

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

VYUŽITÍ ANALYTICKÝCH NÁSTROJŮ ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY PŘI ŘEŠENÍ NESHODY U DODAVATELE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Diplomová práce

Bc. Zdeněk ŠOUKAL

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Martin Foltá, Ph.D., EUR ING.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Bc. Zdeněk Šoukal**

Studijní program: Ekonomika a management

Specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Název tématu: **Využití analytických nástrojů zlepšování kvality při řešení neshody u dodavatele v automobilovém průmyslu**

Cíl: Cílem diplomové práce je popsat metody a nástroje využívající se k řešení neshod v automobilovém průmyslu, pomocí nich analyzovat vybraný neshodný díl po rekvalifikačním testování produktu, na základě této analýzy navrhnout nápravná opatření vedoucí k odstranění příčin této neshody a vyhodnotit účinnost navržených nápravných opatření s cílem eliminovat opětovný výskyt neshody.

Rámcový obsah:

1. Proces plánování kvality produktu a charakteristika jednotlivých metod a nástrojů zlepšování kvality
2. Proces rekvalifikace a požadavky zákazníků a normy IATF 16949:2016 v automobilovém průmyslu
3. Analýza vybraného neshodného dílu na základě výsledků rekvalifikačních testů
4. Návrh nápravných opatření k odstranění příčin neshod vznikajících v rámci procesu rekvalifikace
5. Ověření účinnosti navržených nápravných opatření s cílem eliminovat příčiny neshody

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. NENADÁL, J. *Management kvality pro 21. století*. 1. vyd. Management Press, 2018. 366 s. ISBN 978-80-7261-561-2.
2. LINDSAY, W M. *Managing for quality and performance excellence*. 10. vyd. Cengage Learning, 2017. 701 s. ISBN 978-1-305-66254-4.
3. RAMBAUD, L. *8D Strukturovaný přístup k řešení problémů*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. 139 s. 1. české vyd. ISBN 978-80-02-02347-0.
4. STAMATIS, D. *Advanced Product Quality Planning The Road to Success*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2021. 288 s. ISBN 978-1-138-39458-2.
5. IMAI, M. *Gemba Kaizen*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 80-251-0850-3.

Datum zadání diplomové práce: únor 2021

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2022

L. S.

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2021

Bc. Zdeněk Šoukal
Autor práce

Elektronicky schváleno dne 5. 5. 2021

Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D.
Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 8. 5. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 9. 5. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.
Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.12 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mě požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 13. 05. 2022

Děkuji Ing. et Ing. Martinu Foltovi, Ph. D., EUR ING. za odborné vedení závěrečné diplomové práce a za poskytování cenných rad a informací k úspěšnému dokončení práce.

Obsah

Úvod.....	12
1 Proces plánování kvality produktu	13
1.1 Definování projektu	14
1.2 Vývoj výrobku.....	15
1.3 Vývoj procesu.....	16
1.4 Validace výrobku a procesu	18
1.5 Sériová výroba	22
2 Metody a nástroje zlepšování kvality	24
2.1 Základní nástroje a metody zlepšování kvality	24
2.2 Další metody a nástroje.....	32
3 Rekvalifikace a požadavky zákazníků a normy IATF 16949:2016.....	37
3.1 Rekvalifikační zkoušky	37
3.2 Požadavky normy IATF 16949:2016 na proces rekvalifikace.....	37
3.3 Požadavky z pohledu OEM zákazníků v automobilovém průmyslu	38
4 Analýza vybraného neshodného dílu.....	40
4.1 Řešený problém	40
4.2 Úvodní kroky analýzy	42
4.3 Analýza příčiny vady	45
4.4 Laboratorní analýza pružin.....	52
5 Návrh nápravného a preventivního opatření.....	59
5.1 Nápravné opatření – Výběr nového dodavatele	60
5.2 Preventivní opatření	61
6 Ověření nápravného a preventivního opatření.....	62
6.1 Ověření nápravného opatření – validace produktu	62
6.2 Ověření preventivního opatření – validace procesu	65
6.3 Opakované životnostní testy	67
Závěr	70
Seznam literatury	71
Seznam obrázků a tabulek.....	73

Seznam příloh 75

Seznam použitých zkratk a symbolů

AAR	Appearance Approval Report
AIAG	The Automotive Industry Action Group
AP	Action Priority
APQP	Advance Product Quality Planning
ASTM	American Society for Testing and Materials
CL	Centrální přímka
CP	Index způsobilosti procesu
CPK	Index způsobilosti procesu
CSR	Customer Specific Requirements
ČSN	Česká technická norma
DFMEA	Design Failure Mode and Effect Analysis
EN	Evropská norma
IATF	International Automotive Task Force
LCL	Dolní regulační mez
LPA	Layered process audit
MSA	Measurement system Analysis
OEM	Original Equipment manufacturer
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PDR	Production Demonstration Run
PFMEA	Process failure mode and Effect Analysis
PPAP	Production Part Approval Process
PPM	Parts per milion
PSW	Part Submission Warrant
RPN	Risk Priority number
SPC	Statistical process control

SPV	Supplier Product Validation
SQE	Supplier Quality Engineer
UCL	Horní regulační mez
VDA	Verband der Automobilindustrie

Úvod

V rámci automobilového průmyslu jsou různě nastaveny důkladné procesy a postupy pro řešení neshod během různých fází produktového cyklu. Už v prvních fázích plánování kvality produktu je uvažováno nad jednotlivými potenciálními problémy a riziky, která mohou nastat během životnosti daného produktu. Tato diplomová práce se bude snažit představit na konkrétních příkladech využití analytických nástrojů zlepšování kvality při řešení neshody u dodavatele v automobilovém průmyslu, přičemž tato neshoda nastala ve fázi rekvalifikačních testů. Rekvalifikační testy produktu byly prováňeny na základě požadavků zákazníka po přesunu výrobního procesu dodavatele ze zahraniční pobočky společnosti do pobočky v České republice.

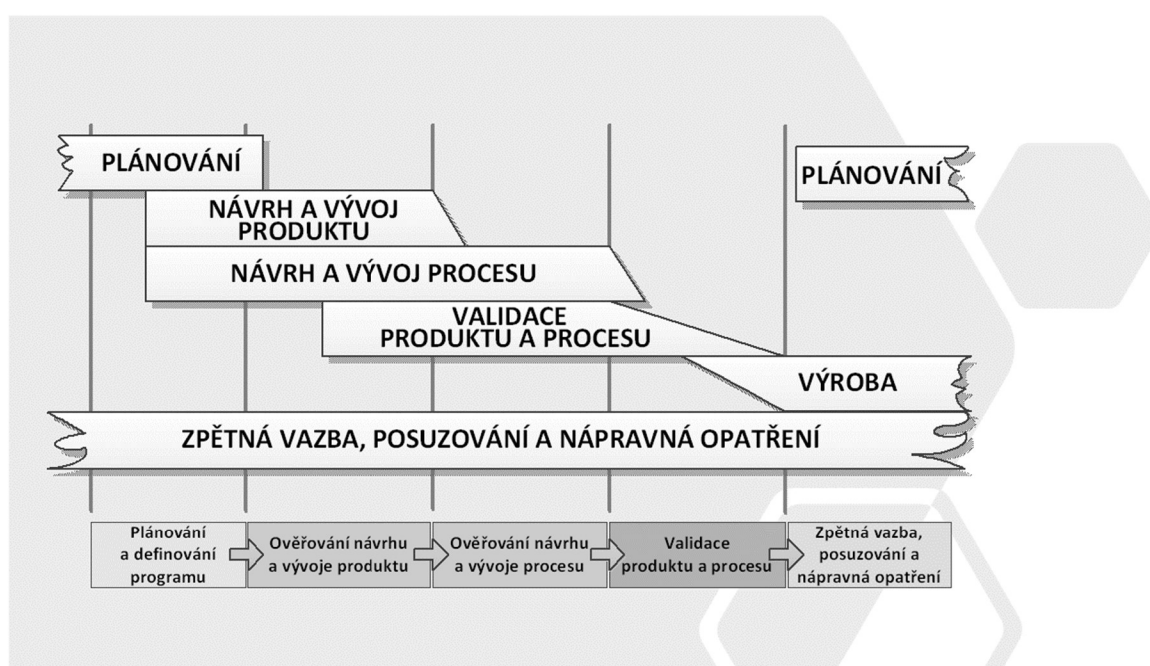
Cílem diplomové práce je popsat metody a nástroje využívající se k řešení neshod v automobilovém průmyslu, pomocí nich analyzovat vybraný neshodný díl po rekvalifikačním testování produktu, na základě této analýzy navrhnout nápravná opatření vedoucí k odstranění příčin této neshody a vyhodnotit účinnost navržených nápravných opatření s cílem eliminovat opětovný výskyt neshody.

Diplomová práce je rozdělena do šesti kapitol. V prvních třech kapitolách, které jsou součástí teoretické části práce, se autor diplomové práce zabývá detailním popisem jednotlivých fází procesu plánování kvality produktu, dále popisem základních i pokročilejších nástrojů a metod managementu kvality a v poslední kapitole také pohledem mezinárodní automobilové normy IATF 16949 a jednotlivých zákaznických požadavků na ověřování způsobilosti produktu v jednotlivých fázích výrobního cyklu.

Kapitoly čtyři až šest jsou zaměřeny na praktický přístup k řešení neshody při rekvalifikačním testování u dodavatele v automobilovém průmyslu. Vzhledem k charakteru neshody není v celé práci uváděn název společnosti. Ve čtvrté kapitole je analyzován neshodný díl s využitím základních i pokročilejších nástrojů a metod managementu kvality popsaných v teoretické části práce. Poté, co je nalezena a ověřena příčina neshody, se diplomová práce zabývá, v páté kapitole, návrhem nápravného opatření pro odstranění příčiny neshody a v kapitole šesté ověřením a vyhodnocením účinnosti tohoto navrženého nápravného opatření.

1 Proces plánování kvality produktu

V rámci automobilového průmyslu existují různé metody a soustavy postupů, které mají kořeny v Japonsku. Nicméně ten nepoužívanější rámec ve fázi plánování kvality produktu a vývoje procesu má své kořeny ve Spojených státech. Jedná se o standard APQP (Advanced Product Quality Planning), vyvinutý v amerických společnostech General Motors, Ford a Chrysler. APQP představuje proces plánování kvality produktu s ohledem na maximální uspokojení všech požadavků zákazníka. Celý proces je definován ve stejnojmenné příručce (Advanced Product Quality Planning and Control Plan, 2008) od celosvětové organizace The Automotive Industry Action Group. Cílem první kapitoly práce je detailní popis všech pěti dílčích kroků procesu plánování kvality produktu, tak jak jsou stanoveny ve výše zmíněné příručce. Schéma procesu plánování kvality a jednotlivé kroky jsou vyobrazeny na obr. 1.

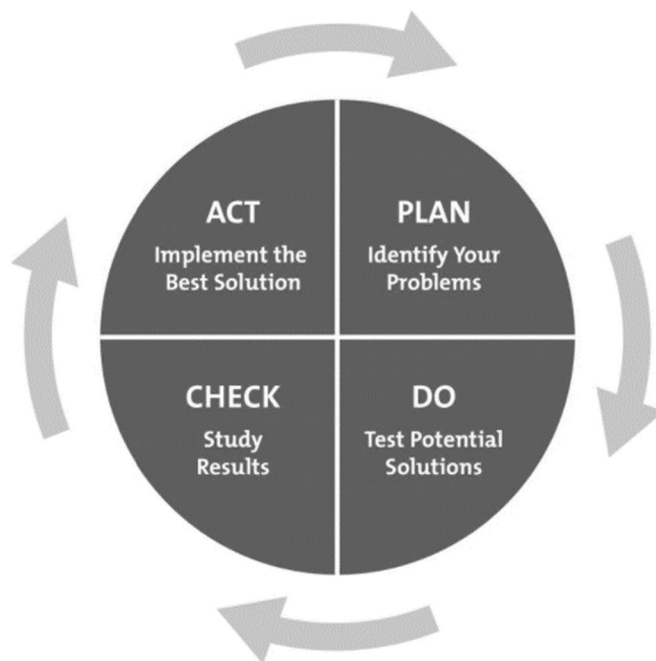


Zdroj: (KCM Consulting, 2022)

Obr. 1 Schéma procesu APQP

1.1 Definování projektu

Celý proces plánování kvality produktu je odvozený od Demingova cyklu PDCA (obr. 2). Demingův cyklus je metoda řízení, nejčastěji používaná právě v řízení kvality, probíhající ve čtyřech krocích: Plan – Do – Check – Act neboli Plánuj – Proved' – Ověř – Jednej.



Zdroj: (The W. Edwards Deming Institute, 2021)

Obr. 2 Demingův cyklus PDCA

Cílem každého projektu je splnit zákaznické požadavky a očekávání, je tedy nutné na tento cíl myslet už od prvních fází projektu. Prvním krokem je tedy pochopení tohoto cíle a pochopení jednotlivých zákaznických požadavků a zákaznických očekávání. Pro úspěšné odstartování fáze definování projektu je potřeba získat různé vstupy (disponovat určitými předešlými zkušenostmi), mezi které patří například: zákaznické požadavky, marketingové průzkumy, vyjednávací pozice se zákazníky, data z předešlých projektů (reklamace, záruční reklamace, interní reporty, Problem-Solving záznamy), týmové zkušenosti, marketingová strategie, Benchmarking, Business plán a další data a dokumentace. Výstupem z fáze Definování projektu jsou produktové, designové a kvalitativní cíle, prvotní soupisy

materiálů, první verze návrhu procesní mapy, určení klíčových a specifických charakteristik a úvodní verze technické specifikace produktu.

1.2 Vývoj výrobku

Po úvodní fázi, při které byly definovány základní položky celého projektu se přechází do fáze vývoje vlastního produktu. Vývoj produktu je nepřetržitý proces, který pokračuje i ve fázi, kdy je produkt uveden do sériové výroby, tak aby společnost byla schopna neustále splňovat nové a přísnější zákaznické požadavky. Cílem vývoje produktu je navrhnout takový výrobek, který bude společnost schopna za daných celkových výrobních nákladů a s daným technologickým vybavením vyrobit, tak aby zároveň byl výrobek bezvadný a dokázal splnit všechny funkční, designové, cenové i kvalitativní požadavky zákazníka. V prvním kroku vývoje výrobku se tedy vývojové týmy nezaměřují na produkt samotný ale spíše na prvotním rozvržení a prioritizaci jednotlivých požadavků. Druhým krokem je určení způsobu vývoje produktu – zda bude společnost vyvíjet zcela nový produkt, bude renovovat svůj vlastní produkt nebo bude vyvíjet produkt, který se již na trhu vyskytuje.

Dalším krokem je seznámení se se zákaznickými a všeobecně uznávanými (či vyžadovanými) standardy, regulacemi, pravidly a zákony, které bude muset společnost dodržovat, popřípadě produkt bude muset splňovat. Čtvrtým krokem je určení vývojových kritérií (na základě požadavků a nalezených standardů, regulací a zákonů z předešlého kroku). Následně již probíhá návrh samotného produktu. Nejprve pomocí 3D modelů, výkresů a simulací ve virtuálním prostředí a následně se navržený produkt sestaví i v reálném prostředí a ověří se jeho funkčnost, případně se celý návrh optimalizuje, opět nejdříve ve virtuálním prostředí, poté i ze skutečných materiálů. Výsledný návrh se poté detailně zpracuje (výkresová dokumentace, 3D data, technická specifikace) a kompletně zpracovaný návrh včetně celé dokumentace se může poslat do další fáze plánování produktu (Stamatis, 2021).

1.3 Vývoj procesu

Jakmile došlo k úspěšnému završení fáze vývoje produktu je možno přejít k dalšímu kroku, kterým je vývoj procesu, přičemž cílem je definovat podmínky, ve kterých bude finální produkt vyráběn, tak aby splňoval kvalitativní cíle a zároveň tak, aby došlo k uspokojení zákazníka.

Myšlenkou vývoje procesu v oblasti řízení kvality se už v padesátých letech dvacátého století zabýval rumunsko-americký teoretik řízení kvality Joseph Moses Juran. V jeho knize Juran's Quality Handbook (1998), kterou sepsal se svým kolegou Blantonem Godfreyem, uvádí jedenáct důležitých aktivit, které jsou nutné pro správný vývoj výrobního procesu:

- 1 Kontrola cílů produktu
- 2 Identifikace provozních podmínek
- 3 Shromažďování informací o alternativních procesech
- 4 Výběr obecného návrhu procesu
- 5 Základní identifikace procesních prvků a cílů procesu
- 6 Podrobná identifikace funkce prvků a cílů procesu
- 7 Identifikace kritických faktorů a možných lidských chyb
- 8 Optimalizace funkce procesu a cíle procesu
- 9 Stanovení schopnosti procesu plnit kvalitativní požadavky
- 10 Nastavení konečných procesních prvků a primárních cílů procesu
- 11 Sestavení konečného návrhu procesu

V prvním kroku je nutná kontrola kvalitativních cílů produktu s ohledem na předem stanovené náklady a požadavky těch, kteří budou o výsledné kvalitě či nekvalitě rozhodovat. Následuje identifikace provozních podmínek, kdy by mělo být zjištěno, zda je společnost schopna nastavit takový proces, který pochopí jak uživatelé tohoto procesu, tak i lidé zodpovědní za chod tohoto procesu. Ve třetím kroku je úkolem plánovacího týmu shromáždit informace o všech potenciálně využitelných procesech, které mohou dopomáhat dosažení cílů produktu. V rámci čtvrtého kroku tým definuje obecný popis procesu, tzn. vytváří základní diagram hlavních procesních aktivit, které se následně budou dělit na dílčí procesy a budou podrobněji popsány veškeré aktivity na všech úrovních procesu.

Pátým krokem je základní identifikace procesních prvků a cílů procesu. Procesní prvky jsou jednotlivé vlastnosti a atributy, potřebné pro dosažení cíle a odpovídají na otázku: Jaké mechanismy potřebujeme k tomu, abychom vytvořili takové podmínky, které povedou ke stálému plnění všech předem stanovených cílů kvality, a to bez jakýchkoliv nedostatků? Zatímco v pátém kroku se tým zaměřuje pouze na hlavní a základní prvky a cíle procesu, v kroku šestém se dostává k podrobnému popisu a identifikaci prvků a cílů všech dílčích i méně důležitých procesů.

Jeden z nejvíce klíčových kroků je krok Identifikace kritických faktorů a možných lidských chyb. „Kritické faktory jsou aspekty, které představují vážné nebezpečí pro lidský život, zdraví a životní prostředí nebo představují riziko ztráty velkého množství peněz“ (Juran, Godfrey, 1998, str. 80). Mezi kritické faktory řadíme technické chyby, chyby z nedostatku zpětné vazby a chyby plynoucí ze ztráty neustálé koncentrace (nazývané též jen lidské chyby). Už v době návrhu procesu by tedy společnosti měli dbát na minimalizaci rizik plynoucích z lidských chyb. Jednou z možností, jak eliminovat rizika plynoucí z lidských chyb je odstranění jejich příčin, nebo navržením takového procesu, který bude tyto chyby schopen bezchybně detekovat. Jedním z nejvyužívanějších fyzických nástrojů v automobilovém průmyslu pro zabránění vzniku chyb z lidské nepozornosti jsou takzvaná Mistake proofing zařízení. Nejpoužívanějším teoretickým nástrojem je takzvaná PFMEA = Process Failure Mode and Effect Analysis neboli Procesní analýza možného výskytu vad a jejich následků.

Základní tabulka pro tvorbu FMEA analýzy (dle AIAG) je uvedena na obrázku 3. Podrobněji bude popsán tento nástroj v následujících kapitolách.

Prvek ----- Funkce	Možná vada	Možné následky vady	V ý z n a m	K r i t i č n o s t	Možné Příčiny (mechanismy vady)	V ý s k y t	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení procesu	O d h a l i t e l n o s t	R P N	Dopo- ručená opatření	Odpovědnost ----- Termín	Provedená opatření	V ý z n a m	V ý s k y t	O d h a l i t e l n o s t	R P N

Zdroj: (Lean6sigma.cz, 2022)

Obr. 3 Základní tabulka FMEA

Na základě výstupu z kroku číslo sedm, v nadcházejícím kroku se tým opět vrací k definici jednotlivých procesních prvků a cílů, které optimalizuje s ohledem na nalezená rizika spjatá se ztrátou koncentrace a s ohledem na příčiny těchto rizik. Po úpravě jednotlivých prvků a cílů je nutné zjistit schopnost navrženého procesu plnit stanovené kvalitativní požadavky. Jakmile je tato schopnost potvrzena a doložena, je možno přejít k finálnímu popisu celého procesního toku a proces může být představen širšímu okruhu zainteresovaných stran ve společnosti.

1.4 Validace výrobku a procesu

Každá společnost v dodavatelském řetězci v automobilovém průmyslu je povinna validovat svůj výrobní proces a finální výrobek. Tato povinnost je stanovena nejen v příručce APQP, ale také v rámci požadavků jednotlivých zákazníků a také na základě normy IATF 16949:2016. Závěrem každé validace výrobku a výrobního procesu by měl být dokumentovaný výstup skládající se z (Advanced Product Quality Planning and Control Plan, 2008):

- PDR (Production Demonstration Run)
- MSA (Measurement system analysis)
- SPC (Statistical process control)
- Kontrolní plán
- Report z validačního testu
- PPAP (Production Part Approval Process)

Jak už bylo zmiňováno v přehledu dříve, prvním výstupem validace produktu a procesu by měl být Production Demonstration Run (PDR), pomocí kterého se dosáhne validace efektivnosti celého výrobního procesu (určení, zda je proces natolik efektivní, že dokáže splnit jak kvalitativní, tak i kvantitativní požadavky zákazníků). PDR se vždy provádí za běžných výrobních podmínek na sériovém výrobním zařízení a na dávce stanovené zákazníkem, často je potřeba zahrnout i efektivnost výrobního zařízení a výrobních procesů jednotlivých sub-dodavatelů.

Výstup z Production Demonstration Run se dále používá k analýze systémů měření (MSA – Measurement Systems Analysis). Analýza měřicího systému je sada postupů, které slouží k vyhodnocování nastaveného systému měření, a to z pohledu opakovatelnosti měření i reprodukovatelnosti měření. „Opakovatelnost výsledků měření je těsnost shody mezi výsledků po sobě následujících měření téže měřené veličiny provedených za stejných podmínek měření, přičemž reprodukovatelnost (výsledků měření) je shodnost za podmínek reprodukovatelnosti, kdy výsledky zkoušek se získají stejnou metodou na identických zkoušených jednotkách, v různých laboratořích, různými operátory, používající různé vybavení“ (ČSN ISO 22514-7, 2014, str. 13–14). Cílem je nalézt vlivy různých faktorů, vstupujících do procesu, na proměnlivost výsledků měřicího systému.

Dalším krokem validace je předběžná analýza procesu pomocí Statistické regulace procesu (SPC) prováděné na charakteristikách stanovených v kontrolním plánu. Slouží k tomu, aby byla daná společnost schopna okamžitě reagovat na změny ve výrobním procesu, vedoucí k neshodám. Negativní změny výrobního procesu jsou při Statistické regulaci procesu okamžitě zaznamenány tím, že se sledovaný parametr (vyjádřený Gaussovou křivkou) dostane v grafickém zobrazení mimo

toleranční meze. Nejčastěji používaným nástrojem v případě Statistické regulace procesu jsou takzvané Shewhartovy regulační diagramy.

Kontrolní plán je neustále aktualizovaný dokument, který popisuje systém a postup kontroly jednotlivých specifických produktových charakteristik. Tento plán musí být pravidelně revidován na základě aktuálních nálezů a změn v průběhu životnosti produktu (procesu).

Shoda produktu vyrobeného pomocí sériového nářadí se zákaznickými technickými specifikacemi ověřujeme pomocí validačního testování. Nejprve je vytvořen, za účasti zástupců vývojových týmů zákaznické i dodavatelské strany, testovací plán, následně se provádí jednotlivé testovací plánem stanovené testy (v laboratořích u zákazníka nebo u dodavatele, popřípadě v externích laboratořích). V případě pozitivních nálezů vydává laboratoř pozitivní test report s výsledkem jednotlivých testů i s celkovým výsledkem validace výrobku a procesu. Tento proces se provádí nejen v době vývoje produktu, ale také při změnovém řízení v průběhu životnosti produktu. Někteří zákazníci dokonce stanovují pravidelné revalidační testy (například jedenkrát za rok), bez ohledu na to, zda byla v uplynulém období prováděna nějaká změna na produktu, případně ve výrobním procesu (v rámci celého dodavatelského řetězce).

Jednotlivé výstupy ze všech mezikroků validace procesu a produktu se v poslední fázi využívají při schvalovacím procesu zákazníka (v automobilovém průmyslu se tento proces nazývá PPAP – Production Part Approval Process). Cílem tohoto procesu je finální rozhodnutí o shodě produktu s požadavky a oficiální uvolnění výrobku a výrobního procesu do sériové výroby.

Spolu s dokumentací (požadavky na dokumentaci dle příručky pro PPAP vydané americkými automobilkami Daimler, General Motors a Ford jsou uvedené v tabulce 1) se předkládají také první sériově vyrobené vzorky vyvíjeného produktu.

Tab. 1 Přehled předkládané dokumentace během PPAP procesu

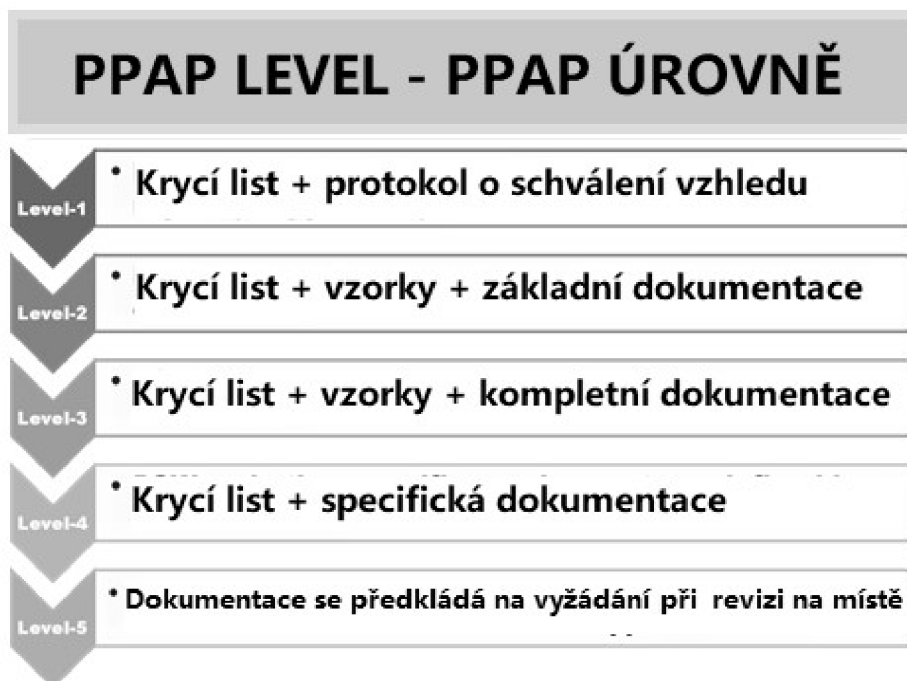
Výkresová dokumentace	Materiálové zkoušky
Dokumentace o technických změnách	Studie způsobilosti procesu (SPC)
Technické chválení zákazníkem	Potvrzení kvalifikované laboratoře
Design FMEA	Appearance Approval Report (AAR)
Process FMEA	Vzorky výroby
Vývojový diagram procesu	Kontrolní prostředky a měřidla
Kontrolní plán	Prohlášení o shodě s požadavky zákazníka
MSA (Analýza systému měření)	Hraniční / Referenční vzorky
Náměrové protokoly	Průvodka předložení dílu (PSW – Part Submission Warrant)

Zdroj: (Production Part Approval Process, 2006)

Stejná příručka také stanovuje pět úrovní předložení dokumentace při schvalovacím procesu. Jednotlivé úrovně určují nejen rozsah předkládané dokumentace, ale také zda musí být dokumentace předkládána v okamžiku schvalovacího procesu (společně se vzorky) nebo je dokumentace sdílena až po určité době, kdy si zákazník o určitou část dokumentace požádá (Production Part Approval Process (PPAP), 2006).

Jak je uvedeno na obrázku 4, nejnižší úrovní PPAP procesu je Level-1, při kterém musí společnost předkládat průvodku předložení dílu (PSW – Part Submission Warrant) a Appearance Approval Report (AAR), ostatní dokumenty není nutné předkládat při schvalovacím procesu, nicméně i tak je musí společnost vytvořit a

nadále udržovat, tak aby je byla schopna na vyžádání okamžitě předložit v aktuálním stavu. Při druhé úrovni musí k dokumentům z předchozí úrovně předkládat i část podpůrné dokumentace a vzorky. V úrovni Level-3 předkládá žadatel o schválení kompletní dokumentaci. Na čtvrté úrovni schvalování je nutné udržovat kompletní dokumentaci, a navíc i další specifické, zákazníkem definované dokumenty. V případě Level-5 dochází k auditu předkládané dokumentace přímo na místě žadatele o pozitivní uvolnění výroby a produktu o sériové výroby.



Zdroj: (Techqualitypedia.com, 2021)

Obr. 4 PPAP stupně

1.5 Sériová výroba

Poslední fází plánovacího procesu je převedení vyvinutého procesu a produktu do sériové výroby. Během procesu přesunu procesu a produktu z před sériové výroby do sériové musí být nastaveno několik dalších podpůrných procesů, které by měly zajistit stabilní a dlouhodobé udržení (nejlépe však neustále zlepšování) kvality procesu a produktu, které nadále povede k neustálému uspokojování všech potřeb jednotlivých zákazníků. Je potřeba nastavit účinné kontrolní postupy pro jednotlivé procesy, nastavit systém interních i externích auditů (procesní audity i produktové audity), zajistit možnosti předávání zpětné vazby a naplánovat systém pro neustále

sledování aktuálního stavu procesu, projektu a výrobku (online sledování aktuálního výrobního výstupu, sledování efektivnosti, vad a reklamací a v neposlední řadě zajistit dostatečné zaučení všech zainteresovaných stran, tak aby všichni znali smysl a cíle projektu.

2 Metody a nástroje zlepšování kvality

V normě ISO 9000:2015 je stanoveno sedm základních zásad managementu kvality. Patří sem Zaměření na zákazníka, Vedení a řízení lidí, Zapojení lidí, Procesní přístup, Systémový přístup k managementu, Přístup k rozhodování na základě faktů a Vzájemně prospěšné dodavatelské vztahy. Posledním ze základních principů systému managementu kvality je neustálé zlepšování, které vede společnost nejen ke zvýšení efektivity výrobního procesu, ale také k úspoře nákladů a jejich efektivnímu využívání. Pojem neustálé zlepšování vychází z japonské filozofie Kaizen, která v doslovném překladu znamená změna k něčemu lepšímu.

K tomu, aby byla společnost schopna neustále zlepšovat svůj proces, potřebuje vhodně měřit a pojmenovávat jednotlivé situace v procesu, výsledky tohoto měření vhodně analyzovat a výstupy z analýz správně zpracovávat a reagovat na ně. Z tohoto důvodu byly po celou dobu historie managementu kvality vyvinuty vhodné metody a nástroje řízení a zlepšování kvality v praxi.

V první části této kapitoly je popsáno sedm základních nástrojů (Seven Tools), které byli v průběhu padesátých let zformulovány japonským univerzitním profesorem Kaoruem Işikawou a již v předchozí kapitole zmiňovaným Edwardem Demingem. V druhé části kapitoly budou následně představeny i další, rozšířené metody a nástroje pro řízení a zlepšování kvality v automobilovém průmyslu.

2.1 Základní nástroje a metody zlepšování kvality

Jak už bylo zmíněno v úvodní části této kapitoly, nejprve budou představeny jednotlivé základní metody a nástroje zlepšování kvality. Konkrétně se jedná o Kontrolní tabulky a záznamníky, Diagram příčin a následků, Histogram, Vývojový diagram, Bodový diagram, Paretův diagram a Regulační diagramy.

2.1.1 Kontrolní tabulky a záznamníky

Kontrolní tabulky a záznamníky vychází z jednoduchého a systematického seznamu položek či kroků, seřazených pod sebe, které se využívají ke kontrole správnosti postupu, k hodnocení stávajícího stavu procesů nebo pro sběr dat z výrobního procesu či kontrolního postupu. Tak aby mohli sloužit k záznamu konkrétního stavu, musí kontrolní tabulky a záznamy obsahovat rozlišovací informace v hlavičce. Nejčastěji se uvádí datum záznamu, čas záznamu, označení daného procesu (co je sledováno, zapisováno) a jméno operátora, který daný záznam prováděl. Kontrolní tabulky a záznamníky mohou mít jak papírovou, tak i elektronickou formu. Na obrázku číslo 5 je uveden příklad kontrolního záznamníku.

Telephone Interruptions

Reason	Day					Total
	Mon	Tues	Wed	Thurs	Fri	
Wrong number	+++			+++	+++	20
Info request						10
Boss	+++		+++			19
Total	12	6	10	8	13	49

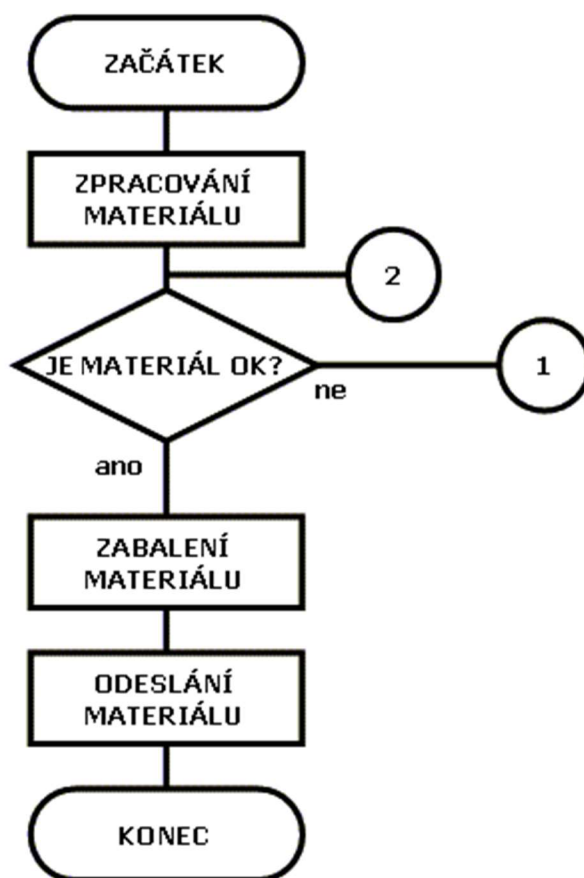
Zdroj: (N. R. Tague, 2004, str. 141)

Obr. 5 Kontrolní záznamník

2.1.2 Vývojový diagram

K popisu jednotlivých kroků a sub-procesů či k popisu pracovních postupů a algoritmů slouží vývojové digramy. K znázornění průběhu daného procesu se ve vývojových diagramech používají různé symboly a různé tvary geometrických obrazců. Obdélníky vyjadřují jednotlivé kroky procesu, které je nutno zpracovat, než je možno přistoupit k dalšímu kroku. Šipky vyjadřují směr toku řízení daného procesu a kosočtverec určuje rozvětvení procesu na několik dílčích sub-procesů. Začátek a konec celého procesu je obvykle znázorněn kruhem či oválem. Existuje však i mnoho dalších, kombinovaných symbolů (např. obdélník s vlnitou spodní hranou znamená dokument, který vstupuje do procesu nebo může být i výstupem

z procesu). Příklad vývojového diagramu jednoduchého procesu je uveden na obr. 6.



Zdroj: (ikvalita.cz, 2015-2016)

Obr. 6 Příklad vývojového diagramu

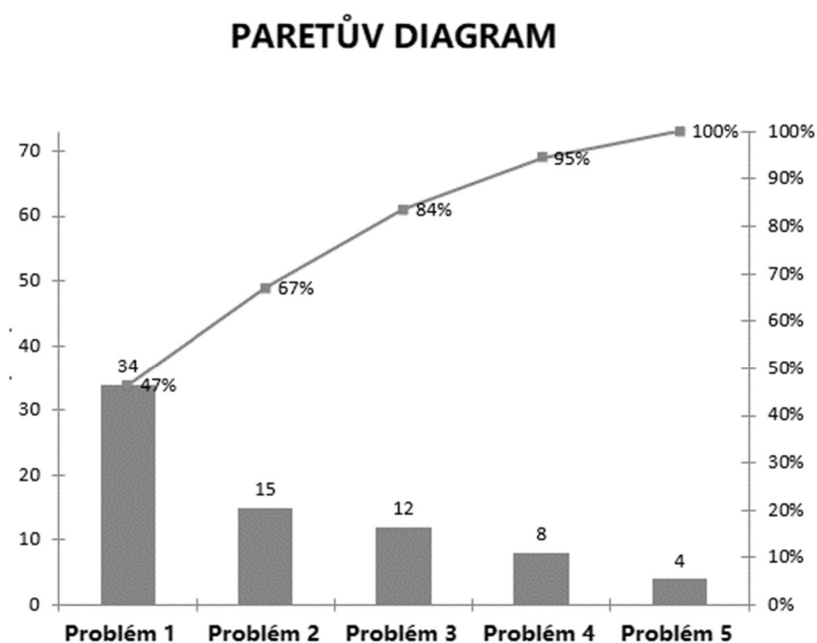
2.1.3 Histogram

Jedná se o zvláštní sloupcový diagram, který vyjadřuje rozdělení četností hodnot v intervalech, přičemž šířka intervalu sledovaného znaku je vyjádřena pomocí šířky sloupce histogramu. Tento nástroj slouží k analýze zobrazení rozdělení sledovaného znaku z pohledu kvality vstupů nebo z pohledu způsobilosti procesu. Pro sestavení histogramu je nejprve doporučen sběr dat (hodnot). K úspěšnému a validnímu posouzení rozdělení sledovaného znaku by těchto hodnot mělo být nejméně 30 (Nenadál, 2018).

2.1.4 Paretova analýza

Paretovo pravidlo 80/20 říká, že 80 % všech neshod ve výrobním procesu je způsobeno pouze 20 % příčin. Vilfred Pareto definoval toto pravidlo na základě jeho výpočtu, který říkal, že 80 % italského národního důchodu je vygenerováno aktivitou 20 % italského národa. Paretův výpočet a pravidlo bylo v minulém tisíciletí přetvořeno i do grafické podoby, a tak vznikl Paretův digram. Ten je tvořen četnostmi jednotlivých sledovaných kategorií (sloupce grafu) a kumulativními hodnotami četností jednotlivých kategorií, které jsou v grafu zaneseny jako Lorenzova křivka (viz. Obr. 7). Pro správné sestavení Paretova digramu je potřeba dodržet níže uvedený postup:

- 1) Volba atributivního znaku a jeho kritérium
- 2) Uspořádání dat podle zvoleného kritéria sestupně
- 3) Výpočet relativních kumulativních součtů
- 4) Sestrojení sloupcového grafu
- 5) Sestrojení Lorenzovy křivky



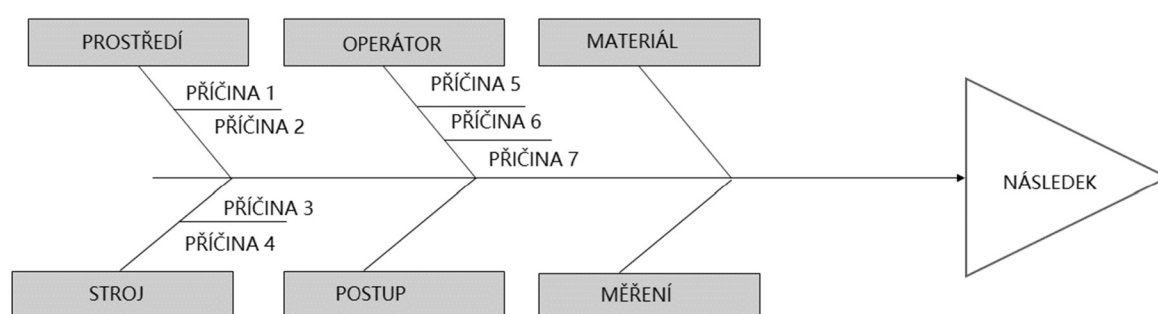
Zdroj: (SPC for Excel, 2021)

Obr. 7 Paretův diagram

2.1.5 Diagram příčin a následků

K efektivnímu záznamu souvislostí mezi řešeným problémem a jeho kořenovou příčinou slouží Diagram příčin a následků neboli Ishikawa diagram (někdy se také používá Diagram rybí kosti, kterou tento nástroj připomíná, viz. Obr. 8).

Jeden z názvů pro tento nástroj je odvozen od jména jeho autora. Kaoru Ishikawa ho vynalezl pro brainstormingové akce při řešení problémů a hledání jejich příčin v japonské multinárodní korporaci Kawasaki.



Obr. 8 Diagram rybí kosti

Jak je znázorněno na Diagramu příčin a následků na obrázku 5, příčiny definovaného problému se vždy definují pro 6 různých směrů, které představují jednotlivé prvky výrobního procesu:

- Prostředí
- Operátor, Lidé
- Stroj, Výrobní zařízení
- Materiál
- Postup, Metody
- Měření

2.1.6 Bodový diagram

Bodový diagram se využívá k vyznačení statistické závislosti dvou měřených hodnot. Tento diagram, který se také někdy nazývá Korelační diagram nebo Scatter diagram, zobrazuje jednotlivé sledované veličiny pomocí bodů v grafu a následně je na těchto bodech možno zkoumat jejich rozptyl a směr jejich korelace – čím více jsou tečky na diagramu vzdálené, tím slabší je jejich závislost. V praxi se korelační diagram využívá pro analýzu spokojenosti zákazníka nebo vliv jednotlivých faktorů na výrobní proces (W. M. Lindsay, 2016).

2.1.7 Regulační digramy

Principem statistické regulace procesu (SPC) je kontrola stability procesu, tak aby proces nebyl nedostatečně regulovaný, a tak aby nedošlo k přeregulování procesu. První regulační diagramy, tak jak je známe dnes, byly sestaveny ve dvacátých letech minulého století W. A. Shewhart. Teorie Shewhartových diagramů je založena na principu, že jednotlivé procesy jsou variabilní, přičemž tato variabilita je způsobena náhodnými veličinami nebo příčinami zvláštními. Statisticky zvládnutý proces je poté proces, který je ovlivňován pouze náhodnými veličinami. Cílem statistické regulace procesu a cílem použití regulačních diagramu je tedy nalezení případných zvláštních příčin variability a jejich následné odstranění.

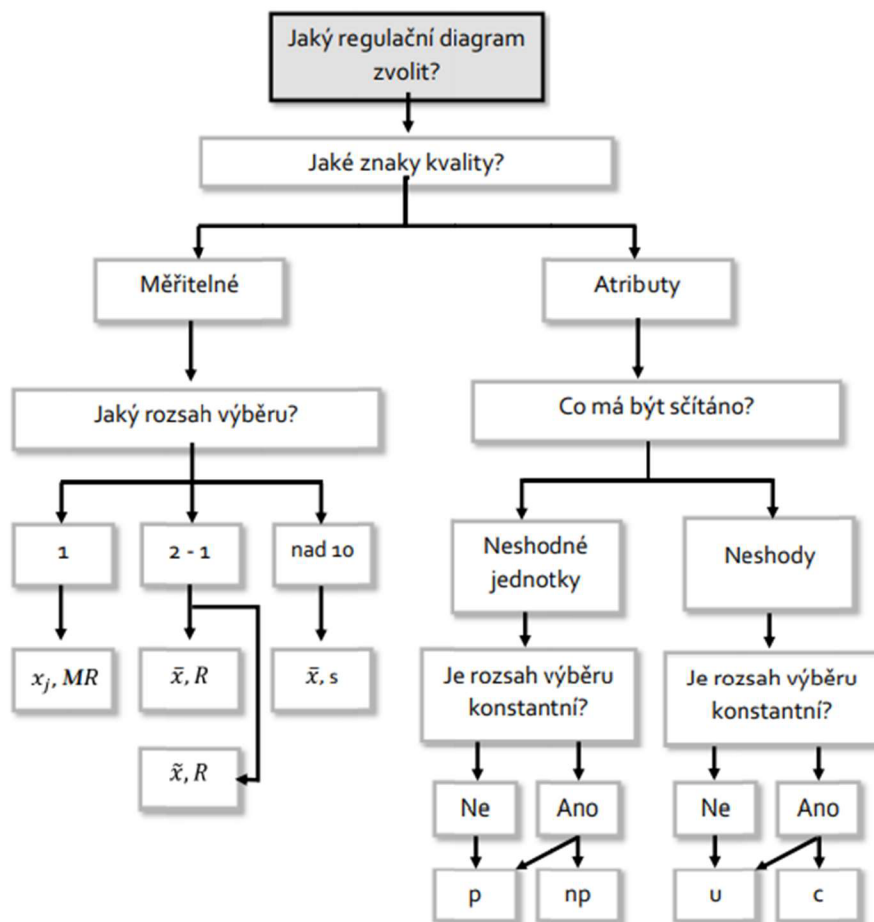
Regulační diagram je vždy tvořen regulačními mezemi UCL a LCL a centrální přímkou CL, při tom UCL je horní regulační mez a LCL je dolní regulační mez. Centrální přímka odpovídá střední hodnotě výběrové charakteristiky (referenční hodnota). Proces, který je statistický zvládnutý je ten proces, jehož jednotlivé naměřené hodnoty leží uvnitř tolerančního pole, vymezeného regulačními mezemi.

Základní diagramy dle W. Shewharta dělíme na dva typy, které jsou určeny druhem veličiny (pro měřitelné veličiny se používají diagramy pro regulaci měřením, pro atributivní znaky se používají diagramy pro regulaci srovnáváním. Pro oba typy statistické regulace se dále používají rozdílné druhy (v případě regulace měřením rozdílné dvojice) diagramů:

- regulace měřením
 - diagramy pro průměr a rozpětí
 - diagramy pro průměr a směrodatnou odchylku
 - diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí

- regulace srovnáváním
 - diagram pro počet neshodných
 - diagram pro podíl neshodných
 - diagram pro počet neshod v podskupině
 - diagram pro počet neshod na jednotku

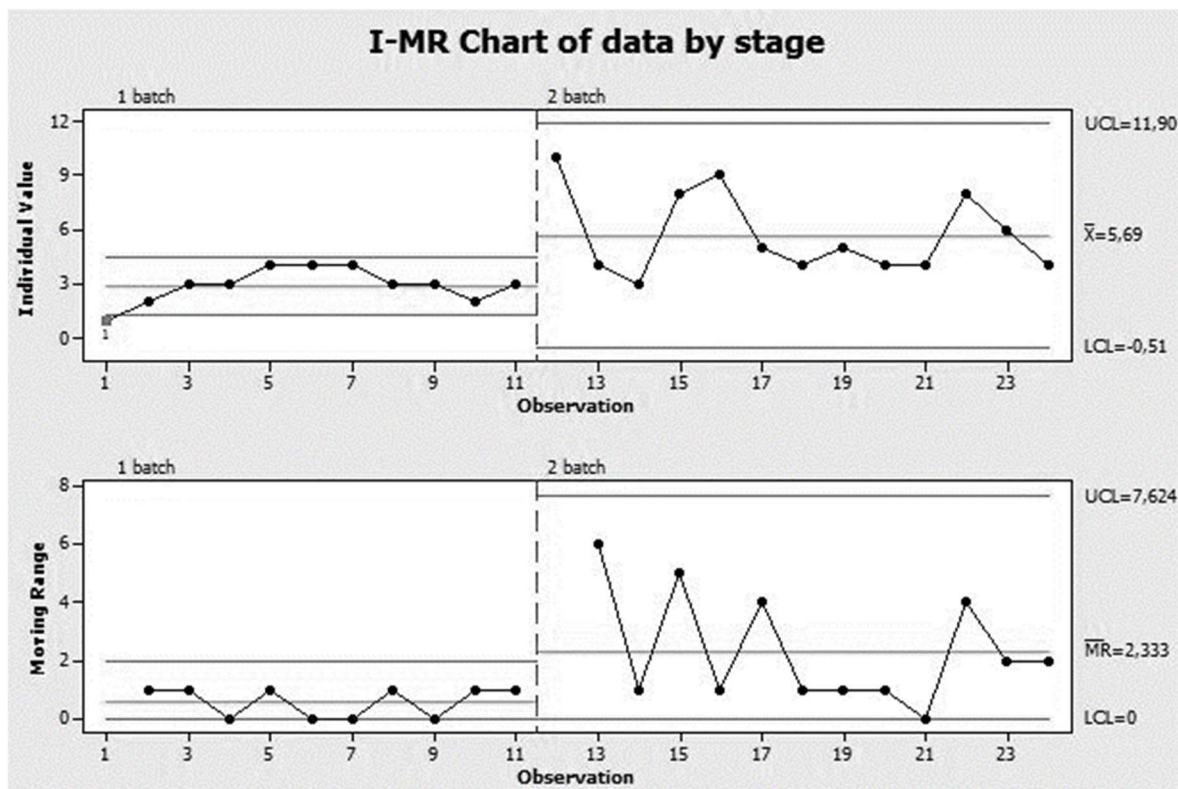
Při regulaci měřením se vždy pracuje se dvěma diagramy z důvodu, že první diagram slouží pro sledování polohy procesu a druhý pro sledování variability procesu. V případě regulace měřením se rozhoduje o použití konkrétní dvojice diagramů dle rozsahu výběru, u regulace atributivní (srovnáváním) záleží výběr na základě rozsahu výběru a dle předmětu sčítání (neshody X neshodné jednotky). Výběrová matice pro určení správného typu regulačního diagramu je na obrázku 9.



Zdroj: (Nenadál, 2018, str. 136)

Obr.9 Rozhodovací strom pro volbu regulačního diagramu

Na obrázku 10 je vyobrazen příklad soustavy regulačních diagramů (regulace měřením) pro individuální hodnoty (horní dva grafy) a klouzavá rozpětí (dolní dva grafy).



Zdroj: (Lean6sigma.cz, 2021)

Obr. 10 Příklad regulačních diagramů

2.2 Další metody a nástroje

V druhé části kapitoly budou popsány další, komplexnější nástroje a metody pro zlepšování kvality. Nejprve bude popsán systém 8D reportu (osmi disciplín), který bude následně provázet celou praktickou část diplomové práce. Dále bude popsána metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), která slouží k odhalování a hodnocení rizik jednotlivých vad produktu a procesu. Na závěr kapitoly budou ještě uvedeny další specifitější nástroje.

2.2.1 8D report

8D report neboli report osmi disciplín, je systémový přístup s cílem nalézt a ověřit kořenové příčiny neshody, následně stanovit a implementovat nápravná a preventivní opatření s cílem eliminace nového výskytu řešené vady a na závěr validovat funkčnost implementovaného nápravného a preventivního opatření.

Zároveň se také využívá k zdokumentování jednotlivých kroků řešení neshod v automobilovém průmyslu.

8D report je nejčastěji vyžadován od dodavatele ze strany zákazníka při řešení reklamací či záručních reklamací. Dříve se velmi často se využíval jako tiskopis, v dnešní době už je 8D report implementován do podnikového softwaru, ve kterém probíhá vyplňování jednotlivých disciplín postupně.

Postup při řešení neshod pomocí 8D reportu probíhá v 8 krocích (Rambaud, 2011):

- 1) Vytvoř tým a proved' sběr informací** (V prvním kroku se uvedou jména všech členů týmu, který pracuje na vyřešení daného problému a určí se vedoucí týmu. Dále se provede základní sběr informací o řešeném problému).
- 2) Popiš problém** (V rámci druhé disciplíny se definuje konkrétní neshoda).
- 3) Definuj okamžitá opatření** (Uvádí se návrh a realizace okamžitých opatření, ve většině případů je nutné zavést do 48 hodin od obdržení informace o neshodě).
- 4) Analyzuj kořenovou příčinu** (Tato část se používá ke zdokumentování procesu hledání kořenové příčiny problému, využíváme podpůrné nástroje pro analýzu příčin a následků neshod – 5 WHY, FMEA, Ishikawa diagram). Výstupem čtvrtého kroku by měl být popis nalezených příčin vzniku vady, příčin neodhalené vady v procesu a popis systematických příčin vady).
- 5) Definuj trvalá nápravná opatření** (Pátým krokem je výčet zamýšlených nápravných opatření, s cílem eliminovat příčiny způsobující výskyt problému)
- 6) Implementuj trvalá nápravná opatření** (Využívá se k zaznamenání a validaci realizovaných nápravných opatření).
- 7) Definuj způsoby prevence proti opakování problému** (Do předposlední části 8D reportu se uvádějí návrhy preventivních opatření, s cílem zamezit vzniku problému).
- 8) Komunikuj výsledky zlepšení** (Poslední krokem je vyhodnocení stanovených opatření a poděkování všem řešitelům problému v týmu).

2.2.2 Metoda FMEA

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je metoda sloužící k analýze možností vzniku vad a jejich následků (rizik spjatých s daným produktem). Hans-Ulrich Frehr, který se zabýval implementací komplexní techniky TQM ve velkých nadnárodních společnostech, uvádí ve své knize Total Quality Management (1995), že analýza možností vzniku vad a jejich následků dokáže odhalit až 90 procent všech možných vad.

Metoda FMEA, která představuje v dnešním světě automobilového procesu jednu z nejlépe propracovaných metod managementu rizika, byla vyvinuta ve společnosti NASA, na konci šedesátých let dvacátého století pro analýzy spolehlivosti systémů projektu Apollo (Stamatis, 1995).

FMEA analýza se nejčastěji provádí ve fázi vývoje a rozběhu projektu, nebo v případě inovací. Jedná se však o živý dokument, který se aktualizuje s každou změnou ve výrobním procesu. V automobilovém průmyslu nejčastěji sestavují hned dvě FMEA analýzy. První z nich je FMEA analýza návrhu produktu (DFMEA – Design Failure Mode and Effect Analysis). Cílem první FMEA analýzy je odhalit případné nedostatky ještě před finálním schválením produktu. Druhou FMEA analýzou je analýza procesu (PFMEA – Process Failure Mode and Effect Analysis), která slouží k odhalení příčin možných vad v navrhovaném procesu.

Sestavení FMEA analýzy se skládá ze sedmi kroků:

- Dokomponování produktu/procesu na dílčí části
- Analýza funkce produktu/procesu
- Identifikace možných vad
- Analýza možných následků a příčin jednotlivých vad
- Analýza stávajících preventivních opatření a stávajících způsobů ověřování shody
- Hodnocení výsledného rizika
- Návrh dalších opatření u vad s nepřijatelným rizikem

Hodnocení rizika jednotlivých vad se provádí pomocí třech kritérií (význam vady, očekávaný výskyt vady a odhalitelnost vady). Každé ze třech kritérií se hodnotí na škále od 1 do 10 bodů (jedná se o negativní body, čím více bodů tím závažnější vada, vyšší očekávaný výskyt vady a horší odhalitelnost vady v současném procesu). Výsledné skóre je označováno jako rizikové číslo (RPN – Risk Priority Number) a je vypočítáno jako součin hodnocení všech tří kritérií (Nenadál, 2018).

Škála hodnocení významu vady je uvedena v příloze 1.

Hodnocení pravděpodobnost výskytu vady při FMEA návrhu je ovlivněn počtem případů na počet vozidel, kdy hodnocení 1 odpovídá vadě, které se na žádném vozidle neobjeví, Hodnocení dva odpovídá vadě, která se projeví při PPM (parts per milion – dílů na jeden milión vozidel) rovno 1. Hodnocení pět znamená výskyt vady u jednoho vozidla z dvou tisíc a při hodnocení známkou 10 nastává vada u více než jednoho vozidla z deseti.

Posledním kritériem je hodnocení odhalitelnosti (detekce) vady, které je opět vyobrazeno pomocí tabulkového zobrazení v příloze 2.

Vzhledem k vývoji odběratelsko-dodavatelských vztahů přestala být dosavadní všeobecně uznávána čtvrtá verze příručky FMEA dle AIAG dostačující. V roce 2019 tak dvě významné organizace automobilového průmyslu, AIAG a VDA, vydali komplexní revizi FMEA příručky. V automobilovém průmyslu se pro tuto novou edici vžil název Harmonizovaná FMEA analýza.

Prvním zásadním rozdílem FMEA analýzy dle AIAG a VDA oproti původní FMEA analýze je určování priorit dle nového kritéria – AP (Action Priority). Toto kritérium, oproti původnímu kritériu RPN (Risk priority number), dává největší váhu kritériu S (význam a závažnost vady) a jednotlivé priority jsou rozděleny do tří skupin – Vysoká, Střední a Nízká. Zásadní změny proběhly také v základních tabulkách FMEA analýzy. Například pro kritérium S (závažnost) popisuje nová příručka závažnost rizika ze tří úhlů pohledu (z pohledu výrobního závodu, odběratele a koncového zákazníka) a pro kritérium O (výskyt vady) vznikla nová tabulka, která klade důraz na charakter jednotlivých zavedených preventivních opatření s cílem eliminovat výskyt vady.

2.2.3 5 WHY

Metoda 5 Why neboli pětkrát proč, je nástroj pro hledání příčin vad založený na japonském (Toyota) principu gemba-gembutsu. Gemba znamená reálné místo nebo prostředí, kde se něco děje (místo kde se výrobky vyrábějí) a Gembutsu jsou poté jednotlivé výrobky. Principem metody 5 Why je neustálé pokládání otázky Proč, přičemž na každou následující odpověď opět navazuje otázka Proč, a to až do doby, než je nalezená skutečná příčina neshody. Masaaki Imai ve své knize Gemba Kaizen (2008) uvádí následující příklad řešení problému pomocí metody 5 Why:

Otázka: Proč házíte piliny na podlahu?

Odpověď: Protože je podlaha kluzká a nebezpečná.

Otázka: Proč je kluzká a nebezpečná?

Odpověď: Protože je na ní olej.

Otázka: Proč je na podlaze olej?

Odpověď: Protože vytéká ze stroje.

Otázka: Proč olej vytéká ze stroje?

Odpověď: Protože olej vytéká z olejové spojky.

Otázka: Proč olej uniká?

Odpověď: Protože gumové obložení spojky je opotřebené.

Ve většině případů stačí položit otázku pětkrát a dojde k nalezení příčiny, od toho se vzal název 5xProč? (5 Why).

V dalších částech práce jsou jednotlivé základní i rozšiřující metody a nástroje použity při řešení a analýze neshody v automobilovém průmyslu. Prakticky je naznačeno použití metod a nástrojů: 8D report, FMEA, SPC, tabulky, histogram a Ishikawa diagram.

3 Rekvalifikace a požadavky zákazníků a normy IATF 16949:2016

V rámci třetí kapitoly teoretické části práce je popsán teoreticky proces rekvalifikace, dále je rozebráno, ve kterých fázích projektu a za jakých podmínek je potřeba provádět rekvalifikační zkoušky, a ve které dokumentaci je stanoven rozsah rekvalifikačního testování. V další části kapitoly jsou uvedeny konkrétní požadavky na rekvalifikační zkoušky v rámci jednotlivých kapitol normy IATF 16949:2016 a na závěr byly vybrány příklady požadavků na rekvalifikace tří OEM zákazníků v automobilovém průmyslu.

3.1 Rekvalifikační zkoušky

Rekvalifikací produktu se obvykle rozumí úplná validace všech požadavků souvisejících se schvalováním (např. PPAP), a zásadně přesahuje rámec kontroly rozměrů, které jsou požadovány výkresovou dokumentací.

Termíny jednotlivých rekvalifikačních zkoušek jsou vždy dopředu sjednány mezi zákazníkem a dodavatelem (např. souhlasem dodavatele s dodržováním specifických požadavků zákazníka, ve kterých bývá uvedeno, za jakých podmínek je nutné vykonávat rekvalifikační zkoušky). Nejčastěji je stanoveno vykonávat zkoušky při úvodním schvalovacím procesu, dále při jakékoli změně v designu výrobku nebo při změnách ve výrobním procesu a na závěr bývá vždy uvedeno i periodické opakování rekvalifikačních zkoušek.

Rozsah jednotlivých testů bývá uveden v požadavcích v technických specifikacích (např. u koncernu VW v technické specifikaci výrobku = Lastenheft)

3.2 Požadavky normy IATF 16949:2016 na proces rekvalifikace

Norma IATF 16949:2016 stanovuje v kapitole Shoda produktů a procesů (kap. 4.4.1.1) společně v automobilovém průmyslu „Organizace musí zajistit shodu všech produktů a procesů, včetně náhradních dílů a dílů zajišťovaných externě, se všemi příslušnými požadavky zákazníka, požadavky zákonů a předpisů“ (Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016, 2016, str.33).

V ohledu na proveditelnost výroby v organizaci (kapitola 8.2.3.1.3) stanovuje norma IATF 16949:2016: „Organizace musí využívat průřezový přístup pro provádění analýzy s cílem stanovit, zda je pravděpodobné, že jsou výrobní procesy organizace schopny trvale zajišťovat, že produkt splňuje všechny technické a kapacitní požadavky specifikované zákazníkem. Organizace musí tuto analýzu provádět u každé, pro organizaci nové, výrobní technologie nebo technologie produktu a u každého změněného výrobního procesu nebo změněného návrhu produktu“ (Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016, 2016, str. 59).

3.3 Požadavky z pohledu OEM zákazníků v automobilovém průmyslu

Jednotlivý OEM (Original Equipment Manufacturer) zákazníci v automobilovém průmyslu stanovují nejčastěji své požadavky na periodické rekvalifikační zkoušky jednotlivých dodávaných komponentů pomocí specifických zákaznických požadavků (CSR – Customer Specific Requirements).

Jako příklad zákaznického požadavku je uveden požadavek zákazníka CNH Industrial, který určuje, že dodavatel je povinen předkládat náměrové protokoly finálních výrobků, dále pak prohlášení o materiálové shodě a výsledky funkčních testů na základě předem dohodnutého plánu testů, a to vždy jednou ročně (platí pro náměrové protokoly a prohlášení o materiálové shodě) nebo jednou za dva roky (platí pro kompletní sadu požadované dokumentace). Dále je určeno, že stejná dokumentace může být specificky vyžádána ze strany SQE (Supplier Quality Engineer) zodpovědného za dodavatele a také v případě změn v procesu na straně dodavatele stupně Tier 1 nebo Tier2. Tato změna musí být komunikována s CNH Industrial s dostatečným časovým předstihem (CNH Industrial Customer Specific Requirements for IATF 16949, 2017).

Druhým příkladem je koncern VW, jehož specifické požadavky stanovují, že každý dodavatel musí provádět kompletní rekvalifikační zkoušky minimálně jednou za tři roky, přičemž konkrétní požadavky na testy jsou vždy definovány pomocí specifických požadavky na jednotlivé produkty (tzv. Lastenheft.) Výjimku však tvoří produkty označené speciálními charakteristikami (D/TLD značení), pro které platí, že se kompletní rekvalifikační zkoušky musejí vykonávat minimálně jednou za 12

měsíců (IATF 16949: Customer-Specific-Requirements (CSRs) of Volkswagen Group, 2022).

Posledním příkladem jsou specifická požadavky OEM zákazníka FCA (Fiat Chrysler Automobiles – dnes již součástí koncernu Stellantis). Požadavky tohoto zákazníka stanovují, že dodavatel musí plánovat a prokazovat rozměrové kontroly, materiálové zkoušky a funkční zkoušky jednou ročně (pokud není stanoveno jinak v dokumentu SPV (Formulář ověření produktu dodavatele). Záznamy o těchto zkouškách musí být na vyzvání předloženy oddělením vývoje a kvality dodavatelů FCA k revizi (FCA Customer-Specific requirements for IATF 16949:2016, 2021). V níže uvedené tabulce 2 jsou shrnuty a porovnány požadavky na rekvalifikace zákazníků FCA, VW a CNHi.

Tab. 2 Porovnání požadavků jednotlivých zákazníků

Zákazník	Zkoušky	Opakování
CNHi	<i>Rozměry, Materiálové zkoušky</i> <i>Funkční zkoušky</i>	<i>1 x ročně</i> <i>každé 2 roky</i>
VW	<i>Kompletní dle Lastenheft</i>	<i>D/TLD – 1 x ročně</i> <i>Ostatní – Každé 3 roky</i>
FCA	<i>Rozměry, Materiálové zkoušky, funkční zkoušky</i>	<i>1 x ročně</i>

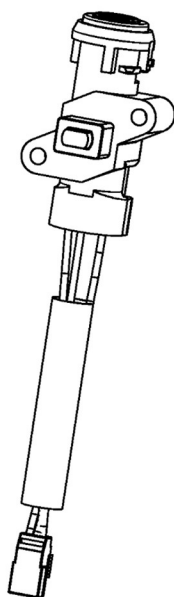
4 Analýza vybraného neshodného dílu

Společnost, v rámci, které je diplomová práce řešena, se dlouhodobě věnuje výrobě a montáži komponentů pro celou škálu výrobců automobilů po celém světě. V rámci série opatření na zlepšení konkurenceschopnosti společnosti byla stanovena restrukturalizace jednotlivých výrobních závodů po celém světě. Během roku 2020 se společnost rozhodla uzavřít svou pobočku v Polsku a veškeré výrobní zařízení přesunout do stávající pobočky v České republice. V rámci přesunu všech výrobních zařízení byl s jednotlivými zákazníky automobilového průmyslu domluven postup při rekvalifikaci jednotlivých finálních výrobků po přesunu montážních linek z jednoho závodu do druhého.

Tato diplomová práce se zabývá případem selhání finálního výrobku při revalidačních testech. V rámci čtvrté kapitoly bude postupně analyzována vada tohoto výrobku. K analýze bude využíváno laboratorních a chemických analýz, měrových analýz a analýz na základě diagramu příčin a následků.

4.1 Řešený problém

Na obrázku 11 je uveden náčrt finálního výrobku (spínací skříňky) z výkresové dokumentace, u kterého došlo k závadě při revalidačním testování



Obr. 11 Finální výrobek – spínací skříňka

Zdroj: (Interní výkresová dokumentace)

Mezi dodavatelem a zákazníkem (CNH Industrial) byl ještě před přesunem výrobních zařízení domluven a podepsán Requalification Test Plan finálního výrobku. Součástí tohoto rekvalifikačního plánu bylo:

- Vizuální ověření výrobku
- Náměrové protokoly
- Ověření značení výrobku
- Funkční ověření při různých teplotách
- Vibrační zkoušky
- Ověření odolnosti vůči vodě, prachu a různým chemickým látkám
- Elektrické funkční zkoušky
- Test odolnosti v čase

Právě při posledním kroku testování (test odolnosti v čase) došlo k selhání dvou z pěti testovaných výrobků. Konkrétně finální výrobky selhaly při 76 000, respektive 85 000 spínacích cyklech, přičemž normou pro tento konkrétní výrobek byla stanovena výdrž 105 000 spínacích cyklů. Přehled testovaných kusů v následující tabulce 3.

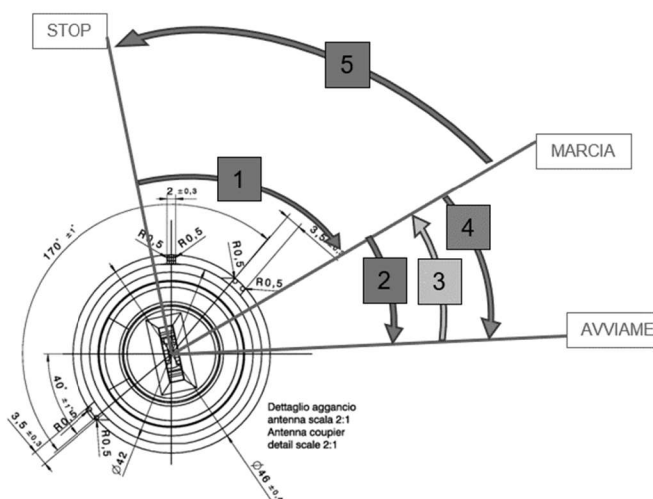
Tab. 3 Přehled testovaných výrobků a počet cyklů

Číslo vzorku	Výsledek	Počet cyklů
0931-01	OK	105 000
7091-01	OK	105 000
1032-01	OK	105 000
1032-02	NOK	76 245
1032-03	NOK	84 966

Výsledek celého rekvalifikačního testování tak byl negativně ovlivněn právě posledním z celé série testů. Interně tedy bylo rozhodnuto o tom, že výrobek po přesunu výrobního zařízení do České republiky nespĺňuje kvalitativní požadavky a byla zahájena komplexní analýza celého problému, která bude popsána v následujících kapitolách této diplomové práce. Během řešení problému byly finálnímu zákazníkovi dodávány výrobky ze Safety Stocku, který byl připraven na stávajícím výrobním zařízení v polské pobočce, ještě před zahájením celého přesunu.

4.2 Úvodní kroky analýzy

Předmětem analýzy je finální výrobek společnosti, který byl dříve vyráběn v dceřiném závodě v Polsku. V druhé polovině roku 2020 došlo k přesunu výrobního zařízení z polského závodu do České republiky. V rámci uvolnění výroby z nového výrobního místa bylo nutno provést na výrobku rekvalifikační testování finálního výrobku dle předem stanoveného a zákazníkem schváleného testovacího plánu. Toto validační testování bylo hodnoceno NOK výsledkem. Symptodem vadného kusu je špatná Anti-repeat funkce výrobku, jejíž popis je vyobrazen na schématu níže (Obr. 12).



Obr. 12 Popis funkce Anti-repeat

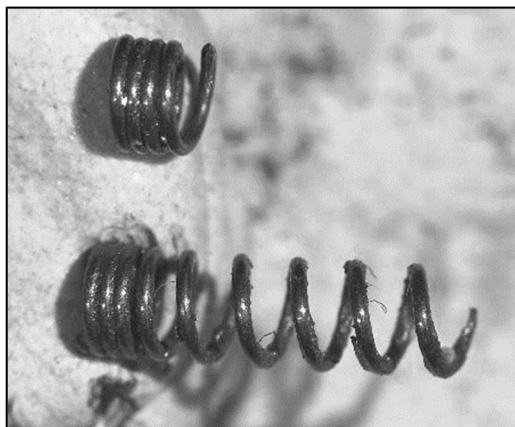
Zdroj: (Interní výkresová dokumentace)

Jednotlivé kroky zapalování a Anti-repeat funkce:

- 1) Vložení klíče a přetočení z pozice STOP do pozice MARCIA (zapnutí baterie)
- 2) Otočení klíčem z pozice MARCIA do pozice AVVIAMENTO (Startování motoru)
- 3) Automatické vrácení klíče do pozice MARCIA
- 4) Anti-Repeat – zabraňuje opakovanému otočení do pozice AVVIAMENTO
- 5) Otočením klíče zpět do pozice STOP dojde k odblokování Anti-repeat funkce a startování může být znovu provedeno

V úvodu analýzy byl sestaven tým, který měl řešení tohoto problému na starost. Vedoucím týmu byl stanoven zákaznický inženýr kvality (autor této diplomové práce). Mezi další členy týmu patří zástupci dodavatelské kvality, designu a vývoje výrobku, projektového týmu, oddělení výrobní technologie a Customer Champion (osoba, která je hlavním komunikačním prvkem mezi zákazníkem a společností).

Dalším krokem byla úvodní analýza a demontáž výrobku, který neprošel validačním testováním s pozitivním výsledkem. Úvodní analýza potvrdila problém, který byl objeven při testování v laboratoři. Po demontáži výrobku byla nalezena poškozená pružina (Obr. 13).



Obr. 13 Poškozená pružina

Toto poškození pružiny má za následek špatnou Anti-repeat funkci, jejíž chování bylo popsáno v úvodu této podkapitoly. Dále byla stejná analýza provedena i u druhého neshodného kusu a byla potvrzena stejná diagnóza jako v případě prvního neshodného kusu.

V rámci posledního kroku úvodní části analýzy byla nastavena okamžitá nápravná opatření. Prvním z nich bylo okamžité zastavení výroby v nových výrobních prostorech, zablokování veškerých nových výrobků na blokační sklad, tak aby nemohly být odeslány k finálnímu zákazníkovi. Dodávky k zákazníkovi pokračovali nadále ze zásoby, která byla předvyrobena v původním výrobním závodě. Navíc byla projektovými a vývojovými týmy, ve spolupráci s oddělením kvality, sestavena technická analýza potenciálních rizik.

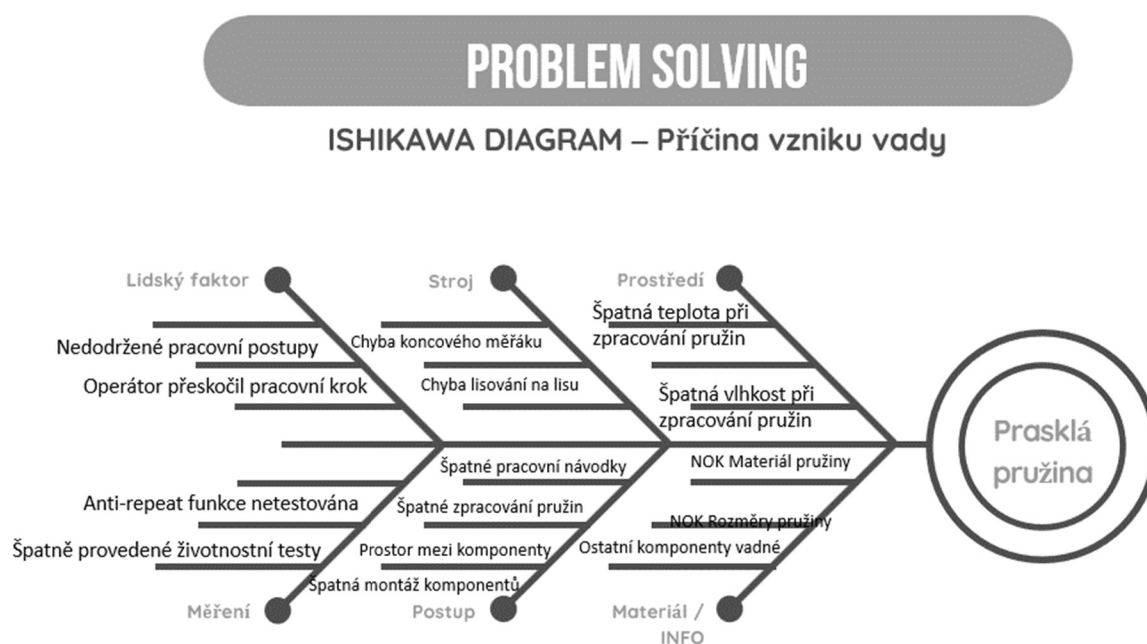
Výstupem technické analýzy potenciálních rizik je tvrzení že, Anti-repeat funkce má jediný cíl, vyhnout se vícenásobnému startování motoru v případě nesprávného použití řidičem. Selhání této funkce lze zjistit pouze v případě, že se řidič pokusí motor nastartovat opakovaně (to se stává velmi zřídka). V tomto případě uslyší hluk způsobený startérem, který se snaží znovu roztočit již běžící motor vozidla. Vícenásobné startování vede k namáhání startéru a může způsobit jeho částečné poškození vedoucí k předčasnému stárnutí startéru nebo v nejhorším případě jeho okamžitou poruchu vedoucí k nemožnosti následného startování motoru. Poškození startéru není pro řidiče považováno za nebezpečnou situaci. Poškozená pružina se nachází ve spínači v takovém místě, kde je ovlivněna pouze jediná funkce spínače. Nemůže tak nastat situace, při které by poškozená pružina mohla negativně ovlivnit jinou funkci finálního výrobku. Vzhledem k tomu, že Anti-repeat funkce není ohodnocena jako bezpečnostní funkce a ani jako funkce primární, je technické riziko této vady vyhodnoceno jako nízké. Stejné ohodnocení potvrzuje i DFMEA (viz tabulka 4).

Tab. 4 Hodnocení vady Anti-repeat funkce v rámci DFMEA

CHYBA	Základní funkce	Vada vnímaná zákazníkem	S	Potenciální příčina vady	Potenciální zdroje vady	CC	Plánované aktivity k odhalení	O	D	RPN
36	ANTI - Repeat funkce	JE MOŽNÉ OPAKOVAT STARTOVÁNÍ PŘI BĚŽÍCÍM MOTORU	4	Selhání systému Anti-repeat	Rozměry kovových částí systému (čep, pružina, pívot, vačka)		Měření charakteristik stanovených výkresovou dokumentací	2	6	48
			4		Neshodné materiálové vlastnosti pružiny		Měření charakteristik stanovených příslušnou normou	2	7	56

4.3 Analýza příčiny vady

Čtvrtým krokem analýzy neshod v automobilovém průmyslu, dle již dříve představeného 8D reportu, je analýza všech potenciálních příčin vady. Závěrem této části by měla být identifikace všech možných příčin konkrétní vady a jejich prověření. V případě analýzy prasklé pružiny bylo stanoveno několik potenciálních vad, které jsou shrnuty na Obr. 14, pomocí diagramu rybí kosti neboli diagramu příčin a jejich následků. Jednotlivé potenciální příčiny jsou poté rozvinuty a prověřeny v následujících odstavcích diplomové práce.



Obr. 14 Ishikawa diagram potenciálních příčin vad

Pomocí Ishikawa diagramu bylo identifikováno více než 10 potenciálních příčin poškozené pružiny v celkem 6 směrech (Lidé, Výrobní zařízení, Prostředí, Měření, Metody a Materiál). V rámci zaměření na lidskou stránku, byly identifikovány dvě možné příčiny – Operátor na výrobní lince nedodržel jednotlivé kroky pracovní instrukce nebo dokonce jeden z kroků přeskočil. Obě možnosti byly prověřeny přímo na výrobní lince za účasti operátorů, technologa a oddělení kvality. Bylo zjištěno, že k žádnému selhání ze strany operátorů na výrobní lince nedošlo. Ve stejném složení proběhlo také ověření dvou identifikovaných potenciálních příčin při pohledu na výrobní zařízení. Funkčnost koncového měřáku byla odzkoušena pomocí druhého výrobku, který neprošel rekvalifikačním testováním. Koncový měřák vyhodnotil spínač jako neshodný. Byla tak jeho funkce dostatečně ověřena. Dále byla na výrobní lince ověřena také správná funkce lisovací stanice, na které se lisuje pružina a čep do spínače. Žádná odchylka oproti standardnímu procesu nabyla odhalena na lisovacím zařízení a ani na jednom z NOK kusů.

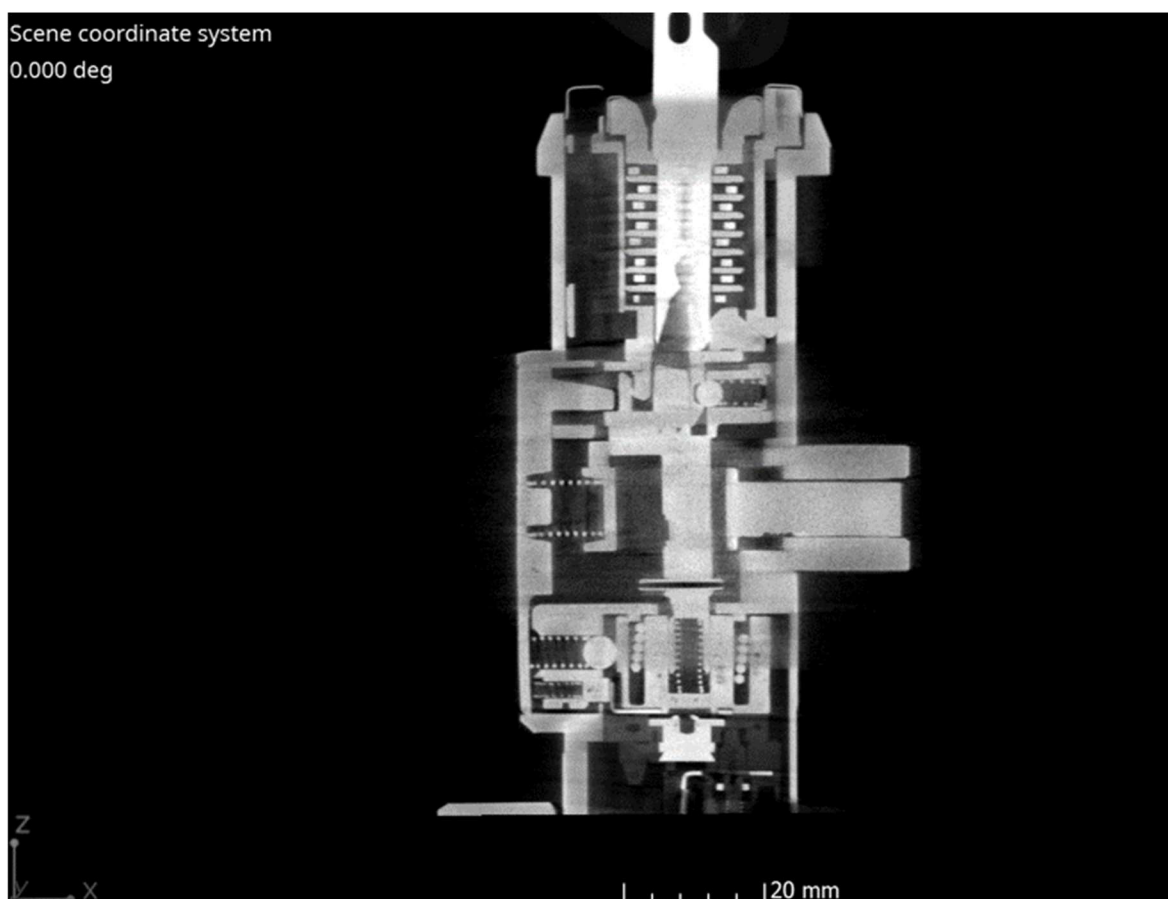
Při zaměření na příčiny způsobené prostředím byly prověřeny dvě možné neshody na straně dodavatele pružin – Špatně nastavený parametr teploty při tepelném opracování pružin a špatná vlhkost v zahřívací peci, při stejném procesu u dodavatele. Oba parametry a jejich řízení a zaznamenávání byly ověřeny při kontrolní návštěvě zákaznického a dodavatelského inženýra kvality na místě u dodavatele pružin a také při auditu interního auditora dodavatelů. Při obou návštěvách dodavatele nebyly zjištěny žádné odchylky při způsobu nastavení a kontroly důležitých parametrů.

V oblasti měření byly také identifikovány dvě možné příčiny špatného výsledku testů a prasklé pružiny. První možnou příčinou je, že byly testy prováděny špatným způsobem. Společně s interní laboratoří byly postupy prověřeny a bylo verifikováno, že testování bylo prováděno za standardních podmínek dle zákaznické procedury CNH Industrial 18-2175. Druhou příčinou v této oblasti byla také zamítnuta. Anti-repeat funkce byla správně otestována podle stejné normy, jako byl prováděn celý životnostní test finálního výrobku.

V rámci oblasti popisující možné příčiny způsobené špatně nastavenými metodickými návody či špatně nastaveným systémem byly navrženy čtyři potenciální vady. První dvě (volný prostor mezi jednotlivými komponenty ve finálním výrobku a špatné usazení jednotlivých komponentů ve finálním výrobku) bylo

ověřeno pomocí rentgenových snímků OK i NOK vzorků finálních testovaných výrobků.

Na obrázku 15 je možné vidět rentgenový snímek spínače, který prošel finálním životnostním testem s negativním výsledkem. Znatelně je viditelná i poškozená pružina, jiné komponenty jsou umístěny zcela v pořádku a vše odpovídá výkresové dokumentaci a standardnímu výrobnímu procesu.

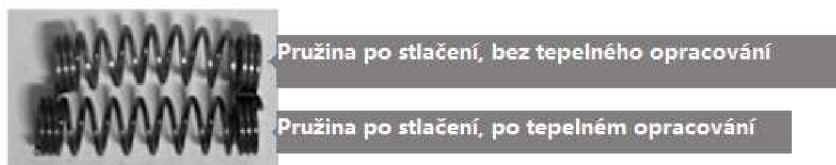


Obr. 15 Rentgen NOK finálního výrobku

Třetí potenciální příčinou v této oblasti je špatně vytvořený a popsáný pracovní postup v rámci pracovní instrukce pro montáž finálního výrobku. Jednotlivé kroky pracovní instrukce byly prověřeny přímo na výrobní lince. Na základě LPA auditu provedeném na výrobní lince nebyly zjištěny žádné odchylky či nesrovnalosti v rámci výrobního postupu. Operátoři proškoleni na této lince nehlásí žádné problémy s montáží, pracovním postupem či nesrozumitelností pracovní návodky.

Poslední identifikovanou možnou příčinou v oblasti Metody je špatně provedený postup tepelného zpracování (Heat Treatment) u dodavatele pružiny. V rámci

analýzy bylo provedeno vizuální porovnání pružiny, která prošla celým procesem tepelného zpracování, pružiny, která tepelným zpracováním neprošla (porovnání na obr. 16) a také vzorky pružin demontovaných ze spínačů, které prošly testováním.



Obr. 16 Porovnání pružiny bez tepelného zpracování a po tepelném zpracování

Na základě vizuálního hodnocení bylo potvrzeno, že prasklé pružiny prošly tepelným zpracováním. Pružina, která neprošla tepelným zpracováním má zcela odlišnou barvu než pružina, která byla tepelně zpracována. NOK pružiny mají podobnou barvu jako pružina, která prošla tepelným opracováním. Dále byl proveden test stlačení pružiny 10krát z volné délky 10 mm na délku 8 mm, následně byly pružiny přeměřeny. Pružina, která neprošla tepelným zpracováním, se po 10 stlačeních nedokázala vrátit do původní délky. Její délka se značně zmenšila.

V tabulce níže (Tab. 5) je uvedeno porovnání jednotlivých pružin:

- 1) Pružina, která prošla tepelným zpracováním a testem stlačení 10x
- 2) Pružina, která neprošla tepelným zpracováním – po stlačení 10x
- 3) Pružina demontována z NOK kusu (uveden součet pružiny + úlomku, ke kterému došlo během testování)

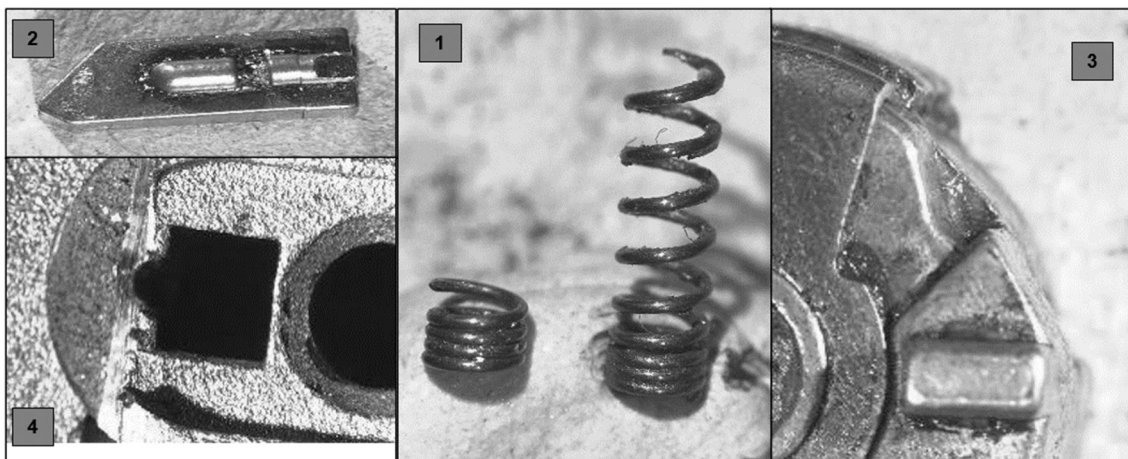
Tab. 5 Porovnání volné délky pružin

Číslo pružiny	Tepelné zpracování	Stlačení 10x	Revalidační testy	Volná délka po stlačení /revalidačním testování
1	ANO	ANO	NE	9,98 mm
2	NE	ANO	NE	8,45 mm
3	ANO	NE	ANO	2,16 mm + 7,20 mm

I na základě stlačení pružiny a porovnání výsledků, nelze jednoznačně říct, zda bylo tepelné zpracování provedeno správně nebo ne, nelze to však ani vyloučit, příčina tedy bude dále zkoumána a prozatím vyhodnocena jako potenciální nevyloučená.

Posledním zaměřením diagramu rybí kosti jsou vady materiálu. Tým identifikoval 4 různé komponenty, které se různým způsobem mohou podílet na dříve odhalené vadě. Jednotlivé součásti jsou v přehledu na obrázku 17:

- 1) Pružina
- 2) Čep
- 3) Vačka
- 4) Pouzdro



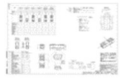
Obr. 17 Komponenty finálního výrobku

Nejprve byly jednotlivé komponenty ověřeny vizuálním porovnáním shodného a neshodného kusu. Jediným rozdílem je prasklá pružina u neshodného kusu.

Druhým krokem bylo přeměření jednotlivých komponentů a porovnání s výkresovou dokumentací. Výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v níže přiložených měrových protokolech. Pro lepší představu jsou k některým měrovým protokolům přidány i výstřižky z výkresové dokumentace. Vystřiženy byly pouze ty části, na kterých jsou uvedeny náměry, které jsou důležité pro řešený problém.

První měrový protokol (Obr. 18) zaznamenává měření volné délky pružin a šířku pružiny. Oba rozměry na pěti sledovaných pružinách jsou shodné. Měřeny byly


pružiny ze stejné dodané dávky, jako pružiny použité pro montáž do testovaných výrobků.

PART NUMBER: DRAWING NUMBER:
 PART NAME: DRAWING INDEX:
 LINE: REQUESTOR:
 DRAWING:  HUMIDITY: % REPORTED BY:
 TEMP: °C APPROVED BY:

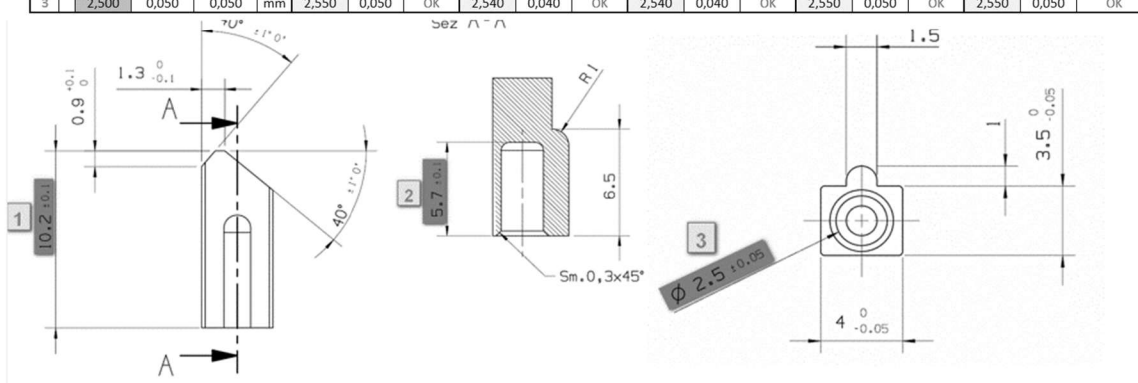
Pos Nr.	Nr. Cav	Nominal	Lower	Upper	1	Deviation 1	Out of tolerance	2	Deviation 2	Out of tolerance2	3	Deviation 3	Out of tolerance3	4	Deviation 4	Out of tolerance4	5	Deviation 5	Out of tolerance5
De		2,300	0,100	0,100	2,240	-0,060	OK	2,230	-0,070	OK	2,220	-0,080	OK	2,240	-0,060	OK	2,240	-0,060	OK
Lo		10,000	0,500		9,950	-0,050	OK	9,880	-0,120	OK	9,950	-0,050	OK	9,950	-0,050	OK	10,000	0,000	OK

Obr. 18 Měrový protokol – Pružina

Na druhém náměrovém protokolu (obr. 19) jsou zaznamenány náměry Čepů. Jedná se o kusy, které byly před měřením vymontovány z neshodných i shodných testovaných výrobků. Všechny rozměry (délka čepu [1], délka otvoru čepu [2] a průměr otvoru [3], do kterého se vkládá pružina) odpovídají hodnotám a tolerancím uvedeným na výkresové dokumentaci.

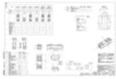
PART NUMBER: DRAWING NUMBER:
 PART NAME: DRAWING INDEX:
 LINE: REQUESTOR:
 DRAWING:  HUMIDITY: % REPORTED BY:
 TEMP: °C APPROVED BY:

Pos Nr.	Nr. Cav	Nominal	Lower	Upper	Unit	1	Deviation 1	Out of tolerance	2	Deviation 2	Out of tolerance2	3	Deviation 3	Out of tolerance3	4	Deviation 4	Out of tolerance4	5	Deviation 5	Out of tolerance5
1		10,200	0,100	0,100	mm	10,130	-0,070	OK	10,130	-0,070	OK	10,130	-0,070	OK	10,130	-0,070	OK	10,130	-0,070	OK
2		5,700	0,100	0,100	mm	5,650	-0,050	OK	5,650	-0,050	OK	5,670	-0,030	OK	5,660	-0,040	OK	5,650	-0,050	OK
3		2,500	0,050	0,050	mm	2,550	0,050	OK	2,540	0,040	OK	2,540	0,040	OK	2,550	0,050	OK	2,550	0,050	OK



Obr. 19 Měrový protokol – Čep


Třetí v pořadí byly provedeny náměry na vačce, které je v kontaktu s pružinou a čepem při otáčení klíčem. Náměry tedy byly prováděny převážně na stykové ploše. Dále pak byly ověřeny náměry, které souvisejí s umístěním vačky ve finálním výrobku. Všechny naměřené hodnoty se shodují s hodnotami stanovenými výkresem (Obr. 20).

PART NUMBER: DRAWING NUMBER:
 PART NAME: DRAWING INDEX:
 LINE: REQUESTOR:
 DRAWING:  HUMIDITY: % REPORTED BY:
 TEMP: °C APPROVED BY:

Pos Nr.	Nr. Cav	Nominal	Lower	Upper	1	Deviation 1	Out of tolerance	2	Deviation 2	Out of tolerance2	3	Deviation 3	Out of tolerance3	4	Deviation 4	Out of tolerance4	5	Deviation 5	Out of tolerance5
1		13,900	0,100	0,100	13,940	0,040	OK	13,900	0,000	OK	13,920	0,020	OK	13,920	0,020	OK	13,940	0,040	OK
2		3,000		0,150	3,130	0,130	OK	3,070	0,070	OK	3,100	0,100	OK	3,070	0,070	OK	3,080	0,080	OK
3		2,700		0,150	2,750	0,050	OK	2,760	0,060	OK	2,720	0,020	OK	2,750	0,050	OK	2,750	0,050	OK
4		1,400		0,100	1,470	0,070	OK	1,460	0,060	OK	1,430	0,030	OK	1,470	0,070	OK	1,460	0,060	OK
5		0,700		0,100	0,700	0,000	OK	0,700	0,000	OK	0,710	0,010	OK	0,700	0,000	OK	0,700	0,000	OK

Obr. 20 Měrový protokol – Vačka

Na posledním měrovém protokolu (Obr. 21) jsou uvedeny hodnoty naměřené na pouzdře. Nejdůležitější rozměry ovlivňující problém jsou rozměry tykající se otvoru na čep. Opět však nebyla potvrzena hypotéza, lze tak tvrdit, že pouzdro není příčinou neshody z důvodu, že všechny naměřené rozměry jsou ve shodě s výkresovou dokumentací.

PART NUMBER: DRAWING NUMBER:
 PART NAME: DRAWING INDEX:
 LINE: REQUESTOR:
 DRAWING:  HUMIDITY: % REPORTED BY:
 TEMP: °C APPROVED BY:

Pos Nr.	Nr. Cav	Nominal	Lower	Upper	1	Deviation 1	Out of tolerance	2	Deviation 2	Out of tolerance2	3	Deviation 3	Out of tolerance3	4	Deviation 4	Out of tolerance4	5	Deviation 5	Out of tolerance5
1		3,600	0,050	0,050	3,610	0,010	OK	3,600	0,000	OK	3,620	0,020	OK	3,590	-0,010	OK	3,600	0,000	OK
2		1,500	0,100	0,100	1,500	0,000	OK	1,510	0,010	OK	1,500	0,000	OK	1,500	0,000	OK	1,510	0,010	OK
3		10,800	0,100	0,100	10,750	-0,050	OK	10,800	0,000	OK	10,790	-0,010	OK	10,810	0,010	OK	10,760	-0,040	OK

Obr. 21 Měrový protokol – Pouzdro

Jak lze vyčíst z výše uvedených měrových protokolů jednotlivých komponentů, ze kterých se skládá část spínače, která slouží k zajištění Anti-repeat funkce, nebyly nalezeny žádné zásadní rozdíly mezi naměřenými hodnotami a hodnotami

vyjádřenými na výkresové dokumentaci. Dalším krokem analýzy bude tedy detailní analýza pružin v externí laboratoři. Pomoc externí laboratoře byla využita z důvodu nedostupnosti potřebných měřicích nástrojů v rámci společnosti.

4.4 Laboratorní analýza pružin

Pro potřeby laboratorní analýzy pružin byly zaslány 3 vzorky do externí laboratoře Analisi Prove Materiali di Gilberto Giovara e Claudia Simonelli v italském Turíně. Jednalo se o dva vzorky pružin, která úspěšně prošly úvodním revalidačním testováním a jeden vzorek pružiny, který při testování selhal a došlo k jeho poškození.

Cílem tohoto kroku je charakterizovat chemické a strukturní vlastnosti použitého materiálu pro výrobu konkrétních vzorků pružin. Současně je také provedena analýza lomové plochy poškozeného vzorku, aby se prokázala (pokud možno) příčina prasknutí.

Nejprve byla provedena chemická analýza materiálu všech tří vzorků pružin. Vzorky byly analyzovány v takovém stavu, v jakém byly vymontovány z testovacích vzorků, pouze bylo použito rozpouštědlo pro odmaštění pružin od tuku, kterým se pružiny pokrývají při montáži do finálního výrobku. Výsledky chemické analýzy jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 6), včetně zastoupení jednotlivých prvků v analyzovaných vzorcích pružin a doporučených hodnot dle normy EN 10270/1:2017.

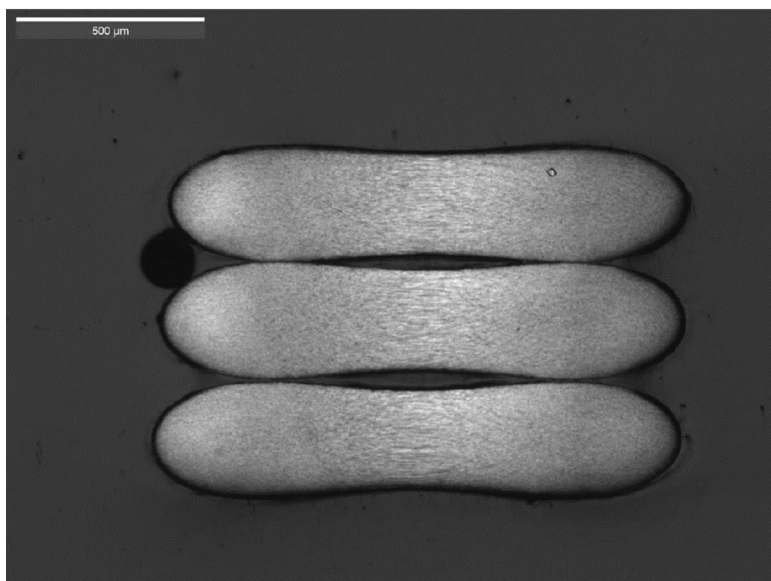
Tab. 6 Chemická analýza pružin

Element	Measure unit	Sample 7091-07 OK	Sample 0931-04 OK	Sample 1032-03 KO	EN 10270/1 2017 DH
* Carbon (C)	% m/m	0,61	0,63	0,63	0,45 – 1,00
* Sulphur (S)	% m/m	0,0079	0,0084	0,0086	≤ 0,025
* Aluminium (Al)	% m/m	0,046	0,038	0,059	/
* Chromium (Cr)	% m/m	0,079	0,058	0,070	/
* Copper (Cu)	% m/m	0,023	0,016	0,026	≤ 0,12
* Manganese (Mn)	% m/m	0,55	0,40	0,41	0,40 – 1,20
* Molybdenum (Mo)	% m/m	0,0040	0,0050	0,0052	/
* Nickel (Ni)	% m/m	0,024	0,012	0,018	/
* Phosphorous (P)	% m/m	0,037	0,039	0,034	≤ 0,020
* Lead (Pb)	% m/m	0,0027	0,0057	0,0093	/
* Silicon (Si)	% m/m	0,19	0,19	0,18	0,10 – 0,30
* Titanium (Ti)	% m/m	0,00085	0,0017	0,00045	/
* Vanadium (V)	% m/m	0,0083	0,015	0,015	/

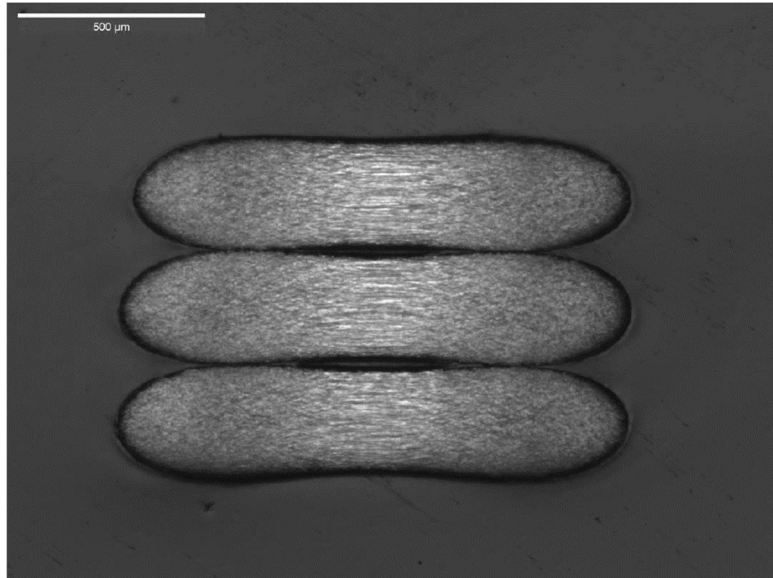
Jednotlivé prvky jsou ve všech třech vzorcích zastoupeny přibližně ve stejném množství a toto množství odpovídá i dříve uvedené normě. Jedinou výjimkou je vyšší naměřené množství fosforu, které je i přes to téměř shodné ve všech třech testovaných vzorcích. Obsah fosforu může být způsoben nanesenou fosforovou vrstvou na vnější části použitého drátu. Takto nízké množství nemá vliv na pevnost a stavbu pružiny.

Druhým krokem analýzy v externí laboratoři byla analýza struktury jednotlivých pružin. Část vzorku pružiny byla upevněna v pryskyřici a připravena podle referenčního standardu ASTM E2332-04. Leptání pro odhalení struktury bylo provedeno pomocí Nital dvouprocentního činidla.

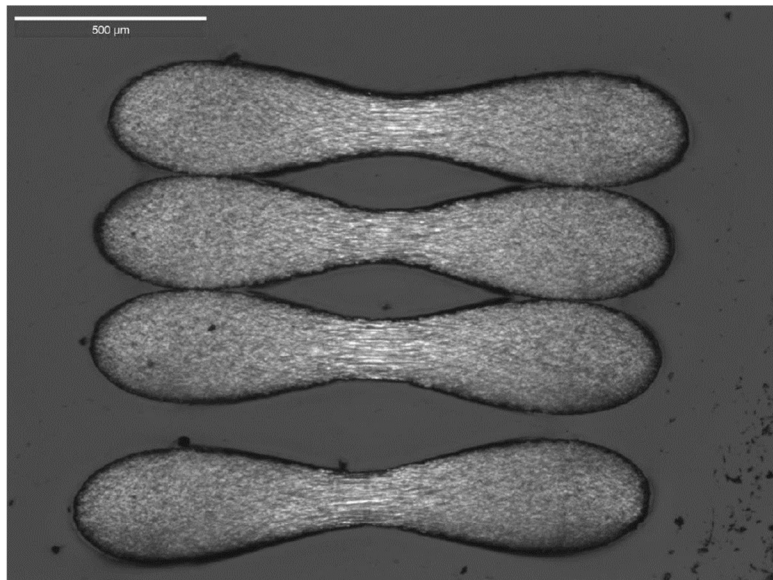
Na obrázcích 22 až 24 je možné vidět porovnání jednotlivých vzorků při padesáti násobném zvětšení. Na obou OK vzorcích i na NOK vzorku není vidět žádný zásadní rozdíl při pohledu na strukturu jednotlivých vláken použitého drátu. Vidíme však zásadní rozdíl v šířce drátu ve střední části NOK pružiny, které mohlo vést k prasknutí pružiny.



Obr. 22 Vzorek pružiny 7091-01 OK při 50x zvětšení

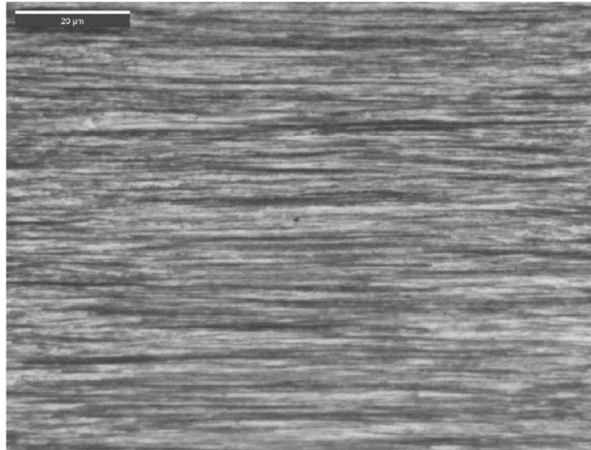


Obr. 23 Vzorek pružiny 0931-01 OK při 50x zvětšení

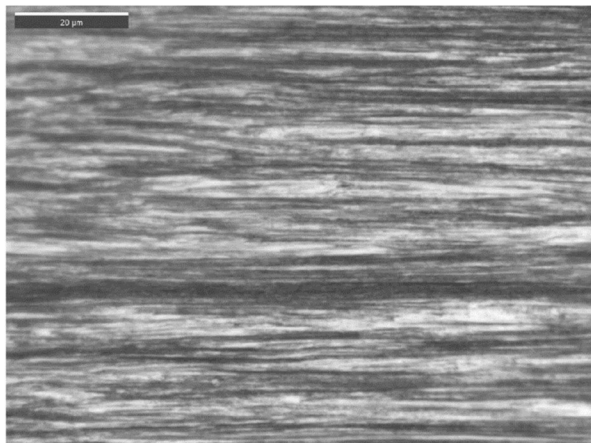


Obr. 24 Vzorek pružiny 1032-03 NOK při 50x zvětšení

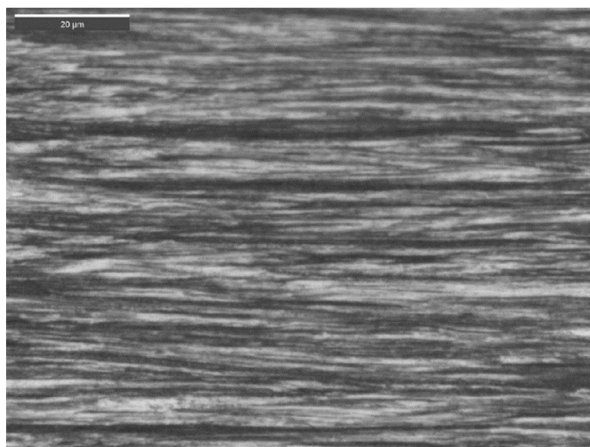
Na dalších třech obrázcích je poté vyobrazena struktura drátu pružin při tisíci násobném zvětšení. Detailní obrázek struktury pružinového drátu na podélném řezu drátu NOK vzorku (Obr. 27) ukazuje na to, že jsou vlákna použitého drátu o něco hrubší než u předchozích OK vzorků (Obr. 25 a 26). Příčinou je pravděpodobné použití nekvalitního vstupního materiálu na výrobu pružinového drátu.



Obr. 25 Vzorek pružiny 7091-01 OK při 1000x zvětšení

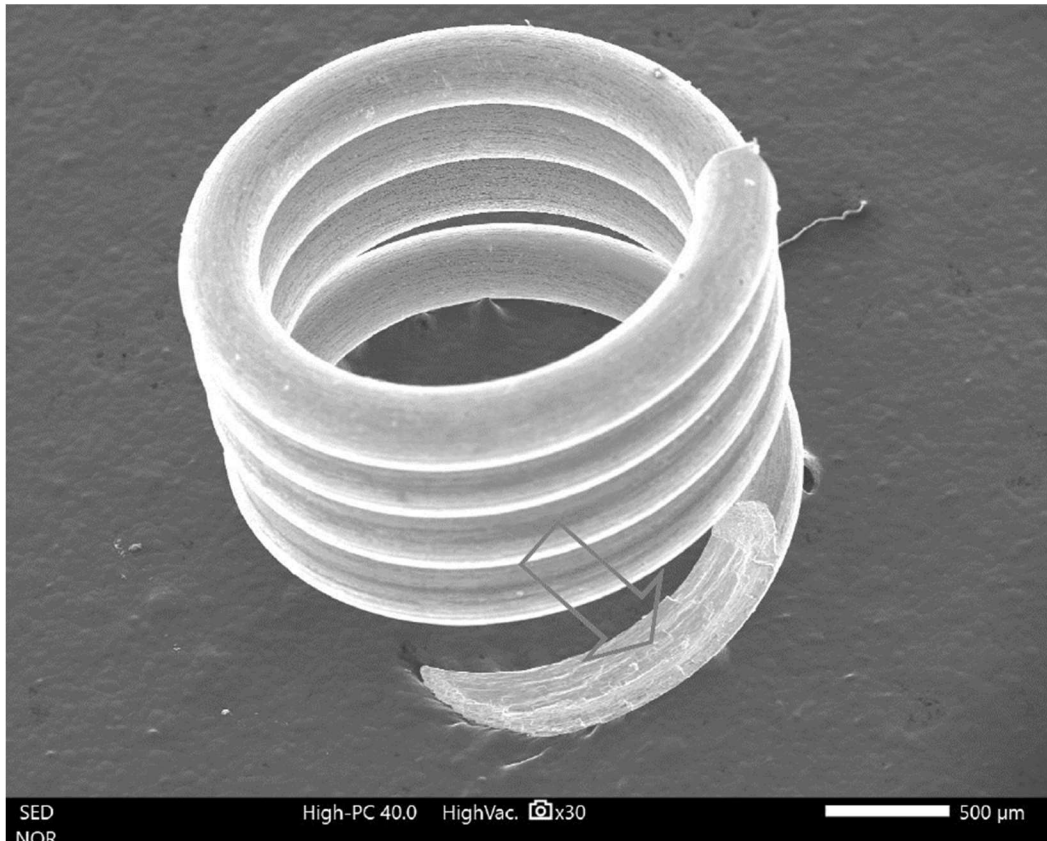


Obr. 26 Vzorek pružiny 0931-01 OK při 1000x zvětšení



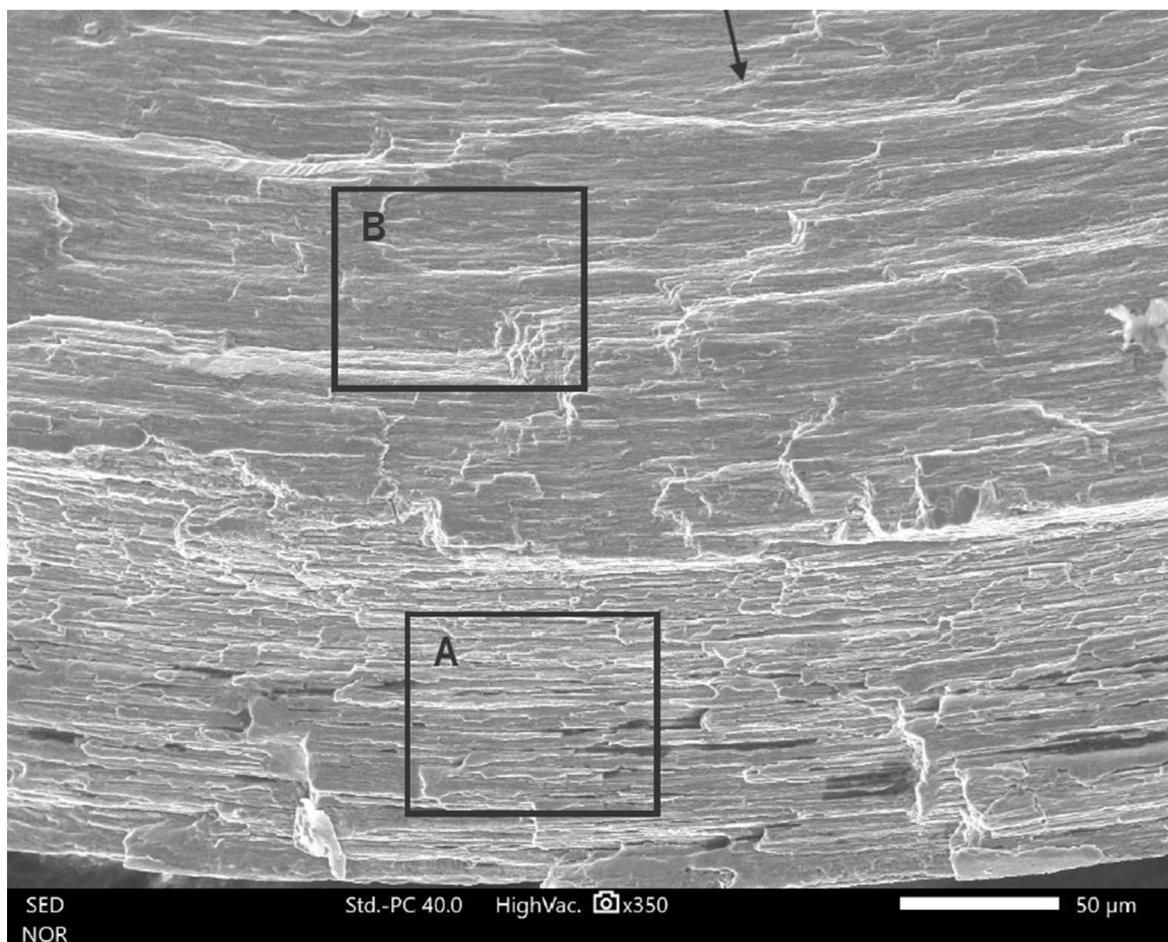
Obr. 27 Vzorek pružiny 1032-03 NOK při 1000x zvětšení

Posledním krokem laboratorní analýzy je analýza povrchu a struktury lomu poškozené pružiny. Testovaný vzorek byl pozorován pomocí skenovacího elektronového mikroskopu. K porušení pružiny došlo na vnější straně pružinové spirály (Obr. 28), což odpovídá tomu, že k prasknutí pružiny došlo během komprese pružiny a zároveň při lehkém zkroucení pružiny. Na vnějším povrchu cívky jsou také znatelně viditelné hladké zářezy, které probíhají podél všech závitů pružiny.



Obr. 28 Pružina 1032-03 NOK – zobrazení na elektronovém mikroskopu

Při detailnějším přiblížení místa, kde došlo k poškození a následnému úplnému odlomení části pružiny (Obr. 29), vidíme značný rozdíl mezi strukturou pružinového drátu na vnitřní části spirály (detail B), které je pevnější a strukturou drátu na vnější části pružiny (detail A), která je více vláknitá a tím i náchylnější na poškození.



Obr. 29 Pružina 1032-03 NOK – rozdíl mezi strukturou vláken na vnější (A) a vnitřní části (B)

Chemická analýza potvrzuje kompatibilitu materiálu pružin s typem pružinového drátu DH a požadavkům požadovaným normou EN 10270-1. Struktura všech OK vzorků je stejná, nicméně vzorek č. 3 (vzorek pružiny ze spínače, který nesplnil stanovená kritéria revalidačního testu) se liší od OK vzorků tím, že se u něj vlákna zdají nejhrubší. Při detailnějším prozkoumání lomové plochy poškozené pružiny byl odhalen zásadní rozdíl mezi morfologií pružinového drátu na jeho vnější a vnitřní části. Což je podle názoru externí laboratoře kompatibilní s vadou drátu, způsobenou při zpracování drátu do pružiny. S největší pravděpodobností došlo ke špatnému postupu při závěrečné fázi opracování pružiny, kterou je rychlé prohřívání pružiny.

Analýzou všech komponentů sestavy bylo zjištěno, že hlavní příčinou selhání finálního výrobku při revalidačním testování bylo použití neshodné pružiny, jejíž

dodavatel dostatečně nezajistil svůj proces, tak aby nemohlo nastat to, že dojde ke špatnému postupu při tepelném opracování pružiny a zároveň nebyly nastaveny dostatečné mechanismy, které by danou chybu dokázali odhalit.

5 Návrh nápravného a preventivního opatření

Pátá kapitola diplomové práce popisuje jednotlivá navržená nápravná a preventivní opatření s cílem zamezit opakování dříve nalezeného problému a zároveň s cílem preventivně minimalizovat riziko vzniku problému podobného charakteru.

Prvním krokem před navržením finálních nápravných opatření bylo provedení dodavatelského auditu auditorem společnosti u současného dodavatele pružin. Celkový výsledek i výsledky v jednotlivých sledovaných kategoriích je zobrazen ve standardním formátu procesního auditu na obrázku 30.

PROCESS VERIFICATION (VP)		PRE-SERIES (PS)		RELEASE TO PROD.(DaP)		CURRENT PRODUCTION		PROCESS AUDIT RESULT		3	Full Approval Planning
Material Req. Date: Build Date / Avail.:		Material Req. Date: Build Date / Avail.:		Material Req. Date: Build Date / Avail.:		Material Req. Date: Build Date / Avail.:					
1 - PART DESIGN	2 - PROCESS DEVELOPMENT	3 - PROCESS CONTROL	4 - PROCESS CONTROL	5 - OPERATIONS	6 - LOGISTICS	7 - VERIFICATION	8 - QUALITY SYSTEMS	9 - FULL APPROVAL (Select Yes/No)			
Drawing / Design Model <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NV	Process Planning <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Control Plan <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Process Monitoring & Data Recording <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Work Instructions <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	First-in First-out (FIFO) & Material Handling <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Production Demonstration Run <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Corrective Actions <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Planning of Self-Qualification Tests <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA			
Design FMEA OK (PPR Result) <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NV	Process Flow Diagram <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Incoming Inspection <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Boundary Samples <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Maintenance <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Traceability & Part Identification <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Process Performance and Capability <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Nonconforming Parts Management <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Planning of Integrative Tests <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA			
Special Characteristics <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Process FMEA <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Error & Mistake Proofing <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	First Piece Approval <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Rework / Repair <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Packaging <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 5	SQE Audit <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Lessons Learned <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Planning of Matchability / Benestare <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA			
Design Acceptance <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Tooling & Equipment <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Gages & Measuring Devices <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Layered Process Audit <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Training <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Sequenced Part Delivery (SPD) <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Safe-Launch Activity <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Warranty <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	IMDS <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA			
Change Management <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Sub-tier Approval <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Outgoing Inspection <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 3	Safety / Report Characteristics <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NA	Environment Health & Safety <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Miscellaneous Processes <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NV	Annual Validation / Periodic Recertification <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 4	Quality Certification & Records Retention <input type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> 5	OPEN ISSUES & OBSERVATIONS			

Obr. 30 Výsledky procesního auditu u současného dodavatele

Mezi nejzávažnější nálezy při auditu patří neshody v kontrolním plánu a nedostatky v procesní FMEA. Jednotlivé dokumenty nejsou navzájem propojené. Byly nalezeny chybějící kontroly jak na výstupu, tak i na vstupu (např. dodavatel neověřuje materiálové složení vstupních komponentů, převážně chemické složení pružinového drátu, a to ani při ročním revalidačním proces). Mezi další nálezy patří například chybějící značení rozpracovanosti v procesu.

5.1 Nápravné opatření – Výběr nového dodavatele

Na základě nálezů při auditu a na základě celkové spolupráce dodavatele při řešení nastalého problému při revalidačním testování finálního výrobku bylo rozhodnuto o ukončení spolupráce s tímto dodavatelem (dodavatel se nachází v polském hlavním městě Varšavě) a bylo zadáno oddělení nákupu zahájit proces ukončení spolupráce se stávajícím dodavatelem a zároveň zahájit proces výběru nového dodavatele.

Výsledkem interního procesu výběru a hodnocení dodavatelů bylo oslovení nového dodavatele pružin (z Turína, Itálie), který již spolupracoval s jinou pobočkou společnosti. Byla tak důkladně známa jeho dodavatelské morálka, hodnocení v rámci interního systému (Obr. 31) a celkové působení a spolupráce dodavatele.

Supplier :	
Sub-Commodity :	Wire springs, Stamped Parts
Is Strategic :	No, No
Bid List Status :	S: Strategic,Z: Phase Out
Performance Status :	Acceptable
Supplier Score :	30
Supplier Score Trend :	➔
Supplier 6 month PPM :	69
Alerts :	No Alerts found
Quality Certification :	ISO/ATF16949
CQI-9 Sub Contract Supplier:	
Environmental Management :	
Special Process Assmt :	NONE
MMOG/LE/EVALOG :	
Last 12m BCS Spend :	
Total parts volume in previous 12m :	10.814.600

Obr. 31 Interní hodnocení nového dodavatele

Zdroj: (Interní podnikový systém pro hodnocení dodavatelů)

Navržená změna dodavatele pružiny musí nejprve projít řadou interních testů, následně pak bude proveden i životnostní test finálních výrobků se zamontovanou novou pružinou. Na základě výsledků životnostních testů bude proveden audit dodavatele a klasické vzorkování komponentů (tzv. PPAP) ze strany nového dodavatele pružiny.

5.2 Preventivní opatření

Druhým opatřením, které je zaměřeno jako preventivní, je úprava a nastavení jednotlivých kontrol v rámci kontrolního plánu u nového dodavatele. Cílem je preventivně chránit společnost, vyrábějící finální výrobek, před zhoršením kvality nakupovaných pružin od nového dodavatele. Jednotlivé kontroly byly schváleny při jednání zástupců oddělení kvality, technologie a vývoje obou stran dodavatelského řetězce. Byly nastaveny celkem čtyři stupně kontrol:

1. Kontroly vstupního materiálu – kontrola průměru použitého drátu – platí pro každou použitou roli drátu
2. Kontroly pružin každých 30 minut po navinutí pružiny – průměr, volná délka, celkový počet všech cívek na pružině, celkový počet aktivních cívek na pružině, síla stlačení P1 na délku 8 milimetrů (vždy kontrola pěti kusů)
3. Kontrola teploty v peci – kontrola automatickým teploměrem a záznam při každé dávce
4. Finální kontrola – stejné kontrolní kroky jako v případě stupňů jedna a dva, prováděné však až po finální úpravě na 50 kusech z každé sériové dodávky pružin.

Na obrázku 32 je zobrazena ukázka schváleného kontrolního plánu a kontroly 4. stupně (finální kontrola)

PHASE	CARACTERISTICS		c/c	QUANTITY o AQL	FREQUENCY	OWNER	MESURE SYSTEM	CHECK METOD	REACTION PLANS
	LIMITS							REGISTRATION	
	MIN	MAX							
FINAL CHECK	WIRE				EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	WIRE CERTIFICATE	ATTRIBUTES	PR03
	DIN 17223 CL II						AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	DIAMETER WIRE (mm)			2 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	MICROMETER 0,01	ATTRIBUTES	PR03
	nominal	0,3					AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	EXTERNAL DIAMETER (mm)			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	MICROMETER 0,01	VARYING	PR03
	2,2	2,4					AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	FREEE LENGHT (mm)			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	CALIPER 0,01	VARYING	PR03
	9,5	10					AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	SOLID LENGHT (mm)			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	CALIPER 0,01	VARYING	PR03
	4,80 MAX						AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	TOTAL COILS			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	VISUAL	VARYING	PR03
	14 approx						AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	ACTION COILS			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	VISUAL	VARYING	PR03
	8 approx						AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	LOAD P1 in N (a L1 = 8,00 mm)			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	ELECTRONIC LOAD TESTER	VARYING	PR03
	2,25	2,75					AQC - MOD. 100101		
FINAL CHECK	SPRING SHAPE			50 pz	EACH BATCH	FINAL CHECK - LABORATORY	VISUAL	ATTRIBUTES	PR03
	NO DEFORMATIONS						AQC - MOD. 100101		

Obr. 32 Ukázka kontrolního plánu

Zdroj: (Interní dokumentace – kontrolní plán)

6 Ověření nápravného a preventivního opatření

První nápravné opatření, změna dodavatele sledované pružiny, bylo okamžitě implementováno do procesu společnosti a jeho nového dodavatele. Nový dodavatel vyrobil první vzorkovou dávku pružin, která byla ihned odeslána do výrobního závodu společnosti v České republice. Tato první vzorková dodávka byla využita na interní testy samotné pružiny i na výrobu nového setu rekvalifikačních vzorků. Po výrobě nových vzorků finálních výrobků z nové pružiny byla zahájena kompletní sada rekvalifikačních testů.

6.1 Ověření nápravného opatření – validace produktu

V první fázi interních testů na samostatné pružině byly provedeny životnostní testy na pružině od nového dodavatele, tak pro porovnání i životnostní testy samostatných pružin od dodavatele stávajícího. V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky životnostních testů na pružinách od nového dodavatele.

Tab. 7 Životnostní testy nové pružiny

New sub-supplier	Unit	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
L0 (before compression)	mm	9,89	9,75	9,85	9,87	9,82
L0 (post 10 compression)	mm	9,85	9,70	9,79	9,82	9,76
L0 (post 108.000 cycles)	mm	9,75	9,62	9,69	9,71	9,65
L0 (post 304.000 cycles)	mm	9,74	9,62	9,68	9,71	9,63
F1 (at 8,00 mm)	N	2,43	2,38	2,45	2,40	2,37
F1 (post 10 compression)	N	2,35	2,32	2,35	2,37	2,33
F1 (post 108.000 cycles)	N	2,22	2,20	2,24	2,25	2,23
F1 (post 304.000 cycles)	N	2,20	2,20	2,22	2,25	2,22
Deformation L0	mm	0,15	0,13	0,17	0,16	0,19
Load F1 decreasing	N	0,23	0,18	0,23	0,15	0,15

V rámci životnostních testů pružin se ověřovali 2 hlavní sledované charakteristiky, volná délka (před kompresí, po 10 stlačeních, po 108 000 stlačení a po 304 000 stlačení) a síla F1 nutná ke stlačení pružiny na délku osmi milimetrů (opět po prvním stlačení, po 10 cyklech, po 108 000 cyklech a po 304 000 cyklech). Při testech se pružiny vystavovali situaci, kdy byly opakovaně stlačovány pomocí automatického

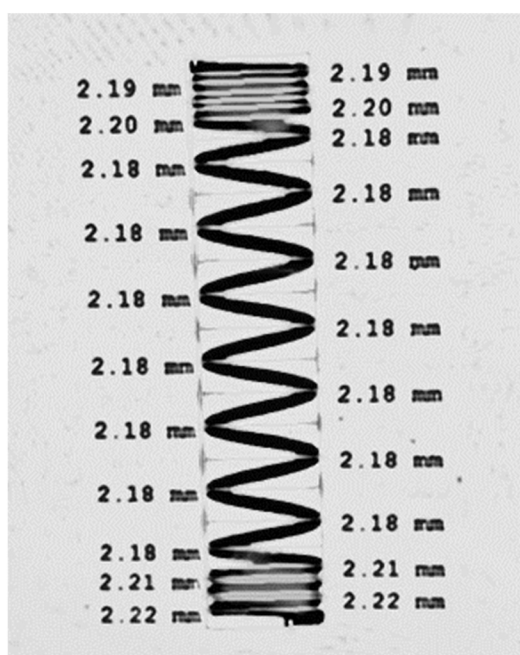
siloměru z délky necelých 10 mm na délku 8 mm. Dále byla vypočítána deformace volné délky po 304 000 stlačeních a rozdíl mezi silou F1 po prvním cyklu a po posledním cyklu. Z výsledků vidíme, že se volná délka pružiny před testem a po testu změnila v průměru pouze o 0,15 milimetru. Síla F1 po prvním a po posledním stlačení se změnila pouze v průměru o 0,19 Newtonu. Pro srovnání výsledků byl stejný test a za stejných podmínek proveden i na 5 vzorcích pružiny od stávajícího dodavatele pružin (Tab. 8).

Tab. 8 Životnostní testy staré pružiny

Old sub-supplier	Unit	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
L0 (before compression)	mm	9,86	9,89	9,87	9,85	9,93
L0 (post 10 compression)	mm	9,81	9,86	9,83	9,81	9,87
L0 (post 108.000 cycles)	mm	9,44	9,30	9,06	9,22	9,53
L0 (post 304.000 cycles)	mm	9,34	9,12	BROKEN	8,96	9,23
F1 (at 8,00 mm)	N	2,63	2,58	2,55	2,47	2,57
F1 (post 10 compression)	N	2,44	2,39	2,45	2,33	2,39
F1 (post 108.000 cycles)	N	1,97	1,59	2,08	1,95	1,77
F1 (post 304.000 cycles)	N	1,91	1,535	!	1,22	1,87
Deformation L0	mm	0,52	0,77	!	0,89	0,7
Load F1 decreasing	N	0,72	1,05	!	1,25	0,70

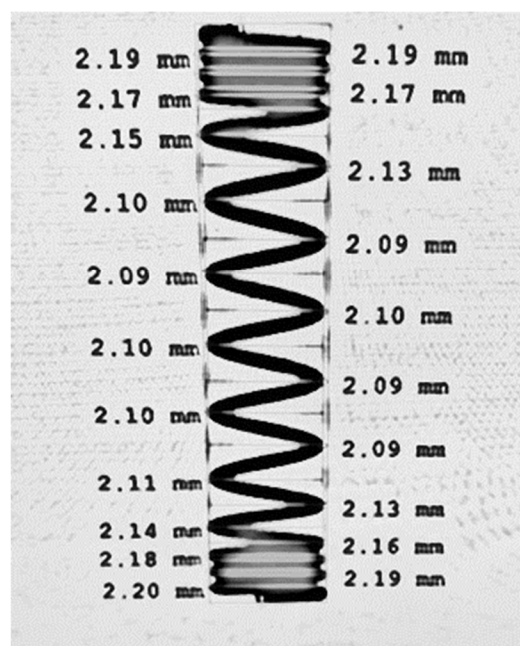
Jak lze vidět z výsledků testů staré pružiny, výsledky se od sebe celkem zásadně liší. V případě staré pružiny dokonce jeden ze vzorků nevydržel zátěž 304 000 stlačení samotné pružiny. Pružina selhala při 294 025 cyklech. Dále jsou výsledky rozdílné v hodnotě deformace volné délky pružiny, kdy se u starých pružin volná délka pružin snížila o více než 0,5 mm. Síla stlačení na volnou délku 8 mm se v případě starých pružin dostala po provedených 304 000 cyklech na hodnoty 1,22 až 1,91 N, což odpovídá snížení až o 1,25 N. Z těchto testů tak vidíme, že nová pružina zásadně déle drží svůj původní tvar a délku a celkově je pružina mnohem spolehlivější a stabilnější.

Na následujících dvou obrázcích (Obr. 33 – nová pružina a Obr. 34 – stará pružina) je vyobrazeno porovnání pružiny od starého a nového dodavatele na automatickém měřícím systému. Viditelné jsou převážně rozdíly v šířce obou pružin ve střední části. Lze pozorovat, že nová pružina udrží stejnou hodnotu šířky v celé délce pružiny (hodnoty se pohybují od 2,18 do 2,22 mm).



Obr. 33 Vyobrazení nové pružiny na automatickém měřícím systému

Naopak pružina od starého dodavatele se ve střední části značně ztenčuje (až na 2,09 mm), ve stranách se v zásadě neliší od nové pružiny. (2,17 mm až 2,20mm).



Obr. 34 Vyobrazení staré pružiny na automatickém měřícím systému

Dalším krokem ověření pružiny od nového dodavatele byla chemická analýza 5 vzorků pružiny. Na vzorcích bylo testováno, zda složení použitého drátu odpovídá seznamu doporučených hodnot dle normy EN 10270/1:2017. Celkem bylo testováno konkrétní zastoupení 6 důležitých prvků (Uhlík, Silikon, Mangan, Fosfor, Síra a Měď). Všechny naměřené hodnoty (viz tab. 9) odpovídají doporučeným hodnotám uvedeným ve výše zmíněné normě.

Tab. 9 Chemická analýza pružin

Element	Chemické složení	EN 10270/1
C	0,870 %	0,450 – 1,000 %
Si	0,190 %	0,100 – 0,300 %
Mn	0,530 %	0,400 – 1,200 %
P	0,006 %	≤ 0,020 %
S	0,006 %	≤ 0,025 %
Cu	0,100 %	≤ 0,120 %

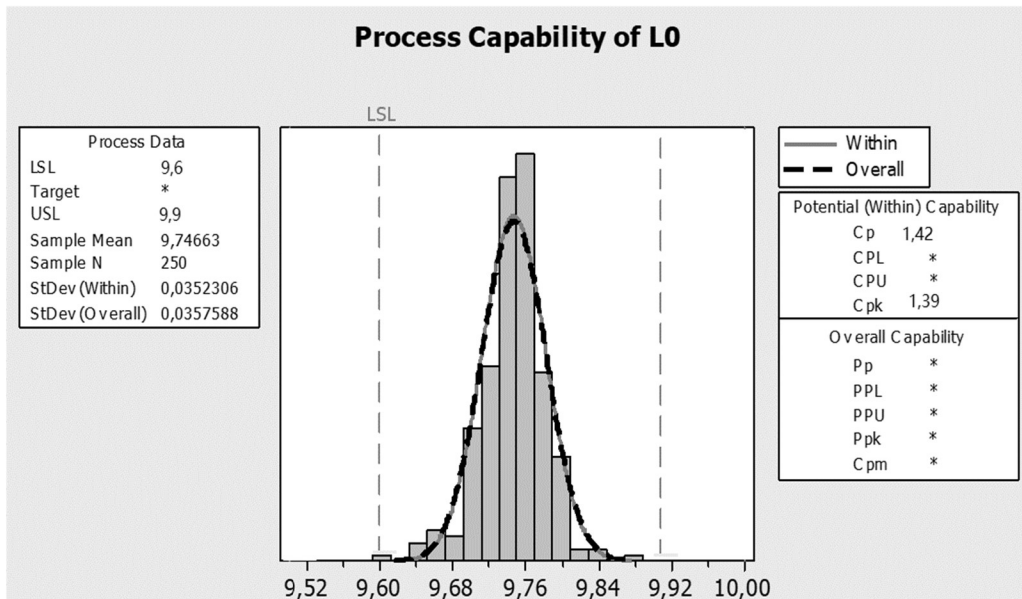
V rámci interních testů pružin, lze s jednoduchostí říct, že pružina od nového dodavatele zcela předčí původní pružiny ve všech ohledech a ve všech jednotlivých testech. Měření a testy jednoznačně dokazují stabilitu procesu u nového dodavatele a potvrzují značné problémy ve stabilitě procesu u dodavatele původního.

6.2 Ověření preventivního opatření – validace procesu

Druhé opatření, které bylo implementováno jako preventivní opatření (úprava a nastavení kontrol procesu výroby pružiny v kontrolním plánu u nového dodavatele) bylo ověřeno s kladným výsledkem kontrolním auditem ze strany společnosti, který proběhl 2 měsíce po nastavení nové spolupráce při výrobě a dodávkách pružin, které se nyní používají na všechny výrobky pro společnost CNH Industrial.

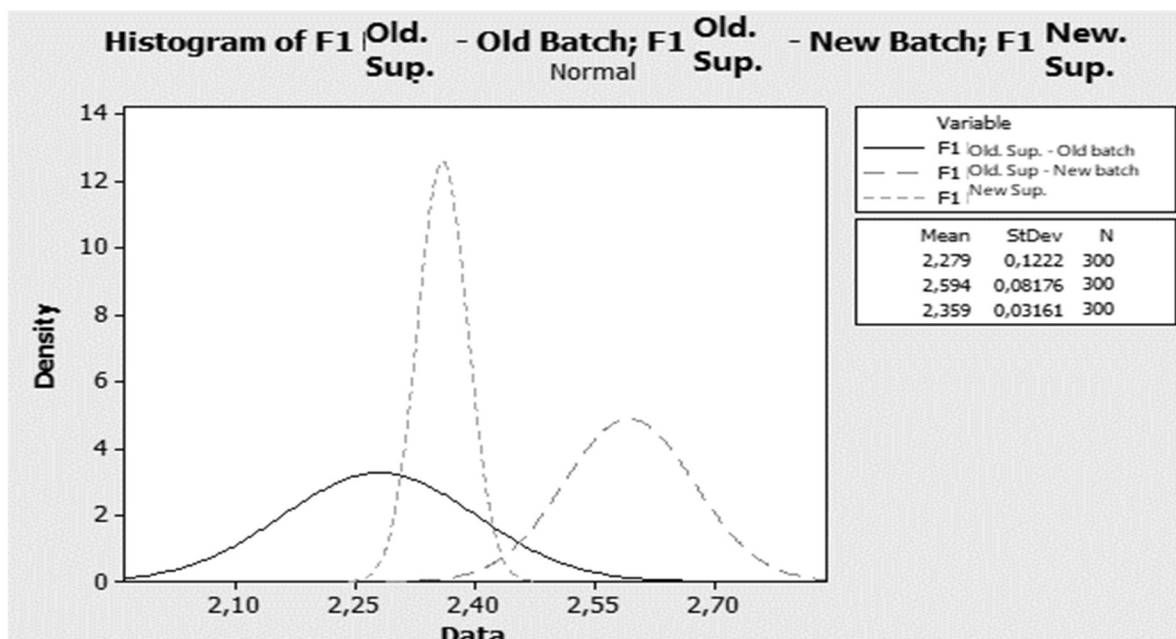
Pro důkaz, že je dodavatel držet stejnou kvalitu po celou dobu výroby jedné výrobní dávky bylo rozhodnuto, že bude provedena analýza ztrát volné délky pružin po 100 cyklech stlačení u 250 vzorků pružin. Na dále uvedeném diagramu, vytvořeném pomocí statistického nástroje Minitab, je vyobrazena analýza procesní způsobilosti, vypočtena na základě pozorování právě dříve zmíněných 250 vzorků. Pružiny od nového dodavatele mají v průměru volnou délku po 250 stlačeních 9,74 mm, při

standardní odchylce 0,035 mm. Index způsobilosti (Cp) se pak rovná 1,42, Index způsobilosti (Cpk) se rovná 1,39 (viz obr. 35).



Obr. 35 Procesní způsobilost volné délky pružin po 100 stlačeních

Stejné měření a sledování bylo provedeno i pro sílu stlačení pružin F1. Na rozdíl od předešlého měření volné délky bylo toto pozorování provedeno na rozšířenější sadě vzorků pružiny (N=300) od nového dodavatele (Obr. 36).



Obr. 36 Histogram síly F1 (porovnání starý a nový dodavatel)

Zjištěno bylo, že střední síla F1 pro vybraných 300 vzorků se rovná 2,359 N při standardní odchylce 0,03161 N. Pro srovnání bylo přidáno i měření síly stlačení F1 u dvou různých dodávek od předešlého dodavatele.

U první dodávky byla zjištěna střední síla stlačení F1 rovna 2,279 N při standardní odchylce 0,1222 N a u druhé dodávky od starého dodavatele střední síla stlačení 2,594 N a standardní odchylka 0,0817 N. V případě pružin od nového dodavatele vidíme stabilnější výsledky, které se pohybují v rozmezí 2,25 a 2,45 N. V případě starší dodávky od starého dodavatele vidíme sice nižší střední hodnotu síly stlačení F1 (2,279 N), ale mnohem vyšší standardní odchylku. Novější dodávka od starého dodavatele má sice nižší standardní odchylku (0,8176 N), střední hodnota však dosahuje hodnoty 2,594 N. Výsledky tak ukazují, že proces původního dodavatele nebyl vůbec stabilní, a to ani v rámci jednotlivých dodávek.

6.3 Opakované životnostní testy

Posledním krokem k ověření funkčnosti nové pružiny je provést životnostní test na finálním výrobku.

Níže uvedená tabulka 10 uvádí přehled jednotlivých vzorků životnostního testu. Finální výrobek tedy prošel revalidačním testováním až poté co byla do výrobků namontována pružina od nového dodavatele. Všech pět revalidačních vzorků prošlo všech 105 500 cyklů s Ok výsledkem.

Tab. 10 Přehled testovaných výrobků a počet cyklů (po změně dodavatele pružin)

Číslo vzorku	Výsledek	Počet cyklů
1378-01	OK	105 500
1378-02	OK	105 500
1378-03	OK	105 500
1378-04	OK	105 500
1378-05	OK	105 500

Na obrázku 37 je zobrazen výstřižek z oficiálního test reportu číslo 2021-1378 s přehledem jednotlivých revalidačních testů. Veškeré navržené testy jsou

Report No. 2021-1378

Result overview:

No.	Result overview	Assessment
1	Iveco 18-2175 par. 8 Duration	
1.1	Lock Switch endurance test	
	No issue during the test.	OK
2	Check after Duration 100.550 cycles	
2.1	General Test	
	No issue during the check.	OK
2.2	Key removal travel	
	No issue was detected. Key removal travel are in the range 2.98mm - 3.03mm	OK
2.3	Check non-repeat device	
	No issue was detected.	OK
2.4	Insulation resistance	
	No issue was detected.	OK
2.5	Break-down voltage	
	No issue was detected.	OK
2.6	Voltage drop	
	No issue was detected. 30-15 samples are in the range: 112.24mV - 130.40mV 30-50 samples are in the range: 90.80mV - 110.20mV	OK
2.7	Current flowrate	
	No issue after the test.	OK
2.8	Non-repeat device test	
	No issue during the check.	OK

s pozitivním výsledkem. Nápravné opatření na změnu dodavatele pružin tak bylo úspěšně validováno.

Obr. 37 Výsledky opakovaných revalidačních testů

Zdroj: (Interní report – 2021-1378)

V rámci Lessons learned (jedná se o nástroj pro předcházení rizik, kdy se jedná o poučení z předchozích projektů, analýz, problémů a reklamací, které se převádí na širší část procesů ve společnosti a na další projekty ve společnosti) bylo rozhodnuto o tom, že veškeré pružiny, které se využívají v pobočce pro všechny projekty společnosti CNH Industrial a současným dodavatelem je původní dodavatel řešený v rámci aktuálního problému budou postupně předávány novému dodavateli.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo popsat metody a nástroje využívající se k řešení neshod v automobilovém průmyslu, pomocí nich analyzovat vybraný neshodný díl po rekvalifikačním testování produktu, na základě této analýzy navrhnout nápravná opatření vedoucí k odstranění příčin této neshody a vyhodnotit účinnost navržených nápravných opatření s cílem eliminovat opětovný výskyt neshody.

V úvodní části diplomové práce je teoreticky vysvětlen proces plánování kvality produktu na základě přístupu a příručky APQP. Tento proces je rozdělen do jednotlivých kroků, které jsou detailně popsány v první kapitole, v jejímž rámci jsou dále vysvětleno i schvalování procesů a vzorkování výrobků neboli tzv. procesu Part Production Approval Process (PPAP). V druhé kapitole jsou uvedeny jednotlivé základní i další vybrané nástroje a metody zlepšování kvality. Některé z nich (Diagram příčin a následků, SPC, 8D report, FMEA) jsou následně využívány při řešení problému v praktické části práce. Poslední část teorie je zaměřena na samotný proces rekvalifikace, požadavky na rekvalifikační zkoušky na základě normy IATF 16949 a také jsou uvedeny konkrétní příklady požadavků tří vybraných OEM zákazníků.

Vybraný neshodný díl z rekvalifikačního (revalidačního) testování byl analyzován v rámci praktické části diplomové práce pomocí jednotlivých nástrojů a metod, přičemž jednotlivé kroky analýzy jsou v práci shrnuty do formy reportu osmi disciplín (8D report). Úspěšně byla nalezena hlavní příčina prasknutí pružiny během životnostního testu – použití neshodné pružiny, jejíž dodavatel dostatečně nezabezpečil svůj proces, tak aby nemohlo dojít k tomu, že je pružina nevhodně tepelně zpracována. Zároveň nebyly ze strany dodavatele nastaveny dostatečné mechanismy, které by danou chybu dokázali odhalit. Jako trvalé nápravné opatření byla zvolena změna původního dodavatele pružiny a jako preventivní dlouhodobé opatření byl nastaven nový kontrolní plán pružin u nového dodavatele. Implementovaná nápravná opatření byla validována pomocí dodavatelského auditu a životnostních testů jednotlivých pružin i finálních výrobků.

Seznam literatury

ADVANCED PRODUCT QUALITY PLANNING AND CONTROL PLAN. USA: Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2008. ISBN: 978-1-60534-137-8.

ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02323-5.

CNH INDUSTRIAL CUSTOMER SPECIFIC REQUIREMENTS FOR IATF 16949 [online]. Turín: CNH Industrial N.V, 2017. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/oem-requirements/customer-specific-requirements/>

ČSN ISO 22514-7. Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost – Část 7: Způsobilost procesů měření. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

ČSN EN ISO 9000. Systémy managementu jakosti – Základní principy a slovník. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2016.

FCA CUSTOMER-SPECIFIC REQUIREMENTS FOR IATF 16949:2016 [online]. Turín, Fiat Chrysler, 2021. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/oem-requirements/customer-specific-requirements/>

IATF 16949: CUSTOMER-SPECIFIC-REQUIREMENTS (CSRs) OF VOLKSWAGEN GROUP [online]. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2022. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/oem-requirements/customer-specific-requirements/>

IKVALITA.CZ [online]. Praha: Ikvalita.cz, 2005-2016 [2021-06-23]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=25>

IMAI, M., Gemba Kaizen. Brno: Computer Press, 2008: ISBN: 80-251-0850-3.

JURAN, M.J., Juran's Quality Handbook. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1998. ISBN: 0-07-034003-X.

KCM.CZ [online]. Metody a nástroje zlepšování, Praha: KCM Consulting s.r.o, 2022 [2022-05-04]. Dostupné z: <https://kcm.cz/kategorie-skoleni/metody-a-nastroje-zlepsovani/>

LEAN6SIGMA.CZ [online]. Control Charts, Praha: Lean6Sigma 2021 [2021-05-19]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/control-charts/>

LEAN6SIGMA.CZ [online]. FMEA – Vyhodnocení rizik, Praha: Lean6Sigma 2022 [2022-03-04]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/fmea/>

LINSAY, W.M, a EVANS, J.R., Managing for Quality Performance Excellence. USA: Cengage Learning, 2016. ISBN 978-13-056-6254-4.

NENADÁL J. a kol., Management kvality pro 21. století. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1561-2.

NORMA PRO SYSTÉM MANAGEMENTU KVALITY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU, PRAHA: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

PRODUCTION PART APPROVAL PROCESS (PPAP). USA: Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2008.

PROPLANNER [online]. Ames: Proplaner, 2021 [2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/pfmea-and-control-plan>

RAMBAUD, L. 8D Strukturovaný přístup k řešení problémů. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02347-0.

SPCFORExcel.COM [online]. UK, BPI Consulting, LLC., 2021 [2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.spcforexcel.com/spc-blog/what-pareto-chart>

STAMATIS, D.H., Failure Mode and Effect Analysis: FMEA From Theory to Execution. USA: ASQC Quality Press, 1995. ISBN: 978-0-87389-598-9.

STAMATIS, D.H., Advanced product quality planning: The Road to Success USA: CRC Press, 2021. ISBN: 978-0-36778-070-8.

TAGUE, N. R., The Quality Toolbox. USA: Softcover, 2005. ISBN: 978-0-83789-639-9.

TECH QUALITY PEDIA [online]. UK: TECH QUALITY PEDIA, 2021 [2021-05-23]. Dostupné z: <https://techqualitypedia.com/production-part-approval-process/>

THE W. EDWARDS DEMING INSTITUTE [online]. Ketchum: The W.Edwards Deming Institute, 2021 [2021-05-15]. Dostupné z: <https://deming.org/explore/pdsa/>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma procesu APQP.....	13
Obr. 2 Demingův cyklus PDCA	14
Obr. 3 Základní tabulka FMEA	18
Obr. 4 PPAP stupně	22
Obr. 5 Kontrolní záznamník.....	25
Obr. 6 Příklad vývojového diagramu	26
Obr. 7 Paretův diagram	27
Obr. 8 Diagram rybí kosti	28
Obr.9 Rozhodovací strom pro volbu regulačního diagramu	31
Obr. 10 Příklad regulačních diagramů.....	32
Obr. 11 Finální výrobek – spínací skříňka	40
Obr. 12 Popis funkce Anti-repeat	42
Obr. 13 Poškozená pružina.....	43
Obr. 14 Ishikawa diagram potenciálních příčin vad.....	45
Obr. 15 Rentgen NOK finálního výrobku.....	47
Obr. 16 Porovnání pružiny bez tepelného zpracování a po tepelném zpracování	48
Obr. 17 Komponenty finálního výrobku	49
Obr. 18 Měrový protokol – Pružina.....	50
Obr. 19 Měrový protokol – Čep	50
Obr. 20 Měrový protokol – Vačka.....	51
Obr. 21 Měrový protokol – Pouzdro.....	51
Obr. 22 Vzorek pružiny 7091-01 OK při 50x zvětšení	53
Obr. 23 Vzorek pružiny 0931-01 OK při 50x zvětšení	54
Obr. 24 Vzorek pružiny 1032-03 NOK při 50x zvětšení.....	54

Obr. 25 Vzorek pružiny 7091-01 OK při 1000x zvětšení	55
Obr. 26 Vzorek pružiny 0931-01 OK při 1000x zvětšení	55
Obr. 27 Vzorek pružiny 1032-03 NOK při 1000x zvětšení.....	55
Obr. 28 Pružina 1032-03 NOK – zobrazení na elektronovém mikroskopu	56
Obr. 29 Pružina 1032-03 NOK – rozdíl mezi strukturou vláken na vnější (A) a vnitřní části (B)	57
Obr. 30 Výsledky procesního auditu u současného dodavatele.....	59
Obr. 31 Interní hodnocení nového dodavatele	60
Obr. 32 Ukázka kontrolního plánu	61
Obr. 33 Vyobrazení nové pružiny na automatickém měřicím systému.....	64
Obr. 34 Vyobrazení staré pružiny na automatickém měřicím systému	64
Obr. 35 Procesní způsobilost volné délky pružin po 100 stlačení.....	66
Obr. 36 Histogram síly F1 (porovnání starý a nový dodavatel).....	66
Obr. 37 Výsledky opakovaných revalidačních testů	68

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled předkládané dokumentace během PPAP procesu.....	21
Tab. 2 Porovnání požadavků jednotlivých zákazníků.....	39
Tab. 3 Přehled testovaných výrobků a počet cyklů	41
Tab. 4 Hodnocení vady Anti-repeat funkce v rámci DFMEA	45
Tab. 5 Porovnání volné délky pružin	48
Tab. 6 Chemická analýza pružin	52
Tab. 7 Životnostní testy nové pružiny.....	62
Tab. 8 Životnostní testy staré pružiny.....	63
Tab. 9 Chemická analýza pružin	65
Tab. 10 Přehled testovaných výrobků a počet cyklů (po změně dodavatele pružin)	

Seznam příloh

Příloha 1 Hodnocení významu vady při FMEA analýze.....	76
Příloha 2 Hodnocení odhalitelnosti vady při FMEA analýze	77

Příloha 1 Hodnocení významu vady při FMEA analýze

Důsledek	Závažnost	Známka
Žádný důsledek	Žádný znatelný důsledek	1
Nepříjemnost	Objekt není ve shodě a všimne si toho max. 25 % zákazníků (vzhledové vady)	2
Nepříjemnost	Objekt není ve shodě a všimne si toho cca. 50 % zákazníků (vzhledové vady)	3
Nepříjemnost	Objekt není ve shodě a všimne si toho více než 75 % zákazníků (vzhledové vady)	4
Ztráta nebo zhoršení sekundární funkce	Funkce zajišťující pohodlí jsou omezené	5
Ztráta nebo zhoršení sekundární funkce	Funkce zajišťující pohodlí jsou nefunkční	6
Ztráta nebo zhoršení primární funkce	Zhoršení primární funkce	7
Ztráta nebo zhoršení primární funkce	Ztráta primární funkce (vozidlo nepojízdné)	8
Nesplnění bezpečnostních předpisů	Ovlivněný bezpečný chod vozidla s varováním	9
Nesplnění bezpečnostních předpisů	Ovlivněný bezpečný chod vozidla bez varování	10

Zdroj: (Analýza systému měření, 2010, upraveno)

Příloha 2 Hodnocení odhalitelnosti vady při FMEA analýze

Detekce	Pravděpodobnost	Známka
Jistá	Možnost vytvoření chyby znemožněná designem	1
Velmi vysoká	Automatické odhalení v procesu, design procesu zabraňuje vytvoření neshody (Poka-Yoke)	2
Vysoká	Automatické odhalení v procesu (Mistake proofing) s blokováním dílu	3
Středně velká	Automatické odhalení mimo proces (koncový měřák) s blokováním dílu	4
Střední	Odhalení operátorem přímo při procesu (manuálním mařením) nebo automatické odhalení s varováním operátora	5
Malá	Odhalení operátorem přímo při procesu (kalibrem) nebo mimo proces (manuálním měřidlem)	6
Velmi malá	Odhalení operátorem přímo při procesu (vizuálně) nebo mimo proces (kalibrem)	7
Mizivá	Odhalení operátorem mimo proces (vizuálně)	8
Velmi mizivá	Téměř nelze odhalit, pouze náhodná odhalení	9
Nemožná	Odhalení vady v procesu je nemožné	10

Zdroj: (Analýza systému měření, 2010, upraveno)

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Zdeněk Šoukal		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců		
NÁZEV PRÁCE	Využití analytických nástrojů zlepšování kvality při řešení neshody u dodavatele v automobilovém průmyslu		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING.		
KATEDRA	KRVLK – Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2022
POČET STRAN	79		
POČET OBRÁZKŮ	37		
POČET TABULEK	10		
POČET PŘÍLOH	2		
STRUČNÝ POPIS	<p>Cílem diplomové práce je popsat metody a nástroje využívající se k řešení neshod v automobilovém průmyslu, pomocí nich analyzovat vybraný neshodný díl po rekvalifikačním testování produktu, na základě této analýzy navrhnout nápravná opatření vedoucí k odstranění příčin této neshody a vyhodnotit účinnost navržených nápravných opatření s cílem eliminovat opětovný výskyt neshody.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	IATF, kvalita, analýza, automobilový průmysl, nápravná opatření, rekvalifikační testování, neshoda		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Zdeněk Šoukal		
FIELD	Specialization International Supply Chain Management		
THESIS TITLE	Usage of analytical tools to improve quality during solving of non-conformities at a supplier side in the automotive industry		
SUPERVISOR	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING.		
DEPARTMENT	KRVLK – Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2022
NUMBER OF PAGES			
	79		
NUMBER OF PICTURES			
	37		
NUMBER OF TABLES			
	10		
NUMBER OF APPENDICES			
	2		
SUMMARY	<p>The aim of the thesis is to describe the methods and tools used to solve non-conformities in the automotive industry, to analyze the selected non-conform part after requalification product testing, based on this analysis to propose corrective actions to eliminate the causes of this non-conformity and evaluate the effectiveness of proposed corrective measures to eliminate recurrence of non-conformity.</p>		
KEY WORDS	<p>IATF, Quality, Analysis, Automotive, Corrective Actions, Requalification testing, non-conformity</p>		