

Optimalizace výrobního procesu prostřednictvím nástrojů LEAN

Bc. Michal Zouhar

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Michal Zouhar
Osobní číslo: T22345
Studijní program: N0788A270007 Řízení jakosti
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Optimalizace výrobního procesu prostřednictvím nástrojů LEAN

Zásady pro vypracování

- Zpracujte rešerši na dané téma
- proveďte analýzu současné situace
- Na základě analýzy navrhnete nová opatření a jejich zavedení do provozu
- Formulujte závěry na základě zhodnocení navržených změn.

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

Seznam doporučené literatury:

1. SODOMKA, Petr a Hana KLČOVÁ. Informační systémy v podnikové praxi. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2878-7.
2. BARTOŠ, Vladimír. Řízení a optimalizace výrobních procesů: Štíhlá výroba. Business world: Řízení a optimalizace výrobních procesů: Štíhlá výroba
3. BLECHARZ, Pavel. Základy moderního řízení kvality. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2011, 122 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-86929-75-0.
4. MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešení úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milena Kubišová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá popisem optimalizace výroby vulkanizačního lisu pomocí nástrojů štíhlé výroby LEAN. První část je věnována teoretickému seznámení s procesem optimalizace prostřednictvím nástrojů štíhlé výroby a jejich jednotlivých popisem. Dále je teoretická část zaměřena na popis funkce a druhy vulkanizačních lisů. Praktická část je věnována aplikaci těchto metod ve výrobním procesu vulkanizačního lisu, zjištění problematických procesů a jejich optimalizaci. V praktické části je zjištěno, že nejméně zanedbatelná problematika výrobního procesu vulkanizačního lisu je spotřeba vzduchu. Bude navržen optimalizační proces pro její snížení, jeho aplikace a interpretace výsledků před a po aplikaci.

Klíčová slova: Vulkanizační lis, LEAN, Optimalizace, Výrobní proces

ABSTRACT

This thesis deals with the description of the optimization of the production of a vulcanizing press using Lean Manufacturing Tools. The first part is devoted to the theoretical introduction of the optimization process, lean manufacturing tools and description of its individual Methods. Then the theoretical part is focused on the description of the vulcanizing press functions and their types. The practical part is devoted to the application of these methods in the production process of the vulcanizing press, the identification of problematic processes and their optimization. In the practical part it is found that the least negligible problem of the vulcanizing press production process is air consumption. An optimization process for its reduction, its application and interpretation of the results before and after application will be proposed.

Keywords: Curing press, LEAN, Optimization, Production process

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí své diplomové práce Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE VÝROBNÍHO PROCESU	12
1.1 CO JE TO VÝROBNÍ PROCES	12
1.2.2 Země.....	13
1.2.4 Podnikání.....	13
1.3 ŘÍZENÍ VÝROBNÍHO PROCESU A METODA SPC.....	14
1.3.1 Diagram Xbar-R.....	15
1.3.2 Analýza způsobilosti procesu.....	15
2 POJEM OPTIMALIZACE	17
2.1 PLÁNOVÁNÍ VÝROBY	17
2.2 POSTUP OPTIMALIZAČNÍHO PROCESU	17
2.3 TYPY OPTIMALIZACÍ.....	18
2.3.1 Optimalizace výrobních procesů.....	18
2.3.2 Optimalizace výrobních dávek.....	18
2.3.3 Optimalizace materiálového složení	18
2.3.4 Optimalizace výrobních postupů.....	18
2.3.5 Optimalizace plánování výroby	19
2.3.6 Optimalizace podpůrných procesů.....	19
3 VULKANIZAČNÍ LISY	20
3.1 LISOVACÍ STROJE.....	20
3.1.1 Mechanické	21
3.1.2 Hydraulické	21
3.1.3 Pneumatické	23
3.2 HISTORIE VULKANIZACE	23
3.3 PROCES VULKANIZACE	24
3.4 TVAROVÁNÍ A VULKANIZACE PRYŽOVÝCH VÝROBKŮ	24
3.4.1 Lisování a vulkanizace pryže	25
4 LEAN A JEHO NÁSTROJE	30
4.1 5X WHY?	30
4.1.1 Princip použití 5x WHY?.....	30
4.2 IŠIKAWŮV DIAGRAM.....	31
4.2.1 Išikawův diagram 6Ms.....	32
4.2.2 Išikawův diagram 8P.....	32
4.2.3 Išikawův diagram 4S.....	32
4.2.4 Jednoduchý Išikawův diagram.....	32
4.2.5 Išikawův diagram 3M	33

4.3	PARETOVO PRAVIDLO.....	33
4.3.1	Historie Paretova pravidla.....	33
4.3.2	Účel Paretova pravidla	34
4.3.3	Paretův diagram	34
4.4	HISTOGRAM	35
4.4.1	Popis a princip histogramu.....	35
4.4.2	Z čeho je histogram tvořen.....	36
4.4.3	Význam	36
5	SIX SIGMA.....	38
5.1	HISTORIE A VÝVOJ.....	38
5.2	CÍLE METODY SIX SIGMA	38
5.3	ÚČEL	39
5.3.1	DMAIC	40
5.3.2	Design for Six Sigma	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	43
	CÍLE PRÁCE.....	44
6	OPTIMALIZACE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI VULKANIZAČNÍHO LISU.....	45
6.1	ENERGIE VULKANIZAČNÍHO LISU.....	45
6.1.1	Vodní pára.....	45
6.1.2	Hydraulický systém.....	47
6.1.3	Pneumatický systém.....	50
6.1.4	Elektrická energie.....	56
6.1.5	Lidský faktor	57
6.2	SMYSL HLEDÁNÍ ÚSPOR	57
7	HLEDÁNÍ KRITICKÉHO BODU STROJE POMOCÍ NÁSTROJŮ LEAN.....	59
7.1	IŠIKAWŮV DIAGRAM ENERGIÍ VULKANIZAČNÍHO LISU	59
7.2	ENERGIE VULKANIZAČNÍHO LISU METODO 5 X WHY?	60
7.2.1	Výhřev vodní párou.....	60
7.2.2	Hydraulický systém.....	60
7.2.3	Pneumatický systém.....	61
7.2.4	Elektrická energie.....	61
7.2.5	Lidský faktor	62
7.3	PARETOVA ANALÝZA ELEKTRICKÝCH ENERGIÍ V PRŮMYSLU.....	62
7.3.1	Elektrická energie.....	63
7.3.2	Stlačený vzduch	63
7.3.3	Vodní pára	63
7.3.4	Hydraulický olej.....	63
7.3.5	Lidská síla	63
8	OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU VULKANIZAČNÍHO LISU.....	64

8.1	PLÁN OPTIMALIZACE	64
8.2	VHODNÉ VÁLCE PRO SNÍŽENÍ TLAKU	65
8.2.1	Zakládání	65
8.2.2	Vykládání	65
8.2.3	Dopravníky	66
8.3	SPOTŘEBA STLAČENÉHO VZDUCHU PŘED OPTIMALIZACÍ	66
8.3.1	Průtokoměr a jeho zapojení	67
8.4	SBĚR DAT PŘED OPTIMALIZACÍ	70
8.4.1	Referenční výsledky spotřeby vzduchu	71
8.5	INSTALACE REGULÁTORŮ TLAKU NA PNEUMATICKÉ VÁLCE	75
8.5.1	Regulátor tlaku vzduchu	75
8.5.2	Vyhodnocení naměřených dat po optimalizaci	77
8.5.3	Vyčíslení úspor	84
8.6	NÁVRH DALŠÍCH OPTIMALIZAČNÍCH ŘEŠENÍ	85
	ZÁVĚR	87
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	89
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK	97

ÚVOD

Tato diplomová práce se věnuje široké problematice štíhlé výroby, což je koncept efektivního řízení výrobních procesů za účelem maximalizace hodnoty pro zákazníka při minimalizaci plýtvání zdroji. Jedním z hlavních cílů je zkoumání různých metod a postupů v oblasti štíhlé výroby a jejich následná aplikace do konkrétního průmyslového prostředí.

Teoretická část práce podává důkladný přehled základních principů a metod štíhlé výroby. Začínáme definicí samotného konceptu Lean Manufacturing a jeho historickým vývojem. Dále se zabýváme klíčovými aspekty jako je eliminace plýtvání, zvyšování kvality, zkracování času výroby a zapojení zaměstnanců do procesů kontinuálního zlepšování. Součástí této části je také detailní popis nástrojů a metodik, které jsou často využívány při implementaci Lean principů, jako je například Paretovo pravidlo, Six Sigma, Histogram, analýza 5x WHY? a další.

Dalším důležitým bodem je teoretický pohled na tvářecí stroje a stroje určené pro zpracování a vulkanizaci kaučuku, které jsou klíčovými prvky ve výrobním procesu, na který se tato práce zaměřuje. Zde je podrobně analyzován proces vulkanizace pryže, jeho důležitost pro průmysl a zákazníka, a to jak z technického, tak z ekonomického hlediska.

V této části je také proveden důkladný rozbor lisovacích zařízení s vulkanizací, známých také jako vulkanizační lisy. Jsou zde popsány jejich principy fungování, klíčové komponenty a technické parametry. Důraz je kladen na jejich roli a význam v rámci výrobního procesu vulkanizace a možnosti jejich optimalizace z hlediska efektivity, výkonu a kvality výsledného produktu.

Praktická část diplomové práce se pak zaměřuje na konkrétní aplikaci principů štíhlé výroby na výrobní proces vulkanizačního lisu. Za pomoci metod a nástrojů Lean bude provedena důkladná analýza aktuálního stavu výrobního procesu na sledovaném stroji. Tato analýza identifikuje možná místa plýtvání, nedostatky v procesu a příležitosti pro zlepšení. Na základě této analýzy budou navrženy a implementovány konkrétní opatření a změny, s cílem optimalizovat výrobní proces vulkanizačního lisu, a to jak z procesního, tak z environmentálního hlediska.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE VÝROBNÍHO PROCESU

Tradiční postupy při návrhu výrobních systémů jsou vystaveny neustálým výzvám, které jsou způsobeny častými změnami v podnikatelském prostředí. Dnešní trhy vyžadují, aby výrobní systémy splňovaly náročné požadavky na produktivitu, kvalitu a současně nízké náklady. Vztahy mezi těmito faktory jsou pro úspěch firmy velmi důležité. Podle teorie systémů je výrobní systém složitým systémem, který se skládá z vysoce propojených částí a je nezbytné přistupovat k řešení základních problémů návrhu výrobních systémů prakticky. Klíčová je schopnost účinně řešit rozsáhlé a komplexní problémy, neboť dnešní produkty se skládají z mnoha podsystémů a různorodých technologií, což ztěžuje jim plně porozumět.[1]

1.1 Co je to výrobní proces

Dle ISO 9000 je pojem proces definován následovně:

„Proces je soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících činností, které přeměňují vstupy na výstupy“[2]

Výrobní proces je nedílnou součástí každé firmy, každého podnikání. Jedná se o proces transformace surovin a nápadů na výsledné produkty a služby. Nastavení výrobního procesu je jedna z nejdůležitějších kroků každé společnosti, protože má významný vliv na výslednou výkonnost podniku. Je možné výrobní proces definovat jako proces ve kterém jsou vstupní zdroje přeměňovány na výrobky, zboží a služby.[3]

1.2 Výrobní faktory

Výrobní proces, jak v jeho rané fázi návrhu, tak ve fázi výroby ovlivňuje několik faktorů.[1] Výrobní faktory představují zdroje, které tvoří základní stavební kameny ekonomiky; jsou to prostředky, které lidé využívají k výrobě zboží a poskytování služeb. Ekonomové tyto výrobní faktory klasifikují do čtyř hlavních kategorií: půda, práce, kapitál a podnikání.[4]

1.2.1 Práce

K tomuto faktoru je možné přiřadit veškeré lidské pracovníky, kteří se na výrobním procesu budou podílet, čas a úsilí, které budou do procesu vloženy. Do tohoto faktoru je možné zařadit kompletně všechny členy týmu jako vedoucí pracovníky, operátory, pracovníky údržby a další, kteří se o starají o technický stav výrobních zařízení a kontroling.[3]

1.2.2 Země

Země zahrnuje veškeré přírodní zdroje využívané k výrobě zboží a poskytování služeb; jedná se o vše, co se nachází na povrchu Země. Mezi běžné přírodní zdroje patří voda, ropa, měď, zemní plyn, uhlí a lesy. Tyto přírodní zdroje slouží jako suroviny ve výrobním procesu. Některé z těchto zdrojů jsou obnovitelné, jako je dřevo z lesů, zatímco jiné jsou neobnovitelné, jako je ropa nebo zemní plyn.[4]

1.2.3 Kapitál

Pojmem kapitál je z ekonomického hlediska obvykle odkazováno na peníze. Přesto peníze nejsou samy o sobě považovány za součást kapitálu jako výrobního faktoru, protože nepatří přímo do fyzické výroby zboží nebo služeb. Místo toho peníze usnadňují pořízení věcí, které jsou považovány za kapitál. Za kapitál jsou považovány položky, které umožňují jednotlivci nebo firmám vyrábět zboží a poskytovat služby. Patří sem například stroje. V moderní ekonomii je kapitál považován za hlavní motor hodnoty.[5]

1.2.4 Podnikání

Tento faktor je možné chápat jako odborné znalosti. Tento faktor se v průběhu času stává rozhodujícím výrobním faktorem pro úspěch firem. Důsledkem toho byla pravomoc přenesena na jednotlivce, kteří disponovali pokročilými znalostmi a dovednostmi potřebnými pro moderní průmysl. Těmito jednotlivci jsou manažeři, vědci, inženýři nebo právníci. Podnikání, nebo jinak řečeno znalosti, může být faktor, který je nejobtížnější získat nebo nahradit.[5]



Obrázek 1 Čtyři faktory výrobního procesu [6]

1.3 Řízení výrobního procesu a metoda SPC

Řízení výrobního procesu má zásadní význam. Výrobní procesy jsou ovlivňovány nejrůznějšími faktory, přitom některé z výrobních faktorů jsou velmi složité. Statistická kontrola procesů (SPC) využívá statistické metody k monitorování a řízení výrobních procesů s cílem zlepšit jejich kvalitu. Techniky SPC zahrnují užití regulačních diagramů a analýzu způsobilosti procesu.

Tato metoda je schopna identifikovat výrobní procesy, které potřebují zlepšení, sbírá a ověřuje data, používá analýzu kontrolních diagramů Xbar-R a analýzu způsobilosti procesu, zkoumá příčiny, navrhuje opatření ke zlepšení a implementuje kroky vedoucí ke zlepšení.

SPC je využívána pro kontrolu kvality výrobního procesu. Analýza způsobilosti procesu hraje důležitou roli při aplikaci metody SPC pro řízení kvality. Analýzu způsobilosti procesu je možné provést, jen když je výrobní proces stabilní. Ale i když výrobní proces stabilní je, neznamená to, že způsobilost procesu splňuje požadavek. Regulační diagramy Xbar-R v metodě SPC lze použít k řízení výrobního procesu ve fázích analýzy a monitorování.[7]

1.3.1 Diagram Xbar-R

Xbar diagram umožňuje monitorovat průměrnou hodnotu procesu, pokud máte souvislá data v podskupinách. Tento kontrolní diagram umožňuje sledovat stabilitu procesu v čase, což vám pomáhá identifikovat a napravit jakoukoli nestabilitu v procesu.

Graf Xbar-R slouží ke sledování průměru a kolísání procesu. Pomocí tohoto kontrolního diagramu můžete sledovat stabilitu procesu v průběhu času, abyste mohli identifikovat a opravit nestabilitu v procesu. Diagram Xbar zobrazuje průměrnou hodnotu měření v každé skupině dat. Střední čára reprezentuje průměr všech průměrů jednotlivých skupin. Body, které se vymykají kontrole, mohou zkreslovat odhady parametrů procesu a narušit přesnost kontrolních limitů, které reprezentují skutečný stav vašeho procesu. Pokud jsou tyto odchylky způsobeny zvláštními příčinami, mělo by se zvážit, zda tyto body z analýzy vyřadit. [8]

1.3.2 Analýza způsobilosti procesu

Analýza způsobilosti procesu obvykle zahrnuje následující základní kroky: nastavení kontroly nad procesem, analýzu dat procesu a identifikaci zdrojů odchylek. Regulační diagramy Xbar-R, používané v metodě SPC, jsou využívány k monitorování střední hodnoty a rozsahu procesních dat.

Metoda řízení výrobního procesu využívá analýzu dat a aplikaci SPC pro neustálé zlepšování kvality. Tato metoda identifikuje výrobní procesy, používá kontrolní diagramy, histogramy, analýzu schopnosti procesu a další metody, které jsou kombinovány pro analýzu a kontrolu výrobního procesu s cílem neustálého zlepšování kvality. Vyvinutá metoda zahrnuje uvedené kroky. [7]

- ***Identifikace výrobního procesu***

Identifikujte výrobní proces a kontroluje, jestli ve výrobním procesu nedochází k nějaké abnormalitě, z důvodu snížení vadnosti produktů a pro zlepšení kvality.[7]

- ***Sběr dat***

Shromažďují se data výrobního procesu podle jeho stavu.[7]

- ***Ověření dat***

Kontrola a ověření shromážděných dat, aby se předešlo výskytu možných chyb.[7]

- **Analýza výrobního procesu**

Analyzují se řídicí diagramy Xbar-R a sledují se neobvyklé odchylky výrobního procesu. Je provedena analýza způsobilosti procesu, aby se zjistilo, zda výrobní proces splňuje požadavek.[7]

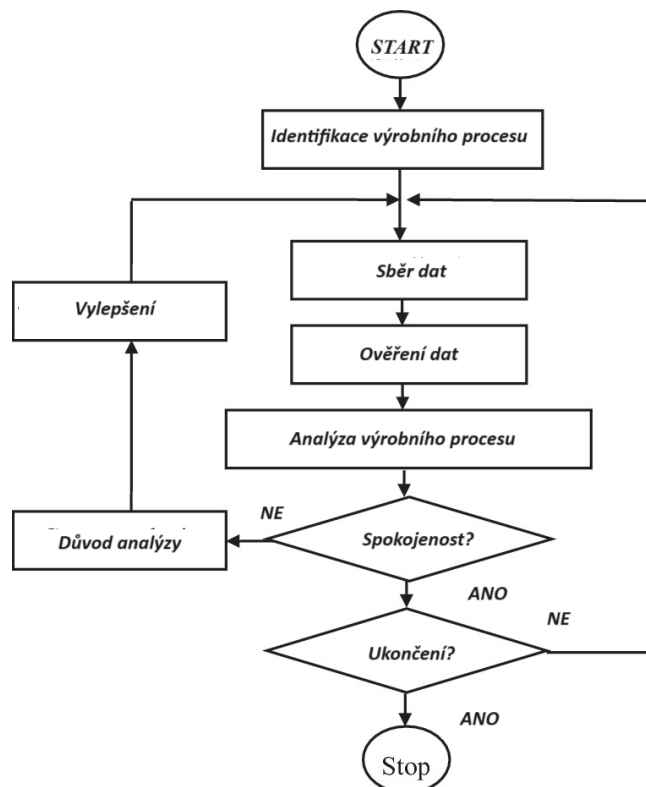
- **Analýza příčin**

Provede se kontrola výrobního procesu a naleznou se možné příčiny anomálií a odchylek.[7]

- **Zlepšení výrobního procesu**

Realizace opatření pro zlepšení kvality výrobního procesu.

Výrobní proces je nutné průběžně sledovat pro kontrolu, zda splňuje předepsané požadavky. Pokud výrobní proces požadavek splňuje, pak nejsou nutná žádná další opatření. Pokud výrobní proces požadavek nespĺňuje, pak je zapotřebí více akcí ke sběru dat, jako jsou kreslení řídicích diagramů, provádění analýzy způsobilosti procesu, hledání příčin anomálií a vytváření opatření a provádění akcí. Postup metody je znázorněn na Obrázku 2.[7]



Obrázek 2 Postup analýzy způsobilosti procesu [7]

2 POJEM OPTIMALIZACE

Optimalizace výrobního procesu je možno definovat jako hledání efektivnějších řešení pro výrobu. Tento proces by měl být jednou z hlavních součástí obchodní strategie, která ve výsledku přinese výhody nejen zákazníkům, ale také pomáhá zvyšovat výkon výrobních procesů a zajišťuje prospěch celému podniku. Tradiční plánovací metody podniků jsou založeny na přesně definovaných matematických modelech. Pokud je však počet parametrů modelu vysoký a prostředí je proměnlivé, pak mohou být praktické aplikace omezené.[9]

2.1 Plánování výroby

Pokud se firma snaží o optimalizaci své výroby, je důležité důkladně prověřit plánování výroby. Plánování výroby představuje jednu z klíčových činností v průmyslových podnicích. Jeho cílem je minimalizovat dobu výroby a s ní související náklady, co možná nejefektivněji řídit využití zdrojů a maximalizovat produktivitu pracovních sil. V oblasti plánování a řízení výroby bylo vyvinuto mnoho matematických modelů, které se zaměřují na optimalizaci různých aspektů. Tyto modely obvykle pracují s jedinou cílovou funkcí, která má za úkol minimalizovat celkové náklady. Celkové náklady zahrnují výrobní náklady, správu zásob a rizika spojená s nedostatkem zásob, při různých omezeních, jako jsou například kapacitní omezení v jednotlivých obdobích plánování výroby.

Výše popsany ideální model je většinou velmi obtížné realizovat kvůli složitosti technologických a výrobních procesů. Striktní matematické přístupy vyžadují zohlednění mnoha parametrů, což může způsobit komplikace při úspěšné implementaci modelu.[9]

2.2 Postup optimalizačního procesu

Jednotlivé kroky procesu optimalizace mohou vypadat například takto.

- Identifikace jednotlivých součástí systému, jež se má optimalizovat.
- Výběr části výrobního procesu, jež má být optimalizován.
- Výběr uzlu, na kterém bude nejvíce zřejmý výsledek změny.
- Rozvést přívod a odtok materiálu.
- Výpočet časové prodlevy v závislosti na rychlosti všech součástí.
- Výběr účinku na změnu vlastností vybrané součásti.
- Opakování postupu pro všechny jednotlivé součásti.

- Optimalizace výrobního systému.[9]

2.3 Typy optimalizací

Jako nejběžnější typy optimalizací je možné zvažovat následující.[9]

2.3.1 Optimalizace výrobních procesů

Úkoly týkající se této formy optimalizace mohou zahrnovat technické vybavení výrobního procesu, stejně jako aspekty spojené s materiály, energií a dalšími procesy. Cílem optimalizace výrobního procesu je nalézt řešení, která umožní vyrábět výrobky s požadovanou kvalitou za minimální náklady.[9]

2.3.2 Optimalizace výrobních dávek

Společnost musí rozhodnout, zda je vhodnější vyrábět pouze aktuální zakázky nebo si udržovat určité rezervy. Pokud se firma rozhodne vyrábět v menších objemech, musí počítat s vyššími náklady na výrobu. Na druhou stranu, pokud se výroba provádí ve větších množstvích, mohou se zvýšit náklady spojené se skladováním zásob a existuje riziko, že majetek bude uložený v zásobách. Stanovení optimální velikosti výrobní dávky může pomoci snížit všechny tyto náklady spojené s výrobou.[9]

2.3.3 Optimalizace materiálového složení

Je možné vytvořit požadovaný produkt, buď z kvalitních materiálů, nebo z levnějších materiálů, které vyžadují více pracovní síly, ale generují vyšší příjmy ze zainteresovaných procesů. Tím, že se použijí tyto přístupy, je možné dosáhnout produktu stejné kvality za použití strategií, které minimalizují výrobní a materiálové náklady na produkt.[9]

2.3.4 Optimalizace výrobních postupů

Často jsou výrobní postupy navrhovány bez zohlednění nákladů na zavedení procesu, protože samotná výroba může být závislá na počtu pracovníků. Optimalizací výrobního postupu je možno identifikovat nejvýhodnější variantu výroby.[9]

2.3.5 Optimalizace plánování výroby

Mezi nejnáročnější optimalizační funkce patří optimalizace průběžného plánování výroby. Čas zde hraje zásadní roli, protože v praxi může být nutné reagovat na požadavky zákazníků v řádu hodin, to platí i v případě poruchy stroje nebo nedostatku surovin.[9]

2.3.6 Optimalizace podpůrných procesů

Velké množství firem se zaměřuje především na výrobu a přehlíží klíčové procesy, jako jsou údržba, doprava, energetika, skladování nebo administrativa. Hlavním důvodem může být, že výsledky těchto oblastí jsou často nehmotné povahy a představují spíše služby než konkrétní výrobky.[9]

3 VULKANIZAČNÍ LISY

Vulkanizační stroj představuje mechanické zařízení vyhrazené pro provádění procesu vulkanizace pryže, který je klíčový v oblasti gumárenského průmyslu. Hlavními částmi tohoto zařízení jsou vulkanizační komora, řídicí jednotka, topný mechanismus, tlakový systém a chladicí soustava.[10]

3.1 Lisovací stroje

Za lisy jsou obecně považovány tvářecí stroje, u kterých pohyblivá deska působí tlakem na tvářený dílec. Lisy je možné dle použití rozdělit na montážní, prostřihovací, přetlačovací, tabletovací a vulkanizační. Při procesu lisování se materiál vkládá do tvarové dutiny, pohyblivá deska materiál vtlačí a tvaruje dle tvaru dutiny.[11]



Obrázek 3 Jednovrstvý tabletovací lis Sejong Vantix P420s [12]

Lisy lze rozdělit i dle způsobu tvorby lisovací síly. Mohou tedy být:

3.1.1 Mechanické

Pro pohyb a přítlačnou sílu jsou používány mechanické systémy, které je možné dále rozdělit na pákové, vřetenové, výstředníkové, klikové a další. Lisy, pro něž je nutné použít lidskou sílu jsou obvykle pákové nebo hřebenové. Tyto lisy se používají na jednoduché montážní práce a dokážou vyvinout sílu mezi 7 až 30 kN. Největší sílu mezi ručními mechanickými lisami lze vyvinout na lise vřetenovém, který dokáže vytvořit lisovací sílu mezi 50 až 400 kN. Tyto lisy využívají pro přenos mechanické energie vřeteno a matici.[11]



Obrázek 4 Mechanický lis s elektropohonem na děrování plechu [13]

3.1.2 Hydraulické

Tyto typy lisů využívají pro svůj pohyb a vyvození přítlačné síly tlakové kapaliny. Pohon pro lisy může být individuální, to znamená, že každý lis disponuje svým vlastním hydraulickým agregátem nebo centrální, tedy že jeden hydraulický agregát vytváří tlak kapaliny pro více lisů. Individuální pohon je výhodnější z hlediska zorganizování výroby,

lisy s vlastním pohonem nemusí čekat například na otevření vedlejšího lisu, protože oba mají vlastní pohony. Na druhou stranu jsou více energeticky náročné. Z pohledu úspory je výhodnější použít centrální pohon.[11]

Síla, kterou mohou hydraulické lisy použít je závislá na síle hydraulického agregátu a na použitých hydromotorech. Pro lineární hydromotory platí tyto vzorce:

$$F = p \cdot S \quad (1)$$

Rovnice 1 je obecný vzorec pro výpočet síly [11]

$$F = p \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

Rovnice 2 je vzorec pro výpočet síly pneumatických nebo hydraulických válců [11]



Obrázek 5 Příklad lisu s hydraulickým pohonem [14]

3.1.3 Pneumatické

Tento typ lisů se konstrukčně podobá lisům hydraulickým, ale nedokážou vyvinout stejně vysoké lisovací síly. Důvod nižší lisovací síly je nižší tlak stlačeného vzduchu nebo jiného plynného média. Pro výpočet zavírací síly pneumatických lisů platí stejné vzorečky jako pro lisy hydraulické. Provoz pneumatického lisu je energeticky poměrně náročný, ale jeho pracovní rychlosti jsou podstatně vyšší.[11]



Obrázek 6 Příklad lisu s pneumatickým pohonem [15]

3.2 Historie vulkanizace

Domorodci Jižní a Střední Ameriky byli známí tím, že po mnoho generací využívali kaučuk, ale jejich pryžové výrobky byly citlivé na extrémní teploty, což způsobovalo, že se v zimních měsících stávaly křehkými. Ve 30. letech 19. století se vynálezci snažili vyvinout pryžové výrobky odolné vůči těmto změnám počasí. V roce 1839 americký vynálezce Charles Goodyear objevil, že odstranění síry z kaučuku a jeho následné zahřátí způsobí, že zůstane pružný, ale zároveň tvrdne. Tento proces se nazývá vulkanizace. Vulkanizační proces umožnil výrobu pryžových výrobků, které byly odolné vůči povětrnostním vlivům. S rozvojem konceptu makromolekul v 20. letech 20. století, který byl oceněn Nobelovou

cenou, přinesly síťovací reakce síry několik inovací, které vylepšily mechanické vlastnosti pryže, jako je pevnost, pružnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení. [16]

3.3 Proces vulkanizace

Vulkanizace je proces často využívaný u materiálů z pryže nebo elastomerů, které se po podrobení velké mechanické deformaci samovolně vrátí do svého původního tvaru. Vulkanizace může být popsána jako proces, který zvyšuje odolnost proti deformaci a snižuje trvalé deformace, které zůstávají po odstranění deformujících sil. Tímto způsobem se zvyšuje pružnost materiálu a zároveň se snižuje jeho schopnost trvale se deformovat. Obvykle se dosahuje vytvořením síťové struktury molekul.

Podle teorie elasticity pryže je síla, která odolává deformaci, přímo úměrná počtu polymerních řetězců nesoucích síťové spoje v jednotkovém objemu elastomeru. Tyto řetězce, nazývané podpůrné polymerní řetězce, jsou lineárními segmenty mezi síťovými vazbami. Zvýšení počtu vazeb nebo příčných vazeb znamená větší množství podpůrných řetězců. V nevulkanizovaném lineárním polymeru, který má vysokou molekulovou hmotnost (nad bodem tání), jsou molekulární řetězce pouze propleteny.

Vulkanizace představuje proces vytváření síťových spojů tím, že se do polymerních řetězců vkládají příčné vazby. Tyto vazby mohou být například skupiny atomů síry v krátkém řetězci, jednoduchý sírový atom, vazba mezi uhlíky, polyvalentní organický radikál, iontový klastr nebo polyvalentní ion kovu. Tento proces obvykle probíhá při zahřívání směsi kaučuku s vulkanizačními látkami pod tlakem. [17]

3.4 Tvarování a vulkanizace pryžových výrobků

Tvarování pryžových výrobků probíhá pomocí čtyř obecných technik: vytlačování, kalandrování, potahování nebo lisování a odlévání. Vše závisí na konečném produktu, ale obecně lze tvrdit, že lze použít více než jednu techniku tvarování.

Vytlačování pryže je proces, při kterém se vysoce plastická pryž protlačuje skrz šnekové extrudéry. Kalandrování zahrnuje postupný průchod pryže mezi válci, mezi kterými se postupně zmenšují štěrbiny. Proces válečková-matrice kombinuje tyto dva postupy, čímž tvoří vylepšený výsledný produkt, na rozdíl od těchto individuálních procesů. Povlakování

využívá kalandrování k aplikaci vrstvy pryže nebo k vytlačení pryže do tkaniny nebo jiného podkladu.

Pryžové výrobky, jako jsou podrážky a paty bot, těsnění, přísavky a zátky lahví, se odlévají pomocí forem. Lisování je také krokem při výrobě pneumatik. Tři hlavní způsoby lisování pryže jsou lisování, přetlačování a vstřikování. K vulkanizaci pryže dochází spíše během procesu formování než jako samostatný krok. V této diplomové práci bude provedena optimalizace stroje s teplotním lisováním.[18]



Obrázek 7 Příklad pryžového profilu vytlačovaného z vytlačovací hlavy [19]

3.4.1 Lisování a vulkanizace pryže

Lisování pryže je klíčovým procesem výroby, který přeměňuje surovou, nevulkanizovanou pryž na pevné a univerzální díly, vhodné pro různé aplikace. Tato technika je klíčová pro přesnou výrobu součástí, které mohou nabývat složitých tvarů a vzorů a zároveň poskytují vynikající odolnost. Díky své efektivitě ve hromadné výrobě minimalizuje tento proces odpad a zajišťuje konzistentní kvalitu, což ho činí nákladově efektivní volbou pro různá průmyslová odvětví. Přirozená odolnost pryže vůči náročným podmínkám, jako jsou extrémní teploty a koroze ji dělá vhodnou pro různé náročné aplikace.[20]

Flexibilita lisování pryže umožňuje širokou škálu úprav pryžových směsí, aby vyhovovaly specifickým požadavkům na výkon. Tento aspekt je klíčový zejména v průmyslových odvětvích, kde je kladen důraz na přesnost a odolnost materiálu, jako je automobilový průmysl a zdravotnictví. V důsledku toho se lisování pryže jeví jako nepostradatelný proces ve výrobním prostředí, poskytující robustní, spolehlivá a individuálně přizpůsobená řešení, která významně zvyšují výkon a životnost výrobků. Prvním krokem pro tvorbu pryžových výrobků je navrhnutí vhodné lisovací formy. Design formy určuje konkrétní tvar a rozměry výsledného produktu. Běžně je vyrobena z kovu a může být navržena tak, aby vyráběla jednotlivé díly nebo více dílů současně. Konstrukce formy je přizpůsobena zamýšlenému využití produktu a může zahrnovat různé prvky, jako jsou drážky, otvory nebo jiné specifické tvary. Konstrukce formy by měla být vytvořena s ohledem na lisovaný materiál, konstrukci výsledného produktu, odvětrávání a chlazení. [20]



Obrázek 8 Příklady výrobků z vulkanizované pryže [20]

- ***Vstřikování gumy***

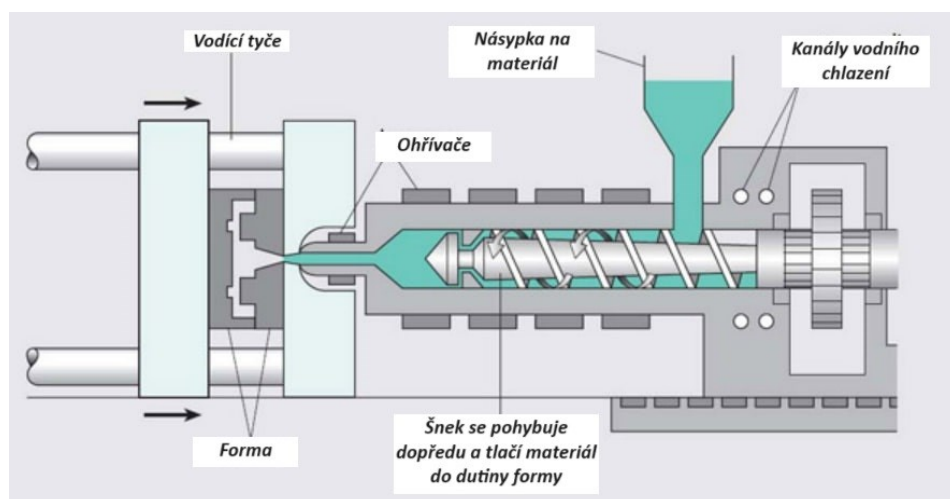
Proces vstřikování pryže připomíná proces vstřikování plastů, avšak používá nevytvrzené pryžové pásy jako vstupní materiál. Tyto pásy jsou dodávány do stroje skrz násypku. Jakmile vstoupí do stroje, jsou zahřívány a stlačovány v šroubové komoře pomocí externích ohříváčů a pohybem šneku.[20]

Ve střední části šneku se pryž zahřeje do velmi viskózního stavu. Pod vysokým tlakem je pak tlačena do formy, kde vyplňuje dutinu vytvořenou uvnitř pryžové formy. Díky svým tokovým vlastnostem se pryžový materiál dostane do každého kouta formy.

Následně se forma postupně ochlazuje, což umožňuje pryži ztuhnout. Pak se forma otevře a vyhodí se z ní konečný produkt, který je připraven na další cyklus výroby.

Touto metodou lisování pryže je možné vytvořit vysoce přesné výrobky se složitou geometrií a vysokou mechanickou přesností. Proces vstřikování pryže je poměrně rychlý a vyjma počátečních nákladů i úsporný. Výsledný produkt většinou není potřeba posílat na dokončovací operace.

Nevýhody této metody jsou vysoké počáteční náklady na pořízení stroje a materiálové omezení. Pryž použitelná pro proces vstřikování musí mít potřebné vlastnosti, jako je velmi nízká viskozita. Ne všechny pryže však tuto podmínku splňují, a tak není možné tento postup tvarování pryže aplikovat na tak široké spektrum pryží jako ostatní metody.[20]



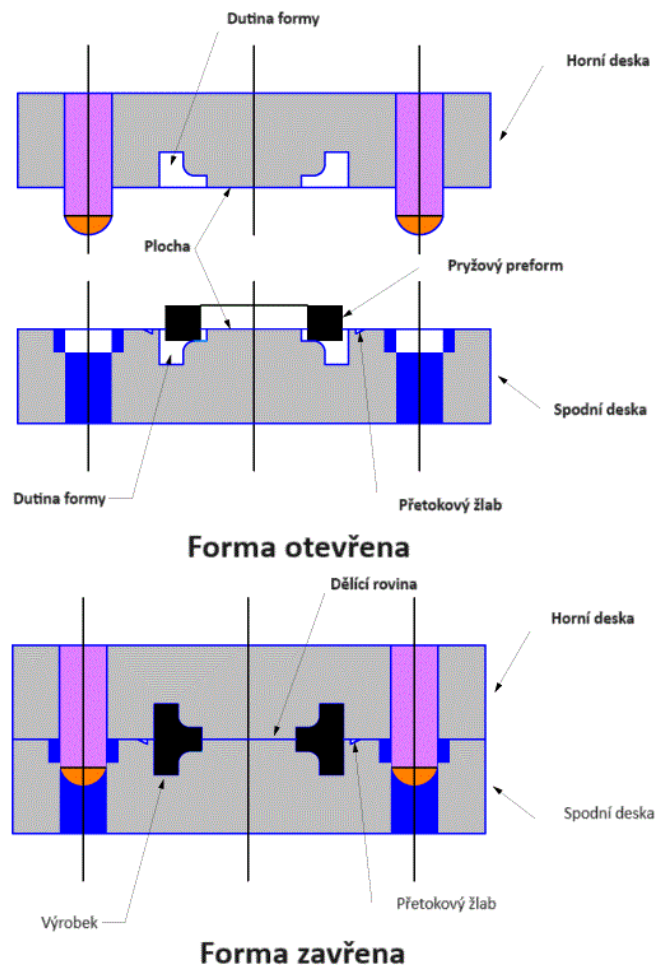
Obrázek 9 Schéma vstřikovacího stroje [20]

- **Tlakové lisování gumy**

Tlakové lisování má se vstřikováním společné, že také zahrnuje teplo a tlak. Nicméně způsob aplikace tepla a tlaku je zcela odlišný.

Forma se skládá ze dvou polovin, z nichž každá má svou část dutiny. Nejprve se surový materiál zahřeje a umístí do dolní poloviny formy. Tato část formy je také předem ohřáta.

Pokud je materiál správně umístěn do dutiny formy, pohyblivá polovina formy se spustí dolů k pevné části formy. V důsledku tlaku se dutina formy vyplňuje materiálem. Teplo je aplikováno formou k vytvrzení pryže do nového tvaru. Nakonec se lisovaná pryž vytlačí jako konečný výrobek. Výhody tohoto procesu lisování jsou nízké náklady na stroje a nástroje, široká použitelnost pryžových materiálů a nízké nároky na údržbu. Za nevýhody je možné považovat přesnost výroby, která není tak přesná jako při procesu vstřikování a jsou požadovány dokončovací operace jako například řezání a broušení.[20]

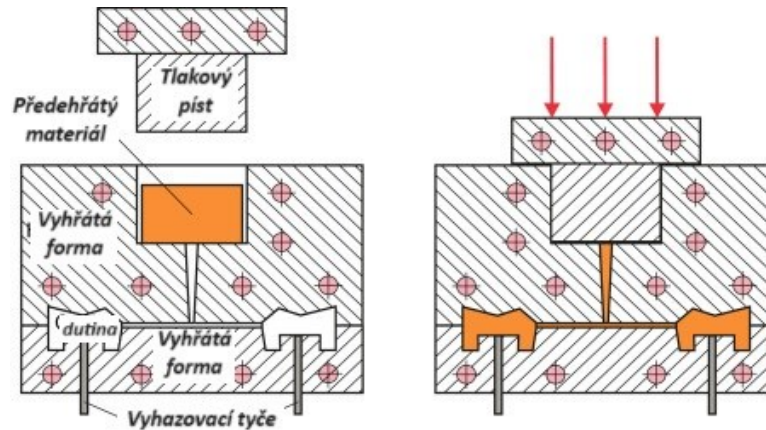


Obrázek 10 Schéma tlakového lisování [21]

- **Přenosové lisování gumy**

Přenosové lisování využívá speciálního designu pryžové formy. Forma se skládá ze dvou polovin, stejně jako ostatní formy, ale horní polovina má další dutinu s otevřeným koncem nazývanou hrnec. Hrnec je spojen s vtokovou sítí a s hlavní dutinou. Do hrnce se vloží předlisek, který je následně pomocí pístu a vysokého tlaku a tepla "přenesen" do hlavní

dutiny. Surovina je poté vytvrzena a ztuhne. Konečný produkt je následně vyhozen z formy, až když se zchladí a ztvrdne. Tato metoda je vhodná pro výrobky, u kterých je požadován velmi přesný rozměr. Je vhodná i pro výrobu rozměrnějších výrobků a lepení pryže na kov. Je to pohodlný způsob výroby dílů, jako jsou kombinované kovo-pryžové úchyty a rukojeti. Nevýhodou může být dlouhá pracovní doba cyklu, ale také dražší nástroje a nutnost dokončovacích operací.[20]



Obrázek 11 Schéma přenosového lisování [20]

4 LEAN A JEHO NÁSTROJE

Metodiku Lean můžeme v základu rozdělit na štíhlou výrobu a štíhlé řízení. Klíčové principy štíhlé výroby (Lean Manufacturing) mají za cíl vysokou kvalitu výrobků za nízké náklady a maximální spokojenost zákazníků. Tento přístup je považován za účinnou strategii pro minimalizaci odpadu a optimalizaci hodnoty produktu. Japonský výrobní průmysl, zejména společnost Toyota, stála u zrodu těchto štíhlých konceptů. Cílem štíhlé výroby je minimalizovat plýtvání a maximalizovat hodnotu produktu. V dnešní době velké konkurence se každá organizace snaží poskytovat kvalitní výrobky ve velkém objemu za co nejnižší náklady. Štíhlá výroba je prostředkem k dosažení tohoto cíle. Koncept štíhlé výroby byl vyvinut pro maximální využití zdrojů prostřednictvím minimalizace odpadu. [22] Štíhlé řízení (Lean Management) je strategie, která se zaměřuje na redukci zdrojů, nákladů, lidské práce, skladových zásob a času potřebného k vývoji produktů, aby lépe vyhovovaly potřebám zákazníků. Cílem štíhlého řízení je dosáhnout efektivní a ekonomické výroby vysoce kvalitních výrobků ve velkém měřítku. Podle této filozofie jsou odpadové aktivity definovány jako činnosti, které nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu v rámci výrobního procesu. Lean management identifikuje a odstraňuje plýtvání ve všech fázích hodnotového řetězce produktu, jak uvnitř společnosti, tak i v celém dodavatelském řetězci. Štíhlá myšlenka byla poprvé zavedena v japonském automobilovém průmyslu po druhé světové válce z důvodu nedostatku zdrojů, peněz a pracovní síly. Lean využívá různé nástroje a techniky.[23]

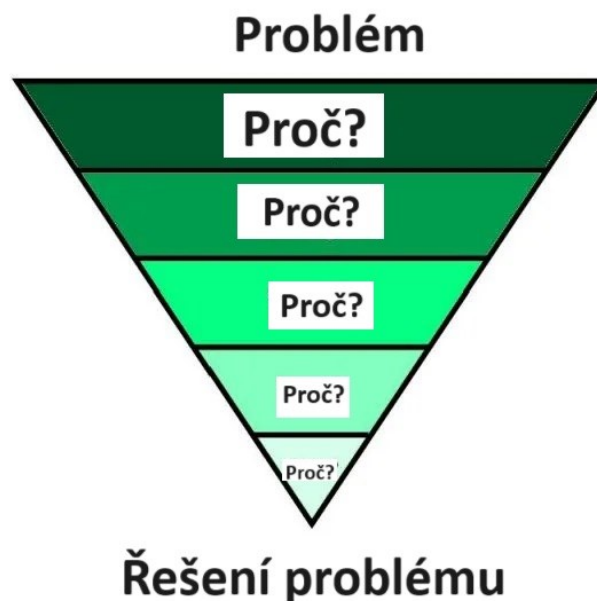
4.1 5x WHY?

Technika 5x WHY? používaná v Leanu byla vyvinuta zakladatelem Toyoty, Sakichi Toyodou. Tato metoda je založena na opakovaném kladení otázky "proč?", dokud není identifikována hlavní příčina problému. I když se nazývá 5x WHY?, není v čísle pět žádné kouzlo. Můžete použít méně nebo více než pět otázek k vyřešení problému. Cílem této techniky je zajistit co nejlepší porozumění problému a identifikaci hlavní příčiny. Jakmile je hlavní příčina určena, stanovení správného řešení se stává snazší.[24]

4.1.1 Princip použití 5x WHY?

V první fázi by se mělo sejt co nejvíce lidí, jichž se daný problém týká. Nemá smysl zapojovat lidi, kteří o problému nic nevědí. Při řešení složitých problémů je třeba si ujasnit,

kdo vede analýzu a činí konečná rozhodnutí. Ve druhé fázi je definován problém. Je důležité, aby všichni zúčastnění problematice porozuměli. Nesmí být zaměněny příznaky a příčiny. Ve třetí fázi by měl být kolektiv odborníků podroben brainstormingu, ptát se proč tolikrát, kolikrát bude potřeba, aby byla odhalena hlavní příčina problému. Je důležité být objektivní a zaměřovat se pouze na fakta. Ve čtvrté fázi je plánováno řešení problému. V páté a poslední fázi je aplikováno řešení a kontroluje se, zda bylo dosaženo požadovaných výsledků. Pokud ne, je možné znovu zopakovat celý proces 5x WHY?.[24]



Obrázek 12 Návrh postupu 5x proč? [25]

4.2 Išikawův diagram

Išikawův diagram, nazývaný také diagram příčiny a následku, nebo diagram rybí kosti kvůli svému charakteristickému tvaru, je často používaným nástrojem pro zkoumání příčin problému. Tento nástroj pomáhá vizualizovat a organizovat informace související s problémem, což usnadňuje identifikaci potenciálních příčin a vede vyšetřování k nalezení řešení.[26] Diagramy zavedl Kaoru Ishikawa na počátku 40. let 20. století. Poprvé byly použity tyto diagramy ke zvýšení produktivity v Kawasaki Steel Works v Japonsku. Diagram se skládá z hlavní vodorovné čáry, nazývané "kost" a z ní vychází několik diagonálních čar. Tyto čáry slouží k výčtu obecných příčin, které mohou souviset s daným problémem. Obvykle je popis problému umístěn na jednom konci hlavní vodorovné čáry, aby bylo snadné jej identifikovat. Z každé "kosti" může vycházet několik menších "kostí",

což umožňuje detailněji popsat sekundární příčiny, které mohou mít vliv na hlavní příčinu. Úroveň detailů závisí na tom, jaký má uživatel pohled na problém. Išikawův diagram je považován za jeden ze sedmi základních nástrojů řízení kvality. Jako výhody lze uvést, že Išikawův diagram napomáhá identifikovat všechny možné příčiny problému a pomáhá je určit strukturovaným problémem. Využívá znalosti všech účastníků. Zaměřuje se na příčiny problému a vynechává stížnosti a irrelevantní diskuse. Poskytuje jednoduchý grafický formát a identifikuje oblasti, kde je nedostatek údajů a je potřeba budoucí studie. Nevýhody Išikawova diagramu jsou, že při zkoumání více problémů je nutné pro každý z nich vytvořit samostatný diagram příčin, což může zpomalit proces analýzy. Existuje také riziko, že přehlédneme vzájemné souvislosti mezi různými problémy a jejich příčinami. Není možné rozlišovat sílu vztahů příčiny a následku. Při použití v elektronické podobě se mohou stát neuspořádanými. [27] Máme pět základních typů Išikawových diagramů.[28]

4.2.1 Išikawův diagram 6Ms

Diagram 6Ms řadí informace do šesti oblastí: lidé, stroje, materiály, metody, prostředí a měření. Často se využívá v průmyslu, zejména ve výrobním odvětví. Může být využit například k identifikaci faktorů, které brzdí výrobní proces.[28]

4.2.2 Išikawův diagram 8P

Diagram 8P řadí informace do osmi oblastí: postupy, pravidla, umístění, produkt, lidé, procesy, cena a propagace. Často se využívá v oblasti služeb. Může být například využit k optimalizaci úklidové firmy.[28]

4.2.3 Išikawův diagram 4S

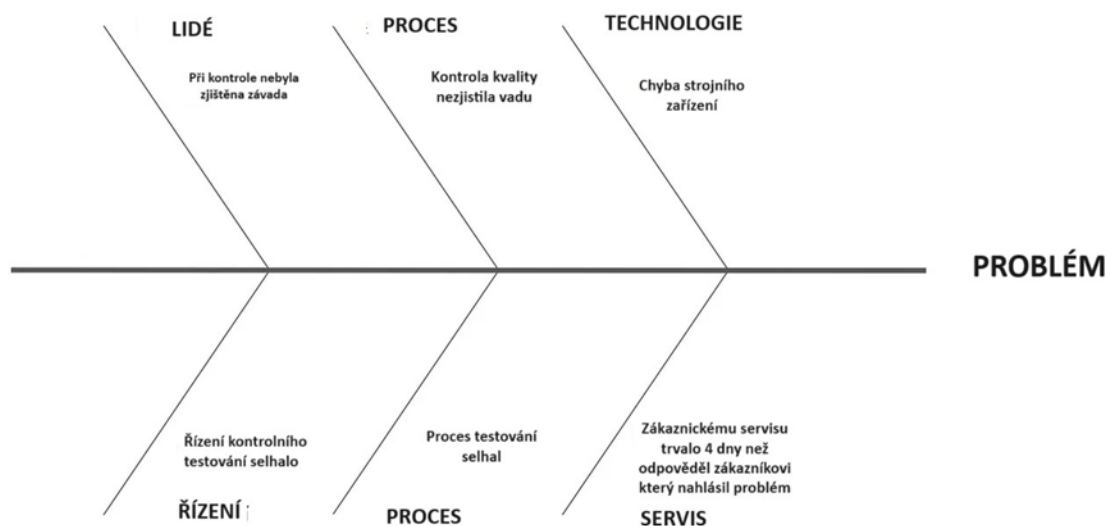
Diagram 4S řadí informace do čtyř oblastí: dodavatelé, systémy, prostředí a dovednosti. Je běžně používán v oblasti služeb. K analýze jej mohou využít například restaurace.[28]

4.2.4 Jednoduchý Išikawův diagram

Išikawův diagram bez předem definovaných příčin nebo kategorií příčin umožňuje organizacím vytvářet a přizpůsobovat si vlastní souvislosti. To je užitečné pro organizace, které si tak mohou vytvářet vlastní spojitosti. Například softwarová společnost bude mít zcela odlišné spojitosti než výrobce krmiv pro domácí zvířata.[28]

4.2.5 Išikawův diagram 3M

Diagram 3M, často nazývaný jako rybí kost "člověk, stroj, materiál", uspořádá informace do tří kategorií: pracovní síla, stroje a materiály. Je často využíván v průmyslovém sektoru. Například ve strojírenství.[28]



Obrázek 13 Příklad jednoduchého Išikawova diagramu [29]

4.3 Paretovo pravidlo

Paretovo pravidlo tvrdí, že malý počet faktorů má nepřiměřený dopad na jakýkoli výsledek. Paretovo pravidlo, které je také někdy označováno jako pravidlo 80-20, tvrdí, že 80 % dopadu pochází pouze z 20 % potenciálních příčin. [30]

4.3.1 Historie Paretova pravidla

Princip byl pojmenován po Vilfredu Paretovi (1848-1923), italském ekonomovi, který si již v roce 1896 všiml, že přibližně 80 % půdy v Itálii patřilo pouze 20 % lidí. Totéž 80/20 bylo zaznamenáno i v jiných zemích.

George Kingsley Zipf (1902-1950) byl svědkem podobného jevu v lingvistice, 80 % textu v knize psané stejným jazykem může být tvořeno pouze 20 % slov jež daná kniha obsahuje. K tomuto poznání přišel v roce 1949.[31]

4.3.2 Účel Paretova pravidla

Paretův princip má zvláštní význam při zlepšování kvality, protože nám připomíná, že řešení poměrně malého počtu ovlivňujících faktorů může mít velký dopad na zlepšení. Pokud je možné se jednoduše zaměřit na těchto několik důležitých faktorů, které k tomu přispívají, pak je zde možnost problém významně zlepšit. Jak zjistit které z nich jsou důležité? Pro vyřešení této otázky je Paretův graf užitečný.[30]

Paretův graf vám může pomoci uspořádat faktory přispívající k danému problému a identifikovat několik nejdůležitějších. Při vytváření Paretova diagramu je zahrnuto několik kroků.

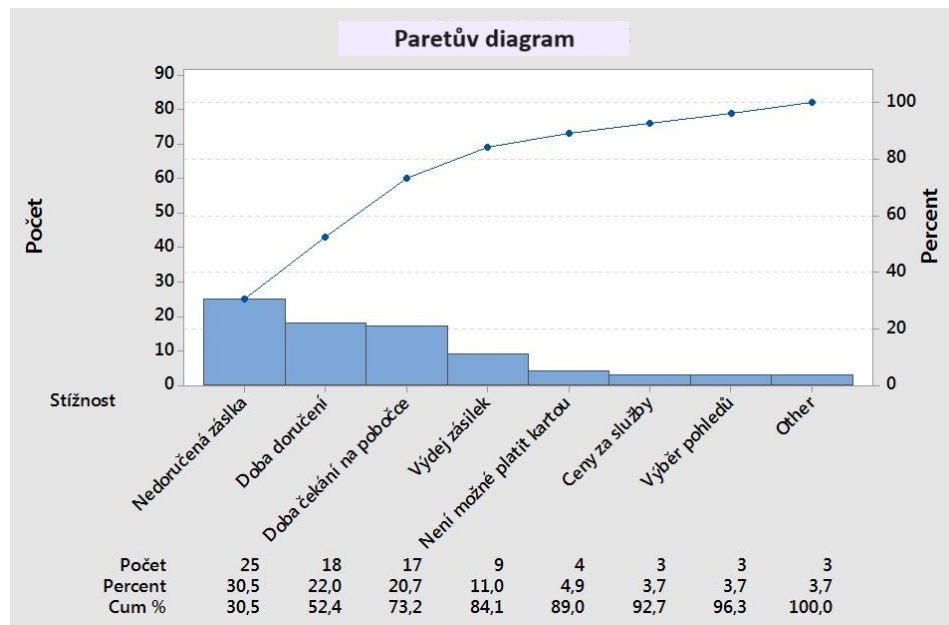
- Prvním krokem je zamyšlení se nad tím, jaké faktory potenciálně přispívají ke konkrétnímu problému.
- Jakmile je důkladně porozuměno faktorům, které potenciálně přispívají k problému, druhým krokem je shromáždit data, aby bylo možné zjistit, které z těchto potenciálních faktorů skutečně přispívají k problému.
- Poté, co byla tato data shromážděna, je posledním krokem vykreslení přispívajících faktorů v pořadí na Paretově grafu jako absolutní částky spolu s grafem jejich kumulativního procentuálního příspěvku k problému.[30]

4.3.3 Paretův diagram

Paretův diagram je sloupcový graf, ve kterém jsou sloupce seřazeny od nejvyšší frekvence výskytu po nejnižší frekvenci výskytu zleva doprava. Pomocí Paretova diagramu jsou seřazeny vady od největších po nejmenší, tím je možné upřednostnit důležité faktory a vynaložit správně úsilí o zlepšení kvality. Kumulativní procentuální čára začíná na prvním (nejvyšším) sloupci vlevo a sahá až k poslednímu sloupci vpravo. Kumulativní procentuální čára napomáhá posoudit přidaný příspěvek každé kategorie. Kumulativní procentuální hodnota se také může zobrazit pro každý sloupec pod grafem.

Pokud je posuzováno větší množství faktorů, pak faktory s nejnižší frekvencí výskytu jsou sloučeny do jedné kategorie, ta může být nazvána například Ostatní. Ostatní se vždy zobrazuje jako poslední pruh, a to i v případě, že kategorie Ostatní má vyšší počet než předchozí kategorie.[8]

Jednoduchým nakreslením čáry na Paretově diagramu u 80 % kumulativních chyb je identifikováno několik zásadních faktorů přispívajících k problému. Zaměření se na těchto několik faktorů se pravděpodobně vyplatí.[30]



Obrázek 14 Příklad Paretova diagramu zpracovaném v programu MiniTab [32]

4.4 Histogram

Histogram je další nástroj metodiky Lean. Je podobný sloupcovému grafu, ale je to přesný nástroj pro zobrazení četnosti dat v intervalech. Pro pochopení se nabízí představit si jej jako sadu datových bodů, tyto body budou prezentovat například dobu potřebnou k dokončení výrobního procesu. Tyto body jsou rozděleny a seřazeny do sloupců. Každý ze sloupců má stejnou šířku. Body jsou sečteny tak, aby odrážely, jak často se hodnoty nacházejí v těchto částech datového spektra. Toto grafické znázornění je důležité v Lean Six Sigma, kde je klíčové porozumět šíření a tvaru distribuce dat. Bez ohledu na to, zda jsou data úzce seskupena nebo široce rozprostřena, histogramy transformují čísla do vizuálních příběhů, odhalují odchylky procesů a vedou k neustálému zlepšování.[33]

4.4.1 Popis a princip histogramu

Histogram je efektivním nástrojem pro analýzu spojitých dat, který zobrazuje četnost měřených hodnot. Je to graf svislých sloupců, přičemž vertikální osa reprezentuje četnost a

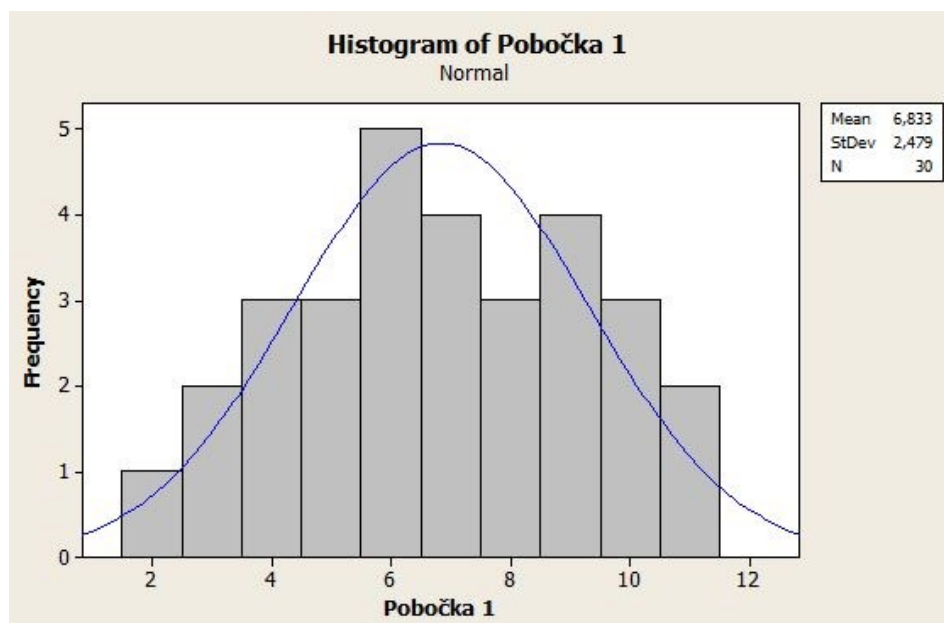
horizontální osa měřené hodnoty. Každý sloupec na histogramu představuje četnost dat v určité kategorii nebo intervalu. Tento graf umožňuje vizuálně zobrazit, jak jsou data rozložena. Pomocí histogramu lze sledovat, jak často se určité hodnoty vyskytují v daném rozsahu. Tvar histogramu může poskytnout informace o stavu výrobního procesu. Pravidelný tvar podobný zvonu naznačuje stabilitu procesu, zatímco odchylky od tohoto tvaru mohou naznačovat nestabilitu způsobenou speciálními faktory.[34]

4.4.2 Z čeho je histogram tvořen

Histogram je tvořen dvěma osami, a to osou x a y.

Na ose x lze nalézt sloupce zvané "bin" (třída). Jsou to určená rozmezí, která pokrývají rozsah dat; Například, máte interval 1-2 jako jednu přihrádku a pak 2-3 jako další přihrádku. Takže pokud je hodnota datového bodu mezi 1 a 2, započítá se do frekvence první přihrádky.

Na ose y je udávána četnost, to je počet datových bodů v každém intervalu. Četnost může být buď absolutní, což znamená přímý počet datových bodů nebo relativní, což je procento z celkového počtu datových bodů.[33]



Obrázek 15 Příklad histogramu zpracovaném v programu MiniTab [32]

4.4.3 Význam

Histogramy jsou schopny vizuálně zobrazit data, která ukazují rozsah variace v procesu. Toho lze dosáhnout zkoumáním rozložení a tvaru dat. Díky histogramu je možné zjistit, jestli

je výstup daného procesu příliš proměnlivý a určit, jak moc a v jakém směru je potřeba tuto variabilitu upravit nebo snížit.

Při kontrole nezpracovaných dat může být složité vyvodit nějaké závěry, protože nezpracovaná data mohou být rozsáhlá a těžko srozumitelná. Použití histogramu může odhalit vzory, které nejsou na první pohled zřejmé. Histogram může mít normální, pozitivně nebo negativně skloněný tvar, nebo dokonce bimodální rozložení, což může naznačovat, že došlo ke spojení dvou odlišných procesů nebo skupin.

Rozpoznáním a porozuměním rozložení dat mohou histogramy zobrazit části procesu, které vyžadují zlepšení. Například pokud histogram ukazuje, že významné množství výstupů se nachází mimo specifikace stanovené zákazníkem, může být nutné provést úpravy v centrování procesu nebo omezení odchylek.[33]

5 SIX SIGMA

Six Sigma je statistická metodologie pro zlepšování procesů, která se snaží definovat variace vlastní každému procesu. Předpoklad metody Six sigma je, že variace procesu dává příležitost k tvorbě chyb, ty pak vedou k riziku vady výsledného produktu. Vady produktu, a nezáleží, zda se jedná o fyzický produkt nebo službu, vedou ke špatné spokojenosti zákazníků. Metoda Six Sigma se zaměřuje na snížení odchylek a příležitostí k chybám. Ve výsledku tato metoda snižuje náklady na proces a zvyšuje spokojenost zákazníků.[35]

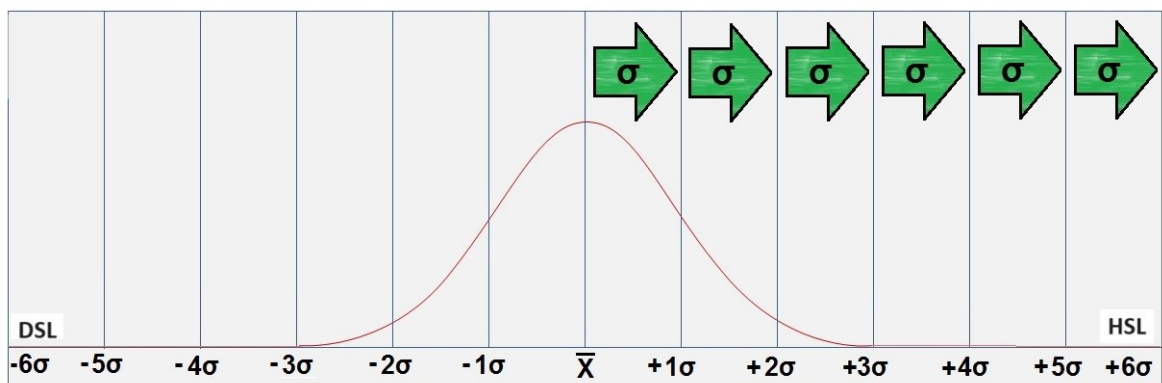
5.1 Historie a vývoj

Metoda Six Sigma není žádnou novinkou. Za průkopníka této metodiky je obecně uznávána společnost Motorola, která ji představila již v roce 1986, kde jeden z vedoucích pracovníků, inženýr Bill Smith, studoval Demingovu práci variací procesů jako součást kontroly kvality. Cílem společnosti Motorola při používání přístupu Six Sigma bylo zlepšit výkon a snížit náklady. Základy nástrojů a filozofie spojené s touto metodou sahají do ještě vzdálenější minulosti, přičemž některé z nich mají více než padesátiletou historii. Tento přístup byl dále zdokonalen společností General Electric do podoby metodiky DMAIC (Define - Definuj, Measure - Měř, Analyze - Analyzuj, Improve - Zlepšuj, Control – kontroluj), která se od té doby úspěšně používá v různých průmyslových odvětvích po celém světě. Je tedy přesnější charakterizovat Six Sigma jako přirozený vývoj neustálého zlepšování a kvalitativních iniciativ, než jako zcela nový a revoluční přístup. Tato metodika kombinuje nejlepší prvky předešlých iniciativ do jednoho systematického rámce. Aby bylo možné plně pochopit principy Six Sigma, je nezbytné nahlédnout do historie a sledovat, jak se tato metodika vyvíjela.[36][37] Při pohledu do historie metodiky Six Sigma lze zjistit, že mnoho velkých výrobních a servisních organizací těžilo z postupů Six Sigma, včetně společností Motorola, Honeywell, Pratt and Whitney, 3M, Du Pont, American Express, Bank of America, Dow Chemical, Samsung, a další.[38]

5.2 Cíle metody Six Sigma

Six Sigma představuje projektově orientovaný přístup k řízení, jehož hlavním cílem je neustálé zlepšování produktů, služeb a procesů organizace prostřednictvím snižování defektů způsobených nadměrnými variacemi procesů. Existují dva hlavní pohledy na Six Sigma: statistický a obchodní. Ze statistického hlediska je charakterizován jako méně než 3,4 defektu na milion příležitostí nebo úspěšnost na úrovni 99,9997 %. Termín "sigma" zde

označuje míru variace průměru procesu. Z obchodního hlediska je Six Sigma zaměřen na zlepšení efektivity a efektivnosti všech operací tak, aby splňovaly nebo předčily potřeby a očekávání zákazníků.[39] Koncept Six Sigma vychází ze statistického principu, který naznačuje, že množství defektů lze minimalizovat udržením procesu v mezích šesti směrodatných odchylek, mezi horními a dolními specifikovanými limity. Six Sigma zároveň zohledňuje sklon procesu k degradaci v dlouhodobém horizontu. Six Sigma proces může tolerovat posun o 1,5 standardní odchylky a stále udržet bezpečný prostor mezi procesním průměrem a jeho limity.[32]



Obrázek 16 Vymezení procesu Six Sigma[32]

5.3 Účel

Six Sigma je možné chápat jako metodiku řešení problémů a zlepšování kvality na mikroúrovni, a zároveň ji lze považovat za obchodní strategii celé organizace i na makroúrovni. Na mikroúrovni je metodika Six Sigma nástrojem pro zlepšování kvality, jejímž cílem je snížit variabilitu procesů, minimalizovat plýtvání a náklady v celé organizaci a produkovat bezchybné výsledky pomocí procesu DMAIC. Na makroúrovni je Six Sigma také známá jako metodika, pomocí které lze neustále zlepšovat výkonnost organizace. Six Sigma je považována za jeden z nejúčinnějších prostředků v disciplínách řízení a průmyslového inženýrství, a to nejen pro zlepšení výkonnosti procesů, ale také pro zvýšení výkonnosti organizace v dnešním vysoce konkurenčním obchodním světě. V oblasti mikroúrovně Six Sigma představuje pečlivě strukturovaný přístup k řešení problémů, s hlavním důrazem na zdokonalování kvality a redukci pravděpodobnosti výskytu neshod a vad v produktech. Oproti tradiční filozofii kvality, která se zaměřuje na procentuální hodnoty vad, Six Sigma preferuje postoj, kde je důraz kladen na perfekcionistická očekávání kvality

ze strany všech zainteresovaných stran. Metodika Six Sigma je vnímána jako způsob myšlení a postupu v obchodních procesech, které jsou založeny na strukturovaném přístupu známém jako DMAIC.[38]

Úroveň Sigma	DPMO	Výtěžnost (efektivita)
1	690 000	31%
2	308 000	69,2%
3	66 800	93,32%
4	6 210	99,379%
5	230	99,977%
6	3,4	99,9997%

Tabulka 1 Udává poměr mezi úrovní Sigma, DPMO a efektivitou [32]

5.3.1 DMAIC

DMAIC je proces metodiky Six Sigma pro řešení problémů, je to zkratka pěti vzájemně propojených kroků procesu definování, měření, analýzy, zlepšování a kontroly vstupů a výstupů procesů systému, který usnadňuje zlepšování.[40]

- **Define – definuj**

Představuje úvodní fázi cyklu DMAIC směrem k implementaci změn. Je proveden odhad celkového počtu problémů, které je potřeba řešit, a následně jsou tyto problémy systematicky tříděny. Práce s těmito problémy se stává efektivnější, pokud má projektový tým jasné pochopení projektu. Poté je možné provést simulaci procesů, což usnadní pochopení postupů a očekávání zákazníků. V tomto kroku jsou také stanoveny specifikace ohledně problému, rozsahu a cílů změn.[40]

- **Measure – měř**

Druhou etapou cyklu DMAIC je fáze "měření". V této fázi není nutné upravovat stav procesu. Před aplikací cyklu zlepšování jsou všechny postupy vráceny do běžného stavu. Problémy, které byly identifikovány v předchozím procesu definování, jsou podrobeny

odhalení jejich původních příčin. Toho je dosaženo prostřednictvím procesních map a vývojových diagramů, které poskytují podrobný popis s důrazem na vážnost problémů.[40]

- **Analyze – analyzuj**

Třetím krokem v cyklu DMAIC je fáze "Analýza", která je úzce spojena s předchozím měřením. Za účelem identifikace různých potenciálních spouštěčů jsou data, získaná během druhé fáze, pečlivě analyzována tak, aby se v nich odhalila výraznější a přesnější informace, než jaké jsou dostupné v současné době. Klíčovým cílem tohoto procesu je identifikovat hlavní příčinu problémů a plýtvání na základě aktuálních údajů. Jsou využívány různé metody, včetně Paretova diagramu, Išikawova diagramu a dalších diagramů.[40]

- **Improve – zlepší**

Čtvrtým krokem v cyklu DMAIC je fáze "Zlepšení". Během této fáze je identifikováno optimální opatření, které lze použít k nápravě situace s cílem minimalizovat plýtvání a také opravit nefunkční stroje a zefektivnit pracovníky. Navrhovaná nápravná opatření musí přinést významné zlepšení ve srovnání s informacemi získanými v druhé fázi. Klíčovým nástrojem pro tento proces je metoda DoE (Design of Experiments).[40]

- **Control – kontroluj**

Pátou a zároveň poslední etapou cyklu DMAIC je fáze "kontrolování". Poté co je identifikován problém jsou procesy podrobeny hodnocení, prověřeny jsou předběžné informace a následují konečná opatření k posílení systému v reakci na identifikovaný problém. Cílem kontroly je efektivně integrovat provedená zlepšení do systému. Pro integraci zlepšení do systému se nabízí jako vhodný nástroj metoda SPC (Statistic Proces Control).[40]

5.3.2 Design for Six Sigma

Zatím co program Six Sigma je zaměřen na zlepšení stávajícího procesu, metodika Design for Six Sigma (DFSS) se soustředí na design produktu, zejména v počátečních fázích jeho vývoje. Je možné také napsat, že je to metodika, která se používá k vytváření nových produktů, procesů nebo služeb s cílem dosáhnout vysoké kvality od samého začátku. Pokud se zlepšení pomocí Six Sigma nedosáhne požadované úrovně kvality, je vhodné se vrátit k použití metody DFSS. DFSS klade důraz na designové myšlení a předcházení problémům s

cílem dosáhnout průlomových inovací. Na rozdíl od toho DMAIC obvykle uplatňuje statistické myšlení a analytické řešení problémů a vede pouze k postupným inovacím.[41]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

CÍLE PRÁCE

V rámci této práce byla provedena důkladná rešerše na téma štíhlé výroby a její aplikace v průmyslových procesech, zejména v kontextu vulkanizačních lisů. Tato rešerše zahrnovala studium relevantní literatury, výzkumných studií a praktických aplikací, aby bylo dosaženo komplexního porozumění této problematiky. Následně byla provedena analýza současné situace výrobního procesu vulkanizačního lisu, zaměřující se na identifikaci nedostatků, místa plýtvání a příležitosti pro zlepšení. Tato analýza zahrnovala sledování výrobních dat, měření výkonu zařízení a zpětnou vazbu od zaměstnanců pracujících přímo na tomto zařízení. Na základě výsledků analýzy byla navržena řada nových opatření a změn, které by měly vést k optimalizaci výrobního procesu vulkanizačního lisu. Mezi tyto navrhované změny patří optimalizace pracovních postupů, úpravy v nastavení zařízení pro maximalizaci výkonu a zlepšení ergonomických podmínek pro pracovníky. Tato nová opatření byla následně zavedena do provozu a sledována jejich implementace a dopad na výrobní proces. Na základě zhodnocení těchto změn byly formulovány závěry, které potvrzují pozitivní dopad navržených opatření na efektivitu, kvalitu a výkonnost výrobního procesu vulkanizačního lisu, přičemž jsou doporučeny další kroky pro udržení a další zlepšení těchto výsledků v dlouhodobém horizontu.

6 OPTIMALIZACE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI VULKANIZAČNÍHO LISU

Tato část práce je zaměřena na optimalizaci vícekomorového vulkanizačního lisu používaného pro výrobu pryžových výrobků. Tento lis využívá lineární a rotační hydromotory pro své hlavní pohyby, jako je otevírání, zavírání a dotlakování. Pro pomocné pohyby, jako je zakládání a vykládání materiálu a pohyb gravitačních dopravníků, jsou používány pneumatické lineární pohony, známé také jako pneuválce. Pro ohřev lisu na provozní teplotu slouží vodní pára jako výhřevné médium vodní pára. Ovládání lisu probíhá prostřednictvím elektrického ovládacího panelu a elektrická energie je rovněž využívána jako zdroj energie pro rotační elektromotor hydraulického agregátu.

Když jsou zmíněny primární zdroje energie pro pohon vulkanizačního lisu, myslí se jimi hydraulický olej, vodní pára, stlačený vzduch, elektrická energie, a dokonce i lidská síla. V praktické části diplomové práce se budeme zaměřovat na optimalizaci environmentálního aspektu právě tohoto vulkanizačního lisu. Tento proces zahrnuje optimalizaci využití výše zmíněných zdrojů energie, které jsou klíčové pro jeho provoz, s cílem maximalizovat efektivitu a minimalizovat environmentální dopady.

6.1 Energie vulkanizačního lisu

Výše byly vyjmenované energie, které využívá a potřebuje vulkanizační lis pro svůj provoz. Pro lepší porozumění jejich využití a zvážení možností jejich optimalizace je nezbytné se se systémy, které tyto energie využívají, zabývat podrobněji.

6.1.1 Vodní pára

Výhřev vulkanizačního lisu je jedním z klíčových prvků procesu vulkanizace, který je zodpovědný za ohřátí pryžového materiálu na potřebnou teplotu pro vulkanizaci. Ohřev může probíhat za pomoci elektrické energie, horké vody, horkého oleje nebo vodní páry. Na vybraném vulkanizačním lise je používána pro výhřev na požadovanou teplotu vodní pára. Vodní pára je plynné skupenství vody, a to se může objevit jako nasycená, přehřátá nebo přesycená pára.

Nasycená pára je termín používaný k popisu stavu páry, která má teplotu odpovídající bodu varu kapaliny při daném tlaku. To znamená, že pára má právě tolik tepelné energie, aby udržela vodu v plynném stavu a zůstala v rovnováze s kapalinou ve stísněném prostoru. Nasycenou páru je možné rozdělit jako suchou a mokrou párou. Suchá nasycená pára

neobsahuje žádné kapalně částice a má tedy právě tolik tepelné energie, aby udržela všechnu vodu v plynném stavu. Naopak, mokrá nasycená pára obsahuje kapalně částice, což naznačuje, že není dostatek tepelné energie k udržení všech molekul v plynném stavu.

V praxi je získání absolutně suché nasycené páry obtížné, protože při její výrobě dochází k odvádění některých částic vody párou. To znamená, že i když pára vznikne pomocí vroucí vody, může obsahovat určité množství kapaliny.

Přehřátá pára je stavem vodní páry, kdy má teplotu vyšší než teplota bodu varu nebo teplota nasycení při daném tlaku tvorby páry. Tento stav nastává, když je pára ohřívána nad bod varu vody při daném tlaku.

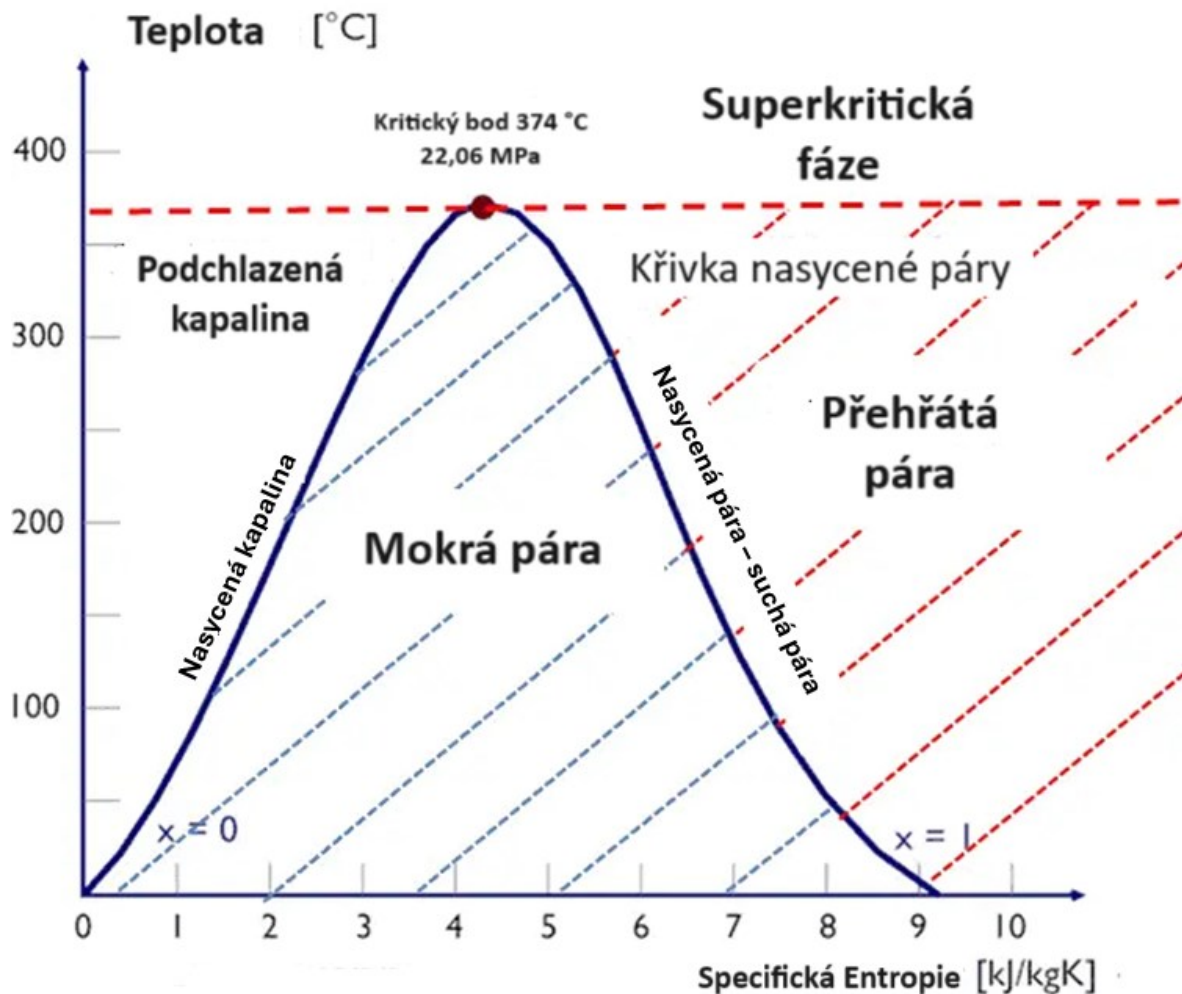
Velikost přehřátí páry se vyjadřuje rozdílem mezi její teplotou a teplotou nasycené páry při daném tlaku. Například, pokud je teplota páry o 100 °C vyšší než teplota nasycení při daném tlaku tvorby páry, hovoříme o 100stupňovém přehřátí páry.

Přehřátá pára se často využívá v různých technických aplikacích, kde je potřeba využít vysoké teploty. Pro výhřev vulkanizačního lisu je použit právě tento druh páry. Přesycená pára, při dosažení určitého saturačního tlaku, má nižší teplotu a vyšší hustotu než hodnoty uvedené v parních tabulkách pro nasycenou páru při daném tlaku. Tento stav páry je dosažen, když je pára ochlazována vlastní expanzí, což vede k tomu, že pára ztrácí tepelnou energii a její teplota klesá. Přesycená pára má vyšší hustotu, protože se molekuly páry začínají více přibližovat k sobě. Stav přesycené páry je dočasný a nestabilní a pára se brzy vrátí do stavu nasycené páry. [42] Kvalita páry se určuje hodnotou 0-1. Ačkoli je definována jako poměr, kvalita se často udává v procentech. Pokud je uvedena hodnota 0 jedná se čistě o jednofázovou kapalnou složku. Pokud je uvedena hodnota 1, pak by se mělo jednat o absolutně suchou páru. Na obrázku 17 (fázový diagram vody) je možné zřetelně vidět oblasti 0 a 1. Hmotnostní zlomek páry ve dvoufázové oblasti kapalina-pára se nazývá kvalita páry (nebo zlomek suchosti) x a je dán následujícími vzorci [43]:

$$x = \frac{m_{pára}}{m_{kapalina} + m_{pára}} \quad (3)$$

$$x < 1 \rightarrow \text{mokr\u00e1 p\u00e1ra} \quad (4)$$

$$x = 1 \rightarrow \text{such\u00e1 p\u00e1ra} \quad (5)$$



Obrázek 17 Fázový diagram vody [43]

6.1.2 Hydraulický systém

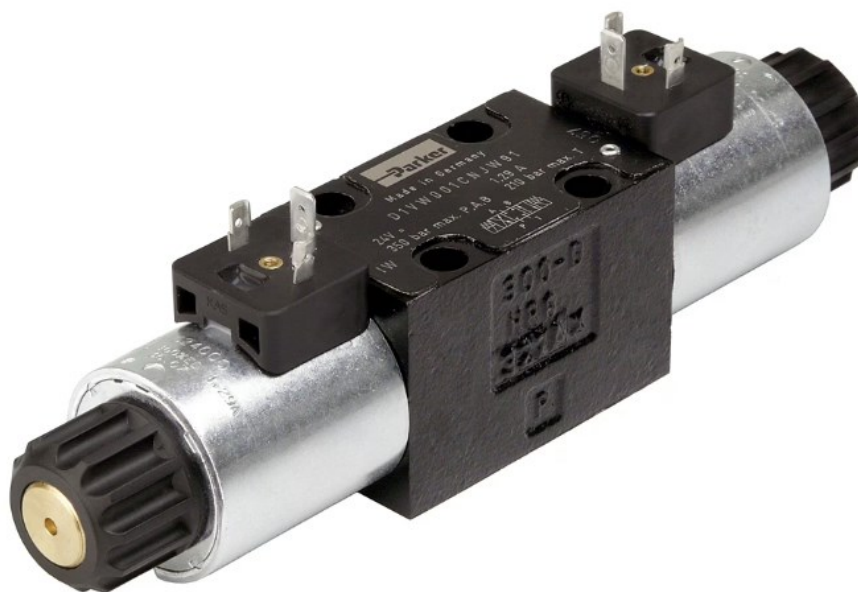
Hydraulický systém využívá tlakovou kapalinu (například hydraulický olej) k provádění různých úkolů. Princip fungování spočívá v použití kapaliny, například hydraulického oleje, pod tlakem k pohybům a fungování zařízení. I když se základní principy hydrauliky nezměnily, účel každého systému může být odlišný. Tlaková kapalina je klíčová pro výkon hydraulických systémů, zejména v těžké technice, kde je tlak přenášen napříč systémem, což umožňuje pohyb a manipulaci s náklady.

Hydraulický systém nabízí ekonomický a efektivní způsob generování pohybu. Jeho dynamická a přímočará funkce přispívá k jeho efektivitě. Základní princip hydraulického systému je jednoduchý. V systému se síla aplikovaná v jednom místě přenáší na jiné místo pomocí kapaliny. Často se jako kapalina používá hydraulický olej, který zvyšuje aplikovanou sílu v systému.[44] Hydraulický systém funguje na principu Pascalova zákona,

který říká: Změna tlaku, ke které dochází kdekoli v uzavřené nestlačitelné tekutině, je přenášena po celé tekutině tak, že ke stejné změně dochází všude.[45]

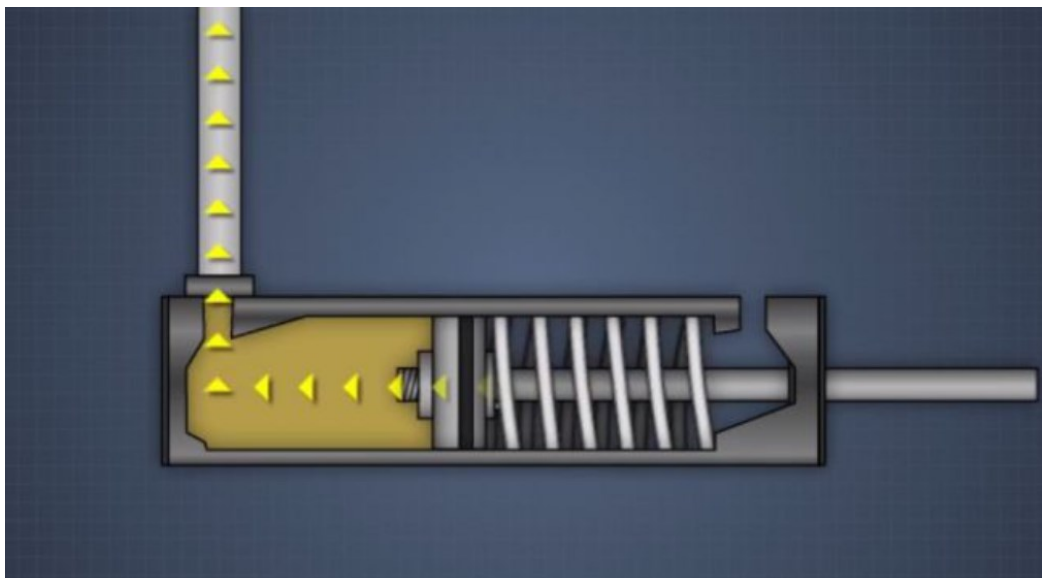
Základními částmi hydraulického systému jsou:

- Nádrž, ze které je při objemových změnách v systému hydraulická kapalina odčerpávána a vracena zpět. V nádrži také dochází k oddělení oleje od vzduchu a odfiltrování nečistot.[44]
- Regulační ventily směřují tok kapaliny k pohonu. Mají šoupátko nebo sedlo uvnitř ocelového pouzdra, které se posouvá, aby ovládalo tok kapaliny podle své polohy. Pružiny udržují šoupátko nebo sedlo v neutrální poloze, kde buď zablokuje, nebo vrátí tok kapaliny. Pohybem cívky se kapalina směřuje k pohonu nebo zpět do nádrže. Tyto ventily jsou navrženy pro stohování, kde je jeden vstup pro všechny ventily svazku a jeden ventil pro každý hydraulický válec.[44]



Obrázek 18 Směrový hydraulický ventil PARKER [46]

- Hydraulické čerpadlo dodává kapalinu do okruhu hydraulického systému a vytváří tlak reakcí na zatížení. Má vysokou hustotu výkonu, což je asi desetkrát větší než u elektromotoru. Čerpadla jsou poháněna elektromotorem a jsou spojena s řemeny, ozubenými koly nebo elastickými spojkami k redukci vibrací. Mezi běžné typy patří lamelová, zubová, radiální pístové a axiální pístová čerpadla.[44]
- Pohony se skládají z různých komponent, jako z hydraulického válce, hydromotoru, brzd a hydrostatické převodovky. Hydraulický motor je možné chápat jako obráceně fungující čerpadlo.[44] Hydraulický válec je mechanismus, který přeměňuje energii uloženou v hydraulické kapalině na sílu používanou k pohybu válce v lineárním směru. I on má mnoho aplikací a může být buď jednočinný nebo dvojčinný.[45]



Obrázek 19 Schéma hydraulického jednočinného válce s vratnou pružinou [45]

- Akumulátor je důležitou součástí hydraulického systému, která ukládá energii pomocí stlačeného plynu. Existuje několik typů akumulátorů, z nichž jeden využívá trubku s plovoucím pístem. Tento píst má na jedné straně stlačený plyn a na druhé straně kapalinu. Akumulátor může sloužit k tlumení nárazů v hydraulickém okruhu nebo jako záložní zdroj energie pro brzdy nebo řízení.[44]
- Hydraulická kapalina, hraje klíčovou roli v životaschopnosti hydraulického systému. Tato kapalina, často nazývaná také jako hydraulický olej, je převážně založena na ropě s přidanými přísadami. V závislosti na konkrétních aplikacích některé stroje vyžadují speciální ohnivzdorné hydraulické kapaliny. Například v potravinářském

průmyslu, z důvodů bezpečnosti, mohou být používány alternativy jako je voda nebo jedlý olej jako hydraulická kapalina.[44]

- Filtry jsou důležitou součástí hydraulického systému, protože odstraňují nežádoucí částice z kapaliny. Mechanické komponenty neustále produkují kovové částice, které je třeba kromě nečistot odstranit. [44]
- Hydraulické rozvody jsou v podstatě ocelové přesné trubky a hadice, které se vyrábějí pro hydrauliku. [44]

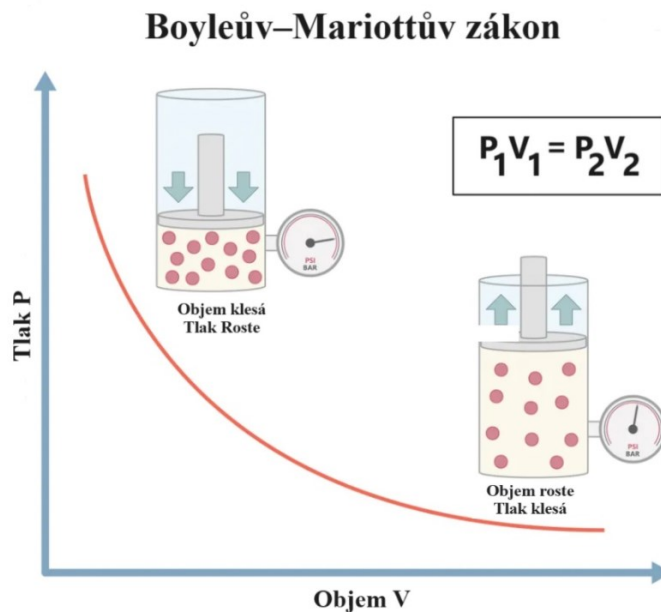
6.1.3 Pneumatický systém

Pneumatický systém je v mnoha aspektech podobný tomu hydraulickému, ale na rozdíl od hydraulického se použité médium (stlačený vzduch) nevrací zpět, ale volně vyfukuje do okolí.[47] Vzduch má vlastnosti dle Boyle-Mariottova zákona. Boyle-Mariottův zákon je fyzikální zákon týkající se chování plynu při změnách objemu a tlaku při stálé teplotě. Tento zákon říká, že při konstantní teplotě je tlak plynu nepřímo úměrný jeho objemu. Jinými slovy, pokud se objem plynu zvětší, tlak klesne, pokud se objem zmenší, tlak stoupne.

Boyle-Mariottův zákon lze vyjádřit následovně:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (5)$$

P_1	-	Je počáteční tlak plynu
V_1	-	Je počáteční objem plynu
P_2	-	Je konečný tlak plynu
V_2	-	Je konečný objem plynu



Obrázek 20 Boyleův-Mariottův zákon [48]

Tento zákon lze aplikovat pouze na ideální plyny, tedy plyny, které se chovají podle ideálního plynného zákona a za podmínky, že teplota zůstává konstantní během jeho změn.[49]

V níže vložené tabulce můžeme nalézt porovnání mezi pneumatickým a hydraulickým systémem.

Pneumatický systém	Hydraulický systém
Pneumatický systém používá jako pracovní médium vzduch.	Hydraulický systém používá jako pracovní kapalinu olej.
Jedná se o systém s otevřenou smyčkou.	Jedná se o systém s uzavřenou smyčkou.
Konstrukce pneumatických systémů je jednoduchá.	Konstrukce hydraulického systému je složitá.
Náklady na pneumatický systém jsou nízké.	Náklady na hydraulický systém jsou vysoké.
Tlak v systému je nízký, proto je velikost malá.	Vnitřní tlak systému je vysoký, proto je velikost větší.
Přesnost je nízká.	Přesnost je vysoká.
Vzduch uvnitř systému není hořlavý.	Olej uvnitř systému je hořlavý.

Systém snadno nekoroduje.	Systém snadno koroduje.
Poměr výkonu k velikosti je menší.	Poměr výkonu k velikosti je větší.

Tabulka 2 Porovnání pneumatického a hydraulického systému

Pneumatický systém je složen z různých prvků, jako kompresorů, chladičů, regulátorů a pohonů, které přeměňují tlakovou energii stlačeného vzduchu na mechanickou práci.[47]

- Vzduchový filtr je klíčovým prvkem v pneumatických systémech, který má za úkol zabránit vstupu nečistot, jako jsou prach a saze, do pneumatického okruhu. Tento filtr obsahuje materiál, který zachycuje pevné částice, přičemž umožňuje průchod vzduchu. Kromě toho může obsahovat i absorpční materiál, například dřevěné uhlí, které absorbuje znečišťující částice plynů.[47]



Obrázek 21 Vzduchový Filtr FESTO MS9-LF [49]

- Vzduchový kompresor je zařízení, které slouží k stlačování vzduchu. Používají se obvykle kompresory s axiálním průtokem, které mají rotující lopatky nazývané oběžná kola. Ta vytvářejí podtlak, nasávají vzduch přes vzduchový filtr a stlačují ho na vyšší tlak. Tlak stlačeného vzduchu se měří jako kompresní poměr.[47]
- Pro pohon kompresoru se používá vhodný motor, který závisí na velikosti kompresoru a potřebném výkonu. [47]
- Chladicí systém je také důležitý, protože vzduch z kompresoru má vyšší teplotu a je třeba ho ochladit. K tomu slouží vzduchový chladič, který může být chlazený vodou nebo vzduchem. Vzduchem chlazený chladič využívá studený vzduch k ochlazení horkého vzduchu, zatímco vodou chlazený chladič využívá studenou vodu k efektivnímu snížení teploty stlačeného vzduchu.[47]
- Akumulátor je tlaková nádoba uchovávající stlačený vzduch. Umožňuje stabilní dodávku vzduchu bez výkyvů a umožňuje rychlou odezvu na potřeby systému. Může skladovat suchý nebo mokrá vzduch podle potřeby. Je vyroben z pevných materiálů jako měkká ocel nebo hliník.[47]



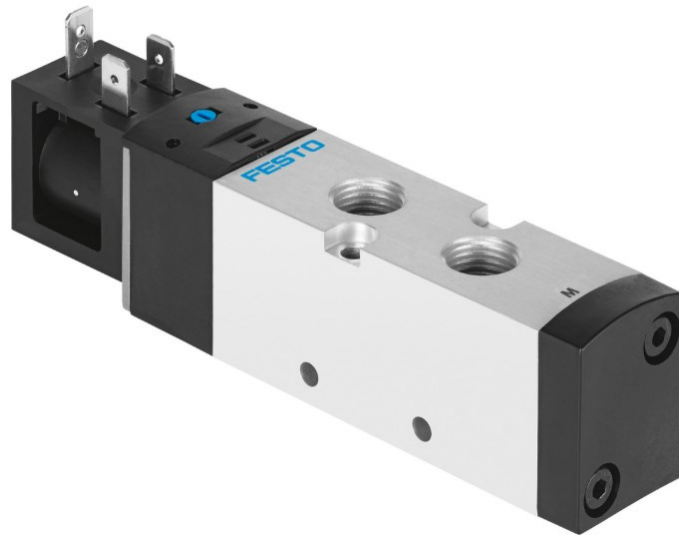
Obrázek 22 Zásobník na stlačený vzduch [49]

- Jednotka FRL, zkráceně pro "filtr, regulátor a maznice", je důležitou součástí pneumatického systému. Filtruje vzduch, reguluje tlak a mazání snižuje tření mezi částmi systému, což zvyšuje jeho životnost a účinnost.[47]



Obrázek 23 Redukční ventil s filtrem MS-LFR-B [49]

- Směrový a regulační ventil řídí směr a množství vzduchu vstupujícího do pohonů podle pokynů obsluhy. Běžně používané jsou elektromagnetické a jsou ovládané elektromagnetem.[47]



Obrázek 24 Elektromagnetický směrový ventil VUVS [49]

- Pohony přeměňují tlakovou energii vzduchu na mechanický pohyb. Jsou klasifikovány podle typu pohybu, například lineární nebo otočné. Jsou důležité pro získání výsledků z pneumatických systémů. [47]



Obrázek 25 Pneumatický válec FESTO DBSC dle ISO 15552 [49]

Funkce pneumatického systému jde popsat následujícím způsobem:

Vzduch je nasáván do kompresoru skrze vzduchový filtr a stlačen. Stlačený vzduch prochází vzduchovým chladičem k regulaci teploty a následně se ukládá do zásobní nádrže. Zde je opět filtrován, reguluje tlak a přidává se olej pro mazání. Poté je směřován do pohonu, kde se jeho tlaková energie mění na mechanickou práci.[47]

6.1.4 Elektrická energie

Elektrická energie je jedním z hlavních typů energie využívaných v moderní společnosti. Vychází z rozdílu elektrického potenciálu mezi body, což je princip, který umožňuje pohyb elektrických nábojů, jako jsou elektrony. Když se tyto náboje pohybují, přenášejí elektrickou energii, která může být využita k provozu zařízení, osvětlení domácností, pohonu motorů a mnoha dalších aplikací. Tato energie je základním pilířem moderní technologie a ekonomiky. Z technického a fyzikálního hlediska se elektrická energie vyznačuje řadou jedinečných vlastností, které ji odlišují od jiných forem energie. Níže jsou některé z nejpozoruhodnějších vlastností elektřiny:

- Elektrický náboj: Elektrická energie je úzce spojena s elektrickým nábojem subatomárních částic, jako jsou elektrony a protony. Elektrony nesou záporný náboj, zatímco protony mají kladný náboj.
- Elektrický proud: Elektrický proud je pohyb elektrických nábojů vodičem a měří se v ampérech (A). Tradičně se označuje jako tok kladných nábojů, i když ve skutečnosti se pohybují elektrony.
- Napětí: Napětí, měřené ve voltech (V), představuje rozdíl elektrického potenciálu mezi dvěma body v obvodu. Je to hnací síla pro tok elektronů a je nezbytná pro generování elektrického proudu.
- Odpor: Elektrický odpor, měřený v ohmech (Ω), brání proudu vodičem. Čím vyšší je odpor, tím méně proudu může procházet.
- Elektrický výkon: Elektrická energie, měřená ve wattech (W), představuje rychlost, s jakou se pracuje s elektrickým proudem. Je vypočítána jako součin proudu a napětí.

$$P = U \times I \quad (6)$$

6.1.5 Lidský faktor

V průmyslových procesech má obsluha klíčový význam z hlediska zvýšení produktivity, úspory energií a zajištění vyšší kvality konečného produktu. Bylo prokázáno a obecně přijato, že činnost lidských operátorů má obrovský vliv na bezpečnost a ziskovost průmyslových procesů. Ve specifických odvětvích, jako je chemický průmysl, až 40 % abnormálních operací může vzniknout v důsledku lidských chyb. Podle provedených studií je patrný rozdíl v produktivitě mezi dvěma profesionálními operátory pracujícími v podobných provozních podmínkách s obdobným vybavením až 40 % a víc. Kromě produktivity je také důležitá kvalita práce, která se může lišit mezi operátory. Tento faktor podtrhuje význam odborného výcviku a standardizace postupů pro dosažení optimálního výkonu a kvality v průmyslových procesech. [50]

6.2 Smysl hledání úspor

Výzkum a vývoj v oblasti řízení výroby se často zaměřuje na zdokonalení efektivity výroby, flexibility a schopnosti rychle reagovat na změny. Naopak otázka spotřeby energie často dostává menší pozornost. Nicméně, spotřeba energie ve výrobním prostředí získává stále větší význam z několika důvodů. Jedním z nich jsou rostoucí náklady na energii, které mají vliv na celkové náklady výrobních procesů. Dalším důležitým faktorem jsou obavy o životní prostředí a tlak na snížení emisí skleníkových plynů a uhlíkové stopy. Zlepšení energetické efektivity ve výrobě může přinést nejen finanční úspory, ale také přispět k udržitelnějšímu provozu a ochraně životního prostředí. Je proto klíčové, aby se i výzkum a vývoj v oblasti řízení výroby zaměřoval na strategie a technologie pro efektivní využití energie ve výrobních procesech. V moderním průmyslu je řízení výrobních procesů v reálném čase stále více klíčové. Cílem je zvýšit efektivitu, snížit doby prostojů a zlepšit celkovou odezvu systému. Mnoho výzkumných aktivit se zaměřuje na řízení a analýzu výrobních procesů. Analytická práce se často soustředí na otázky týkající se údržby, minimalizace doby prostojů, manipulace s materiály a zlepšení průchodnosti výrobních linek.

V minulosti bylo hlavním zaměřením výzkumu udržení produktivity a kvality výroby, zatímco se přehlížely energetické aspekty. S rostoucími náklady na energii, zvýšenou konkurencí na globální úrovni, obavami o životní prostředí a rostoucími regulačními požadavky si výrobci uvědomují, že energetický management má v současných výrobních procesech klíčový význam. Investice do energetické účinnosti často přinášejí dodatečné

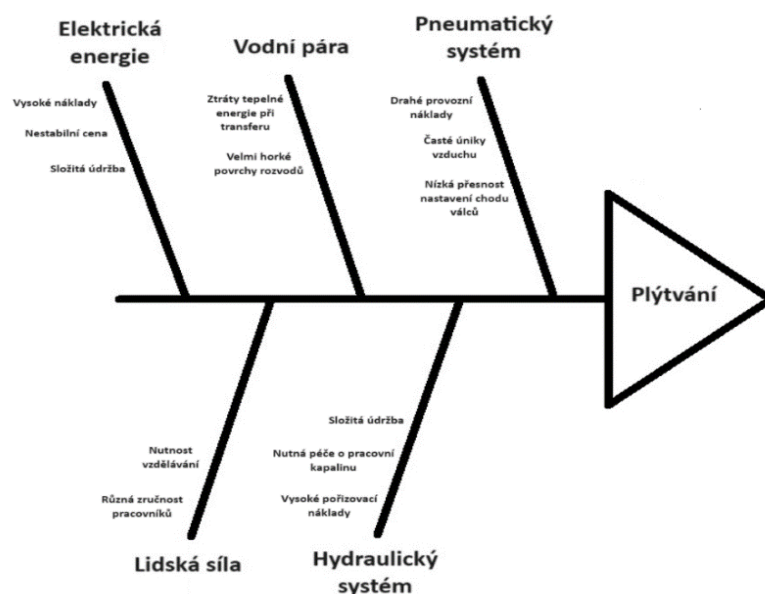
výhody, jako je snížení negativního dopadu na životní prostředí a minimalizace rizika spojeného s kolísavými cenami energie na trhu. V současné době lze konstatovat, že investice do energetické efektivity jsou strategicky rozumnou volbou v současném průmyslovém prostředí.[51]

7 HLEDÁNÍ KRITICKÉHO BODU STROJE POMOCÍ NÁSTROJŮ LEAN

V předešlé kapitole byly detailněji prozkoumány jednotlivé formy energie, které jsou užívány při provozu vybraného vulkanizačního lisu. Teď se přesuneme k praktické aplikaci některých principů Lean managementu s cílem identifikovat nejvhodnější energetické zdroje pro optimalizaci. Bude provedena analýza stávajícího stavu a využití nástrojů Lean, jako Išikawův diagram, Paretova analýza, 5 x Why a další. Cílem bude optimalizovat využití energie a minimalizovat ztráty. Tímto způsobem lze nalézt efektivnější a udržitelnější způsoby nakládání s energií ve výrobě pryžových výrobků, což přinese zlepšení výkonnosti, snížení nákladů a zvýšení konkurenceschopnosti.

7.1 Išikawův diagram energií vulkanizačního lisu

Za použití Išikawova diagramu jsme identifikovali různé druhy energie, které se podílejí na provozu vulkanizačního lisu. Tyto energie jsme zobrazili na diagonálních čarách diagramu, což nám umožňuje vidět jejich vztahy k hlavnímu problému, kterým je plýtvání. Tím, že jsme tyto energie identifikovali a přiřadili jim konkrétní příčiny plýtvání, jsme získali důležitý přehled o tom, jak různé aspekty provozu lisu mohou ovlivňovat efektivitu využití energie. Nyní máme možnost se zaměřit na konkrétní oblasti, kde můžeme provést zlepšení a optimalizaci, abychom minimalizovali plýtvání energií a zvýšili efektivitu celého procesu vulkanizace.



Obrázek 26 Išikawův diagram energií

7.2 Energie vulkanizačního lisu Metodo 5 x WHY?

Pro hloubkovou analýzu problematiky a hledání kořenových příčin plýtvání energiemi na vulkanizačním lise bude aplikována metoda 5 x WHY?. Metodou se budou analyzovat jednotlivé energie vulkanizačního lisu pro objasnění, která z energií bude pro optimalizaci nejvhodnější.

7.2.1 Výchřev vodní párou

- **Proč je potřeba vytápění optimalizovat?** Protože současné vytápění je nákladné a energeticky neefektivní.
- **Proč je současné vytápění nákladné a energeticky neefektivní?** Dochází ke ztrátám tepelné energie na dlouhých parních rozvodech.
- **Proč dochází k tepelným ztrátám?** Mezi konečným odběrným místem a zdrojem vodní páry je velká vzdálenost. Ke ztrátám dochází skrze povrch rozvodného potrubí.
- **Proč dochází ke ztrátám skrze povrch rozvodného potrubí?** Ke ztrátám dochází kvůli rozdílu teploty mezi parou uvnitř potrubí a okolním prostředím.
- **Proč není potrubí zaizolováno?** Kvůli vysoké ceně a velkému množství potřebné izolace.

7.2.2 Hydraulický systém

- **Proč na hydraulickém systému dochází únikům?** Protože některá těsnění nebo strojní součásti jsou opotřebované.
- **Proč jsou těsnění nebo strojní součásti opotřebované?** Protože dochází k neustálému tření a opotřebování při pohybu pístů a válců. Může být i problém s čistotou nebo vlastnostmi hydraulického oleje.
- **Proč dochází k neustálému tření a proč je problém s kvalitou oleje?** Kvůli tomu, že hydraulický systém pracuje ve velké frekvenci pohybů a ve vysokém tlaku. Olej v hydraulickém systému musí mít požadovanou čistotu, nečistota v oleji slouží jako abrazivum a může poškozovat součásti nebo těsnění.

- **Proč se do systému dostávají nečistoty?** Nečistoty se do oleje můžou dostávat z opotřebení těsnění a strojních součástí nebo z okolí.
- **Proč ze systému nejsou odstraněny?** Problém může být nedostatečně rychlá nebo jemná filtrace.

7.2.3 Pneumatický systém

- **Proč je cena stlačeného vzduchu vysoká?** Protože jsou potřeba energeticky náročné kompresory k jeho výrobě.
- **Proč jsou potřeba energeticky náročné kompresory?** Protože stlačování vzduchu vyžaduje silný tlak a velké množství energie.
- **Proč musí být vzduch stlačen na vysoký tlak?** Aby se dosáhlo potřebného výkonu a účinnosti v průmyslových procesech.
- **Proč jsou potřebné vysoký tlak a účinnost v průmyslových procesech?** Protože průmyslové procesy často vyžadují silný a stabilní zdroj stlačeného vzduchu pro pohon zařízení a nástrojů, což vyžaduje investice do kompresorů a provozních nákladů na energii.
- **Proč je potřebný vysoký tlak na všech průmyslových procesech?** Vysoký tlak je potřebný u většiny požadovaných procesů, ale pravděpodobně je možné definovat procesy, kde lze tlak vzduchu snížit.

7.2.4 Elektrická energie

- **Proč je spotřeba elektrické energie v průmyslu vysoká?** Protože průmyslové procesy často vyžadují velké množství energie k pohonu zařízení, jako jsou kompresory, hydraulické agregáty a další ovládání strojů.
- **Proč průmyslové procesy vyžadují velké množství energie?** Velké množství zařízení a strojů v průmyslu vyrábí s vysokou kapacitou a vyžadují neustálý proud elektrické energie pro svůj provoz.
- **Proč mnoho zařízení a strojů v průmyslu vyrábí s vysokou kapacitou?** Kvůli potřebě velko-objemové výroby a zpracování surovin v krátkém čase.

- **Proč je potřeba zvládnout velké objemy výroby a zpracování surovin v krátkém čase?** Průmyslové podniky často čelí na trhu vysoké konkurenci a musí udržovat co nejvyšší výrobní efektivitu a flexibilitu.
- **Proč musí průmyslové podniky udržovat vysokou výrobní efektivitu?** Z důvodu konkurenceschopnosti, udržení ziskovosti a aby splňovaly očekávání zákazníků.

7.2.5 Lidský faktor

- **Proč pracovníci v průmyslu mohou mít problémy?** Protože jejich práce může být fyzicky náročná a zahrnovat opakující se úkoly, to může vést k únavě a přetěžování některých částí těla.
- **Proč je práce v průmyslu fyzicky náročná a zahrnuje opakující se úkoly?** Některé výrobní procesy vyžadují často se opakující úkony, jako manipulaci s materiálem, obsluhu strojů a ruční montáž.
- **Proč výrobní procesy vyžadují opakující se manipulaci s materiálem a ruční montáž?** Mnoho průmyslových operací stále není plně automatizováno a na určité úkoly je vyžadována lidská práce.
- **Proč některé průmyslové operace ještě nejsou plně automatizovány?** Z důvodu složitosti a různorodosti úkolů. Některé úkoly vyžadují lidskou flexibilitu a schopnost rychle reagovat na nečekané situace, tyto úkoly je velmi složité a nákladné automatizovat.
- **Proč úkoly v průmyslu vyžadují lidskou flexibilitu a schopnost rychle reagovat?** V průmyslu mohou nastat nečekané situace, jako poruchy zařízení nebo změny výrobního plánu, které vyžadují zásah a přizpůsobení ze strany pracovníků.

7.3 Paretova analýza elektrických energií v průmyslu

Pro správné rozhodnutí, která z vybraných energií vulkanizačního lisu je nejvíce vhodná pro optimalizaci bude provedena Paretova analýza. Energie využívané na vulkanizačním lise jsou pára, stlačený vzduch, hydraulický olej, elektrická energie a lidská síla. Procentuální využití energií v Paretově analýze je určeno na základě zkušeností a mezi reálnými hodnotami mohou být rozdíly.

7.3.1 Elektrická energie

Elektrická energie je hlavní zdroj pro vulkanizační lis, a to buď přímo nebo nepřímo. Nepřímo je myšleno její využití pro pohon hydraulického agregátu, pohon kompresorů, které produkují tlakový vzduch, nebo řídicí systémy vulkanizačního lisu. Její spotřeba tvoří největší část celkové spotřeby energie, a to přibližně 60 %.

7.3.2 Stlačený vzduch

Stlačený vzduch je používán pro pohony válců, řízení ventilů a další pneumatické operace. Přestože jeho využití není tak dominantní jako využití elektrické energie, stále představuje značnou část spotřeby energie vulkanizačního lisu. Spotřeba je přibližně 20 %.

7.3.3 Vodní pára

Pára se využívá pro ohřev forem nebo pro jiné tepelné procesy během vulkanizace. Není tak využívána jako elektrická energie nebo stlačený vzduch, ale má stále významnou úlohu v některých procesech lisu. Spotřeba je přibližně 10 %.

7.3.4 Hydraulický olej

Je používán pro pohony hydraulických válců a rotačních hydromotorů. Je stále velmi významnou energií na vulkanizačním lise, ale ne tak významnou jako elektrická energie nebo stlačený vzduch. Spotřeba je přibližně 5 %.

7.3.5 Lidská síla

Nezanedbatelná složka v provozu vulkanizačního lisu, přestože jiná moderní průmyslová zařízení jsou stále více automatizovaná. Lidská práce je stále potřebná pro obsluhu strojů a dozor nad procesy. I když nepředstavuje významný podíl ve srovnání s jinými formami energie, stále je důležité zohlednit její efektivitu a využití. Využití je přibližně 5 %.

Tato analýza by měla napomoci identifikovat hlavní oblasti spotřeby energie ve vulkanizačním lise a umožnit zaměřením se na optimalizaci vybrané oblasti pro zlepšení efektivity a snížení nákladů.

8 OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU VULKANIZAČNÍHO LISU

V minulé kapitole byly pomocí nástrojů Lean prozkoumány různé environmentální aspekty výrobního procesu vulkanizačního lisu. Po podrobném zkoumání bylo zjištěno, že mezi nejvíce finančně náročné, a zároveň nejvhodnější pro optimalizaci, patří energie spojená se stlačeným vzduchem ve vulkanizačním lisu. Tato volba byla motivována vysokými náklady na výrobu stlačeného vzduchu a velkými ztrátami, které nastávají v důsledku úniků vzduchu z lisu. Volba stlačeného vzduchu jako hlavního objektu optimalizace nám umožňuje zaměřit se na konkrétní oblast, kde lze dosáhnout významných úspor a zlepšení v efektivitě. Spotřeba vzduchu, která je v současném nastavení výrobního procesu značným zdrojem plýtvání, představuje klíčovou oblast, na kterou bude práce zaměřena. Cílem je snížit tyto ztráty, což přinese nejen úsporu finančních prostředků, ale také snížení negativního dopadu na životní prostředí a zvýšení celkové efektivity výrobního procesu. Pro lepší přehlednost budou veškeré hodnoty objemu stlačeného vzduchu udávány v m³.

8.1 Plán optimalizace

Jako jednou z možností optimalizace spotřeby stlačeného vzduchu je snížení jeho tlaku, tedy i spotřebovaného množství v operacích, kde je to možné. Jak bylo uvedeno v kapitole 6.1.3 Pneumatický systém, objem vzduchu je nepřímo úměrný tlaku. Pokud tedy máme například pneumatický válec, který má objem 100 l a naplníme jej vzduchem o tlaku 1 bar, bude výsledné množství vzduchu ve válci 100 l. Pokud ale totožný válec naplníme vzduchem o tlaku 5 bar, pak bude výsledné množství vzduchu ve válci 500 l.

Na optimalizovaném vulkanizačním lisu na pryžové výrobky je několik pomocných částí stroje. Tyto části se starají o zakládání nevulkanizovaných výrobků do lisu, vykládání vulkanizovaných výrobků z lisu a dopravníkový systém. Všechny tyto části stroje, krom jiných, vykonávají pohyby nahoru a dolů. Pohyby jsou většinou vykonávány s nabraným výrobkem, z toho důvodu je pro pohyb nahoru důležité, aby válec byl schopný vyvinout maximální možnou sílu. Proti tomu pohybům dolů napomáhá gravitační síla a není nutné, aby pneumatické válce generovaly maximální sílu. Pokud by do pneumatických válců pomocných částí stroje byl přiváděn nižší tlak, došlo by k menšímu naplnění těchto válců, a tím i ke snížení spotřeby. Jako optimalizační proces na úsporu stlačeného vzduchu bude zvoleno regulování vytipovaných pomocných částí stroje a snížení přírodního tlaku pro pohyby dolů. Tlak v pneumatických válcích bude snížen na hodnotu 2 bar.

8.2 Vhodné válce pro snížení tlaku

Přívodní tlak stlačeného vzduchu na vulkanizačním lise je 6,5 bar. Prvotní návrh optimalizace zahrnuje vytipování pomocných částí lisu, u kterých by bylo možné snížit při pohybech dolů přívodní tlak. Při snížení tlaku, a tím i snížení síly pomocných pohybů, nesmí dojít k žádnému omezení stroje z důvodu zpomalení pohybů nebo nedostatečné síly tento pohyb vykonat. Při každém provozním cyklu provede každý s vybraných válců pohyb vzhůru a dolů.

8.2.1 Zakládání

Mechanismus pro založení polotovaru do lisu využívá dva pneumatické válce o základním objemu každého z nich $0,0063335 \text{ m}^3$. Tento objem se počítá při maximálním vysunutí, tedy tehdy, kdy prostor pro vzduch ve válci nezabírá pístnice. K vysunutí dochází při pohybu zakládacího mechanismu nahoru, avšak optimalizace se bude provádět při pohybu dolů. Po odečtení objemu pístnice pak výsledný objem ve válci vychází na $0,0057149 \text{ m}^3$. Pokud budeme počítat spotřebu vzduchu na 1 cyklus při 6,5 barech pro oba válce, tak výsledná spotřeba na 1 cyklus je $0,0742937 \text{ m}^3$.

$$V_z = 2 \times (0,0057149 \times 6,5) = 0,0742937 \text{ m}^3 \quad (7)$$

8.2.2 Vykládání

Mechanismus pro vyložení z vulkanizačního lisu má podobný princip funkce jako pro založení. Pro svůj pohyb využívá dva pneumatické válce o základním objemu každého z nich při maximálním vysunutí pístnice $0,0016 \text{ m}^3$. Stejně jako u zakládacího mechanismu pro optimalizaci bude zvažován pohyb dolů a od maximálního objemu bude nutné odečíst objem pístnice. Výsledný základní objem jednoho válce při zasunutí pístnicí vychází na $0,0014514 \text{ m}^3$. Výpočet spotřeby vzduchu na 1 cyklus při 6,5 barech pro oba válce vychází výsledná spotřeba na 1 cyklus $0,018903 \text{ m}^3$.

$$V_v = 2 \times (0,0014541 \times 6,5) = 0,018903 \text{ m}^3 \quad (8)$$

8.2.3 Dopravníky

Mechanické dopravníky pro transfer finálních výrobků z vulkanizačního lisu využívají pro svůj pohyb přesně šest pneumatických válců. Čtyři objemnější válce o základním objemu každého z nich $0,00062 \text{ m}^3$ a dva méně objemné válce o základním objemu jednotlivých válců $0,00019635 \text{ m}^3$. Stejně jako u předchozích mechanismů, bude využíván pohyb dolů a od maximálního objemu bude nutné odečíst objem pístnice. Základní objem jednoho ze čtyř objemnějších válců při zasunutí pístnice vychází na $0,00056062 \text{ m}^3$ a jednoho ze dvou méně objemných válců na $0,0001645 \text{ m}^3$. Výpočet objemu vzduchu na 1 cyklus při 6,5 barech pro všech 6 válců vychází na $0,016715 \text{ m}^3$.

$$V_d = 4 \times (0,00056063 \times 6,5) + 2 \times (0,0001645 \times 6,5) = 0,016715 \text{ m}^3 \quad (9)$$

8.3 Spotřeba stlačeného vzduchu před optimalizací

Před provedením jakýchkoli úprav na pomocných částech vulkanizačního lisu je nutné zjistit, jak velký objem stlačeného vzduchu lis spotřebovává před optimalizací a za normálních provozních podmínek. Toto měření je důležité pro získání základních údajů o současné spotřebě vzduchu a umožní porovnání s pozdějšími měřeními po provedení optimalizace. Díky tomu bude možné vyhodnotit efektivitu provedených úprav a případně identifikovat oblasti, kde lze dále zlepšit účinnost využití stlačeného vzduchu. Před zahájením samotného referenčního měření byly v kapitolách zakládání, vykládání a dopravníky vypočteny jednotlivé objemy vzduchu, které válce při pohybech dolů spotřebují.

Součet těchto objemů je vypočítán na $0,1099117 \text{ m}^3$.

$$V_{6,5bar} = 0,0742937 + 0,018903 + 0,016715 = 0,1099117 \text{ m}^3 \quad (10)$$

Na základě teoretických výpočtů lze předpokládat, že pneumatické válce vybrané pro optimalizaci spotřebují na jeden pracovní cyklus $0,1099117 \text{ m}^3$. Z této hodnoty lze teoreticky vypočítat, jaká by byla spotřeba při snížení tlaku stlačeného vzduchu na zvolených

válcích a pohybech vzduchu z 6,5 baru na 2 bary. Vypočítaný objem vzduchu na všech určených válcích vychází při snížení tlaku o 4,5 baru na 0,033819 m³.

$$V_{2bar} = (0,1099117 \div 6,5) \times 2 = 0,033819 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Z výsledku výše je patrné, že při snížení přívodního tlaku vzduchu bude spotřebováno místo 0,1099117 m³ jen 0,033819 m³.

$$V_{2bar\%} = 0,033819 \div (0,1099117 \div 100) = 30,76924 \% \quad (12)$$

Výsledná teoretická hodnota 0,033819 m³ po snížení přívodního tlaku je 30,76924 % z původních 0,1099117 m³. Tento výsledek nasvědčuje, že lze při snížení tlaku na vybraných válcích ušetřit zhruba 69 % stlačeného vzduchu.

8.3.1 Průtokoměr a jeho zapojení

Pro měření spotřeby stlačeného vzduchu je potřeba zvolit a nainstalovat vhodný měřicí přístroj. Pro tento projekt byl zvolen přístroj od výrobce IFM, a to hlídač spotřeby tlakového vzduchu SD8500.



Obrázek 27 Přístroj pro měření průtoku stlačeného vzduchu IFM SD8500 [52]

Měřicí přístroj byl pomocí dvou spojek s vnitřním závitem, dvěma závitovými redukcemi a dvěma šroubeními s nástrčnou koncovkou nainstalován na vulkanizační lis. Přístroj byl

umístěn mezi hlavní tlakový přívod a sestavu na úpravu vzduchu a spojen hadicemi určenými na stlačený vzduch o vnějším průměru 16 mm. Mezi závity je použito teflonové těsnění.



Obrázek 28 Detail zapojení měřícího přístroje IFM SD8500

V tabulce jsou uvedeny některé základní specifikace.

Médium, pro které je určeno	Provozní tlakový vzduch
Procesní připojení	Závitové připojení R 1 DN25
Teplota média [°C]	-10...60
Min. destrukční tlak [bar]	64
Odolnost proti tlaku [bar]	16
Měřicí rozsah [l/min]	14...3750
Zobrazovaná oblast [l/min]	0...4500
Rozlišení [l/min]	2

Tabulka 3 Specifikace přístroje IFM SD8500 [52]

Dále byl použit IO-Link master s rozhraním AL1100, který byl pomocí propojovacího kabelu spojen s přístrojem pro měření stlačeného vzduchu.



Obrázek 29 IO-Link master s rozhraním Profinet AL1100 [52]

IO-Link master **slouží** pro propojení přístroje a IO-Link Bluetooth adaptéru EIO330. Tento adaptér **slouží** pro ukládání naměřených dat a pro komunikaci mezi přístrojem a externím smart zařízením, které má nainstalovanou aplikaci od IFM Moneo blue.



Obrázek 30 IO-Link Bluetooth adaptér [52]

Měřicí přístroj i Bluetooth adaptér jsou napájeny skrze IO-Link master, který je napájecím kabelem spojen s 12 V napájecím zdrojem.

8.4 Sběr dat před optimalizací

Před zahájením optimalizace na vulkanizačním lise je za pomoci přístroje na měření spotřeby stlačeného vzduchu provedeno měření spotřeby stlačeného vzduchu ve 24hodinových intervalech. Sběr dat probíhal po dobu 21 dní, tedy 3 týdny od pondělí do neděle. Zároveň bylo počítáno, kolik daný vulkanizační lis vyprodukoval výrobků, protože na každý výrobek je potřeba jeden pracovní cyklus stroje. Čítač dat na měřicím přístroji, nebo taky totaliser, je nastaven tak, aby každých 24 hodin uložil výslednou celkovou hodnotu a začal měřit znova od nuly. Výsledná data je možné odečíst přímo z displeje měřicího přístroje nebo je za pomoci aplikace od IFM Moneo blue stáhnout a transferovat do tabulky programu Excel. Na obrazovce přístroje je možné odečíst hodnoty s přesností na dvě desetinná čísla a vždy pouze hodnotu z posledních celých 24 hodin. Data uložená pomocí IO-Link Bluetooth adaptéru do aplikace Moneo blue lze odečíst s přesností na 4 desetinná čísla. Při sběru dat byl primárně využíván sběr dat přes aplikaci Moneo blue.



Obrázek 31 Displej měřicího přístroje SD8500

8.4.1 Referenční výsledky spotřeby vzduchu

Referenční sběr dat na vulkanizačním lise bez aplikace optimalizačního návrhu probíhal po dobu dvaceti jedna dní. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce a porovnány s počtem cyklů, které lis vykonal za 24 hodin. Celkové hodnoty spotřebovaného vzduchu jsou uvedeny v m³.

Den měření	Spotřeba stlačeného vzduchu za 24 h (m ³)	Počet cyklů za 24 h
1.	201,5723	161
2.	202,3176	173
3.	225,3582	212
4.	217,9318	207
5.	215,8126	185
6.	224,9245	207
7.	191,5825	150
8.	211,8734	184
9.	231,9924	217
10.	244,7352	220
11.	231,9066	226
12.	226,5103	209
13.	234,2975	225
14.	186,8809	151
15.	233,9889	235
16.	222,5056	217
17.	214,2129	184
18.	227,5311	234
19.	204,0541	182

20.	209,0195	199
21.	196,214	147

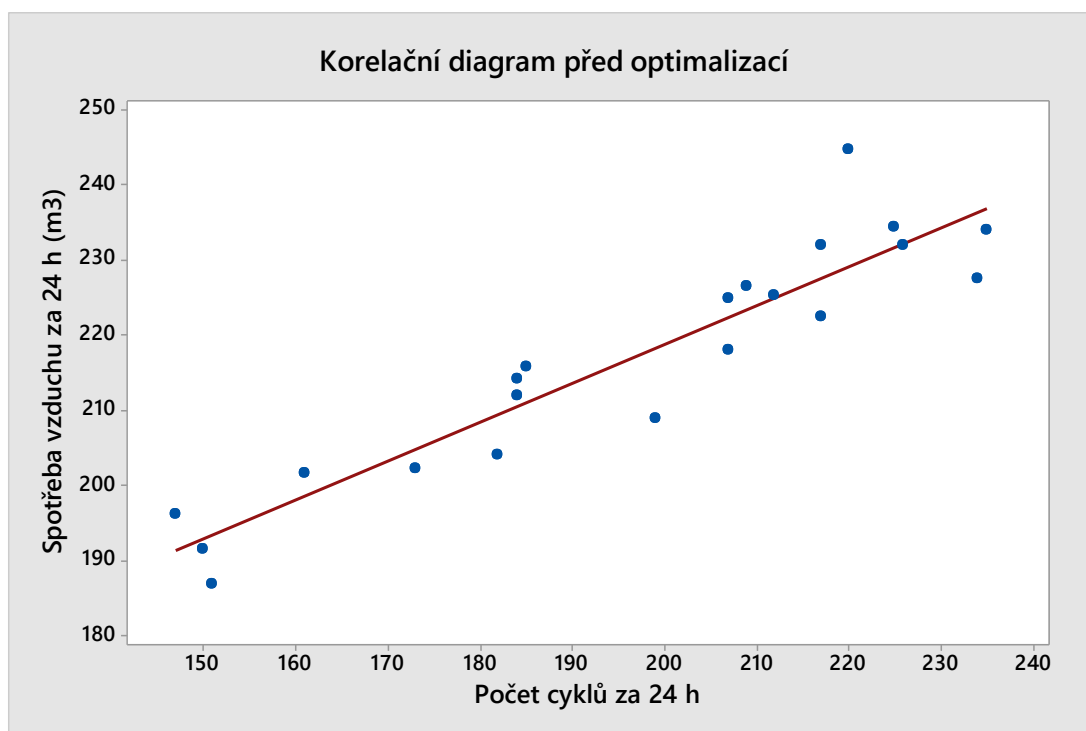
Tabulka 4 Naměřená data spotřeby vzduchu před optimalizací

V tabulce níže je sečtena celková spotřeba stlačeného vzduchu naměřená na vulkanizačním lisu za dvacet jedna dní jeho provozu a celkový počet cyklů za stejnou dobu.

Spotřeba stlačeného vzduchu za 21 dní (m ³)	4555,22
Počet cyklů za 21 dní	4125
Průměrné množství vzduchu na jeden cyklus (m ³)	1,10429

Tabulka 5 Celkové součty spotřeby stlačeného vzduchu a počtu cyklů

V korelačním diagramu je na ose x udáván počet cyklů vulkanizačního lisu za 24 h. Na ose y jsou zobrazeny naměřené hodnoty stlačeného vzduchu za 24 h. Z diagramu je zřejmé, že s počtem cyklů vulkanizačního lisu roste i spotřeba vzduchu. Medián všech měření spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací byl vypočítán na 217,932 m³ a medián počtu cyklů za 24 hodin vychází na 207.

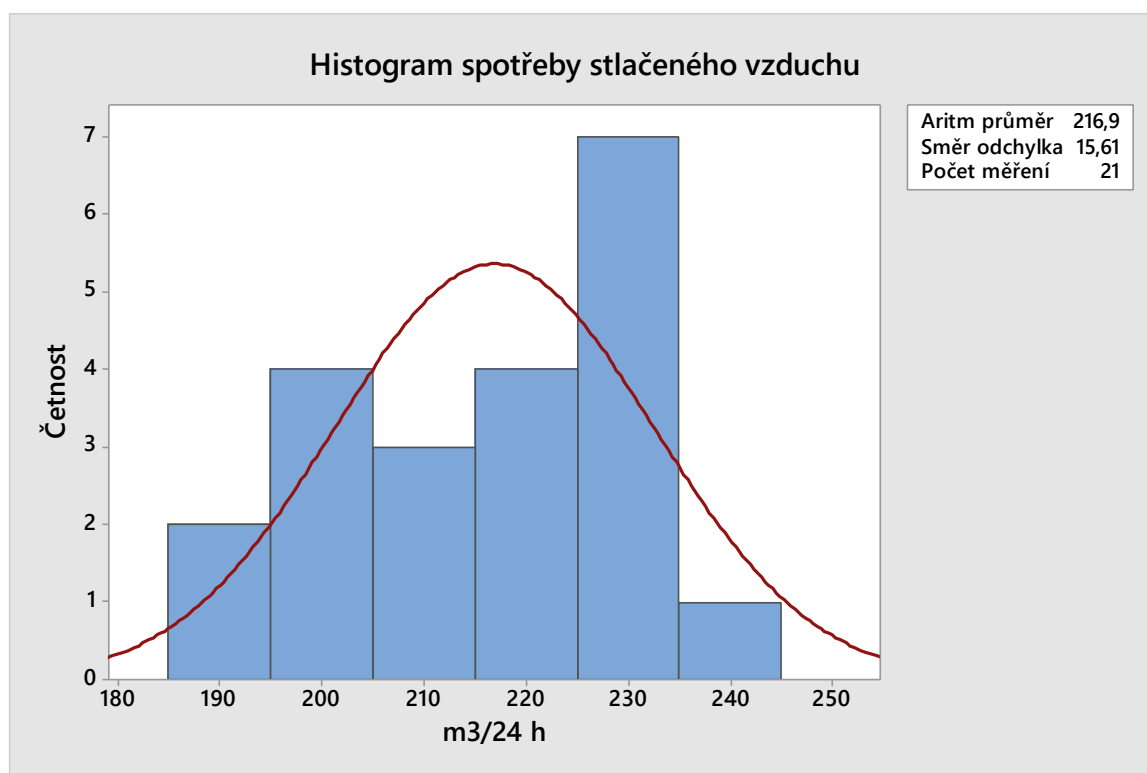


Obrázek 32 Korelační diagram spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací

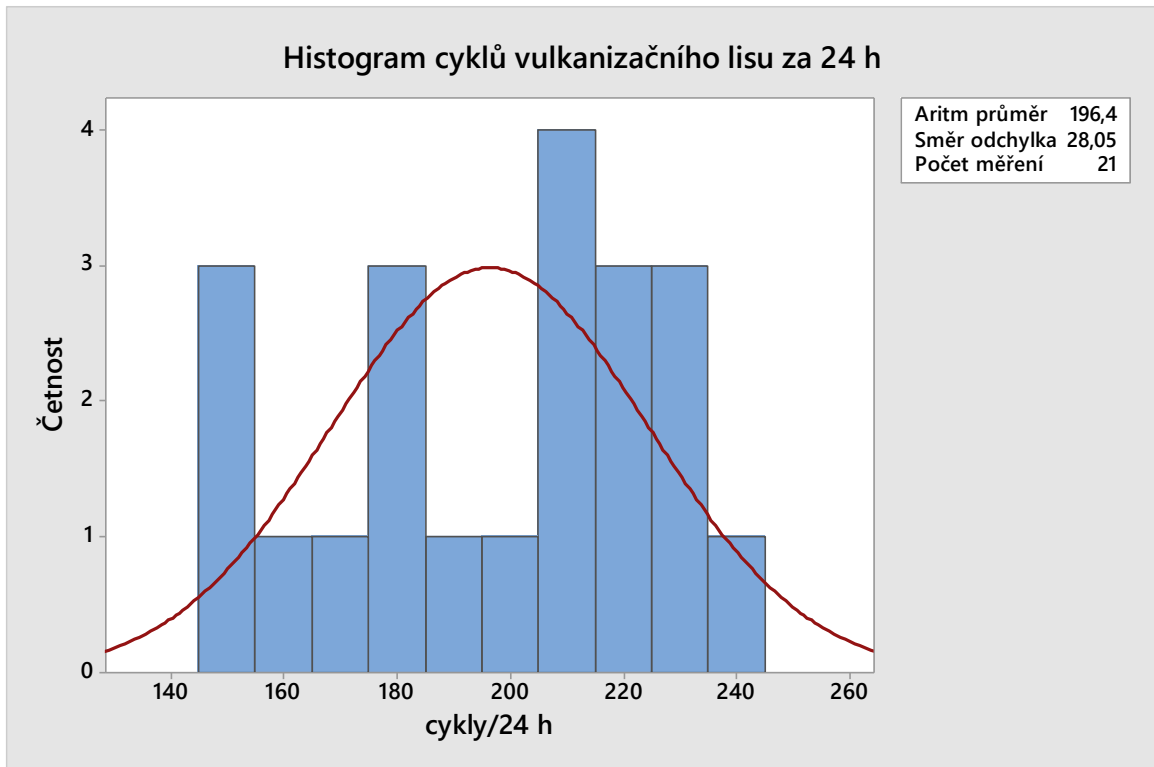
Z histogramu spotřeby stlačeného vzduchu lze vyčíst aritmetický průměr z 21 měření před optimalizací, který má hodnotu $216,9 \text{ m}^3$ se směrodatnou odchylkou $15,61 \text{ m}^3$.

Histogram počtu cyklů za 24 hodin ukazuje, že aritmetický průměr této proměnné je $196,05$ cyklu se směrodatnou odchylkou $28,05$ cyklu.

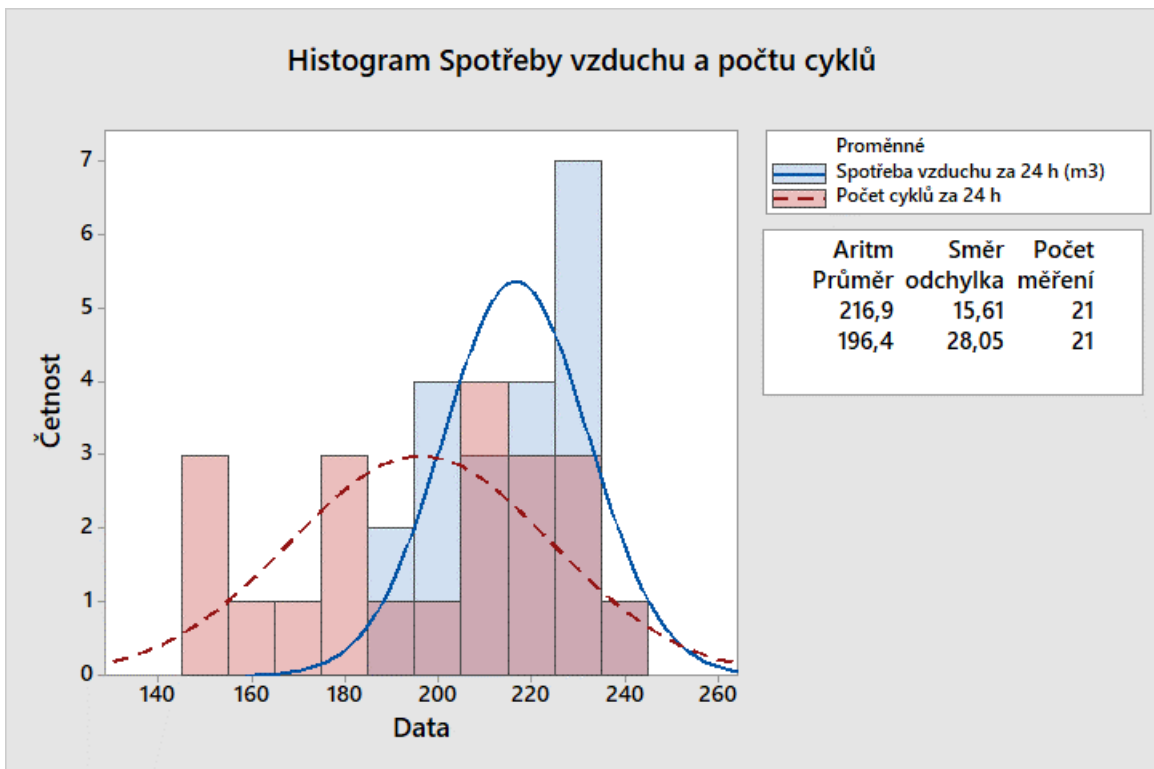
Ze společného histogramu lze dle Gausových křivek obou proměnných rozpoznat, že distribuce dat má u výsledků měření stlačeného vzduchu výrazně menší interval výskytu dat než hodnoty počtu cyklů, zároveň lze vidět, že vrchol křivky spotřeby stlačeného vzduchu je na ose x položen výše než vrchol křivky počtu cyklů. Rozdíl mezi vrcholy má na ose x přesnou hodnotu $20,5$.



Obrázek 33 Histogram spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací



Obrázek 34 Histogram cyklů vulkanizačního lisu za 24 h před optimalizací



Obrázek 35 Kombinovaný histogram měření vzduchu a počtu cyklů

Hodnoty v tabulce 4 budou posuzovány jako referenční hodnoty spotřeby stlačeného vzduchu na vulkanizačním lise před začátkem procesu optimalizace. Současně je důležité posuzovat hodnoty, které udávají celkovou naměřenou spotřebu stlačeného vzduchu za dvacet jedna dní, která byla $4555,22 \text{ m}^3$ při celkovém počtu cyklů 4125. Z toho lze vypočítat, že aritmetický průměr spotřeby vzduchu na jeden cyklus je $1,10429 \text{ m}^3$.

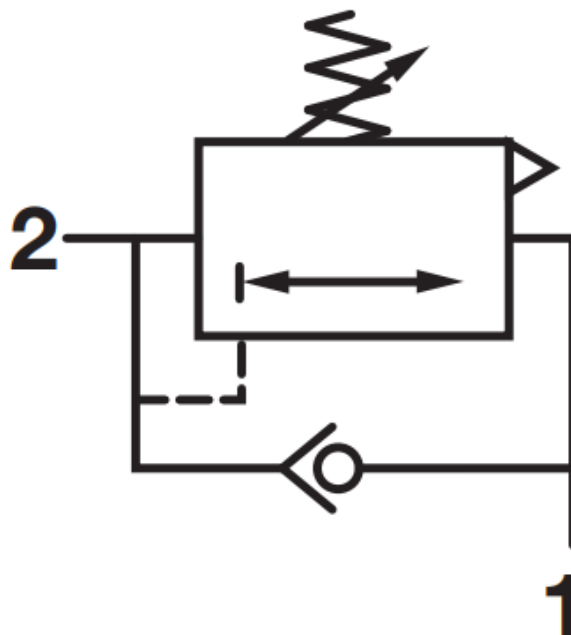
8.5 Instalace regulátorů tlaku na pneumatické válce

Jak bylo popsáno v kapitole 8.1 Plán optimalizace, na vybrané pneumatické válce budou aplikovány regulátory tlaku a bude snížen tlak během jejich pohybu k zemi. Pro pohyb směrem dolů není potřeba maximální dostupný tlak vzduchu, protože mechanické součásti, se kterými pneumatické válce pohybují, jsou taženy směrem k zemi gravitační silou.

Celkem se bude regulovat tlak u 10 vybraných pneumatických válců a bude použito deset regulátorů tlaku.

8.5.1 Regulátor tlaku vzduchu

Jako regulátor tlaku vhodný pro naši aplikaci byl vybrán regulátor 102GB3838 od firmy NORGREN. Regulátor tlaku reguluje tlak vzduchu vstupující do válce a při pohybu válce zpět vzduch volně odfukuje, jak je vidět na schématu použitého regulačního ventilu.



Obrázek 36 Schéma regulátoru tlaku vzduchu 102GB3838 [53]

Regulátor tlaku je osazen vnějším a vnitřním závitem G 3/8, na které jsou namontovány šroubení s nástrčnými koncovkami pro hadici. Regulátor tlaku se nastavuje šroubováním závitu se stupnicí, která má hodnoty 0–8 bar.



Obrázek 37 Regulátor tlaku 102GB3838

Regulátory tlaku jsou namontovány na rozvody vzduchu vedoucí k pneumatickým válcům. Namontovány jsou před škrťacími ventily, které regulují průtok vzduchu směrem z válců, a tím zpomalují jeho chod. Škrťací ventil je namontován v pneumatickém válci.



Obrázek 38 Zapojený regulátor tlaku 102GB3838

Regulátory stlačeného vzduchu byly namontovány na rozvody vedoucí k pneumatickým válcům a řádně seřízeny na požadovaný tlak. Následně byly pohyby pomocných částí stroje seřízeny pomocí škrťacích ventilů, aby nedocházelo k problémům způsobeným příliš rychlými nebo naopak pomalými pohyby.

8.5.2 Vyhodnocení naměřených dat po optimalizaci

Stejně jako při sběru dat před optimalizací vulkanizačního lisu, i při sběru po optimalizaci budou ukládána data ve 24hodinových intervalech, a to po dobu dvaceti jedna dní. Data budou porovnávána s počtem cyklů, které v daném časovém úseku vulkanizační lis vykonal.

Den měření	Spotřeba stlačeného vzduchu za 24 h (m ³)	Počet cyklů za 24 h
1.	202,3947	198
2.	208,4733	212

3.	214,7442	222
4.	201,924	194
5.	182,1157	178
6.	214,2182	227
7.	159,8219	123
8.	215,5519	224
9.	207,924	204
10.	189,0912	175
11.	229,8735	234
12.	223,6817	225
13.	236,6757	252
14.	177,4104	146
15.	232,7453	245
16.	235,264	249
17.	228,9801	235
18.	222,6826	219
19.	222,9356	211
20.	219,4607	209
21.	168,4254	115

Tabulka 6 Naměřená spotřeba vzduchu vulkanizačního lisu po optimalizaci

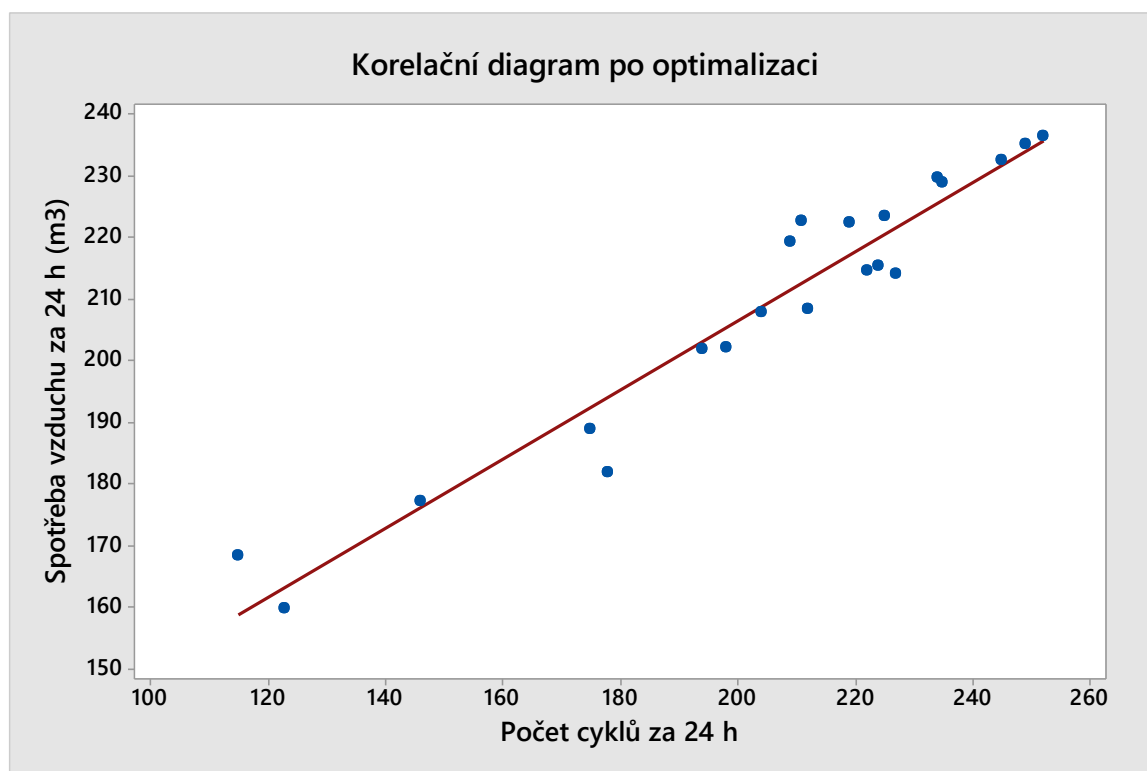
V tabulce níže jsou sečteny hodnoty celkové spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci, celkový počet cyklů a průměrné množství vzduchu na jeden cyklus.

Spotřeba stlačeného vzduchu za 21 dní (m ³)	4394,39
Počet cyklů za 21 dní	4297
Průměrné množství vzduchu na jeden cyklus (m ³)	1,02266

Tabulka 7 Celkové součty spotřeby stlačeného vzduchu a počtu cyklů po optimalizaci

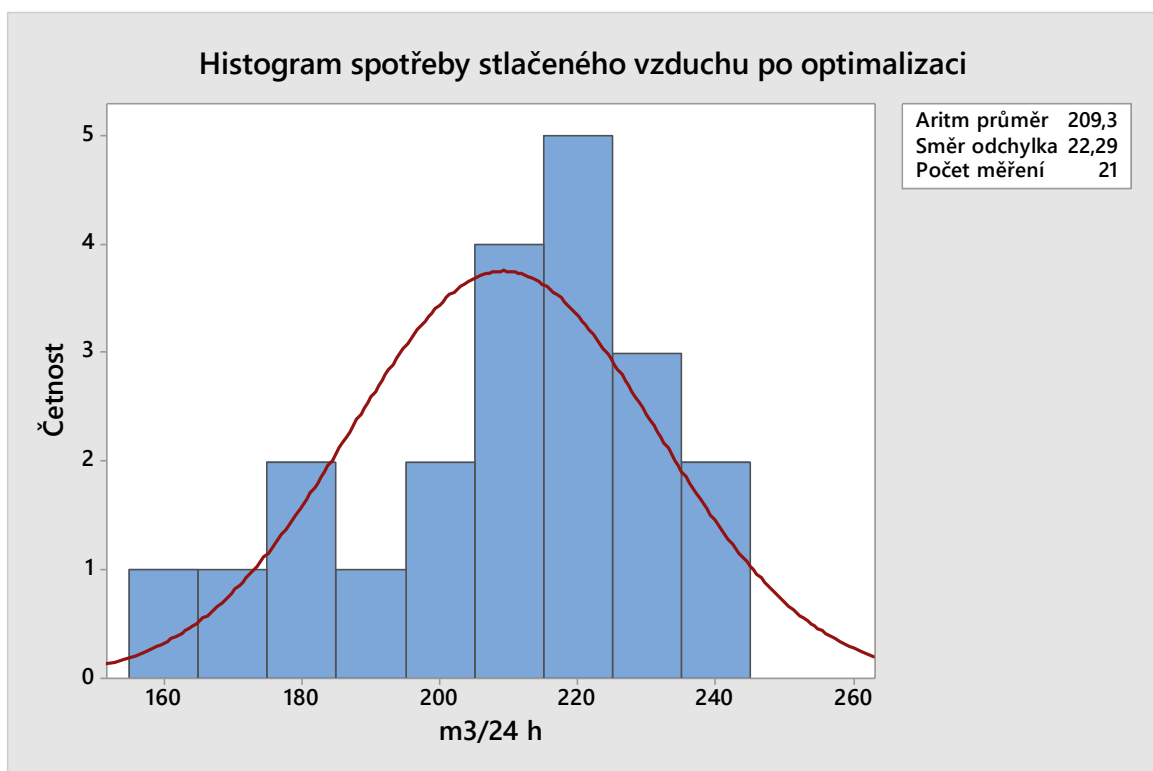
Pokud budou porovnány hodnoty v tabulkách 5 a 7, bude zjištěno, že spotřeba stlačeného vzduchu před optimalizací byla 4555,22 m³ při 4125 cyklech, zatímco po aplikaci optimalizačního návrhu klesla spotřeba na 4394,39 m³ při zvýšeném počtu cyklů 4297. Celkově se tak snížilo potřebné množství stlačeného vzduchu na jeden cyklus ze 1,10429 m³ na 1,02266 m³. To by odpovídalo snížení spotřeby stlačeného vzduchu na jeden cyklus přibližně o 9,4 %.

$$V_{cycl} = 1,02266 \div (1,10429 \div 100) = 90,60792 \% \quad (13)$$



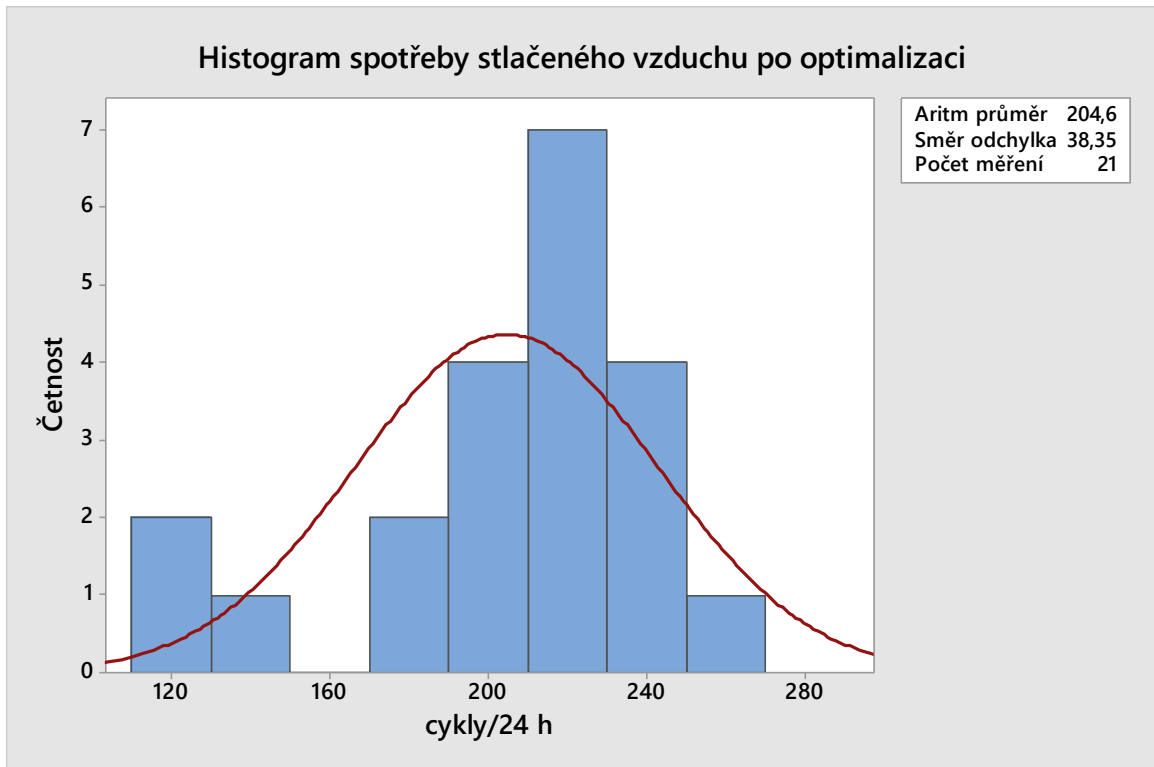
Obrázek 39 Korelační diagram spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci

Korelační diagram zobrazuje naměřená data spotřeby stlačeného vzduchu na vulkanizačním lisu po optimalizaci. Na ose x je udáván počet cyklů vulkanizačního lisu za 24 h. Na ose y jsou zobrazeny naměřené hodnoty stlačeného vzduchu za 24 h. Při porovnání s diagramem na obrázku 32, na kterém jsou zobrazena naměřená data před optimalizací, je možné rozpoznat, že při vyšším počtu cyklů jsou hodnoty spotřeby stlačeného vzduchu na nižších úrovních. Medián všech měření spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci byl vypočítán na $214,744 \text{ m}^3$, tedy o $3,188 \text{ m}^3$ nižší než před optimalizací a současně medián počtu cyklů za 24 hodin vychází na 212 cyklů, to je o 5 cyklů více než před optimalizací.

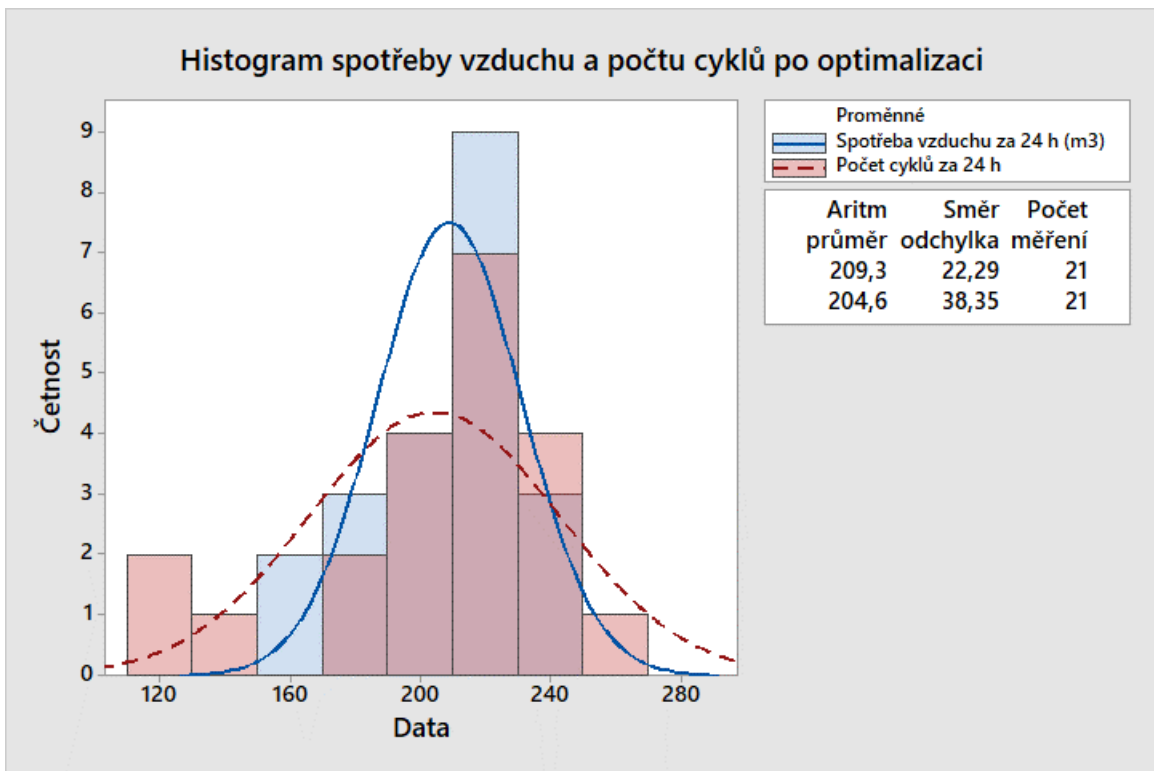


Obrázek 40 Histogram spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci

Při porovnání histogramu spotřeby stlačeného vzduchu před a po optimalizaci je možné vidět rozdíly. Zatímco v histogramu spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací byla nejvyšší četnost mezi naměřenou spotřebou okolo 230 m^3 , konkrétně sedm výskytů těchto hodnot, tak po optimalizaci je nejvyšší četnost okolo 220 m^3 , kde je četnost pět. Celkově jde vysledovat, že po optimalizaci je vyšší počet četností v nižších hodnotách spotřeby než před optimalizací. Nižší je také aritmetický průměr, který má hodnotu po optimalizaci $209,3 \text{ m}^3$. To je o $7,6 \text{ m}^3$ za 24 hodin menší spotřeba vzduchu než před optimalizací. Nicméně tato hodnota není zcela vypovídající, protože při měření po optimalizaci bylo provedeno podstatně více cyklů, jak bude zobrazeno v následujícím grafu.



Obrázek 41 Histogram cyklů vulkanizačního lisu za 24 h po optimalizaci

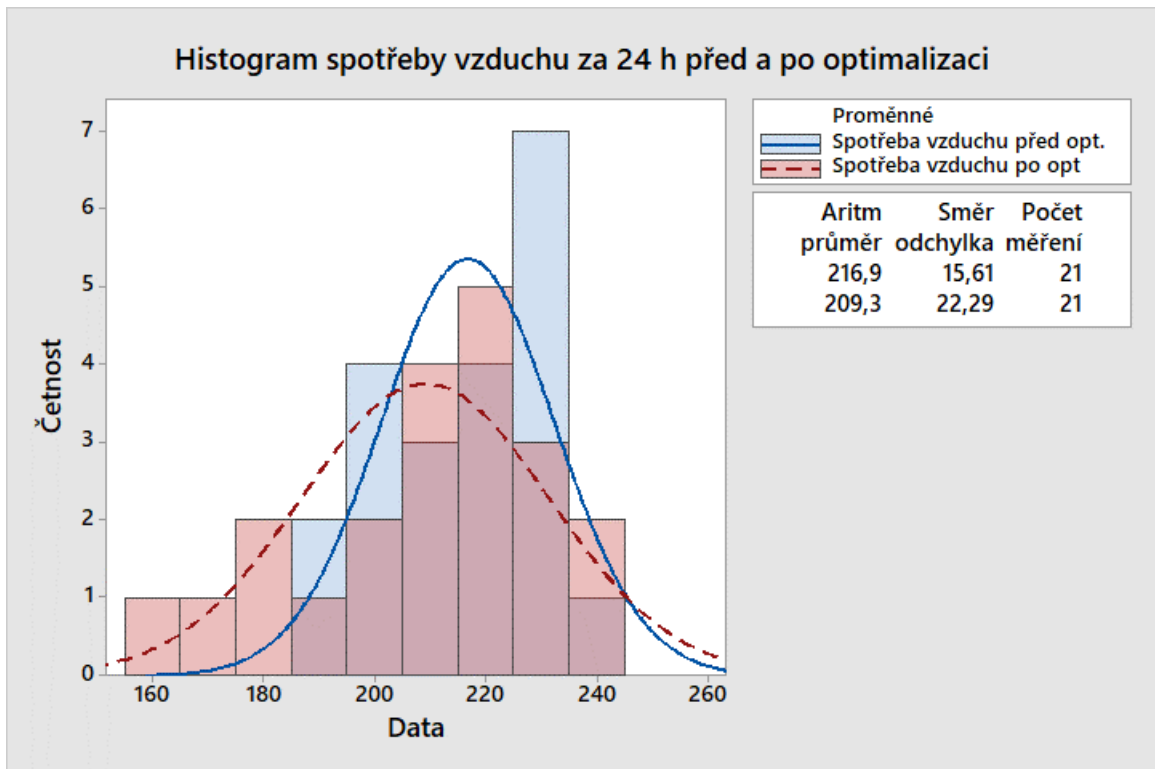


Obrázek 42 Kombinovaný histogram měření vzduchu a počtu cyklů po optimalizaci

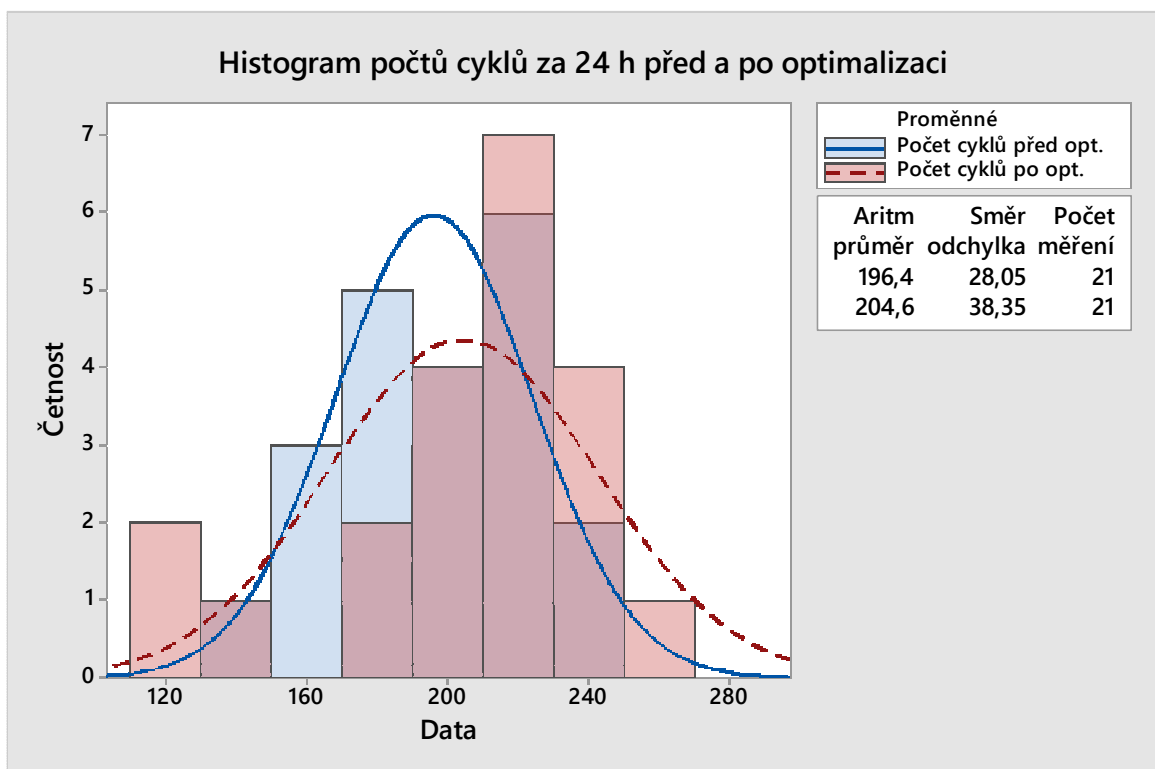
V histogramu počtu cyklů vulkanizačního lisu po optimalizaci lze vidět, že počty cyklů byly měřeny v širším spektru, ale přesto největší množství naměřených dat bylo okolo 200 cyklů za 24 hodni a výše, konkrétně šestnáct měření. Pokud budou porovnány histogramy po a před optimalizací, tak je možné zjistit, že měření, kde byly počty cyklů za 24 hodin okolo hodnot 200 a výše, je pouze dvanáct. Aritmetický průměr počtu cyklů má při směrodatné odchylce 38,35 cyklu hodnotu 204,6 cyklů za 24 hodin, to je o 8,2 cyklu za 24 hodni více než při měření před optimalizací.

Při porovnání kombinovaných histogramů spotřeby stlačeného vzduchu a počtu cyklů před a po optimalizaci lze dle Gausových křivek vidět, že stejně jako před optimalizací má počet cyklů za 24 hodin větší rozptyl než spotřeba stlačeného vzduchu. Výrazný rozdíl lze zaznamenat v polohách vrcholů křivek na ose x. Při měření před optimalizací byl rozdíl hodnot mezi těmito vrcholy na ose x přesně 20,5. Po optimalizaci je na ose x rozdíl hodnot mezi vrcholy už jen 4,7, přičemž stejně jako před optimalizací má vyšší hodnotu na ose x spotřeba stlačeného vzduchu.

Ke snížení rozdílu mezi vrcholy křivek na ose x došlo díky snížení spotřeby stlačeného vzduchu na jeden cyklus. Před optimalizací byla spotřeba vzduchu na jeden cyklus vulkanizačního lisu $1,10429 \text{ m}^3$, zatímco po optimalizaci je vypočítaná spotřeba na jeden cyklus vulkanizačního lisu jen $1,02266 \text{ m}^3$. Pokud by se podařilo snížit spotřebu stlačeného vzduchu na hodnotu 1 m^3 na jeden cyklus, pak by vrcholy Gausových křivek byly v jedné ose. Pokud by došlo ke snížení spotřeby stlačeného vzduchu na jeden cyklus pod 1 m^3 , pak by na ose x zastával vyšší hodnotu vrchol křivky počtu cyklů za 24 hodin. Na obrázcích 43 a 44 je možné vidět přímé porovnání aritmetických průměrů a směrodatných odchylek v histogramech vytvořených z naměřených dat spotřeby stlačeného vzduchu a počtů cyklů před a po optimalizaci.



Obrázek 43 Histogram spotřeb stlačeného vzduchu před a po optimalizaci



Obrázek 44 Histogram počtu cyklů za 24 hodin před a po optimalizaci

8.5.3 Vyčíslení úspor

Pro výpočet úspor vzniklých aplikací optimalizačního řešení je nejprve nutné vypočítat celkovou spotřebu vzduchu na vulkanizačním lise za jeden rok. Bude-li předpokládáno, že lis pracuje v nepřetržitém provozu a započítáme pouze celozávodní odstávky určené k opravám strojů, pak je možné počítat s výrobním rokem o délce 350 dní. Jako počet cyklů za jeden den bude počítán aritmetický průměr ze všech měření před i po optimalizaci. Výsledná hodnota je 200,524 cyklů za jeden den. Cena stlačeného vzduchu bude stanovena na 0,4 Kč/ m³. počet cyklů za jeden výrobní rok bude vynásoben hodnotou 1,10429, která udává množství spotřebovaného vzduchu v m³/cyklus.

$$N_{1rok} = 350 \times 200,524 \times 1,10429 \times 0,4 = 31001 \text{ Kč/rok} \quad (14)$$

Pokud vynásobíme všechny hodnoty, tak výsledkem jsou roční náklady za stlačený vzduch na jeden vulkanizační lis 31001 Kč.

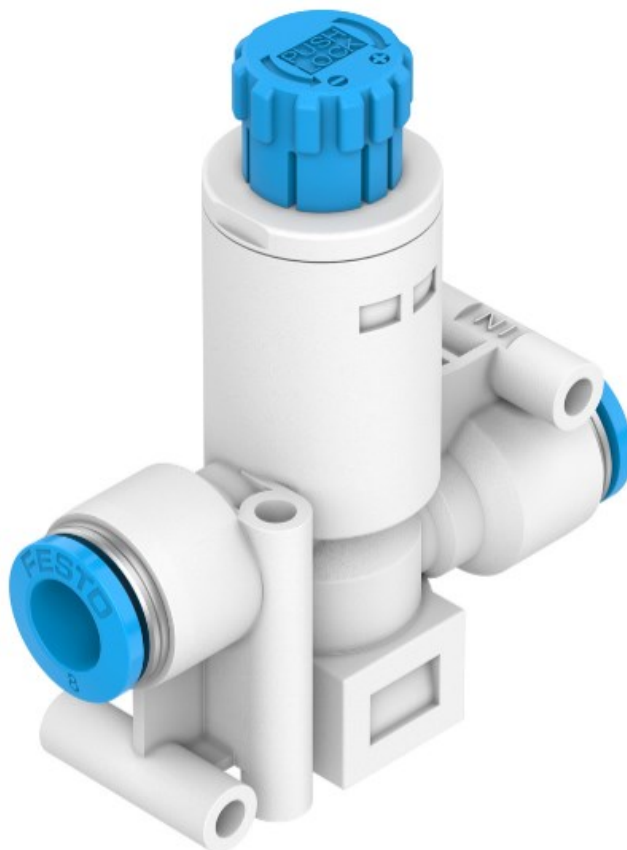
$$N_{opt1rok} = 31001 \times 0,9060792 = 28089 \text{ Kč/rok} \quad (15)$$

Optimalizací bylo docíleno snížení spotřeby stlačeného vzduchu na jeden cyklus přibližně o 9,4 %. Pokud aplikujeme na náklady spotřebu stlačeného vzduchu po optimalizaci, pak výsledné náklady jsou 28089 Kč za jeden rok. Výsledná úspora za stlačený vzduch je pak teoreticky 2912 Kč za jeden rok na jeden vulkanizační lis.

Pořizovací náklady za deset kusů regulátorů tlaku 102GB3838 od firmy NORGREEN, šroubení s nástrčnými koncovkami a 100 cm pneumatické hadice stál přibližně 12500 Kč, jedna sada regulátoru tlaku se šroubením a 10 cm hadicí tedy vyšel na 1250 Kč. Pokud aplikované optimalizační řešení na vulkanizačním lise zůstane, pak budou náklady na pořízený materiál vykompenzovány nižší spotřebou vzduchu přibližně za padesát dva měsíců neboli čtyři roky a čtyři měsíce.

Nutno dodat že regulátory tlaku použité pro experiment nepatří mezi nejlevnější. Na trhu je možné najít i levnější regulátory tlaku od jiných firem s pneumatickými komponenty, jako například regulátor tlaku vzduchu VRPA od firmy FESTO, který je možné pořídit za cenu 490 Kč. Součástí tohoto ventilu jsou dvě nástrčné koncovky a není tedy potřeba žádný dodatečný materiál. Pokud by byly použity regulátory tlaku VRPA, pak by byly pořizovací

náklady 4900 Kč. Konečná návratnost investice by byla za přibližně dvacet měsíců, tedy za jeden rok a osm měsíců.



Obrázek 45 Regulátor tlaku VRPA od firmy FESTO [49]

8.6 Návrh dalších optimalizačních řešení

Optimalizační řešení aplikováno v této diplomové práci byl pouze první krok a takový experiment, zda lze za pomoci snižování tlaku vzduchu na částech stroje, kde není maximální tlak vzduchu potřebný, významně snížit spotřebu stlačeného vzduchu.

Je možné na stroj aplikovat terminál s implementovanými regulátory tlaku, pak by bylo možné tlak v jednotlivých okruzích regulovat na jednom místě a nebylo by nutné dokupovat žádná další zařízení.

Jako dalším možným řešením je celkové snížení objemu tlakového vzduchu v celém systému. Tedy zkrátit přívodní hadice, zmenšit rozvodové terminály a ventily, a tím celkově snížit objem stlačeného vzduchu v okruzích. Tyto řešení jsou cenově nákladnější a je potřeba pro jejich aplikaci větší technický zásah do stroje.

Zvažované možnosti pro snížení spotřeby stlačeného vzduchu jsou i nahrazení pneumatických válců lineárními elektropohony nebo hydraulickými válci. Obě tyto varianty mají znatelné množství výhod, ale také jednu významnou nevýhodu, kterou jsou pořizovací náklady.

Je už na dalších propočtech, zda je výhodné vulkanizační lis nechat osazený pohony na stlačený vzduch nebo zda je rentabilní jej nahradit jinými typy pohonů, ale potenciál pro další optimalizaci na vulkanizačním lise pravděpodobně je.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo za pomoci nástrojů Lean provést optimalizaci spotřeby energií vulkanizačního lisu. Byla provedena analýza spotřeby energií vulkanizačního lisu s cílem identifikovat oblasti pro úsporu energie a optimalizaci provozních nákladů. Energie zahrnovaly vodní páru, elektrickou energii, stlačený vzduch, hydraulický olej a lidskou sílu.

Pomocí nástrojů Lean, jako je Ishikawův diagram, Paretova analýza a metoda 5 x Why, byla vhodnou oblastí pro optimalizaci identifikována spotřeba stlačeného vzduchu. Návrh optimalizace spočíval ve snížení tlaku v pneumatických válcích ve směru, kdy je mechanická část přitahována směrem dolů za pomoci gravitace. Byly vypočítány objemy pneumatických válců při standardním i sníženém tlaku a byla zjištěna teoretická velikost úspor.

Před začátkem procesu optimalizace bylo provedeno měření spotřeby stlačeného vzduchu při standardním tlaku po dobu dvaceti jedna dní. Sběr dat probíhal ve dvaceti čtyř hodinových intervalech. Tyto výsledky jsou zvažovány jako referenční a hodnoty naměřené po aplikaci optimalizačního návrhu s nimi budou porovnávány.

V procesu optimalizace byly na okruhy vybraných pneumatických válců instalovány regulátory tlaku a seřizeny na požadovaný tlak dvou barů. V následujících dvaceti jedna dnech byl znovu proveden sběr dat ve formě měření spotřeby stlačeného vzduchu ve dvaceti čtyř hodinových intervalech. Referenční hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými po optimalizaci. Bylo zjištěno, že po optimalizaci se snížila průměrná spotřeba stlačeného vzduchu ze 216,9 m³ na 209,3 m³, ale zároveň bylo při měření po optimalizaci provedeno více pracovních cyklů stroje, a to v průměru o 8,2 cyklu za dvacet čtyři hodin. Tyto výsledky tedy není možné vzájemně porovnávat, a proto je jako ukazatel úspory stanovena hodnota, jež udává spotřebu stlačeného vzduchu v m³ na jeden cyklus. Před optimalizací stroj spotřeboval 1,10429 m³ na jeden cyklus, po optimalizaci byla z naměřených dat vypočítána spotřeba stlačeného vzduchu pouze 1,02266 m³ na jeden cyklus. Lze tedy vyjádřit, že spotřeba na jeden cyklus klesla po optimalizaci přibližně o 9,4 %.

Uspořené náklady za stlačený vzduch na vulkanizačním lise byly spočítány na 2912 Kč za jeden rok. Návratnost nákladů, které byly do optimalizace vloženy lze vypočítat dle zvolených regulátorů tlaku na čtyřicet osm nebo dvacet měsíců. Snižováním tlaku v pneumatických válcích bylo dosaženo úspory energie a zvýšení efektivity vulkanizačního lisu. Tato strategie umožnila snížit provozní náklady a zvýšit udržitelnost výrobního procesu.

Díky úsporám energie ve spotřebě stlačeného vzduchu bylo dosaženo výhod v podobě úspor, ale také k ochraně životního prostředí snížením emisí skleníkových plynů. Dále bylo popsáno, jakým směrem se může ubírat snaha o další snižování spotřeby stlačeného vzduchu.

Výsledky této diplomové práce ukazují význam efektivního řízení energií v průmyslových procesech a důležitost využívání nástrojů Lean pro identifikaci a implementaci úsporných opatření. V procesu optimalizace využití stlačeného vzduchu bude i nadále pokračováno s cílem dosáhnout dalších úspor a zlepšení výrobní efektivity a udržitelnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOUSHMAND, Mahmoud a JAMSHIDNEZHAD, Bizhan. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Elsevier, 2006.
- [2] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN ISO 9001:2016, *Systémy managementu kvality - Požadavky*. 02/2016.
- [3] *StudySmarter*. Online. Dostupné z: <https://www.studysmarter.co.uk/>. [cit. 2024-02-18].
- [4] *Factors of Production - The Economic Lowdown Podcast Series & Transcript*. Online. FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS. Dostupné z: <https://www.stlouisfed.org/>. [cit. 2024-02-27].
- [5] XU, Bin; CHAUDHRY, Sohail S. a LI, Yanfang. Factors of production: Historical theories and new developments. *Systems Research and Behavioral Science*. Roč. 2009, č. 26, s. 219-224. ISSN 1092-7026.
- [6] FERNANDO, Jason. 4 Factors of Production Explained With Examples. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/f/factors-production.asp>. [cit. 2024-02-27].
- [7] YANG, Bo; HE, Yumin a YIN, Honghao. Data Analysis and Production Process Control. Online. In: DOLGUI, Alexandre; BERNARD, Alain; LEMOINE, David; VON CIEMINSKI, Gregor a ROMERO, David (ed.). *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems*. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2021, s. 555-562. ISBN 978-3-030-85873-5. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_59. [cit. 2024-02-25].
- [8] *Minitab® 21 Support*. Online. Minitab® 21 Support. 2023. Dostupné z: <https://support.minitab.com/>. [cit. 2024-02-11].
- [9] MALEGA, Peter; GAZDA, Vladimír a RUDY, Vladimír. Optimization of production system in plant simulation. Online. *SIMULATION*. 2022, roč. 98, č. 4, s. 295-306. ISSN 0037-5497. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/00375497211038908>. [cit. 2024-03-24].
- [10] *Crowns Machinery*. Online. Crowns Machinery. Dostupné z: <https://www.crownsmachinery.com/>. [cit. 2024-02-15].
- [11] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [12] *Key International*. Online. Dostupné z: <https://www.keyinternational.com/>. [cit. 2024-02-08].
- [13] *Chuang Chen*. Online. Dostupné z: <https://www.chuangchenhardware.com/>. [cit. 2024-02-27].
- [14] *Asset Plant & Machinery Australia*. Online. Dostupné z: <https://assetplant.com.au/>. [cit. 2024-02-27].
- [15] *Mindman*. Online. Dostupné z: <https://www.mindman.com.tw/>. [cit. 2024-02-27].
- [16] *Matmatch*. Online. Matmatch. Dostupné z: <https://matmatch.com/>. [cit. 2024-02-12].

- [17] MARK, James E.; ERMAN, Burak a ROLAND, C. M. (ed.). *The science and technology of rubber*. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 978-0-12-394584-6.
- [18] BLAETTLER, Karen G. *The Manufacturing Process of Rubber*. Online. SCIENCING. December 15, 2018. Dostupné z: <https://sciencing.com/manufacturing-process-rubber-5206099.html>. [cit. 2024-02-25].
- [19] *Askol Technique and Industry*. Online. Dostupné z: <https://www.askol.com/>. [cit. 2024-02-27].
- [20] *Rapid Direct*. Online. Rapid Direct. January 5, 2024. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/>. [cit. 2024-02-25].
- [21] *Timco rubber*. Online. Timco rubber. Dostupné z: <https://www.timcorubber.com/>. [cit. 2024-02-27].
- [22] KUMAR, Naveen; SHAHZEB HASAN, Syed; SRIVASTAVA, Kunal; AKHTAR, Rayhan; KUMAR YADAV, Rakesh et al. Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. Online. *Materials Today: Proceedings*. 2022, roč. 64, č. 3, s. 1188-1192. ISSN 22147853. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>. [cit. 2024-02-08].
- [23] NAEEMAH, Ali Jaber a WONG, Kuan Yew. Selection methods of lean management tools: a review. Online. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2021, roč. 72, č. 4, s. 1077-1110. ISSN 1741-0401. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2021-0198>. [cit. 2024-02-08].
- [24] *Kanbantool*. Online. Dostupné z: <https://kanbantool.com/>. [cit. 2024-02-08].
- [25] *Michigan Tech*. Online. 2019. Dostupné z: <https://blogs.mtu.edu/>. [cit. 2024-02-28].
- [26] INÁCIO, Laíres Cristina dos Reis; AVELINO, Sarah Ferreira; SANJULIÃO, Lo-Ruana Karen Amorim; REIS, Maria José; BORGES, Vânia de Oliveira et al. Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. Online. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*. 2023, roč. 14, č. 10, s. 17413-17427. ISSN 2178-9010. Dostupné z: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2890>. [cit. 2024-02-09].
- [27] BILSEL, R. Ufuk a LIN, Dennis K.J. Ishikawa Cause and Effect Diagrams Using Capture Recapture Techniques. Online. *Quality Technology & Quantitative Management*. 2016, roč. 9, č. 2, s. 137-152. ISSN 1684-3703. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/16843703.2012.11673282>. [cit. 2024-02-09].
- [28] <https://www.mindmanager.com>. Online. Dostupné z: <https://www.mindmanager.com/en/features/ishikawa-diagram/>. [cit. 2024-02-09].
- [29] SPINA, Esteban. MEDIUM: Fishbone Diagrams. Online. In: . Dostupné z: <https://medium.com/globant/fishbone-diagrams-7c56ccaf06ba>. [cit. 2024-02-28].
- [30] HARVEY, H. Benjamin a SOTARDI, Zuzana T. The Pareto Principle. *Journal of the American College of Radiology*. 2018, roč. 2018, č. 15.
- [31] AALST, Wil van der. On the Pareto Principle in Process Mining, Task Mining, and Robotic Process Automation. Online. *N Proceedings of the 9th International Conference on Data Science, Technology and Applications*. 2022, roč. 2022, s. 5-12. Dostupné z: <https://doi.org/10.5220/0009979200050012>. [cit. 2024-02-11].
- [32] *Lean 6 Sigma*. Online. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/>. [cit. 2024-02-28].

- [33] *Learn Lean6Sigma*. Online. Learn Lean6Sigma. Dostupné z: <https://www.learnleansigma.com/>. [cit. 2024-02-11].
- [34] BLECHARZ, Pavel. *Základy moderního řízení kvality*. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-75-0.
- [35] *SIX SIGMA: A COMPLETE STEP-BY-STEP GUIDE*. Online. 2018. Buffalo: The Council for Six Sigma Certification, 2018. Dostupné z: <https://www.sixsigmacouncil.org/>. [cit. 2024-02-05].
- [36] <https://www.leanprocess.net>. Online. <https://www.leanprocess.net>. Dostupné z: <https://www.leanprocess.net/history-six-sigma/>. [cit. 2024-02-04].
- [37] Systematic review of Lean and Six Sigma approaches in higher education. Online. CUDNEY, Elizabeth; VENUTHURUMILLI, Sri Sandilya Jeemooth; MATERLA, Tejaswi a ANTONY, Jiju. *Total Quality Management & Business Excellence*. 31. 2018, roč. 2018, č. 31, s. 231-244. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14783363.2017.1422977?scroll=top&needAccess=true>. [cit. 2024-05-08].
- [38] PAKDIL, Fatma. Six sigma project prioritization and selection methods: a systematic literature review. Online. *International Journal of Lean Six Sigma*. 2021, roč. 2021, č. 13, s. 382-407. ISSN 2040-4166. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-01-2021-0001>. [cit. 2024-02-05].
- [39] Key Criticisms of Six Sigma: A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2020, roč. 2020, č. 67, s. 950 - 962.
- [40] KUMAR, Pawan; KHAN, Muhammad Ali; MUGHAL, Usama Khursheed a KUMAR, Suneel. *Exploring the Potential of Six Sigma (DMAIC) in Minimizing the Production Defects*. Přednáška. Proceedings of the International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management Dhaka, Bangladesh, 2021.
- [41] YANG, Ching-Chow; JOU, Yung-Tsan; LIN, Ming-Chang; SILITONGA, Riana Magdalena a SUKWADI, Ronald. The Development of the New Process of Design for Six Sigma (DFSS) and Its Application. Online. *Sustainability*. 2022, roč. 2022, č. 14. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9294>. [cit. 2024-02-07].
- [42] *Engineering enotes*. Online. Dostupné z: <https://www.engineeringenotes.com/>. [cit. 2024-04-07].
- [43] CONNOR, Nick. *Thermal Engineering*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.thermal-engineering.org/>. [cit. 2024-04-07].
- [44] *TESCA*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.tescaglobal.com>. [cit. 2024-04-07].
- [45] *Vector solutions*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.vectorsolutions.com/>. [cit. 2024-04-07].
- [46] *Parker Hannifin Corporation*. Online. Dostupné z: <https://www.parker.com/>. [cit. 2024-04-07].
- [47] *The Mechanical Engineering*. Online. AMRIT, Kumar. 2022. Dostupné z: <https://themechanicalengineering.com/>. [cit. 2024-04-07].
- [48] *Apeejay newsroom*. Online. 2023. Dostupné z: <https://apeejay.news/boyles-law/>. [cit. 2024-04-28].
- [49] *FESTO*. Online. Dostupné z: <https://www.festo.com/>. [cit. 2024-04-07].

- [50] TERVO, K.; PALMROTH, L. a KOIVO, H. Skill Evaluation of Human Operators in Partly Automated Mobile Working Machines. Online. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2010, roč. 7, č. 1, s. 133-142. ISSN 1545-5955. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TASE.2009.2025364>. [cit. 2024-04-09].
- [51] CHANG, Qing; XIAO, Guoxian; BILLER, Stephan a LI, Lin. Energy Saving Opportunity Analysis of Automotive Serial Production Systems (March 2012). Online. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2013, roč. 10, č. 2, s. 334-342. ISSN 1545-5955. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TASE.2012.2210874>. [cit. 2024-04-12].
- [52] *IFM*. Online. IFM. Dostupné z: <https://www.ifm.com/>. [cit. 2024-04-16].
- [53] *NORGREN*. Online. Dostupné z: <https://www.norgren.com/>. [cit. 2024-04-22].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SPC	Statistické řízení procesu
kN	kilo Newton
F	Síla
p	Tlak
S	Plocha
π	Pí
D	Průměr
%	Procento
DPMO	Počet vad na milion příležitostí
DOE	Design of experiment
σ	Směrodatná odchylka
\bar{x}	Aritmetický průměr
DFSS	Návrh Six Sigma
DMAIC	Definuj, Měř, Analyzuj, Zlepši, Kontroluj
DSL	Dolní specifikovaný limit
HSL	Horní specifikovaný limit
°C	Stupně Celsia
A	Ampér
V	Volt
Ω	Ohm
W	Watt
P	Elektrická energie
I	Elektrický proud
U	Napětí
G	Trubkový závit

m^3	Metr krychlový
V_z	Objem válců zakládání
V_v	Objem válců vykládání
V_d	Objem válců dopravníků
$V_{6,5\text{bar}}$	Objem všech válců při tlaku 6,5 baru
$V_{2\text{bar}}$	Objem všech válců při tlaku 2 baru
$V_{2\text{bar}\%}$	procentuální hodnota při tlaku vzduchu 2 baru
V_{cykl}	výsledný objem vzduchu v % po optimalizaci
$N_{1\text{rok}}$	Náklady za stlačený vzduch za jeden rok
$N_{\text{opt}1\text{rok}}$	Náklady za stlačený vzduch za jeden rok po opt.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Čtyři faktory výrobního procesu [6].....	14
Obrázek 2 Postup analýzy způsobilosti procesu [7]	16
Obrázek 3 Jednovrstvý tabletovací lis Sejong Vantix P420s [12].....	20
Obrázek 4 Mechanický lis s elektropohonem na děrování plechu [13].....	21
Obrázek 5 Příklad lisu s hydraulickým pohonem [14]	22
Obrázek 6 Příklad lisu s pneumatickým pohonem [15].....	23
Obrázek 7 Příklad pryžového profilu vytlačovaného z vytlačovací hlavy [19]	25
Obrázek 8 Příklady výrobků z vulkanizované pryže [20]	26
Obrázek 9 Schéma vstřikovacího stroje [20]	27
Obrázek 10 Schéma tlakového lisování [21]	28
Obrázek 11 Schéma přenosového lisování [20]	29
Obrázek 12 Návrh postupu 5x proč? [25].....	31
Obrázek 13 Příklad jednoduchého Išikawova diagramu [29].....	33
Obrázek 14 Příklad Paretova diagramu zpracovaném v programu MiniTab [32].....	35
Obrázek 15 Příklad histogramu zpracovaném v programu MiniTab [32].....	36
Obrázek 16 Vymezení procesu Six Sigma[32].....	39
Obrázek 17 Fázový diagram vody [43]	47
Obrázek 18 Směrový hydraulický ventil PARKER [46].....	48
Obrázek 19 Schéma hydraulického jednočinného válce s vratnou pružinou [45].....	49
Obrázek 20 Boyleův-Mariottův zákon [48].....	51
Obrázek 21 Vzduchový Filtr FESTO MS9-LF [49].....	52
Obrázek 22 Zásobník na stlačený vzduch [49].....	53
Obrázek 23 Redukční ventil s filtrem MS-LFR-B [49].....	54
Obrázek 24 Elektromagnetický směrový ventil VUVS [49]	55
Obrázek 25 Pneumatický válec FESTO DBSC dle ISO 15552 [49].....	55
Obrázek 26 Išikavův diagram energií	59
Obrázek 27 Přístroj pro měření průtoku stlačeného vzduchu IFM SD8500 [52].....	67
Obrázek 28 Detail zapojení měřícího přístroje IFM SD8500.....	68
Obrázek 29 IO-Link master s rozhraním Profinet AL1100 [52]	69
Obrázek 30 IO-Link Bluetooth adaptér [52].....	69
Obrázek 31 Displej měřícího přístroje SD8500.....	70
Obrázek 32 Korelační diagram spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací.....	72
Obrázek 33 Histogram spotřeby stlačeného vzduchu před optimalizací	73
Obrázek 34 Histogram cyklů vulkanizačního lisu za 24 h před optimalizací	74

Obrázek 35 Kombinovaný histogram měření vzduchu a počtu cyklů.....	74
Obrázek 36 Schéma regulátoru tlaku vzduchu 102GB3838 [53].....	75
Obrázek 37 Regulátor tlaku 102GB3838.....	76
Obrázek 38 Zapojený regulátor tlaku 102GB3838.....	77
Obrázek 39 Korelační diagram spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci.....	79
Obrázek 40 Histogram spotřeby stlačeného vzduchu po optimalizaci.....	80
Obrázek 41 Histogram cyklů vulkanizačního lisu za 24 h po optimalizaci.....	81
Obrázek 42 Kombinovaný histogram měření vzduchu a počtu cyklů po optimalizaci.....	81
Obrázek 43 Histogram spotřeb stlačeného vzduchu před a po optimalizaci.....	83
Obrázek 44 Histogram počtu cyklů za 24 hodin před a po optimalizaci.....	83
Obrázek 45 Regulátor tlaku VRPA od firmy FESTO [49].....	85

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Udává poměr mezi úrovní Sigma, DPMO a efektivitou [32].....	40
Tabulka 2 Porovnání pneumatického a hydraulického systému.....	52
Tabulka 3 Specifikace přístroje IFM SD8500 [52]	68
Tabulka 4 Naměřená data spotřeby vzduchu před optimalizací	72
Tabulka 5 Celkové součty spotřeby stlačeného vzduchu a počtu cyklů.....	72
Tabulka 6 Naměřená spotřeba vzduchu vulkanizačního lisu po optimalizaci.....	78
Tabulka 7 Celkové součty spotřeby stlačeného vzduchu a počtu cyklů po optimalizaci	79