



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZABEZPEČOVÁNÍ KVALITY PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ

QUALITY ASSURANCE OF PNEUMATIC CYLINDERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Pabiška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Martin Pabiška
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zabezpečování kvality pneumatických válců

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem diplomové práce je formulování požadavků na kvalitu zvoleného výrobku v dané firmě. Na základě posouzení současného stavu je dále nutné vypracovat reálný návrh a zhodnotit úspěšnost realizace vhodných opatření vedoucích ke zlepšení stavu řízení kvality výrobku.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu řízení kvality zvoleného výrobku ve vybrané firmě.
Systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku.
Posouzení možností zlepšení systému řízení kvality ve firmě.
Aplikace vybraných metod na zvoleném výrobku.
Technické posouzení dosažených výsledků.
Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

JURAN, Joseph M. and Blanton A. GODFREY. Juran's Quality Control Handbook. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 00-703-4003-X.

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 978-0-470-16992-6.

KIRAN, D. Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies. Amsterdam: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-811035-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o požadavcích na kvalitu pneumatických válců dle ISO norem, které jsou obráběny a montovány u lokálního výrobce. V rámci filozofie neustálého zlepšování je v této práci popsán projekt ke snížení počtu úniků vzduchu z pneumatických válců na automatickém testovacím stroji. Hlavním přínosem práce je zlepšení konstrukce pneumatických válců a zdokonalení postupu jejich montáže vedoucí ke snížení počtu úniků vzduchu z pneumatických válců na automatickém testovacím zařízení. Rovněž poskytuje přehled a obecný postup pro výběr, analýzu, zavedení opatření a využití dalších příležitosti ke zlepšení systému řízení kvality pneumatických válců ve firmě.

ABSTRACT

This Master thesis deals with the requirements for the quality of ISO standard compliant pneumatic cylinders, which are machined and assembled by a local manufacturer. According to the philosophy of continuous improvement, this thesis describes the project to decrease the number of air leaks detected by automatic testing machines. The main benefits of the thesis are the improvement of the design of pneumatic cylinders and the improvement of their assembly procedure leading to a reduction in the number of air leaks from pneumatic cylinders on automatic test equipment. It also provides an overview and general procedure for selecting, analyzing, implementing measures and taking further opportunities to improve the quality management system of pneumatic cylinders in the company.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zajištění kvality produktu, únik vzduchu, kvalita pneumatických válců, pneumatické válce dle ISO, LEAN production, Six Sigma, ISO 9001

KEYWORDS

Quality assurance of product, air leakage, quality of pneumatic cylinders, ISO standard compliant pneumatic cylinders, LEAN production, Six Sigma, ISO 9001

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PABIŠKA, M. *Zabezpečování kvality pneumatických válců*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2021, 102 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl vyzdvihnout profesionální přístup, ochotu a velkou dávku trpělivosti vedoucímu práce panu doc. Ing. Róbertovi Jankových, CSc, a tím poděkovat za odborné vedení.

Děkuji svému tátovi za vybudování kladného vztahu ke kvalitě a dlouhé diskuze o ni, které mi dodaly tolik motivace. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni a celé své rodině za podporu v celé délce studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róbert Jankových, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....

Bc. Martin Pabiška

OBSAH

1	ÚVOD	19
2	MOTIVACE.....	21
3	ŘÍZENÍ KVALITY PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ	22
3.1	ISO pneumatiké válce	22
3.1.1	Definice	22
3.1.2	Všeobecně o ISO normách	22
3.2	Konstrukce pneumatikých válců dle ISO norem	24
3.2.1	Jednočinné pneumatiké válce	24
3.2.2	Dvojčinné pneumatiké válce.....	25
3.2.3	Nerotační pístnice	26
3.2.4	Průchozí pístnice.....	27
3.2.5	Snímače polohy	27
3.3	Popis řízení kvality produktu dle ČSN EN ISO 9001:2016	28
3.3.1	7 zásad managementu:	28
3.3.2	Koncepty zajišťování kvality produktu jsou:	29
3.3.3	Procesní přístup	29
3.3.4	Podpora	30
3.3.5	Zlepšování	31
3.4	Řízení kvality dle LEAN production	32
3.4.1	8 druhů plýtvání.....	32
3.4.2	Základní metody LEAN production	34
3.4.3	Nejlepší praktiky v LEAN production.....	35
3.5	Řízení kvality dle Six Sigma	37
3.5.1	Metrika.....	38
3.5.2	Metodologie.....	38
3.5.3	Systém řízení	38
3.5.4	Metodologie DMAIC	39
3.5.5	Definuj	39
3.5.6	Měř.....	40
3.5.7	Analyzuj.....	42
3.5.8	Vylepši.....	43
3.5.9	Řid'.....	43
3.6	Stav řízení kvality PV	46
3.6.1	Rozdíl mezi LEAN a Six Sigma.....	46
3.6.2	Shrnutí současného stavu řízení kvality PV dle ISO norem.....	46
4	HODNOCENÍ KVALITY PV	47
4.1	Hodnocení procesu	47
4.1.1	Juranova trilogie	47
4.2	Kontrola a měření	51
4.2.1	Typy kontrol, inspekcí.....	52
4.3	Souhrn možností ke zlepšení systému řízení kvality PV u výrobce	54
5	POŽADAVKY NA FUNKCE A VLASTNOSTI.....	55
5.1	Materiály	55
5.1.1	Tuby.....	55
5.1.2	Koncové kryty	56

5.1.3	Upevňovací tyče	56
5.1.4	Pístnice	57
5.2	Specifikace pneumatických válců	58
5.2.1	Minimální tlak	58
5.2.2	Pracovní tlak.....	59
5.2.3	Maximální tlak	59
5.2.4	Průměry tub	59
5.2.5	Zdvih	59
5.2.6	Tolerance zdvihu	59
5.2.7	Upevnění	60
5.2.8	Snímání polohy	61
5.2.9	Tlumení válce	62
5.3	Funkční požadavky na pneumatické válce	63
5.3.1	Síla válce	63
5.3.2	Síla pístnice	63
5.3.3	Zamezení otáčení pístnice	63
5.3.4	Použití válce v různých prostředí	64
5.3.5	Únik vzduchu	65
5.4	Těsnění	66
5.4.1	Materiál těsnění	66
5.4.2	Pístnicové těsnění	67
5.4.3	O-kroužky.....	68
6	APLIKACE VYBRANÝCH METOD SPC	71
6.1	Systémový přístup řešení problémů	71
6.1.1	Následovat strukturované cykly	72
6.1.2	Kvalita na prvním místě	72
6.1.3	Rozhoduj se podle dat	72
6.1.4	Důkladně porozumět problému	72
6.1.5	Důkladná analýza kořenové příčiny	72
6.1.6	Zvažovat alternativní řešení	73
6.2	Definuj.....	73
6.2.1	Projektový list	74
6.2.2	Ganttův diagram	74
6.3	Měř	75
6.3.1	Záznamový formulář	75
6.3.2	Databáze vad	76
6.4	Analyzuj	76
6.4.1	Paretova analýza PV dle ISO 6432	77
6.4.2	Brainstorming.....	77
6.4.3	Ishikawův diagram	78
6.4.4	„5x proč“	78
6.5	Vylepši.....	80
6.5.1	Technické opatření	80
6.5.2	Opatření úpravou pracovního postupu	81
6.6	Řid'.....	82
6.6.1	Regulační p diagram.....	82
7	TECHNICKÉ POSOUZENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	84
7.1	Analýza procesu sběru dat.....	84
7.1.1	Původní proces sběru dat.....	84

7.1.2	Nový proces sběru dat	85
7.2	Analýza kořenové příčiny	85
7.2.1	Únik vzduchu přes pístnicové těsnění u PV dle ISO 6432.....	86
7.2.2	Únik vzduchu přes O-kroužek u PV dle ISO 15552	86
7.2.3	Únik vzduchu způsobený detekcí testu u PV dle ISO 21287	87
7.3	Opatření ke zvýšení FTY	87
7.3.1	Opatření pro zvýšení FTY u PV dle ISO 6432.....	88
7.3.2	Opatření pro zvýšení FTY u PV dle ISO 15552.....	88
7.3.3	Opatření ke zvýšení FTY u PV dle ISO 21287	89
7.4	Vyčíslení úspor po zlepšení procesu – teoretické	90
7.5	Vlastní závěry a doporučení pro praxi	92
8	ZÁVĚR.....	93
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	97
10	SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK	101
10.1	Seznam zkratk	101
10.2	Seznam tabulek	101
10.3	Seznam obrázků	102
11	SEZNAM PŘÍLOH	104

1 ÚVOD

Diplomová práce je příspěvkem k definování kvality pneumatických válců a hledání cest jejího zvyšování. Pneumatické válce (dále jen PV) zažívají stále navyšující poptávku pro účely automatizace, a to v různých odvětvích průmyslu od náročného hutního až po lehký potravinářský. Tyto průmyslové prostředí vyžadují rozdílné požadavky na kvalitu PV. Kvalitou PV lze rozumět úroveň splnění požadavků pro správnou funkci v dané aplikaci, jejich spolehlivost, životnost, odolnost proti působení chemických látek, odolnost proti mechanickému působení a dalších.

Všechny PV mají společný znak kvality, a to jsou nároky na omezení množství uniklého stlačeného vzduchu do okolního prostředí při jejich funkci. Pokud je nahlíženo na únik vzduchu prakticky, nulový únik vzduchu lze dosahovat jen velmi obtížně, proto se musí vždy nastavit toleranční limit a považovat válce za shodné při dodržení tohoto specifikačního limitu.

Strojírenský podnik (dále jen výrobce) PV používá automatické testovací zařízení, které vyhodnocuje PV na shodné a neshodné. Pokud dojde k neshodnému vyhodnocení na testu, musí být závada odstraněna před tím, než se takový válec odešle zákazníkovi. Hlavním praktickým úkolem této diplomové práce (dále jen DP) bylo navrhnout řešení problému s neshodnými PV.

DP je rozdělena do osmi kapitol a pěti příloh.

První dvě kapitoly jsou úvod a motivace, popisují řešenou problematiku a proč je toto téma významné v oblasti kvality PV.

Kapitola 3 představuje PV dle ISO 6432, ISO 15552 a ISO 21287 v jejich nejčastějších konstrukčních provedeních. Tato kapitola popisuje současný stav řízení kvality PV u výrobce. Jsou popsány jeho metodologie, principy, používané nástroje a metody kvality.

Kapitola 4 je věnována hodnocení zabezpečování kvality pomocí plánování, kontroly a zlepšování. Ve druhé části jsou popsány samotné kontroly a jejich přínos při zavedení v určitých výrobních situacích. Mimo samotného řešení problematiky s únikem vzduchu, je zde uvedeno posouzení možností ke zlepšení systému řízení kvality PV u výrobce.

V kapitole 5 je sestaven kompletní přehled oblastí požadavků, které musí výrobce PV zabezpečovat.

Kapitola 6 řeší únik vzduchu aplikací vybraných metod na PV. Pro efektivní řešení jsou na začátku kapitoly sepsány praxí prověřené principy používané při řešení problémů. Zbytek kapitoly se věnuje samotnému řešení kořenové příčiny úniku vzduchu na jednotlivých typech ISO válců a stanoví se opatření k odstranění či minimalizaci příčiny.

Kapitola 7 shrnuje dosažené výsledky pro odstranění a uvádí doporučení pro praxi. Hlavním cílem je definování jasných a implementovatelných opatření, která jsou stanovena na základě kořenových příčin.

V poslední kapitole jsou shrnuté dosažené výsledky a jsou navrženy další doporučení pro zlepšování zabezpečování kvality PV.

2 MOTIVACE

*„20. století bylo stoletím produktivity a 21. století je stoletím kvality.“
J. M. Juran [1]*

Dvacáté století bylo v duchu vysoké poptávky, protože byl celkový nedostatek produktů, proto bylo cílem vyrábět levně. Toto století však vyžaduje spíše kvalitní produkty a služby díky zvýšené společenské a technologické úrovni.

Dnes žijeme na začátku dvacátých let 21. století a můžeme konstatovat, že synonymem pro toto období jsou změny, rychlé změny v hodnotách a struktuře společnosti, smazává se problém se vzdáleností mezi výrobcem a zákazníkem, což vede k vývoji dopravních a kurýrních služeb. Pomalu se přestává rozlišovat na domácí a globální trh, rapidně roste technologická úroveň strojírenské výroby a zlepšuje se komunikace výrobců směrem k zákazníkům. Dle [2] je právě kvalita v pojetí neustálého zlepšování a přezkoumávání jedním ze zásadních hráčů v konkurenčním boji. [3] [2]

Výrobní organizace by se měly přeorientovat ze zažitých klasických produktové a procesní kvality na tzv. inovativní kvalitu a budovat inovativní firmy. Cílový stav se dá popsat jako – zajištění inovativních produktů excelentní procesní kontrolou s nulovými ztrátami. [3]

Pneumatické válce (dále jen PV) mají svůj počátek datovaný přibližně do 60. let minulého století, kdy se zvyšovala poptávka po automatizaci ve výrobních zařízeních. Hlavní výhodou je jejich jednoduchost, jak konstrukční, tak funkční, kdy za nízkého tlaku dokážou vyvinout poměrně vysoké rychlosti. Na počátku zastávaly jednoduché úkony s potřebou dvou poloh. Později se jejich využití rozšiřovalo a s tím docházelo i k vývoji PV nového typu. Mezi zlepšení lze uvést například – řízení v automatizovaných systémech, a to s mezi polohami či regulovanými rychlostmi (proporcionální řízení), hydraulické tlumení v koncových polohách atd. Ovlivnilo to celou řadu průmyslových odvětví, jako je automobilový, sklářský, balicí, potravinářský a farmaceutický průmysl. [5] [6]

Výrobní průmysl pneumatických válců je postaven inovativním výzvám, které určí, která organizace se udrží a bude na špičce trhu. Mezi příklady výzev můžeme uvést jejich zmenšování, komplexnost použití, optimalizace výrobních technologií či specializace použitých materiálů a řídicích systémů. [6]

Hlavním teoretickým úkolem této DP je definovat požadavky na kvalitu PV. Hlavním praktickým úkolem je vytipování hlavního problému, ke kterému bylo vytvořeno reálné řešení. Dle pokynů vedoucího práce byly cíle DP upřesněny takto:

- Popis současného stavu řízení kvality PV.
- Systémový rozbor hodnocení kvality PV dle ISO norem (6432, 15552, 21287).
- Posouzení možností zlepšení systému řízení kvality PV.
- Aplikace vybraných metod statistické regulace procesu.
- Technické posouzení dosažených výsledků a doporučení pro praxi.

3 ŘÍZENÍ KVALITY PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ

„Kvalita je stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků“ [10]

V této kapitole je objasněno, co jsou pneumatické válce dle ISO norem a jaké metody řízení kvality výrobce využívá ke splnění požadavků na kvalitu těchto produktů.

V první části je objasněn pojem ISO pneumatické válce a v jakých konstrukčních provedeních se s nimi dá v praxi setkat.

V další části je popsán systém řízení kvality u výrobce dle ISO 9001, LEAN production, Six Sigma a jaké nástroje, metody a metodologie jsou použity při následné inovaci procesu v praktické části diplomové práce – zvýšení shodných PV při testování na únik vzduchu.

3.1 ISO pneumatické válce

3.1.1 Definice

„V pneumatických systémech je energie přenášena a kontrolována přes obvod stlačeného vzduchu. Jedním z komponentů těchto systémů je pneumatický válec. Je to zařízení, které převádí energii stlačeného vzduchu na mechanickou sílu. Obsahuje píst a pístnici, pohyblivé komponenty, které pracují ve válcovité tubě. Aby je bylo možné upevnit do používaných mechanismů, jsou pneumatické válce vybaveny upevněním.“ [7]

3.1.2 Všeobecně o ISO normách

Tyto mezinárodní standardy neomezují organizace v inovativních změnách za účelem vylepšení produktu, ale poskytují jen základní vodítka. Struktura příslušné ISO normy definuje pneumatické pohony následujícími parametry – jejich maximální provozní tlak, průměr tuby, tolerance zdvihu a odkazuje na další dokumenty týkající se názvosloví či metod připojení do pneumatických systémů. Normy byly vytvořeny pro možnosti nejčastějšího komerčního užití tak, aby si zákazník mohl vybírat z předem známých rozměrů. Kromě ISO norem se pneumatické válce popisují britskými normami s označením BS, nebo jsou dostupné i normy DIN, VDMA či CNOMO/AFNOR NFE. [17]

Norma ISO 15552 definuje pneumatické válce se svorníky, výrobce jej vyrábí ve variantě viz obrázek 1. Další norma ISO 6432 definuje pneumatické válce kruhové vyobrazené na obrázku 2. Poslední norma ISO 21287 pak popisuje tzv kompaktní válce, které jsou na obrázku 3.



Obr. 1) PV se svorníky dle ISO 15552 [33]



Obr. 2) PV kruhové dle ISO 6432 [33]



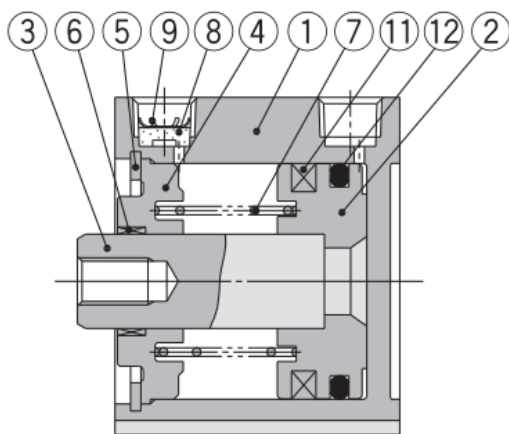
Obr. 3) PV kompaktní dle ISO 21287 [33]

3.2 Konstrukce pneumatických válců dle ISO norem

Tyto pneumatické válce mohou být rozděleny dle několika druhů jako jsou jednočinné, dvojčinné, s průchozí pístnicí, s vzduchovým nebo uretanovým tlumením kinetické energie v koncových polohách či jejich kombinací. Je k dispozici široká škála upevnění, jako je přední obdélníková příruba, zadní obdélníková příruba, zadní kyvný závěs, patky na obou stranách, jejich všemožné kombinace a vylepšení. Konstrukce některých ISO válců umožňuje montáž snímačů polohy magnetu na pístu, nebo jsou použity různé způsoby upevnění těchto snímačů.

3.2.1 Jednočinné pneumatické válce

Tento typ pneumatických válců se používá v případech, kdy je potřeba působení tlaku pouze v jednom směru. Podle provedení je možné využívat pneumatickou sílu tlačnou, nebo tažnou a pružina zajistí návrat do výchozí polohy. Na obrázku 4 je vidět z čeho je složen jednočinný pneumatický válec dle ISO 21287. Další obrázek 5 pak ukazuje dvě provedení podle toho, zda zákazník vyžaduje výchozí polohu a) v zasunuté poloze čili využívá tlačné síly b) ve vysunuté poloze čili využívá tažné síly. [25]



Obr. 4) Jednočinný PV dle ISO 21287 [33]

(1 – Tělo; 2 – Píst; 3 – Pístnice; 4 – Kryt; 5 – Pojistný kroužek; 6 – Vodící pouzdro; 7 – Tlačná pružina; 8 – Tlumič výfuku; 9 – Pojistný kroužek; 11 – Magnet; 12 – Pístní těsnění)

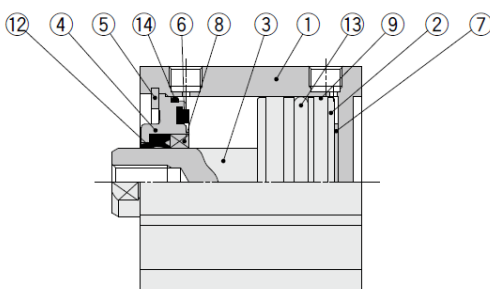


Obr. 5) Schématické značky jednočinných válců. a) pružina zasouvá pístnici b) pružina vysouvá pístnici [33]

3.2.2 Dvojitý pneumatický válec

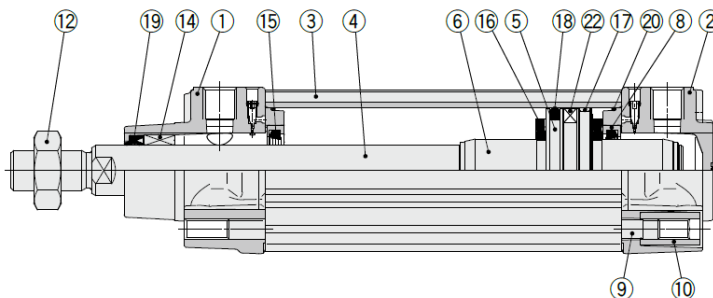
Tyto typy pneumatických válců (dále jen PV) poskytují pracovní zdvih v obou směrech působením tlaku na jednu nebo druhou stranu pístu. Existují však i typy PV, které jsou dvojitý a obsahují pružinu, která v jednom směru tlačí nebo táhne, podle typu umístění pružiny viz obrázek 5. [25]

Obrázek 6 představuje dvojitý PV dle ISO 21287, který je vybaven pryžovým tlumením pro snížení dopadu kinetické energie v koncových polohách. Další obrázek 7 pak zobrazuje PV dle ISO 15552, který je kromě gumového těsnění vybaven i vzduchovým tlumením, kde je účel stejný jako u PV dle ISO 21287, avšak s vyšší účinností a možností regulace intenzity tlumení v koncové poloze. Poslední obrázek 8 představuje válec ISO 6432, který je vybaven pouze vzduchovým tlumením.



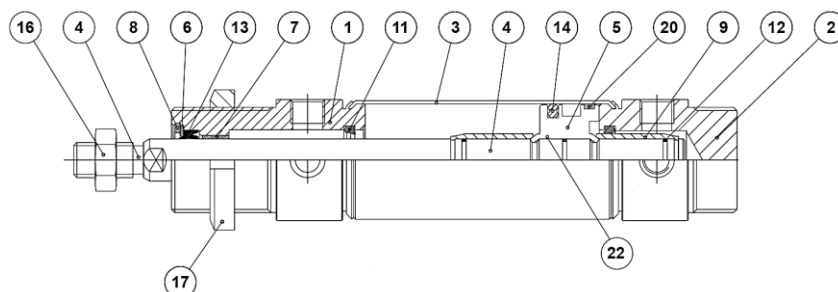
Obr. 6) Dvojitý PV dle ISO 21287 s gumovým tlumením [33]

(1 – Tělo; 2 – Píst; 3 – Pístnice; 4 – Kryt; 5 – Pojistný kroužek; 6 – Uretanové tlumení A; 7 – Uretanové tlumení B; 8 – Vodičí pouzdro; 9 – Třecí kroužek; 12 – Pístnicové těsnění; 13 – Pístní těsnění; 14 – O-kroužek)



Obr. 7) Dvojitý PV dle ISO 15552 s kombinovaným tlumením [31]

(1 – Koncový kryt průchozí; 2 – Koncový kryt neprůchozí; 3 – Tuba; 4 – Pístnice; 5- Píst; 6 – Tlumící kroužek A; 8 – Držák těsnění pro vzduchové tlumení; 9 – Svorník; 10 – matice svorníku; 12 – Upevňovací matice; 14 – Vodičí pouzdro; 15 – Těsnění pro vzduchové tlumení; 16 – Uretanové tlumení A; 17 – Třecí kroužek; 18 – Pístní těsnění; 19 – Pístnicové těsnění; 20 – O-Kroužek; 22 – Magnet)



Obr. 8) Dvojitý PV dle ISO 6432 se vzduchovým tlumením [34]

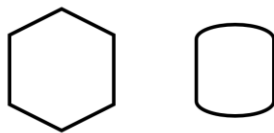
(1 – Koncový kryt průchozí; 2 – Koncový kryt neprůchozí; 3 – Tuba; 4 – Pístnice; 5- Píst; 6 – Podložka; 7 – Vodičí pouzdro; 8 – Pojistný kroužek; 9 – Tlumící kroužek; 11 – Těsnění pro vzduchové tlumení; 12 – O-kroužek; 13 – Pístnicové těsnění; 14 – Pístní těsnění; 16 – Upevňovací matice; 17 – Matice pro upevnění; 20 – Třecí kroužek; 22 – Těsnění kruhové)

3.2.3 Nerotační pístnice

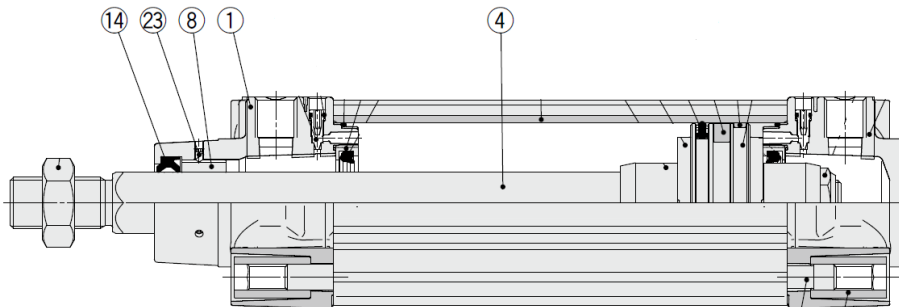
Každý PV dle ISO normy s pístnicí s kruhovým průřezem se může volně otáčet kolem své osy. Ovšem některé aplikace vyžadují působení síly neustále v jednom směru orientace natočení pístu s pístnicí. Zajistit takovou funkci lze následujícími způsoby: [16]

- externí vodící tyče,
- dvojitá pístnice,
- vodící drážky v pístu,
- oválné písty,
- nerotační průřez pístnice (ovál, šestihran atd).

Výrobce PV dle ISO normy vyrábí pouze variantu nerotačního průřezu pístnice, a tak je představena pouze tato varianta řešení nerotačních PV dle jednotlivých ISO norem. PV dle ISO 15552 a PV dle ISO 6432 používají nerotační průřez ve tvaru šestihranu. Kompaktní PV dle ISO 21287 pak používají oválný průřez. Náčrt obou těchto tvarů je na obrázku 9. Ukázka nerotační pístnice u PV ISO 15552 je na obrázku 10, pozice 4. Kryt (pozice 1) obsahuje navíc položku číslo 23, kde je pojistný šroub pro zajištění pouzdra (pozice 8) proti otočení. Jelikož má pístnice tvar šestihranu, je pístnicové těsnění ve stejném tvaru, pozice číslo 14.



Obr. 9) Náčrt průřezů pístnic používaných u výrobce PV dle ISO norem

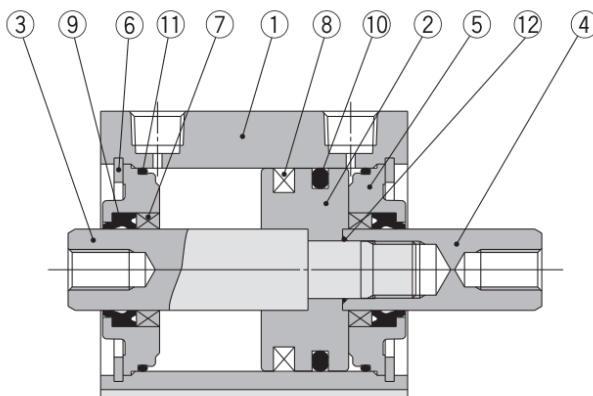


Obr. 10) Nerotační pístnice PV dle ISO 15552 [31]

(1 – Koncový kryt průchozí; 4 – Nerotační pístnice šestihranná; 8 – vodící pouzdro šestihranné;
23 – Pojistný šroub; 14 – Pístnicové těsnění šestihranné)

3.2.4 Průchozí pístitnice

Pneumatické válce je možné vyrábět i v provedení, kdy je pístitnice na obou stranách válce. Na obrázku 11 je zobrazen PV dle ISO 21287, kdy namísto jednoho krytu bez díry je použit dvakrát kryt s dírou pro pístitnici, vodící pouzdro a pístitnicové těsnění.



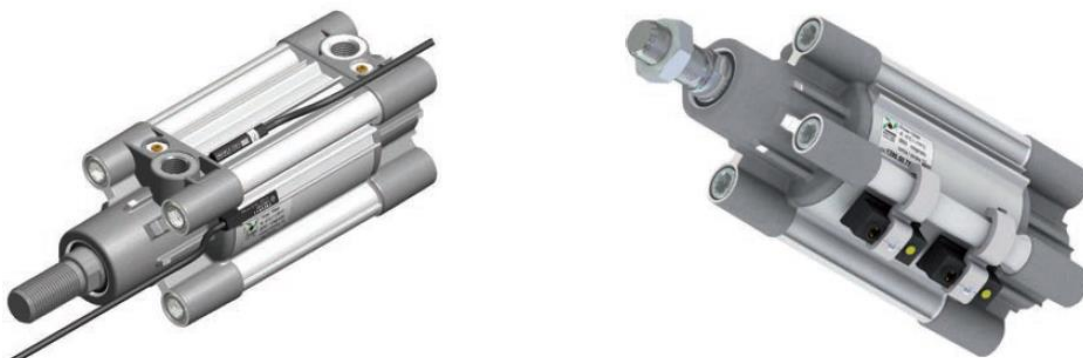
Obr. 11) Dvojčinný PV dle ISO 21287 s průchozí pístitnicí [33]

(1 – Tělo; 2 – Píst; 3 – Pístitnice A; 4 – Pístitnice B; 5 – Kryt; 6 – Pojistný kroužek; 7 – Vodící pouzdro; 8 – Magnet; 9 – Pístitnicové těsnění; 10 – Pístitní těsnění; 11 – O-Kroužek; 12 – Kruhové těsnění)

3.2.5 Snímače polohy

Toto zařízení u pneumatických válců slouží k snímání dosažení koncových poloh pístu. Řídící jednotka automatizovaného systému tak „ví“, zda je pístitnice vysunuta, nebo zasunuta. Ve svém principu senzory indikují magnetické pole magnetu, který je namontován v drážce pístu. Senzory se upínají na tubu válce různými upevňovacími svorkami. [25]

PV dle ISO 15552 mají jako jediné extrudovanou tubu s drážkami, které jsou vhodné pro montáž snímačů polohy, jak můžeme vidět na obrázku 12) vlevo.



Obr. 12) a) montáž snímače do drážky tuby b) montáž snímače svorkami [25]

3.3 Popis řízení kvality produktu dle ČSN EN ISO 9001:2016

V této kapitole je popsáno řízení kvality produktu dle „Norem ISO rodiny“ (dále jen ISO rodina). Dle pokynů vedoucího jsou uvedeny jen ty části, které mají vliv na řešenou problematiku popsanou v kapitole 5.3.5. Věnováno je popisu hlavních myšlenek z normy [11] jako je 7 zásad managementu, koncepty zajišťování kvality produktu, procesní přístup, podpora procesu a zlepšování.

Požadavky dle [11] výrobce plní a je certifikován od počátku výroby PV v roce 2011. Opakované recertifikační a dozorové audity nachází posledních pět let pouze drobné doporučení. Jelikož se jedná o strojírenský výrobní závod se zvýšenou potřebou přesného měření, je důležitou součástí ISO rodiny management metrologie dle ČSN EN ISO 10012:2003. Souhrn používaných norem u výrobce je uveden v příloze 1.

Certifikace dle [11] a hlavně úspěšné implementování doporučení z celé ISO rodiny napomáhá firmě nastavit systém řízení kvality na úrovni, která je mezinárodně uznávaná. Vzhledem k obecnosti [11], bývá někdy problém právě s její implementací. Je ale nutné podotknout, že i tato obecnost umožňuje nezapomenout na základní aspekty podniku, jako je například nastavení fungujících procesů, které se neustále zlepšují. Jaké jsou tedy hlavní zásady managementu dle [11], kde je její dominantní zaměření na vybudování konkurenceschopné výroby? [2]

3.3.1 7 zásad managementu:

- zaměření na zákazníka,
- vedení,
- angažovanost lidí,
- procesní přístup,
- zlepšování,
- rozhodnutí založené na faktech,
- management vztahů,
- zvažování rizik,

Z globálního hlediska vedl dopad ISO rodiny k velkému nárůstu světové konkurenceschopnosti, protože měl každý subjekt k dispozici osvědčený systémový přístup k jeho podnikatelskému záměru. To také zvýšilo zákaznickou poptávku po kvalitnějších výrobcích, navíc firmy mohli růst, a tím dosahovat přísnějších nároků na svoje produkty a služby. Logo mezinárodní organizace pro standardizaci je na obrázku 13. [1][2]



Obr. 13) Loga mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO) [26]

3.3.2 Koncepty zajišťování kvality produktu jsou:

- Kvalita díky specifikovaným potřebám pro produkt.
- Kvalita díky návrhu produktu,
 - navrhovat takové produkty, které mají své uplatnění na trhu,
 - znaky, které zohledňují zamýšlené použití,
 - znaky, které zachovávají robustnost produktu a jeho výkonu i za proměnlivých podmínek výroby a použití.
- Kvalita díky shodě s návrhem produktu.
- Kvalita díky podpoře produktu po celou dobu životnosti produktu.

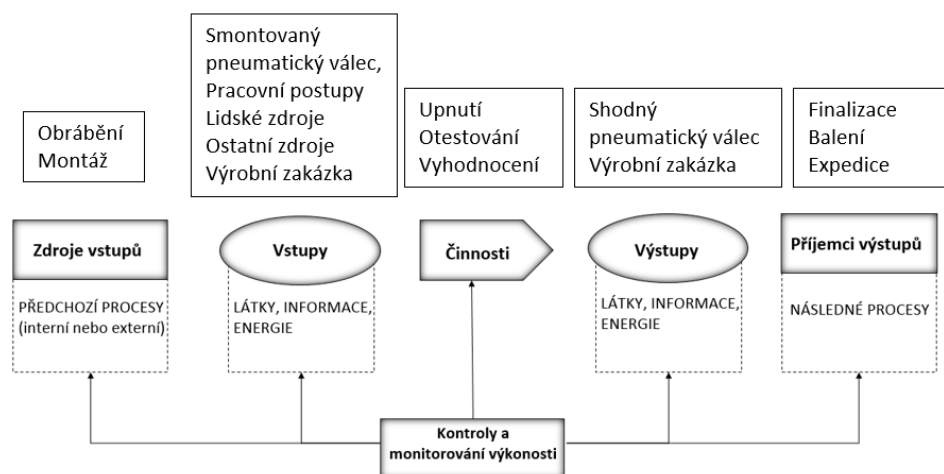
Normu ČSN EN ISO 9001:2016 lze aplikovat na všechny oblasti výroby a služby. Hlavním přínosem normy je procesní přístup za použití osvědčených postupů a nástrojů. Jejich použití u výrobce PV tak umožňuje zvyšovat jejich produktivitu, kvalitu, uspokojit požadavky a očekávání zákazníků. [14]

3.3.3 Procesní přístup

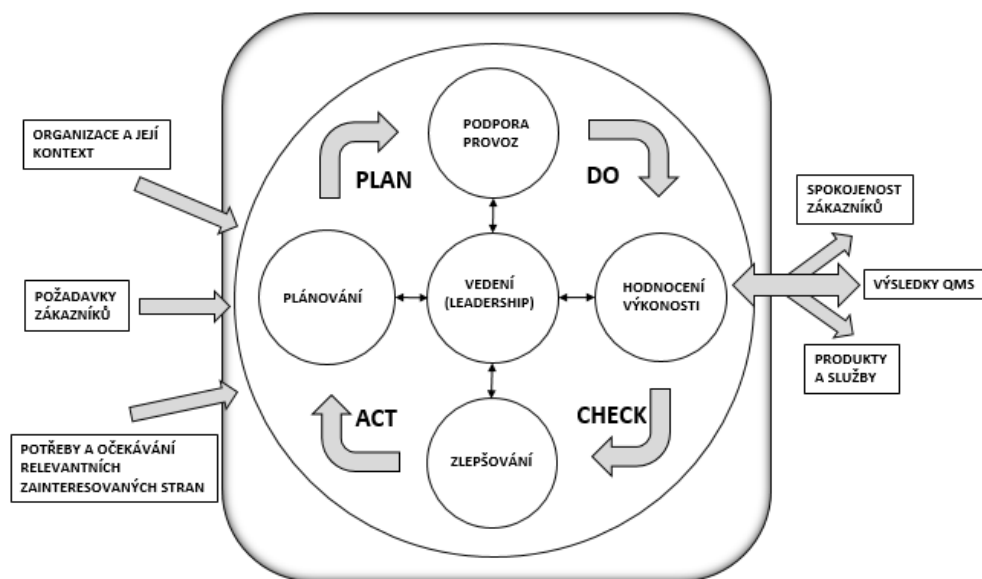
Jedním z přínosů normy je návod na vytvoření, zavedení, udržování a neustálé zlepšování systému managementu kvality, a to v plném rozsahu organizace. Přínos pro organizaci aplikováním procesního přístupu je: [11]

- pochopení požadavků a důslednost při jejich plnění,
- zvažování procesů z hlediska přidané hodnoty,
- dosažení efektivní výkonosti procesů,
- zlepšení procesů na základě hodnocení dat a informací.

Proces je vyobrazen na obrázku 14 tak, jak jej popisuje norma, zároveň je obrázek doplněn o informace týkající se řešeného procesu popsaného v kapitole 5.3.5. Každý proces musí mít své vstupy, které jsou v průběhu procesu monitorovány a měřeny. Jakýkoliv vstup pochází z konkrétního zdroje, takže je nutné zajistit jejich dostupnost. K procesu taky náleží kompetentní osoba, která dohlíží a odpovídá za fungování procesu. Odpovědná osoba vyhodnocuje a provádí nutné změny k zajištění zamýšlených výsledků. Pro nastavení a řízení takového procesu je doporučen PDCA cyklus na obrázku 15, který je možné aplikovat na jakýkoliv proces organizace. [11]



Obr. 14) Schéma prvku procesu testování pneumatik



Obr. 15) Znáznornění PDCA cyklu dle [11]

3.3.4 Podpora

Mezi první zmiňované požadavky podpory je v kapitole 7.1 pojem zdroje. Mezi první nejdůležitější zdroje patří lidé, kteří jsou dostatečně kompetentní k zavádění systému managementu kvality. Další je infrastruktura, která zajišťuje dostatek technického zařízení, hardwaru, softwaru a je zaveden přepravní systém, protože některé pneumatické válce mohou dosahovat hmotností až několik stovek kilogramů. Všechna tato infrastruktura by měla sloužit k uspokojení fungování procesů organizace tak, aby vytvořila vhodné pracovní prostředí, které norma rozděluje do tří kategorií: sociální, psychologické a fyzikální. U výrobce PV dochází jak k obrábění, tak i k chemickým procesům či manipulaci s těžkými břemeny. Proto je používáno mnoha prostředků a procesů pro eliminaci nebezpečí úrazu, nemocí z povolání a není to bráno na lehkou váhu. [11]

Zajištěná infrastruktura k fungování procesů je základem pro start a vůbec fungování výroby, či zavedení nového procesu. K dosahování cílů je nutné poskytnout zdroje k monitorování a měření.

Samotné řízení monitorování a měření plní výrobce PV pozicí metrologa, jeho funkcí je administrativní a technická odpovědnost za uplatňování systému managementu měření. Požadavky popsané v normě jsou tak plněny pravidelnou metrologickou confirmací a zajištění metrologické návaznosti a potřebné údržby všech měřidel, které mají vliv na jakost pneumatických válců. [11] [13]

Výrobce PV zajišťuje a komunikuje dokumentované informace, tak aby bylo umožněno plnit výrobní požadavky. Tyto dokumentované informace jsou komunikovány převážně v papírové formě a jsou nastaveny tak, aby je měli k dispozici všechny kompetentní osoby. Na základě principu procesního přístupu, musí být přidělena odpovědnost určité osobě, ta pak zodpovídá za jejich aktuálnost a případně provádí jejich revize dle předepsaného postupu. [11]

Mezi příklady dokumentovaných informací patří: [16]

- kalibrační listy,

- politika kvality,
- cíle kvality,
- kompetence,
- interní audit,
- záznamy ze školení,
- přezkoumání vedením,
- výsledky měření a monitorování,
- určení rozsahu systému managementu kvality,
- pracovní instrukce
- výkresová dokumentace
- směrnice.

3.3.5 Zlepšování

Kapitola 10 normy [11] se věnuje zlepšování, dle mého názoru spíše staví základní kámen ke zlepšování, stejně jako je tomu se zbytkem témat normy [11]. Učebnice [3] tvrdí, že ISO rodina poskytuje 25% celkového systému management kvality.

Norma popisuje zlepšování jako využívání příležitostí k realizaci nezbytných opatření, která naplňují očekávání zákazníka a zvyšuje jeho spokojenost. Jako nástroj neustálého zlepšování používá výrobce PV pravidelné přezkoumání systému managementu kvality, kde se využívá vstupů ze všech kapitol normy ČSN EN ISO 9001:2016, které se pravidelně zhodnocují a podle potřeby upravují. [11]

3.4 Řízení kvality dle LEAN production

„LEAN systém je systematický přístup k identifikaci a eliminaci plýtvání a činností bez přidané hodnoty za využití rozvoje zaměstnanců a neustálého zlepšování všech produktů a služeb.“ [3]

Výrobce PV používá metod LEAN production čili štihlé výroby. V této kapitole je popsán význam implementace štihlé výroby. Nejčastěji je zaměřeno na eliminaci osmi druhů plýtvání, základních metod organizace pracoviště a standardizace nejlepších řešení.

Již v definici štihlé výroby je zřejmé, že se tato metoda snaží dosáhnout takového procesu, který vyrábí včas a bez všech činností, které nezvyšují hodnotu produktu. Realitou ovšem je, že tyto aktivity se ve skutečnosti nedají stoprocentně odstranit. Motivaci ke vzniku štihlé výroby popsal Benjamin Franklin již v roce 1785, kdy ještě nikdo netušil vzniku LEAN managementu. [3]

„Jeho nečinností právě ztratil \$5 ceny času, přišel o \$5, je to jako by hodil \$5 do řeky.“ [3]

Tento výrok v podstatě znamená, že zaměřením na snížení plýtvání může organizace dosáhnout větších výnosů nežli při zvýšení prodejů. Jaké jsou oblasti plýtvání, na které se výrobce pneumatických válců zaměřuje?

3.4.1 8 druhů plýtvání

Transport a manipulace

Všechno zbytečné přemísťování materiálu nebo výrobků je plýtvání. Výrobce PV zpracoval analýzu SIPOC na vytvoření procesu, aby materiál a produkty byly transportovány nebo manipulovány jen v opodstatněných důvodech. [3]

Zásoby

Zavedení funkčního „Pull“ systému a zakázkové výroby je organizace předurčena k úspěšné redukci velkých zásob. Zásoby zabírají místo a příliš dlouhé skladování snižuje kvalitu skladovaného materiálu (rez, oxidace, zastaralá verze). [3]

Výrobce PV vyrábí na zakázku, nebo na základě známé roční poptávky od zákazníka, která slouží zejména ke akceleraci doby dodání PV. Je také důkladně aplikováno pravidlo FIFO anglická zkratka pro „First in First out“, kdy první sklad opouští materiál, který byl zaskladněn jako první.

Čekání

Každý pracovník má svou určitou roli v systému. Pokud je nucen nevykazovat činnost z důvodu, chybějícího materiálu, nevyvážené linkové výroby nebo hledáním informací jedná se o plýtvání. [3]

Pro eliminaci čekání je užíván pojem „úzké místo“, toto místo určuje činnost nebo operaci, která určuje propustnost celého procesu. Výrobce PV zaměstnává pozici procesního inženýra, který tyto místa při vytváření a úprav procesů identifikuje, rozdělí na menší segmenty a až poté implementuje. Avšak vzhledem k množství procesů u výrobce PV by bylo vhodné mít tým procesních inženýrů početnější, protože aktuálně tuto pozici zastává pouze jeden pracovník.

Chyby a zmetky

Jakýkoliv proces, který produkuje vadné produkty je plýtváním. Na mysli jsou nejen interní chyby uvnitř firmy, ale i zákaznické reklamace či nesprávně poskytnuté informace, které jsou rovněž plýtvání. [3]

Podobně jako je tomu u nastavení procesů, aby na sebe navazovali, je nutné, aby se předcházelo chybám a zmetkům. Pracovník kvality by měl preventivními aktivitami předejít produkci vadných produktů například identifikací a implementací opatření ke snížení zjištěných rizik v procesu. Výrobce PV provádí ke snížení chyb a zmetků metodu FMEA, která identifikuje největší rizika chyb a výrobě zmetků a vytváří opatření k jejich minimalizaci, například organizací pracoviště pomocí 5S.

Nevyužití lidského potenciálu

Výrobce PV se orientuje na důkladné školení lidí, hlavně pak vedoucích pracovníků, kteří jsou poté schopni tento přístup aplikovat na všech úrovních. Různí lidé mají různé talenty či vynikají v různých dovednostech. Plýtváním je nevyužití jejich talentů, dovedností či nevyslyšení jejich nápadů. Plýtváním je ale i to, když seniorní pracovníci vykonávají úkoly, kterou by bez problému zvládl i juniorní pracovník. [3]

Zbytečné pohyby

U výrobce PV je značné úsilí vybudovat bezpečné a efektivní pracoviště, vzhledem k variabilitě výroby i pokud možno co nejvíce flexibilní pracoviště. Každý pohyb v procesu, který se provede navyšuje produkční čas, zvyšuje komplexnost procesu a zvyšuje se možnost chyby, což je plýtváním. Zaměřením na organizaci pracoviště například metodou 5S, se stane pracoviště přehledným a produktivnějším. [3]

Neefektivní práce

Pravidelným sledováním procesu, zda nejsou prováděné úkony, které jsou zbytečné, můžeme objevit mnoho neefektivní práce. V současnosti se například často komunikuje administrativní zátěž. Vystavování papíru pro papír, mailová „přestřelka“ s desítkami lidmi v kopii, sbírání nepotřebných dat, zbytečné kontroly – to vše je plýtvání. [3]

Nadvýroba

Tento druh plýtvání je „králem“ všeho plýtvání. Vyroběním produktů na sklad vytváříme nevyužitelné zásoby, muselo se s produktem manipulovat a transportovat, provést spousty pohybů, spotřebovat energii, využít práci několika lidí, která byla věnována na výrobu zmetku. Zmetek to může být i v případě, kdyby došlo k revizi produktu, změna legislativy, nebo se jen prostě nenajde zákazník. Proto výrobce PV vyrábí pouze na zakázku. [3]

3.4.2 Základní metody LEAN production

Zde jsou představeny metody pro efektivní implementaci LEAN production (dále jen LEAN) principu.

Gemba Kaizen

Tyto dvě slova převzatá z japonštiny, je možné přeložit jako „Neustálé zlepšování pracoviště“, a to ať už se jedná o výrobní linku nebo účetní oddělení. V dnešní době se ředitelé snaží využívat sofistikovaných nástrojů a technologií při řešení problémů, kde přitom stačí použít selský rozum. [20]

Výrobce PV využívá tuto filozofii k neustálému zlepšování pracovišť a motivuje pracovníky k podávání zlepšovacích návrhů. Pro účely této práce je využito praktických principů přístupu k řešení problémů založených na selském rozumu, které jsou blíže popsány v kapitole 6.1.

5S

Známa a velice oblíbená metoda u výrobce PV k efektivnímu uspořádání pracoviště. Tato metoda je součástí náplně práce procesního inženýra, kdy je při nastavování či revizi procesu používána. Provedení 5S pracoviště je i pravidelně doporučováno prostřednictvím prováděných interních auditů, které se provádějí několikrát ročně v rámci plnění požadavků normy [11]. 5S pochází opět z japonštiny a má představovat pět kroků. [20]

SEIRI: rozlišit mezi nutnými a postradatelnými předměty na pracovišti a zlikvidovat postradatelné, nebo co nepatří k vykonávání procesu. [20]

SEITON: jasně určit účel a četnost použití jednotlivých nutných předmětů na pracovišti a pevně určit jejich pozici (například obkreslením kontury jednotlivých předmětů). [20]

SEISO: zanechávat vždy pracoviště a stroje čisté a uspořádané, proto je potřeba, aby čisticí a ochranné prostředky byly k dispozici. [20]

SEIKETSU: systematicky, pravidelně a neustále přezkoumávat přechází tři kroky tak, aby byla neustálá snaha zlepšovat pracoviště. [20]

SHIKUTSE: budování sebe-disciplíny a budování zvyku standardizovat nejlepší řešení pracoviště na další. [20]

Vizuální Management

Ve smyslu LEAN se může proces nacházet pouze ve dvou stavech – pod kontrolou a mimo kontrolu. Problém nastává v případě, že se proces dostane mimo kontrolu a tento stav není detekován. Pro tyto případy vznikl vizuální management, který má za úkol zviditelnit každý problém, který má za následek vychýlení procesu mimo kontrolu. [20]

Druhým důvodem této metody je být v maximální míře v kontaktu s realitou. Ideálním případem je zapojit vizualizaci do 5S (viz předchozí nadpis) a 5M, které jsou v krátkosti popsány níže s uvedením formy implementace u výrobce PV. [20]

Pracovník (Manpower), je vizualizován stav pracovníka podle jeho absencí v práci, množství a kvality interakcí při setkáních s kvalitou, nebo vytvořením dovednostní matice. [20]

Stroj (Machine), ujištěním že je stroj v pořádku a vyrábí, či vyhodnocuje správně se zajišťuje údržbou – pravidelnou údržbou, vnitřek stroje je zakrytován v maximální možné míře pouze průhlednými kryty, aby byly problémy hned viděné (prasklá hadička atd). [20]

Materiál (Material), informace o tom, kolik se má vyrobit, pochází materiál, jaký má název, je na přiloženém výrobního příkazu a zakázce (tzv kanbanová karta) ke každé šarži, nebo majáčky na strojích s různými barvami signalizující stav materiálu. [20]

Postupy (Methods), zajištění, že pracovníci dělají svojí práci správně se provádí vytvořením pracovních postupů, které jsou na přiložené u každé operace a pracovníci jsou na ně zaškoleni. [20]

Měření (Measurements), vizualizace toho, že proces běží ve specifikacích, nebo že implementovaná opatření směřují k dosažení cíle je zajištěno měřidly, která jsou viditelná a jejich hodnoty jsou jasně interpretovatelné. [20]

Standardizace

Jako standard by měl být uvažován ten nejlepší způsob, jak vykonávat nějaký úkon. Zaváděním a udržováním standardů je cesta k zajištění kvality. Pokud se věnuje veškeré úsilí k vytvoření nejlepšího standardu, je vhodné tento standard použít všude, kde je možné tento standard uplatnit. [20]

3.4.3 Nejlepší praktiky v LEAN production

Disertační práce [38] zabývající se nejlepšími praktikami shrnula nejvýraznější přínosy LEAN production prováděný v Toyotě následujícím způsobem. V této části jsou tyto praktiky přiřazeny k výrobě PV dle ISO norem.

Neustálé zlepšování

Každý manažer by měl strávit každý den minimálně 40 minut ve výrobním procesu. Záměrem je sledovat přidanou hodnotu produktu ve chvíli, kdy jsou následovány pracovní postupy. [38]

Několik pravidel, které jsou zaměřeny na neustálé zlepšování jsou: [38]

- provádět manažerská rozhodnutí na základě dlouhodobé filozofie i za cenu nesplnění krátkodobých finančních cílů,
- vytvořit neustálý procesní tok bez úzkých míst,
- používat „pull“ systém k prevenci nadprodukce,
- budovat kulturu zastavení procesu do napravení výrobních problémů,
- standardizovat úkony a procesy,
- používat vizualizaci 5M,
- používat pouze ověřenou a otestovanou technologii,
- při problému jít na místo jeho vzniku a důkladně mu porozumět,
- rozvíjet talenty operátorů,
- nechat růst lídry, kteří jsou nositeli filozofie výrobce PV dle ISO norem.

Motivace

Svěží pohled běžného pracovníka vždy přináší neocenitelný přínos. Proto by měl výrobce PV pracovat s lidmi a motivovat je. Mezi motivační faktory pracovníků jsou zařazeny:

- přiřazení více kompetencí uspořádáním školení rozvíjející dovednost,
- sdílení informací a výsledků týkající se výroby,
- na principech KAIZEN evidovat nápady proaktivních pracovníků

Co tedy štíhlá výroba přináší a proč je vhodné využít tuto metodu řízení pro výrobu pneumatických válců? Výhody LEAN production jsou: [3]

- snižuje náklady,
- zlepšuje morálku pracovníků,
- zpřehledňuje pracoviště,
- zvyšuje inventární obraty,
- snižuje dobu dodání,
- zvyšuje zisky,
- rozvíjí vedení,
- snižuje zmetkovitost,
- zvyšuje zákaznickou loajalitu,
- zajišťuje udržitelný dlouhodobý růst.

3.5 Řízení kvality dle Six Sigma

„Six Sigma je metoda hnaná daty pro dosahování téměř perfektní kvality. Analýza Six Sigma je schopna se zaměřit na jakýkoliv element výroby nebo poskytování služby, zároveň klade důraz na statistickou analýzu při návrhu, výrobě a je orientovaný na prozákaznické aktivity“
 UK Department for Trade and Industry [3]

Výrobce PV používá metodologii Six Sigma hlavně pro vyjádření úrovně kvality pomocí metrik, které jsou uvedeny v 3.5.1 a vyhodnocováním variability obráběcích procesů. V této kapitole 3.5 je popsána Six Sigma, jak se vyjadřuje a jaký má přínos.

Od roku 1920 byl používán pouze symbol „sigma – σ “, který byl používán inženýry a matematiky pro standardní (směrodatnou) odchylku, což značí jednotku v měření, která určuje, jakou má daný proces odchylku od dokonalosti. Čím vyšší sigma je v matematice, tím je větší odchylka. Čím je ale vyšší počet sigma v Six Sigma, tím je odchylka menší. Nyní bude ukázáno několik základních matematických vztahů popisující metodu Six Sigma. První rovnice je výběrový aritmetický průměr \bar{x} , kde x_i představuje jednotlivé hodnoty a n jejich počet. Druhá rovnice popisuje výběrovou směrodatnou odchylku s , která popisuje variabilitu procesu. [2]

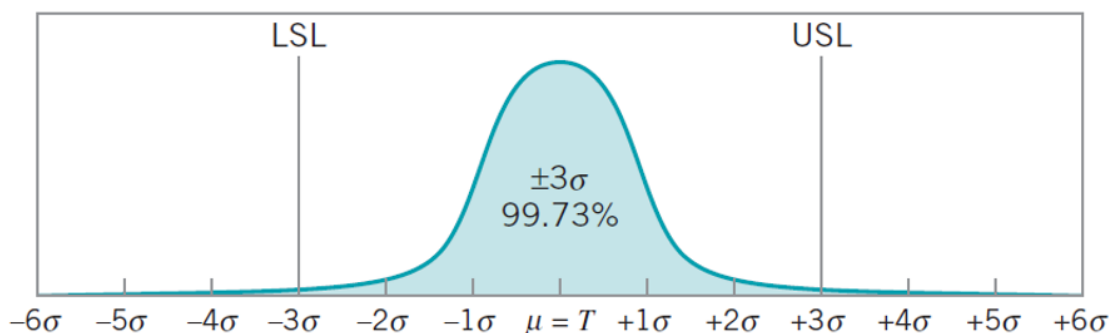
Výběrový aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Výběrová směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Na obrázku 16 je ukázán graf Gaussova normálního rozdělení. Podle úrovně kvality, tzn. podle počtu vyrobených kusů ku počtu neshodných kusů se určuje úroveň variability procesu. Když je například brána v úvahu úroveň variability $\pm 3\sigma$, znamená to, že přibližně 0,27 % vyrobených produktů je mimo specifikační limit. [2]



Spec. Limit	Procento ve spec.	ppm Neshodných
± 1 Sigma	68.27	317300
± 2 Sigma	95.45	45500
± 3 Sigma	99.73	2700
± 4 Sigma	99.9937	63
± 5 Sigma	99.999943	0.57
± 6 Sigma	99.9999998	0.002

Obr. 16) Normální rozdělení [2]

Aby byl Six Sigma koncept pochopen zcela, může být zmíněn přístup z hlediska pravděpodobnosti, kdy úroveň kvality je 0,9973, což odpovídá 2700 neshodných dílů na jeden milion vyrobených kusů. To zní relativně „slibně“. Když je ale uvažováno, že finální výrobek obsahuje 100 dílů, pak je úroveň kvality $(0,9973)^{100}$, což vychází $0,7631 = 236\,900$ neshodných dílů na jeden milion vyrobených kusů, což už není z hlediska kvality akceptovatelné. [2]

Tento manažerský přístup k řízení kvality Six Sigma byl prvně použit ve firmě Motorola v roce 1981 ke snížení zmetkovosti „blízko k nule“. Podle Motoroly je možné Six Sigma chápat ve třech úrovních: [3]

- jako metriku,
- jako metodologii,
- jako systém řízení,

3.5.1 Metrika

Umožňuje předat informaci o výkonnosti procesu na různých úrovních organizace. Pro účely této diplomové práce je zaměřeno hlavně na ukazatele zvané KPI – „key performance indicators“ neboli klíčové ukazatele výkonnosti DPMO, PPM a FTY. [3]

- Defektů na milion příležitostí (DPMO).
- Defektů na milion dílů (PPM).
- Úspěšně prošel testem na první pokus (FTY).

3.5.2 Metodologie

Tyto metodologie uvedené níže umožňují strukturovaný postup při komplexních analýzách a projektech. Pro účely diplomové práce je použita metodologie DMAIC.

- DMAIC
- DMADV
- IDOV
- DCCDI
- DMEDI
- QFD
- FMEA

3.5.3 Systém řízení

Jelikož není u výrobce PV využíván systém řízení dle Six Sigma, je možné jej použít ke zlepšení stávajícího systému řízení kvality dle ISO rodiny a LEAN production.

Pro profesionalizaci aktivit Six Sigma bývají vyčleněni pracovníci v jednotlivých odděleních napříč organizací. Hierarchie systému řízení od nejvyššího člena po pracovníka v procesu dle Six Sigma je následující: [3]

- ředitel společnosti,
- champion,
- master black belts,
- black belts,
- green belts,
- yellow belts.

3.5.4 Metodologie DMAIC

*Každý nese zodpovědnost za kvalitu.
Edward Deming [2]*

Jedná se o pěti stupňový postup při řešení problémů spadající do Six Sigma. Může být využit v projektech, které mají za účel řešení kořenových příčin a implementaci opatření, které jsou navíc ověřovány, zda se opravdu jedná o nejlepší řešení. Používá se zejména v oblastech kvality a zlepšování procesů. Těchto pět kroků je rozděleno do 1. Definuj; 2. Měř; 3. Analyzuj; 4. Vylepši a 5. Řid'. DMAIC využívá těchto kroků pro strukturování projektu a jednotlivé části odděluje tzv. zhodnocení – tollgate. Toto zhodnocení slouží k průběžným prezentacím vedení, dodavatelům, zákazníkům atd o průběhu projektu tak, aby měly zainteresované strany neustále přehled. Při těchto prezentacích se často probírají možné bariéry a překážky, které nastaly nebo mohou nastat a jaký má vliv na jednotlivé participanty. Ti pak mohou navést projektový tým k řešení – například uvolněním některých ze zdrojů. Učebnice [1] a [2] společně uvádějí, že ať je metoda řízení projektu jakákoliv, hlavními prvky jsou: vhodný výběr, řízení a úspěšné dokončení projektů. Toto zároveň uvádějí jako klíč k neustálému zlepšování a zvyšování obchodní síly na trhu. [1][2][23]

3.5.5 Definuj

V této fázi se přesně popíše řešený problém. Prvním krokem je tedy jasná definice současného stavu a popsat zamýšlený stav neboli cíl projektu. Cílem projektu může být vyřešení problému, anebo podklad pro založení navazujícího projektu, který už je cílený na daný problém. V každém případě to vyžaduje pečlivé sestavení organizované strategie, která vede k zamýšlenému cíli. [23]

Strategie zahrnuje definování cíle, stanovení úkolů k dosažení cíle, jakým způsobem bude cíl splněn, časový plán a potřebné zdroje (lidské a materiální). Níže jsou uvedeny možné otázky, které je vhodné si položit při plánování ve fázi definuj. [4]

- Jaký je účel této aktivity?
- Jak to souvisí s ostatními zlepšovacími aktivitami?
- Jak to ovlivní další aktivity orientované na kvalitu?
- Jaké úkony budou ovlivněny a jak?
- Jaká budou opatření a jak se implementují?
- Proč se bude řešit tento problém, a nikoliv jeden z desítek jiných?
- Co to přinese zákazníkovi?
- Co to přinese organizaci?
- Jaká je definice hlavního problému?
- Jsou náklady na řešení úměrné výsledku?
(neutratit 10Kč na vyřešení halířového problému)
- Kdo bude problém řešit?

Projektový list

Projektový list přemění hypotetickou myšlenku v oficiální, dokumentem podložený projekt. Navíc poskytuje popis organizované strategie i v případech větších řešitelských týmů. Umožňuje tak dostupnost potřebných informací týkající se projektu. [23]

Projektový list obsahuje:

- číslo projektu,
- sponzora projektu (výrobce, nebo vedení společnosti),
- popis a důvod projektu,
- plán projektu (Ganttův diagram).

Ganttův diagram

Ganttův diagram zajišťuje časové ohraničení jednotlivých úkolů. Pro vytvoření plánu projektu je použit tento efektivní nástroj plánování komplexních a paralelních úkolů. Důležitou prerekvizitou k úspěšnému vytvoření Ganttova diagramu je důkladné porozumění jednotlivých úkolů, konkrétně pak jejich začátek a konec. Sestavením diagramu je docíleno časového ohraničení projektu. [23]

3.5.6 Měř

Prvním krokem před posuzováním výkonu procesu je získávání dat. Samotný proces získávání dat je jedním z nejdůležitějších, neboť získáváním nesprávných dat vede k zavádějícím výsledkům. Aby nedocházelo ke sběru zavádějících dat a sesbíraná data reflektovali skutečný stav procesu, musí se zajistit následující body: [23]

- jasně definovat účel sběru dat,
- ujistit se, že sbíraná dat jsou přesná a vypovídající,
- pracovníci musí dostatečně rozumět procesu sběru dat,
- rozhodnout o vhodné četnosti měření.

Typ dat

Charakter řešené problematiky vyžaduje typ dat – Atributy. Tyto atributy jsou diskrétní data, která jsou počítatelná pouze v absolutních číslech (1; 2; 3; ...). [23]

Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti

Poissonovo rozdělení se zaměřuje na pravděpodobnost počtu událostí v časové ose. Potřebné výpočet je známá hodnota průměru těchto událostí značené μ . Pro průměr těchto událostí se doporučuje to přepočítat na PPM. [22] [23]

Pro zjednodušení principu pravděpodobnosti může sloužit následující rovnice 3. Písmeno q představuje pravděpodobnost, že produkt neprojde a písmeno p , je pravděpodobnost, že zkouškou projde. [23]

$$q = (1-p) \quad (3)$$

Rovnice pro pravděpodobnostní funkci $P(x)$ Poissonova rozdělení je uvedena v následující rovnici 4. $P(x)$ definuje pravděpodobnostní funkci, že dojde právě k „ x “ defektům za předpokladu známé hodnoty průměrného výskytu těchto událostí μ . [23]

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (4)$$

Binomické rozdělení pravděpodobnosti

V předchozím nadpisu je popsáno Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti, které je používáno pro metriku FTY podle knihy [23] jako pravděpodobně se vyskytujících „x“ událostí na jednom produktu. Podstatou FTY této práce je však binomické rozdělení, protože se jedná o shodný/neshodný PV po zkoušce na únik vzduchu.

Binomické rozdělení uvažuje velikost vzorku s výsledkem zkoušky pouze úspěch/neúspěch. Těmto zkouškám se říká tzv Bernoulliho zkoušky. [23] Obecné pojetí pravděpodobnosti je stejné, jako v rovnici 3. Pravděpodobnostní funkce podle binomického rozdělení pracuje s parametry n ; p a x . Písmeno n reprezentuje velikost vzorku, p poměr vadných jednotek ve vzorku a x je, s jakou pravděpodobností se stane x událostí (vadných PV). Rovnice 5 popisuje pravděpodobnostní funkci binomického rozdělení. Písmeno C znamená matematickou operaci – kombinace, její výpočet je uveden v rovnici 6. [23] [2]

$$P(x) = C_x^n \cdot p^x q^{n-x} \quad (5)$$

$$C_x^n = \frac{n!}{x! \cdot (n-x)!} \quad (6)$$

PPM – počet vad na milion vyrobených kusů

Mezi časté ukazatele výkonosti se zařazuje PPM neboli počet vad na milion vyrobených kusů. Výpočet je uveden v rovnici 7. Obrázek 17 výstižně popisuje jeho význam v Six Sigma metodologii. Výpočet PPM je následující: [2]

$$PPM = \frac{POČET VAD}{POČET VYROBENÝCH KUSŮ} \cdot 1\,000\,000 \quad (7)$$

DPMO – vad na milion příležitostí

Vhodnějším a komplexnějším ukazatelem, nežli PPM je DPMO neboli počet vad na milion příležitostí. Příležitost představuje množství potenciálních selhání týkající se jednoho komponentu v pneumatickém válci. Je tedy důležité si určit množství příležitostí a poté tento počet neměnit. Z následující rovnice je zřejmé, že je možné dosáhnout „zlepšení“ zvýšením příležitostí na jeden komponent válce. Výrobce zvolil strategii, že jeden komponent znamená jednu příležitost k selhání, a tak to bude dále i uvažováno. [2] [23]

$$DPMO = \frac{POČET VAD}{POČET VYROBENÝCH KUSŮ \cdot POČET PŘÍLEŽITOSTÍ} \cdot 1\,000\,000 \quad (8)$$

Záznamový formulář

Velice vhodným nástrojem pro řešenou problematiku je záznamový formulář. Jedná se o nejčastěji používaným nástrojem [2] ve fázi „Měř“ a je velmi užitečný. Tímto jsou sbírány veškeré defekty, které se stanou na PV a způsobí únik vzduchu čili neprojdou zkouškou. Formulář by měl být sestaven tak, aby bylo možné přiřadit defekty k času detekce a typu válce. [2]

Ideální strategií při vytváření vhodného formuláře je na základě zkušeností nejdříve sestavit zkušební formulář a nechat si jej připomínkovat těmi, kdo je bude používat. Operátor musí dostatečně pochopit způsob vyplňování. Na základě připomínek je formulář nakonec upraven a uveden do provozu. [2]

3.5.7 Analyzuj

Do části „Analyzuj“ se vstupuje při nasbírání dat, které je potřeba prozkoumat a najít vzájemné vztahy, mezi kterými vzniká problém.

Paretovo pravidlo

Jednoduché a velmi účinné pravidlo tvrdí, že přibližně 80 % všech problémů způsobuje pouze 20 % příčin. V managementu kvality se těch 20 % nazývá “vital few” neboli pár kritických. Paretova analýza se pak většinou zařazuje na začátek každé analýzy či manažerského rozhodnutí. [23]

Brainstorming

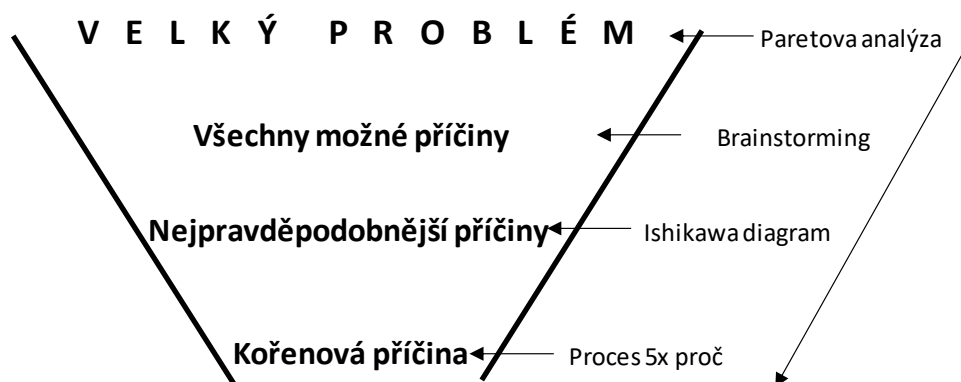
Mnoho problémů vyžaduje multioborové znalosti z různých úrovní hierarchie, aby bylo možné relevantně postupovat v projektu. Proto se dělají takzvané brainstormingové schůzky s různými pracovníky z různých oddělení a s různou zainteresovaností k řešenému problému. Podstatou je tedy generovat veliké množství kreativních nápadů, a ne nutně tradičních myšlenek. Velkou výhodou je, když brainstorming vede zkušený moderátor a dokáže jasně a efektivně vést schůzky. Mezi základní pravidla patří, že žádný nápad není špatný a nesmí se kritizovat. Pro dostatečnou efektivitu je vhodné se vybavit softwarem pro rychlé zapisování nápadů všech participantů. [23]

Ishikawa diagram

Dalším používaným nástrojem řízení kvality je diagram příčin a následků. Diagram slouží hlavně k vizualizaci možných příčin, které je možné dělit. Prvním krokem konstruování Ishikawova diagramu je si jasně definovat následek, které mají příčiny způsobit. Další krok spočívá ve shromáždění dostupných informací o vstupech do procesu, možných příčin, nebo požadavcích, které mohou ovlivnit nežádoucí následek. Toto je možné naplnit výstupem z brainstormingu. Třetí krok má pak za úkol kategorizovat příčiny do příslušných oblastí. Nejčastěji to jsou schémata 6M (pracovník, stroj, postup, prostředí, materiál, měření) případně 8M (navíc údržba a řízení). [23]

Kořenová příčina

Logickým závěrem fáze „Analyzuj“ by mělo být určení kořenové příčiny. Z Ishikawova diagramu jsou vybrány nejpravděpodobnější a řešitelné příčiny. Použitím intuitivní metody „5x proč“ je dopracováno až k tzv kořenové příčině. Princip metody „5x proč“ ve spojení s ostatními je vyobrazen na obrázku 17. [19]



Obr. 17) Proces analýzy technického problému [19]

3.5.8 Vylepši

Výstupy z fáze „Analyzuj“ slouží jako podklad pro přeměnu procesu a dosáhnout tak změny. Výstupem z fáze „Vylepši“ by měla být adekvátní dokumentace o tom, jak byl získáno řešení analyzovaného problému, zaznamenané alternativní řešení problému, výsledky z prováděných testů a experimentů, analýza rizik a akční plán implementace opatření. [23]

Pro účely diplomové práce je fáze „Vylepši“ zpracována se zaměřením a vytvořením několika možných řešení, bez jejich verifikace. Protože z hlediska implementace opatření, byla z časových důvodů tato část zjednodušena a opatření jsou orientovaná jako technická a systémová opatření, nebo vytvořením návrhu na navazující projekt.

Ve smyslu Six Sigma představuje tato fáze statistickou verifikaci vzájemného vztahu příčiny a důsledku. Provádí se například faktorové analýzy, kde se hledají nejvýraznější faktory k optimalizaci výkonu procesu. Jakmile je tento faktor identifikován, měl by být tento faktor maximalizován, minimalizován, nebo transformován na cílovou hodnotu. [23]

PDCA cyklus

Ačkoliv není použito pokročilých statistických nástrojů, i tak fáze „Analyzuj“ vždy poskytne mnoho vodítek k vytvoření opatření. Proto je vhodné, aby každé opatření mělo vytvořený akční plán implementace. Ideální metodou je pak PDCA cyklus. [4]

Plánováním jsou popsány důvody a důkazy kořenové příčiny. Realizací dojde k implementaci konkrétního opatření. Kontrola ověří efektivitu opatření. Posledním krokem je akce, která se vykonává při úspěšné implementaci opatření, či neúspěšné. Pokud je úspěšná, provede se standardizace na další (pokud jsou) pracoviště. Pokud je neúspěšná, provádí se kroky vedoucí k vylepšení stávajícího opatření, nebo implementaci alternativního řešení. [4]

3.5.9 Říd'

Regulační diagramy

Jakmile jsou implementovaná akce ke zlepšení, jsou zanalyzované nejlepší praktiky montáže a známe příčiny defektů, měl by management podniknout kroky k monitorování a hlídání procesu. Nejde tu tolik o odchyťování špatných produktů, ale o sledování úrovně kvality daného procesu. Spolehlivým nástrojem pro takové sledování úrovně kvality je statistická regulace procesu, konkrétně pak regulační diagramy (dále jen RD). [23]

Aby bylo možné vytvořit RD je nutné nejdříve vybrat ten správný. Mezi první volbu patří to, jaká charakteristika procesu je regulována. Úkolem této práce bylo navrhnout zlepšení systému řízení procesu úniku vzduchu, kde je výsledkem shodný/neshodný produkt při 100% kontroly produkce. Jeden vzorek odpovídá proměnnému počtu kusů v jednotlivých výrobních zakázkách. Cílem RD je sledovat cílovou hodnotu úrovně kvality, aby se nacházel v regulačních mezích. [23] [2]

Dalším parametrem je, kam umístit onen kontrolní diagram, protože se jedná o on-line sledování procesu. Umístění je vhodné volit co nejbližší pracovišti, aby bylo dosaženo nejlepšího kontaktu procesu s operátorem. U výrobce je možné svěřit sledování procesu pomocí RD vedoucímu výrobní linky. [2]

Nyní je známo, že je vybíráno z tzv atributů s proměnnou velikostí vyhodnocovaných vzorků. Ve výrobě se nejčastěji používají přívlastky shodný/neshodný či dobrý/špatný. Existují čtyři typy RD pro atributivní data: [23] [2]

- p diagram,
- np diagram,
- c diagram,
- u diagram.

První p RD se používá pro regulaci podílu v daných výběrech, a to i v případech, kdy není zajištěn konstantní rozsah výběru. [23] [35]

Druhý np RD se používá k regulaci počtu neshod v daných výběrech, a to i v případech, kdy není zajištěn konstantní rozsah výběru. [23] [35]

První dva RD pracují s binomickým rozdělením pravděpodobnosti, protože výsledkem může být pouze shoda/neshoda, a to kvůli jedné vadě. Další dva RD již pracují s Poissonovým rozdělením, protože výsledkem je více vad a shoda/neshoda se určuje dle tolerance. [23] [35]

Třetí c RD se používá k regulaci počtu vad pro konstantní výběr a při jednoduchém odměřování vad (například vizuálně). V těchto případech je nutné rozlišit mezi neshodou a vadným produktem. [23] [35]

U čtvrtého u RD se používá k regulaci podílu vad i pro nekonstantní výběry. Diagram u sleduje průměrný počet vad na jeden produkt. [23] [35]

Z výše uvedených RD pro atributivní data je vybrán p diagram.

Statistické řízení procesu – p diagram

Ideální volbou pro řešenou problematiku je tzv p diagram. Vychází z binomického rozdělení a slouží ke regulaci procesu, které slouží ke sledování úrovně kvality za zvolené období, nikoliv k vyhodnocování kvality jednotlivých PV.

Je zvolen proces, který je vhodné sledovat v určitých časových obdobích. Je žádoucí, aby výsledek rovnice 9 rozptylu diskrétní veličiny $D(x)$ vyšla více než 9. Tímto výsledkem je zaručeno symetrické rozdělení, a tudíž dosaženo podmínky aproximace normálním rozdělením. Symetrie se dosahuje přiblížením hodnotě $\bar{p} = 0,5$, nebo zvýšením velikosti vzorku n . Písmeno n je rozsah výběru a \bar{p} je průměrný podíl neshodných jednotek. [35]

$$D(x) = n\bar{p} \cdot (1 - \bar{p}) \geq 9 \quad (9)$$

Podstatou p diagramu je sledovat hodnotu p , aby se pohybovala v určitých mezích, které jsou definovány jako UCL – horní regulační mez, LCL – dolní regulační mez a CL – centrální přímká. Všechny parametry jsou již známé a rovnice CL, LCL a UCL jsou uvedené v následujících rovnicích 10, 11 a 12. Důležitou poznámkou je, že velikost LCL by měla být větší než 0, aby bylo dosaženo symetrického rozdělení. [35]

$$CL = \bar{p} \quad (10)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (11)$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (12)$$

Lesson learned

V minulosti se různé společnosti zabývaly řešením problémů, nebo se pouštěly do jiných iniciativ. Během těchto akcí bylo zjištěno mnoho věcí, které fungují. Zjistilo se také, že ačkoliv jsou jednotlivé společnosti rozdílné, našlo se jednotlivých řešeních a strategiích společné jmenovatele použitelné v širokém spektru. [1]

Níže je uveden seznam největších přínosů výsledků projektů a zakořenění zjištěných principů formou „Lesson learned“:

- motivace pracovníků,
- neustálé zlepšování,
- nastavení cílů kvality,
- kvalita na prvním místě,
- zaměření na zákazníka,
- projektové týmy skládané křížově z různých oddělení a zaměření.

Nástrojem pro „Lesson learned“ může být například SWOT analýza, která hodnotí projekt podle silných a slabých stránek, poukazuje na možné příležitosti a upozorňuje na hrozby.

Shrnutí

Six Sigma je použitelná všude, protože variabilitu má každý proces. Jaký má vlastně přínos implementace Six Sigmy do systému řízení kvality pneumatických válců? [2][3]

- Snižuje variabilitu peněžního toku na opravy.
- Mobilizuje řešitelské týmy k projektům s největším dopadem.
- Zlepšuje přesnost plánování a načasování projektů.
- Urychluje růst zisku organizace.
- Dodržení doby dodání.
- Snížení počtů reklamací.
- Lepší porozumění procesům, komponentům a konečným produktům.

3.6 Stav řízení kvality PV

V kapitolách 3.4. a 3.5. jsou uvedené důkladnější řešerše LEAN production (dále jen LEAN) a Six Sigma. V této části jsou popsány jejich hlavní rozdíly a proč se v praxi osvědčila jejich kombinace. V další části tohoto shrnutí je uvedeno, co je probrané kapitolou 3 a co je nutné dále řešit.

3.6.1 Rozdíl mezi LEAN a Six Sigma

LEAN cílí na eliminaci plýtvání vytvářením prostředí, které vybízí a učí pracovníky k neustálému zlepšování a maximalizuje tak hodnotu pro zákazníka efektivním využitím dostupných zdrojů. [23] [37]

Six Sigma cílí na téměř bezchybné výsledky a využívá statistické i nestatistické nástroje k definování a dosahování cílů kvality, čímž také dosahuje k eliminaci plýtvání. [23][37]

Prvním rozdílem je jiná strategie k eliminaci plýtvání, LEAN identifikuje osm druhů plýtvání, které jsou zejména ve výrobě. Six Sigma eliminuje jakékoliv defekty, které neplní očekávání zákazníka, které jsou jak ve výrobní, tak i v nevýrobní oblasti. [37]

Druhým rozdílem ten, že LEAN se více věnuje eliminaci chyb ve výrobě, kdežto Six Sigma cílí spíše na eliminaci výroby vadných produktů, konkrétně pak 3,4 vady na milion produktů. [37]

Naopak společným rysem je, že implementace jednotlivých stylů řízení kvality produktu přináší výrazné zlepšení. LEAN zvyšuje tok v procesu a Six Sigma přináší konzistentní výsledky. Proto je žádoucí z každé metody vybrat takové prvky, které se hodí pro řešení problematiky, která vede ke zlepšení stavu řízení kvality PV. [37]

3.6.2 Shrnutí současného stavu řízení kvality PV dle ISO norem

Výrobce PV používá jako dominantní systém řízení kvality produktu soubor ISO norem uvedené v příloze 1. Je certifikován na ČSN EN ISO 9001:2016 již od počátku výroby v roce 2011. V současné době ISO normy nepřinášejí potřebnou akceleraci ve zlepšování řízení kvality PV, jelikož několik již let nedošlo k nálezům při pravidelných auditech třetími stranami.

Další metodou řízení kvality PV dle ISO norem je LEAN production, který je hojně používán, zejména kvůli tomu, že se jedná výhradně o výrobní závod bez vývoje či obchodu. Pro využití síly této metody je vhodné navýšit kapacity k implementaci jednotlivých technik v plném rozsahu procesů výroby PV.

Třetí metodou řízení kvality PV dle ISO norem je Six Sigma, z níž je využívána pouze část potenciálu a tou je vyjádření úrovně kvality pomocí metrik (PPM, DPMO, FTY). Proto je v rámci DP použita další část Six Sigma, čímž je využití metodologie DMAIC a jeho nástrojů pro zlepšení systému řízení kvality PV dle ISO norem. Do budoucna je vhodné zvážit implementaci stylu řízení dle Six Sigma, aby bylo možné implementovat nejlepší praktiky této metody ve všech úrovních u výrobce PV dle ISO norem.

Dále je ještě nutné věnovat se hodnocení kvality PV dle ISO norem a popsat další možnosti zlepšení systému řízení kvality.

4 HODNOCENÍ KVALITY PV

„Kvalita produktu je založena na zákaznických potřebách, souladem se specifikacemi, zajištění funkčních parametrů, bezpečnosti, správného balení, včasného dodání, efektivní technické podpory a začlenění dostatečné zpětné vazby od zákazníka.“ [3]

V první části této kapitoly je uveden systémový přístup k hodnocení kvality a konkrétně popisuje plánování, kontrolu a zlepšování výroby PV.

Ve druhé části jsou popsány kontroly neboli nástroje hodnocení kvality PV u výrobce.

4.1 Hodnocení procesu

Jakákoliv činnost v organizaci by měla probíhat dle schváleného a řízeného procesu. S přihlédnutím na princip „Juran trilogie“ vyplývá, že k hodnocení zaběhnutých procesů se přichází po fázích plánování a kontroly, které by měly již zahrnovat nejlepší praktiky, nebo dostupná data k hodnocení nekvality. Třetí fáze se pak zabývá zlepšením, lze totiž říct, že vždy je prostor ke zlepšení. Častou překážkou v generování velkých zlepšení bývají zdroje (finanční, lidské, technologické, ...) [1]

4.1.1 Juranova trilogie

Jedná se o tři univerzální procesy řízení pro kvalitu. Níže jsou popsány tyto tři procesy z pohledu jejich funkce neboli výstupů. [1]

Plánování kvality

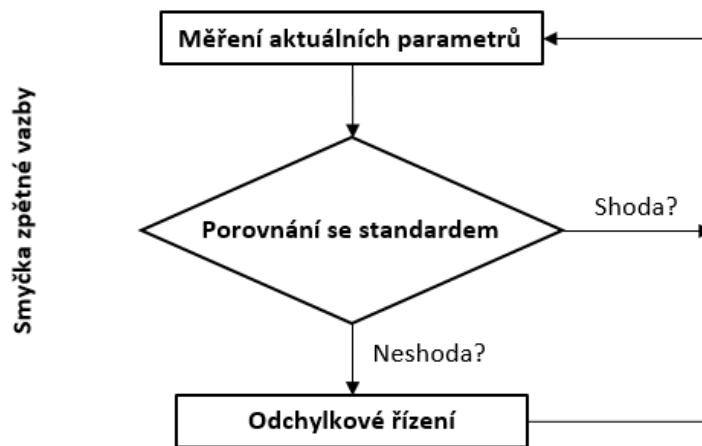
Postup v této části trilogie má vytvořit proces, který je stabilní a poskytuje zákazníkům produkty takové, jak byly navrženy. První krok v plánování kvality je založení projektů, které obsahují informace o cíli, toku procesu a potřebnou infrastrukturu k realizaci. Dalším krokem je obhájení výběru projektu, hlavně z finančního hlediska, produktivity a přidané hodnoty pro zákazníka. Výrobce PV je korporátní společností, kde není vývoj, takže se veškerá výroba začíná přes tzv. „transfer plan“ neboli „plán přesunu“. Výzvou tohoto přesunu je stabilní implementace technik, metod, materiálů, nářadí, znalostí, dovedností atd. [1]

Shrnutí plánování kvality:

- založení projektu,
- praktický přínos projektu pro zákazníka a majitele,
- sestavení procesu (nový proces, nebo pomocí transfer planu),
- nastavení kontrol,
- implementace procesu.

Kontrola kvality

Fungující proces je potřeba udržovat, a to snahou o dosažení stávajícího stavu. Toto udržování žádoucího stavu probíhá formou vyhodnocování aktuálního výkonu procesu, porovnáním s požadavky, cíli a následné provádění nápravných akcí při odchylkách od žádoucího stavu. V obrázku 18 je ukázána tzv. smyčka zpětné vazby „Feedback loop“, která je fundamentálním a naprosto univerzálním postupem, jak provádět kontrolu kvality. [1]



Obr. 18) Smyčka zpětné vazby [1]

„Jedna studie ve firmě o 350 zaměstnancích zjistila, že bylo třeba zajistit kontrolu pro více než jednu miliardu věcí“ Juran 1964 [1]

Výše uvedený výrok jeden z důvodů, proč nemůže jeden člověk, natož vyšší management provádět všechny kontroly. Proto je vhodné kontroly rozdělit do tzv. Pyramidy kontrol [1]. Základnu a největší počet kontrol představují kontroly prováděné bez lidských zdrojů – čili automatické kontroly. Ty by měly být zastoupeny v maximální míře, jsou realizovány technologickými řešeními a provádějí kontrolu v reálném čase. [1]

Další možností delegace kontrol je prostřednictvím pracovní síly, kdy pracovník sám provádí kontrolu toho, co právě vykonal. Pracovník se také může poradit se zkušenějším kolegou. Tento postup pozitivně ovlivňuje morálku pracovníků, kdy dojde k efektu „empowerment“. Tento pojem označuje tzv. zmocnění procesu, pracovník je mu blíže a provádí jej svědomitěji. Je však nutností důkladně prověřit, jaké kontroly jsou pracovníci schopni provádět správně a zda si jsou dostatečně vědomi jejich vyhodnocení. [1]

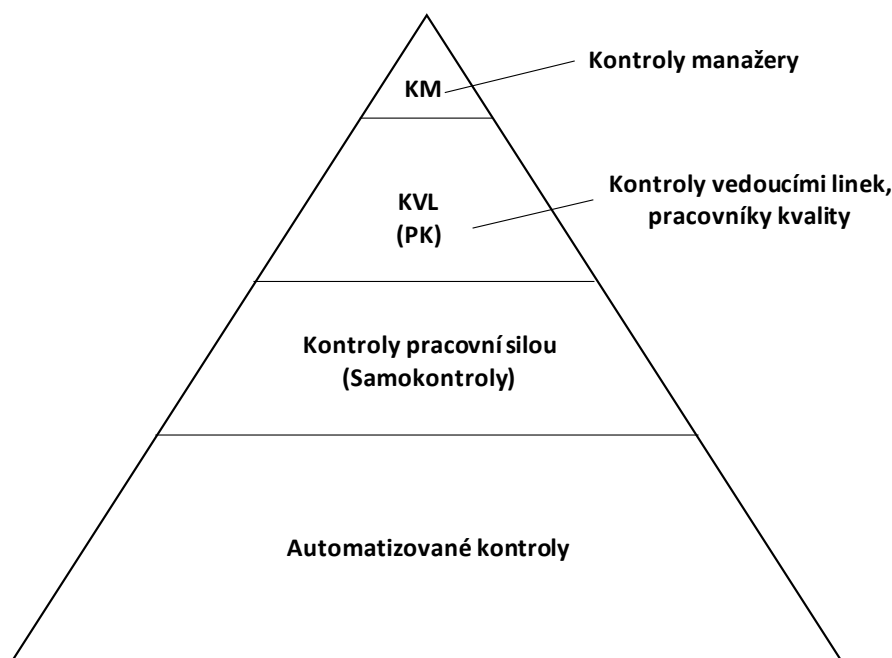
Co by měl umět pracovník samokontroly? [3]

- Znat, nebo umět přečíst specifikace produktu v daném procesu.
- Sledovat jednotlivé úkony, že jsou v souladu s nastavenými standardy.
- Kontrolovat, testovat a měřit vyráběné produkty.
- Vyhodnotit shodný či neshodný produkt.
- Separovat každý neshodný kus – ty které nesplnili dané specifikace.
- Komunikovat neshodné kontroly odpovědným osobám.
- Zaznamenávat kontroly do databází.

Další úroveň pyramidy zahrnuje vedoucí pracovníky, jako jsou vedoucí linek, a pracovníci kvality. Kontroly prováděné oddělením kvality jsou nastavené na kontrolu:

- vstupní (externí poskytovatelé),
 - Od lokálních dodavatelů
- mezioperační (obrobna),
 - Velké zakázky (nad 100ks)
 - Speciální komponenty
- výstupní (hotový pneumatický válec).
 - Speciální válce

Juranova pyramida kontrol zobrazená na obrázku 19 skrývá ve své špičce kontroly prováděné vyšším managementem. Tyto kontroly jsou delegovány na hierarchii manažerů. Manažeri by se neměli hluboce věnovat rozhodování o kontrole kvality. Měli by se věnovat zásadním rozhodnutím, popřípadě určovat kritéria pro tyto rozhodnutí. Jako příklad takového určení kritérií je formou „vital for use“ neboli kritéria nezbytná pro použití výrobku. [1]



Obr. 19) Juranova pyramida kontrol [1]

Zlepšování kvality

Princip této části z pohledu Juranovy trilogie je poskytnout výhody zapojení zlepšování kvality do základu uvažování manažerů a organizací. Zlepšení je chápáno jako „Organizované vytvoření prospěšných změn za účelem dosažení nebývalé úrovně výkonu“. [1]

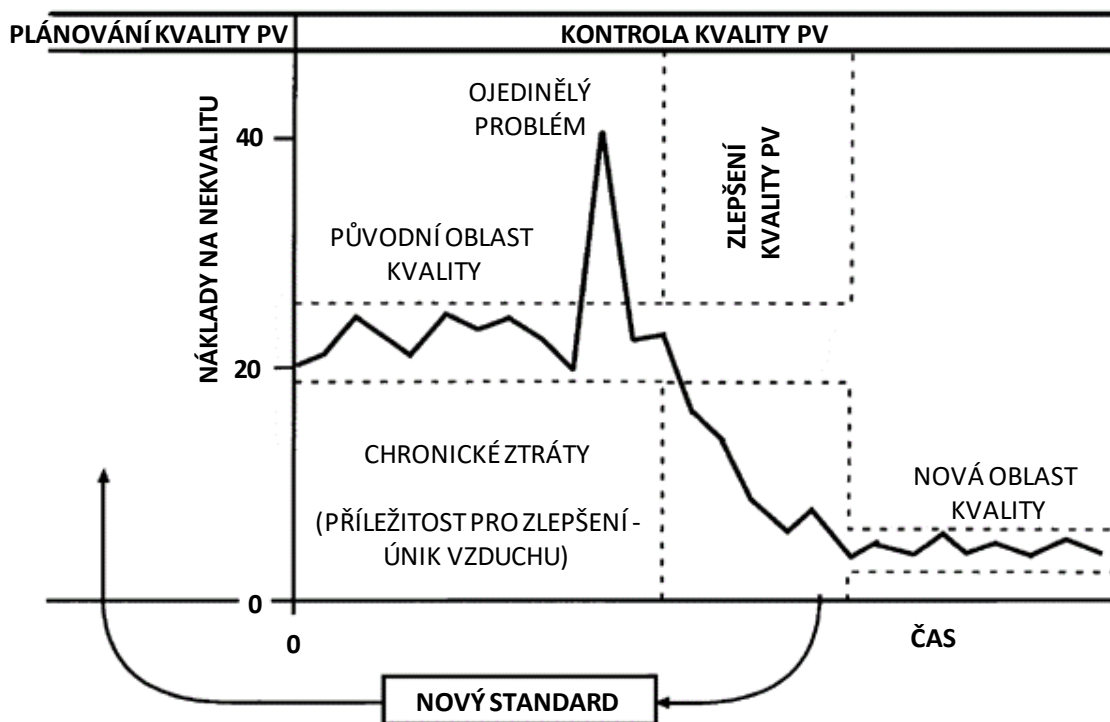
Pro účely DP je zásadní oblast zlepšování nedostatků, které vedou ke chronickým ztrátám a plýtvání z pohledu: [1]

- výroby na první pokus,
- míra chyb v administrativě,
- počet defektů ve výrobě.

Jelikož je výrobce PV pouze výrobní závod, nemá do svých procesů zahrnut vývoj a obchod. Cílem manažerů je tedy snížení nákladů na výrobu, namísto navýšení prodejů. Proto by měla být jejich snaha zaměřena na vyhledávání chybových procesů, které mají největší dopad na výrobní náklady. Učebnice kvality [1] obsahuje spousty praktických rad, které skýtá zlepšování kvality, za vyzdvihnutí stojí uvedené dotazy, které vyvstanou aktivací jakéhokoliv zlepšení, a to tak, aby to zapadalo do byznys plánu organizace. [1]

- Jaký je účel této aktivity?
- Jak to souvisí s ostatními zlepšovacími aktivitami?
- Jak to ovlivní další aktivity orientované na kvalitu?
- Jaké úkony budou ovlivněny a jak?
- Jaká budou opatření a v jak se implementují?

Na obrázku 20 je zobrazena souhra těchto tří obecných procesů, které vedou ke zlepšení, a tak dosažení nové úrovně kvality, která může být například popsána dle KPI – DPMO, PPM, náklady na nekvalitu atd. [1]



Obr. 20) Diagram Juranovy trilogie pro PV [1]

4.2 Kontrola a měření

„Kontroly sice nepřinášejí hodnotu, ale předcházejí mnohonásobně většímu plýtvání“ [19]

Snahou výrobce PV je vnést kontrolu do každého procesu tak, aby byla brána automaticky. Tento princip se dá popsat následovně: [19]

- zkontrolovat příchozí materiál a ujistit se, že je bez vad,
- ověřit si, že právě provedená práce je bez vad,
- nikdy vědomě neposlat vadný produkt do další operace.

Kontrola kvality produktu je rozdělena do tří kategorií pro každý proces výroby PV. Prvním je vstupní kontrola, jedná se o kontrolu shody s požadavky vstupního materiálu, nebo dílčích outsourcovaných položek do jednotlivých procesů (obrábění, montáž, povrchová úprava). V průběhu přetváření vstupního materiálu na hotové komponenty se provádí tzv. mezioperační kontroly, kde se průběžně hlídá jejich shoda s požadavky. Na konci montáže je výstupní kontrola, kde jsou ověřeny všechny kontrolovatelné specifikace pneumatických válců. Aby nedošlo k poškození válců během transportu a zákazník dostal kompletní objednávku v domluveném čase, jsou nastavené standardy správného balení a způsobu expedice. [19]

Při nastavování procesu kontrol a plánování kontrol jsou výchozí cíle organizace. Identifikuje se, v jakých podmínkách by měl proces probíhat. Uživatelé procesu by měli vždy plně rozumět nastavenému procesu, tak aby bylo možné jej vykonávat. Kniha [19] radí, aby se neplánovala pravidla, která jsou těžko splnitelná. Příkladem může být, aby pracovník vědomě neposlal vadný produkt do další operace – Co má ale dělat, když nastane vada? Koho má zavolat? Kam má vadný kus odložit? Je proto nutné si osobně vyzkoušet každé pravidlo a provést v maximální míře tzv. racionalizaci. [19] [1]

Při návrhu procesu je nezbytné pamatovat na jeho napojení na ostatní procesy a nechat tak navrhovaný proces zapojit do komplexního celku. Zvažovat všechny vstupy do procesu tak, aby se dosahovalo efektivitu a přesnosti zamýšlených cílů. Mezi tyto vstupy patří materiál, stroje a nářadí, postupy a metody, školení pracovníků neboli úroveň znalostí a dovedností pracovníků, další podpůrné procesy a zdroje. Každý proces by měl mít záznamy o proběhlém procesu a jeho naměřených hodnotách, protože bez neustálé kontroly výkonnosti a efektivitu procesu, není možné znát stav a data používat pro zlepšování procesu. [1] [3]

Shrnutí:

- nastavení cíle v souladu s cíli organizace,
- zvážení všech vlivů a pracovních podmínek na proces (6M),
- racionalizovaný pracovní postup,
- schopnosti potřebné k vykonávání procesu,
- přidělení odpovědnosti za fungování a zlepšování procesu,
- vedení záznamů a jejich vyhodnocování (ideálně v živém čase).

4.2.1 Typy kontrol, inspekci

Záměrem kontroly nebo inspekce je získat objektivní informace o procesu, nebo produktu. Tyto informace jsou použity k manažerskému rozhodnutí, zda přijmout či odmítnout proces či produkt. Co dalšího přináší zavedení kontrol? [1] [3]

- Sortování chyb ve výrobním procesu
- Pozastavení výroby vadných produktů
- Zajištění, že se vadné produkty nedostanou k zákazníkovi
- Zvyšování reputace výrobce díky dodržování standardů kvality
- Snížení výrobních nákladů
- Sběr informací pro pozdější rozhodnutí a analýzy

Protože vztahy mezi proměnnými procesu a produktu vyžadují monitorování proměnných procesu, stejně jako provádění kontrol, zařazují se kontroly do různých fází procesů výroby. Proces kontroly může být sestaven z následujících metod. [1] [3]

Podle metody

- Rozměrová kontrola, pomocí naměřené hodnoty
- Mezní kontrola kalibrem
- Funkční kontrola testováním
- Vizuální kontrola

Podle počtu kontrolovaných

- 100 % produktů je kontrolováno na jeden nebo více parametrů
- Náhodná kontrola jednoho, nebo více kusů
- Statistická kontrola použitím pravděpodobnosti

Podle účelu kontroly

- Předcházení výrobě vadných kusů pravidelným odebíráním a kontrolováním
- Přejímací kontrola za účelem informování dodavatele, zda je produkt přijat
- Pro zlepšení procesu, protože některé standardní kontroly neposkytují potřebné záznamy k manažerskému rozhodnutí, nebo vyřešení problému

Dále jsou ukázány konkrétní sestavené kontroly, které se používají a proč. Doplňujícími testy a experimenty stability výroby či konkrétních parametrů je možné nastavení kontrol podle charakteru potřeby a typu výroby.

Nastavovací kontrola

Některé výrobní procesy mají přijatelně stabilní průběh výroby celé šarže, takže stačí provést kontrolu nastavovacího kusu a je možné považovat celou šarži za shodnou. Kniha [1] doporučuje zavést opatření do výroby, aby se nepokračovalo s výrobou šarže, dokud není provedená a potvrzená kontrola. [1]

Patrol kontrola

Opačný případ nastane v případě, že není zaručen stabilní průběh celé šarže. Průběžným vzorkováním vyráběné šarže se využívá kombinace následujících čtyř typů. [1]

První metoda je, kdy se zachová posloupnost vyráběných kusů. Výstup vyrobeného komponentu ze stroje se schraňuje na určitém místě, odkud pracovník pravidelně odebírá kusy a vkládá je do určitých boxů. První box je pro zmetky, druhý pro neshodné, kde jsou pomíchané

(zmetky s dobrými) kusy a třetí je pro shodné kusy. Tato metoda je používána i způsobem, kdy pracovník odebírá vzorek kusů z posledních vyrobených kusů. Jakmile jsou poslední kusy v pořádku, považuje se i celá šarže za shodnou. [1]

Druhá metoda je založená na RD, kdy je změřen vzorek z posledních vyrobených kusů. Pokud je proces pod kontrolou, považuje se šarže za shodnou. [1]

Třetí metoda je založená na odběru určitého vzorku z vyrobené šarže. Je to zejména postaveno na kritériích odběru vzorku. [1]

Poslední metoda je založená na přijetí šarže na základě dodržení parametrů procesu doplněnou o přímou kontrolu v dalších fázích. [1]

Tollgate kontrola

Klasická kontrola prováděná na vyrobené šarži pracovníkem kontroly kvality. Výběr vzorků je dle standardních vzorkovacích tabulek. Tato kontrola umožňuje snížení zahlcení pracovníků v procesu. Avšak navyšují se náklady na manipulaci, přidání místa pro provádění kontroly a hůře se přiřazuje zodpovědnost za případné neshody. [1]

Kontrola konečného výrobku

Mnoho vyrobených a smontovaných výrobků jsou 100 % testovány jakousi minimální formou jejich praktického použití. Tyto testy jsou často automatizovány a data s těchto testů jsou zaznamenávány. Testování se zařazuje jak do výrobní linky, tak i mimo ni. [1]

Kontrola přepravy

Pro stabilní a kontinuální procesy balení se provádí kontrola zajištění shody se standardy balení, a to před uzavřením konečných výrobků v přepravovací paletě nebo kontejneru. [1]

Dokovací audit

Je to speciální inspekce náhodně vybraného zabaleného produktu, který by se měl provádět denně, týdně, ob týden atd. Podstatou je zkontrolovat, zda má zabalený výrobek splněné kritéria daného produktu, jako je produktový štítek, je správně zabalen, není poškozen a dalších. [1]

Destruktivní test

Některé výrobky svou povahou použití v určitých aplikacích, nebo okolního prostředí vyžadují testy poškození komponentů nebo podsestav těchto výrobků. Cíleně poškozené výrobky se analyzují a pokud dojde k jakékoliv poruše je celá šarže umístěna do karantény. [1]

4.3 Souhrn možností ke zlepšení systému řízení kvality PV u výrobce

V předchozí kapitole 3 a v této kapitole 4 je uveden systém řízení kvality PV dle ISO norem. Na základě provedené rešerše za účelem splnění cíle DP jsou níže uvedeny doporučené možnosti zlepšení řízení kvality PV dle ISO 6432, PV dle ISO 15552 a PV dle 21287.

Navýšit kapacity (lidské zdroje) na provádění technik LEAN, jako je eliminace osmi druhů plýtvání, 5S pracoviště, vizuální management všech 5M a standardizace viz kapitola 3.4.

Zvážit implementaci řízení kvality dle Six Sigma ve výrobní i nevýrobní oblasti týkající se výroby PV dle ISO norem. Dalším doporučením je použití metodologie DMAIC a jeho nejlepších praktik.

Zavést do problematických procesů, nebo procesů s potřebou vysoké kvality monitorování a měření pomocí SPC.

Vytváření projektů ke zlepšování požadavků kvality z obrázku 21, například revizí nastavení kontrol dle variability procesu, podle účelu či metody.

Vzhledem k velkému počtu kontrol se doporučuje vybrat ty kontroly, které probíhají v největší míře a automatizovat je pomocí dostupných technologií a řídit se dle Juranovy pyramidy, výrobce zatím nepoužívá jedinou 100 % automatizovanou kontrolu a vždy kontrolu alespoň částečně provádí pracovník.

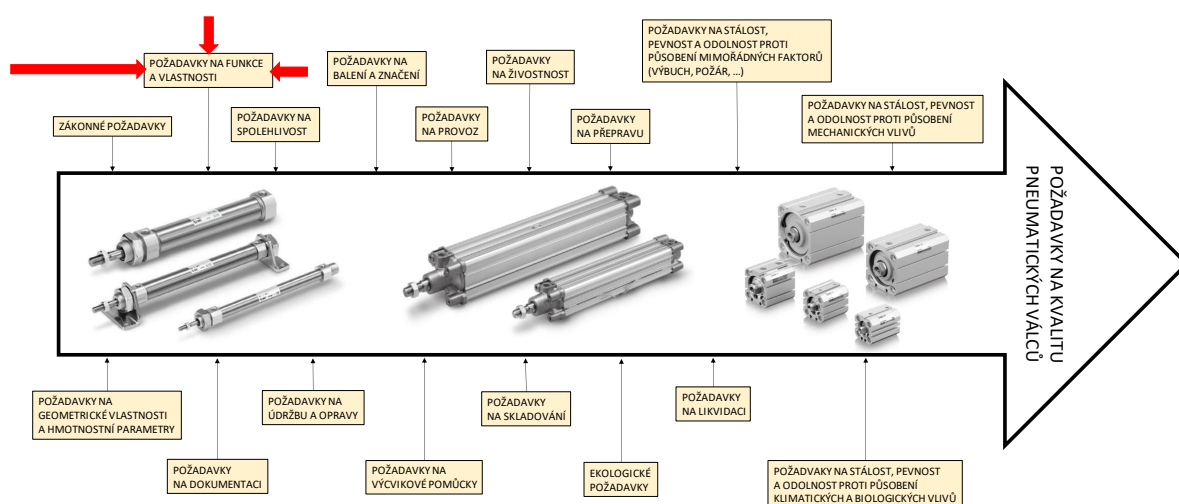
5 POŽADAVKY NA FUNKCE A VLASTNOSTI

„Staňte se učící organizací skrze sebereflexi a neustálého zlepšování“ [4]

V první části této kapitoly je uveden přehled požadavků na kvalitu týkající se vlastností a funkcí pneumatických válců, což je jedna z mnoha oblastí požadavků sestavené na obrázku 21. V kapitole 4 byly popsán systém řízení a hodnocení kvality PV. V této kapitole je tedy uvedena část požadavků, které se zajišťují.

Další část posuzuje možnost zlepšení procesu testování na únik vzduchu, co to únik vzduchu je a jak jej lze změřit.

V poslední části jsou tedy rozebrány požadavky na těsnění, zástavbové prostory a montáž, které mají vliv na únik vzduchu.



Obr. 21) Přehled oblastí požadavků na kvalitu pneumatických válců [35]

Vybraná oblast požadavků na funkce a vlastnosti je možné rozdělit do následujících kapitol. Prvním jsou materiály jednotlivých komponentů PV, jelikož jsou jejich základním stavebním kamenem. Druhým jsou specifikace, které definují, jaké jsou vlastnosti PV. V poslední jsou popsány funkční požadavky PV.

5.1 Materiály

Níže popsané komponenty mají vždy plnit svojí určitou funkci, aby ji vykonávaly maximálně efektivně. Je také vhodné zvolit správný materiál podle typu použití. Typy materiálů by se daly rozdělit do kategorií pro tubu, píst, pístnici, kryty a těsnění. Podle [17] se materiály rozdělují podle náročnosti provozního zatížení. [17]

5.1.1 Tuby

Materiál pro tuby musí zohledňovat odolnost proti otěru, korozivzdornost a odolnost proti poškození. Zvláštní pozornost musí být také věnována dle použití ve speciálních podmínkách, jako je výbušné prostředí, nebo zvýšené korozivní prostředí. Tabulka 1 níže popisuje možnosti ve volbě materiálů pro tuby pneumatických pohonů. Pro účely PV dle ISO norem ve zvolené

firmě se používá pouze hliníkových tažených materiálů, nerezových bezešvých tub a tažených ocelových tub. [17]

Tab 1) Přehled materiálů pro tubu dle náročnosti zatížení v provozu [16]

Lehké provozní zatížení	Střední provozní zatížení	Náročné provozní zatížení
Tažená hliníková tuba	Tažená mosazná tuba	Svařovaná ocelové tuba
Tažená mosazná tuba	Hliníkový odlitek	Tažená ocelová tuba
Nerezová bezešvá tuba		Ocelový odlitek

5.1.2 Koncové kryty

Mohou být obráběné z normovaných polotovarů. Většinou se přiklání k obrábění ze stejného materiálu, jako je tuba. Je to důležité hlavně z hlediska elektrolytické koroze, ta může nastat v momentě, kdy bude pracovní vzduch nasycený vlhkostí. Koncové kryty patří mezi nejsložitější komponenty na pneumatických válcích. Soupis materiálů je uveden v tabulce 2. Probíhá v nich přívod a výfuk stlačeného vzduchu. Může se v nich také nacházet vzduchové tlumení, které vyžaduje obrábění. Koncové kryty obsahují také drážky pro montáž těsnění a vodící pouzdra. [16]

Tab 2) Přehled materiálů pro koncové kryty dle náročnosti zatížení v provozu [16]

Lehké provozní zatížení	Střední provozní zatížení	Náročné provozní zatížení
Obráběný hliníkový materiál	Obráběný hliníkový materiál	Vysokopevnostní odlitky
Obráběný mosazný materiál	Obráběný mosazný materiál	
Hliníkové odlitky	Obráběný bronzový materiál	
	Hliníkové, mosazné, ocelové odlitky	

5.1.3 Upevňovací tyče

Hlavním požadavkem pro upevňovací tyče je udržet koncové kryty a tuby ve chvíli, kdy je pneumatický válec pod tlakem. Z toho vychází, že musí vydržet napětí v tahu, který vyvozuje PV. Upevňovací tyče musí být připevněny potřebnou silou – šroubovým spojením dotaženým na definovaný utahovací moment. [16]

5.1.4 Pístnice

Obvyklou volbou materiálu pro pístnice jsou broušené středně uhlíkové oceli, středně uhlíkové oceli s chromovou vrstvou, nebo nerezové oceli a nerezové oceli s chromovou vrstvou. Dodatečné broušení a dosažení nízké drsnosti povrchu pístnic je nutné pro dosažení minimálního tření s pístnicovým těsněním, a tak k dostatečnému utěsnění pístnice pístnicovým těsněním. Další informace o materiálech jsou uvedena v tabulce 3. [16]

Tab 3) Přehled materiálů pro pístnici dle náročnosti zatížení v provozu [16]

Materiál	Další zpracování	Poznámky
Středně uhlíková ocel	Broušení, leštění	Obecně preferováno, lepší odolnost proti poškrábání než u chromovaných pístnic
Nerezová ocel	Chromováno, broušeno, leštěno	
	Broušeno a leštěno	
	Chromováno, broušeno, leštěno	

Píst

Písty jsou nejčastěji z obráběného hliníku, odlitků či výkovků. Mohou být z jednoho či více kusů. Píst obsahuje drážky pro pístní těsnění, třecí kroužek a magnet. Souhrn je v tabulce 4. [16]

Tab 4) Přehled materiálů pro píst dle náročnosti zatížení v provozu [16]

Lehké provozní zatížení	Střední provozní zatížení	Náročné provozní zatížení
Hliníkový odlitek	Hliníkový odlitek	Hliníkový výkovek
	Obráběný hliníkový materiál	Hliníkový odlitek
	Obráběný mosazný materiál	Bronzový odlitek
	Obráběný bronzový materiál	Mosazný odlitek

5.2 Specifikace pneumatických válců

Prodejci potřebují být schopni komunikovat k zákazníkům vlastnosti produktů, které prodávají. Zákazníci potřebují být schopni poptávat u prodejců vlastnosti produktu, které chtějí koupit. Specifikace PV se předávají z konstruktéra na výrobce, od výrobce k prodejcům a od prodejců k zákazníkům. [3]

Specifikace se vyvíjely nejdříve se zaměřením na definování produktů a procesy, jakými se vyhotovují. Později však nastal konflikt mezi hodnotami specifikací prodejců a zákazníků, kvůli používání rozdílných metod jejich testování. Poslední fázi vývoje specifikací se stalo založení používaných inspekčních a testovacích specifikací. [3]

Z toho vyplývá, že určení specifikací je individuální záležitost jednotlivých výrobců a neexistuje pro to nějaké závazné dogma. V tabulce 5 níže je uvedeno rychlé porovnání tří výrobců a jaké specifikace uvádějí pro své zákazníky. [3]

Tab 5) Porovnání uváděných specifikací výrobců SMC – Lintech – Parker [29] [30] [31]

SMC Industrial Automatization		LINTECH		PARKER	
Průměr tuby	32-125	Průměr tuby	32-125	Průměr tuby	32-125
Činnost válce	Dvojitý	Činnost válce	Dvojitý	Činnost válce	Dvojitý
Pracovní médium	Vzduch	Pracovní médium	Čistý vzduch (40µm filtrace)	Maximální zdvih	2500mm
Maximální tlak	1 Mpa	Pracovní tlak	1 - 10 Bar	Síla vysouvajícího zdvihu	483 až 7363N (na 6 Bar)
Minimální tlak	0,05 Mpa	Pracovní teplota	-20 až 80°C	Síla zasouvajícího zdvihu	415 až 6881N (na 6 Bar)
Okolní teplota	S magnetem: -20 až 70°C Bez magnetu: -10 až 60°C	Rozsah rychlosti	50 až 800 mm/s	Tlumení	Vzduchové
Mazání	Není potřeba	Tlumení	Vzduchové	Připojení vzduchu	G 1/8 až G1/2
Rozsah rychlosti	50 až 1000mm/s	Zdvih tlumení	27 až 36	Typ závitů pístnice	Vnější Vnitřní
Rozsah zdvihů	1-2000mm	Upevnění	Dle ISO 15552	Maximální tlak	10 Bar
Povolená tolerance zdvihu	1-500 = +2mm 501-1000 = +2,4mm 1001-1500 = +2,8mm 1501-2000 = +3,2mm	Připojení vzduchu	G 1/8 až G1/2	Provozní teplota	-20 až 80°C
Tlumení	Vzduchové + Urethanové	Standardní zdvihy	25; 50 až 1000mm	Upevnění	Dle ISO 15552
Připojení vzduchu	G 1/8 až G1/2	Maximální zdvih	1900mm	Technické parametry	ISO; ATEX
Upevnění	Dle ISO 15552			Materiál pístnice	1) Nerezová ocel 2) Chromovaná ocel 3) Chromovaná nerez. ocel
				Materiál krytu	Hliník

5.2.1 Minimální tlak

Velmi užitečná specifikace, při posuzování vhodně smontovaného PV. Pokud by došlo k vyššímu tření, pístnice by byla ohnutá, vodící pouzdro špatně nalisované nebo docházelo k velkým únikům vzduchu atd, tak by posuzovaný válec při zkoušce na specifikovaném minimálním tlaku nedosahoval koncových poloh. Hodnoty minimálních tlaků jsou proto individuální podle typu pneumatického válce, jeho průměru tuby, použité vazelíny a materiálu těsnění. Nejvíce však narůstá minimální tlak při použití v jednočinném válci s pružinou.

5.2.2 Pracovní tlak

Je možné používat tlaky od minimálního tlaku válce po maximální tlak. Volba a dimenzování pneumatického válce je vhodné volit dle tlaku, který je již u cílových zákazníků používán – nejčastěji je pak používána hodnota 0,6 MPa. [19]

5.2.3 Maximální tlak

Touto specifikací je dáno, jaký je maximální povolený provozní tlak, tudíž při jakém maximálním tlaku je povolené vyvolat sílu pneumatického válce. Ačkoliv už je možné v praxi vidat používání vyšších tlaků, výrobce takové výrobky nevyrobí.

PV dle ISO 6432 – 1 MPa (10 Bar) [7]

PV dle ISO 15552 – 1 MPa (10 Bar) [8]

PV dle ISO 21287 – 1 MPa (10 Bar) [9]

5.2.4 Průměry tub

Zásadní specifikace určující sílu pneumatického válce za určitého tlaku.

PV dle ISO 6432 – 8; 10; 12; 16; 20; 25 mm [7]

PV dle ISO 15552 – 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320 mm [8]

PV dle ISO 21287 – 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100 mm [9]

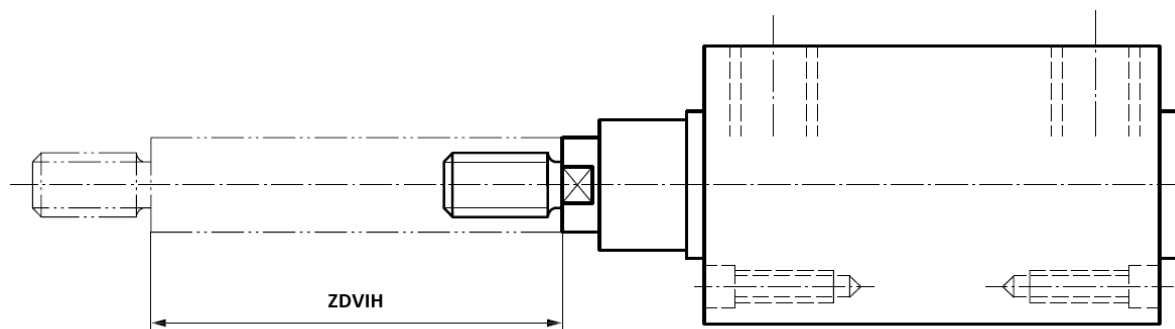
5.2.5 Zdvih

Doporučené odstupňování standardních zdvihů je uvedené v normě ISO 4393. Popis zdvihu je v obrázku 22.

PV dle ISO 6432 – maximální zdvih je 500 mm [7]

PV dle ISO 15552 – maximální zdvih je 1250 mm [8]

PV dle ISO 21287 – maximální zdvih by neměl přesáhnout 500 mm [9]



Obr. 22) Zdvih dle ISO 15552 [8]

5.2.6 Tolerance zdvihu

PV dle ISO 6432 – +1,5 mm [7]

PV dle ISO 15552 – +2 až +5 mm [8]

PV dle ISO 21287 – +1,5 až +2,5 mm [9]

5.2.7 Upevnění

Výrobce poskytuje všechny možná řešení upevnění dle ISO norem, a to i jejich modifikace. V některých případech je upevnění montováno na válec a v některých se dodává jako příslušenství. Učebnice [16] přidává i několik dalších způsobů, viz obrázek 23.

Přehled normalizovaných (s danými rozměry) upevnění je uvedeno níže. [7] [8] [9]

PV dle ISO6432:

- upevnění na závit krytu,
- zabudovaný kyvný závěs,
- patka,
- příruba.

PV dle ISO 15552:

- příruba,
- patka,
- kulové ložisko,
- kyvný závěs.

PV dle ISO 21287:

- příruba s přesným okem,
- příruba,
- patky.



Obr. 23) Příklady upevnění pro PV dle ISO 15552 [16]

5.2.8 Snímání polohy

Pokud aplikace u zákazníka vyžaduje snímání polohy pístu s pístnicí, například při automatizovaném řízení pomocí nějakého řídicího členu, je nutné, aby pneumatický válec obsahoval magnet na pístnici. Samotné upevnění snímačů magnetického pole na ISO pneumatických válcích je vyobrazen přehled na obrázku 24.



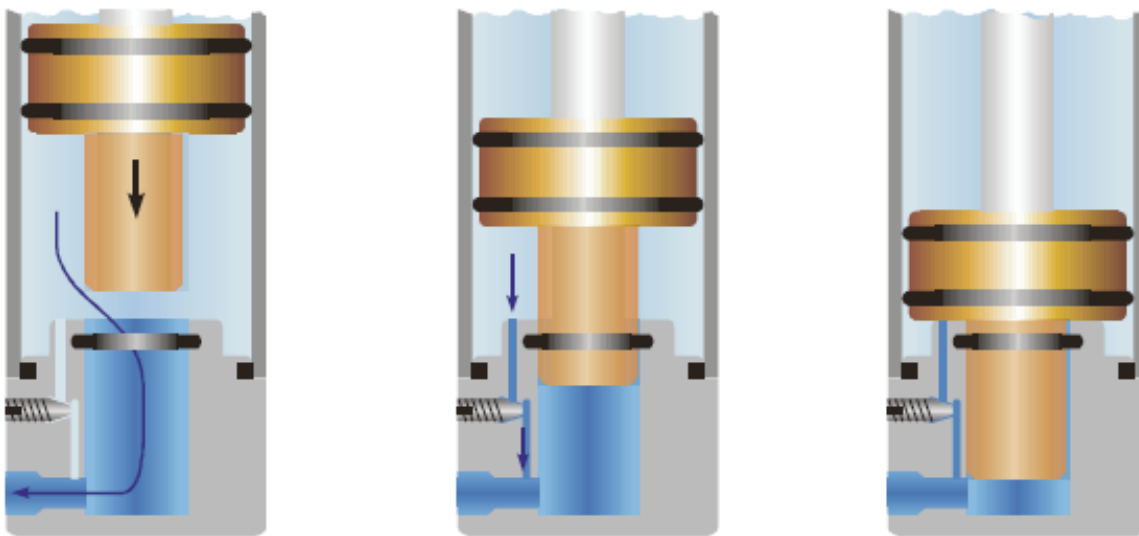
Obr. 24) Způsoby upnutí snímačů polohy u PV dle ISO norem [33]

5.2.9 Tlumení válce

Takový prvek, který snižuje dopad kinetické energie v koncové poloze válce, se nazývá tlumení. U výrobce PV jsou používány dva typy: uretanové tlumení a vzduchové tlumení.

Uretanové tlumení se vyrábí v kruhovém tvaru, slouží k tlumení rázů a eliminaci nárazů „kov na kov“. Montují se na píst nebo do krytů, podle toho, jak se výrobce rozhodne nebo kde je to vhodnější z hlediska návrhu a zastavovacího prostoru.

Vzduchové tlumení je již sofistikovanějším řešením tlumení kinetické energie v koncových polohách. Zasouváním tlumicí hřídele do kruhového těsnění je vzduch donucen proudit skrze otvor s regulační jehlou. Principem je tedy vytvoření vzduchového polštáře, který absorbuje kinetickou energii a postupným přepouštěním vzduchu do výstupu dosáhne píst koncové polohy. Čím více je jehla více utažena, tím více energie je ztlumeno. Obrázek 25 popisuje tlumení po jednotlivých fázích – před tlumením, při tlumení a dosažení koncové polohy.



Obr. 25) Princip funkce vzduchového tlumení u PV [25]

5.3 Funkční požadavky na pneumatické válce

Úkolem zajištění kvality pneumatických válců (dále PV) jsou i jeho požadavky na funkce. Pracovník kvality zajišťuje to, aby všechny funkční parametry fungovaly tak, jak jej konstruktér navrhl. Pod pojmem funkce si lze představit nějaký úkon nebo vlastnost produktu, kterou má vykonat interakcí s aplikací.

Dosahování funkčních požadavků se dosahuje úpravami materiálů, jednotlivých specifikací, nebo jejich kombinací. [25]

5.3.1 Síla válce

Tento požadavek na hodnotu síly uvedený v Newtonech uvádí, jakou vyvine PV sílu při vysouvání pístnice a jako sílu při zasouvání pístnice. Jsou to dvě hodnoty, a to z jednoho prostého důvodu. Při vysouvání pístnice působí tlak stlačeného vzduchu na větší plochu, nežli tomu je při zasouvání pístnice. Síla válce tedy závisí na průměru tuby, respektive plochy pístu a velikosti přivedeného tlaku stlačeného vzduchu.

Pascalův zákon

„Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na povrch tekutiny, je v každém místě kapalného tělesa stejně velký, a to ve všech směrech. Nezávisí tedy na směru síly, která jej vyvolala, ale pouze na její velikosti.“

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad (13)$$

Rovnice 13 popisuje vztah při spojení nádob, používaný hlavně v hydrodynamice. Úpravou rovnice pro účely pneumatického válce je rovnice 14. V této rovnici je výsledná síla F_1 , kterou PV vyvolá přívodem tlaku p na plochu pístu S_1 .

$$F_1 = p \cdot S_1 \quad (14)$$

5.3.2 Síla pístnice

Tento požadavek pojednává o povolené síle ve vzpěru. Vzpěr záleží na čtyřech vstupních parametrech, je to typ zatížení [-], délka tyče [m], modul pružnosti v tahu [GPa] a kvadratický moment průřezu [mm⁴]. Výstupem z takového výpočtu je kritická síla, překročení kritické síly vůči toleranci dochází k vybočení prutu. V tomto případě konkrétně k ohnutí pístnice, zadření vodících pouzder a úniku vzduchu.

Katalog výrobce obsahuje připravené tabulky s vypočítanými maximálními zdvihy dle tlaků stlačeného vzduchu, průměru válce a způsobu upevnění v aplikaci jednotlivých PV. [34]

5.3.3 Zamezení otáčení pístnice

Některé aplikace vyžadují působení tlačné či tažné síly vyvíjené PV neustále v jedné poloze. Je tak nežádoucí, aby se pístnice otáčela kolem své osy. Jak bylo uvedeno v kapitole 3.2.1, tento funkční požadavek je řešen nerotačním průřezem pístnice (ovál, šestihran) s čímž souvisí i tvar pístnicového těsnění, popřípadě vodícího pouzdra (pokud je použito).

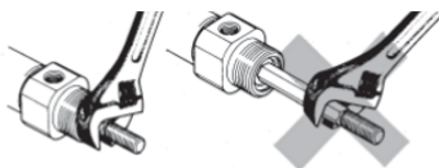
Častým problémem těchto tvarů pístnic, těsnění a pouzder je jejich náchylnost na poškození, kvůli působení momentu síly po montáži, nebo při upínání do aplikace. Výrobce PV proto připojuje na každou nerotační pístnici štítek s upozorněním, viz obrázek 26.

⚠ Upozornění

1. Vyhnete se používání pneumatického válce způsobem, kdy působíte na pístnici kroutícím momentem.

Pokud je použit kroutící moment, nerotační vodící pouzdro je poškozeno a je ovlivněna přesnost natočení nerotační pístnice.

Pro upnutí příslušenství, nebo matice na pístnici, zajistěte, aby byla zasunuta dle obrázku. Klíč nasadte přes celou plochu plochy pro klíč a hlídejte, aby nedošlo k působení kroutícího momentu na vodící pouzdro.



Obr. 26) Upozornění na riziko poškození vodícího pouzdra nerotačních pístnic [34]

5.3.4 Použití válce v různých prostředí

Další požadavek se zabývá funkčností pneumatického válce podle povahy okolního prostředí. Výrobce PV rozděluje toto prostředí dle průmyslu, náročnosti aplikace a teploty, kde je pneumatický válec uveden v provoz.

Potravinářský průmysl vyžaduje chemickou nezávadnost – pro fungování PV v tomto prostředí se vyžaduje použití vazelíny do potravinářského průmyslu, kde případná kontaminace potravin nevede k jejich znehodnocení. Jako další úprava PV do tohoto průmyslu se využívají nerezové válce, kde nehrozí tvorba oxidu železa a kontaminace rzí.

Použití PV do výbušného prostředí je řešeno splněním požadavků evropské směrnice ATEX 2014/34/EU. Veškeré prostředí nesoucí riziko výbuchu, a tudíž každý člen tohoto prostředí, který může ze svých potencionálních zdrojů způsobit výbuch, musí splňovat tuto směrnici. [32]

Hutní průmysl spadá do těžkého průmyslu, kde jsou zejména vyšší teploty. Je tu vysoké riziko mechanického zásahu PV a vysoká prašnost. Proto se pro tyto aplikace volí materiály do těžkého průmyslu viz kapitola 4.3.1, vazelína pro vysoké teploty – až 160 °C a FKM těsnění, které vydrží až 200 °C. Použitím magnetu se snižuje tepelná odolnost celého válce. Pro vyřešení prašného prostředí se montují dodatečná prachová těsnění, a to před pístnicové těsnění, aby došlo k zabránění průniku částic dovnitř PV. [31]

V podobném smyslu je možné pokračovat a kombinacemi jednotlivých specifikací, zaručit správnou funkčnost v daných aplikacích a daných okolních prostředí. [25]

5.3.5 Únik vzduchu

Tento funkční požadavek je řešenou problematikou této práce. Proč tedy? PV pracuje na přeměně energie ze stlačeného vzduchu na energii mechanickou. Vyvíjený tlak pohybuje s pístem a vysouvá či zasouvá pístnici. Pokud však dochází k únikům vzduchu nad specifikovaný limit, dochází ke ztrátám vzduchu, rychlosti, síly, spolehlivosti a životnosti. [16]

Ztráty únikem vzduchu je nutné dopouštět kompresorem a zvyšuje se tak spotřeba vzduchu. Následující tabulka 6 ukazuje, jaké ztráty energie způsobí různé velikosti otvorů.

Tab 6) Ztráta energie kompresoru při úniku vzduchu členu soustavy [16]

Průměr díry [mm]	Únik vzduchu [l/s]	Ztráta energie kompresoru [kW]
0,4	0,19	0,06
1	1,18	0,37
1,6	3,07	0,97
3	10,95	3,36
6	49,1	15
10	122	37

Co to ale vlastně únik vzduchu je a jak se určuje?

Existují dvě základní metody. První z nich je taková, že se PV o známém objemu vzduchu V natlakuje na určitý tlak P₁ a uzavře se přívod i vývod. Počká se daný čas (například t = 5 s) a odměří se snížený tlak P₂. Pomocí následující rovnice 15 pak lze určit únik vzduchu ÚV, vyjádřeno v litrech za sekundu. [16]

$$\dot{V} = V \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{t} \text{ [l/s]} \quad (15)$$

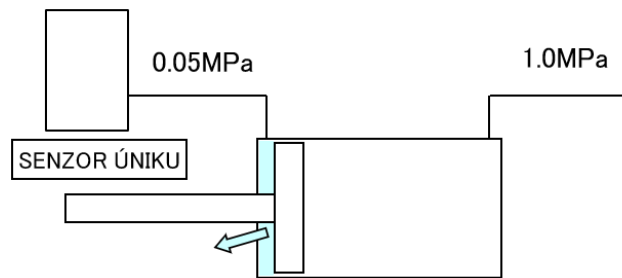
Druhá metoda používá speciální kompresor s průtokoměrem, který dodá určité množství vzduchu Q [l/s]. Tento kompresor natlakuje pneumatické válec na testovací tlak po dobu T a pak se vypne na dobu t. Tento cyklus se opakuje alespoň čtyřikrát. Použitím následující rovnice 16 pak lze určit průměrný únik vzduchu $\overline{\dot{V}}$ ze všech čtyřech měření, vyjádřeno v litrech za sekundu. [16]

$$\dot{V}_i = \frac{Q \cdot T}{T+t} \text{ [l/s]} \quad \text{respektive} \quad \overline{\dot{V}} = \frac{\sum_{i=1}^4 \dot{V}_i}{4} \quad (16)$$

Proces automatického testování pneumatických válců u výrobce

Kompletní proces testování popsany dle [11] je na obrázku 14 v kapitole 3. Výrobce testuje pneumatické válce na automatickém testovacím zařízení, které je řízeno přes PLC. Tento test ukrývá ve svých programech testovací sekvence pro jednotlivé PV dle ISO norem, jako jsou PV dle ISO 15552, PV dle ISO 6432, PV dle ISO 21287. Program se poté volí podle jejich průměru a zdvihu. Tyto testovací sekvence jsou pro každý program unikátní. Upravuje se například doba natlakování. Dá se říct, že vyvinuté testovací zařízení výrobcem je nejvíce podobné druhé metodě v předchozím odstavci. Princip vyhodnocení úniku vzduchu přes pístnicové těsnění je uveden na obrázku 27. Obrázek ukazuje testovací tlak 0,05Mpa a modrá

barva představuje unikající stlačený vzduch přes pístnicové těsnění. Tlak 1.0MPa slouží k zajištění koncové polohy pístu. Senzor úniku vyhodnocuje velikost úniku vzduchu.



Obr. 27) Schéma principu testování externího úniku vzduchu přes pístnicové těsnění

Sekvence testování se rozděluje na testování levé strany a pravé strany. Každá strana navíc obsahuje testování interního úniku a externího úniku. Navíc se tyto testy pak provedou na nízký tlak a na vysoký tlak. Celkem je tedy PV testován na 8 různých sekvencích. Výrobce nastavuje a do PLC programu zabudované tolerance pak dávají informaci o tom, zda PV prošel testem, nebo došlo k úniku vzduchu nad toleranci a pokud neprošel, tak vyhodnotí, v jaké fázi testování došlo k úniku. Výsledkem takového neúspěšného testu může být.

- Externí únik na levé straně za vysokého tlaku.

5.4 Těsnění

Tyto komponenty hrají zásadní roli v PV. Oproti takovým těsněním pro hydrauliku je jejich tlakové zatížení mnohem menší. PV v drtivé většině používají tlaky do 1MPa (10Bar). Ačkoliv jsou vyvozované síly stlačeným vzduchem u pneumatiky menší nežli u hydrauliky kapalinou, jsou pohyby PV ve většině případech mnohonásobně rychlejší, což volá po těsnění s nízkým třecím odporem. [16]

Prvním typem těsnění jsou tzv. statická těsnění. Tato těsnění nejsou v kontaktu s pohyblivým se komponentem. Hlavním představitelem u PV tak může být O-kroužek – těsnění mezi tubou a krytem. Druhým typem jsou pak těsnění dynamická. Jak již název napovídá, jedná se o těsnění, která jsou v kontaktu s pohyblivým se komponentem. Pro představu může být uvedeno pístnicové těsnění, kdy je těsnění namontováno do krytu a pohyblivým komponentem je pístnice. [16]

V následujících částech jsou představeny materiály těsnění a princip funkce pístnicových těsnění a O-kroužků. Dále je rozebráno, jaké jsou podmínky pro správně těsnící účinky těchto těsnění. Tyto informace jsou zkoumány v praktické části této práce za účelem tyto podmínky ověřit a popřípadě doporučit či zajistit jejich dodržení. Na základě doporučení vedoucího a k dosažení splnění cílů práce jsou probrána pouze tyto dva typy těsnění.

5.4.1 Materiál těsnění

Výrobce PV nejčastěji používá materiál těsnění z umělé pryže, kde bývá dominantní nitril. Tabulka 7 ukazuje rozšířený přehled materiálů těsnění pro použití v PV. Jejich volba závisí hlavně na teplotě, které může být těsnění vystaveno a velikosti tření. [16]

Tab 7) Přehled materiálů těsnění dle vhodnosti použití [16]

Název materiálu	Teplota °C	Rychlost m/s	Odolné na:	Popis
Acrylonitril-Butadien NBR	-30 až 100	≤1	Minerální oleje Voda do 60°C	Obecné řešení všech těsnění
Polyurethan AU, EU	-30 až 100	≤1	Minerální oleje Voda do 50°C	Hlavně pro suché aplikace
Fluoro-rubber FKM	-20 až 200	≤1	Suché teplo Minerální oleje	Pro vysoké teploty Vyšší cena
Acrylate rubber ACM	-25 až 150	≤1	Minerální oleje	Pro mírně vysoké teploty
Silicone rubber VMQ, PVMQ	-60 až 200	≤1	Voda do 100°C	Pro vysoké teploty Zřídka používané v pneumatice
Polyamid PA	-30 až 100	≤1	Minerální oleje	Vynikající kluzné vlastnosti
Polytetrafluoroethylene PTFE	-100 až 200	≤2	Téměř na všechny kapaliny	Nízké tření Používané v kombinaci s kaučukem

5.4.2 Pístnicové těsnění

Tento typ těsnění používají všechny pneumatické válce, které mají pístnici. Tudíž všechny PV dle ISO normy obsahují pístnicové těsnění a jedná se o těsnění dynamické. Jelikož se pístnice vysouvá a zasouvá, je proto zvoleno pístnicové těsnění dvojčinné se stíracím kroužkem. Učebnice [16] jej popisuje jako kombinované těsnění, konkrétně pak jako neželezné pístnicové těsnění s integrovaným stíracím kroužkem, kde speciální těsnící brity zajišťují skvělou těsnící funkci a nízké tření. [16]

Pro správnou těsnící funkčnost pístnicového těsnění je nutné se zaměřit na správnou volbu pístnicového těsnění, parametry zastavovaného prostoru a způsob montáže. Pro účely této práce je vyřazen návrh zastavovaného prostoru a volba těsnění, tudíž je zaměřeno na parametry zastavovaného prostoru a způsobu montáže. [28]

Parametry zastavovaného prostoru

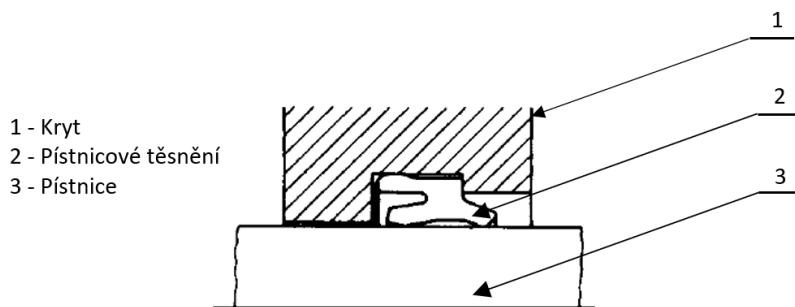
Pístnicové těsnění je u PV dle ISO 15552 namontováno do krytu, stejně jako u PV dle ISO 6432 a PV dle ISO 21287. Tvar drážky odpovídá obdélníkové drážce, jak jde vidět na obrázku 28. Pístnicové těsnění by mělo za klidového stavu těsnit ihned po montáži, při pohybu by pak měl být únik vzduchu v tolerančních mezích.

Jelikož se jedná o dynamické těsnění, je tak kromě rozměrů zastavovacího prostoru zásadní i textura povrchu. Učebnice [16] uvádí obecné pravidlo, že třecí plocha pro komponenty by neměla přesáhnout hodnotu R_{max} 0,4. Ostatní plochy v zastavovaném prostoru jsou akceptovatelné do hodnoty R_a 1,6. Je však důležité poznamenat, že hodnocení textury zastavovaného prostoru není možné hodnotit pouze dle drsnosti, ale musí se vzít v úvahu i vlnitost a stopy po obrábění či vady povrchu. [27] [28]

Způsob montáže

Výrobci těsnění poskytují dostatečné informace ohledně montáže pístnicových těsnění. Všichni pak společně uvádějí namazání těsnění ke snížení třecího odporu při montáži a předejít tak poškození pomocí zaváděcích hran. Většina PV dle ISO normy pak obsahují vnější závit, přes který se musí pístnicové těsnění nasadit. Pro prevenci poškození při nasazování přes závit se doporučuje použití montážního přípravku. Po úspěšné montáži je také vhodné ručně provést několik pracovních zdvihů, protože by se mělo předcházet silovým rázům, ke kterým by došlo po přivedení tlaku do portu. V případech malých průměrů, kdy se pístnicové těsnění montuje

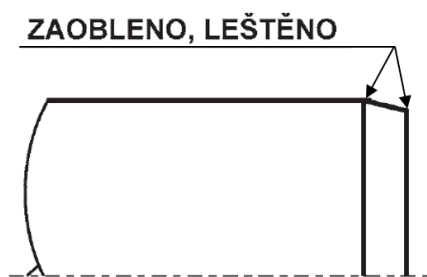
do drážky, to může lákat k použití pomocného nářadí. Je však nutné vyhnout se jakýmkoliv ostrým hranám, aby nedošlo k poškození. (28) (27) (16)



Obr. 28) Řez pístnicovým těsněním v obdélníkové drážce [16]

Zajištěním realizace výše popsaných opatření by nemělo docházet k únikům vzduchu. Níže jsou shrnuté požadavky na těsnicí funkčnost pístnicových těsnění u PV.

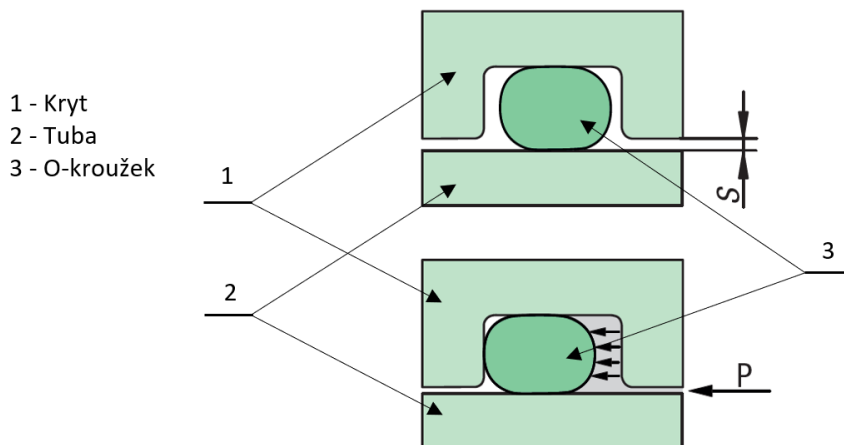
- Při přetahování pístnicového těsnění přes závit použít ochranné pouzdro se zaváděcí hranou uvedenou na obrázku 29.
- Drsnost třecí plochy pístnice nesmí přesáhnout $R_{max} 0,4$.
- Žádná plocha v zastavovaném prostoru nesmí obsahovat stopy po obrábění, natož škrábance, rýhy, nebo jiné lokální vady povrchu.
- Kontrolovat před montáží potenciální fyzické poškození, či přítomnost cizích předmětů (otřepy, třísky po obrábění atd).
- Před montáží zkontrolovat stav zaváděcích hran.
- Po montáži ručně provést několik pracovních zdvihů.
- Pístnicové těsnění namazat vazelínou pro snížení tření.
- Zákaz používání ostrých nástrojů pro manipulaci s pístnicovým těsněním.



Obr. 29) Doporučená zaváděcí hrana pro montáž pístnicového těsnění [28]

5.4.3 O-kroužky

Tento typ těsnění je využíván v PV dle ISO 15552 jako těsnění statické. Pro tlaky nepřesahující 100 Bar a těsnicí mezery do 0,3mm, stačí tvrdost těsnění kolem 70 Shore. Pro vyšší tlaky se volí vyšší tvrdost těsnění a pro větší utěšňované prostory se přidává k O-kroužku tzv zpětný kroužek. Obrázek 30 zobrazuje utěšňovaný prostor = S a působení tlaku = P. Jakmile je těsnicí spára příliš velká, hrozí, že bude O-kroužek při působení tlaku vtažen a rapidně se sníží jeho životnost. [27] [28] [25]



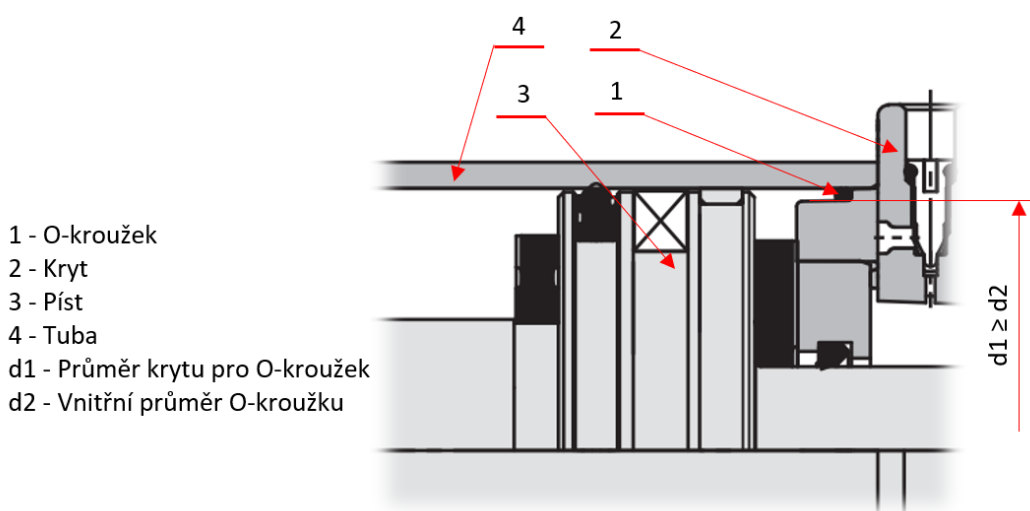
Obr. 30) Utěšňovaný prostor S a působení tlaku vzduchu P [27]

Pro správnou těsnicí funkčnost O-kroužků je nutné se zaměřit na správnou volbu O-kroužku, parametry zastavovaného prostoru a způsob montáže. [27]

Parametry zastavovaného prostoru

PV dle ISO 15552 má O-kroužek pro těsnění mezi krytem a tubou. Parametry jsou tvar, drsnost ploch a rozměry zastavovaného prostoru. Tvar zástavbového prostoru nejvíce odpovídá dle [27] [28] [16] obdélníkové drážce, avšak bez jedné stěny, jak lze vidět na obrázku 31. Průměr, na který se O-kroužek nasazuje je d_1 a vnitřní průměr O-kroužku je d_2 . Literatura [28] pak doporučuje při radiálních instalacích, aby průměr d_2 byl stejný nebo menší, než je průměr d_1 . Konkrétní rozměry jsou zanesené do interních výkresů. [27] [28] [16]

Dalším parametrem je textura povrchu v zastavovaném prostoru. Podle [27] [28] jsou doporučeny hodnoty drsnosti povrchu stěny Ra 1,6; drsnost povrchu krytu válce Ra 1,6 a těsnící plocha čili vnitřní povrch tuby pneumatického válce také Ra 1,6. Textura povrchu navíc nesmí obsahovat stopy po obrábění, proto nelze stav textury povrchu posuzovat pouze dle drsnosti a vlnitosti povrchu. [27] [28]



Obr. 31) Umístění O-kroužku v PV dle ISO 15552

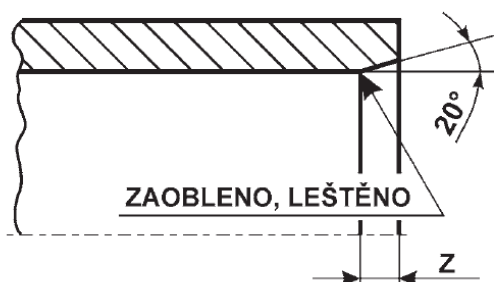
Způsob montáže

Výrobci těsnění uvádí poměrně dostatečné pokyny pro montáž jejich výrobků. Pro O-kroužky pak platí, že nesmí dojít k jejich překroucení, či jinému fyzickému poškození těsnění. Dále je nutné před instalací důkladně zkontrolovat stav zaváděcích hran a mít těsnění namazané vhodnou vazelínou. [27] [28]

Přes O-kroužek se nasazuje tuba válce, zde je nutné, aby měla tuba tzv zaváděcí hranu, která je vyobrazena na obrázku 32 a hodnoty definované v tabulce 8. Tato zaváděcí hrana umožní, aby při nasazování tuby na kryt nedošlo ke stříhu, a tudíž k poškození těsnění. Samozřejmě je zakázáno používat pomocných nástrojů, které mají ostré hrany. [27] [28]

Níže je shrnutí požadavků na těsnící funkčnost O-kroužků:

- Průměr krytu je stejný nebo větší nežli vnitřní průměr O-kroužku.
- Drsnost všech povrchu zastavovaného prostoru nesmí přesáhnout $R_{max} 1,6$.
- Žádná plocha v zastavovaném prostoru nesmí obsahovat stopy po obrábění, natož škrábance, rýhy, nebo jiné lokální vady povrchu.
- Kontrolovat před montáží potencionální fyzické poškození, či přítomnost cizích předmětů (otřepty, třísky po obrábění atd).
- Před montáží také zkontrolovat stav zaváděcích hran.
- O-kroužky namazat vazelínou.
- Při montáži O-kroužky nepřekroutit ani nenatahovat (natáhnutí maximálně o 20 %).
- Zakaz používání ostrých nástrojů pro manipulaci s O-kroužkem.



Obr. 32) Doporučená zaváděcí hrana pro montáž O-kroužku [28]

Tab 8) Doporučené rozměry zaváděcích hran dle průměru O-kroužku [27]

Průměr průřezu O-kroužku d_2 [mm]	Zaváděcí sražení - délka Z min. [mm]
< 1,9	1,5
< 2,8	2,0
< 3,7	2,5
< 5,5	3,0
< 6,0	3,5
< 8,0	4,0
< 9,5	4,5
< 15,0	5,0

6 APLIKACE VYBRANÝCH METOD SPC

„Total Quality Management je integrovaný přístup organizace k uspokojení externích i interních zákazníků, a to shodou s jejich očekáváním a s neustálým zlepšováním. Na procesu neustálého zlepšování se podílí každý člen organizace a zaměřuje se na všechny produkty, služby a procedury společně s řádnou metodologií řešení problémů.“ [3]

V této kapitole je řešen problém s únikem vzduchu PV dle ISO norem aplikací metody DMAIC a nástrojů Lean Six Sigma.

První část kapitoly uvádí praktické principy při řešení problémů, které pomáhají k efektivitě řešení úniku vzduchu na testovacím zařízení.

Další část je věnována samotnému řešení dle metody DMAIC, kde je zpracován současný stav a cíl analýzy, výsledkem je návrh opatření ke zvýšení FTY

Pro možnost univerzálního využití bylo řešení problémů „problem solving“ bráno ze širšího pohledu. Do té doby, než jsou problémy konvergentními (známý postup a řešení), zůstávají divergentními (neznámý postup a řešení). Aby bylo dosaženo vyřešení problému, bylo nutné se nejdříve podívat blíže na to, jak vybudovat pevné základy k řešení divergentních problémů. Je zřejmé, že po vyřešení divergentního problému se stává organizace lepší, došlo ke zlepšení – „Improvement“.

Nejdříve byl zvolen vhodný systémový přístup k řešení komplexních problémů. Dalším prvkem byly pak nástroje a techniky k řešení problémů. Podle toho, jak jsou problémy komplikované, se využívají vhodné nástroje a techniky. K řešenému problému bylo obzvlášť důležité postupovat systematicky, tak aby byly vyhledány příčiny a jaké způsobují následky. [1] [3]

Předchozí kapitoly se věnovaly dostatečnému seznámení s řešenými produkty, protože to byla důležitá prerekvizita k celému procesu řešení problému tak, aby to dávalo smysl i nezainteresované osobě.

6.1 Systémový přístup řešení problémů

„Každý problém je příležitost ke zlepšení“ [19]

U výrobce PV, kde proběhlo řešení problému s neshodnými výsledky při automatickém testování na únik vzduchu, využívá systém řízení kvality dle rodiny ISO norem, LEAN production a Six Sigma. Pro zvolený problém je tak použit průnik metod a nástrojů pro vyřešení problému s úniky vzduchu PV dle ISO norem.

Společnost Toyota vydala hned několik publikací týkající se LEAN production, od kterého se učil celý svět. Inspirace pochází tedy zejména z učebnice [19]. Jsou zde zdůrazněny rady, aby byla vždy snaha o racionalizaci ve všech úrovních společnosti. Učebnice [19] dále řešení problémů přirovnává k vyprávění příběhu, který má kapitoly a kroky, aby tomu mohl každý co nejlépe pochopit a ideálně nic neopomenout. Kniha [20] zase poskytuje praktické rady využití selského rozumu. Níže jsou sepsány vybrané principy, které vedly k efektivnímu řešení problému. [19] [20]

6.1.1 Následovat strukturované cykly

Základním systémovým přístupem, který je primárně využíván i u výrobce PV je PDCA cyklus. Jedná se o efektivní postup, jak zlepšit již existující procesy, řešit jejich problémy a přetvořit je v příležitosti ke zlepšení. V podstatě jsou všechny principy PDCA cyklu podobné dalším, jako jsou TQM, Kaizen, DMAIC atd. Jejich principy jsou založeny na plánování, realizaci, zlepšení a kontrole/řízení. Pro potřeby tohoto konkrétního problému byl vybrán přístup dle DMAIC – Define, Measure, Analyze, Implement, Control (Definuj, Měř, Analyzuj, Implementuj a Řid', a to z důvodu používání této metody u statistických analýz pro Six Sigma. [18] [3]

6.1.2 Kvalita na prvním místě

Organizace kromě cílů na kvalitu produktu, má i další cíle. Jedná se o dobu dodání, nebo výrobní náklady. Aplikováním tohoto principu by nemělo docházet k balancování mezi náklady na kvalitu a kvalitou skutečnou před odesláním zákazníkovi. Zjednodušeně řečeno, kvalita produktu je přednější nežli termín dodání, výše nákladů na přepracování produktu či jiné vícenáklady na kvalitu. Ve výsledku totiž organizace neriskuje jen nižší kvalitu a nižší uspokojení zákazníka, ale celý jeho byznys. [20]

6.1.3 Rozhoduj se podle dat

K tomu, aby bylo možné problém správně pochopit a následně vyřešit, je nutné získat relevantní data a provést její analýzu. Proto mezi základní principy patří získávání, ověřování a analyzování dat. Rozhodovat se bez dat není za prvé vědecké a za druhé není možné očekávat objektivní výsledky. [20]

6.1.4 Důkladně porozumět problému

Na počátku každého problému se doporučuje začít s „prázdným papírem a čistou myslí“. Samozřejmě všechna dokumentace spojená s procesem je nezbytná k pochopení problému, tento princip však hlavně nabádá k porozumění podstaty – například fyzikálních jevů, výstupů z výzkumů, nebo nejlepších praktik. Užitečnou technikou do začátku je zodpovědět si několik základních otázek. [19] [1]

- Proč se bude řešit tento problém, a nikoliv jeden z desítek jiných?
- Co to přinese zákazníkovi?
- Co to přinese organizaci?
- Jaká je definice hlavního problému?
- Jsou náklady na řešení úměrné výsledku?
(neutratit 10kč na vyřešení halířového problému)
- Kdo bude problém řešit?

6.1.5 Důkladná analýza kořenové příčiny

Kromě širokého spektra technik, nástrojů a přístupů k hledání kořenové příčiny, je smyslem tohoto principu nepodcenit a neunáhlit se ve vyslovení kořenové příčiny. Jedná se o takovou detektivní práci, kdy řešitel objevuje nepoznané. V podstatě toto vyšetřování vede k opakovanému odpovídání na otázku „Proč?“. Touto otázkou se získávají nejpravděpodobnější příčiny vedoucí ke kořenové příčině. Jak se tedy neunáhlit ve vyslovení kořenové příčiny? => Ověřením či verifikací vztahu mezi příčinou a následkem, kdy se prokáže, že jedno ovlivňuje druhé. [19]

6.1.6 Zvažovat alternativní řešení

Vždy vytvářet minimálně dvě potencionální řešení kořenové příčiny, diskutovat je v širším týmu různých specialistů, nebo investorů (majitel firmy). Nejčastějšími kritérii pro výběr správného řešení kořenové příčiny a dosažení konsenzu můžou být následující otázky, které slouží pro snadnější manažerské rozhodnutí. [19]

- Jste schopni je implementovat?
- Je to pochopitelné a dostatečně racionalizované?
- Je možné toto řešení implementovat rychle?
- Které řešení společnosti ušetří nejvíce?
- Jak se bude ověřovat efektivita daného řešení?

6.2 Definuj

V této hlavní části DP jsou řešeny PV dle ISO 6432. V příloze 4 jsou řešeny PV dle ISO 15552 a v příloze 5 pak válce dle ISO 21287.

Jaký je účel této aktivity?

Jedná se o jeden z nejčastějších procesů a jeden z nejnáročnějších na časové zdroje. Vzhledem k této četnosti je každá nekvalita vyplacena velkou časovou, produkční a peněžní ztrátou.

Jak to souvisí s ostatními zlepšovacími aktivitami?

Vyřešením tohoto chronického problému je možné se věnovat dalším, hierarchicky níže postaveným problémům.

Jaká budou opatření a v jak se implementují?

Opatření budou zejména ve smyslu systémových a technických řešení.

Kdo bude problém řešit?

Problémem se zabývá oddělení kvality v týmu s vlastníky procesu a specialisty z různých oddělení.

6.2.1 Projektový list

Na obrázku 33 je zobrazen úvodní projektový list, který obsahuje v hlavičce označení, název projektu, jeho řešitelský tým a časové ohraničení.

Dále je jasně definován řešený problém a výchozí stav úniků vzduchu jednotlivých PV dle ISO norem. V další části jsou sepsány dosažené cíle po dokončení projektu.

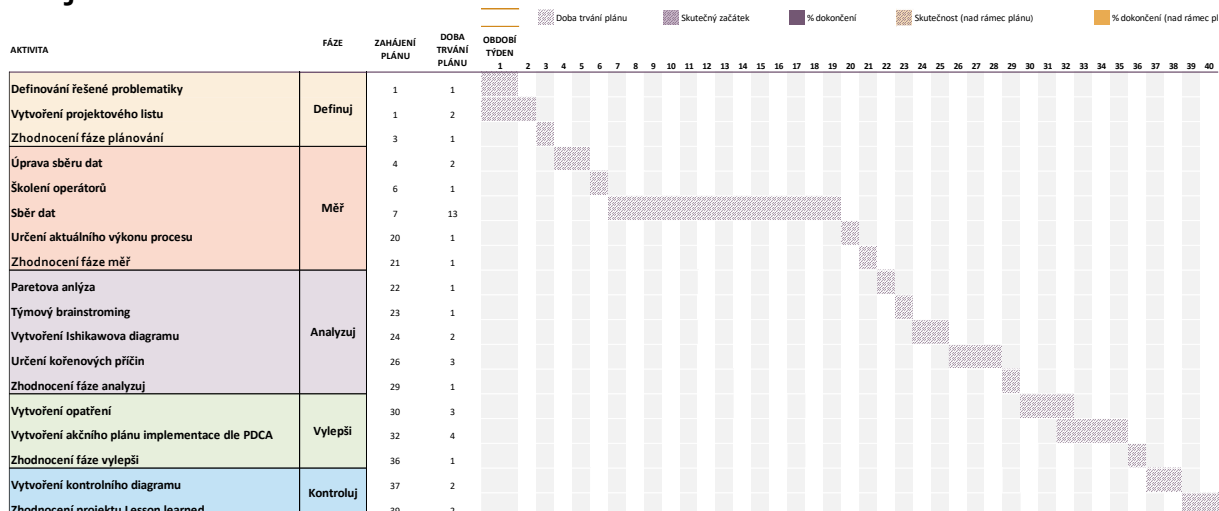
PROJEKTOVÝ LIST					
Vytvořil <i>Created</i>	QA 01/12/20 Pabiška	Zkontroloval <i>checked</i>	04/12/19 Tým	Schválil <i>Approved</i>	05/12/20 Ředitel
Číslo projektu	0001_2020		Sponzor	Výrobce PV	
Název projektu	FTY - ISO válce		Řešitelský tým	Vedoucí linky PV dle ISO 6432 Vedoucí linky PV dle ISO15552 Vedoucí linky PV dle ISO21287 Inženýr kvality Inženýr technologie IT specialista	
Datum Zahájení	01.12.2020		Datum ukončení	21. 05. 2021	
1. DEFINICE PROBLÉMU (popis problému, který bude řešený projektem)					
<p>Vysoký počet válců, které neprojdou přes zkoušku úniku vzduchu z různých důvodů. Vyhodnocení chyby a následná oprava spotřebovává kapacity potřebné na výrobu. Neexistují relevantní záznamy problematických válců a jaké jsou příčiny úniků vzduchu nad toleranční meze výrobce.</p> <p>Míra shodných ISO pneumatických válců na začátku projektu je:</p> <p>ISO 6432 = 95 % ISO 15552 = 93,8 % ISO 21287 = 97 %</p>					
2. CÍL PROJEKTU (Co měřitelného chceme dosáhnout implementací projektu)					
<p>a) Revize sběru dat a vytvoření databáze úniků přiřazené k příčinám. b) Určení kořenové příčiny u TOP problému u všech PV dle ISO normy c) Vytvořit opatření na základě kořenové příčiny u všech PV dle ISO normy d) Výběr a vytvoření kontrolního diagramu pro sledování zlepšování a statistického řízení procesu všech PV dle ISO normy</p>					

Obr. 33) Úvodní projektový list [23]

6.2.2 Ganttův diagram

Konkrétní časový plán s vyznačením jednotlivých kroků ke splnění cílů je vyobrazen na Ganttově diagramu, viz obrázek 34.

Projekt DMAIC - GANTTŮV DIAGRAM



Obr. 34) Ganttův diagram projektu DMAIC [36]

Projekt byl rozdělen dle jednotlivých částí akronymů DMAIC. Každá tato část měla přidělené akce. Jedno období bylo zvoleno na jeden týden. Tato perioda byla následně využita i při sledování úrovně kvality při použití regulačního diagramu v poslední fázi projektu.

6.3 Měř

Fáze „Měř“ byla zaměřena na revizi a nastavení systému sběru dat. Nejdříve byl sestaven zkušební záznamový formulář a byla definována souhrnná databáze. Následně byl záznamový formulář upraven dle připomínek, bylo provedeno školení a tento nový a pochopený formulář byl uveden v provoz, kde do něj bylo devět týdnů sbíraná data.

6.3.1 Záznamový formulář

Přesnou definicí účelu sběru dat může být následující. Určit množství pneumatických válců, které projdou zkouškou napoprvé a evidovat informace o těch, které testem neprošly. Opakované zkoušky na neúspěšně opraveném PV nejsou do této statistiky počítány. Současný formulář toto ale neuvažuje a tím jsou operátoři nuceni zapisovat zavádějící informace, o jakou příčinu se jednalo. V podstatě se zapisovalo, co se opravovalo, a ne co skutečně pomohlo odstranit příčinu úniku vzduchu. Výchozí záznamový formulář je v tabulce 9.

Tab 9) Záznamový formulář pro PV dle ISO 6432

Počet kusů v MO	Datum týden	Neprošel testem na poprvé	Vadné těsnění			Vadná jehla/hlava	Nesprávná detekce testu	Příčina neznáma	Přes šroubek lišty	Vadné ostatní komponenty	FTY týden	FTY měsíc
			Pístní	Pístnicové	O-kroužek							
2793	14	120		58		20	34	4		13	96%	95,0%
2338	15	112		98		2	11	1			95%	
2708	16	182		135		15	11	5		16	93%	
2208	17	92		62		10	9	10		2	96%	

Záznamový formulář byl připomínkován, konzultován s týmem a několika pracovníky, kteří obsluhovali testovací zařízení. Na základě těchto konzultací bylo zjištěno:

- operátoři zapisovali to, co opravili a ne to, co skutečně pomohlo,
- zapisování jednoho pneumatického válce vícekrát do kolonky „Neprošel napoprvé“,
- nepochopení příčin (každý pracovník měl svůj výklad pojmu „příčina“),
- neřízení se informacemi z testu,

- nezapisování vůbec,
- nesprávné zařazení příčiny.

Na základě zjištěných neshod bylo vytvořeno školení k pochopení účelu a procesu sběru dat příčin úniků na testu při 100% kontroly produkce na automatickém zařízení. Školení je uvedené v příloze 2.

Další překážkou při sběru dat byl čas strávený sběrem dat. Zapisované jsou data zaznamenána do papírové podoby. Z papírové formy jsou zapsané do elektronické formy, kde byly následně vyhodnocovány hodnoty FTY.

6.3.2 Databáze vad

Vytvoření nového formuláře vyžadovalo zamyslet se k jakému účelu bude sloužit. Aby bylo možné určovat kořenové příčiny, musejí být data transparentní a dát maximální množství informací. Výrobce používá interní informační systém, kde jsou evidované jednotlivé zakázky a mají své pořadové číslo. Na toto pořadové číslo byl navázán název PV. Systém poskytuje i informace o celkovém počtu zakázek na dané lince. Sbírány byly tedy konkrétně jen čísla zakázek a nasbírané defekty přiřazené k datumu.

Když byla nasbíraná vhodná data z linky, zpracovávají se v excelu. Excel umožňuje pomocí jazyku Visual basic naprogramovat MAKRO program, který provádí další operace. Z toho plyne, že by měl být sběr dat v maximální míře standardizován pro sběr dat z různých linek, a proto má soubor excelu jednotný formát. Nasbíraná data do takového souboru jsou uvedena v příloze 3.

Na jednotlivých linkách, kde se montují tři druhy PV dle ISO norem nejsou všechny defekty stejné, proto nebylo možné používat stejné záznamové formuláře. Pro tento případ byl vytvořen souhrnný záznamový formulář pro všechny linky a také zvlášť pro každou linku, kde jsou skryté sloupce nepoužívaných vad. Souhrnná databáze tak obsahuje MAKRO program, který tam zkopíruje jednotlivé formuláře.

Po dobu devíti týdnů byly sbíraná nová data do nového záznamového formuláře a všechna tyto data jsou shromážděné v souhrnné databázi. Smyslem těchto nashromážděných dat je získat vodítka ke kořenovým příčinám, proto souhrnná databáze obsahuje další sloupce, kde jsou z názvu PV zjištěné podrobnější informace o specifikacích.

Výše uvedené odstavce odpovíděly na všechny požadavky fáze měř:

- jasně definovat účel sběru dat,
- ujistit se, že sbíraná data jsou přesná a vypovídající,
- pracovníci musí dostatečně rozumět procesu sběru dat,
- rozhodnout o vhodné četnosti měření.

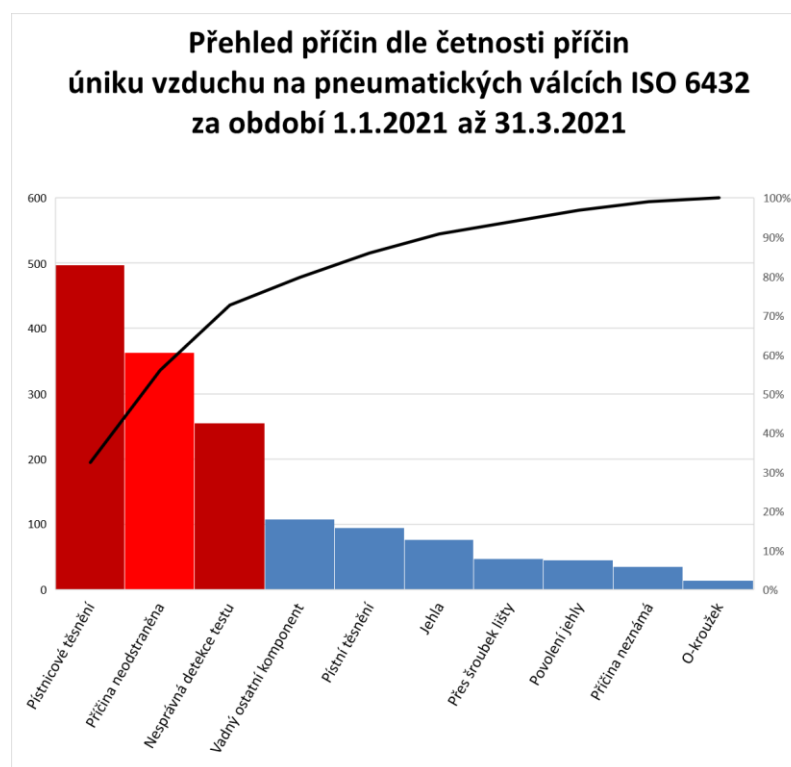
6.4 Analyzuj

Fáze „Analyzuj“ byla zaměřena na určení kořenové příčiny TOP problému, který měl za důsledek únik vzduchu na testu u PV. Paretova analýza určila který defekt se odehrával při neshodných testech nejčastěji. Aplikací metod, jako je brainstorming, Ishikawův diagram a „5x proč“ bylo dopracováno ke kořenové příčině, která způsobovala únik vzduchu u PV dle ISO 6432.

6.4.1 Paretova analýza PV dle ISO 6432

Z dat uvedených v příloze 3 byl sestaven graf pro Paretovu analýzu. Účelem části „Analyzuj“ bylo určit kořenovou příčinu jednoho konkrétního problému. Ten problém lze definovat pomocí výstupu z grafu uvedeného na obr. 35.

Analýza vychází z pravidla uvedeného v kapitole 3.5.6. V rámci DP byla vybrána pouze TOP příčina, čímž je dle grafu – Pistnicové těsnění. Druhá nejčastější příčina byla pak „Příčina neodstraněna“. Význam této závady je neúspěšně provedená oprava neboli jeden PV neprošel zkouškou vícekrát.



Obr. 35) Paretova analýza PV dle ISO 6432

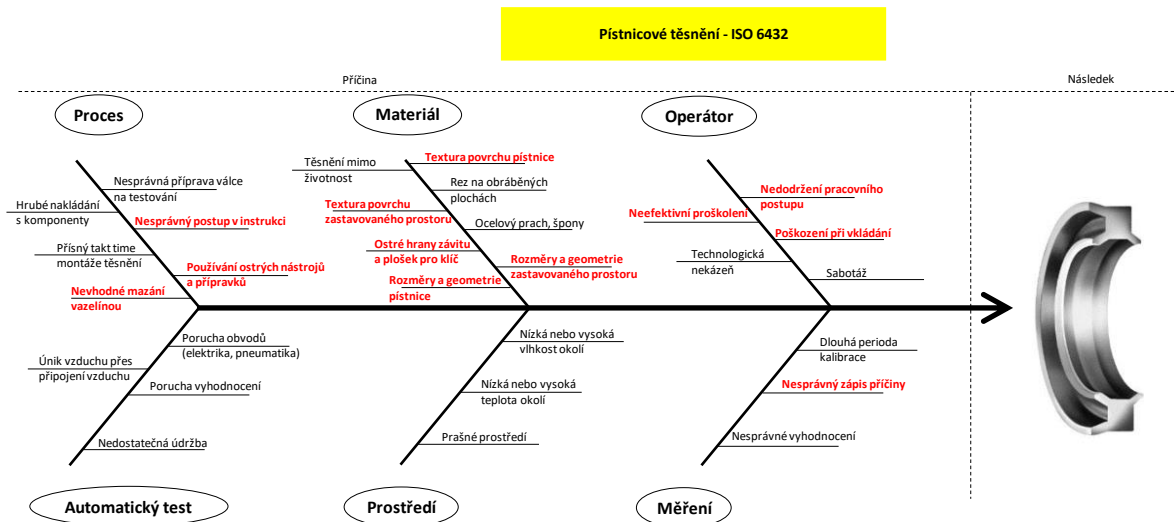
6.4.2 Brainstorming

Byl proveden týmový brainstorming za účelem sepsat co nejvíce možných příčin úniku vzduchu přes pístnicové těsnění u pneumatických válců dle ISO 6432. Výstup z brainstormingu byl dále zpracován v Ishikawově diagramu na obrázku 36.

- Těsnění mimo životnost.
- Nesprávný postup montáže.
- Rozměry a geometrie pístnice.
- Poškození při vkládání.
- Neefektivní školení.
- Ostré hrany závitů a plošek pro klíč.
- Porucha vyhodnocení.
- Únik vzduchu přes připojení vzduchu.
- Ocelové špony.
- Nesprávný zápis příčiny.
- Používání ostrých nástrojů při montáži.
- Textura povrchu.

6.4.3 Ishikawův diagram

Všechny možné příčiny byly rozděleny do kategorií dle 6M (5M je pospáno v kapitole 3.4.2, doplněné M je „Mother nature“ čili prostředí). Z těchto možných příčin byly vybrány nejpravděpodobnější příčiny, které bylo možné řešit. Není totiž výrobcem povoleno zasahovat do automatického testu a měnit design PV a jejich komponentů.



Obr. 36) Ishikawův diagram pro PV dle ISO 6432

6.4.4 „5x proč“

V Ishikawa diagramu na obrázku 36 jsou zvýrazněné nejpravděpodobnější příčiny červenou barvou. Z dat v příloze 3 bylo však patrné, že PV dle ISO 6432 měly jako jediný problém únikem vzduchu přes pístnicové těsnění. První „5x proč“ se tedy týkalo porovnání s PV dle ISO 15552 a PV dle ISO 21287, a to ohledně rozměrů a geometrie.

Příčina porovnáním

1xP – Proč ISO 15552 a ISO 21287 nemají problém s únikem vzduchu přes pístnicové těsnění? Protože mají průměr vnějšího závitů menší o několik milimetrů, než je vnitřní průměr těsnění.

2xP – Proč nemá ISO 6432 vnější závitů pístnice také o několik milimetrů menší? Protože katalog uvádí pro rozměr pístnice 10mm závit M10, je to design.

3xP – Proč se nezmění design?

Protože výrobce není oprávněn provádět takové změny.

Porovnávací tabulka velikostí vnějších závitů vůči průměru pístnice jsou uvedeny v tabulce 10. Těsnění je montováno přetažením přes závit, plošky pro klíč a dalších hran. Toto prosté přetažení s největší pravděpodobností způsobuje poškození břitů těsnění.

Tab 10) Porovnávací tabulka velikostí vnějších závitů vůči průměru pístnice

ØD	M
4	M4 x 0,7
4	M4 x 0,7
6	M6 x 1
6	M6 x 1
8	M8 x 1,25
10	M10 x 1,25

ØD	M
12	M10 x 1,25
16	M12 x 1,25
20	M16 x 1,5
20	M16 x 1,5
25	M20 x 1,5
25	M20 x 1,5
32	M27 x 2

ØD	M
10	M8 x 1,25
12	M8 x 1,25
16	M10 x 1,25
16	M10 x 1,25
20	M12 x 1,25
20	M12 x 1,25
25	M16 x 1,5
30	M16 x 1,5

Z nasbíraných dat vychází, že jakmile došlo k modifikaci zakončení pístnice na PV dle ISO 6432 – úniky přes pístnicové těsnění téměř vymizely. Vyhodnocení je možné vidět v tabulce 5.

Tab 11) Vztah mezi úniky a vnějším závitem pístnice

Počet úniků u nezměněné pístnice	Počet úniků u modifikované pístnice	Jiné modifikace válce (často nezměněná pístnice)
232	10	255

Další snahou by mělo být minimalizovat dopady designu na poškození břitů pístnicového těsnění. Pracovní postup musí být nastaven tak, aby toto reflektoval. Standardním řešením je ochranné pouzdro nasazené přes závit. V této situaci ovšem vnější průměr závitu je už natolik velký, že nasazením pouzdra by již nebylo možné smontovat sestavu pístnicové těsnění a pístnice kvůli vodícímu pouzdru v krytu. Montáž probíhá v následujících krocích:

- do průchozího krytu je zalisováno vodící pouzdro,
- do průchozího krytu je vloženo namazané pístnicové těsnění,
- zakrimpovaný píst s pístnicí je stranou se závitem prostrčen skrze vodící pouzdro a pístnicové těsnění,
- stranou pístu je pístnice vložena do tuby a průchozí kryt s neprůchozím krytem je spojen s tubou stlačením,
- takto smontovaný pneumatický válec je krimpován a je vytvořeno spojení tuba/kryty,
- výstupní kontrola zahrnuje automatické testování využívající binární výsledek ok/nok.



Obr. 37) Montáž pístnicového těsnění

Kořenová příčina PV dle ISO 6432

Jako kořenová příčina byl určen samotný design pístnice, který způsobuje poškození, nebo jinou nežádoucí dočasnou deformaci břitů pístnicového těsnění. Vzhledem k nemožnosti implementace takového opatření je potřeba minimalizovat poškození, nebo deformaci břitů těsnění, a to prověřením zejména:

- sražení závitu,
- způsobu a techniky montáže,
- velkého průměru závitu,
- technologického postupu závitování (válcování, soustružení).

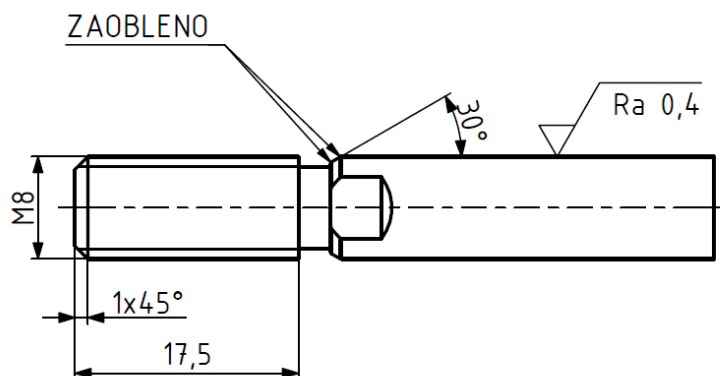
Už v této fázi „Analyzuj“ lze evidovat zlepšení FTY, protože došlo k pochopení a úpravě sběru dat u operátorů, to mělo za efekt zvýšení na FTY = 97,49 % (data dle tabulky 12).

6.5 Vylepši

Ačkoliv se skutečná kořenová příčina týká designu, není opatření formou změny designu možné. Proto bylo nutné vytvořit tzv alternativní opatření. Například při návrhu opatření snížení rizik se postupuje design – technická opatření – instrukce. Podobně lze postupovat i zde.

6.5.1 Technické opatření

Použití ochranného pouzdra není možné, protože by tloušťka stěny musela být v tisícinách milimetru. Vytvořením náběhových hran podobným těm, jaké by mělo ochranné pouzdro, je už implementovatelné, stejně tak revize způsobu a techniky montáže. Obrázek 38 zvýrazňuje všechny hrany, kterým by měla být věnována pozornost při vytváření obráběcích programů a uvolňování po výrobě. Po konzultaci se specialisty konstrukce nelze zaoblit všechny hrany, jako je sražení závitu a hrany plošek pro klíč.



Obr. 38) Přehled hran, které by měly být zaoblené

Další částí, která poškozuje pístnicové těsnění je závit. Při obrábění závitu soustružnickým nožem dochází k odběru materiálu a je riziko tvorby špon a ostrých vrcholků závitu. Vhodnějším způsobem vytváření závitu je tváření závitu válcováním. Nedochozí zde k úběru materiálu, tvorbě špon a ostrých vrcholků závitu. Problémem implementace tváření celé výroby jsou vysoké náklady na tvářecí kola, protože výrobce používá kola jen na standardní výčet závitů. Z analýzy se však nepotvrdilo, že válcované závity přesvědčivě pomáhají, proto z hlediska implementovatelnosti se nedoporučuje tento přístup měnit.

6.5.2 Opatření úpravou pracovního postupu

Jakmile jsou ostré hrany pístnice zaobleny či dokonce leštěny, musí se ještě ve většině případů při montáži překonat závit. Před samotným vkládáním pístnice přes těsnění je potřeba vizuálně, popřípadě ohmatem zkontrolovat, že:

- pístnicové těsnění a pístnice je namazaná vazelínou pro snížení tření,
- žádná plocha v zastavovaném prostoru neobsahuje stopy po obrábění, natož škrábance, rýhy, nebo jiné lokální vady povrchu,
- není fyzické poškození, či přítomnost cizích předmětů na pístnici (otřepy, třísky po obrábění atd),
- zaváděcí hrany nemají ostré hrany.

Posléze je možné přistoupit k operaci uvedenou v obrázku 38, ale s tou změnou, že se krouživým pohybem našroubuje závit pístnice přes těsnění. Takto dochází pouze ke svezení bříty pístnicového těsnění po vrcholcích závitu, a tak k minimálnímu poškození.

Po této montáži se doporučuje provést ručně několik pracovních zdvihů, aby se pořádně rozmazala vazelína a pístnicové těsnění řádně přilnulo k pístnici.

Pokud by došlo k nesprávné montáži a pístnicové těsnění mělo být vyjmuta a opět montováno, nesmí se používat ostré nástroje, pokud se použijí – těsnění se musí vyhodit.

Ověření efektivity opatření se posléze zabývá fáze „Řid“, neboť implementací opatření se očekává zvýšení FTY. Výše uvedené opatření opět splňují požadavky na fázi „Vylepši“ a odpovídají na níže sepsané otázky.

- Jste schopni jej implementovat?
- Je to pochopitelné a dostatečně racionalizované?
- Je možné toto řešení implementovat rychle (instrukce okamžitě)?
- Jak se bude ověřovat efektivita daného řešení?

6.6 Říd

V této poslední fázi „Říd“ byla pozornost ubírána ke sledování procesu, aby jej bylo možné řídit a sledovat, že implementovaná opatření přináší – zlepšení. Zároveň byl cíl projektu vytvořit regulační diagram pro statistické sledování procesu 100% kontroly produkce. Pomocí regulačního diagramu byly identifikované dva záznamy, jež vykazovaly přiřaditelnou příčinu, která potvrzuje předchozí analýzu a vyvozené závěry – poškození o závit, řezaný závit.

6.6.1 Regulační p diagram

Kapitola 3.5.8 popisuje sestavení p diagramu.

Podmínka aproximace normálním rozdělením je uvedena v rovnici 17.

$$D(x) = 3368 \cdot 0,025 \cdot (1 - 0,025) \geq 9 \quad (17)$$

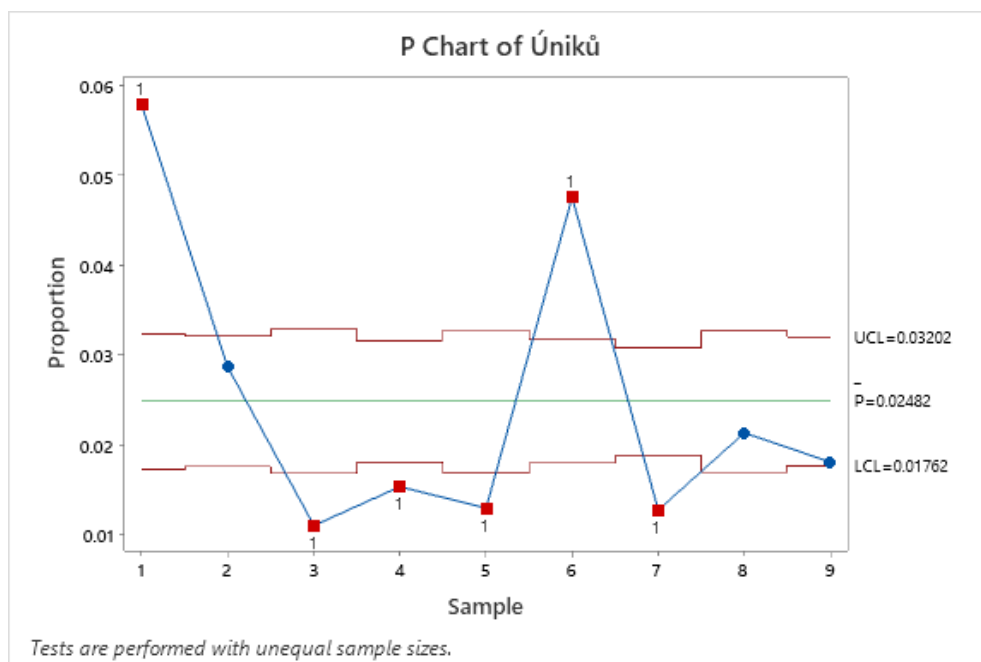
Do výpočtu v rovnici je dosazena nejnižší velikost vzorku, a i tak s přehledem podmínku splňuje, kdy je výsledkem číslo přes 80. Tabulka 12 níže ukazuje vstupní data. Z těchto dat je vytvořen RD procesu 100% testování PV na únik vzduchu. Dolní regulační mez se uvádí, protože by měl mít hodnotu vyšší než 0, ale pokud se proces dostane pod tento limit, není to na závadu. Vzorky jsou po týdnech. Na obrázku 39 je vidět, že první a šestý týden došlo k systematické chybě, a proto bylo důkladněji zaměřeno právě na příčiny v tomto období.

Tab 12) Vstupní data pro p diagram

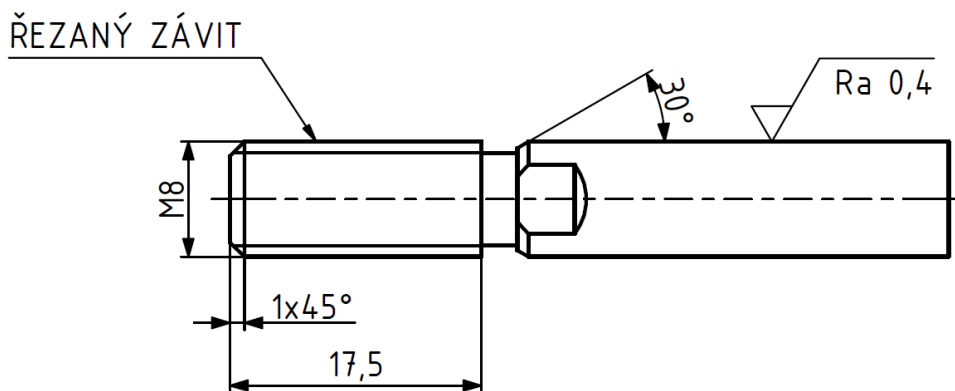
ISO 6432			
Týden	Vyrobeno	Počet neshodných np	FTY
1	3816	221	94,21%
2	4117	118	97,13%
3	3368	37	98,90%
4	4766	73	98,47%
5	3404	44	98,71%
6	4578	218	95,24%
7	6057	77	98,73%
8	3519	75	97,87%
9	4206	76	98,19%

FTY	97,49%
-----	--------

Na obrázku 39 jsou dva body nad horní regulační mez, což značí, že se proces nachází mimo kontrolu. Kontrolou dat z období 1 byly vyfiltrovány dva PV dle ISO 6432 se speciální pístnicí. Tato pístnice má vysloveně ve výkresu napsanou poznámku – řezaný závit M10x1,25, viz následující obrázek 40, což způsobilo statistickou odchylku.



Obr. 39) P diagram úrovně kvality na testu během 9 týdnů sběru dat



Obr. 40) Náčrt speciálního zakončení pístnice s řezaným závitem

7 TECHNICKÉ POSOUZENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole je porovnán stav před a po provedení DMAIC analýzy a jsou sepsány dosažené technické výsledky. Mezi takové výsledky patří výpočet úspor při eliminaci TOP příčin jednotlivých PV dle ISO norem, úprava pracovních postupů, úprava technických výkresů a doporučení o používání vhodnějších technologií.

V první části je uvedena analýza sběru dat do záznamového formuláře a jeho vylepšení. V druhé části je rozebráno zjištění z fáze „Analyzuj“, kde jsou uvedeny kořenové příčiny způsobující únik vzduchu pro jednotlivé PV dle ISO norem. Další část je pak věnována důvodům zavedení opatření pro zvýšení FTY. Následně je proveden teoretický výpočet úspor při úspěšné eliminaci TOP příčiny všech PV dle ISO normy. A v závěru kapitoly jsou uvedeny doporučení pro praxi.

7.1 Analýza procesu sběru dat

Proces byl založen z důvodu sledování FTY při automatickém testování na únik vzduchu. Jeho výchozí prostá implementace byla analyzována a došlo ke zlepšení sběru dat tak, aby bylo možné pokračovat ve zjišťování dalších příčin. Bylo nutné přidat atribut „Příčina neodstraněna“, který reflektuje nepovedené pokusy o opravu vady na PV.

Z analýzy také vyplynulo, že pracovník testu automaticky opravoval vadu bez toho, aby bral v úvahu zobrazené informace na testu o místě úniku vzduchu. Když test hlásí interní únik na pravé straně za vysokého tlaku – nemůže se jednat o únik přes pístnicové těsnění (na pravé straně není pístnicové těsnění), a tudíž zdroje vynaložené na zbytečnou opravu je ztrátou.

7.1.1 Původní proces sběru dat

Počátek sběru dat je datován na rok 2017, kdy vykazoval hodnoty FTY pro PV dle ISO 6432 95%, pro PV dle ISO 15552 93,8% a pro PV dle ISO 21287 97%, od té doby byl proces prakticky nezměněn. Byl vytvořen záznamový arch pro zapisování počtu úniků vzduchu. Při důkladnějším prověření a sledování zapisování na lince bylo zjištěno, že zapisování není dostatečně pochopeno a nastavený proces vykazoval značné nedostatky. Hlavními body pak byly:

- zapisování jednoho pneumatického válce víckrát do kolonky „Neprošel napoprvé“,
- nepochopení příčin (každý pracovník měl svůj výklad pojmu „příčina“),
- neřízení se informacemi z testu,
- nezapisování vůbec,
- nesprávné zařazení příčiny,
- zapisování toho, co se opravilo a ne toho, co pomohlo ke shodnému testu,
- chybějící vizualizace pro neshodné válce,
- ruční zapisování na papír, který se poté musí přepsat do PC – excel,
- chybějící kompletní databáze úniků dle zakázek a názvů válců – pro analýzu,
- neznámý totální počet kusů, které prošly přes automatické testování.

7.1.2 Nový proces sběru dat

V roce 2020 došlo k revizi sběru dat s cílem maximálně eliminovat plýtvání procesu sběru zavádějících dat. Tato řešení by se dala rozdělit do tří kategorií. První z nich jsou lidské zdroje, zde můžeme vidět analogii s Demingovým výrokem, že „Každý nese zodpovědnost za kvalitu“. Když se oprostíme od pouhého překladu, jde tu hlavně o myšlenku, která nabádá všechny zaměstnance i majitele k takovému životnímu přístupu, kdy jeho hlavní znaky jsou poctivost, ochota a inteligence. Lze říct, že se jedná o to dělat věci odpovědně a žít tak, co je momentálně tím nejlepším, nejúčinnějším, nejšetrnějším a nejefektivnějším způsobem či postojem. [4]

K eliminaci plýtvání v kategorii lidské zdroje tedy vyžadovalo důkladné školení pracovníků s důrazem na jejich přístup viz předchozí odstavec. Toto školení je zpracováno v příloze 2 této diplomové práce. Ve školení je kladen důraz na pochopení procesu a snaží se odpovídat na veškeré nejasnosti. Prezentace je vytvořena v maximální míře v racionalizované formě, jak doporučuje [19].

Další kategorie, která by výrazně pomohla k efektivitě procesu a snížení plýtvání, je technologické řešení neboli implementace technologií. Na pracoviště je doporučen namontovat tablet, ke kterému by byla vytvořena aplikace, která je součástí interního informačního systému. Tato aplikace vede pracovníka k zapsání informací z testu a napovídá pravděpodobnou příčinu podle lokalizace z testu. Zavedlo by se skenování čárového kódu namísto ručního vypisování čísla zakázky. Jedná se o doporučení k rozvíjení procesu sběru dat.

Dosaženým výsledkem je to, že jsou nyní zapisovaná data do elektronické formy, a je možné mít kdykoliv přístup k datům prakticky na jeden klik myši. Jednotlivé linky zapíší svoji linku do připraveného reportu v excelu a skrze program ve Visual Basic se tyto data stáhnou do souhrnné databáze, kde ze zapsaného čísla zakázky makro posbírá z výrobní databáze další informace o vadném produktu, jako jsou:

- přesný název pneumatického válce,
- z názvu jdou zjistit parametry válce (průměr, zdvih, tlumení, atd),
- počet kusů,
- datum a čas zápisu (skenu).

Takto centralizovaná nasbíraná data jsou připravená k samotné analýze. Jelikož se jedná o tři různé výrobní linky a každá z nich skýtá drobné rozdíly v interpretaci zapisovaných příčin, bylo vhodné tyto příčiny v maximální míře standardizovat, aby se předešlo příliš rozsáhlému počtu příčin. Jakmile proběhla vhodná standardizace, bylo možné vytvořit souhrnnou databázi.

Proškolením operátorů a pochopením sběru dat se docílilo toho, že proces odráží realitu procesu. Došlo tak ke zlepšení o téměř 2,5 % na FTY = 97,49 % u PV dle ISO 6432. U PV dle ISO 15552 došlo ke zlepšení o 5,13 % na FTY = 98,13 %. A u PV dle ISO 15552 došlo ke zlepšení o 1,68 % na FTY = 98,68 %. Tento procentní rozdíl by se dal interpretovat jako množství neúspěšných oprav, které je nyní zastoupeno rozeznatelněji jako „Příčina neodstraněna“.

7.2 Analýza kořenové příčiny

Jedním s nejdůležitějších částí při analýze kořenové příčiny je vybrání takového problému, který při jeho vyřešení vyvodí největší efekt na zlepšení procesu. Pro tuto činnost je možné využít Paretovo pravidlo.

Dle Paretova pravidla může být vybráno cca 20 % příčin, které mají největší vliv na úniky vzduchu při automatickém testování. Pro účely diplomové práce a na základě doporučení vedoucího byla vybrána jedna příčina a tím je – pístnicové těsnění (obrázek 28). Problém s pístnicovým těsněním se nejvíce ukazoval na PV dle ISO 6432. Analýza PV dle ISO 15552 a PV dle ISO 21287, jsou uvedené v přílohách 4 a 5.

7.2.1 Únik vzduchu přes pístnicové těsnění u PV dle ISO 6432

Data získávaná z procesu jsou vodítka k určení kořenové příčiny. Z těchto dat vyplývá, že k úniku vzduchu nejčastěji dochází přes pístnicové těsnění. Z rešerše bylo zjištěno, že hlavní potřebou pro dynamická pístnicová těsnění je způsob montáže a parametry zastavovacího prostoru. Bylo tedy vhodné se zaměřit na všech 6M a výchozím nástrojem pak byl Ishikawův diagram (obrázek 36). Níže jsou vypsány výstupy z brainstormingu:

- těsnění je nasazeno opačně,
- těsnění není dostatečně namazáno, nebo není rovnoměrně rozprostřeno,
- těsnění bylo při montáži poškozeno,
- těsnění je staré a materiál je mimo životnost,
- těsnění nepřilne k pístnici po celém obvodu,
- škrábance, ostré hrany závitů, nebo vysoká drsnost pístnice,
- rozměry a geometrie pístnice,
- chybné vyhodnocení testu,
- unikající přípravek přívodu vzduchu na levé straně,
- nesprávný zápis úniku.

Možným chybám způsobeným při zapisování úniků byla věnována část – sběr dat. Pro snížení vlivu nesprávné orientace těsnění při montáži je každý pracovník zaškolen na pracovní instrukci. Pro eliminaci toho, že dojde k použití těsnění, které už je mimo svoji životnost, je navrhnuto, zavedeno a kontrolován systém FIFO ve skladě s nastavením skladových zásob. Zásoby jsou nastaveny na výrobní nároky maximálně na půl roku dopředu. Životnost těsnění je výrobcem dána na 5 let.

Další pozornost byla ubírána na analýzu drsností, rozměrů a geometrie pístnice, mazání těsnění, jeho ideální montáž a jak zajistit, že si těsnění tzv. „sedne“ a těsnicí břit pístnicového těsnění dostatečně přilne k pístnici a těsní. Vzhledem k porovnání ostatních záznamů o únicích vyšlo, že problém s úniky vzduchu přes pístnicové těsnění „trápí“ pouze PV dle ISO 6432, a proto bylo upuštěno od měření textury, rozměrů atd a bylo provedeno porovnání s ostatními PV dle ISO norem.

Z porovnání byl vyzorován vztah mezi velkým průměrem závitů a utěšňovaným průměrem pístnice. PV dle ISO 21287 a PV dle ISO 15552 mají vždy velký průměr závitů o několik milimetrů menší, než je tomu u PV dle ISO 6432. Proto, když je pístnicové těsnění montováno, musí se silou přetáhnout přes vnější závit a dochází k oděru břitů těsnění. Kromě vnějších závitů může dojít k poškození o plošky pro klíč, který je přítomen ve většině pístnic, a to i v případech s vnitřním závitem v pístnici.

Kořenovou příčinou pro únik vzduchu u pneumatických válců dle ISO 6432 je určen samotný design pístnice, který má za následek poškození těsnících břitů o vnější závit a hran plošek pro klíč.

7.2.2 Únik vzduchu přes O-kroužek u PV dle ISO 15552

Z nasbíraných dat vyplývá, že k úniku vzduchu nejčastěji dochází přes O-kroužek. Z rešerše bylo zjištěno, že hlavní potřebou pro statická pístnicová těsnění je způsob montáže a parametry zastavovacího prostoru. Bylo tedy vhodné se zaměřit na všech 6M a výchozím nástrojem pak byl Ishikawův diagram – celý proces analýzy i s regulačním diagramem je v příloze 4. Mezi zjištěnými příčinami byly:

- nesprávný postup montáže,
- těsnění nedrží na svém místě při vkládání,
- poškození při vkládání,
- pokroucené těsnění,

- přítomné ocelové špony ze srážení naváděcích hran,
- používání ostrých nástrojů při montáži,
- textura povrchu zástavbového prostoru.

Některé příčiny lze považovat za vyřešené úpravou procesu sběru dat a školením operátorů, jak je popsáno v předchozí kapitole 7.2.1.

Pozornost byla ubírána k tomu, že operátoři hlásí poškozené O-kroužky a drobné špony přilnutých na těsnění. Použitím metody „5x proč“ bylo dopátráno přes myčku tub, která potvrdila náročné mytí hran po srážení k procesu ručního srážení hran tuby. Při analýze ručního srážení hran pomocí frézy byla vyzorována špatná textura a ostré hrany. Protože řešerše z kapitoly 5.4.3 poukazuje na nevhodnost přítomnosti stop po obrábění v zastavovaných prostorech těsnění a častější výměna nástroje problém neodstraní, byla technologie srážení hrany určena jako kořenová příčina úniku vzduchu přes O-kroužek.

7.2.3 Únik vzduchu způsobený detekcí testu u PV dle ISO 21287

Z nasbíraných dat u válců dle ISO 21287 vyplývá, že největší problém byl s nesprávnou detekcí testu. Tento defekt lze popsat jako vyhodnocení shodného kusu testem za neshodný. Bylo tedy vhodné se zaměřit na všech 6M a výchozím nástrojem pak byl Ishikawa diagram – celý proces analýzy i s regulačním diagramem je v příloze 5. Mezi nepravděpodobnější příčiny patří:

- nespolehlivý design připojení vzduchu,
- opotřebení připojení vzduchu,
- nesprávný zápis příčiny,
- příliš nebo nedostatečně přitlačené testovací přípravky (připojení vzduchu).

Některé příčiny lze označit za vyřešené úpravou procesu sběru dat a školením operátorů, jak je popsáno v předchozí kapitole 7.2.1.

Většina vodítek směřuje k samotnému připojení vzduchu a konkrétně pak na celý jeho design, protože se ním složitě manipuluje, aby se ideálně vycentroval do portu. Tvrdá guma je navíc náchylná na poškození právě při manipulaci a centrování na port. Vysoká cena gumy celkově podtrhuje nevhodnost designu připojení vzduchu.

Ze zjištěné interpretace zapsání takového defektu je fakt, že byla oprava brána jako provedení několika pracovních zdvihů. Proto je vhodné uvažovat jako kořenovou příčinu kromě nevhodného designu připojení vzduchu i nedostatečnou přípravu válce na test.

7.3 Opatření ke zvýšení FTY

V této části jsou shrnuty všechny opatření, která vedou ke snížení úniků vzduchu na testu při 100 % kontroly produkce. U PV dle ISO 6432 jsou opatření provedena za účelem snížení vlivu designu při montáži pístnicového těsnění. PV dle ISO 15552 mají opatření designová, technologická i procesní. Poslední řešení PV dle ISO 21287 vykazoval chybu detekce testu, k tomuto problému bylo navrženo opatření k vyvinutí lepšího designu připojení vzduchu formou navazujícího projektu.

7.3.1 Opatření pro zvýšení FTY u PV dle ISO 6432

Opatření jsou zvolené do dvou kategorií, technická opatření a montážní instrukce, protože v tomto případě není možné zasahovat do designu, ačkoliv je design vyhodnocen jako kořenová příčina. Technická opatření a montážní instrukce tak jsou směřovány na minimalizaci tohoto vlivu.

Technické opatření bylo navrženo ve smyslu doporučení změny obrábění tak, aby byly všechny hrany uvedené v obrázku 38 zaoblené, nebo leštěné. Kvůli nedostatku prostoru nebylo možné použití ochranného pouzdra.

Další a pravděpodobnější příčinou poškození je způsob montáže čili přetahování přes vrcholky závitu. Protože jsou závity válcované a jejich kvalita je vysoká, je nutné aplikovat metody a techniky montáže, aby nedocházelo k poškození. Souhrn nejdůležitějších bodů opatření, které byly okamžitě implementovány jsou:

- pístnicové těsnění a pístnice je namazaná vazelínou pro snížení tření,
- žádná plocha v zastavovaném prostoru neobsahuje stopy po obrábění, natož škrábance, rýhy, nebo jiné lokální vady povrchu,
- není fyzické poškození, či přítomnost cizích předmětů na pístnici (otřepy, třísky po obrábění atd),
- zaváděcí hrany nemají ostré hrany,
- krouživým pohybem nechat našroubovat závit pístnice přes těsnění.

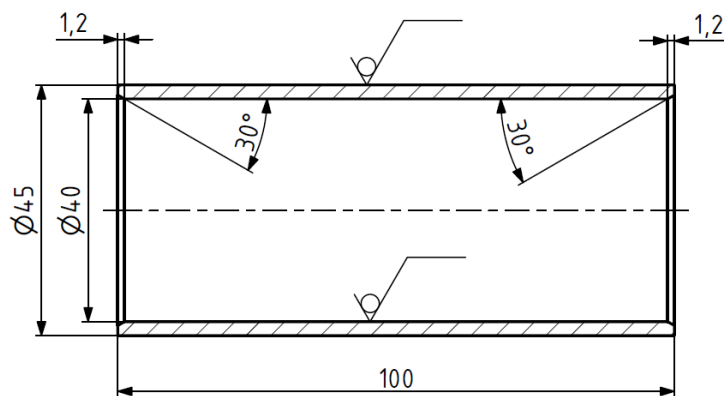
7.3.2 Opatření pro zvýšení FTY u PV dle ISO 15552

U PV dle ISO 15552 jsou opatření designová, technická a jsou zmíněna pravidla pro správnou montáž. Na opatření se nahlíží s důrazem na implementovatelnost, což znamená, že z kořenové příčiny vyplývá – nevhodná technologie srážení naváděcí hrany. Tato nevhodná technologie a ruční srážení na fríze způsobuje vysokou variabilitu textury povrchu, která i v ideálních podmínkách (ostrý nástroj, nejlepší technika) způsobuje stopy po obrábění a ostré hrany, tyto vady jsou na obrázku 41. Než je navržena a implementována nová technologie, je doporučena úprava stávajícího procesu.

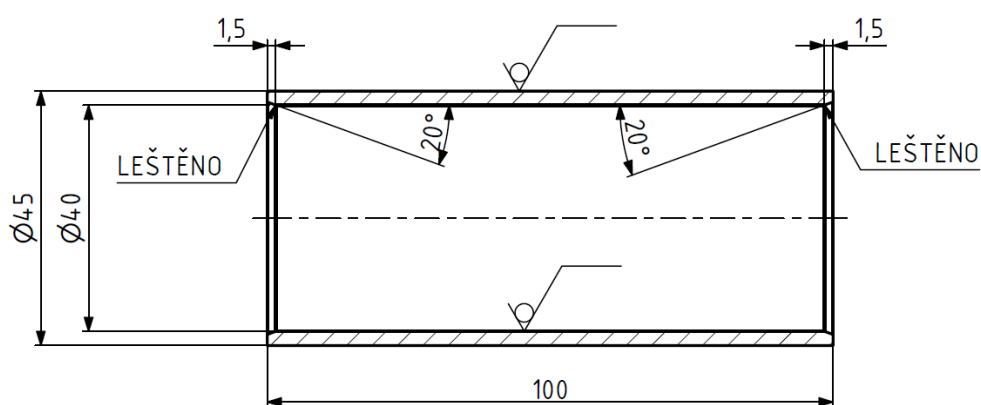


Obr. 41) Ostrá náběhová hrana a stopy po obrábění

Po srážení hrany by tyto hrany měly být dodatečně oleštěny, aby přechodové hrany nebyly ostré a nezpůsobovali poškození, nebo pokroucení O-kroužků. Z hlediska implementovatelnosti byla doporučena změna výkresu čili designu (tato drobná změna není považována za změnu designu PV). Na obrázku 42 je náčrt výkresu před a na obrázku 43 po návrhu změny.



Obr. 42) Náčrt současného výkresu tuby



Obr. 43) Náčrt návrhu změny výkresu tuby

Před implementací nové technologie bylo doporučeno tyto hrany kontrolovat, že nejsou ostré. Další kontrolou je dodržování čistoty a eliminace potenciální přítomnosti otřepů, třísek atd. Možností je i takovou práci reklamovat a nechat opravit obrobnou. Souhrn nejdůležitějších opatření tedy jsou:

- při současné technologii oleštit ostré hrany,
- důkladně umýt tubu od zbytku špon,
- začít ve vyhledávání vhodné technologie srážení hran pro montáž těsnění,
- namazaný vnitřek tuby a O-kroužek,
- namontovat O-kroužek tak, aby se nepokroutil,
- při montáži ani případné opravě (srovnání) se nesmí používat ostré nástroje, pokud jsou použity, měl by se O-kroužek vyhodit,
- všechny plochy v zastavovaném prostoru nesmí přesáhnout drsnost $R_{a\max} 1,6$.

7.3.3 Opatření ke zvýšení FTY u PV dle ISO 21287

U válců dle normy ISO 21287 je největším problémem nesprávná detekce testu, která je způsobena nevhodným designem připojení vzduchu, proto je doporučen projekt k vytvoření nového designu, který zohledňuje:

- jednoduché navádění do portu válce,
- spolehlivé utěsnění přívodu testovacího stlačeného vzduchu,
- těsnící element s dlouhou životností, nebo jednoduchou výměnou,

- levný těsnící element.

Jelikož implementovatelnost tohoto opatření je zdlouhavé a je možné, že bude naraženo na nějaké překážky, bylo vhodné zavést i další opatření, které lze implementovat okamžitě. Věnovat pozornost dostatečné přípravě válců na test pravidly zanesené v pracovním postupu. Mohou jimi být pravidla jako jsou:

- vnitřek válce je namazán vhodným množstvím vazelíny,
- po montáži provést několik pracovních zdvihů (ideálně stlačeným vzduchem),
- při montáži těsnění se řídit zásadami pro správnou montáž jednotlivých těsnění, která jsou uvedena v kapitole 5.4 a jsou jimi:
 - před montáží zkontrolovat poškození těsnících ploch,
 - zkontrolovat, že se na PV nenachází zbytky špon z obrábění,
 - těsnění namazat vazelínou,
 - nepoužívat ostré nástroje,
 - těsnění nepřekrucovat ani příliš nenatahovat,
 - po montáži provést několik pracovních zdvihů.

7.4 Vyčíslení úspor po zlepšení procesu – teoretické

Reálným startovním cílem při testování na únik vzduchu je FTY 98,6 % pro ISO 6432, FTY 98,1 % pro ISO 15552 a 98,7 % pro ISO 21287 z celkového počtu vyráběných pneumatických válců dle dané normy. Je možné, že implementovaná opatření mají vliv i na další následky. Níže jsou jednotlivé PV dle ISO norem rozpočítány a je uvedena jejich teoretická úspora při úspěšné implementaci nápravných opatření z kapitoly 7.3.

Vzhledem k známému počtu oprav za týden, jsou níže provedeny výpočty nákladů za opravy, které jsou počítány z průměrné časové náročnosti a normohodin operátora. Důvod průměrných hodnot je poměrně vysoká variabilita jednotlivých hodnot. Do výpočtu nebyl zahrnut materiál a energie.

Následný výpočet uvedený v tabulkách 13 až 15 byl sestaven podle průměrného počtu řešených vad jednotlivých PV dle ISO norem. Použita jsou nasbíraná data za období devíti týdnů, které jsou uvedeny v příloze 3.

Pro PV dle ISO 6432 je uvažováno snížení průměrně o 46 úniků přes pístnicové těsnění, viz tabulka 16.

Pro PV dle ISO 15552 se jedná o cenu nekvality při snížení o průměrných 13 úniků přes O-kroužek, viz tabulka 17.

A pro PV dle ISO 21287 pak snížení o 16 úniků způsobené vadnou detekcí testu, viz tabulka 18. Celková teoretická úspora je uvedena v tabulce 19.

Tab 13) Náklady na nekvalitu u PV dle ISO 6432

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	2	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	104	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Cena nekvality - týden	4160	Kč
Cena nekvality - rok	216320	Kč

Tab 14) Náklady na nekvalitu u ISO 15552

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	4	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	40	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Cena nekvality - týden	3200	Kč
Cena nekvality - rok	166400	Kč

Tab 15) Náklady na nekvalitu u PV dle ISO 21287

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	1	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	32	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Cena nekvality - týden	640	Kč
Cena nekvality - rok	33280	Kč

Tab 16) Snížené náklady na nekvalitu u PV dle ISO 6432

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	2	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	58	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Snížená cena nekvality - týden	2320	Kč
Snížená cena nekvality - rok	120640	Kč

Tab 17) Snížené náklady na nekvalitu u ISO 15552

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	4	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	27	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Snížená cena nekvality - týden	2160	Kč
Snížená cena nekvality - rok	112320	Kč

Tab 18) Snížené náklady na nekvalitu u PV dle ISO 21287

Popis	Hodnota	Jednotka
Průměrná doba testování	2	min
Průměrná doba opravy	1	min
Průměrný týdenní počet neshodných testů	16	ks
Normohodina	600	Kč/hod
Snížená cena nekvality - týden	320	Kč
Snížená cena nekvality - rok	16640	Kč

Tab 19) Celkový potenciál roční úspory na všech ISO válcích

Popis	Hodnota	Jednotka
Cena nekvality před	416000	Kč
Cena nekvality po	249600	Kč
Rozdíl = Úspora	166400	Kč

Teoretická úspora při úspěšné implementaci opatření na všech ISO válcích je 166 400 Kč ročně.

7.5 Vlastní závěry a doporučení pro praxi

Po dokončení praktické části práce byly zjištěny i další přínosy vytvořené souhrnné databáze vad ze všech linek PV dle ISO norem. Využití nachází v následujících oblastech.

Kvalita

- transparentnost výroby na automatickém testu (zpětná dohledatelnost dat o testovaných válcích), která je vhodná při řešení reklamací
- sledování úrovně kvality (SPC - regulační diagram)
- vodítka ke kořenovým příčinám při stavu procesu mimo kontrolu

Technologie

- sledování výkonosti testu (zda koupit další, nebo optimalizovat stávající)
- přehled o testovaných válcích na určitých testech

Výroba

- přehled o neproduktivních časech na testu (přiřazení příčiny k době opravy)
- přehled o vytíženosti jednotlivých testů (organizace práce)

Závěrem lze uvést několik doporučení pro praxi, které vyplynuli z této diplomové práce a nejvíce napomohly v řešení a vyplynuly ze systémového rozboru systému řízení kvality PV dle ISO norem:

- vytváření okamžitě implementovatelných opatření, nebo alternativních opatření do doby zavedení hlavního opatření,
- provádět malé ale časté změny,
- intenzivně se věnovat pracovníkům, jejich rozvoji a vzájemnému pochopení,
- seznámení a osvojení principů uvedených v kapitole 6.1 na všech úrovních u výrobce.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce je příspěvkem ke zlepšování kvality pneumatických válců u místního strojírenského podniku (dále jen výrobce). Výrobce pneumatických válců (dále jen PV) již delší dobu eviduje problém s procesem testování PV dle ISO norem. Od roku 2017, kdy byla do tohoto procesu nasazena metrika FTY (first time yield – prošlo napoprvé), sleduje výrobce PV procento válců, které projdou přes tento test na únik vzduchu napoprvé.

Popis současného stavu řízení kvality PV dle ISO norem je vyřešen v kapitole 3. Tato teoretická část práce se zabývá konkrétně PV dle ISO 6432, PV dle ISO 15552 a PV dle ISO 21287. Je zde uvedena definice PV dle ISO norem dle ISO a představuje jejich nejčastější konstrukční řešení. Navazující téma v této kapitole je již samotný popis systému řízení kvality, kde výrobce používá průnik hned několika metod a principů řízení kvality, jako je ISO 9001, LEAN production a Six Sigma. V podstatě se dá říct, že v současnosti je systém řízení kvality PV dle ISO norem založen hlavně na normě ČSN EN ISO 9001:2016, doplněný dalšími ISO normami uvedenými v příloze 1. Metody a principy LEAN production a Six Sigma slouží jako doplňující nástroje k neustálému zlepšování, eliminaci plýtvání a efektivní řešení problémů. Proto jsou teoreticky vysvětleny jen ty metody a techniky jednotlivých systémů řízení, které se používají v praktické části (v kapitole 6).

ODSTAVEC NA každý cíl

Splnění cíle dva je splněno v kapitole 3 a 4 – systémový rozbor hodnocení kvality PV dle ISO norem. Pomocí učebnic jedněch z učitelů kvality J. M. Jurana a D. R. Kirana byly použity ty nejlepší řešení pro zlepšování kvality PV. Prvním důležitým přínosem k zabezpečování kvality je Juranova trilogie, kterou výrobce PV využívá pouze v omezené míře. Druhým přínosem této rešeršní části je seznámení a vysvětlení, že výrobce má ve svém výrobním procesu „miliony“ věcí ke kontrole, a tím jsou blokovány kapacity pracovníků kvality a řídicích pracovníků. Proto je doporučeno vždy využívat přístupu Juranovy pyramidy, kde jsou kontroly v maximální míře automatizovány. Pracovníci kvality a managementu by se měly věnovat hlavně určování kritérií pro kontrolu a jejich standardů. Mezi další přínos této kapitoly je část, která řešila kontrolu a měření, čímž se doporučuje, aby se prověřily všechny kontroly dle účelu, četnosti a variability procesu. Tyto kontroly vytvářet v maximální míře racionalizované, aby bylo jednoduché kontrolu pochopit a hlavně dodržovat.

Třetí cíl je splněn na konci kapitoly 4, kde je uvedeno shrnutí posouzení možnosti ke zlepšení systému řízení kvality 3ks PV dle ISO norem řešené v kapitolách 3, 4 a jsou zde sepsána doporučení k dalšímu rozvoji zabezpečování kvality PV. V kapitole 5 je třetí cíl DP doplněn o rešerši vybrané možnosti ke zlepšení – problém s únikem vzduchu.

Problém s únikem vzduchu z PV je popsán v kapitole 5.3.5. Těsnění válce má největší vliv na vlastnosti a funkční požadavky PV dle ISO norem. Je zde sepsáno, z jakých materiálů se vyrábí komponenty PV, a že jsou voleny podle náročnosti prostředí, kde jsou použity. Byla zde vytvořena porovnávací tabulka tří výrobců, kde lze vidět udávání rozdílných specifikací od různých výrobců PV dle ISO norem, které definují vlastnosti PV. V této části jsou uvedeny funkční limity válců a co je důležité zohledňovat při výběru vhodného válce. Zcela samostatnou částí této kapitoly jsou těsnění, protože výrazně ovlivňují funkčnost válců a je to stěžejní komponenta pro zajištění těsnosti válce proti únikům vzduchu.

Cíl číslo 4 – aplikace vybraných metod na PV je vyřešen v kapitole 6. Na začátku kapitoly 6 jsou sepsány praxí ověřené principy používané při řešení problému s únikem

vzduchu při 100 % kontrole produkce. Řešení problému úniku vzduchu bylo navrženo pomocí projektu „DMAIC“ a vybraných metod LEAN production a Six Sigma. Na základě doporučení vedoucího práce byl v této části DP vyřešen problém s únikem vzduchu pouze na PV dle normy ISO 6432. Proto je v přílohách 4 a 5 doloženo řešení úniku vzduchu na PV dle ISO 15552 a dle PV ISO 21287.

Ve fázi „Definuj“ byl sestaven plán projektu pomocí projektového listu a Ganttova diagramu. Další fáze „Měř“ vedla ke zlepšení sběru dat bylo provedeno školení operátorů, dle navrženého schématu uvedeného v příloze 2. Získaná data byla použita do další části DMAIC. Fáze „Analyzuj“ pomocí brainstormingu, Ishikawa diagramu a „5x proč“ odhalila kořenovou příčinu a pomohla najít způsob řešení. V navazující fázi „Vylepši“ byly sestaveny nápravná opatření. Nápravná opatření ve smyslu zaoblení hran, způsobu montáže a doporučení navazujících projektů k vytvoření nového designu připojení vzduchu a volby vhodnější technologie sražení hran tub. Závěrečná fáze – „Řid“ byla věnována vytvoření sledování úrovně kvality na daném testovacím pracovišti testování. Toto sledování je nyní zajištěno regulačním „p“ diagramem.

Technické posouzení dosažených výsledku je zpracováno v kapitole 7. Prvním dosaženým výsledkem bylo vytvoření robustního systému sběru dat, kdy jsou data o defektech vedena v souhrnné databázi v elektronické formě. Z této databáze mohou čerpat všechna oddělení zabývající se analýzami spojených s procesem testování. Níže jsou uvedeny nápravné opatření, které řeší únik vzduchu.

U PV dle ISO normy 6432 jsou hlavní opatření:

- zaoblení ostrých hran,
- nasazovat pístnicové těsnění krouživým pohybem.

U PV dle ISO 15552 jsou hlavní opatření:

- úprava designu náběhových hran tuby,
- volba nové technologie sražení hran,
- před montáží důkladně kontrolovat zbytky špon a ostré hrany musí být odstraněny (pokud nastanou).

U PV dle ISO 21287 jsou hlavní opatření:

- založit projekt pro nový design připojení vzduchu,
- aplikace nejlepších praktik montáže těsnění pro dostatečnou přípravu na test.

Závěrečným technickým posouzením, které je v praxi povinností provádět, je vyčíslení teoretické úspory při eliminaci jednotlivých TOP příčin u jednotlivých PV dle ISO norem. Výsledná hodnota úspory za jeden rok je přibližně 166 400 Kč.

Závěrem lze konstatovat že díky nástrojům a metodám použitých v celé práci byly splněné všechny cíle DP a jsou navrhnuté tipy, jak se nadále věnovat neustálému zlepšování v oblasti snížení počtu úniků při testování pneumatických válců. Konkrétně pak lze navrhnout do budoucího období následující:

- Navýšit kapacity (lidské zdroje) na provádění technik LEAN production.
- Zvážit implementaci řízení kvality dle Six Sigma ve výrobní i nevýrobní oblasti.
- Změnit certifikační společnost pro auditování ČSN EN ISO 9001:2016.
- Zavést do problematických procesů, nebo procesů s potřebou vysoké kvality monitorování a řízení pomocí SPC.

- Vytváření projektů ke zlepšování požadavků kvality.
- Mobilizovat řešitelské týmy k projektům s největším dopadem.
- Vzhledem k velkému počtu kontrol se doporučuje vybrat ty kontroly, které probíhají v největší míře a automatizovat je pomocí dostupných a ověřených technologií.
- Po úspěšné eliminaci problémů řešených v této diplomové práci pokračovat v řešení dalších defektů způsobující únik vzduchu.
- Rozvíjet talenty operátorů.
- Nechat růst lídry, kteří jsou nositeli filozofie výrobce PV.
- Rozvíjet kompetence klíčových zaměstnanců uspořádáním školení na rozvíjení dovedností (interní, externí).

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JURAN, Joseph M. a A. Blanton GODFREY, ©1999. *Juran's quality handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-034003-X.
- [2] MONTGOMERY, Douglas C., ©2009. *Introduction to statistical quality control*. 6th ed. Hoboken: Wiley. xiv, 734 s. ISBN 978-0-470-16992-6.
- [3] KIRAN, D. R., ©2017. *Total quality management: key concepts and case studies* [online]. Oxford, England: Butterworth-Heinemann. [cit. 2021-05-03]. ISBN 978-0-12-811036-2. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=4730473>.
- [4] LIKER, Jeffrey K., ©2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill. xxii, 330 stran. ISBN 0-07-139231-9.
- [5] TALÁCKO, Jaroslav, 2000. Vývoj pneumatických prvků a mechanismů. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. [Děčín], (10) [cit. 2021-5-3]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/vyvoj-pneumatickych-prvku-a-mechanismu-2000_10_27904_271/
- [6] KOPÁČEK, Jaroslav, 2014. Pneumatické mechanismy – nezbytná součást moderních strojů. *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník* [online]. [Praha]: [MM Publishing], 25. 06. 2014, (7,8) [cit. 2021-5-3]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pneumaticke-mechanismy-nezbytna-soucast-modernich-stroju>
- [7] ISO 6432:2015: Pneumatic fluid power — Single rod cylinders, 1 000 kPa (10 bar) series, bores from 8 mm to 25 mm — Basic and mounting dimensions, 2015. 2nd ed. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/64054.html>
- [8] ISO 15552:2018: Pneumatic fluid power — Cylinders with detachable mountings, 1 000 kPa (10 bar) series, bores from 32 mm to 320 mm — Basic, mounting and accessories dimensions, 2018. 2nd ed. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/66921.html>
- [9] ISO 21287:2004: Pneumatic fluid power — Cylinders — Compact cylinders, 1000 kPa (10 bar) series, bores from 20 mm to 100 mm, 2004. 2nd ed. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/34465.html>
- [10] *ISO 9000: Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*, 2016. Praha: Český normalizační institut, 88 s. Dostupné také z: <https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-9000-2016-systemy-managementu-kvality-zakladni-principy-a-slovník/>
- [11] *ISO 9001: Systémy managementu kvality - Požadavky*, 2016. Praha: Český normalizační institut, 48 s. Dostupné také z: http://www.technicke-normy-csn.cz/010321-csn-en-iso-9001_4_99316.html
- [12] *ISO 9004: Management kvality - Kvalita organizace - Návod k dosažení udržitelného úspěchu*, 2019. Praha: Český normalizační institut, 112 s. Dostupné také z: <https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-9004-management-kvality-kvalita-organizace-navod-k-dosazeni-udrzitelneho-uspechu/>

- [13] *ISO 10012: Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*, 2003. Praha: Český normalizační institut, 36 s. Dostupné také z: <https://www.technickenormy.cz/csn-en-iso-10012-systemy-managementu-mereni-pozadavky-na-procesy-mereni-a-merici-vybaveni-1/>
- [14] Certifikace ISO 9001. *TUV NORD* [online]. Praha: TÜV NORD GROUP [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.tuv-nord.com/cz/cs/nase-sluzby/certifikace-systemu/iso-9001>
- [15] ISO 9001:2015: nutné dokumentované informace, ©1997 - 2021. *QMprofi.cz* [online]. Praha: Dashöfer Holding, 2017 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://www.qmprofi.cz/33/iso-9001-2015-nutne-dokumentovane-informace-uniqueidgOkE4NvrWuOD4bWdlJ9_MolXZCv2jIzU9mbKTrAPMMA/?query=Nutn%E9%20dokumentovan%E9%20informace&serp=1
- [16] BARBER, Antony, 1997. *Pneumatic handbook*. 8th ed. Oxford: Elsevier advanced technology, 659 s. ISBN 185617249X.
- [17] Demingův cyklus (Deming Cycle, PDCA Cycle), ©2011-2016. *Managementmania's series of management* [online]. 01.11.2016 [cit. 2021-5-3]. ISSN 2327-3658. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/deminguv-cyklus>
- [18] KRATINA, Jakub, ©2013 - 2017 E-konstruktor. 6 chyb, kterých se konstruktéři a technici dopouštějí při výběru pneumatických válců. *E-konstruktor: portál pro strojní konstruktéry* [online]. Praha, 07.04. 2014 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/novinka/6-chyb-kterych-se-konstrukteri-a-technici-dopousteji-pri-vyberu-pneumatickych-valcu?value=2&do=rate>
- [19] LIKER, Jeffrey K. a MEIER, David, ©2006. *The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York: McGraw-Hill. xx, 475 s. ISBN 0-07-144893-4.
- [20] IMAI, Masaaki, ©1997. *Gemba Kaizen: a commonsense, low-cost approach to management*. New York: McGraw-Hill, 354 s. ISBN 0-07-031446-2.
- [21] MITRA, Amitava, ©2016. *Fundamentals of quality control and improvement*. 4th ed. New Jersey: John Wiley. ISBN 978-1-118-70514-8.
- [22] BASS, Issa, ©2007. *Six sigma statistics with Excel and Minitab* [online]. New York: McGraw-Hill [cit. 2021-5-3]. ISBN 0-07-154268-X. Dostupné z: <https://pdfslide.net/documents/six-sigma-statistics-with-excel-and-minitab-586e0fc76eb9b.html>
- [23] BASS, Issa a Barbara LAWTON, ©2009. *Lean six sigma using SigmaXL and Minitab* [online]. New York: McGraw-Hill, 408 s. [cit. 2021-5-3]. ISBN 978-0-07-162621-7. Dostupné z: <https://www.lehmanns.de/shop/technik/26118702-9780071626217-lean-six-sigma-using-sigmabl-and-minitab>
- [24] GUPTA, Surendra M. a Kishore K. POCHAMPALLY, 2014. *Six Sigma case studies with Minitab* [online]. Boca Raton: Taylor & Francis, 318 s. [cit. 2021-5-3]. ISBN 978-1-4822-0559-6. Dostupné z: <https://www.lehmanns.de/shop/wirtschaft/28873026-9781482205596-six-sigma-case-studies-with-minitab>
- [25] ZAGHIS, Luciano, 2015. *Modern pneumatics: components for pneumatic automation* [online]. Lurano: Pneumax, 220 s. [cit. 2021-5-3]. Didactic handbook. Dostupné z: <https://pneumaxspa.com/wp-content/uploads/Pneumatics-handbook.pdf>

- [26] ISO name and logo, [2021]. *ISO: International organization for standardization* [online]. Geneva [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.iso.org/iso-name-and-logo.html>
- [27] Technický pokyn pro O-kroužky, ©2021. *Norelem* [online]. Markgröningen: Norelem, ©2021 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/Technische_Hinweise/23900-Oringe/23900_Technicky-pokyn-pro-O-krouzky_CZ.pdf
- [28] Těsnící prvky, ©1993- 2017 ELO. *ELO: špičková kvalita v oblasti strojírenství* [online]. Žamberk: Elo Toman, 2009 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://loziska.com/store/katalog_tesnici_prvky_1.pdf
- [29] Pneumatické válce, ©2021. *Hennlich: dodavatel průmyslových komponent špičkové kvality* [online]. Litoměřice: Hennlich [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://lin-tech.hennlich.cz/fileadmin/user_upload/KATEGORIEN/Pneumatik_HENNLICH/Dokumenty/A-PNEUMATICKÉ_VALCE_01_2021_V08_WEB.pdf
- [30] ISO 15552 Pneumatic Cylinders, Smooth Profile Design - P1F-S Series / Parker Pneumatic – Europe, ©2021. *Parker: globální lídr v technologiích pro řízení pohybu* [online]. Praha: Parker, ©2021 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://ph.parker.com/cz/cs/iso-15552-pneumatic-cylinders-smooth-profile-design-p1f-s-series-parker-pneumatic-europe>
- [31] ISO cylinder, ©2011–2021. *SMC: corporation of America* [online]. Tokyo: SMC [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/C96-Bb_EU.pdf
- [32] 2014/34/EU: směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu, 2014. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Evropský parlament, L 96, číslo 309-356. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034&from=IT>
- [33] ISO Cylinders: wide range and fast delivery, ©2011–2021. *SMC: corporation of America* [online]. Tokyo: SMC [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/ISO-CYLINDERS_EU.pdf
- [34] Air Cylinders, ©2011–2021. *SMC: corporation of America* [online]. Tokyo: SMC [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/C85_C75-A_EU.pdf
- [35] JANKOVÝCH, Róbert. *Statistické řízení procesů* [předmět]. Brno: VUT - Fakulta strojního inženýrství, 1. 9. 2020 – 30. 6. 2021.
- [36] Plánovač projektu na základě modelu Ganttova diagramu, ©2021. *Microsoft* [online]. Templates office [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://templates.office.com/cs-cz/pl%C3%A1nova%C4%8D-projektu-na-z%C3%A1klad%C4%9B-modelu-ganttova-diagramu-tm02887601>
- [37] CHOLT, Milan. *Lean vs LeanSixSigma* [online] 20.1.2020 [cit. 18.5.2021]. Dostupné z: <https://www.zlepsito.eu/l/lean-vs-lean-six-sigma/>
- [38] PABIŠKA, Martin. *The preventive quality management systém based on the benchmarks and best practices*. Brno, 2012. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta podnikatelská. Vedoucí práce K. Rais

10 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam zkratek

RD – regulační diagram

PV – pneumatický válec

ISO – international organization for standardization (mezinárodní organizace pro standardizaci)

ČSN – česká státní norma

EN – evropská norma

FMEA – failure mode and effect analysis (analýza druhů poruch a jejich následků)

PPM – parts per milion (dílů na milion)

DPMO – defects per milion opportunities (vad na milion příležitostí)

FTY – first time yield (prošlo napoprvé)

DMAIC – define, measures, analyze, improve, control (definuj, měř, analyzuj, vylepši, řid)

QFD – quality function deployment (nepřekládá se)

KPI – key performance indicator (klíčové ukazatele výkonosti)

FIFO – first in first out (první dovnitř první ven)

PDCA – plan, do, check, act (plánuj, dělej, kontroluj, jednej)

DIN – Deutsches Institut für Normung (německý institut pro normalizaci)

CNOMO – Comité de Normalisation des Moyens de Production

AFNOR – Association Française de Normalisation (francouzská asociace pro normalizaci)

DP – diplomová práce

PLC – programmable logic controller (programovatelný logický automat)

SPC – statistical process control (statistické řízení procesu)

10.2 Seznam tabulek

TAB 1)	PŘEHLED MATERIÁLŮ PRO TUBU DLE NÁROČNOSTI ZATÍŽENÍ V PROVOZU [16]	56
TAB 2)	PŘEHLED MATERIÁLŮ PRO KONCOVÉ KRYTY DLE NÁROČNOSTI ZATÍŽENÍ V PROVOZU [16]	56
TAB 3)	PŘEHLED MATERIÁLŮ PRO PÍSTNICI DLE NÁROČNOSTI ZATÍŽENÍ V PROVOZU [16]	57
TAB 4)	PŘEHLED MATERIÁLŮ PRO PÍST DLE NÁROČNOSTI ZATÍŽENÍ V PROVOZU [16].....	57
TAB 5)	POROVNÁNÍ UVÁDĚNÝCH SPECIFIKACÍ VÝROBCŮ SMC – LINTECH – PARKER [29] [30] [31]	58

TAB 6)	ZTRÁTA ENERGIE KOMPRESORU PŘI ÚNIKU VZDUCHU ČLENU SOUSTAVY [16].....	65
TAB 7)	PŘEHLED MATERIÁLŮ TĚSNĚNÍ DLE VHODNOSTI POUŽITÍ (16)	67
TAB 8)	DOPORUČENÉ ROZMĚRY ZAVÁDĚCÍCH HRAN DLE PRŮMĚRU O-KROUŽKU [27]	70
TAB 9)	ZÁZNAMOVÝ FORMULÁŘ PRO PV DLE ISO 6432.....	75
TAB 10)	POROVNÁVACÍ TABULKA VELIKOSTÍ VNĚJŠÍCH ZÁVITŮ VŮČI PRŮMĚRU PÍSTNICE.....	79
TAB 11)	VZTAH MEZI ÚNIKY A VNĚJŠÍM ZÁVITEM PÍSTNICE	79
TAB 12)	VSTUPNÍ DATA PRO P DIAGRAM.....	82
TAB 13)	NÁKLADY NA NEKVALITU U PV DLE ISO 6432.....	91
TAB 14)	NÁKLADY NA NEKVALITU U ISO 15552.....	91
TAB 15)	NÁKLADY NA NEKVALITU U PV DLE ISO 21287	91
TAB 16)	SNÍŽENÉ NÁKLADY NA NEKVALITU U PV DLE ISO 6432	91
TAB 17)	SNÍŽENÉ NÁKLADY NA NEKVALITU U ISO 15552	91
TAB 18)	SNÍŽENÉ NÁKLADY NA NEKVALITU U PV DLE ISO 21287	92
TAB 19)	CELKOVÝ POTENCIÁL ROČNÍ ÚSPORY NA VŠECH ISO VÁLCÍCH ...	92

10.3 Seznam obrázků

OBR. 1)	PV SE SVORNÍKY DLE ISO 15552 [33]	23
OBR. 2)	PV KRUHOVÉ DLE ISO 6432 [33]	23
OBR. 3)	PV KOMPAKTNÍ DLE ISO 21287 [33].....	23
OBR. 4)	JEDNOČINNÝ PV DLE ISO 21287 [33]	24
OBR. 5)	SCHÉMATICKÉ ZNAČKY JEDNOČINNÝCH VÁLCŮ. A) PRUŽINA ZASOUVÁ PÍSTNICI B) PRUŽINA VYSOUVÁ PÍSTNICI [33]	24
OBR. 6)	DVOJČINNÝ PV DLE ISO 21287 S GUMOVÝM TLUMENÍM [33]	25
OBR. 7)	DVOJČINNÝ PV DLE ISO 15552 S KOMBINOVANÝM TLUMENÍM [31]	25
OBR. 8)	DVOJČINNÝ PV DLE ISO 6432 SE VZDUCHOVÝM TLUMENÍM [34]...	25
OBR. 9)	NÁČRT PRŮŘEZŮ PÍSTNIC POUŽÍVANÝCH U VÝROBCE PV DLE ISO NOREM	26
OBR. 10)	NEROTAČNÍ PÍSTNICE PV DLE ISO 15552 [31].....	26
OBR. 11)	DVOJČINNÝ PV DLE ISO 21287 S PRŮCHOZÍ PÍSTNICÍ [33].....	27
OBR. 12)	A) MONTÁŽ SNÍMAČE DO DRÁŽKY TUBY B) MONTÁŽ SNÍMAČE SVORKAMI [25].....	27
OBR. 13)	LOGA MEZINÁRODNÍ ORGANIZACE PRO STANDARDIZACI (ISO) [26]	28

OBR. 14) SCHÉMA PRVKŮ PROCESU TESTOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ	29
OBR. 15) ZNÁZORNĚNÍ PDCA CYKLU DLE [11]	30
OBR. 16) NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ [2]	37
OBR. 17) PROCES ANALÝZY TECHNICKÉHO PROBLÉMU [19].....	42
OBR. 18) SMYČKA ZPĚTNÉ VAZBY [1].....	48
OBR. 19) JURANOVA PYRAMIDA KONTROL [1]	49
OBR. 20) DIAGRAM JURANOVY TRILOGIE PRO PV [1]	50
OBR. 21) PŘEHLED OBLASTÍ POŽADAVKŮ NA KVALITU PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ [35].....	55
OBR. 22) ZDVIH DLE ISO 15552 [8].....	59
OBR. 23) PŘÍKLADY UPEVNĚNÍ PRO PV DLE ISO 15552 [16]	60
OBR. 24) ZPŮSOBY UPNUTÍ SNÍMAČŮ POLOHY U PV DLE ISO NOREM [33] ...	61
OBR. 25) PRINCIP FUNKCE VZDUCHOVÉHO TLUMENÍ U PV [25]	62
OBR. 26) UPOZORNĚNÍ NA RIZIKO POŠKOZENÍ VODÍČÍHO POUZDRA NEROTAČNÍCH PÍSTNIC [34].....	64
OBR. 27) SCHÉMA PRINCIPU TESTOVÁNÍ EXTERNÍHO ÚNIKU VZDUCHU PŘES PÍSTNICOVÉ TĚSNĚNÍ	66
OBR. 28) ŘEZ PÍSTNICOVÝM TĚSNĚNÍM V OBDÉLNÍKOVÉ DRÁŽCE [16].....	68
OBR. 29) DOPORUČENÁ ZAVÁDĚCÍ HRANA PRO MONTÁŽ PÍSTNICOVÉHO TĚSNĚNÍ [28].....	68
OBR. 30) UTĚŠŇOVANÝ PROSTOR S A PŮSOBENÍ TLAKU VZDUCHU P [27] ...	69
OBR. 31) UMÍSTĚNÍ O-KROUŽKU V PV DLE ISO 15552.....	69
OBR. 32) DOPORUČENÁ ZAVÁDĚCÍ HRANA PRO MONTÁŽ O-KROUŽKU [28]	70
OBR. 33) ÚVODNÍ PROJEKTOVÝ LIST [23]	74
OBR. 34) GANTTŮV DIAGRAM PROJEKTU DMAIC [36].....	75
OBR. 35) PARETOVA ANALÝZA PV DLE ISO 6432	77
OBR. 36) ISHIKAWŮV DIAGRAM PRO PV DLE ISO 6432.....	78
OBR. 37) MONTÁŽ PÍSTNICOVÉHO TĚSNĚNÍ	80
OBR. 38) PŘEHLED HRAN, KTERÉ BY MĚLY BÝT ZAOBLENÉ.....	81
OBR. 39) P DIAGRAM ÚROVNĚ KVALITY NA TESTU BĚHEM 9 TÝDNŮ SBĚRU DAT	83
OBR. 40) NÁČRT SPECIÁLNÍHO ZAKONČENÍ PÍSTNICE S ŘEZANÝM ZÁVITEM	83
OBR. 41) OSTRÁ NÁBĚHOVÁ HRANA A STOPY PO OBRÁBĚNÍ	88
OBR. 42) NÁČRT SOUČASNÉHO VÝKRESU TUBY	89
OBR. 43) NÁČRT NÁVRHU ZMĚNY VÝKRESU TUBY	89

11 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – seznam používaných ISO norem
- Příloha 2 – školení operátorů na lince PV dle ISO 6432
- Příloha 3 – souhrnná databáze úniků
- Příloha 4 – řešení problému úniku vzduchu na lince PV dle ISO 15552
- Příloha 5 – řešení problému úniku vzduchu na lince PV dle ISO 21287