

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**Ústav strojírenské technologie**

**PROBLEMATIKA VÝROBY HOKEJOVÝCH PUKŮ**

**PROBLEMS OF HOCKEY PUCKS PRODUCTION**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Lukáš Baše

**Studijní obor:** Teoretický základ strojírenského inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D.

**Praha 2015**

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne .....

.....

Podpis

### **Poděkování**

Děkuji paní Ing. Barboře Bryksí Stunové a panu Ing. Milanu Říhovi za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

V této bakalářské práci jsou podrobněji popsány a vysvětleny všechny důležité postupy vedoucí k výrobě hokejových puků. Kromě historie puků a pryže obecně, je zde přiblíženo rozdělení kaučuků pro výrobu hokejových puků, dále také složení kaučukové směsi a její následné zpracování. To zahrnuje míchání kaučukové směsi, vytlačování této směsi a následné nařezávání na kousky, které jsou naskládány do formy tlakového lisu, ve kterém probíhá vulkanizace, po které puk získá všechny potřebné mechanické vlastnosti. Po vulkanizaci jsou puky vytlačeny z formy a dopadají do připravených beden pod lisem. Vlivem teploty po vulkanizaci jsou puky ještě nějakou dobu tvárné a tím jak dopadají do bedny, se navzájem na povrchu deformují. Zjištěná teplota, při které se puky navzájem již neporušují, je 111 °C. Této teploty samotný puk dosáhne při pozvolném chladnutí za 8 minut od vyjmutí z formy. Puky v bedně za stejnou dobu dosahují teploty 167,6 °C. Praktickým výstupem této práce jsou návrhy vhodných řešení, které zamezují deformaci puků na povrchu snížením teploty nebo dopadu, a zlepší tak jejich vzhled a sníží zmetkovitost.

## **Abstract**

In this bachelor's thesis are described in detail and explained all the important processes leading to the production of hockey pucks. Besides the history pucks and rubber generally is also approached division rubbers for manufacturing hockey pucks, and also the composition of the rubber mixture and its subsequent processing. This involves mixing a rubber mixture, extruding the mixture and subsequent slicing into pieces which are stacked in a form in which vulcanization proceeds, after which the puck obtained all the necessary mechanical properties. Subsequently pucks are pushed from the mold and fall into the prepared boxes under the press. Due to the temperatures after vulcanization are pucks some time ductile and thus as they fall into the box, they deformed each other. The observed temperature when the pucks do not deform each other is 111 °C. This temperature reaches the puck during slow cooling in 8 minutes after removing from the mold. Pucks in the box at the same time reach a temperature of 167.6 °C. The practical outcome of this work are designs for appropriate solutions to prevent deformation of the puck on the surface by lowering the temperature or impact, and thus improve their appearance and reduce wastage.

# Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2. ÚVOD DO HISTORIE VÝROBY HOKEJOVÝCH PUKŮ</b> .....	<b>6</b>
2.1 HISTORIE KAUČUKU .....	6
2.2 HISTORIE PUKŮ.....	8
<b>3. PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI PRO VÝROBU HOKEJOVÝCH PUKŮ</b> .....	<b>12</b>
3.1 ROZDĚLENÍ KAUČUKŮ .....	12
3.2 PŘÍSAKY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ .....	14
3.2.1 <i>Plniva a pigmenty</i> .....	14
3.2.2 <i>Změkčovadla a přísady pro zlepšení zpracovatelnosti</i> .....	15
3.2.3 <i>Prostředky proti stárnutí – antioxidanty, antiozonanty</i> .....	16
3.2.4 <i>Vulkanizační prostředky, urychlovače, aktivátory a zpoždovače vulkanizace</i> .....	16
3.2.5 <i>Mastikační prostředky</i> .....	18
3.2.6 <i>Prostředky pro omezení zápachu a konzervační prostředky</i> .....	18
3.2.7 <i>Regeneráty</i> .....	18
<b>4. ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ</b> .....	<b>20</b>
4.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ .....	20
4.2 TVAROVÁNÍ SMĚSÍ.....	23
<b>5 POŽADAVKY NA PUK Z HLEDISKA VÝROBY A JEHO POUŽITÍ</b> .....	<b>25</b>
5.1 ROZDĚLENÍ VÝROBY PUKŮ .....	25
5.2 POŽADOVANÉ VLASTNOSTI PUKŮ .....	26
<b>6 ANALÝZA STÁVAJÍCÍ VÝROBY PUKŮ</b> .....	<b>28</b>
6.1 VULKANIZACE.....	28
6.2 TLAKOVÉ LISOVÁNÍ.....	29
<b>7 OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU PO VULKANIZACI</b> .....	<b>31</b>
7.1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU .....	31
7.2 NÁVRH ŘEŠENÍ .....	34
<b>8 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ</b> .....	<b>36</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>38</b>

# 1. Úvod

Tato práce vznikla pro firmu Rubena jako požadavek na zlepšení technologického postupu po vulkanizaci hokejových puků. Problémem bylo, že po vulkanizaci, která probíhá v tlakovém lisu, se při vypadávání puků z lisu do beden o sebe puky navzájem deformovaly právě vlivem vulkanizační teploty. Kromě této problematiky zde bude také popsána historie kaučuku a puků, příprava kaučukové směsi pro výrobu puků, její následné zpracování a samotná výroba hokejových puků. Cílem práce je najít vhodný způsob, kterým by se snížila zmetkovitost puků a zvětšil by se výstup výroby puků, určený k prodeji. Je tedy důležité pomocí experimentálního měření změřit teplotu a jí odpovídající dobu, po které se puky již nedeformují a na základě tohoto měření následně navrhnout řešení, která by vzájemnou deformaci puků měla snížit nebo odstranit.

## 2. Úvod do historie výroby hokejových puků

### 2.1 Historie kaučuku

První zmínky o využití kaučuku se objevují na přelomu 15. a 16. století v souvislosti s objevnými výpravami do Jižní Ameriky. Zde Indiáni využívali kaučuk pro zhotovení nepromokavých pláten, obuvi a míčů pro své hry. Materiál na zmíněné věci byl kaučuk ve formě vyschlé kapaliny (latex). Tato kapalina se před vyschnutím získávala ze zářezů v kůře stromů kaučukovníku brazilského, který Indiáni nazývali „Cau-Uchu“ („plačící dřevo“). [1]

Přírodní kaučuk se do Evropy dostal v roce 1736, ale komerčně se začal využívat až o několik let déle. Hlavním problémem pro Evropu byla obtížnost skladování a přepravy tekutého latexu a naopak nemožnost dalšího zpracování surového kaučuku, vzniklého jeho vysušením. Anglický chemik a pedagog Joseph Priestley objevil v roce 1770 u kaučuku vlastnost odstraňovat třením písmo z papíru (anglicky to rub), z čehož byl odvozen anglický název kaučuku rubber. Z kaučuku se nejprve vyráběly nepromokavé lodní plachty a pytle na přepravu pošty, a to impregnačním roztokem

kaučuku v terpentýnové silici. Takové výrobky však v letních vedrech měkly a stávaly se lepivými, v zimě naopak tvrdly a křehly. [1]

Tyto problémy vyřešili dva na sobě nezávislí objevitelé vulkanizace kaučuku, Američan Charles Goodyear a Angličan Thomas Hancock. Zjistili, že zahříváním směsi kaučuku se sírou vzniká produkt nových vlastností, kterému dnes říkáme pryž. Vulkanizací kaučuku rozumíme síťování makromolekul, tedy vytvoření chemických příčných vazeb mezi dlouhými řetězci, ze kterých je složena každá molekula kaučuku. Goodyear v roce 1844 za tento svůj objev získal patent. Popisuje v něm, že přeměna kaučuku v pryž proběhne rychleji, a to přidáním ke kaučuku se sírou ještě oxid zinečnatý, přičemž kaučukovou směs je možno vyrobit buď v roztoku terpentýnu, nebo na válcovacím stroji s vyhříványými válci. Hancock nezávisle na Goodyearovi objevil, že změněných vlastností kaučuku lze dosáhnout jeho zahříváním v roztavené síře. Takto také jako první připravil tvrdou pryž (ebonit). Ve svém patentu také uvádí, že rychlost chemické reakce síry s kaučukem se zdvojnásobí zvýšením teploty o 10 °C. Goodyear v USA a Hancock ve Velké Británii tedy položili základy vulkanizace kaučuku. Termín vulkanizace však zavedl až anglický výzkumník William Brockendon v roce 1842. Název byl odvozen z řecké mytologie od jména boha Vulkána, který byl hlavně charakterizován právě působením síry a tepla. [1] [2]

Skutečný rozvoj gumárenského průmyslu nastal však až po vynálezu pneumatiky, kterou v roce 1845 jako první patentoval skotský inženýr Robert William Thompson ve Velké Británii. Jeho vynález našel praktické uplatnění až po roce 1888, kdy skotský veterinární lékař John Boyd Dunlop patentoval vzduchem plněné pneumatiky, které umožnily vývoj automobilu a další technické pokroky v dopravě. Od této doby se začal gumárenský průmysl velmi rychle rozvíjet. [1] [2]

S tím souvisel vzestup spotřeby kaučuku, který způsobil, že na přelomu 19. a 20. století již nebyl dostatek přírodního kaučuku získávaného z divoce rostoucích stromů. To vedlo nejen k prvním nápadům zakládání plantáží na pěstování kaučukovníku a jeho těžbě i mimo tropickou Ameriku, ale také k prvním pokusům připravit kaučuk uměle.

Nápad zakládat kaučukovníkové plantáže publikoval již v roce 1872 Angličan James Collins. Nedostal ale povolení vyvést semena ani sazenice kaučukovníku z Brazílie, podle které také kaučukovník dostal svůj název. O pár let později však jiný Angličan tajně dovezl v duté holi do Anglie 70 000 semen, z nichž se podařilo

v londýnské botanické zahradě vypěstovat 2 000 sazenic, které následně byly vysázeny na Ceylonu. Tam měly velice příznivé podmínky pro růst, dobře se uchytily, byly rozmnoženy a dále distribuovány do Malajsie a na Borneo. V těchto zemích kaučukovník brzy zdomácněl. Ještě v roce 1905 byl veškerý kaučuk získáván z divoce rostoucích stromů tropické Ameriky, o 20 let později již byla hlavním producentem plantážového kaučuku tropická Asie, která je dodnes největším vývozcem přírodního kaučuku. [1] [2]

Postupem času stále se rozvíjející automobilový a strojírenský průmysl vyžadoval mnohem větší produkci kaučuku, než který mohly plantáže poskytnout. To vedlo chemický průmysl k intenzivnímu výzkumu syntetických druhů kaučuku. Zasloužili se o něj angličtí, francouzští, němečtí i ruští chemici. Tento výzkum se urychlil v období válek a politické nestability. První syntetický kaučuk – polydimethylbutadien byl vyroben během první světové války v Německu, které v důsledku blokády mělo nedostatek přírodního kaučuku. Pneumatiky se z něj ještě vyrábět nedaly, ale používali ho k výrobě ebonitových skříní pro akumulátory do ponorek. Ve třicátých letech dochází také k prudkému rozvoji syntetických kaučuků v USA. V dnešní době se na výrobu pryže používá 70% syntetických kaučuků v několika druzích, které přírodní kaučuk nejen nahrazují, ale mnohdy i poskytují pryžové materiály s vlastnostmi, kterých se použitím přírodního kaučuku nedá dosáhnout. [1]

## 2.2 Historie puků

Historie puků se pojí s historií ledního hokeje. Z jeho předchůdce, pozemního hokeje, který se v Evropě hrál již několik set let, se postupem času vyvinul lední hokej, který se objevil poprvé ve Velké Británii ve 30. letech 19. století. Hra rozkvetla v britské kolonii Kanadě v druhé polovině 19. století. Tam se také hokej později stal národní hrou. Ve stejné době se tento sport stal populární i v severních částech Spojených států. [3]

Úplně první předchůdci dnešního puku byli vyrobeni ze dřeva resp. dřevěných destiček. V letech 1860 až 1870 se v hokeji používal pryžový míč. Ten se však neprosadil, protože kvůli svému tvaru a materiálu prokazoval špatné odrážecí vlastnosti. Příliš mnoho při hře „skákal“ a tak se opět využívaly již zmíněné dřevěné destičky. Byla zde však také snaha zlepšit tvar a vlastnosti pryžového míče. [3]



První záznam použití puku v téměř dnešní podobě byl z března roku 1875 v Montrealu, kdy o něm psal místní deník Montreal Gazette. Jsou k dispozici dvě různé verze jeho vzniku. První verze říká, že studenti na univerzitě v Bostonu odřízli vrchní a spodní část kulatého pryžového míče a při hře používali jeho prostřední část. Druhá říká, že stejný postup provedl v Montrealu majitel jednoho z prvních vnitřních stadionů s ledovou plochou. Tento typ puku se stal velmi oblíbeným, díky své odolnosti, trvanlivosti a dobrým vlastnostem při hře. [3]

Puky se také vyráběly způsobem, kdy se slepovaly dvě části pryžového materiálu z recyklovaných pneumatik dohromady. Vzhledem k této konstrukci se puky při nárazu do brankové konstrukce nebo mantinelu mnohdy rozdělily. Stížnosti hráčů a týmů měly za následek návrat k původním pukům, které postupem času získávaly drobná vylepšení, jako například zkosení hran a podobně. [3]

Konstrukci puků pro NHL zlegalizoval v roce 1940 kanadský hokejový manažer Art Ross. Ačkoliv puky zůstali téměř stejné jako doposud, Rossova inovace zahrnovala jednodušší výrobu a puk musel vykazovat určitou konzistenci a stálost při použití ve hře. Prosazoval také použití syntetického kaučuku na rozdíl od přírodního. Loga vytištěná na pucích se lišila společně s různými profesionálními hokejovými soutěžemi, ve kterých se s puky hrálo. Tisk probíhal na jednom ze čtyř druhů sítotiskových strojů, záleželo na barevné složitosti. K dispozici byl ruční sítotiskový stroj, tříbarevný, šestibarevný a osmibarevný sítotiskový stroj. Princip tisku spočíval v protlačování barvy přes prostupná místa šablony na požadovaný materiál. Jeho výhodou byla barevná stálost, trvanlivost a příznivá cena. Metoda sítotisku byla vyvinuta v USA již v roce 1929 a používá se dodnes. [3]

Ruští výrobci zkoušeli přidávat do puků také kovové části nebo je vyráběli z měkčí pryže. Ani jeden z uvedených puků s výrobním vylepšením však nedosahoval vhodných parametrů a nadále se nevyráběly. Oproti běžným kotoučům měli horší tvrdost, odrazovou pružnost a rovinnost. [3]

Během sezóny 1995 – 1996 v NHL byl představen trochu odlišný puk než doposud. Zatímco zevnějšek puku zůstal stejný, vnitřek se zcela změnil. V ten samý rok získala televizní síť Fox práva vysílat tzv. NHL All-Star Game (zápas hvězd NHL) a play-off Stanley Cupu. Tato televizní společnost chtěla přilákat nové diváky a to tím, že uvede nové a zcela výjimečné puky, které měly hlavní cíl a to usnadnit sledování malého

a obtížně viditelného puku na televizní obrazovce. Za tímto účelem byl vyvinut vylepšený puk z hlediska viditelnosti v televizi. Tento puk nazvali FoxTrax. Tento záměr se jim však příliš nedařilo, protože provedení puku bylo velmi složité, nákladné a navíc správně ani nesplňoval účel, pro který byl vytvořen. [3]

Ve svém jádru obsahoval několik komponent – lithiovou baterii, 20 infračervených zářičů, oscilátor s keramickým rezonátorem, akcelerometr, čtyřvrstvý kruhový čip s technologií CMOS a nádobku pro tento čip. Otvory pro infračervené zářiče byly rozmístěny po celém puku (12 na okrajích, čtyři na horní straně a čtyři na spodní). Každý takový zářič vysílal přesně 30 pulsů za minutu a tyto signály byly zachycovány šestnácti senzory rozmístěnými okolo kluziště. Záznam z nich byl pak přiváděn optickými kabely do počítače, kde byl následně zpracováván. To mělo pro televizní diváky za následek zcela odlišný pohled na puk. Měl kolem sebe průsvitnou modrou zář, která ho na obrazovkách učinila viditelnější. Když hráč vystřelil rychlostí vyšší než 80 km/h, pak puk doprovázela průhledná červená trajektorie. Pokud rychlost vystřeleného puku byla vyšší než 120 km/h, znázornila se trajektorie zelená. Každý puk FoxTrax se po vložení do hry musel aktivovat pomocí bezdrátového ovladače. Na rozdíl od standardních puků, které se dali používat až do svého zničení nebo nadměrného opotřebení, puky FoxTrax mohly být používány pouze do vybití baterie, což trvalo kolem deseti minut. [3]



Obrázek 2.1: Hokejový puk FoxTrax s kruhovým čipem [4]

Puky s touto technologií uvnitř sebe vážily stejně jako běžné puky, ale jejich výroba byla mnohem nákladnější. Jeden takový puk vyšel asi na 400 dolarů. Také při hře prokazoval špatné vlastnosti, nechoval a nepohyboval se stejně jako běžný puk. Mnohem více při hře skákal a při střele také velmi rychle měnil směr. Kvůli svému čipu a baterii

také špatně snášel chlad od ledu. Hráči si na něj od prvního použití stěžovali. Všechny tyto faktory způsobily, že po sezóně 1998-1999 se už nadále nevyráběly a nepoužívaly. [3]

Puky Fox-Trax se vyráběly stejným způsobem jako běžné puky, tedy z vulkanizované pryže. Po vyjmutí z formy se rozřízly na polovinu a střed puku byl vytesán. Vrtačkou se poté vytvořilo 20 otvorů, kterými vedly signály z infračervených zářičů. Kruhový počítačový čip, baterie a další potřebné součásti byly vsazeny do vytesané části puků. Poté byl vnitřek puku společně se všemi součástmi zalit epoxidem, který byl flexibilní a byl vyroben z podobného materiálu jako samotný puk. Následně byly obě části puku slepeny k sobě pomocí epoxidu a přídatného plniva. Všechny předešlé operace byly prováděny ručně. Nakonec byl puk opatřen potiskem. [3]

V současné době se hokejové puky vyrábějí ve čtyřech zemích světa: v Kanadě, Rusku, Číně a České Republice. Existují dva druhy výrobních procesů. Jedním z nich je výroba puků pro praxi a druhá pro suvenýry. Výroba puků pro praxi se dále dělí podle konkrétního využití pro danou (profesionální) liguovou soutěž, ve které se s nimi hraje. Poté se ještě dělí podle speciálních vlastností, které jsou vyžadovány od zákazníka.

Hokejový puk je vyroben nejčastěji z vulkanizované pryže. Směs namíchané a uválcované pryžové směsi, která je vytlačována do dlouhého kruhového profilu, se přivádí do řezacího stroje. Tam je profil nařezán na velikost potřebnou pro vložení do formy. Takto nařezané kousky pak putují do formy, kam se ručně ukládají a za pomoci tepla a tlaku zvulkanizují. Puk poté dostane svůj konečný tvar. Po ukončení vulkanizačního procesu se ještě puk musí zbavit přetoku a případně obrousit. Přetok pryže z výrobního procesu se může použít k výrobě nových puků. Na vrchu a spodku je často logo týmu nebo ligy, pro kterou je puk určen. Na puk jsou tyto loga přidávány pomocí sítotisku, UV tisku nebo foliového tisku.

### 3. Příprava kaučukové směsi pro výrobu hokejových puků

Pro zhotovení puku s požadovanými vlastnostmi je velmi důležité již samotné složení kaučukové směsi a tedy i její jednotlivé přísady. Kromě hlavní složky, kaučuku, obsahují směsi několik přísad, jako jsou plniva, pigmenty, změkčovadla, zpracovatelské pomocné prostředky, přísady proti stárnutí, vulkanizační prostředky, urychlovače, oleje, aktivátory, zpoždovače vulkanizace a další. Běžně jedna taková kaučuková směs obsahuje kolem patnácti složek.

Kaučuk je hlavní složkou a má ve směsi nejen největší zastoupení, ale má i největší vliv na výstupní vlastnosti vulkanizátu. Především odolnost proti stárnutí, odolnost za nízkých teplot a také chování v prostředí různých médií, jako je voda a podobně. Na výchozím kaučuku závisí také úroveň mechanických vlastností. Pomocí ostatních přídavných složek je možno v jistých mezích tyto mechanické vlastnosti ovlivnit (například tvrdost) nebo vylepšit (mrazuvzdornost, trvalá deformace a podobně). Proto je dobré alespoň trochu přiblížit všechny možné druhy kaučuků i ostatní přísady.

#### 3.1 Rozdělení kaučuků

Existují dva základní druhy, které dále zahrnují několik desítek dalších typů kaučuku. Jsou to kaučuky přírodní a syntetické. Ve světě se dnes zpracovává asi 30 % přírodního kaučuku a 70 % syntetických kaučuků. K výrobě puků se využívají oba uvedené druhy. Z chemického hlediska existuje pouze jeden druh přírodního kaučuku, který má také několik modifikací s různými vlastnostmi, které však vyplývají z odlišných způsobů získávání a úprav během zpracování.

Syntetické kaučuky se naproti tomu liší chemickým složením základních řetězců, které se skládají z velkého počtu různých, opakujících se výchozích segmentů (monomerů). U většiny druhů se při výrobě polymeru kombinují dva až tři základní monomery a výsledkem jsou kaučuky s různými zpracovatelskými, ale zejména aplikačními vlastnostmi. Podle využití se syntetické kaučuky dělí na dvě základní skupiny. Jsou to na kaučuky pro běžné použití (vhodné pro výrobu pneumatik a masové technické pryže – butadienstyrenový kaučuk SBR, polybutadienový kaučuk BR

a polyizoprenový kaučuk IR) a kaučuky speciální (butylkaučuk IIR, chloroprenový kaučuk CR, polyuretanový kaučuk AU, ...).

V současné době se komerčně využívá asi 30 základních druhů syntetických kaučuků a každý z nich má zpravidla řadu modifikací, které vznikají různými metodami přípravy, poměrem výchozích monomerů, délkou řetězců a případně různým uspořádáním základních monomerů. Podle normy ISO 1629, které odpovídá norma ČSN 62004 se syntetické kaučuky dělí na základě chemické struktury polymerních řetězců do několika základních skupin, označovaných písmenem, které stojí na konci mezinárodního značení kaučuků dané skupiny:

- M – kaučuky s nasyceným řetězcem polymethylenového typu
- O – kaučuky, obsahující kyslík v polymeračním řetězci
- R – kaučuky s nenasyceným uhlíkovým řetězcem
- Q – kaučuky, obsahující křemík a kyslík v polymerním řetězci
- U – kaučuky, obsahující v polymerním řetězci uhlík, kyslík a dusík
- T – obsahující v polymerním řetězci síru
- Z – obsahující v polymerním řetězci fosfor a dusík

Podle polarity se kaučuky dále dělí na polární a nepolární. Nepolární kaučuky jsou čisté uhlovodíkové polymery, které neobsahují žádné polární skupiny. Jejich vulkanizáty nejsou obecně odolné proti benzínu a minerálním olejům. Naopak jsou odolné v polárních médiích, jako je voda, alkoholy, glykoly, brzdové kapaliny, některé ketony a estery. Odolnost proti ozonu a stárnutí je závislá na nenasycenosti daného kaučuku, tj. na přítomnosti dvojných vazeb v řetězci.

Polární kaučuky mají v molekule kromě uhlíku a vodíku další atomy (Cl, F) nebo skupiny (CN), které vyvolávají polaritu molekuly. Obecně platí, že pryž na bázi těchto kaučuků je více nebo méně napadána chemicky podobnými látkami, například nízkomolekulárními ketony a estery, zatímco například v benzínu a minerálních olejích je středně nebo dobře odolná. Odolnost vulkanizátů proti ozonu, stárnutí a oxidaci je opět závislá na přítomnosti a počtu dvojných vazeb, tzn. na míře nenasycenosti.

Dále se polární a nepolární kaučuky dělí na další již zmíněné dvě skupiny a to na nasycené a nenasycené. Nasycené, které neobsahují dvojně vazby, nelze vulkanizovat sírou a obecně lépe odolávají stárnutí teplem a atmosférickými vlivy.

Nenasycené mají dvojně vazby, které je možno vulkanizovat sírou a mají horší vlastnosti při stárnutí.

Pro přehlednost je uvedena tabulka rozdělení kaučuků podle polariry a nasycenosti:

*Tabulka 3.1: Rozdělení kaučuků podle polariry a nasycenosti*

Kaučuky			
Nepolární		Polární	
Nenasycené	Nasycené	Nenasycené	Nasycené
IR, BR	IIR	CR	AU

## 3.2 Přířady kaučukových směsí

### 3.2.1 Plniva a pigmenty

Do kaučukové směsi se ve velkém množství přidávají jak saze, tak minerální plniva, aby se usnadnila zpracovatelnost a dosáhlo se žádaných vlastností vulkanizátu, především tvrdosti. Na vulkanizáty působí většina plniv více nebo méně ztužujícím účinkem. V gumárenském průmyslu to znamená zlepšení řady vlastností pryže, jako například pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti odírání. Zatím není známo žádné vhodné plnivo, které by zlepřovalo všechny vlastnosti najednou, vždy se musíme spokojit s kompromisem.

Na rozdíl od přírodního kaučuku, který má poměrně vysokou pevnost, by většina syntetických kaučuků byla bez použití přířady plniv nepoužitelná. Z hlediska zvýšení pevnosti pryže se plniva obecně dělí na ztužující a neaktivní. Pokud bychom chtěli dosáhnout vysokého ztužení, musíme brát na vědomí, že se tím obvykle zhorří zpracovatelnost směsi. Na trhu existuje velké množství druhů sazí a jejich klasifikace je založena na míře ztužující schopnosti a zpracovatelnosti směsi. Kromě sazí se používá velké množství světlých plniv anorganického původu. Jsou to jednak mleté přírodní produkty (křída, kaolin) a syntetická plniva (vysoce disperzní kysličník křemičitý, vápenaté a hlinité křemičitany). Tato velmi jemná plniva typu oxidu křemičitého se také označují jako „bílé saze“. Pro dosažení přijatelného kompromisu mezi vlastnostmi a zpracovatelností se většinou používají kombinace ztužujících a neaktivních plniv.

Sazové směsi jsou vždy černé. Pouze směsi s bílými plnivými je možné barvit pomocí přídatku anorganických nebo organických pigmentů. Mezi anorganické pigmenty patří například oxid železitý, titaničitý a podobně. Jsou velmi stálé a to i za zvýšených teplot a v agresivním prostředí. Jejich používání se však v poslední době omezuje a to z ekologických důvodů (obsahují sloučeniny kadmia a jiných těžkých kovů). Organické pigmenty poskytují sice jasné zbarvení, ale jsou málo tepelně stálé, „vykvétají“ na povrch a snadno se vyluhují v rozpouštědlech, olejích a tucích.

### 3.2.2 Změkčovadla a přísady pro zlepšení zpracovatelnosti

Přidání změkčovadel do směsi přírodního a syntetického kaučuku přináší řadu výhod. Používáním změkčovadel se zvyšuje plasticita směsi pro zlepšení jejich zpracovatelnosti, zlepšuje se disperze plniv, směsi se díky nim „nastavují“ a tím snižují svou cenu. Pro nastavování se používají poměrně levné minerální oleje. Podstatně dražší syntetická změkčovadla slouží spíše pro úpravu vlastností vulkanizátů (například mrazuvzdornosti). Z chemického hlediska se mohou změkčovadla rozdělit do následujících základních skupin:

- Parafinická, naftenická a aromatická změkčovadla
- Esterová a éterová změkčovadla
- Thioéterová a thioesterová změkčovadla
- Změkčovadla na bázi chlorparafinu
- Polymerní změkčovadla

Použitím malého množství změkčovadel (cca 5 %) se obecně zlepšuje zpracovatelnost směsi bez podstatného vlivu na mechanické vlastnosti vulkanizátů. Přídavkem vysokého množství změkčovadla (například 30 % pro zlepšení mrazuvzdornosti nebo zlevnění směsi) se často značně zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů. Vedle toho mohou nastat vedlejší nežádoucí vlivy, jako například migrace změkčovadel do lakovaných sousedních částí a jejich nežádoucí zbarvení.

Ke změkčovadlům patří také další pomocné prostředky pro zlepšení zpracovatelnosti. Do takové skupiny patří pryskyřice (kalafuna, kumaronová pryskyřice – pryskyřice připravená polymerací jedné nebo několika sloučenin typu kumaronu), vosky, mýdla

(Ca- a Zn-stearáty), pevné uhlovodíky (polyethylen, vazelína, parafin), mastné kyseliny (stearin) a faktis (polymerační produkt nenasycených olejů se sírou). Do této skupiny je možné zařadit i různé druhy regenerátu.

### 3.2.3 Prostředky proti stárnutí – antioxidanty, antiozonanty

K tomu aby se zpomalilo stárnutí vulkanizátů se tyto organické sloučeniny (například sulfidy, fenoly, aromatické aminy) v poměrně malém množství přidávají do kaučukových směsí. Tyto sloučeniny mají poskytnout vulkanizátům dlouhodobou ochranu před různými vlivy stárnutí a prodloužit tak jejich životnost jak při funkci, tak při pouhém skladování. Většinou se používá kombinace těchto prostředků se specifickou účinností. Dělí se podle ochranného účinku na:

- Antioxidanty, které chrání zejména proti účinkům vzdušného kyslíku
- Antiozonanty, které zpomalují vznik ozonových trhlin při statickém namáhání
- Speciální prostředky, které chrání před specifickými druhy stárnutí, například světlem nebo hydrolytickými vlivy

Další dělení těchto prostředků je na zbarvující a nezbarvující. Nejúčinnější antioxidanty zbarvují pryž tak silně, že jsou použitelné pouze v sazových směsích. Nelze je používat také pro výrobky, u nichž hrozí kontaktní zbarvení ve styku s jinými látkami (potisky, laky apod.). Do této skupiny patří také vosky, jejichž účinek spočívá ve vytvoření ochranné vrstvy na povrchu výrobku, která brání přístupu kyslíku a ozonu. Takový film se ale snadno poškodí vnějším namáháním.

Používání několika vysoce účinných antioxidantů se v poslední době silně omezuje z ekologických důvodů, protože některé studie prokázaly jejich kancerogenní účinky (vznik nitrosaminů při vulkanizaci). To samé platí i u některých urychlovačů vulkanizace.

### 3.2.4 Vulkanizační prostředky, urychlovače, aktivátory a zpzdřovače vulkanizace

Jsou to prostředky ovlivňující vlastní proces vulkanizace. Nejdůležitějším prostředkem zůstala dodnes už od dob objevení vulkanizace síra. Tou se však dají vulkanizovat pouze nenasycené kaučuky, které obsahují dvojnou vazbu v hlavním nebo



postranním řetězci. V poslední době byly vyvinuty některé bezsírové vulkanizační systémy, které je možno částečně použít i pro síťování nasycených druhů kaučuku.

Vulkanizace samotnou sírou vyžaduje poměrně vysoké dávkování síry a dlouhou dobu při vysoké teplotě. Neposkytuje příliš jakostní vulkanizáty. Z těchto důvodů se používá kombinace síry s jedním nebo více organických urychlovačů.

Optimální dávkování síry závisí do značné míry na druhu a množství urychlovačů a jiných aktivačních nebo zpožďujících složek směsi. Pro představu na výrobu měkké pryže se dávkování pohybuje kolem 0,3 hmotnostních dílů na 100 dílů kaučuku. Dávkování síry ovlivňuje mechanické vlastnosti a stárnutí vulkanizátů. Čím vyšší je množství síry, tím je obecně horší odolnost vůči stárnutí, snižují se elastické a pevnostní vlastnosti vulkanizátů. Při výrobě tvrdé pryže se vyžaduje zvýšení podílu síry na 25 – 40 dílů na 100 dílů kaučuku. Oblast aplikace tvrdé pryže se neustále zužuje.

Mezi další vulkanizační činidla se řadí i organické peroxidy a některá speciální vulkanizační činidla.

Od objevení vulkanizace byla snaha nalézt látky, které by umožnily zkrátit vulkanizační dobu a snížit dávkování síry. Prvními urychlovači byly kovové oxidy (oxidy olova, zinku, hořčíku, vápníku), jejich účinnost však byla neuspokojivá. Rozhodujícím pokrokem bylo zavedení organických urychlovačů. Tím se dosáhlo nejen podstatného zkrácení vulkanizační doby, případně snížení vulkanizační teploty, ale také snížení dávkování síry, jehož výsledkem bylo zlepšení vlastností vulkanizátů a zejména odolnost proti stárnutí.

Jako aktivátory se označují látky, které při nepatrném dávkování podstatně přispívají ke zvýšení účinnosti urychlovačů vulkanizace. Do této skupiny patří především oxid zinečnatý a kyselina stearová (stearin), jejichž současná přítomnost je žádoucí ve většině směsí.

Existují také zpožďovače, které v malém množství snižují nebezpečí navulkanizace kaučukové směsi během výroby, zpracování a skladování, aniž by snižovaly rychlost vulkanizace, která probíhá během nebo po jejím tvarování.

### 3.2.5 Mastikační prostředky

Pod pojmem mastikace se rozumí působení stálé mechanické deformace na tuhý kaučuk a to na dvouválcí nebo v hnětiči za přítomnosti vzdušného kyslíku. Přitom se trhají molekulární řetězce kaučuku, což vede ke snížení molekulové hmotnosti a tím ke zvýšení plasticity. Usnadní se tak přijímání plniv a jiných přísad. Na rozdíl od zvyšování plasticity směsi přísadou změkčovadel se při mastikaci jedná o oxidační odbourávání. Přítomnost kyslíku je nutná pro usnadnění rozštěpení molekulárních řetězců. Mastikační proces je teplotně závislý a použitím některých sloučenin je možné toto odbourávání kaučuku urychlit.

Tyto sloučeniny se označují jako mastikační (peptizační, odbourávací) činidla a používají se zejména u směsí z přírodního kaučuku. U syntetických kaučuků hrají jen omezenou roli, protože tyto druhy se již dodávají v takovém nastavení plasticity, které umožňuje okamžité zpracování (vmíchávání přísad) bez předběžné mastikace.

### 3.2.6 Prostředky pro omezení zápachu a konzervační prostředky

Zápach kaučuku a přísad ve směsi může snižovat prodejnost některých výrobků. Skladováním se zápach omezí, ale nevyloučí. Vmícháním speciálních prostředků (vonných esencí) do směsi je možné tento zápach neutralizovat nebo překrýt. K dosažení optimálního účinku stačí velmi malá dávka těchto sloučenin.

Prostředky, které zamezují napadení pryžových výrobků plísněmi, bakteriemi nebo hmyzem. Jedná se nejčastěji o fenoly nebo organické sloučeniny s obsahem chlóru nebo síry.

### 3.2.7 Regeneráty

Na rozdíl od odpadů z termoplastických elastomerů, které je možné přímo zpracovávat (případně zpracovávat po rozdrčení), je nutno u vulkanizovaných pryžových odpadů nejprve rozrušit jejich síťovou strukturu. Rozrušení této struktury se provádí tepelnou, chemickou a mechanickou cestou. Tomu se říká tzv. regenerace, která

se usnadňuje ještě přísadou změkčovadel nebo peptizačních činidel. Výsledkem není čistý kaučuk, ale plastická hmota, která obsahuje přísady ze všech svých předešlých odpadů, jako jsou plniva, změkčovadla a podobně.

Regeneráty se zpravidla nezpracovávají samostatně, ale přidávají se do směsí z čerstvých kaučuků příslušného druhu. Přídavek regenerátu nepřináší jen cenové výhody, ale také určité zlepšení zpracovatelnosti směsí. Snižují se však pevnostní vlastnosti vulkanizátů.

## 4. Zpracování kaučukových směsí

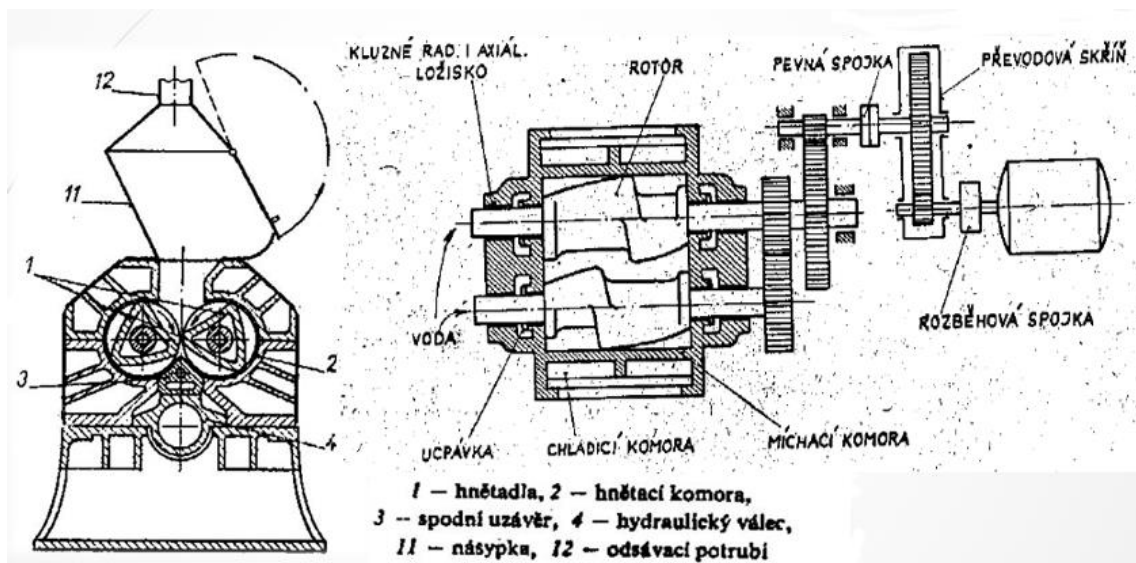
### 4.1 Míchání směsí

Všechny výše uvedené složky směsi (kaučuk a ostatní přísady) se musí nejdříve přesně navážít. To zajišťují automatické zásobníky a váhy, které jsou řízeny programem podle vloženého receptu. Tento postup se dnes provádí již ve většině závodů a je velmi efektivní pro kvalitní vytvoření a navážení směsi. Ke každé směsi se může vytisknout a následně uchovat průvodní dokumentace, která se pak může zpětně vyhledat a zkontrolovat podle požadované normy.



*Obrázek 4.1: Přesně navážené složky kaučukové směsi připravené k zamíchání*

Směsi se míchají převážně v uzavřených hnětičích s chlazenou míchací komorou, aby nedošlo k nežádoucí navulkanizaci. Hnětič kromě míchací komory obsahuje také dva otáčivé tvarované rotory, které se pohybují proti sobě. Kaučuk a jednotlivé přísady se přivádějí do hnětiče přímo od vah a celý systém je u většiny hnětičů udržován pod tlakem pomocí pneumaticky ovládaného pístu. Proces zamíchání směsi o hmotnosti kolem 200 kg trvá přibližně 5 minut. Intenzivním mícháním vzniká v hnětiči teplota 150 °C až 180 °C. Kvůli riziku navulkanizace při těchto teplotách se v hnětiči míchá kaučuková směs bez přídavku urychlovačů, které se domíchávají na dvouválci pod výpustnými dvířky hnětiče, kde se směs částečně vychladí a pro ještě lepší promíchání se průběžně odkrajuje. Dokončení vychlazení plástů směsi se provádí



Obrázek 4.2: Schéma hnětiče a hnětacího ústrojí

v chladniče, která na výstupu skládá pláсты na paletu. Chladnička neboli chladicí bubnový stroj obsahuje 1 až 8 válců, které jsou uspořádány v jedné řadě. Délka válců je stejná jako délka válců válcovacího stroje, ale jejich průměr je větší. Plášť válců je z hliníkového plechu, aby byl převod tepla co nejlepší. Chlazení se zajišťuje intenzivním postřikováním vnitřní strany pláště vodou. Měkčí směsi s vysokým obsahem



Obrázek 4.3: Míchání a odkrajování směsi na dvouválci

změkčovadel, které se při míchání v hnětiči tak nezahřívají, je možné míchat společně s přidanými urychlovači. Na konci procesu se směs nakrájí do plástů. Na těchto linkách, navazujících na systém automatického navažování s řídicím programem, je možné míchat směsi s vysokou reprodukovatelností a s výrazným omezením vlivu lidského faktoru na jakost výsledných směsí.

Míchání kompletních směsí na otevřených dvouválcích je v poslední době omezeno na malé provozy a na speciální směsi, zpracovávané v malém množství. Mezera mezi oběma válci, které se otáčejí proti sobě a každý jinou rychlostí, se nastaví tak, aby vznikl návalek, ve kterém vznikají maximální síly, umožňující vmíchání plniv a ostatních složek směsi. Produktivita na otevřených dvouválcích je výrazně nižší, protože doba míchání jedné směsi o hmotnosti 50 kg je asi 45 minut. Teplota směsi obvykle při dobrém chlazení válců nepřekročí 100 °C, takže je možné pláсты přímo vykrajovat na stojany k vychlazení. Zde je však míchací postup značně ovlivněn zručností pracovníka.

Všechny směsi, míchané na válci nebo v hnětiči, musejí před uvolněním k dalšímu zpracování projít tzv. denní kontrolou, při které se ověřují vlastnosti nevulkanizované směsi (plasticita, viskozita, vulkanizační schopnost) a fyzikálně-mechanické hodnoty. Viskozita se stanoví tím způsobem, že se měří krouticí moment na ose smykového disku přístroje, v jehož komoře je umístěn zkoušený materiál (kaučuková směs), při dané teplotě a konstantní rychlosti otáčení. Zkouška se provádí na rotačním diskovém viskozimetru Mooney. Zkušební vzorek se zahřívá jednu minutu v komoře a pak se spustí otáčení disku. Používají se dvě velikosti smykového disku s označením L (velký) a S (malý) a naměřené hodnoty nejsou navzájem srovnatelné. Touto metodou se stanovuje viskozita Mooney při teplotě 100 °C pro kaučukovou směs a rozdíl viskozit po 15 minutách a po 1,5 minutě od začátku otáčení disku přístroje.

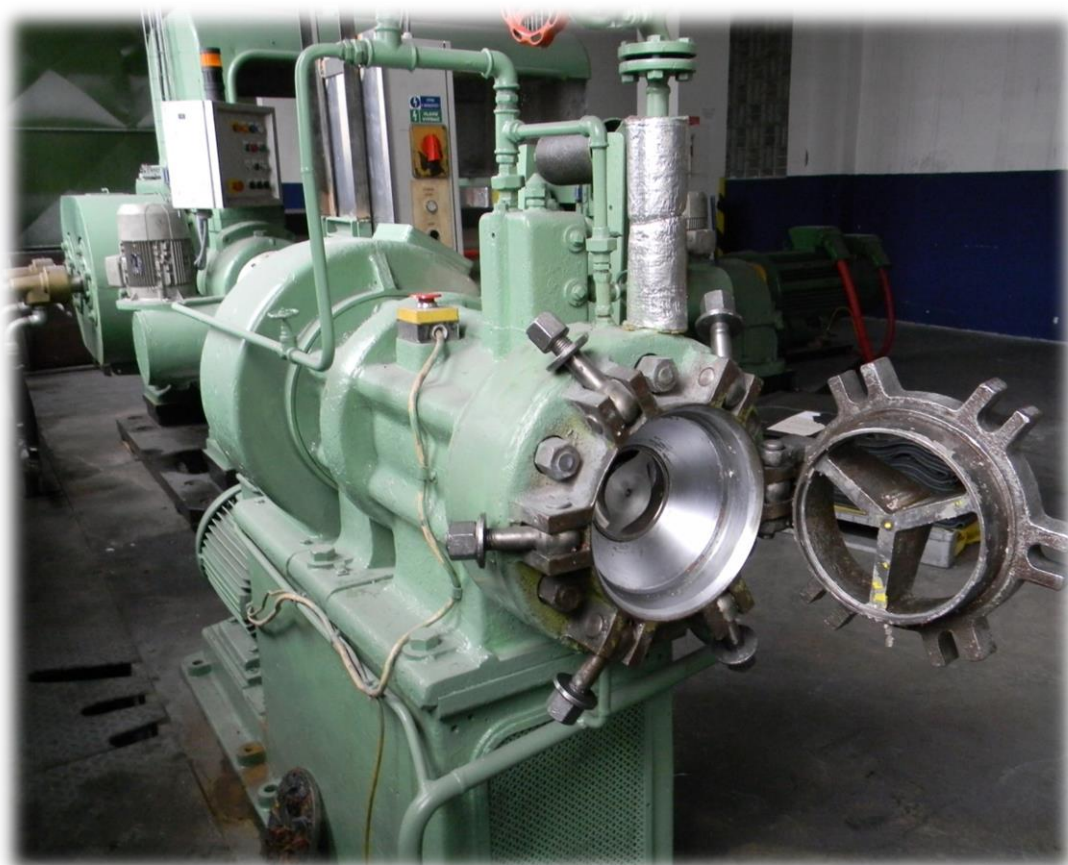
Stanovuje se také doba navulkanizování při 120 °C nebo 140 °C pro kaučukové směsi. Zjišťují se také vulkanizační charakteristiky kaučukových směsí na vulkometru s kmitajícím diskem. Zkušební těleso z kaučukové směsi se umístí pod tlakem do zkušební komory, vyhřáté na zkušební teplotu. Do vzorku je vtlačen disk ve tvaru dvojitého kužele, který během zkoušky kmitá s malou výchylkou. To vyvolá smykovou deformaci zkušebního tělesa, přičemž krouticí moment, potřebný ke kmitání disku závisí na tuhosti (smykovém modulu) kaučukové směsi. Krouticí moment se zaznamenává automaticky jako funkce času. Ze získané vulkanizační křivky směsi se stanoví nejmenší a největší krouticí moment a zpracovatelská doba, zejména doba navulkanizace a doba dosažení 90 % vulkanizace. Průběh vulkanizační křivky se liší podle toho, zda se jedná o kaučuk se stabilní sítí ve vulkanizátu (vulkanizační plató), zda síť podléhá rychlé reverzi (převulkanizování) nebo zda se při pokračující vulkanizaci síťová hustota neustále zvyšuje (krácející modul). Pokud zkoušené směsi vyhovují, zpracování směsi opět pokračuje.



## 4.2 Tvarování směsí

Zamíchané směsi v podobě plástů jsou výchozím materiálem pro výrobu pryžových výrobků. Před vlastní vulkanizací je však nutné vytvarovat je buď do konečného tvaru (vytlačování profilů) nebo do tvaru, vhodného pro vložení do formy při klasickém lisování. Pro tvarování směsí k výrobě puků se používá již zmíněné vytlačování profilů.

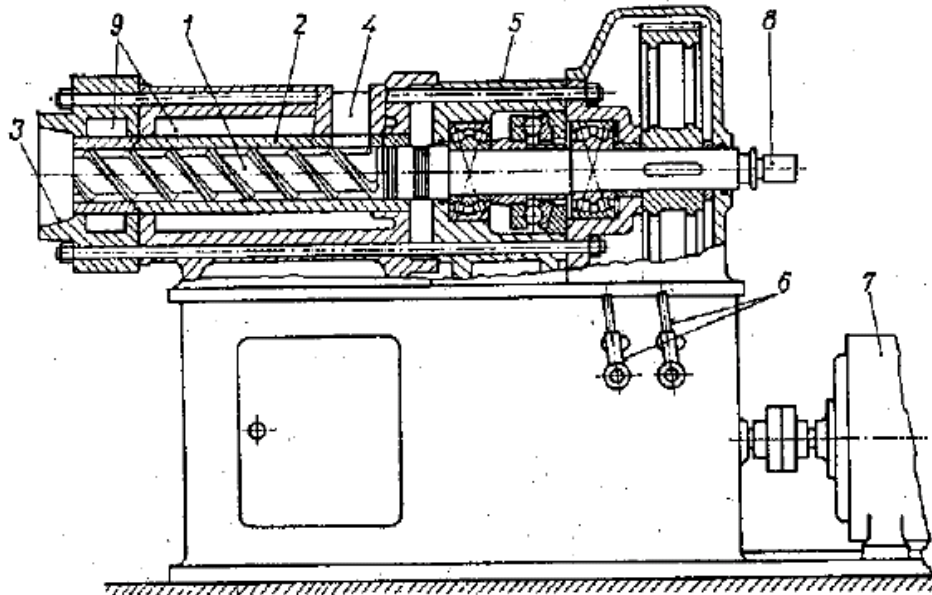
Vytlačovací stroj má jednoduchou konstrukci a existují dva různé typy, které se liší v provedení. Používají se vytlačovací stroje šnekové, kde ve válcovém pouzdře je umístěn otáčející se šnek a pístové, kde ve válcovém pouzdře je místo šneku píst.



*Obrázek 4.4: Vytlačovací stroj*

Pro představu, vytlačovací stroj pracuje na principu strojku na maso. Směs, která je přiváděna ve formě plástu, se otáčením šneku plastikuje a vytlačuje se hubicí, jejíž tvar odpovídá žádanému kruhovému profilu. Podle potřeby se plášť a hubice vyhřívá nebo chladí. Kruhový profil, který opouští vytlačovací stroj, se zpravidla odebírá dopravním pásem, prochází chladicí lázní, aby se vyrovnalo délkové smrštění, a pak se strojně krájí

nejdříve na delší válečky o průměru podobném s výsledným pukem a poté ještě na kratší s hmotností totožnou s konečným pukem. V poslední době se pro vytlačování náloží používají pístové vytlačovací stroje se sekacím zařízením, které odměruje nálože podle objemu a plní se pláсты směsí, odkrajovanými z dvouválce.



1 – šnek, 2 – komora, 3 – kužel pro upevnění hlavy, 4 – plnicí otvor, 5 – ložisková skříň, 6 – řadící páky čtyřrychlostní převodovky, 7 – hnací motor, 8 – vstupní hlava, 9 – komůrky chladičského systému

Obrázek 4.5: Schéma vytlačovacího stroje na kaučukové směsi



## 5 Požadavky na puk z hlediska výroby a jeho použití

### 5.1 Rozdělení výroby puků

Z hlediska výroby hokejových puků a jejich následného využití ve společnosti Rubena Náchod si proces můžeme rozdělit na dvě kategorie. Jednou z nich je výroba hokejových puků pro praxi a druhá pro reklamní účely.

Výroba puků pro praxi se dále dělí podle konkrétního využití pro danou profesionální ligu, ale i věkovou soutěž, ve které se s nimi hraje. Poté se ještě dělí podle speciálních vlastností, které jsou vyžadovány od zákazníka. Vyrábějí se tedy puky určené pro hokejové ligy dospělých, juniorů ale i pro ligy mládežnické. Pro první zmíněnou skupinu jsou určeny puky s označením Classic, což jsou standardní hokejové puky známé mnoha hokejovým generacím. Jedná se o puky, které splňují standardní podmínky pro užívání v evropských hokejových soutěžích a zámořské NHL. Průměr



*Obrázek 5.1: Hokejový puk Classic [6]*

puku je 76 mm, tloušťka 25 mm a hmotnost se pohybuje kolem 165 g. Dalším typem puku je Classic nešpinící, opět klasický hokejový puk, jehož materiál je vyvinut tak, aby stopy po dotyku puku na mantinelu byly minimální nebo byly snadno odstranitelné. [6]

Vyrábí se také modrý puk Junior, který je využíván ve vyšších mládežnických kategoriích v Evropě. Jeho průměr je 76 mm, tloušťka 25 mm a orientační hmotnost je asi 125 g. Odlehčený puk Junior s průměrem 60 mm, tloušťkou 20 mm a hmotností 90 g je určený pro ještě nižší věkovou kategorii než předchozí typ. [6]



Obrázek 5.2: Hokejový puk Junior [6]

Posledním zástupcem jsou reklamní puky. Jsou určeny nejen k propagaci hokejových témat, ale velmi často i k reklamním účelům spojených s průmyslem, kulturou nebo i s prezentací určitého regionu. Rozměry i hmotnost jsou shodné se standardním typem puku. Puky, které se vyrábějí pro reklamní účely, nemusí prokazovat zdaleka tak přísná kritéria jako puky určené pro hru v kanadsko-americké NHL.



Obrázek 5.3: Hokejové puky určené k reklamním účelům [6]

## 5.2 Požadované vlastnosti puků

Puk by měl být vyroben z vulkanizovaného kaučuku a měl by prokazovat základní parametry jako je tvrdost, hmotnost, tloušťka, odrazová pružnost, rovinnost, průměr,

otěruvzdornost a jiné. Co se týče vzhledu, puk by měl mít zkosené vnější hrany a po obvodu by měl být vroubkovaný vzor. Tento vzor při styku s čepelí hokejky zaručuje větší tření a tím i lepší kontrolu samotného puku při hře.

Podle mezinárodní federace ledního hokeje (IIHF) musí puk splňovat tyto parametry. Puk musí být převážně černý a musí být zhotoven z vulkanizované pryže nebo z jiného materiálu schváleného IIHF. Puk musí mít také průměr 76,2 mm a tloušťku 25,4 mm. Jeho hmotnost se musí pohybovat od 156 g do 170 g. Tištěné logo, obchodní značka a reklama na puku nesmí přesahovat plochu o průměru 45 mm na každé straně puku nebo 35% plochy každé strany puku. Potisky mohou být na obou stranách. [7]

Hokejový puk je konzervativní výrobek, a proto jakákoliv změna jeho vzhledu není příliš žádoucí. Výrobci se proto snaží zlepšovat především složení směsí tak, aby dosáhli co nejlepších vlastností puků. U klasických puků je zaručeno, že ani při rychlosti kolem 160 km/h se tyto puky neroztříští. Dnes se speciální skladbou směsí dá například docílit i toho, že puk ani při rychlosti dosahující 180 km/h nerozbíjí plexisklo.

## 6 Analýza stávající výroby puků

Když je kaučuková směs vytvarovaná a nařezaná na kousky, které jsou připraveny pro vložení do formy, následuje vulkanizace. Vulkanizací kaučuku rozumíme síťování makromolekul, tedy vytvoření chemických příčných vazeb mezi dlouhými řetězci, ze kterých je složena každá molekula kaučuku. Vulkanizace kaučuku je umožněna přítomností dvojných vazeb mezi atomy uhlíku, které se při reakci mohou otevřít tak, že představují vazný bod pro síru a změní se ve vazbu jednoduchou. Při vulkanizaci přechází převážně plastická směs do elastického stavu. Teprve až po vulkanizaci se výrobek stává tvarově stabilní a získává požadované mechanické vlastnosti.



*Obrázek 6.1: Nálože kaučukové směsi připravené pro vložení do formy*

### 6.1 Vulkanizace

Vulkanizace je časově a teplotně závislý proces. Stejně jako i u ostatních chemických reakcí se rychlost vulkanizace zvyšuje s rostoucí teplotou. Běžně se udává, že vzrůstem teploty o 10 °C se vulkanizační doba zkrátí přibližně na polovinu. Proto se tedy přirozeně vulkanizační teplota volí co nejvyšší, aby se odpovídajícím způsobem zkrátila vulkanizační doba. To má však své hranice, které jsou závislé na tepelné odolnosti daného druhu kaučuku. Pokud vulkanizace probíhá za příliš vysokých teplot, dochází velmi často k tzv. reverzi vulkanizátů. Jedná se o poškození vulkanizátů chemickým odbouráváním, způsobené převulkanizací. Reverze je charakteristická zejména u vulkanizátů z přírodního kaučuku. Působením reverze vulkanizáty měknou, ztrácejí

elasticitu a stávají se lepivými. Klesá pružnost a zvyšuje se tažnost. U ostatních typů syntetického kaučuku nastává reverze jen zřídka. Čím vyšší je tepelná odolnost základního kaučuku, tím vyšší teploty jsou přípustné při jeho vulkanizaci.

Dalším omezením pro vulkanizační teplotu je tloušťka stěny výrobku. V důsledku nízké tepelné vodivosti kaučuku vyžadují objemnější výrobky delší dobu vulkanizace. Při nesprávném zvolení vulkanizační teploty nastává nebezpečí převulkanizace vnější vrstvy, zatímco uvnitř ještě není materiál zcela z vulkanizovaný. Stanovení optimální teploty a doby vulkanizace je možné pouze zkušební vulkanizací a zkouškami vulkanizátů.

## 6.2 Tlakové lisování

Pro vulkanizaci jsou k dispozici různé metody. Puky se vyrábějí vulkanizací v lise metodou tlakového lisování. Vulkanizace ve formách za tlaku a tepla se může provádět



*Obrázek 6.2: Tlakový lis určený k vulkanizaci hokejových puků*

také transferovým lisováním nebo vstřikovacím lisováním. Základní princip spočívá v tom, že se pryžové nálože naskládají do předehřáté kovové formy a poté se tato forma stlačí. To se děje po dobu 10 minut při tlaku v lise 27 MPa a teplotě 170 °C. Pro výrobu klasických hokejových puků má forma rozměry 734 mm x 820 mm x 98,3 mm s 90 otvory pro pryžové nálože o průměru 76,2 mm a tloušťkou 25,4 mm. Teplo se do formy přivádí z topných desek.

Přítom směs změkne a vyplní dutinu formy. Přebytek směsi se vytlačí do přetokových drážek. Často je také nutné krátké otevření lisu, aby mohl uniknout uzavřený vzduch. Po otevření formy se výlisky vyjímají pomocí vytlačovacího mechanismu. Vyjímání z formy může někdy působit potíže, protože z vulkanizované výrobky vykazují větší nebo menší lepivost k povrchu formy. Tento problém lze vyřešit použitím vymazávacích prostředků ve formě vodných roztoků, disperzí nebo emulzí, které vytvoří na povrchu formy slabou účinnou separační vrstvu. Podporují také tok směsi během vulkanizace a mohou zlepšit jakost povrchu výrobku. Používají se např. vodné roztoky mýdel, disperze polyethylenu nebo emulze silikonového oleje. Nadměrné množství těchto prostředků však také může kvalitu povrchu výrobku negativně ovlivnit či poškodit. Proto je třeba je používat v přiměřeném množství. Jejich další nevýhodou je špinění forem, které vede k potřebě jejich častějšího čištění, zvýšení nákladů a zkrácení jejich životnosti. Usnadnění vyjímání výrobků z formy zaručuje také hladší povrch forem, který sice neusnadňuje unikání uzavřeného vzduchu, ale snižuje lepivost výrobků k povrchu formy. Do lisu se vkládají dvě stejné formy každá pro 90 pryžových náloží. Do každé bedny se jich vejde 720. Za jeden den je možno vyrobit přes 18 000 puků. Puky po vyjmutí z formy padají do beden pod lisem, ze kterých se pak vyskládají na palety, kde volně chladnou. Po vychladnutí se na ručním stroji odstraní přetoky, které je možné znovu použít jako plnivo do nové směsi.

## 7 Optimalizace technologického postupu po vulkanizaci

### 7.1 Seznámení s problematikou

Puky po skončení vulkanizace a vytlačení z formy vypadávají do připravených beden, umístěných na zemi asi 70 cm pod formou. Do jedné bedny se vejde osm až devět náloží z forem. Jelikož má puk po otevření formy stále teplotu okolo 170 °C, pryž je tak bezprostředně po vypadnutí nadále tvárná a měkká a může nepatrně měnit svůj tvar na povrchu puku.

Tato nežádoucí skutečnost se projevuje při dopadání nově z vulkanizovaných puků na puky, které jsou již v bedně. Při dopadu se navzájem narušuje jejich povrch a to hlavně na spodní a vrchní straně, kde by puk měl být co nejhladší. Cílem je tedy navrhnout vhodné řešení, které minimalizuje nebo úplně zamezí vzájemné poškozování povrchu puků při dopadu. Je důležité, aby puky po vulkanizaci pozvolna chladly při pokojové teplotě, protože je to přirozená součást vulkanizačního procesu. Pokud by se tak nestalo, vulkanizace by neproběhla efektivně a mohlo by se to negativně projevit na mechanických vlastnostech vyrobeného puku. Přímé chlazení puků tedy lze rovnou vyloučit.

Bylo tedy provedeno experimentální měření chlazení jednoho puku. To ukázalo, že po 8 minutách po vyjmutí puku z bedny při maximální teplotě 111 °C se již poškození na povrchu puků neobjevuje. Vše bylo zjištěno za podmínek, kdy byl puk umístěn na podlaze o pokojové teplotě a další puk na něj dopadal z výšky 70 cm. S postupným navyšováním várek puky v bedně chladnou pomaleji a tím se také prodlužuje doba, kdy už se puky navzájem neporušují. Je tedy nutné co nejefektivněji snížit teplotu puků a výšku, ze které puky padají. Na následujících obrázcích z termovizní kamery s označením FLIR T640, pořízených při měření, je uveden rozsah teplot včetně minimální a maximální a v popisku je uvedena doba, která uplynula od vyjmutí puku z bedny. Na posledním snímku z termokamery je pak vidět, že po stejné době co se samotný puk pozvolna ochladil při pokojové teplotě na maximální teplotu 111 °C, puky v bedně stále dosahovaly maximální teploty 167,6 °C. Dále je také uvedena tabulka naměřených hodnot. Čas je počítán v minutách od vyjmutí puku z formy a v posledním sloupci je uvedeno, zda se ještě na povrchu puku deformace objevovala nebo zda byl dopad dalšího puku již bez deformace.



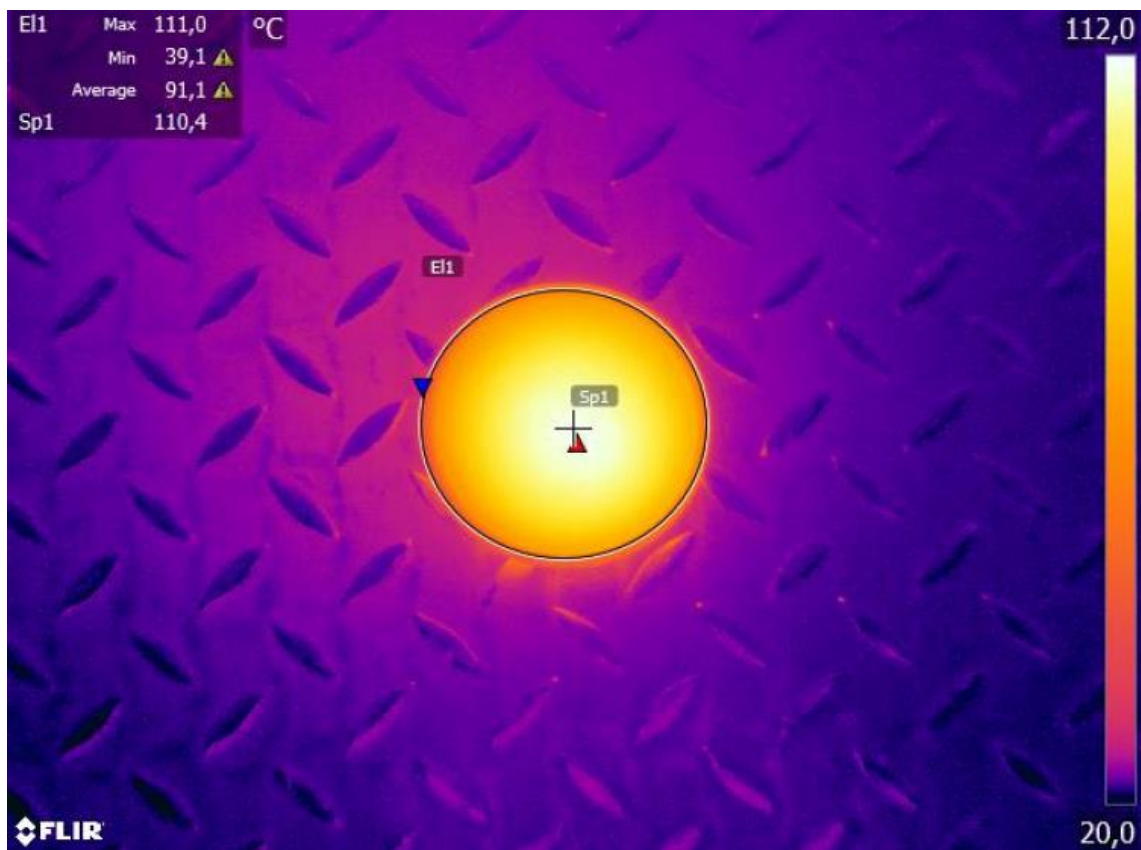


Obrázek 7.1: Snímek puku z termokamery po vyjmutí z bedny

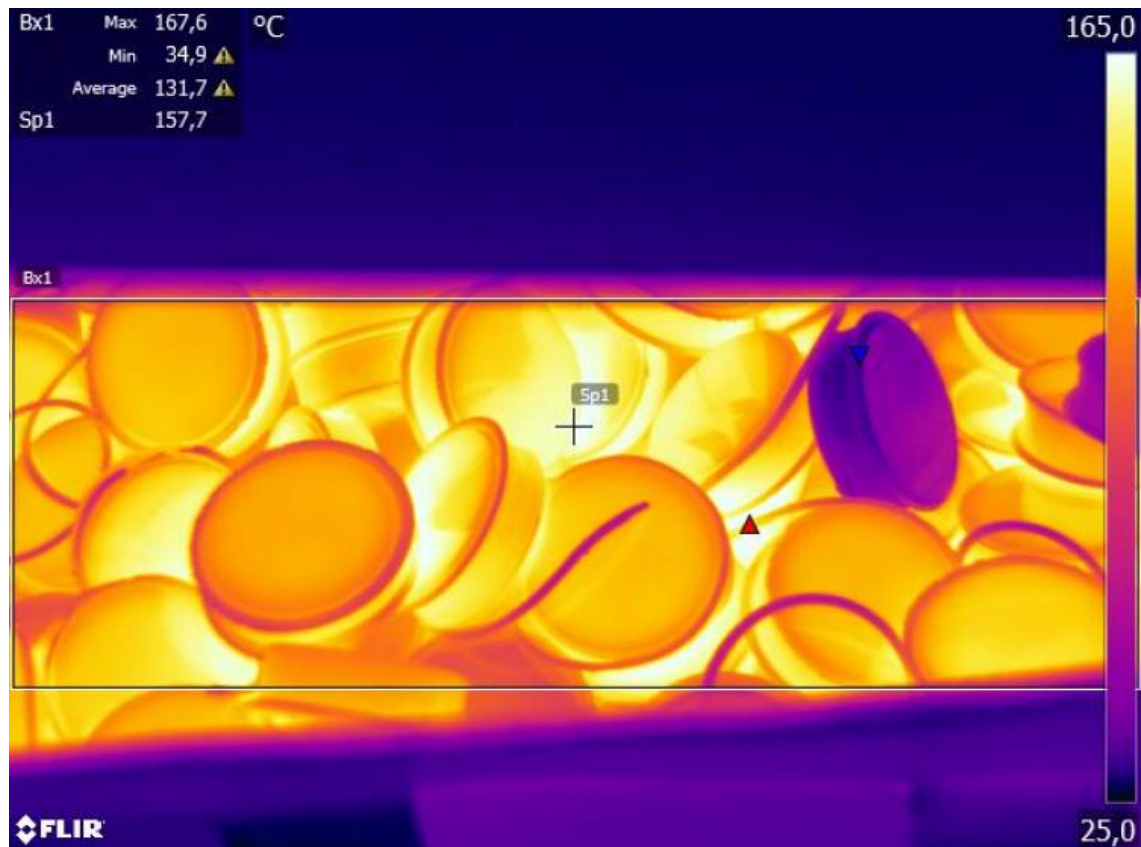


Obrázek 7.2: Snímek puku z termokamery po 4 minutách





Obrázek 7.3: Snímek puku z termokamery po 8 minutách



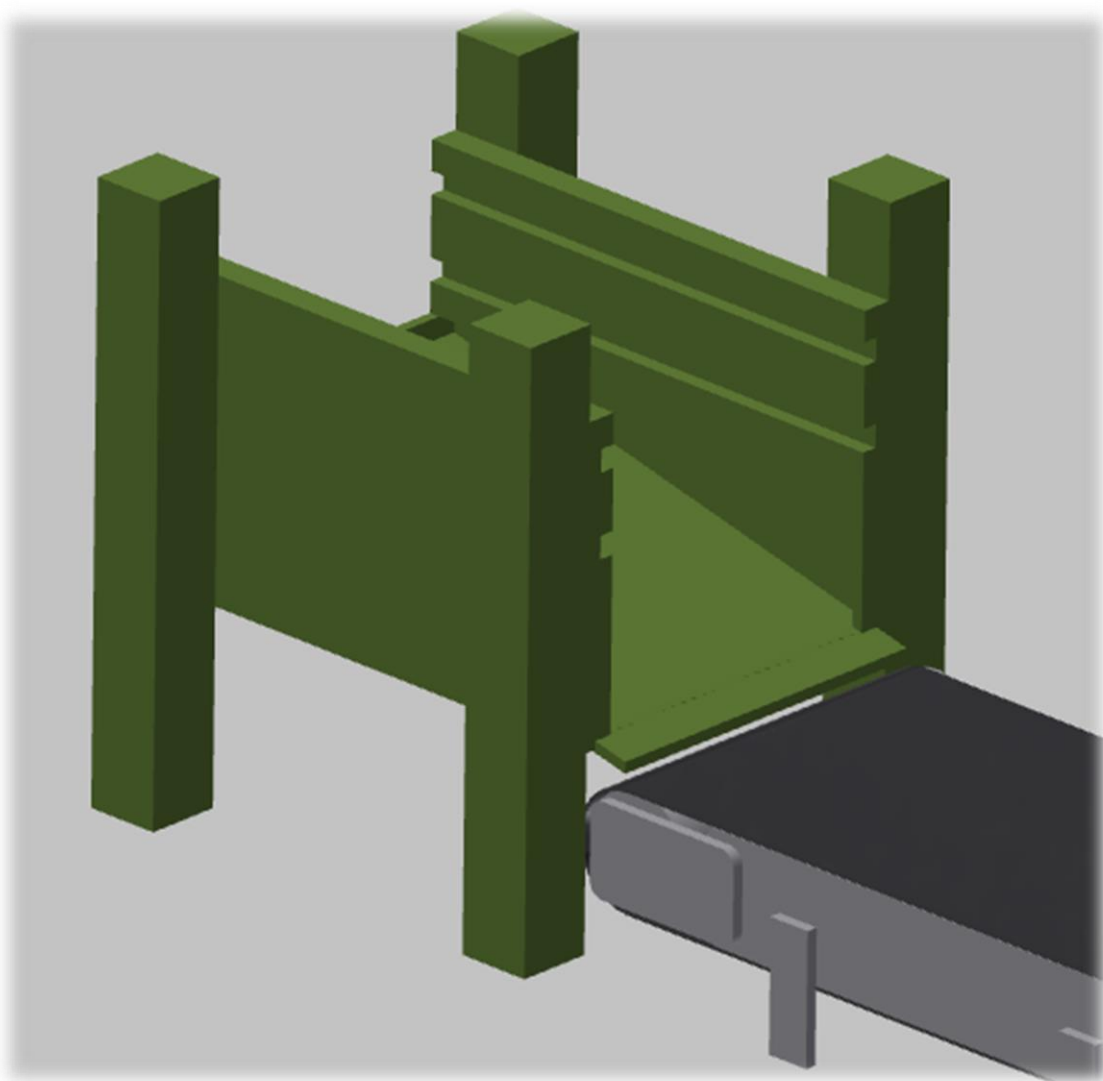
Obrázek 7.4: Snímek bedny s puky z termokamery po 8 minutách

*Tabulka 7.1: Tabulka naměřených hodnot při chlazení samotného puku*

Čas [min]	Minimální teplota [°C]	Maximální teplota [°C]	Deformace
0	52,5	149,0	Ano
4	45,9	129,3	Ano
8	39,1	111,0	Ne

## 7.2 Návrh řešení

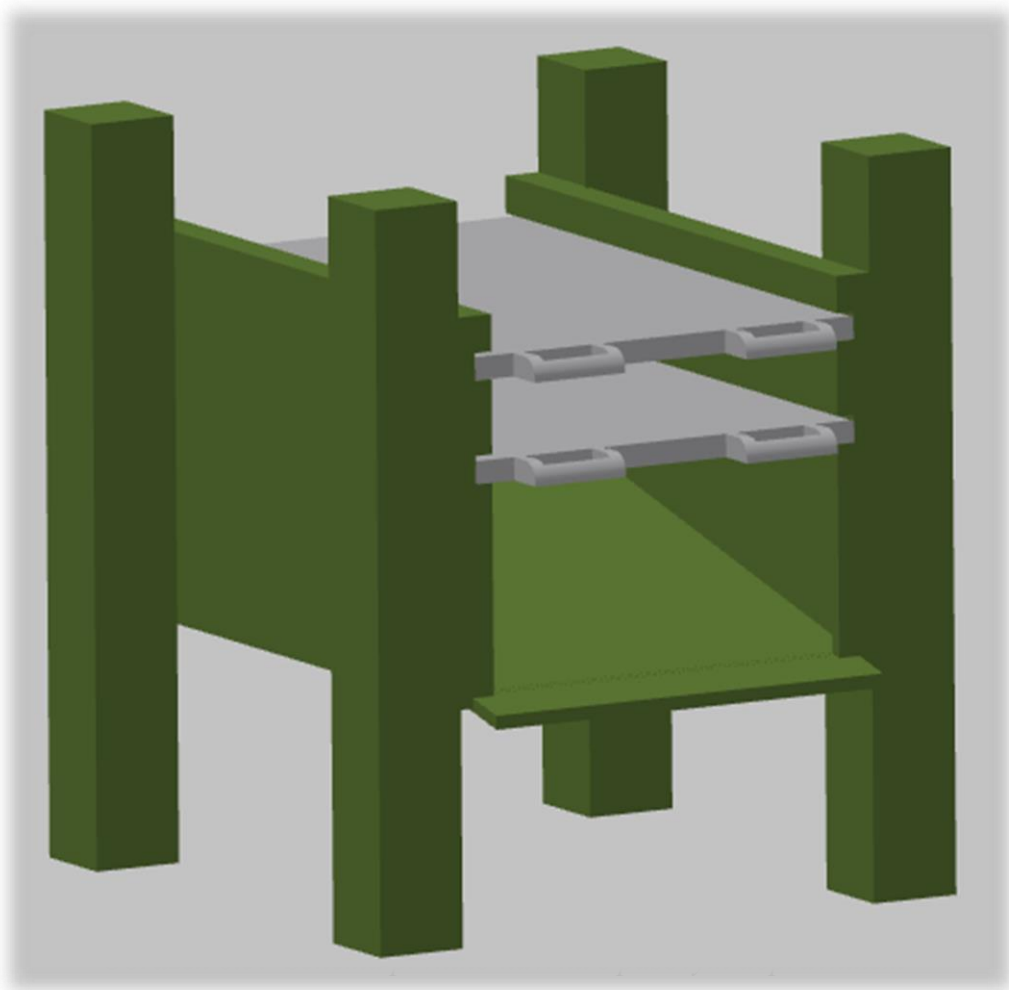
Prvním návrhem, který by minimalizoval poškození povrchu puků je pásový dopravník umístěný pod lisem. Na lisu pod formou by byl umístěn nástavec se zešíkmeným dnem, které by muselo mít hladký povrch. Tento nástavec by navazoval přímo na pásový dopravník a tím by se zmírnil dopad puků. Dopad puků z pásového



*Obrázek 7.5: Schéma prvního návrhu s pásovým dopravníkem*

dopravníku do bedny určené pro puky by byl velmi krátký, proto se dá předpokládat, že poškození povrchu puků by se neprojeвило a to ani za skutečnosti, že by se musela výrazně snižovat teplota puků.

Druhým řešením je vytvoření dvou stejně vzdálených mezipater pod úrovní forem. Tato mezipatra by představovala dvě vysunovací litinové desky z rámu lisu o rozměrech shodných s rozměrem formy. Litinové desky by zaručily dobrý odvod tepla.



*Obrázek 7.6: Schéma druhého návrhu s litinovými deskami*

Systém by fungoval tak, že by puky z obou forem vypadávaly postupně nejdříve na spodní a poté vrchní desku. Před dokončením vulkanizace dalších várek by puky vysunutím desek vypadaly do připravené bedny. I zde by mohl být ještě přidán k lisu nástavec se zešikmeným dnem pro snížení dopadu puků. Chladnutí puků na litinových deskách by tedy také mělo prokazovat kratší dobu než samotné chladnutí v bedně a tím výrazně snížit či dokonce odstranit nežádoucí povrchové poškození.

## 8 Závěry a doporučení

V této práci byla přiblížena výroba hokejových puků a s ní související návrh na zlepšení technologického postupu po vulkanizaci. Problémem bylo, že po vulkanizaci se puky dopadající do bedny o sebe deformovaly vlivem teploty, při které byly vulkanizovány. Bylo tedy nutné najít způsob jak snížit teplotu nebo výšku dopadu a tím odstranit deformace puků. Cílem tedy bylo najít vhodné řešení ke zkvalitnění vzhledu povrchu puků a snížení zmetkovitosti vlivem deformace po ukončení vulkanizace.

Pro odstranění deformace povrchu hokejových puků po vulkanizaci byla navržena dvě řešení. Obě by měla vyřešit stávající problém a snížit zmetkovitost puků, hlavně díky jejich lepšímu vzhledu. Prvním řešením bylo přidělení nástavce se šikmým dnem na lis pod formy na puky. Tento nástavec by přiváděl puky na pásový dopravník, který by byl ve výšce hrdla bedny. Druhé řešení by bylo vytvoření dvou mezipater v rámu lisu pomocí dvou vysunovacích litinových desek. Na každou by postupně vypadávaly puky z obou forem a před dokončením vulkanizace dalších puků by se původní puky vysypaly do bedny vysunutím desek z rámu lisu.

Pokud bych obě řešení měl srovnat, z hlediska automatizace by bylo vhodnější volbou první řešení. Jelikož je při výrobě puků nutná obsluha lisu, pak je lepší realizovat druhé řešení. Je ovšem také nutné zohlednit náklady spojené s realizací obou návrhů. Varianta s pásovým dopravníkem by byla výrazně nákladnější oproti variantě s litinovými deskami a to také díky nákladům na údržbu pro fungování pásového dopravníku. Vzhledem k úspoře prostoru před lisem a nákladům spojených s dlouhodobým používáním bych tedy doporučil variantu s litinovými deskami, které splní svoji funkci a nebude třeba do nich dále investovat.

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 2.1: Hokejový puk FoxTrax s kruhovým čipem [7] .....	10
Obrázek 4.1: Přesně navážené složky kaučukové směsi připravené k zamíchání ...	20
Obrázek 4.2: Schéma hnětiče a hnětacího ústrojí .....	21
Obrázek 4.3: Míchání a odkrajování směsí na dvouválcí .....	21
Obrázek 4.4: Vytlačovací stroj .....	23
Obrázek 4.5: Schéma vytlačovacího stroje na kaučukové směsi .....	24
Obrázek 5.1: Hokejový puk Classic [6] .....	25
Obrázek 5.2: Hokejový puk Junior [6] .....	26
Obrázek 5.3: Hokejové puky určené k reklamním účelům [6] .....	26
Obrázek 6.1: Nálože kaučukové směsi připravené pro vložení do formy .....	28
Obrázek 6.2: Tlakový lis určený k vulkanizaci hokejových puků .....	29
Obrázek 7.1: Snímek puku z termokamery po vyjmutí z bedny .....	32
Obrázek 7.2: Snímek puku z termokamery po 4 minutách .....	32
Obrázek 7.3: Snímek puku z termokamery po 8 minutách .....	33
Obrázek 7.4: Snímek bedny s puky z termokamery po 8 minutách .....	33
Obrázek 7.5: Schéma prvního návrhu s pásovým dopravníkem .....	34
Obrázek 7.6: Schéma druhého návrhu s litinovými deskami .....	35

## Seznam použité literatury

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] TYMA. Historie kaučuku a pryže [online]. [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy/historie-kaucuk-pryz/>
- [3] Madehow. Hockey puck [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-6/Hockey-Puck.html>
- [4] SportsTech. FoxTrax Puck Tracking Failure [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <https://ictvictor.wordpress.com/tag/foxtrax/>
- [5] PowePlay Magazin. Černá vulkanizovaná guma [online]. [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <http://ppm.powerplaymanager.com/hu/pp-magazin-cikk.html?data=cs-8175-cerna-vulkanizovana-guma>
- [6] Rubena. Hokejové puky [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://www.rubena.eu/index.php?stranka=4&scid=238&jazyk=cesky>
- [7] Český svaz ledního hokeje. Pravidla ledního hokeje [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://www.cslh.cz/text/119-pravidla-ledniho-hokeje.html>
- [8] Gufex. Hrací puky [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: [http://www.gufex.cz/hraci\\_puky.html](http://www.gufex.cz/hraci_puky.html)