní parametry pro automatický lis klínových řemenů (Obr. 17) podle tabulky (Tabulka 5) pro profil HB (Harvest belt B). Teplota vulkanizačního bubnu a napínání je pevně daná (viz Tabulka 5). Při době krácení došlo k oběhu řemenů po vulkanizační tvárnici a to o 4/3 své délky, gurta (protilehlý válec na lisu tlačící na řemen ležící ve formě) byla v tlaku, řemen byl volně. Při dloužení řemeny oběhly vulkanizační tvárnici za postupného dloužení na požadovanou úroveň, gurta zůstala v tlaku. Chlazení bylo možné provádět za účelem stabilizace rozměrů řemenů, gurta byla během chlazení bez tlaku.

Tabulka 5 – Tabulka vulkanizací na rotačním lisu SBR klínových řemenů BV poloautomat.

Průřez řemene 1060 – 7000 [mm]	Vulkanizační rychlost		Doba chlazení řemene [min]
	I – krácení [min/180°]	II – dloužení [min/180°]	
HB	13	2	10 / +2

Teplota vulkanizačního bubnu

$168 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplota elektrického topení na otiskové plátno + tenolan

$170 \pm 5 \text{ }^{\circ}$

Tlak pro napínání gurty

$7,5 \pm 0,3 \text{ MPa}$





Obr. 17 – Jednoučelový lis klínových řemenů poloautomat BV

Z tabulky (Tabulka 6) byla vyčtena doba vulkanizace (13 krácení, 2 dloužení) chlazení nebylo zapotřebí, neboť použitá tažná vrstva z aramidu je za daných teplot rozměrově relativně stálá. Chlazení je vhodné např. pro polyesterovou tažnou vrstvu. Z tabulky vyplývá, že 500mm délky řemene bude procházet krácením od 12 min 26 s do 13 min 26 s a dloužením od 1 min 29 s do 2 min 29 s. Rozdíly v době jednotlivých procesů jsou dané automatickým přizpůsobováním rychlosti stroje, podle sledovaných parametrů pro zajištění optimálního průběhu vulkanizace a kvality řemenů. Pro 2 a 3 sérii se zvýší doba krácení na 14, doba dloužení se ponechá na 2, chlazení opět vynecháme. Závěrečné testy pak budou vyhodnocovat, jaký vliv má změna doby vulkanizace (zejména krácení) na životnost řemenů.



Tabulka 6 – Vulkanizační rychlosti

Vulkanizační rychlost	PRAVÍTKO 500 mm											
	φ 500 mm O				φ 320 mm BV				φ 230 mm BM			
	minimální		maximální		minimální		maximální		minimální		maximální	
	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.
1	0	8	1	8	0	30	1	30	0	53	1	53
2	0	46	1	46	1	29	2	29	2	16	3	16
3	1	24	2	24	2	29	3	29	3	39	4	39
4	2	3	3	3	3	29	4	29	5	2	6	2
5	2	41	3	41	4	28	5	28	6	25	7	25
6	3	19	4	19	5	28	6	28	7	48	8	48
7	3	57	4	57	6	28	7	28	9	11	10	11
8	4	36	5	36	7	27	8	27	10	34	11	34
9	5	14	6	14	8	27	9	27	11	57	12	57
10	5	52	6	52	9	27	10	27	13	20	14	20
11	6	30	7	30	10	27	11	27	14	43	15	43
12	7	8	8	8	11	26	12	26	16	6	17	6
13	7	47	8	47	12	26	13	26	17	29	18	29
14	8	25	9	25	13	26	14	26	18	52	19	52
15	9	3	10	3	14	25	15	25	20	16	21	16
16	9	41	10	41	15	25	16	25	21	39	22	39
17	10	19	11	19	16	25	17	25	23	2	24	2
18	10	58	11	58	17	24	18	24	24	25	25	25
19	11	36	12	36	18	24	19	24	25	48	26	48
20	12	14	13	14	19	24	20	24	27	11	28	11



4. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze

4.1. Kontrola rozměrů

Po výrobě byl každý jednotlivý řemen přeměřen, splňuje-li dané parametry a tolerance na speciálním stroji podle normy DIN 2215. Vzhledem ke skutečnosti, že tvar profilu řemenů je dán tvarem formy lisu během vulkanizace (forma lisu se testuje, nedošlo-li k promáčklinám minimálně jednou ročně), u výrobku stačí ověřit délku a házivost. Tolerance délky řemene podle DIN 2215, jsou pro testovaný výrobek 2682-2737 mm. Pro zaručení lepší kvality prodáváných výrobků je reálně vyžadována odchylka nižší. Konkrétně pro tento produkt v rozmezí 2699-2705 mm.

Před provedením měření byla na měřicím zařízení (Obr. 18) provedena výměna řemenic na profil B, po vložení řemene došlo k automatickému napnutí mezi řemenicemi a roztočení, měřicí stroj ze zjištěných hodnot poté určil výpočtovou délku řemene a házivost.



Obr. 18 – Měřicí zařízení



Měřením na automatickém měřicím přístroji (Obr. 18) bylo zjištěno, že veškeré produkty splňují rozměrové toleranční požadavky délky a házivosti (Tabulka 7). Zkoumáno bylo celkem 9 řemenů (první, prostřední a poslední z každé série). Průměrná délka (skutDelka) řemenů byla 2700,26 mm, minimální odchylka od tolerance byla -0,18 mm a maximální 0,7 mm, průměrná házivost 0,44 mm.

Tabulka 7 – Exportovaná data z měřicího přístroje

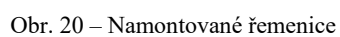
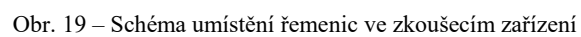
PocetZa	Delka	Tolmin	TolMax	HazMax	SkutDelka	MinMM	MaxMM	Hazivost
9,00	2700,00	-1,00	5,00	2,00	2700,26	-0,18	0,70	0,44

4.2. Destrukční zkouška řemenů

Životnost prototypů byla zkoušena destruktivně, strojem simulujícím vysoké zatížení řemenů. V rámci střediska Trelleborg Bohemia a.s. Náchod se zkouší prototypové řemeny destruktivně za postupně se zvyšujícího výkonu v intervalech 24 hodin, dokud nedojde k poškození. Nedojde-li po určité době k poškození polyklínového řemene, tak dojde k jeho rozřezání na jednotlivé řemeny, které se pak zkouší. Pokud se zátěž dostane na 60kW (limit zařízení) a nepraskne v následujících dnech a týdnech, je potřeba polyklínový řemen rozřezat na jednotlivé klíny, které se poté zkouší individuálně.

Na obrázcích (Obr. 19 a Obr. 20) je popsáno umístění a tvar řemenic na zkoušecím zařízení. Otáčky stroje jsou zafixovány na 3000 ot.min⁻¹. Napínacím válečkem (Obr. 20, č. 4) se po vertikální ose dopíná řemen, takže jeho poloha se může mírně lišit v jednotlivých případech (tato operace zajistí, aby bylo předpětí všech řemenů stejné). Napínání řemenů se provádí pomocí měřicího zařízení TYMA Belt Control 1 (podle návodu [17]). Vzhledem k časové náročnosti zkoušky bylo v tomto případě porovnání jednotlivých sérii prováděno za konstantního výkonu 60kW. Ačkoliv jsou vyráběné řemeny profilu B, mohou být využívány pro základní profily (A, B, C ...) profily řemenic pro úzké řemeny (v tomto případě pro řemen typu B může být použito řemenice typu SPB podle DIN 7753/1). Geometrie drážek pro úzké řemeny tak dokáže využít jak profily úzkých tak i klasických řemenů. V případě, že by se využilo řemenic s drážkami klasických profilů, došlo by při použití úzkých řemenů k jejich propadnutí.





Výsledky prvních zkoušek (Tabulka 8) nepotvrdily selhání ani jediného řemene (všech 5 kusů z každé série), proto se po ukončeních prvotních zkoušek přestoupilo po zhruba týdnu zátěže k rozřezání řemene na dva samostatné klínové řemeny, které poté byly samostatně zkoušeny (Tabulka 9). Zde došlo k přetržení klínů po několika hodinách zatěžování. Výsledky zátěžových zkoušek (čas) jsou zaokrouhleny na půl nebo celé hodiny, vzhledem k časové rozsáhlosti zkoušek se minuty a vteřiny zanedbávají. První číslo řemene značí sérii, druhé pak číslo řemene v sérii (např. druhý řemen ve třetí sérii je 3S-2).

Tabulka 8 – Výsledky zkoušek

Řemen 2X	Průběh testu		
	Výkon [kW]	Celkem [h]	Závěr:
1S-1	60	169	bez přetržení
1S-2	60	168	bez přetržení
1S-3	60	168	bez přetržení
1S-4	60	168	bez přetržení
1S-5	60	168	bez přetržení
2S-1	60	168	bez přetržení
2S-2	60	168	bez přetržení
2S-3	60	168	bez přetržení
2S-4	60	168	bez přetržení
2S-5	60	168	bez přetržení
3S-1	60	170	bez přetržení
3S-2	60	168	bez přetržení
3S-3	60	168	bez přetržení
3S-4	60	168	bez přetržení
3S-5	60	168	bez přetržení

Z tabulky (Tabulka 9) lze vyčíst, že série 2 a 3, které byly podrobeny delší vulkanizaci, vykazují větší trvanlivost, než původní série. Tato skutečnost potvrdila předpověď nutnosti aplikace delší doby vulkanizace, jenž je daná zjištěnou pomalejší vulkanizační rychlostí (T90) zkoušené směsi CR-B1. Mezi 3. a 2. sérií se zdá být nepatrný rozdíl, který je pravděpodobně způsobený rozdílnou konfekcí (jiný druh použitého prostředku pro zlepšení adheze). Tento rozdíl je však, vzhledem ke skutečnosti, že běžný rozdíl v životnosti některých řemenů může být i několik dnů, velmi malý. Testované řemeny byly vyráběny z jedné šarže materiálu stejnou technologií, ve stejném časovém úseku (leden 2020), čímž byly eliminovány možné



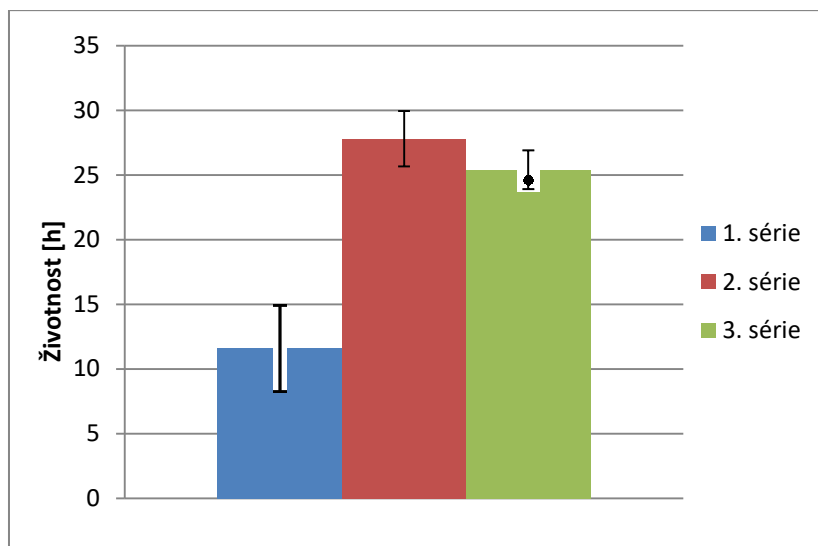
chyby a lze považovat dosažené výsledky za směrodatné. Vzniklé rozdíly, tedy reprezentují vliv aplikovaného prostředku pro zvýšení adheze použitého při operaci konfekce.

Tabulka 9 – Výsledky zkoušek jednotlivých klínů

Řemen 1X	Průběh testu		
1HB 2700 - provedení	Výkon [kW]	Celkem [h]	Závěr:
1S-1 1/2	60	13,5	přetržen
1S-2 1/2	60	10	přetržen
1S-3 1/2	60	13	přetržen
1S-4 1/2	60	15,5	přetržen
1S-5 1/2	60	6	přetržen
2S-1 1/2	60	27	přetržen
2S-2 1/2	60	32	přetržen
2S-3 1/2	60	27	přetržen
2S-4 1/2	60	26	přetržen
2S-5 1/2	60	27	přetržen
3S-1 1/2	60	24	přetržen
3S-2 1/2	60	24	přetržen
3S-2 1/2	60	28	přetržen
3S-2 1/2	60	26	přetržen
3S-3 1/2	60	25	přetržen

Na obrázku (Obr. 21) jsou zobrazeny průměrné hodnoty výsledků destrukčních zkoušek včetně vyhodnocených směrodatných odchylek. Úroveň dosažených směrodatných odchylek mezi jednotlivými měřeními potvrzuje relevantnost dosažených výsledků a zároveň neumožňuje provést jednoznačné konstatování ohledně vlivu adhezního prostředku procesu konfekce (série 2 a 3) na živostnost řemene. Alternativní prostředek, jenž je zdravotně nezávadný, tedy může být s výhodou aplikován bez nutnosti obav negativního ovlivnění kvality dílu.





Obr. 21 – Souhrn zkoušek jednoho klínu

Jako poslední byla provedena standartní firemní zkouška, kde dochází každých 24h ke zvýšení zatížení o 5kW (pro jeden klín o 2kW každých 24h). Tato zkouška je používána především pro hrubé srovnání kvalit vyrobeného produktu s ostatními klínovými řemeny. Dle výsledků představených v tabulce (Tabulka 10) dosahuje prototyp (vyroben ze směsi CR-B1 při optimalizovaném řešení delší doby vulkanizace) delší životnosti, než původní SBR řemen. Hlavní cíl optimalizace byl tedy splněn. Dále vyrobený produkt dosahuje podobné životnosti, jako jiný CR řemen v dané kategorii. Tento závěr je potřeba brát s nadhledem, neboť z časových důvodů byla provedena pouze jedna tato zkouška, tudíž nemusí přesně reflektovat skutečnost. Slouží pouze pro pracovní srovnání. Pro lepší porovnání by bylo vhodné zkoušek provést více, každopádně časová náročnost procesu to neumožňovala.

Tabulka 10 – Výsledky firemních zkoušek

Řemen 2X	Průběh testu		
	Výkon [kW]	Celkem [h]	Závěr:
2HB 2700 - provedení			
2S-6	45-60	-	10 dní, nepřetržen
Běžný SBR řemen	45-55	-	přetržen při 55kW
Běžný CR řemen	45-60	-	10 dní, nepřetržen
Trelleborg SBR řemen	45-55	-	přetržen při 55kW
2S-6 1/2	32 – 40	-	přetržen při 40kW
2S-6 2/2	32 – 40	-	přetržen při 40kW
Běžný CR řemen 1/2	32-38	-	přetržen při 38kW
Běžný CR řemen 2/2	32-38	-	přetržen při 38kW



5. Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývá procesní optimalizací prototypové výroby obalovaného klínového řemenů **Satz Keilriemen DIN 2251 – 2 × B 2700** ve společnosti Trelleborg Bohemia a. s. Jedná se o řemen, jenž je určen pro přenos výkonu 40-60kW při 3000 ot.min⁻¹. Proces výroby obalového klínového řemene se skládá z velké řady na sobě návazných operací, jako například: příprava směsi, válcování profilů, příprava pogumovaných textilií, konfekce, obalování a kompletace, značení řemenů, lisování – vulkanizace.

Vzhledem k velké četnosti strojů s fixními technologickými parametry byla provedena optimalizace pouze při konfekci a lisování (vulkanizaci) řemenů. U jiných procesů by byla optimalizace velmi technicky náročná, nebo by nepřinesla žádné pozitivní vlivy na výsledný produkt (např. u pogumování textilu by bylo nutné provést rozsáhlý výzkum, který by pomohl zjistit, jaká prostorová konfigurace provazců je nejvíce efektivní). Předmětem optimalizace bylo tedy časové nastavení vulkanizace prototypové chloroprenové směsi (pro potřeby této práce označená CR-B1) a jelikož se tato směs vyznačuje nízkou adhezí, tak také detekcí vlivu aplikace adhezních látek na kvalitu řemene. Kvalita řemene byla hodnocena jak z hlediska rozměrové přesnosti, tak z hlediska životnosti (destrukční zkoušky) na jednoúčelových strojích společnosti Trelleborg Bohemia a. s. (viz kapitola 4.1 a 4.2).

Z výsledků porovnání rozměrové přesnosti je možné konstatovat, že všechny realizované varianty splňovali jak obecné tolerance délky řemene DIN 2215, tak i užší interní firemní požadavky. Z výsledků destrukčních zkoušek řemenů je patrné, že vliv vulkanizace řemenů má značný vliv na životnost řemenů. U prototypové chloroprenové směsi byl zjištěn rozdíl v rychlosti vulkanizace, který význam doby vulkanizace ještě více zvýraznil. S delší dobou vulkanizace bylo, tedy dosaženo vyšší životnosti řemenů. Další optimalizačním krokem byla volba adhezního prostředku (nutný pro proces konfekce). Zde nebyl, při destrukčních zkouškách, zjištěn žádný významný rozdíl mezi standardním používaným prostředkem – toluenu a alternativním prostředkem - rozpouštědlo **IMPASOL® ACET**. Proto je pro budoucí výrobu možno toto alternativní rozpouštědlo doporučit, jako náhradu toluenu. Je-li porovnána životnost optimalizovaného procesu výroby prototypového polyklínového řemene z chloroprenové směsi s podobnými produkty v dané kategorii, řemen dosahuje obdobných životností. Tento výsledek je však nutno brát s rezervou. Pro potvrzení této skutečnosti by bylo dále zapotřebí aplikace dlouhodobého zatěžování či reálného provozního testování.



Použitá literatura

- [1] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. 6. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-183-2.
- [2] ANDRES, Garcia. „*What Is Flat Belt Drive? | Its Advantages and Disadvantages.*” *Mechathon* [online]. Mechathon, ©2019 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://mechathon.com/flat-belt-drive/>
- [3] *DuraBelt ROUND BELTS, round belting* [online]. Dura-Belt, Inc., © 2019 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://durabelt.com/roundoringinfo.php>
- [4] CLUBTECHNICAL. *Timing Belt | Advantages, Disadvantages, Applications.* *ClubTechnical* [online]. ClubTechnical, ©2019 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://clubtechnical.com/timing-belt>
- [5] MIČKAL, Karel. *Strojnictví: části strojů: pro učební a studijní obory SOU a SOŠ*. Praha: Sobotáles, 1995. ISBN isbn80-85920-01-8.
- [6] *DIN 2215, Endlose Keilriemen, klassische Keilriemen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1998.
- [7] *DIN 7753/1, Endlose Schmalkeilriemen für den Maschinenbau, Teil 1*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1988.
- [8] *Produkty - Řemeny - Klínové - Klínové metráže - Polyuretanové* [online]. Pikron, ©2019 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.pikron.cz/produkty/remeny/klinove/klinove-metraze/polyuretanove>
- [9] DVOŘÁK, Zdeněk. *ZPRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ pro konstrukční směry*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2016.
- [10] DUCHÁČEK, Vratislav, HRDLIČKA, Zdeněk. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. 4. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2009. P. 028. ISBN 978-80-7080-713-2
- [11] *Materiály řemenů | TYMA CZ* [online]. TYMA CZ, s.r.o., ©2020 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy-remenu/?fbclid=IwAR3tXqhxdMo3DaCdHoeFXREWkj5P_pf38Z8LPQKTWw8dY43sLzRXPugXNeM
- [12] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [13] WALLACE H. CAROTHERSIRA. WILLIAMSARNOLD M. COLLINSJAMES E. KIRBY. ACETYLENE POLYMERS AND THEIR DERIVATIVES. II. A NEW SYNTHETIC RUBBER: CHLOROPRENE AND ITS POLYMERS, 1931. *J. Am. Chem. Soc.* **1931** 53 (11), 4203-4225.
- [14] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie* [online]. MALÁČ Jiří 2020 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/>



- [15] Katedra tváření kovů a plastů - Skripta, str. 10 [online]. FS KSP TUL, 2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/10.htm
- [16] Katedra tváření kovů a plastů - Skripta, str. 3 [online]. FS KSP TUL, 2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm#033
- [17] *NÁVOD K POUŽITÍ PŘÍSTROJE PRO KONTROLU PŘEDPĚTÍ ŘEMENŮ TYMA BELT CONTROL* [online]. TYMA CZ, s.r.o., ©2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/files/technicke-informace/02-navod-tyma-belt-control.pdf>

