

Projekt racionalizace procesu testování při výrobě elektrobaterií ve vybrané společnosti

Bc. Ondřej Krpec

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Ondřej Krpec
Osobní číslo:	M23136
Studijní program:	N0488P050002 Průmyslové inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Projekt racionalizace procesu testování při výrobě elektrobaterií ve vybrané společnosti

Zásady pro vypracování

Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

I. Teoretická část

- Zpracujte literární rešerši v dané oblasti a formulujte teoretická východiska pro zpracování praktické části diplomové práce.

II. Praktická část

- Provedte analýzu současného stavu vybraného procesu ve výrobě elektrobaterií.
- Na základě analýzy vypracujte projektový návrh pro zlepšení vybraného procesu.
- Zhodnoťte projektové řešení.

Závěr

Rozsah diplomové práce: cca 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

DENNIS, Pascal. *Lean production simplified: a plain-language guide to the world's most powerful production system*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 9781498708876.
FILIP, Ludvík. *Efektivní řízení kvality*. Praha: Pointa, 2019. ISBN 9788090753051.
GOETSCH, David L. a DAVIS, Stanley. *Quality management for organizational excellence: Introduction to total quality*. Eighth edition. Boston: Pearson, 2016. ISBN 9780133791853.
MAYNARD, Harold B., BINANDA, Bopaya (ed.). *Maynard's industrial and systems engineering handbook*. Sixth edition. New York: McGraw Hill, 2023. ISBN 978-1-260-46156-5.
NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 9788072615612.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lucie Hrbáčková, Ph.D.
Ústav průmyslového inženýrství a Informačních systémů

Datum zadání diplomové práce: 10. února 2025
Termín odevzdání diplomové práce: 25. dubna 2025

L.S.

doc. Ing. Michal Pilík, Ph.D.
děkan

prof. Ing. David Tuček, Ph.D.
garant studijního programu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně, dne 6.4.2025

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na snížení podílu NG (Not Good) výsledků testování těsnosti bateriových systémů ve vybrané společnosti. Hlavním cílem je snížení celkového podílu NG výsledků z původních 4,8 % na 3,0 %. K dosažení tohoto cíle je využita metodika DMAIC a její nástroje. V teoretické části je zpracována literární rešerše zaměřená na problematiku testování těsnosti ve výrobě bateriových systémů, statistické řízení procesů, metodiku DMAIC a související analytické nástroje. V praktické části je představena společnost a definován projekt. Následuje analýza současného stavu a vstupních dat, identifikace kořenových příčin a analýza jejich vlivu. Na základě výsledků těchto analýz jsou navržena opatření, která jsou následně implementována a vyhodnocena. Na závěr je provedeno finanční zhodnocení projektu a navržena doporučení pro budoucí optimalizaci procesu.

Klíčová slova: analýza, DMAIC, experiment, proces, projekt, těsnost

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on reducing the proportion of NG (Not Good) leak test results of battery systems in the selected company. The main objective is to reduce the overall proportion of NG results from 4,8 % to 3,0 %. The DMAIC methodology and its tools are used to achieve this objective. In the theoretical part, the literature search is conducted focusing on the issues of leak testing in battery system manufacturing, statistical process control, DMAIC methodology and related analytical tools. In the practical part, the company is introduced, and the project is defined. It is followed by analysing the current status and input data, identifying root causes and analysing their impact. Based on the results of these analyses, measures are proposed, which are then implemented and evaluated. Finally, a financial evaluation of the project is carried out, and recommendations for future process optimisation are proposed.

Keywords: Analysis, DMAIC, Experiment, Process, Project, Tightness

Rád bych poděkoval Ing. Lucii Hrbáčkové Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce, za poskytování cenných rad a věcných připomínek, za její ochotu i čas, který mi věnovala při vypracování této diplomové práce.

Také bych rád poděkoval celému projektovému týmu za spolupráci. Zvláštní poděkování patří vedoucímu tohoto projektu za jeho trpělivost, cenné rady a podporu při řešení dané problematiky.

OBSAH

ÚVOD.....	13
CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE.....	14
I TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1 VÝROBA BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ	16
2 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH VOZIDEL	18
2.1 BATERIOVÁ ELEKTRICKÁ VOZIDLA	18
2.2 HYBRIDNÍ ELEKTRICKÁ VOZIDLA	19
2.3 PLUG-IN HYBRIDNÍ ELEKTRICKÁ VOZIDLA.....	19
3 ZKOUŠKY TĚSNOSTI.....	21
3.1 TYPY MĚŘENÍ ÚNIKU POMOCÍ VZDUCHU	21
3.1.1 Měření hmotnostního průtoku.....	22
3.1.2 Měření poklesu tlaku.....	22
3.2 SLEDOVÁNÍ ÚNIKU PLYNU HELIOVÝM TESTEM	24
4 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU.....	25
4.1 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ POJMY	25
4.2 STATISTICKÉ ZOBRAZENÍ DAT	25
4.3 STATISTICKÁ KONTROLA PROCESŮ (SPC)	27
5 SIX SIGMA.....	29
5.1 FÁZE DEFINOVÁNÍ.....	30
5.1.1 RIPRAN	31
5.1.2 Hlas zákazníka (VoC)	32
5.1.3 SIPOC	33
5.1.4 Brainstorming.....	34
5.2 FÁZE MĚŘENÍ	35
5.2.1 IPO diagram	36
5.3 FÁZE ANALYZOVÁNÍ	36
5.3.1 Ishikawa diagram	37
5.3.2 Paretův diagram	38
5.3.3 DOE.....	40
5.4 FÁZE ZLEPŠENÍ	42
5.5 FÁZE KONTROLY	43
6 PLÝTVÁNÍ VE VÝROBĚ	44
6.1 ZMETKOVITOST	44
6.2 ČEKÁNÍ	45
6.3 POHYB.....	45

6.4	TRANSPORT	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
7	PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI	48
7.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA VYBRANÉ SPOLEČNOSTI.....	48
7.2	ORGANIZAČNÍ STRUKTURA.....	49
7.3	HISTORIE SPOLEČNOSTI	50
7.4	PRODUKTOVÉ PORTFOLIO	50
8	FÁZE DEFINOVÁNÍ.....	52
8.1	POPIS PROCESU TESTOVÁNÍ TĚSNOSTI BATERIOVÉHO SYSTÉMU	52
8.2	ČLENOVÉ TÝMU.....	57
8.3	HLAS ZÁKAZNÍKA (VOC)	57
8.4	SIPOC DIAGRAM.....	57
8.5	DEFINOVÁNÍ CÍLE A OHRANIČENÍ PROJEKTU	58
8.6	HARMONOGRAM PROJEKTU	60
8.7	RIPRAN ANALÝZA	61
8.8	KONTROLNÍ BOD FÁZE DEFINOVÁNÍ	61
9	FÁZE MĚŘENÍ.....	63
9.1	IPO DIAGRAM	63
9.2	KLASIFIKACE CHYB A VYTVOŘENÍ VZORNÍKU PŘÍČIN	64
9.2.1	NG výsledky chladicího systému	64
9.2.2	NG výsledky obalu bateriového systému	65
9.3	ČETNOST VÝSKYTU PŘÍČIN	67
9.4	OVĚŘENÍ VALIDITY VSTUPNÍCH DAT Z TESTOVÁNÍ TĚSNOSTI.....	70
9.5	OVĚŘENÍ VARIABILITY VSTUPNÍCH DAT.....	73
9.6	SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ FÁZE MĚŘENÍ	79
9.7	KONTROLNÍ BOD FÁZE MĚŘENÍ	80
10	FÁZE ANALYZOVÁNÍ	81
10.1	ISHIKAWA DIAGRAM	81
10.2	ANALÝZA VLIVU ZMĚNY OKOLNÍ TEPLoty	82
10.3	ANALÝZA VLIVU TEPLoty MATERIÁLU	84
10.4	ANALÝZA ZMĚNY ČASU STABILIZACE.....	87
10.5	ANALÝZA VLIVU ČASU MEZI JEDNOTLIVÝMI TESTY	89
10.6	DOE.....	90
10.7	ANALÝZA ZÁVISLOSTI POČTU RETESTŮ NA DOSAŽENÍ OK VÝSLEDKU	93
10.8	SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ FÁZE ANALYZOVÁNÍ	94

10.9	KONTROLNÍ BOD FÁZE ANALYZOVÁNÍ.....	94
11	FÁZE ZLEPŠOVÁNÍ	96
11.1	ÚPRAVA ČASU STABILIZACE	96
11.2	ZAIZOLOVÁNÍ MĚŘICÍHO SENZORU A ČÁSTI MĚŘENÉHO OKRUHU	97
11.3	INSTALACE OFUKU PO MONTÁŽI TRUBEK.....	98
11.4	VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH ÚPRAV	98
11.5	ÚPRAVA DESIGNU KONEKTORŮ	99
11.6	ŠKOLENÍ OPERÁTORŮ	100
11.7	KONTROLNÍ BOD FÁZE ZLEPŠOVÁNÍ	101
12	FÁZE KONTROLY	102
12.1	KONTROLA POMOCÍ PRACOVNÍCH INSTRUKCÍ.....	102
12.2	OVĚŘENÍ VÝSLEDKŮ.....	102
12.3	FINANČNÍ ZHODNOCENÍ.....	103
12.3.1	Náklady projektu	103
12.3.2	Přínosy projektu	104
12.4	UZAVŘENÍ PROJEKTU	106
13	NÁVRH OPATŘENÍ PRO BUDOUCÍ OPTIMALIZACI PROCESU	108
	ZÁVĚR	110
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	111
	SEZNAM OBRÁZKŮ	116
	SEZNAM TABULEK.....	118
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	119
	SEZNAM PŘÍLOH.....	121

ÚVOD

V současné době je elektromobilita v automobilovém průmyslu velice často diskutované téma. Lze očekávat, že v následujících letech dojde k nárůstu podílu osobních vozidel s čistě elektrickým, plug-in hybridním či hybridním pohonem. Výroba elektrobaterií pro tato vozidla je klíčovou součástí automobilového průmyslu, ve kterém panuje velká konkurence. Bateriové systémy musí splňovat vysoké požadavky nejen z hlediska bezpečnosti při nárazu, ale také z hlediska těsnosti, dostatečného chlazení a ochrany proti korozi. Jednou z klíčových vlastností je těsnost, která výrazně ovlivňuje životnost bateriového systému vystaveného vlhkému prostředí. Proto jsou ve výrobě kladeny vysoké požadavky na testování těsnosti nejen bateriového obalu, ale také těsnosti chladicího systému. Těsnost musí být garantována v předpokládaném rozmezí provozních teplot po celou dobu životnosti baterie.

Cílem této diplomové práce je snížení celkového podílu NG (Not Good) výsledků procesu testování těsnosti bateriových systémů a navrhnout opatření, která povedou ke zlepšení tohoto procesu. Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část je literární rešerší poskytující teoretická východiska pro zpracování praktické části. Teoretická část se zabývá procesem výroby bateriových systémů, rozdělením elektrických vozidel a testováním bateriových systémů pomocí zkoušek těsnosti. Dále jsou popsány statistické metody a jednotlivé fáze metodiky DMAIC s jejími nástroji. Na závěr jsou popsány druhy plýtvání ve výrobě.

V praktické části je nejprve představena vybraná společnost a její produktové portfolio. Následuje projektová část, která je zpracována pomocí metodiky DMAIC. Nejprve je ve fázi definování popsán proces testování těsnosti, poté je sestaven tým, nadefinován hlas zákazníka (VoC) a vytvořen SIPOC diagram. Dále jsou stanoveny cíle projektu, vymezen jeho rozsah, vytvořen harmonogram a provedena riziková analýza. Ve fázi měření jsou nejprve pomocí IPO diagramu shrnuty vstupy, které jsou procesem přeměňovány na výstupy. Následuje vytvoření vzorníku příčin a analýza četnosti jejich výskytu. Nakonec je ověřena validita a variabilita vstupních dat. V následující fázi analyzování jsou analyzovány příčiny a jejich vliv na vznik NG výsledků. Ve fázi zlepšování jsou navržena a realizována některá opatření, která vedou ke zlepšení procesu. Ve fázi kontroly je ověřeno dodržování pracovních instrukcí a jsou také ověřeny výsledky testování po implementaci opatření. Následuje finanční zhodnocení projektu s jeho náklady a přínosy pro společnost a uzavření projektu. Na závěr jsou navržena opatření pro budoucí optimalizaci procesu.

CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je snížení celkového podílu NG výsledků (zejména falešných NG výsledků) při testování těsnosti PHEV bateriových systému ve vybrané společnosti z původních 4,8 % na 3,0 %. Mezi dílčí cíle tohoto projektu patří analýza příčin NG výsledků pomocí různých grafických metod a statistického softwaru Minitab 22, návrh a implementace opatření vedoucích k optimalizaci procesu testování těsnosti, ověření účinnosti těchto opatření a vyhodnocení dosaženého zlepšení pomocí regulačních diagramů a finanční analýzy.

V praktické části jsou využity různé metody určené pro metodiku DMAIC a dosažení stanoveného cíle. Ve fázi definování je nejprve nadefinován hlas zákazníka (VoC), jehož cílem je porozumět jeho požadavkům. Následuje vytvoření SIPOC diagramu pro vizualizaci procesu od dodavatele po zákazníka. Poté je použit projektový list k definování cíle a vymezení projektu, následně je pomocí Ganttova diagramu vytvořen harmonogram projektu a metoda RIPRAN je použita k analýze rizik projektu.

Ve fázi měření je nejprve použit IPO diagram pro zjednodušené znázornění výrobního procesu, následuje analýza četnosti výskytu příčin pomocí výsečového, sloupcového grafu a Paretova diagramu a jsou určeny příčiny, které způsobují 58 % NG výsledků. Regulační diagram s SPC limity je využit pro ověření validity vstupních dat. Softwarem Minitab 22 je ověřena variabilita vstupních dat pomocí grafu způsobilosti procesu, grafu časové řady a pravděpodobnostního grafu.

Ve fázi analyzování jsou pomocí Ishikawa diagramu, vytvořeného pomocí brainstormingu, nalezeny kořenové příčiny. Spojnicový graf, bodový graf, skládaný pruhový graf a regulační diagram s SPC limity je použit pro grafické znázornění výsledků provedených analýz. DOE experiment je analyzován pomocí softwaru Minitab 22 s využitím Pareto diagramu, grafu hlavního efektu a grafu optimalizace. Cílem tohoto experimentu je najít optimální nastavení procesu.

Ve fázi zlepšování jsou na základě provedených analýz navržena opatření a některá z nich jsou implementována a následně ověřena pomocí regulačního diagramu s SPC limity.

Ve fázi kontrolování jsou popsána opatření, která je potřeba dodržovat. Pomocí sloupcového diagramu je vyhodnoceno zlepšení procesu testování těsnosti a finanční zhodnocení projektu. Na závěr jsou navržena opatření pro budoucí optimalizaci procesu.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ

Mezi lety 2020 až 2030 lze očekávat významný průlom v oblasti elektromobility. Nejde pouze o elektrifikaci automobilů, ale také o elektrifikaci jiných dopravních prostředků, které lze považovat za hlavní hnací síly globální revoluce v mobilitě (Schmolke et al., 2022). Výroba baterií je obvykle tvořena třemi hlavními kroky. Nejprve jsou jednotlivé články spojovány do bateriových modulů, poté jsou tyto moduly spojovány do bateriových sad a ve třetí fázi vzniká bateriový systém, který se skládá z bateriových sad a dalších komponentů, jako je například chladicí systém (Parkhurst a Clayton, 2022). Energie je uchovávána v různých formách lithium–iontových bateriových článků. V současné době převládá využití lithium-iontových baterií v elektromobilech, jelikož tyto baterie mají dlouhou životnost, vysokou účinnost a velkou energetickou hustotu (Das, 2024).

Většina lithium – iontových baterií je však citlivá na mechanické poškození, a proto je velmi důležitá jejich ochrana v bateriovém systému (Rangarajan et al., 2022). Jednotlivé bateriové články jsou montovány do bateriových modulů, které jsou poté umístěny do vodotěsného obalu, a tento celek je nazýván bateriovým systémem (Titmarsh a Harrison, 2019). Bateriový systém tvoří významnou část vozidla, která je spojena s mnoha komponenty a musí splňovat požadované mechanické vlastnosti, jako je například tuhost a pevnost (Schmolke et al., 2022). Vyrábí se z různých polotovarů a musí splňovat vysoké požadavky z hlediska bezpečnosti, například bezpečnost při nárazu, těsnost samotného obalu baterie, dostatečné chlazení a ochrana proti korozi či elektromagnetickému stínění (Das, 2024).

Životnost elektrobaterie je výrazně ovlivněna těsností obalu baterie. Ve výrobě jsou kladeny vysoké požadavky na těsnost obalu baterie, který je vystaven vlhkému prostředí. To má významný vliv na tvorbu koroze v důsledku umístění v podvozkové části vozidla (Schmolke et al., 2022). Bateriový obal musí zabránit vniknutí vlhkosti k bateriovým článkům a v případě úniku elektrolytu musí zabránit jeho úniku mimo obal baterie (Ateq, 2025). Vniknutí malého množství vody nebo vodní páry by mohlo vést ke zkratu baterie a vzniku kyseliny fluorovodíkové (INFICON, 2025). Těsnost musí být garantována v předpokládaném rozmezí provozních teplot a zároveň obal musí odolat mechanickému zatížení po celou dobu životnosti baterie (Schmolke et al., 2022).

Pro dosažení optimálního výkonu baterie a zajištění dlouhé životnosti je nezbytné baterii chladit a zahřívat na optimální teplotu. Aby těchto optimálních podmínek bylo

dosaženo, je při výrobě elektrobaterií klíčové testování chladicích systémů (Titmarsh a Harrison, 2019). Khan et al. (2023) uvádějí, že vliv teploty je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující správné fungování lithium-iontové baterie. Optimální provozní teplota je v rozmezí 15-35°C. Teplota samotných článků by se měla pohybovat v rozmezí 20–60 °C, jelikož mimo toto teplotní rozpětí se zvyšuje riziko požáru a exploze baterie. Rangarajan et al. (2022) poukazují na to, že hlavním problémem elektrických vozidel je degradace jejich lithium-iontových baterií.

Významný celosvětový nárůst využití lithium-iontových baterií v elektromobilech se však neobejde bez problémů. Lze předpokládat, že rostoucí poptávka po těchto bateriích vyvolá globální obavy týkající se životního prostředí a dostupnosti nezbytných nerostných surovin pro jejich výrobu. Zároveň představuje nárůst bateriového odpadu velkou výzvu pro budoucí rozvoj elektromobility (Das, 2024).

2 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH VOZIDEL

Elektrické vozidlo lze charakterizovat jako vozidlo s elektrickým pohonem, které je možné nabíjet z elektrické sítě, přičemž alespoň část jeho úložiště je napájena elektrickou energií (Fulton et al., 2017). Vzestup elektromobility představuje klíčový posun v automobilovém průmyslu (Das, 2024). Elektrická vozidla jsou považována za jedny z účinných ekologických přepravních prostředků především díky nulovým emisím (Tudoroiu, 2023) a eliminaci potřeby fosilních paliv pro jejich pohon (Leijon a Boström, 2022). Lze je rozdělit do tří kategorií: Plně bateriová elektrická vozidla (BEV), která využívají pouze zdroj elektrické energie, elektrická vozidla s palivovými články (FCEV), která využívají pouze palivové články, a hybridní elektrická vozidla (HEV), která využívají hybridní systém. Hybridní elektrická vozidla jsou ještě ve verzi plug-in hybrid (PHEV) (Tudoroiu, 2023; Leijon a Boström, 2022).

S nárůstem počtu elektrických vozidel ve městech může dojít ke zlepšení kvality ovzduší. Výhodou je vysoká efektivita elektromotoru a také nízká hluchost vozidla. Nevýhodami elektrických vozidel je vyšší pořizovací cena, nedostatečná nabíjecí infrastruktura a dlouhá doba nabíjení elektrobaterií. Řidiči mohou mít obavy z nedostatečného dojezdu elektrických vozidel kvůli kapacitě jejich elektrobaterie a z růstu cen elektrické energie, který může být způsoben nárůstem poptávky po elektrické energii (Leijon a Boström, 2022).

V posledních letech se však vývojáři a vědci zaměřili na zlepšení výkonů elektrických vozidel (Tudoroiu, 2023). Došlo k velkému pokroku a lithium-iontové baterie se staly kompaktnější, lehčí, odolnější a také se zkrátila doba nabíjení (Fulton et al., 2017). Především hybridní elektrická vozidla jsou funkčnější a ekologičtější než tradiční auta se spalovacími motory (Tudoroiu, 2023).

2.1 Bateriová elektrická vozidla

Elektromobily využívají pouze elektromotor pro pohon kol a elektrická energie je uložena jen v elektrobaterii. Po jejím vybití je nezbytné baterii znovu nabít z elektrické sítě, a to buď ze zásuvky nebo ze speciálních dobíjecích stanic. Dojezd elektromobilů závisí na kapacitě elektrobaterie a pohybuje se v rozmezí 300–500 km (Zhang et al., 2020). Elektromobily vyžadují velké množství bateriových článků pro dosažení potřebného výkonu a energie. Mají jen elektromotor a jsou poháněny pouze elektrickou energií (Leijon a Boström, 2022). Pro maximalizaci kapacity baterie a zachování požadované úrovně bezpečnosti jsou baterie

montovány do vyztužených a zpevněných prostor automobilů, kde je v případě nehody menší pravděpodobnost jejich poškození. Tato bezpečná zóna se obvykle nachází mezi nápravami a středem podvozku. Z hlediska využití bezpečné zóny existují tři hlavní způsoby uspořádání. Nejčastěji využívané je „podlahové“ uspořádání, kde jsou bateriové moduly rozmístěny v obdélníkovém či čtvercovém tvaru. V „T“ uspořádání jsou bateriové moduly rozmístěny do tvaru T anebo jsou bateriové moduly umístěny v zadní části vozidla ve vyšších bateriových systémech (Rangarajan et al., 2022). Elektrická vozidla neprodukují žádné přímé znečištění, snižují hlukové znečištění ve městech a jejich výhodou je účinnost elektromotoru, která se pohybuje mezi 90 a 95 % (Fulton et al., 2017).

2.2 Hybridní elektrická vozidla

Hybridní elektrická vozidla kombinují elektrický pohon s benzínovým motorem (Leijon a Boström, 2022). Ačkoli tato vozidla mají elektromotor a elektrobaterii, není možné je dobíjet z elektrické sítě. Baterie jsou dobíjeny pomocí rekuperačního zařízení, které přeměňuje kinetickou energii při brždění automobilu na energii elektrickou, která je ukládána do elektrobaterie (Zhang et al., 2020).

Hybridní elektromobily jsou charakteristické menším počtem bateriových článků, jelikož vyžadují nižší kapacitu bateriového úložiště ve srovnání s plug-in hybridním elektrickým vozidlem a elektromobily, které potřebují velké bateriové systémy (Rangarajan et al., 2022). Elektrický pohonný systém je využíván v případě, že styl jízdy vyžaduje nízkou spotřebu energie. To je zpravidla v městském provozu při nízkých otáčkách, kdy benzínový motor není využíván. V případě potřeby vyšší rychlosti dojde k přepojení na spalovací pohon (Zhang et al., 2020). Předseda Toyoty Takeshi Uchiyamada řekl, že hybridní vozidla jsou mostem do budoucnosti a dle jeho názoru by to mohl být dlouhý a velmi pevný most (Eisler, 2022).

2.3 Plug-in hybridní elektrická vozidla

Plug-in hybridní vozidla kombinují elektrický motor se spalovacím motorem a pro skladování energie mají nejen elektrobaterii, ale i systém pro tankování kapalného paliva (Leijon a Boström, 2022). Výhodou je účinnost elektromotoru, která se pohybuje mezi 90 a 95 % (Fulton et al., 2017). Plug-in hybrid na rozdíl od hybridu využívá elektrický pohon jako hlavní hnací systém a spalovací motor je využíván v případě nízké hladiny kapacity baterie. (Zhang et al., 2020). Plug-in hybridní elektrické vozidlo obvykle jezdí jen na

elektrickou energii, dokud nedojde k spotřebování elektrické energie a poté se automobil automaticky přepne na využívání spalovacího motoru, který dobíjí elektrobaterii (Zhang et al., 2020). Tato vozidla mají elektrobaterii s vyšší kapacitou v porovnání s hybridními vozidly, ale menší kapacitu elektrobaterie než elektromobily (Eisler, 2022). PHEV mají stejnou konfiguraci jako hybridní elektrická vozidla, ale navíc mají k dispozici nabíjecí port pro nabíjení z externích zdrojů, a to buď z domácnosti nebo z veřejných elektro nabíjecích stanic (Tudoroiu, 2023). Zároveň PHEV umožňují kratší dojezd pouze na baterii, ale v kombinaci se spalovacím motorem se dojezd pohybuje kolem 750 km (Fulton et al., 2017).

3 ZKOUŠKY TĚSNOSTI

V elektromobilitě je pro spolehlivý a bezpečný provoz elektrických a hybridních vozidel klíčové zajistit neporušenost jednotlivých komponent bateriových systémů prostřednictvím komplexního testování těsnosti (Ateq, 2025).

Těsnost lze definovat jako průnik kapaliny či plynu z testovaného tělesa do prostředí nebo průnik z prostředí do testovaného tělesa. Na základě skutečnosti, že všechny technické objekty mají nejružnější drobné defekty či v jejich stěnách se vyskytují slabá místa, nelze tedy považovat žádné těleso za dokonale těsné. Zkoušky těsnosti se tedy používají k testování tělesa, zda je únik kapaliny či plynu v toleranci definovaných limitních hodnot. Základní dělení zkoušek úniků je možné rozlišit na integrální a lokální test těsnosti. Integrální test těsnosti se zaměřuje na celkovou těsnost testovaného tělesa, zatímco lokální test těsnosti lokalizuje přesné místo úniku. Všechny typy testů těsnosti jsou založeny na fyzikálních vlastnostech. Pro integrální test těsnosti se využívá test rozdílu tlaku, zatímco pro lokální test těsnosti se používají plyny, které je možné detekovat. Typickým detekčním plynem je helium (Schmolke et al., 2023).

Titmarsh a Harrison (2019) poukazují na to, že v literatuře je velice málo publikovaných studií, které by se zabývaly automatizovaným testováním těsnosti automobilových bateriových systémů. V literatuře je možné najít jen několik příkladů automatického testování těsnosti v jiných průmyslových odvětvích. Uvádí, že bylo nalezeno jen několik patentů, které byly registrovány mezi lety 1970 a 2000, ale žádný nepochází z Průmyslu 4.0. Automatizace testování přináší mnoho výhod. Automatizací dochází ke zkrácení cyklového času, zvýšení efektivity a produktivity operátorů. Důležitá je také spolehlivost a reprodukovatelnost výsledků, která může být ovlivněna snížením manuálního zásahu.

3.1 Typy měření úniku pomocí vzduchu

V průmyslu se využívá několik metod pro testování těsnosti. Pro využití testování v hromadné výrobě jsou vhodné pouze: test měření hmotnostního průtoku, test měření poklesu tlaku a héliový test (Titmarsh a Harrison, 2019). Metoda měření hmotnostního průtoku a metoda poklesu tlaku jsou založeny na využití vzduchu, zatímco héliový test je založený na testování pomocí hélia (INFICON, 2025). Titmarsh a Harrison (2019) však upozorňují na to, že u všech níže popsaných metod testování je nezbytné se chránit proti vnějším vlivům jako je průvan a změna teploty.

3.1.1 Měření hmotnostního průtoku

Testování hmotnostního průtoku je přesná a spolehlivá metoda pro stanovení a testování úniku. Objem vzduchu, který prochází do nebo skrz výrobek za jednotku času, vyhodnocuje hmotnostní průtokoměr, který provádí test těsnosti a test zneprůchodnění testovaného zařízení (Cincinnati, 2025).

Tato metoda měření průtoku na rozdíl od metody měření tlaku není závislá na objemu testovaného tělesa, atmosférickém tlaku ani na teplotě vzduchu. Značnou výhodou tohoto testu je jeho přesnost a kratší doba potřebná pro testování, na rozdíl od metody měření poklesu tlaku (Titmarsh a Harrison, 2019).

3.1.2 Měření poklesu tlaku

Zkouška poklesu tlaku určuje tlakovou ztrátu měřenou po pevně stanovenou dobu a je charakterizována jako velikost změny tlaku v objemu testovaného tělesa. Základem testu poklesu tlaku je naplnění testovaného tělesa vzduchem na požadovaný cílový tlak. Poté dojde k přerušení zdroje vzduchu a izolování okruhu testovaného tělesa od zdroje tlaku. Následuje stabilizování tlaku v testovaném tělese, a nakonec měření tlakové ztráty po přesně definované dobu testování. Výsledek testu poté poskytuje tlakovou ztrátu v důsledku netěsnosti a úniku plynu. Většinu testů lze provést poměrně rychle s vysoce přesnými výsledky. Čím je ale testované těleso větší, tím delší je doba cyklu potřebná k dosažení přesného výsledku testu (Cincinnati, 2025).

Měření změny tlaku v testovaném tělese je možné provádět dvěma způsoby. Při testování poklesu tlaku dochází k natlakování tělesa a sleduje se pokles tlaku nebo při testování zvýšení tlaku se v tělese tlak sníží a sleduje se jeho zvýšení. Tato metoda je hojně využívána, jelikož je relativně jednoduchá a vysoce spolehlivá (Schmolke et al., 2023).

Testování poklesu tlaku je nejčastěji používaným testem pro testování elektrických komponentů a umožňuje jejich automatizaci. Toto měření testuje pokles tlaku, který nastal během stanoveného intervalu, a zároveň určil rozsah změny tlaku testovaného objemu daného tělesa (Hagyard, 2024). Testované těleso je natlakováno na požadovaný tlak, který simuluje běžné provozní podmínky. Tato metoda je závislá na objemu testovaného tělesa, atmosférickém tlaku a teplotě vzduchu (Titmarsh a Harrison, 2019).

Shi et al. (2022) uvádějí, že metoda měření poklesu tlaku je založena na stavové rovnici ideálního plynu: $pV = nRT$. Míra úniku plynu se vypočítá pomocí změny tlaku testovaného

tělesa. Po úniku určitého množství plynu z testovaného tělesa dojde k poklesu tlaku v testovaném tělese vzhledem k počátečnímu stavu. Skutečný únik plynu lze vypočítat měřením poklesu tlaku během určité doby.

Metoda měření poklesu tlaku má tři fáze – fázi tlakování, fázi stabilizace a fázi měření (Shi et al., 2022).

Ve fázi tlakování dochází k natlakování testovaného tělesa na požadovanou hodnotu pomocí zdroje vzduchu a zároveň dochází k výměně tepla s vnějším prostředím (Shi et al., 2022).

Ve fázi stabilizování dojde k uzavření ventilu testovaného tělesa a následně dochází k výměně tepla s vnějším prostředím, dokud teplota vzduchu testovaného tělesa nebude srovnána s teplotou vnějšího prostředí (Shi et al., 2022).

Fáze měření začíná v okamžiku, když dojde ke srovnání teploty testovaného tělesa s teplotou okolního prostředí. Z teoretického hlediska by v této fázi neměla probíhat tepelná výměna s okolím. Při reálném měření však často dochází k výměně tepla s okolním prostředím z důvodu nedostatečného vyrovnaní teplot během fáze stabilizování. Proto je nezbytné zvážit vliv odpovídající velikosti tepelné výměny (Shi et al., 2022).

Dle Schmolkeho et al. (2023) má metoda měření tlaku čtyři fáze. V první fázi je testované těleso natlakováno na požadovaný přetlak, zpravidla na hodnotu 100 mbar, která odpovídá požadavkům normy těsnosti IP67 a je vyžadována pro těsnost pouzder elektrobaterií. Přetlak o velikosti 100 mbar odpovídá tlaku, kdyby byl testovaný objekt ponořen do jednoho metru pod vodní hladinu. Ve druhé fázi měření dochází ke stabilizaci systému, aby se zamezilo fluktuaci tlaku při měření. Ve třetí fázi měření probíhá samostatný test měření, kdy je měřena změna tlaku během určitého časového intervalu. Ve čtvrté, poslední fázi je objekt odvzdušněn a následně je test ukončen.

Pro výpočet míry úniku je vnitřní objem testovaného objektu vynásoben změnou tlaku a vydělen časem měření. Jednotkou míry úniku je $mbar \times ls^{-1}$. Při standardních konstantních podmínkách a konstantním atmosférickém tlaku během měření lze jednotku převést na jednotku, která je v praxi velmi často používána, a to na ml/min (Schmolke et al., 2023).

Schmolke et al. (2023) poukazují na to, že test poklesu tlaku je při testování objemných těles velmi citlivý na změnu teploty, což může vést k výrazným výkyvům v naměřených

hodnotách úniku plynu. Hagyard (2024) uvádí, že tento test je vhodný pro testování velmi nízkých úniků, což je běžné při testování elektrobaterií.

3.2 Sledování úniku plynu heliovým testem

Testování těsnosti pomocí heliového plynu je jednoduchá a vysoce účinná metoda pro detekování netěsnosti, která poskytuje vysokou citlivost, přesnost a opakovatelnost. Jak již bylo zmíněno, heliový test je využíván pro lokální test těsnosti. Testované těleso je naplněno na přetlak heliem. Následně pomocí snímacího čidla, které je citlivé na přítomnost hélia, jsou procházena kritická místa na testovaném objektu, kde by mohlo docházet k úniku plynu (Cincinnati, 2025). Helium je velmi vhodný testovací plyn díky svým vlastnostem. Helium je fyzikálně i chemicky inertní, poskytuje jasný signál ve hmotnostním spektrometru a má nízkou koncentraci v okolním vzduchu. Je schopné proniknout skrz velmi malé kanálky, a proto umožňuje detekovat i velice malé netěsnosti. Testovaný objekt je zpravidla naplněn heliem jen na nezbytně dlouhou dobu (Schmolke et al., 2023). Titmarsh a Harrison (2019) uvádějí, že nevýhodou testování úniku pomocí hélia je nákladnost testování a také má tato metoda vysoké nároky na kontrolu zbytkového množství hélia po předcházejícím testování.

Během testování je nezbytné zajistit dostatečné odvětrání místnosti, aby nedocházelo k navýšení koncentrace hélia v okolním vzduchu. V případě zvýšení koncentrace hélia ve vzduchu by došlo ke snížení citlivosti prováděného měření, a to by mohlo mít vliv na snížení přesnosti následných testů. (Schmolke et al., 2023; Titmarsh a Harrison, 2019).

4 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU

Statistické řízení procesu je v průmyslové praxi uplatňováno poměrně často. W. Shewhart vytvořil první regulační diagram a ukázal, že odebíráním malých vzorků v průběhu výroby a jejich sledováním je možné předcházet problémům s kvalitou. V posledních letech je běžné hodnocení způsobilosti či výkonnosti procesu pomocí různých ukazatelů. Jelikož hodnocení způsobilosti procesu souvisí se statistickou regulací procesu, objevilo se v této oblasti spoustu nových způsobů výpočtu způsobilosti procesu (Jarošová a Noskievičová, 2015).

4.1 Základní statistické pojmy

Mezi základní statistické a nejčastěji používané pojmy lze zařadit:

- Aritmetický průměr – je nejčastěji používanou charakteristikou, která se používá při odhadu střední hodnoty kardinálních proměnných. Vypočte se jako součet všech hodnot vydělený jejich počtem (Hendl, 2022).
- Rozptyl (s^2) – patří mezi základní pojmy statistiky. Je to číslo, „*které charakterizuje proměnlivost hodnot náhodné veličiny kolem její střední hodnoty s přihlédnutím k jejich pravděpodobnostem*“ (Neubauer et al., 2021, s. 105).
- Směrodatná odchylka – lze ji definovat jako druhou odmocninu rozptylu a je označována jako σ . Zároveň ji lze srozumitelně interpretovat na rozdíl od rozptylu. Pro její výpočet je nezbytné nejdříve vypočítat rozptyl. (Rabušic et al., 2019). „*Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru*“ (Neubauer et al., 2021, s. 53).

4.2 Statistické zobrazení dat

Pro statistické zobrazení dat lze použít následující nejčastěji používané grafy:

- Sloupcový graf – zobrazuje na vodorovné ose zkoumané položky a na svislé ose jejich hodnoty. Každé položce odpovídá jeden sloupec, jehož výška vyjadřuje jeho číselnou hodnotu (Řehák a Brom, 2016).
- Spojnicový graf – je téměř shodný s grafem sloupcovým, jen namísto sloupců, které graficky zobrazují hodnotu, se graf zobrazuje pomocí lomené čáry, kdy každý lom zobrazuje určitou hodnotu. Na vodorovné ose jsou zobrazeny zkoumané kategorie.

Svislá osa je číselná. Graf je tvořen lomenou čarou, která spojuje jednotlivé číselné body zobrazených kategorií (Řehák a Brom, 2016, s. 239).

- Výsečový graf – je nazývaný také kruhový a má pouze jednu číselnou osu. Osa se nenachází v pravouhlých souřadnicích, ale je v polárních souřadnicích. Hodnoty, které jsou na ose vyneseny, jsou znázorněny jednotlivými kruhovými výsečemi. Celý kruh je tedy rozdělen na jednotlivé výseče, které odpovídají velikostem zobrazovaných hodnot. Celý graf zobrazuje součet jednotlivých hodnot, tedy 100 % (Řehák a Brom, 2016, s. 240).
- Histogram – „*je sloupcový diagram vyjadřující rozdělení četnosti hodnot ve vhodné zvolených intervalech*“ (Nenadál, 2018, s. 63). Šířka sloupce u tohoto diagramu odpovídá šířce intervalu sledovaného atributu, kde se zjišťuje četnost výskytu hodnot. Sloupce jednotlivých histogramů by měly na sebe navazovat, tzn. že dolní hranice sledovaného intervalu je zároveň horní hranicí následujícího intervalu a naopak. Je považován za základní grafický nástroj průzkumové analýzy nashromážděných dat, jelikož poskytuje hodnotné informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku. Jeho využití je široké, např. pro analýzu kvality vstupů (Nenadál, 2018).
- Bodový diagram – jedná se o grafický nástroj určený pro zobrazení vzájemných vztahů mezi dvěma proměnnými (Řehák a Brom, 2015). Díky zobrazení těchto vztahů lze posuzovat a analyzovat vzájemnou souvislost například mezi určitým znakem kvality a konkrétním parametrem procesu. Umožňuje vyhodnocení změn jednotlivých parametrů a sledování jejich vývoje v čase (Nenadál, 2018). Pro sestrojení grafu je nezbytné mít dvojice proměnných, které mají odpovídající hodnoty zvolené na osách grafu (Řehák a Brom, 2015). Čím více údajů je k dispozici, tím spolehlivější informaci mezi sledovanými proměnnými může diagram poskytnout. Zároveň je důležité mít soubor údajů, které byly naměřeny za srovnatelných podmínek. Rozptyl jednotlivých bodů je samozřejmě částečně ovlivněn nepřesností stanovení jednotlivých hodnot, či nepřesností měřicího zařízení (Nenadál, 2018).
- Q-Q graf – tento graf je „*speciálním analytickým prostředkem pro ověření statistické shody empirického a teoretického rozložení dat*“ (Řehák a Brom, 2015, s. 246).

Na vodorovné ose jsou skutečně naměřené hodnoty, zatímco na svislé ose jsou teoretické hodnoty. Q-Q graf pracuje s kvantily (Řehák a Brom, 2015).

- Analýza způsobilosti procesu – způsobilost procesu „lze charakterizovat jako schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria kvality.“ Výsledky způsobilosti procesu poskytují informace o tom, jestli je proces správně navržený a zdali bude schopen zajistit produkty požadované kvality (Nenadál, 2018, s. 105).

Pro „hodnocení způsobilosti procesu se používají indexy způsobilosti, které porovnávají maximálně přípustnou variabilitu hodnot sledovaného znaku kvality s jeho skutečnou variabilitou dosahovanou u statisticky zvládnutého procesu“ (Nenadál, 2018, s. 105).

- Index způsobilosti C_p – vyjadřuje potenciální schopnost procesu zajistit, aby sledovaný znak zůstal uvnitř tolerančních mezí USL a LSL. Výsledná hodnota tohoto indexu je poměrem maximálně přípustné a skutečné variability. Charakterizuje tedy schopnost sledovaného znaku vejít se do tolerančních mezí (Jarošová a Noskievičová, 2015).
- Index způsobilosti C_{pk} – „Index C_{pk} tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze“ (Nenadál, 2018, s. 109). Hodnota tohoto indexu je zpravidla menší nebo maximálně rovna hodnotě indexu C_p . Minimální hodnota indexu C_{pk} , při které je proces považován za způsobilý, je 1,33 (Jarošová a Noskievičová, 2015).

4.3 Statistická kontrola procesů (SPC)

Statistická regulace procesu, také používání anglická zkratka SPC (Statistical Process Control) byla zformulována W. A. Shewhartem, který poprvé aplikoval regulační diagramy, známé také jako klasické Shewhartovy regulační diagramy. „Podstatou SPC je bezprostřední, pravidelná a průběžná výběrová kontrola kvality procesů založena na matematicko-statistickém hodnocení kvality“. SPC umožňuje předejít snížení požadované kvality, zlepšení procesů a také poskytuje podněty k zásahům do výrobního procesu. (Jarošová a Noskievičová, 2015, s. 16). Januška (2018) uvádí, že cílem je udržení sledovaného parametru jakosti na přijatelné stabilní úrovni v rámci předem stanovených mezí.

- Regulační diagram – cílem regulačního diagramu je oddělení zvláštních příčin od běžných, což je klíčové při hodnocení problému a hledání jejich řešení. Data jsou znázorněna na v průběhu času stejně jako u spojnicového grafu akorát s rozdílem, že data jsou ohraničena spodní (LCL) a horní (UCL) regulační mezí a zpravidla se pohybují kolem jejich průměrné hodnoty (Goetsch a Davis, 2016). Maynard a Binanda (2023) uvádějí, že regulační diagram se používá k řízení a výkonnosti procesu a k jeho monitorování. Zároveň znázorňuje, kdy je potřeba do procesu zasáhnout a kdy do procesu nezasahovat. Januška (2018) dodává, že existuje mnoho způsobu, jak nastavit limity regulačního diagramu, ale ten nejjednodušší způsob je, že meze jsou určeny zákazníkem.

5 SIX SIGMA

Koncept Six Sigma pro snížení odchylek byl představen v roce 1986 ve společnosti Motorola Billem Smithem, který je uznáván jako otec tohoto konceptu. Tento koncept byl později rozšířen díky svému velkému úspěchu (Maynard a Binanda, 2023). Jedná se o obchodní strategii, která je zaměřena na identifikaci a eliminaci defektů s důrazem na výstupy, které jsou pro zákazníky zásadní (Altman, 2017). Původně byl tento koncept vytvořen jen pro hromadnou výrobu, nicméně se ukázalo, že je výhodné jej použít i v jiných oblastech, například v armádě či pohostinství (Goetsch a Davis, 2016).

Sigma je řecké písmeno označující směrodatnou odchylku. Myšlenkou Six Sigmy je, že rozptyl procesu by měl na každé straně průměru zahrnovat tři směrodatné odchylky. Datové body nacházející se mimo spodní a horní hranici tohoto rozptylu způsobují nespokojenost zákazníků (Maynard a Binanda, 2023).

Přístup Six Sigma stanovil realistický a kvantifikovatelný cíl, kterým je dosáhnout 3,4 defektů na jeden milion zpracovaných, opravených nebo vyrobených položek (Altman, 2017). Tím se společnost stane konkurenceschopnější, ziskovější a úspěšnější (Goetsch a Davis, 2016). Tento cíl je zároveň doprovázen metodikou pro jeho dosažení. Metodika, která byla představena společností Motorola, byla zaměřena na řešení problémů a měla čtyři fáze: měření, analyzování, zlepšení a kontrolu. Společnost General Electric však tuto metodiku vylepšila ještě o fázi definování (Maynard a Binanda, 2023). Fáze definování je dnes důležitým aspektem této metodiky a celá metodika je nazývána DMAIC.

DMAIC je nejčastější zkratka, která je používána namísto výrazu Six Sigma (Altman, 2017). Zkratka DMAIC znázorňuje definování, měření, analyzování, zlepšování, kontrolu. Používá se jako strukturovaná metoda pro provedení projektu od začátku po jeho konec. Program Six Sigma je velice často kombinován se štíhlou výrobou a je známý jako Lean Six Sigma (Maynard a Binanda, 2023).

Odchylka je důležitým faktorem při řešení defektů, kdy se shodné a pravidelně se opakující defekty snáze napravují v porovnání s defekty, které se vyskytují ojediněle a jejich řešení je obtížné (Altman, 2017). Odstraněním specifické příčiny variability dochází ke zlepšení daného procesu a problém se stává irelevantním, protože příčina již neexistuje (Bloom, 2024).

Každý nástroj a technika má v této metodice svou roli a je jasné určeno, kdy, kde, proč a jak mají být jednotlivé nástroje použity. Toto je klíčové pro úspěch či neúspěch celého

projektu (Altman, 2017). Bloom (2024) uvádí, že nástroje Six Sigmy a jejich aplikace jsou navrženy od kroku identifikace problému až po jednotlivé kroky jejich řešení. Každý krok navazuje na výsledky předchozího. Základním předpokladem však je, že procesy musí být opakovatelné (Bloom, 2024). Žádný projekt Six Sigma však není schválen, pokud není jasně definován a identifikován jeho dopad (Altman, 2017).

Při volbě této metodiky je však zapotřebí vzít v úvahu její slabé stránky, mezi které patří náklady na realizaci, čas, složitost sběru a analýzy dat (Sartor a Orzes, 2019).

5.1 Fáze DEFINOVÁNÍ

Ve fázi definování je klíčové podrobné vymezení problému, především stanovení vztahů mezi výstupy procesu a vstupními proměnnými (Sartor a Orzes, 2019). Wright (2017) uvádí, že v této fázi je klíčové vymezení rozsahu problému, který má být řešen, a dohoda s vedením o rozsahu projektu. Dle McShane-Vaughn (2022) je cílem této fáze vytvoření projektu s odpovídajícím rozsahem, doplněným o SMART cíle a propojeným se strategickým plánem. Franchetti (2024) dodává, že v této fázi by mělo dojít k nadefinování a ujasnění cílů projektu a vytvoření časové osy projektu.

Účelem tohoto kroku je shromáždit dostatečné množství informací o příležitostech pro zlepšení, pochopit proces a identifikovat organizační překážky v řešení problému. Zahrnuje také vytvoření počátečního plánu a rámce pro řešení problému, čímž položí základy pro všechny následující kroky (Franchetti, 2024).

Fáze definování se zaměřuje na pochopení problému nebo příležitosti z pohledu zákazníka. Zákazník může být interní (následný proces) nebo externí (platicí zákazník). Informace pro tento proces pocházejí z průzkumu, který řídí green belt nebo black belt, a zahrnují také kladení otázek zákazníkům, odborníkům na proces a klíčovým zúčastněným stranám. Je důležité nespoléhat se pouze na již existující informace týkající se problému, ale projít si samotný proces. Tento přístup vede k vytvoření podrobnějšího SIPOC (Pollock a Mott, 2015).

V případě schválení projektu je nutné určit, zda je natolik složitý, že je potřeba, aby byl projekt řešen někým s úrovní black belt, nebo zda postačí osoba s úrovní green belt, v závislosti na složitosti projektu (Sartor a Orzes, 2019). Po získání podpory vedení podniku je prvním krokem vytvoření týmu a definování cílů (Franchetti, 2024).

5.1.1 RIPRAN

Moderní projektové řízení chápe pod pojmem riziko nějakou nejistou negativní událost, která by mohla ohrozit průběh projektu. Zároveň také pracuje s pojmem příležitost, která je vnímána jako nejistá událost s možností pozitivního vlivu či přínosu. Někdy se lze setkat také s pojmem pozitivní riziko. Jedná se o situaci, kdy stejná okolnost může být vnímána nejen jako riziko, ale také jako příležitost. Řízení rizik projektu by mělo být navázáno na řízení rizik v celé organizaci (Doležal a kol., 2023).

Metoda RIPRAN je určena pro analýzu projektových rizik, jejíž autorem je Branislav Lacko. Je to metoda, která je určena pro zkušenější tým, jenž má dostatek podkladů o projektu a zároveň má dostatek statistických údajů z minulých projektů pro kvantifikování rizik (Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012).

Metoda (R)isk (P)roject (A)nalysis) je složena z následujících kroků:

- Příprava analýzy rizik
- Identifikace rizika
- Kvantifikace rizika
- Snižování rizika
- Celkové zhodnocení rizika (Doležal a kol., 2023).

V této analýze je hrozba definována jako projev nebezpečí. Scénář představuje událost, která nastane v důsledku výskytu hrozby. Opatření mají za cíl snížit hodnotu rizika. Metoda umožňuje tzv. verbální kvantifikaci, která je zobrazena v následujících tabulkách (Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012).

Tabulka 1 Pravděpodobnost vzniku rizika

Typ pravděpodobnosti	Hodnota pravděpodobnosti
Vysoká pravděpodobnost – VP	nad 33 %
Střední pravděpodobnost – SP	10–33 %
Nízká pravděpodobnost – NP	pod 10 %

(zdroj: vlastní dle Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012)

Tabulka 2 Typ dopadu na projekt

Typ dopadu na projekt	Důsledky
Velký nepříznivý VD	• ohrožení cíle projektu • ohrožení konečného termínu projektu • možnost překročení celkového rozpočtu projektu • škoda > 20 % z hodnoty rozpočtu projektu
Střední nepříznivý SD	• škoda 0,51 – 19,5 % z hodnoty rozpočtu projektu • ohrožení termínu, nákladů, resp. zdrojů některé dílčí činnosti, což bude vyžadovat mimořádné akční zásahy do plánu projektu
Malý nepříznivý MD	• škoda < 0,5 % z celkového rozpočtu projektu • dopady vyžadující určité zásahy do plánu projektu

(zdroj: vlastní dle Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012)

Na závěr je vyhodnocena celková hodnota rizika. Také je vyhodnoceno, do jaké míry je daný projekt rizikový a zdali je možné pokračovat bez jakýchkoli opatření (Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012).

Tabulka 3 Výsledná hodnota rizika

	VD	SD	MD
VP	vysoká hodnota rizika VHR	vysoká hodnota rizika VHR	střední hodnota rizika SHR
SP	vysoká hodnota rizika VHR	střední hodnota rizika SHR	nízká hodnota rizika NHR
NP	střední hodnota rizika SHR	nízká hodnota rizika NHR	nízká hodnota rizika NHR

(zdroj: vlastní dle Doležal, Máchal, Lacko a kol., 2012)

5.1.2 Hlas zákazníka (VoC)

Jednou z klíčových a silných stránek přístupu Six Sigma je důraz na identifikaci hlasu zákazníka (VoC) u každého projektu, problému či zlepšení procesu a na důkladné porozumění jeho požadavkům. Vyslyšet hlas zákazníka znamená naplnit jeho očekávání a preference týkající se produktu, služby či procesu realizovaného projektu (Tarantino, 2022). Existují dva druhy zákazníků. Interním zákazníkem je ve výrobním procesu vždy následný proces po provedené operaci, zatímco externím zákazníkem je konečný uživatel výrobků, který je platícím zákazníkem (Al-Rifai, 2024).

Před zahájením každého zlepšovacího projektu by měl tým pochopit, jaké dopady by mělo potencionální zlepšení na jejich zákazníky. To lze zjistit shromážděním informací o hlasu zákazníka (VoC), které se zaměřují na požadavky, potřeby, očekávání a vnímání

zákazníka (McShane-Vaughn, 2022). Svozilová (2011, s. 168) uvádí, že hlas zákazníka „je souhrn očekávání, ať již vyslovených, nebo nepřímo implikovaných.“

Hlas zákazníka lze získat pomocí několika nástrojů – zpětné vazby od zákazníka, rozhovory se zákazníkem, telefonní hovory, pozorování či průzkumy. V případě, že není možné z jakýkoliv důvodu zajistit přímou interakci se zákazníkem, hlas zákazníka může být vytvořen pomocí brainstormingu lidmi, kteří se zákazníky komunikují (Al-Rifai, 2024).

Cílem každého úspěšného zlepšovacího projektu je převést subjektivní a emocionální podstatu hlasu zákazníka do konkrétních a realizovatelných požadavků. Skutečně vyžadované požadavky zákazníků však nesmějí být zaměňovány s požadavky hlasu zákazníka (VoC). Problémem však je, že zákazníci často požadují dva protichůdné cíle, které se vzájemně vylučují (Tarantino, 2022).

5.1.3 SIPOC

SIPOC diagram je nástroj pro mapování procesů na vysoké úrovni v oblasti řízení podnikových procesů. Vizuálně zobrazuje tok vstupů a výstupů mezi dodavateli, samotným procesem a zákazníky (Al-Rifai, 2024). Pomáhá identifikovat kritické prvky procesu, jako jsou potřebné zdroje, související činnosti, zúčastněné strany a výsledky, které je potřeba dosáhnout (Bloom, 2024).

SIPOC je zkratka pro dodavatele, vstupy, proces, výstupy a zákazníky, které identifikuje ještě před detailním mapováním procesu (Tarantino, 2022). Umožňuje nahlédnout na celý proces globálně z pohledu zákazníka a propojuje zúčastněné strany s konkrétním procesem (Bloom, 2024). Zároveň nastavuje hranice pro mapování procesu. Je to efektivní způsob, jak demonstrovat zlepšení projektu v porovnání současného stavu SIPOC s očekávaným budoucím stavem (Tarantino, 2022). Jelikož diagram poskytuje pohled z ptáčích perspektivy na celý proces, zobrazuje obvykle jen omezený počet kroků, typicky maximálně sedm klíčových (Al-Rifai, 2024). Svozilová (2011) doporučuje soustředit se jen na pět až šest klíčových kroků.

Výhodné je jeho využití na začátku samotného procesu zlepšování, protože přehledně zachycuje nejdůležitější a klíčové prvky procesu, hranice procesu a jednotlivé kroky procesu. Pomocí analýzy vstupů a výstupů usnadňuje definování vztahů procesu s jeho okolím (Svozilová, 2011). Pomocí SIPOC diagramu lze graficky znázornit vzájemné vztahy mezi dodavateli, vstupy, procesy, výstupy a zákazníky. Dokumentuje proces od dodavatelů k zákazníkům (Bloom, 2024). Identifikuje interní i externí zúčastněné strany. Zaznamenává

významné požadavky na vstupy a výstupy procesu. Zjišťuje možné dopady na dodavatele a zákazníky (Tarantino, 2022).

Cílem SIPOC diagramu je poskytnout přehled na vysoké úrovni o procesu lidem, kteří proces neznají, nebo těm, kteří se od procesu odchýlili a je nutné je přeškolit. Pomáhá také při rozvoji příležitostí projektu. Je také využíván v projektech týkajících se procesního zlepšení pro zmapování všech kritických prvků před samotným zahájením prací na projektu, aby bylo definováno, co je obsahem projektu a co je mimo jeho rozsah (Al-Rifai, 2024).

Svozilová (2011) uvádí, že vypracování SIPOC diagramu není náročné na zpracování. Pokud je však určen pro širší okruh lidí mimo tým, který se na problému podílí, je výhodné jej vytvořit pomocí běžného počítačového nástroje. Při vypracovávání SIPOC diagramu je výhodné nejprve začít obecnou mapou procesu pro definování potřebných stavebních prvků.

Jednotlivé kroky procesu SIPOC:

- Dodavatelé – poskytují vstupy do procesu
- Vstupy – materiál nebo data, která jsou přeměněna v procesu
- Proces – sled činností, který poskytuje výstup pro zákazníky
- Výstup – materiál nebo data, která jsou výsledkem procesu
- Zákazníci – obdrží výstupy procesu (Tarantino, 2022)

5.1.4 Brainstorming

Brainstorming je jednoduchý a široce využívaný proces pro generování nápadů, identifikování základních příčin problému a hledání jejich řešení. Základem pro řešení problému je vytvoření vhodného týmu. Workshop vede moderátor, který zapisuje nápady na flipchart nebo tabuli, která je viditelná pro celý tým. To podporuje kreativní myšlení a umožňuje rozvíjet či hlouběji analyzovat již zaznamenané myšlenky (Al-Rifai, 2024). Cílem je získat co nejvíce návrhů, které se týkají řešeného problému (Nenadál a kol., 2018). Návrhy nejsou analyzovány a hodnoceny okamžitě, ale až po ukončení brainstormingu. Čím více návrhů je vymyšleno, tím je větší pravděpodobnost, že mezi nimi budou takové, které povedou k vyřešení problému (Nenadál a kol., 2018). Návrhy jsou generovány po dobu 30–60 minut v závislosti na složitosti problému (Al-Rifai, 2024). Camilleri (2024) uvádí, že brainstorming je využíván převážně ve fázi zlepšení před použitím ostatních nástrojů.

Dle Nenadála a kol. (2018) by před samotným zahájením brainstormingu měla být vysvětlena následující pravidla, která by v průběhu měla být dodržována:

- „Diskuzi řídí pouze moderátor
- Nesmí mluvit více osob najednou
- Každý se vyjadřuje pouze k řešenému tématu
- Je naprostá volnost tvorby námětů
- Žádné náměty se v průběhu této fáze nesmí kritizovat či jinak posuzovat
- Všechny náměty se musí zaznamenat“ (Nenadál a kol., 2018, str. 56)

5.2 Fáze MĚŘENÍ

Účelem této fáze je shromáždění dat o výkonnosti procesu pro primární a sekundární metriky, aby bylo možné získat přehled a porozumění kořenovým příčinám a stanovení výchozí úrovně výkonnosti (McShane-Vaughn, 2022). V závislosti na cíli analýzy je nejprve potřeba určit opatření, která budou zkoumána, aby se minimalizovaly náklady a čas analýzy. Rovněž je důležité určit rozsah zkoumaných dat (Sartor a Orzes, 2019). V této fázi je cílem získat informace o současném stavu výkonnosti procesu sběrem dat a analýzou kořenové příčiny (Wright, 2017).

Fáze měření hodnotí důvěryhodnost výchozích dat projektu (Pollock a Mott, 2015). Nadefinování plánu sběru dat snižuje pravděpodobnost chyb během této fáze (Sartor a Orzes, 2019). Použití nekvalitních dat však mnohdy organizace podceňují, což má za následek problémy s prováděním analýzy. To je mnohdy způsobeno nevhodným nastavením standardů pro sběr, vytváření a reportování dat (Pollock a Mott, 2015). Nejčastější chyby, které se při sběru dat vyskytují, jsou způsobeny nedostatečnou přesností měření a kontrolovatelnými podmínkami. Samotný sběr dat musí probíhat organizovaně a musí být jasně prezentován pro usnadnění následné analýzy (Sartor a Orzes, 2019).

Klíčové je na začátku projektu popsání současného stavu řešeného procesu a jeho výkonnostní úrovně, což je nezbytné pro následné posouzení, zdali došlo k jeho zlepšení. Bez referenčního bodu by nebylo možné projekt zhodnotit (Pollock a Mott, 2015).

5.2.1 IPO diagram

IPO diagram lze použít v situacích, kde proces transformuje vstupy na výstupy. Zároveň může vznikat i vedlejší produkt. Diagram má zjednodušeně znázorňovat výrobní proces a napomáhat jeho lepšímu pochopení. Pomocí IPO diagramu lze také zjistit, jaký vliv bude mít na výstup zvýšení některého vstupního faktoru (Iqbal, 2021). Vstupní proměnné zahrnují např. dovednosti a znalosti členů týmu či samotné složení týmu, přičemž tyto faktory přímo ovlivňují procesní proměnné. Procesní proměnné zahrnují například vzájemné interakce mezi členy týmu související s řešeným úkolem. Procesní proměnné tvoří spojení mezi vstupními a výstupními proměnnými. Výstupem jsou nejen faktory, jako je inovace, kvalita, chybovost či efektivita, ale také důležité ukazatele, například chování či postoje zúčastněných stran, které značí pracovní spokojenost či míru důvěry (Hückstädt a Leisten, 2024).

5.3 Fáze ANALYZOVÁNÍ

Cílem této fáze je analyzování již sesbíraných dat z fáze měření, porozumění odchylkám od požadovaného cíle a identifikace vztahů mezi jednotlivými zkoumanými proměnnými (Sartor a Orzes, 2019). Dle Franchettiho (2024) je cílem určit schopnost a rychlost procesu s využitím statistických nástrojů a grafů. Wright (2017) uvádí, že je důležité zkontrolovat data získaná měřením za účelem zúžení hlavní příčiny defektů a dalšího plýtvání. V této fázi může být vyžadováno i další měření.

Po analyzování problému je cílem naformulovat hypotézy o řešení problému. Pro testování hypotéz lze použít základní statistické nástroje, jako je korelační analýza, lineární regrese nebo pokročilé nástroje, jako jsou DOE či ANOVA. Cílem tohoto řešení je ověřit, zda očekávané řešení může mít skutečně pozitivní vliv na analyzovaný proces. Testování hypotéz má velký význam a zároveň je to nejkomplikovanější fáze, která musí vést k řešení problému (Sartor a Orzes, 2019).

Fáze analýzy je velmi náročná. Identifikuje klíčové faktory, které způsobují defekty, a odhaluje jejich příčiny. Pro odhalení kořenové příčiny se používají kombinace těchto nástrojů: Pareto diagram, Ishikawa diagram či FMEA. Úsilí ve fázi analýzy je zaměřeno na správnou identifikaci klíčových faktorů, zjevné kořenové příčiny a efektivní zmírnění rizik. Není nutné použít všechny dostupné nástroje, ale pouze ty, které jsou vhodné pro daný projekt (Pollock a Mott, 2015).

Dva klíčové poznatky pro tuto fázi:

- Kořenové příčiny lze identifikovat, když všichni členové týmu spolupracují jako celek a využívají vhodné nástroje.
- Účelem této fáze je analyzování a stanovení optimálního nastavení výkonnosti pro každý faktor a ověření kořenové příčiny (McShane-Vaughn, 2022).

5.3.1 Ishikawa diagram

Ishikawa diagram, nazývaný také diagram rybí kosti či diagram příčin a následků, je významným grafickým nástrojem pro analýzu všech možných příčin problému s kvalitou. Jedná se o systémový přístup pro řešení problémů, který umožňuje zaznamenat všechny náměty a myšlenky (Nenadál a kol., 2018). Lze jej využít samostatně, ale často se kombinuje s metodami jako 8D Report či A3 Report (Filip, 2019). Dle Maynarda a Binandy (2023) je to nástroj pro znázornění vztahu mezi potencionálními příčinami a jejichmi následky. Filip (2019) uvádí, že vychází z budhistické filozofie, kde každý následek má svoji příčinu.

Podle Maynarda a Binandy (2023) se jedná o relativně jednoduchý nástroj, který slouží nejen k vytvoření, ale také k řešení problémů a zlepšování procesů. Tento nástroj je jediný ze sedmi základních nástrojů pro zvyšování kvality, který není založen na statistice, a slouží k vizualizaci vlivu různých faktorů spojených s procesem, které ovlivňují jeho výstup (Goetsch a Davis, 2016). V případě nejasnosti vzniku příčiny problému by se Ishikawa diagram měl stát prvním krokem při jeho řešení. Pro svou jednoduchost je snadno pochopitelný, což umožňuje do řešení problému zapojit širší okruh pracovníků (Nenadál a kol., 2018). Díky zapojení širšího okruhu pracovníků dochází k redukci irelevantní diskuze (Goetsch a Davis, 2016). Často přináší náměty, které vedou k novým řešení (Nenadál a kol., 2018). Jelikož Ishikawa diagram okamžitě třídí nápady do jednotlivých kategorií, je možné využití brainstormingu (Camilleri, 2024). V týmu je však nezbytné mít alespoň jednu osobu, která procesu skutečně rozumí, aby nedošlo jen k subjektivnímu hodnocení členů týmu. Zjištěné příčiny jsou poté řešeny kompetentními pracovníky (Filip, 2019). Pokud je však sledovaná hodnota ovlivněna velkým počtem faktorů, může být obtížné určit, který faktor je zodpovědný za změnu sledované veličiny (Januška, 2018).

Nejprve je nutné jasně a stručně definovat problém, který může být jak již existující, tak i potencionální. Na základě tohoto problému se vytvoří tým, ve kterém by měli být zastoupeni odborníci z různých oblastí souvisejících s daným problémem. Tým by měl být

řízen zkušeným moderátorem, který bude řídit meeting a zpracovávat Ishikawa diagram (Nenadál a kol., 2018).

Ishikawa diagram má tvar rybí kostry. Hlava Ishikawa diagramu zobrazuje problém, který je řešen (Al-Rifai, 2024). Každé žebro vystupující z páteře představuje hlavní příčinu problému, která je následně rozdělena na dílčí příčiny (Maynard a Binanda, 2023). Mezi šest hlavních kategorií příčin patří: lidé, stroje, životní prostředí, materiál, metody a měření (Al-Rifai, 2024). Méně významné faktory vycházejí z jednotlivých žebírek (Goetsch a Davis, 2016). Samotné dělení příčin problému by mělo pokračovat, dokud nejsou odhaleny všechny kořenové příčiny řešeného problému (Nenadál a kol., 2018) a všechny vztahy mezi jednotlivými příčinami (Maynard a Binanda, 2023). Diagram dokáže odhalit, zda se kořenová příčina vyskytuje opakovaně ve stejném žebříku nebo v různých žebřících diagramu a zároveň poskytuje přehled o všech příčinách současně (Camilleri, 2024).

Al-Rifai (2024) však tento diagram nedoporučuje používat k identifikaci příčin problému, považuje ho za vhodný pouze pro určení prvotních nebo přímých příčin. Pro identifikaci nejpravděpodobnější kořenové příčiny je vhodné použití metody 5x Proč, která umožňuje hlubší proniknutí k základní příčině problému. Pokud existuje více kořenových příčin, je nutné vytvořit 5x Proč pro každou příčinu. Zároveň Al-Rifai (2024) doporučuje začít s nejpravděpodobnější příčinou.

Výsledkem Ishikawa diagramu je zjištění, že na řešeném problému se podílí mnoho různých příčin s různým dopadem. Je tedy nezbytné identifikovat klíčové a nejvýznamnější příčiny, kterými se bude tým zabývat (Nenadál a kol., 2018). Významnost jednotlivých příčin lze určit například hlasováním týmu. Každý hlasuje dle svého názoru pro tři nejvýznamnější příčiny. Na základě výsledku hlasování jsou vyhodnoceny nejdůležitější příčiny, které budou následně řešeny (Maynard a Binanda, 2023). Ishikawa diagram nezobrazuje sílu vztahu mezi příčinou a problémem, zároveň neidentifikuje hlavní příčinu. Ta musí být identifikována týmem, jenž se problémem zabývá (Camilleri, 2024).

5.3.2 Paretův diagram

Paretův diagram je nástroj manažerského rozhodování, který umožňuje stanovení priorit pro řešení problémů tak, aby došlo k dosažení maximálního efektu při účelném využití zdrojů (Nenadál a kol., 2018). Patří mezi sedm základních nástrojů pro řízení kvality ve výrobních procesech (Řehák a Brom, 2016). Byl pojmenován v 19. století podle italského ekonoma Vilfreda Pareta, který popsal nerovnoměrné rozložení bohatství mezi obyvatelstvem, kdy

malé procento lidí vlastní vysoký podíl veškerého bohatství. Tento jev byl poté transformován americkým odborníkem J. M. Juranem do oblasti řízení kvality. „*Většina problémů s kvalitou (80 až 95 %) je způsobena pouze malým podílem (5 až 20 %) příčin, jež se na nich podílejí*“ (Nenadál a kol., 2018, str. 59). Často se také používá označení pravidlo 80/20. Al-Rifai (2024) uvádí, že většinu ztrát způsobuje pouze pár defektů, a zároveň největší příležitosti přicházejí z několika málo nápadů. Dle Maynarda a Binandy (2023) lze příčiny rozdělit do dvou skupin: na významnou menšinu a na bezvýznamnou většinu. Nenadál a kol. (2018) uvádějí, že aplikováním Paretova principu lze zjistit, že problémy jsou často způsobeny pouze určitou skupinou výrobků z celé produkce, konkrétními výrobními zařízeními nebo jen některými pracovníky, kteří ovlivňují kvalitu výrobku. Pro řešení problému je tedy důležité stanovení priorit. Januška (2018) uvádí, že v případě zaměření se na významnou menšinu zdrojů problému dojde k odstranění většiny poruch. V případě zaměření se na bezvýznamnou menšinu je potřeba vynaložit mnohem více práce, ale bude odstraněno jen malé procento příčin problému. Brau (2019) doporučuje začít identifikací problému pomocí Pareto diagramu, který umožňuje určit jejich významnost. To je zásadní pro stanovení priorit a efektivní řešení problému. Maynard a Binanda (2023) uvádějí, že Pareto diagram odpovídá na otázku, které příčiny problému se vyskytují nejčastěji a jejich řešení bude mít největší dopad na výsledek. Také dodává, že Pareto princip je možné použít opakovaně pro zúžení problému a identifikaci potencionálních hlavních příčin.

Pro zpracování Paretova diagramu je nezbytné přesné vymezení problému a identifikace jednotlivých příčin. Důležité je shromáždění dostatečného množství kvantitativních údajů za sledované období, které charakterizují četnost výskytu jednotlivých příčin podílejících se na analyzovaném problému. Během sledovaného období se Paretova analýza obvykle provádí periodicky (Nenadál a kol., 2018).

„*Paretův graf je kombinací sloupcového a spojnicového grafu*“ (Řehák a Brom, 2016, str. 246). Sloupcový diagram na vodorovné ose x zobrazuje příčiny problému, které jsou seřazeny sestupně dle četnosti výskytu daného problému (Nenadál a kol., 2018). Každý sloupec zde představuje jednu příčinu či faktor (Tarantino, 2022). Na svislé ose je zobrazena frekvence výskytu příčin (Maynard a Binanda, 2023).

Na svislé ose y je stupnice zvolena tak, aby na ní bylo možno zobrazit celkový součet výskytu příčin problému. Bodový diagram doplňuje Lorenzova křivka, „*kteřá znázorňuje průběh hodnot relativních kumulativních součtů příspěvku v procentech. Zakreslení této lomené křivky předchází doplnění pravé osy diagramu pro hodnoty relativních*

kumulativních součtů vyjádřených v procentech. Stupnice na této ose by měla korespondovat se stupnicí na levé ose y“ (Nenadál a kol., 2018, str. 60).

Následné vyhodnocení Paretova diagramu by mělo identifikovat přibližně 20 % významných příčin, které způsobují kumulativně 80 % problémů. Nápravná opatření by měla být prioritně zaměřena na odstranění či minimalizaci příčin, které se v této oblasti nacházejí (Nenadál a kol., 2018). Tarantino (2022) rovněž dodává, že cílem je se soustředit pouze na významnou menšinu, nikoli na nevýznamnou většinu. Brau (2019) uvádí, že pokud se vždy nejprve zaměříme na Pareto diagram, bude dosaženo lepších výsledků nejen v dlouhodobém, ale také ve střednědobém a krátkodobém horizontu. Také uvádí, že Pareto je klíčem každého Lean projektu. Tarantino (2022) ještě dodává, že některé projekty mohou selhat z důvodu snahy řešit příliš mnoho problémů najednou, což je někdy nazýváno pokusem o uvaření oceánu. Filip (2019) ještě uvádí, že pokud nebudou k dispozici přesné informace nebo pouze jejich část, nelze dosáhnout požadovaného úspěchu.

5.3.3 DOE

Design of Experiment (DOE) je strukturovaný proces pro plánování, řízení, analýzu a interpretaci výsledků kontrolovaného experimentu v rámci procesu (Al-Rifai, 2024). Je to *„statistická metoda pro identifikaci faktorů, které mohou ovlivnit vybrané vlastnosti produktu nebo procesu, který vykonáváme nebo vyvíjíme“* (Doležal, 2023, s. 245). Dle Maynarda a Binandy (2023) se jedná o systematický přístup k analýze několika proměnných současně, který slouží k určení vzájemných příčinných vztahů a jejich interakci mezi nezávislými faktory a závislým výstupem testování (Maynard a Binanda, 2023). Franchetti (2024) uvádí, že DOE je odvětví aplikované statistiky, které se zabývá plánováním, chováním, analýzou a interpretací kontrolovaných testů za účelem vyhodnocení faktorů, které řídí hodnotu parametru či skupiny parametrů.

V případě složitých procesů, které jsou ovlivněny několika faktory, DOE může být jediný praktický způsob, jak dosáhnout zlepšení (Goetsch a Davis, 2016). Cílem DOE je pochopit a identifikovat klíčové vstupní faktory, které mají nejvýznamnější vliv na klíčové výstupy procesu (Al-Rifai, 2024). To vyžaduje systematicky měnit vstupní faktory a jejich úroveň a sledovat, jaký vliv to má na výstup (Nenadál, 2018). Dle Doležala (2023, s. 245) je *„cílem snížit citlivost produkce na zdroje odchylek způsobených prostředím nebo výrobními odlišnostmi.“* Při provádění experimentu dochází k měnění vstupních faktorů na základě statisticky strukturovaného přístupu (Maynard a Binanda, 2023). Výstupy

experimentů se sledují, pozorují a analyzují, aby bylo možné pochopit, jaké vstupní faktory a jejich kombinace mají největší dopad na výsledek (Al-Rifai, 2024). Je-li experiment správně navržen, je možné zjistit, jaký je vztah mezi vstupy a výstupy, což lze využít pro optimalizaci výstupů tak, že na základě určitých kritérií dojde k optimalizaci vstupů (Nenadál, 2018). DOE je možné aplikovat na jakýkoli proces, který má kontrolovatelné vstupy a měřitelné výstupy. Metoda DOE je mnohem efektivnější než klasická metoda One Factor At a Time, kde se mění pouze jeden faktor a ostatní zůstávají konstantní. DOE by měl být prováděn od samotného začátku experimentování pomocí speciálního statistického programu, který je pro DOE určen (Maynard a Binanda, 2023). Tato metoda umožnila snížit počet experimentů mnohdy ze stovek na pouhé desítky. Zároveň ukazuje, které faktory jsou pro proces kritické a které naopak nejsou (Goetsch a Davis, 2016).

Efekty jednotlivých faktorů ve faktorových návrzích jsou často označovány jako hlavní efekty a vzájemně na sebe působící efekty. Hlavní efekty jsou ovlivněny změnou pouze jednoho faktoru a vysvětlují, jak se výsledky mění, když se hodnota faktoru změní z nízké na vysokou. Vzájemně působící efekty vysvětlují, jak se změní výsledek testování, pokud hodnota jednoho faktoru je závislá na hodnotě druhého faktoru (Maynard a Binanda, 2023).

V DOE se dvěma faktory a dvěma úrovněmi, známém také jako 2^2 faktorový plán, jsou zkoumány dva faktory, z nichž každý má dvě úrovně: vysokou a nízkou (Al-Rifai, 2024). Tento způsob je v současnosti ve firmách nejvíce využíván (Maynard a Binanda, 2023). Faktory, jako například tlak a teplota mohou mít vysokou a nízkou hodnotu. Na základě těchto úrovní jsou vytvořeny čtyři kombinace úprav, které vycházejí ze změny úrovní jednotlivých faktorů. Následně je potřeba provést experimenty pro všechny čtyři kombinace úprav a shromáždit data o sledované výstupní proměnné (Al-Rifai, 2024).

Analýzou těchto dat lze určit hlavní efekt jednotlivých faktorů a jejich vzájemné interakce. Experiment však předpokládá, že vliv jednotlivých faktorů má lineární vývoj, což však nemusí být vždy pravda (Al-Rifai, 2024).

V DOE s třemi faktory a dvěma úrovněmi známém také jako 2^3 faktorový plán jsou zkoumány tři faktory, z nichž každý má dvě úrovně. Pro každý faktor, např. teplotu, tlak a průtok, jsou stanoveny dvě úrovně: vysoká a nízká. Následně je vytvořeno osm kombinací těchto faktorů a jejich úrovní (Al-Rifai, 2024).

V tomto experimentu jsou všechny možné kombinace znázorněny na vrcholech krychle a jejich počet je vypočítán jako 2^3 (Al-Rifai, 2024). Následně je nutné provést experimenty

pro všech osm kombinací a shromáždit data z výstupu každé z těchto kombinací. Analýzou výstupních dat lze určit hlavní vliv každého faktoru a vzájemné interakce. Výhodou je schopnost studovat vlivy tří faktorů a jejich vzájemných kombinací při relativně malém počtu experimentů. Předpokladem experimentu je, že vliv a účinky jednotlivých faktorů mají lineární vývoj. V realitě však tato skutečnost nemusí vždy platit (Al-Rifai, 2024).

Plánování experimentu je možné rozdělit na dva přístupy: úplně faktorové plány a částečně faktorové plány (Nenadál, 2018).

Úplně faktorové plány testují všechny možné kombinace všech jednotlivých faktorů a jejich úrovní (Nenadál, 2018). Například ve faktoru 2^3 je testováno všech osm kombinací. Výhodou je, že poskytuje ucelený obraz o vlivu jednotlivých kombinací na výsledek. Nevýhodou je její časová náročnost a náročnost na zdroje (Al-Rifai, 2024).

Částečný faktorový plán testuje pouze podskupinu možných kombinací, čímž se snižuje počet potřebných experimentů, nicméně stále poskytuje cenné informace o vlivu jednotlivých faktorů a jejich kombinací na výsledek (Al-Rifai, 2024). Snahou je nalézt významné faktory a jejich interakce s minimálním počtem pokusů (Nenadál, 2018).

5.4 Fáze ZLEPŠENÍ

Fáze zlepšení je zaměřena na výběr zlepšení, které bude použito s ohledem na přínosy, rizika, náklady či komplikace při realizaci (Sartor a Orzes, 2019). McShane-Vaughn (2022) uvádí, že účelem této fáze je identifikovat, vybrat, v případě potřeby otestovat a implementovat řešení pro zlepšení procesu. Dle Franchettiho (2024) je cílem této fáze generování nápadů, provádění experimentů a ověřování vylepšených procesů. Dále je důležité vypracování akčních plánů a standardních operačních postupů.

Nejlepší řešení lze vybrat na základě určení parametrů hodnocení pro náklady, rizika a přínosy. Každému parametru bude přidělena váha a pro každé řešení lze vypočítat skóre, a tedy vybrat nejlepší variantu řešení. Důležité je porovnání přínosů zlepšení s jejich náklady či obtížností realizace. Často je vybráno řešení, které vede ke skvělým výsledkům a zároveň s méně problémy při realizaci daného řešení (Sartor a Orzes, 2019). Cílem je určit způsob nápravy problému a vyvinout řešení založené na inovacích (Wright, 2017).

Fáze zlepšení určuje, která řešení jsou vhodná, jaké jsou jejich náklady a časový harmonogram jejich aplikace. Je potřeba udělat rozhodnutí z hlediska krátkodobého řešení, které trvá méně než 90 dní, a z hlediska dlouhodobého řešení, které přesahuje 90 dní. Méně

složité změny se zpravidla stávají krátkodobými řešeními, zatímco složité změny vedou k dlouhodobým řešením. Je třeba přijmout jakékoli řešení. I malé změny je potřeba považovat za pozitivní krok vpřed (Pollock a Mott, 2015).

5.5 Fáze KONTROLY

Účelem této fáze je předat vylepšený proces zpět vlastníkovému procesu a zavést kontrolní plán, který zajistí udržení dosažených zlepšení výkonnosti (McShane-Vaughn, 2022). Dle Pollocka a Motta (2015) je cílem kontrolní fáze zajistit, aby byla řešení projektu udržována a implementována. Franchetti (2024) uvádí, že cílem je vypracování kontrolního plánu, sledování výkonu a zavedení procesu odolného vůči chybám.

Po analýze dosaženého zlepšení na základě přijatých opatření je často nutné vypracovat zprávu o výsledcích projektu pro vedení společnosti. Zpráva by měla obsahovat informace o dosažených úsporách, vynaložených nákladech, investicích do vybavení, personálu a očekávaných přínosech do budoucna (Sartor a Orzes, 2019). Cílem je transformovat zlepšení do běžného provozu a začlenit ho do standardních procesů (Wright, 2017).

6 PLÝTVÁNÍ VE VÝROBĚ

Plýtvání, japonsky muda, je opakem přidávání hodnoty. Zákazník je ochoten zaplatit za práci, která přidává výrobku hodnotu, ale není ochoten platit za čekání, přepracování, či jakoukoli jinou formu plýtvání (Dennis, 2016). Za plýtvání se označují všechny činnosti a prvky, které nepřidávají produktu hodnotu (Al-Rifai, 2024). Maynard a Binanda (2023) uvádějí, že za plýtvání je považována jakákoli aktivita, která spotřebovává zdroje, například materiál a práce, aniž by přidávala hodnotu pro zákazníka. Jedním z prvních, kdo se začal zabývat plýtváním, byl v roce 1913 Henry Ford (Januška, 2018). Existuje osm druhů plýtvání (Al-Rifai, 2024). Dle Jurové a kol. (2016) lze plýtvání rozdělit do sedmi skupin. Al-Rifai (2024) uvádí, že odstranění plýtvání by mělo být hlavním cílem optimalizace procesů. Januška (2018, str. 124) konstatuje, že *„je to zároveň hlavní náplní průmyslového inženýrství.“* Také dodává, že plýtvání existuje všude a nelze je zcela odstranit, ale uvádí pravidlo, že *„proces je z ekonomického pohledu optimální ve chvíli, kdy náklady na jeho zlepšení překročí přínos tohoto zlepšení.“* Dennis (2016) dodává, že poměr tvorby hodnoty a plýtvání je 5:95, který je běžný pro většinu operací. V podniku se vyskytují jak výrobní, tak nevýrobní procesy a Januška (2018) poukazuje na to, že právě v nevýrobních procesech se skrývá vysoký potenciál ke zlepšení a optimalizování plýtvání. Jurová a kol. (2016) upozorňují, že při zlepšování je nutné brát v úvahu jak viditelné zlepšení, tak skutečné zlepšení. Za viditelné zlepšení lze například považovat vybudování regálových skladů při velkých zásobách, nicméně problém s nadměrnými skladovými zásobami zůstává nevyřešen. Skutečného zlepšení lze dosáhnout teprve tehdy, když jsou jasně identifikovány problémy a jejich příčiny. K tomu je nezbytné udělat analýzu současného stavu a teprve poté realizovat zlepšení.

6.1 Zmetkovitost

Zmetkovitost způsobuje vznik zmetků či nutnost přepracování výrobků v důsledku chyb ve výrobním procesu nebo špatného zpracování. Ve výrobě to může být například výrobek, který nesplňuje specifikace zákazníka (Goetsch a Davis, 2016). Nekvalitní produkty a výrobky s vadami generují řadu zbytečných nákladů (Jurová a kol., 2016). Zmetkovitost vede k potřebě vadné produkty opravit, což zahrnuje materiál, čas a energii nejen potřebnou pro výrobu, ale i pro opravu defektů (Dennis, 2016). Typickým příkladem této formy plýtvání je rework (Maynard a Binanda, 2023). Některé výrobky s defektem mohou dokonce vážně poškodit výrobní zařízení (Jurová a kol., 2016). Al-Rifai (2024) dodává, že vady mají

také vliv na stížnosti a reklamace zákazníků a rovněž ovlivňují udržení zákazníků. Vracené zboží způsobuje další ztráty času a zdrojů na vyřizování reklamací, jejich třídění a opravy. Za zmetek se považuje jakýkoli výrobek nebo služba, která nesplňuje specifikované požadavky zákazníka a vznikla v důsledku chyby či problému během výrobního procesu. Defekty následně snižují výnosy a efektivitu společnosti a zároveň zvyšují náklady.

6.2 Čekání

Jednou z největších ztrát je čekání (Tarantino, 2022). Čekání vede k nečinnosti strojů, lidí nebo celého procesu, protože je potřeba čekat na něco, co ještě není k dispozici (Goetsch a Davis, 2016), což znemožňuje pokračovat ve výrobním procesu (Jurová a kol., 2016). Čekání je často způsobeno úzkým místem v předchozím procesu, které může být zatíženo různými vadami, chybami, nadměrnými pohyby či zpožděným rozhodováním (Maynard a Binanda, 2023). V mnoha případech však dlouhá čekání nejsou způsobena jen čekáním na materiál. Mohou to být například operátoři, kteří obsluhují více obráběcích strojů současně, a nejsou si vědomi, že na některých strojích je výrobek již hotový, nebo čekají na výměnu nástrojů na strojích (Tarantino, 2022). Za plýtvání se považuje, když operátor čeká na materiál, na uvolnění linky nebo na to, až stroj dokončí proces (Dennis, 2016). Ve službách to může být například letadlo připravené na vzletové ploše, které čeká na povolení k odletu (Goetsch a Davis, 2016). Zpoždění prodlužuje průběžnou dobu výroby, což je čas mezi zahájením a dokončením výroby (Dennis, 2016) a zároveň vede k vyšší neefektivitě a zvyšuje náklady (Al-Rifai, 2024). Dennis (2016) uvádí, že průběžná doba výroby čas může být definován jako: $\text{Průběžná doba výroby} = \text{procesní čas} + \text{doba zdržení}$

6.3 Pohyb

Zbytečný pohyb se netýká jen lidí, ale i strojů. Často souvisí s nevhodně navrženou ergonomií pracoviště, která negativně ovlivňuje produktivitu, kvalitu i bezpečnost. Nevhodné ergonomické uspořádání pracoviště vede ke zbytečné chůzi, natahování či otáčení, což snižuje efektivitu a může zvyšovat chybovost (Dennis, 2016).

Wright (2017) uvádí, že za plýtvání pohybem lze klasifikovat jakýkoli zbytečný fyzický pohyb. Dle Janušky (2018) ve výrobních procesech je plýtvání způsobeno nejen zbytečným pohybem pracovníků, ale také špatně zorganizovanou prací. U nevýrobních procesů je plýtvání způsobeno zbytečným pohybem pracovníků, špatnou organizací práce nebo špatným formátem dat.

6.4 Transport

Plýtvání při přepravě vzniká v důsledku neefektivního uspořádání pracovního prostoru. Nejčastěji se projevuje nutností přesouvat velké dávky mezi jednotlivými procesy. Toto plýtvání lze snížit zmenšením velikosti dávek a přiblížením procesů k sobě. K tomu lze zahrnout i přesun jednotlivých kusů materiálu v rámci haly. Přestože je transport materiálu v továrně nevyhnutelný, cílem by mělo být jeho minimalizování (Dennis, 2016).

Wright (2017) uvádí, že plýtvání transportem je způsobeno nutností přesouvat nebo manipulovat s komponenty a balíky mezi jednotlivými fázemi výroby. Dle Janušky (2018) je plýtvání ve výrobních procesech způsobeno nejen transportem materiálů a výrobků, ale také potřebou přesunů personálu. U nevýrobních procesů je plýtvání způsobeno neefektivním postupem či potřebou schválení dokumentu několika lidmi.

II PRAKTICKÁ ČÁST

7 PŘEDSTAVENÍ VYBRANÉ SPOLEČNOSTI

Vybraná společnost je součástí velké nadnárodní skupiny a je hlavním dodavatelem technologických celků pro vybrané automobilky. Společnost ve skupině zajišťuje dodávku materiálu potřebnou pro montáž těchto celků, které montuje na vlastních montážních linkách a dodává je dle objednávek v požadovaném množství, čase a kvalitě. Hlavní činností společnosti je linková výroba automobilových modulů a bateriových systémů a jejich prodej. V roce 2023 společnost obhájila certifikace podle normy ISO 45001 a ISO 14001.

7.1 Základní charakteristika vybrané společnosti

Na základě požadavku vybrané společnosti není v diplomové práci uveden její název a všechna data jsou po dohodě s vybranou společností přenásobena určitým koeficientem.

Vybraná společnost je součástí nadnárodní korporace, která celosvětově zaměstnává kolem 12 000 pracovníků. V České republice má tři výrobní závody, kde zaměstnává přibližně 2 700 zaměstnanců, a patří k významným zaměstnavatelům v kraji. Specializuje se na linkovou montáž kompletních automodulů, světlometů a bateriových systémů, které kontinuálně dodává automobilkám. Společnost se podílí na vývoji především zaváděním nových produktů do linkové výroby a montáží prototypů automodulů určených pro nové modely automobilů před spuštěním hromadné výroby. Pro úspěch společnosti v silné konkurenci v oblasti nových výrobních postupů, která panuje v automobilovém průmyslu, se společnost zaměřuje na výzkum a vývoj, především na moduly přední a zadní nápravy, kokpit a další klíčové systémy, jako jsou například airbagy či brzdná zařízení. V posledních letech se společnosti dařilo realizovat řadu úspěšných projektů.

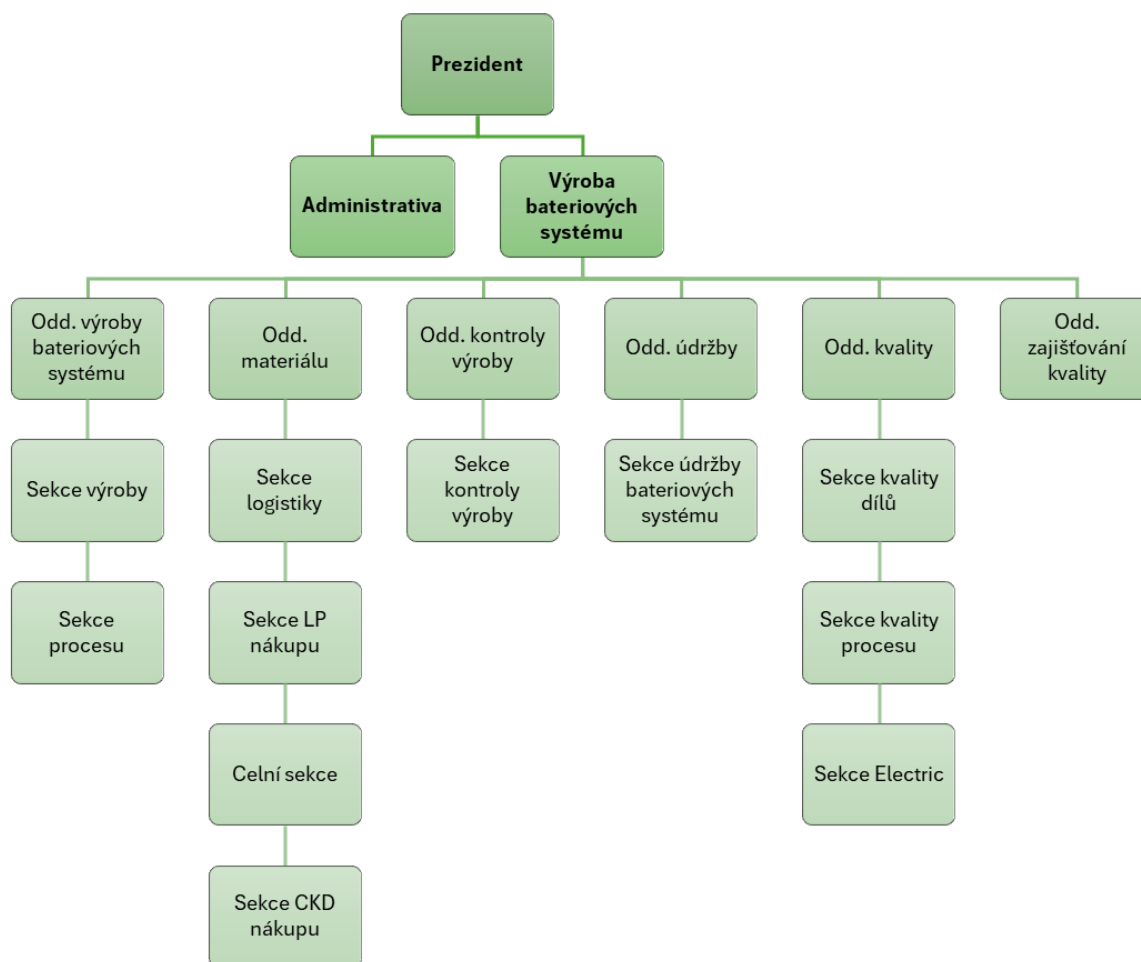
Právní forma: Společnost s ručením omezeným

Předmět podnikání: výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona, výroba, instalace, opravy elektrických strojů a přístrojů, elektronických a telekomunikačních zařízení, činnost účetních poradců, vedení účetnictví, vedení daňové evidence, poskytování služeb v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, technickoorganizační činnost v oblasti požární ochrany (Veřejný rejstřík a Sbírka listin)

Základní kapitál: 461 450 000 Kč

7.2 Organizační struktura

Na obrázku (Obrázek 1) je znázorněna organizační struktura vybrané společnosti. Hlavním představitelem společnosti je Prezident. Dále je společnost rozdělena na dvě hlavní skupiny: skupina administrativy a skupina výroby bateriových systému. Administrativa má na starosti vnitřní záležitosti, správu majetku, životní prostředí, bezpečnost práce, personalistiku, komunikační oddělení, účetnictví a financování, informační technologie, prodej a nákup režijního materiálu a služeb. Výroba bateriových systému má na starosti výrobu bateriových systémů, výrobu elektronických dílů, kontrolu kvality, zajištění kvality, údržbu, vývoj, technickou přípravu výroby a materiál.



Obrázek 1 Organizační struktura vybrané společnost

(zdroj: vlastní)

Společnost věnuje náležitou pozornost zvyšování kvalifikace svých zaměstnanců. Ti se pravidelně účastní školení a výměny zkušeností při zavádění nových metod, zvyšování efektivity a zajišťování kvality.

7.3 Historie společnosti

Vybraná společnost byla založena v roce 1977, kdy začínala s výrobou lodních kontejnerů. Během prvních tří let se stala významným producentem. V devadesátých letech se přeorientovala na automobilový průmysl a začala s výrobou osobních vozů, které vyráběla do roku 1999. V roce 2000 proběhla transformace společnosti a přeorientovala se na výrobu modulů. V roce 2006 byla v České republice založena dceřiná společnost a začala výstavba nového výrobního závodu, který byl dokončen v roce 2008. V nově otevřeném výrobním závodě vyrábí kompletní nápravy, čelní moduly a kokpity do automobilů. V roce 2015 společnost na českém trhu expandovala a byla založena sesterská společnost. Započala výstavba nového výrobního závodu na výrobu světlometů, který byl dokončen v roce 2017. V roce 2020 začala vybraná společnost s výrobou bateriových systémů, která byla z důvodu navýšení produkce v roce 2023 přesunuta do nové výrobní haly. V roce 2020 zároveň začala s výrobou audiozařízení určených do kokpitu vybraných modelů automobilů. V roce 2022 začala vyrábět bateriové systémy určené pro plug-in hybridní vozidla a v roce 2023 rozšířila portfolio a začala s výrobou bateriových systémů pro hybridní vozidla. V roce 2025 společnost plánuje rozšíření výroby bateriových systémů pro nový model automobilu. Po celou dobu své existence se snaží zlepšovat svou konkurenceschopnost, kde největší pozornost je věnována především kvalitě produktů pro uspokojení svých zákazníků.

7.4 Produktové portfolio

Vybraná společnost širokou škálu automobilových komponent a dílů a je významným dodavatelem pro automobilový průmysl. Specializuje se na výrobu předních masek, modulů předních a zadních náprav, modulů přístrojových desek, předních a zadních světlometů a také výrobu bateriových systémů pro elektrická vozidla, plug-in hybridní vozidla a hybridní vozidla.

V současné době společnost vyrábí plug-in hybridní a hybridní bateriové systémy, které jsou určeny pro modely Hyundai Tucson a Kia Sportage, bateriové systémy pro plně elektrická vozidla, které jsou dodávány pro druhou generaci Hyundai KONA Electric ve dvojí kapacitě 64 kWh a 39,2 kWh. Ve druhé polovině roku 2025 společnost plánuje realizovat spuštění nového projektu pro nový model elektromobilu společnosti Kia. Přední masky společnost vyrábí pouze pro model Hyundai Tucson. Moduly předních a zadních náprav a moduly přístrojových desek jsou dodávány pro modely Hyundai Tucson, Hyundai i30, Hyundai KONA Electric. Přední a zadní světlometry vyrábí pro modely

Hyundai Tucson, Kia Sportage, Kia Ceed, Kia ProCeed, Kia XCeed, Hyundai i30, Hyundai Kona a Fiat 600.

Vybraná společnost se neustále snaží zlepšovat v oblasti výrobních postupů za účelem udržení konkurenceschopnosti v rámci těžkého konkurenčního boje. To jí umožňuje využívání nadstandardních znalostí informačních a výrobních technologií.

8 FÁZE DEFINOVÁNÍ

Ve fázi definování je nejprve popsán proces testování těsnosti bateriových systémů s cílem porozumět současnému stavu a identifikovat možné zdroje problému. Následně je vytvořen projektový tým, který se zabývá řešením problému. Dále je nadefinován hlas zákazníka, který zohledňuje jeho požadavky a očekávání. Poté je vytvořen SIPOC diagram, který poskytuje přehled o vstupech, výstupech a klíčových činnostech procesu.

Dalším krokem je stanovení cíle projektu, který zároveň vymezuje cíl diplomové práce, a také jsou nadefinovány hlavní premisy projektu. Následně je vytvořen harmonogram projektu a provedena riziková analýza metodou RIPRAN k identifikování a minimalizování možných rizik. Na závěr je zpracován kontrolní bod této fáze, který shrnuje dosažené výstupy a zároveň je nadefinován cíl diplomové práce.

8.1 Popis procesu testování těsnosti bateriového systému

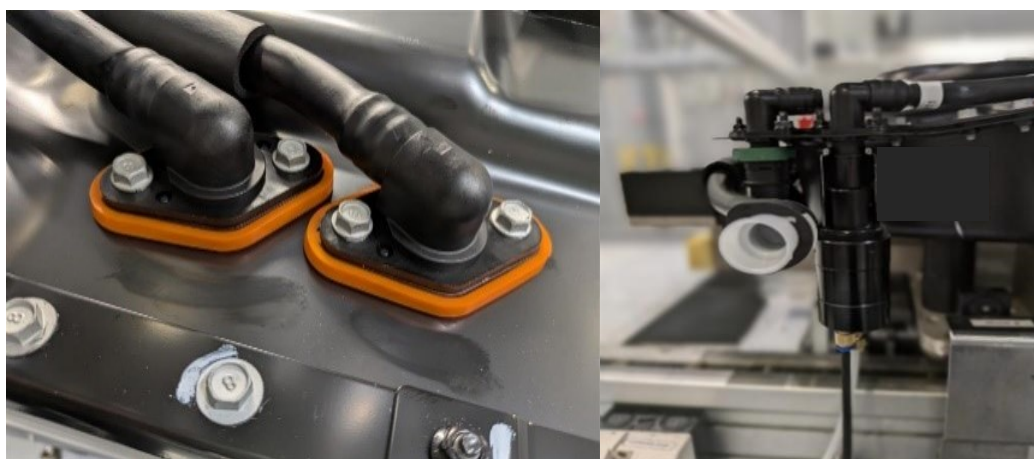
K popisu procesu testování byl vybrán proces testování těsnosti bateriových systémů plug-in hybridních vozidel, jelikož se v tomto procesu vyskytují největší problémy.

Testovaný bateriový systém, který je již zcela smontován, přijede na skidu na pozici pro testování těsnosti. Následně je skid s bateriovým systémem nadzvednut. Před zahájením testování je nutné provést několik úkonů, které vykonává operátor. Ten nejprve připojí tři konektory, které jsou v běžném provozu zapojeny. Jedná se o konektor pro palubní nabíjení, vysoké napětí a nízké napětí. Poté odstraní dvě záslepky z trubek, které vedou od chladicího systému, a na tyto trubky připojí dvě plnicí pistole. U modelu Hyundai operátor navíc namontuje dvě zaslepovací zátky, které jsou nezbytné pro test těsnosti bateriového obalu. Následně operátor potvrzuje splnění úkonu dvěma tlačítky. Po dokončení těchto činností operátorem dojde k automatickému připojení plnicího pístu určeného pro plnění a měření celého bateriového obalu. Poté začíná samotný proces testování.

Samotný proces testování zahrnuje tři druhy testů. Test těsnosti chladicího systému a test těsnosti bateriového obalu probíhají současně. Po ukončení těchto dvou testů následuje test hmotnostního průtoku. Průběh jednotlivých testů je popsán v následující části.

- **Test těsnosti chladicího systému a trubek**

Tento test zkoumá těsnost chladicího systému bateriových modulů a trubek, které jsou jeho součástí. V první fázi je chladicí systém tlakován vzduchem po dobu 22 sekund na hodnotu 2,1 barů. Následně probíhá fáze stabilizování tlaku vzduchu v chladicím systému po dobu 40 sekund pro vyrovnávání teploty vzduchu v chladicím systému s okolím. Během této fáze nesmí hodnota tlaku klesnout pod 2,0 bary. Po stabilizování tlaku následuje fáze měření. Nejprve je změřena počáteční hodnota tlaku v chladicím systému, která je odeslána do PLC. Následuje samotné měření úniku tlaku, které trvá 140 sekund. Po uplynutí této doby se změří konečná hodnota tlaku, která je opět odeslána do PLC. Tato hodnota rovněž nesmí klesnout pod 2,0 bary. Poté dochází k vyhodnocení testu těsnosti MES systémem, kde výsledná hodnota úniku je vypočítána jako rozdíl mezi počáteční a konečnou hodnotou naměřeného tlaku. Pokud je rozdíl tlaku vzduchu menší než 1,1 milibaru, chladicí systém je považován za těsný. Pokud je rozdíl vyšší než 1,1 milibaru, chladicí systém musí být znovu testován nebo je odeslán na rework, kde je pracovníkem kvality testován pomocí heliového testu. Test těsnosti chladicího systému je měřen pomocí tlakového převodníku s přesností 0,05 % FS. Na obrázku (Obrázek 2) je zobrazena plnicí pistole a část okruhu chladicího systému.



Obrázek 2 Plnicí pistole a část okruhu chladicího systému

(zdroj: vlastní)

- **Test těsnosti obalu bateriového systému**

Tento test ověřuje těsnost celého bateriového obalu, včetně těsnosti zásuvek pro konektory. V první fázi je bateriový obal plněn tlakem o hodnotě 0,58 – 0,68 barů po dobu 17 sekund. Ve druhé fázi je obal plněn tlakem 0,110 – 0,115 barů po dobu 45 sekund

v závislost na modelu a kontrolním plánu. Po natlakování bateriového systému následuje stabilizační fáze, která probíhá po dobu 60 sekund. Během této fáze nesmí tlak klesnout pod 0,025 barů. Po vyrovnání teploty vzduchu v bateriovém obalu s okolní teplotou prostředí dojde k ukončení stabilizační fáze. Následně je změřena počáteční hodnota tlaku, která nesmí být nižší než 0,25 barů, a je zapsána do PLC. Následuje fáze měření, která trvá po dobu 120 sekund. Na konci této fáze je opět změřena hodnota tlaku, která také nesmí klesnout pod hodnotu 0,25 barů a je zapsána do PLC. Vyhodnocení výsledného úniku tlaku z bateriového obalu je vypočítáno na základě rozdílu mezi počátečním a konečným naměřeným tlakem pomocí PLC. Pokud výsledný rozdíl naměřených hodnot nepřesáhne hodnotu 0,8 milibarů, bateriový obal je vyhodnocen jako OK. Pokud je rozdíl počátečního a konečného tlaku vyšší, bateriový obal je vyhodnocen jako NG a musí být znovu otestován nebo odeslán na rework, kde je zkontrolován pomocí heliového testu pracovníkem kvality. Test těsnosti bateriového obalu je měřen pomocí tlakového převodníku s přesností 0,05 % FS. Na obrázku (Obrázek 3) je zobrazen plnicí píst obalu bateriového systému.



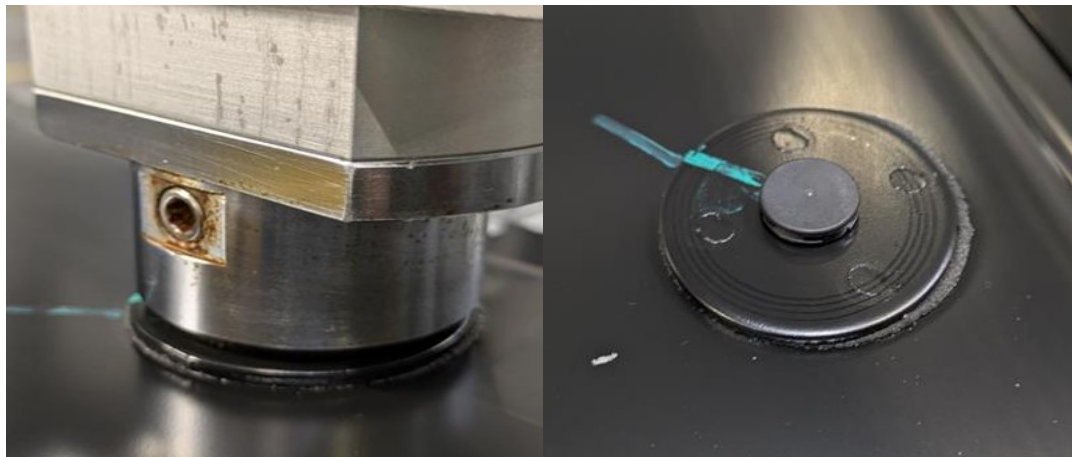
Obrázek 3 Plnicí píst obalu bateriového systému

(zdroj: vlastní)

- **Test průtoku přepouštěcího ventilu na bateriovém obalu**

Test průtoku přepouštěcího ventilu je měřen pomocí hmotnostního průtokoměru. Vzduch, který proudí přes přepouštěcí ventil pomocí plnicího pístu s těsněním, proudí do bateriového obalu a zároveň prochází průtokoměrem, který měří hodnoty průtoku vzduchu. Na přepouštěcí ventil působí konstantní tlak o velikosti 0,15 barů, který je stanoven kontrolním plánem. První fáze trvá po dobu 13 sekund. Po uplynutí první fáze následuje fáze stabilizační, která trvá 5 sekund. Následně probíhá fáze testování propustnosti ventilu po

dobu 7 sekund a je vyhodnocen průtok vzduchu, který se musí pohybovat ve stanovených mezích 0,2 – 2,0 bary. Na obrázku (Obrázek 4) je zobrazen propustný ventil bateriového obalu.



Obrázek 4 Testování propustného ventilu na bateriovém obalu

(zdroj: vlastní)

V případě, že všechny provedené testy těsnosti byly v rozsahu stanovených mezí, je bateriový systém vyhodnocen jako těsný (OK). Výsledky, které jsou systémem vyhodnoceny, jsou zobrazeny na obrázku (Obrázek 5). Operátor následně odpojí dvě plnicí pistole a trubky chladicího systému zaslepí pomocí záslepek. Poté odpojí konektor vysokého napětí, nízkého napětí a konektor palubní nabíječky a potvrdí ukončení procesu stlačením dvou tlačítek. U modelu Hyundai Tucson navíc odšroubuje dvě zaslepovací zátky. Následně bateriový systém pokračuje do další fáze výroby. Cyklový čas pozice testování těsnosti bateriového systému je 332 sekund. Tato pozice je zároveň úzkým místem na výrobní lince.

V případě, že nějaký z testů je vyhodnocen jako NG, bateriový systém je znovu testován, někdy i několikrát. Pokud několik po sobě jdoucích testů jednoho bateriového systému je vyhodnoceno jako NG, bateriový systém je přesunut na rework, kde pracovník kvality pomocí heliového testu zjišťuje příčinu úniku plynu. Heliový test probíhá následovně: do bateriového systému nebo chladicího okruhu je napuštěno helium a odpovědný pracovník kvality pomocí ručního čichacího zařízení prozkoumá všechna možná místa úniku. V případě, že je nalezena netěsnost, pracovník kvality daný problém vyhodnotí a provede její opravu. Po opravení netěsnosti je bateriový systém znovu odeslán na výrobní linku na test těsnosti, kde musí dosáhnout požadovaných hodnot. V případě, že ani pomocí heliového testu nebyla nalezena žádná netěsnost, bateriový systém je znovu otestován na výrobní lince. Pokud jsou všechny testy vyhodnoceny jako OK, bateriový

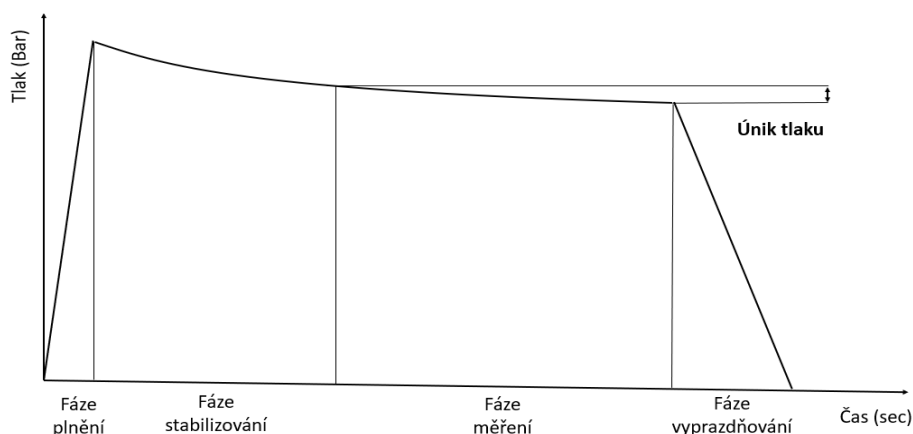
system pokračuje ve výrobním procesu. V případě, že je bateriový systém znovu vyhodnocen jako NG, putuje zpět na oddělení kvality, kde je celý bateriový systém rozebrán a hledá se příčina úniku uvnitř bateriového systému.

NUM	TEST NAME	TEST CONDITIONS	LOWER	UPPER	VALUE	UNIT	JUDGE
1	LEAK DATA	COOL STABILIZATION PRESSURE	2.0	2.9	2.1296	Bar	OK
		COOL LEAK PRESSURE	2.0	2.9	2.1290	Bar	OK
		COOL PRESSURE DEV	0	0.0011	0.006	Bar	OK
		PACK STABILIZATION PRESSURE	0.025	0.035	0.0263	Bar	OK
		PACK LEAK PRESSURE	0.025	0.035	0.0262	Bar	OK
		PACK PRESSURE DEV	0	0.0008	0.0001	Bar	OK

Obrázek 5 Vyhodnocení výsledků testování

(zdroj: vlastní)

Obrázek (Obrázek 6) znázorňuje jednotlivé fáze testování těsnosti. V první fázi plnění tlak v testovaném bateriového obalu nebo chladicím systému v čase roste. Následuje fáze stabilizování, během níž lze pozorovat výrazný pokles tlaku, který se po určité době ustálí. Poté probíhá fáze měření, při které se změří tlak na začátku a na konci měření. Na základě rozdílu hodnot se spočítá výsledný únik z testovaného obalu bateriového systému a chladicího systému. V poslední fázi dochází k vypuštění tlaku a vyrovnaní s atmosférickým tlakem.



Obrázek 6 Graf testování těsnosti

(zdroj: vlastní)

8.2 Členové týmu

Prvním krokem ve fázi definování bylo vytvoření týmu (Tabulka 4), který se podílí na řešení daného problému. Tým je složen z několika specialistů, z nichž každý má jinou odbornou specializaci. V týmu jsou zástupci všech oddělení společnosti, kterých se řešení problému týká a pro které je vyřešení tohoto problému podstatné.

Tabulka 4 Členové týmu

Členové projektového týmu	Oddělení
Ondřej Krpec – diplomant, junior specialista	Procesní inženýrství
Vlastník procesu	Produkce
Koordinátor	Procesní inženýrství
Technický specialista	Údržba
Specialista kvality	Kvalita

(zdroj: vlastní)

8.3 Hlas zákazníka (VoC)

Informace o hlasu zákazníka vznikly na základě brainstormingu celého týmu a požadavky hlasu zákazníka jsou následující:

- 1) Mít OK produkci
- 2) Pokud je díl špatný, test jej musí zachytit jako NG
- 3) Pokud je díl v pořádku, test jej musí vyhodnotit jako OK – ne jako falešné NG

8.4 SIPOC diagram

SIPOC diagram zobrazený v tabulce 5 (str. 58) byl vyhotoven na základě brainstormingu celého týmu. Cílem tohoto diagramu je poskytnout jasný a přehledný pohled na proces testování bateriových systémů a nadefinování klíčových prvků, které vstupují do samotného procesu. Dále je cílem nadefinování hlavních kroků a výsledných výstupů. Ve sloupci vstupy bylo identifikováno osm klíčových faktorů procesu. Mezi nejdůležitější patří bateriový systém, čas stabilizace a teplota jednotlivých komponent. Samotný proces je zaměřen na měření úniku tlaku, což je zásadní proces pro ověření těsnosti bateriových systémů. V rámci

SIPOC byl zároveň upřesněn rozsah projektu a jeho hranice, aby bylo jasné, na kterou příčinu problému je analýza zaměřena.

Tabulka 5 SIPOC diagram

Dodavatelé	Vstupy	Proces	Výstupy	Zákazník
Operátoři	Bateriový systém	Měření úniku tlaku	Rozdíl tlaku	Hyundai
Předchozí proces	Operátor		Teplota	Kia
Dodavatelé komponent	Limity měření		Výsledek OK/NG	Životní prostředí
	Čas stabilizace			Následný proces
	Objem měřené soustavy			Operátoři
	Teplota vzduchu v systému + okolí			
	Teplota jednotlivých komponent			
	Proudění vzduchu ve výrobní hale			

(zdroj: vlastní)

8.5 Definování cíle a ohraničení projektu

V tomto kroku byl definován problém, se kterým se společnost potýká v souvislosti s řešeným tématem. Problém, který je řešen, je zobrazen v tabulce 6 (str. 59) v prvním bodě. Jedná se o falešně vyhodnocené NG výsledky testu těsnosti bateriových systémů, které nemají žádnou netěsnost, ale přesto jejich výsledky vycházejí NG. Tento problém se vyskytuje pouze na PHEV výrobní lince konkrétně na pozici #180. Problém se na lince objevuje již od zahájení projektu.

Cílem tohoto projektu, který je zároveň cílem diplomové práce, je snížit podíl NG výsledků, který v současnosti přesahuje 4,8 %, na cílovou hodnotu 3,0 %, a zároveň minimalizovat podíl falešných NG výsledků chladicího systému z 1,8 % na 0,8 %. Aktuální stav metriky byl ověřen ve fázi měření.

Tabulka 6 Projektový list

1. Příležitost nebo formulace problému a) Co se stalo? Falešné NG výsledky testu těsnosti b) Kde? Na montážní lince PHEV BSA – pozice #180 c) Kdy? Od začátku projektu d) Jak moc? Přes 4,8 %	2. Rozsah projektu a) Začátek procesu PHEV BSA #10 b) Konec procesu PHEV BSA #180 c) Mimo rozsah Materiál, dodavatelé, teplota, vlhkost d) V rozsahu Vstupní parametry, proces montáže, parametry testování, parametry přístroje									
3. Klíčová metrika a cíl <table><tr><td>Metrika</td><td>Aktuální stav</td><td>Cíl</td></tr><tr><td>NG podíl</td><td>4,8 %</td><td>3,0 %</td></tr><tr><td>Monitorování tlaku</td><td>Mimo specifikaci</td><td>Podle výkresu</td></tr></table> Dílčí cíle: Analýza příčin NG výsledků různými grafickými metodami a statistickým softwarem Minitab 22 Návrh a implementace opatření Ověření účinnosti implementovaných opatření a vyhodnocení dosaženého zlepšení pomocí regulačních diagramů a finanční analýzy	Metrika	Aktuální stav	Cíl	NG podíl	4,8 %	3,0 %	Monitorování tlaku	Mimo specifikaci	Podle výkresu	4. Obchodní dopad a) Finanční Zvýšení provozní účinnosti Úspora času operátorů Snížení dodatečného času na opravách b) Nefinanční Šetření životního prostředí Šetření strojů Úspora práce operátorů
Metrika	Aktuální stav	Cíl								
NG podíl	4,8 %	3,0 %								
Monitorování tlaku	Mimo specifikaci	Podle výkresu								
5. Plán projektu a) Začátek: 2.12.2025 b) Dokončení: Březen 2025	6. Výběr týmu a) Sponzor Vedoucí oddělení výroby b) Vedoucí týmu Koordinátor – Procesní inženýr c) Členové týmu Ondřej Krpec, Vlastník procesu, Koordinátor, Technický specialista, Specialista kvality									

(zdroj: vlastní)

8.6 Harmonogram projektu

Projekt byl zahájen 2. prosince 2024 a jeho ukončení je naplánováno na konec března 2025. V následující tabulce 7 je pomocí Ganttova diagramu zobrazen průběh jednotlivých fází projektu.

Tabulka 7 Harmonogram projektu

Aktivity v rámci projektu	Prosinec 2024	Leden 2025	Únor 2025	Březen 2025
Fáze DEFINOVÁNÍ				
Seznámení se s procesem testování	■			
Sestavení týmu	■			
Definování hlasu zákazníka (VoC)		■		
Definování SIPOC diagramu		■		
Definování projektu		■		
Harmonogram projektu			■	
Riziková analýza			■	
Fáze MĚŘENÍ				
Definování IPO diagramu	■			
Analýza vstupních dat	■	■		
Vytvoření vzorníku příčin			■	
Vyhodnocení analýzy vstupních dat			■	
Ověření validity a variability vstupních dat			■	
Fáze ANALYZOVÁNÍ				
Vytvoření Ishikawa diagramu			■	
Testování a analýza vlivu změny okolní teploty			■	
Testování a analýza vlivu teploty materiálu			■	
Testování a analýza změny času stabilizace			■	
Testování a analýza vlivu času mezi jednotlivými testy			■	
Analýza závislosti retestů na OK výsledku			■	
Testování a analýza pomocí DOE			■	
Fáze ZLEPŠENÍ				
Implementace řešení				■
Fáze KONTROLA				
Vyhodnocení implementovaných opatření				■
Finanční zhodnocení projektu				■
Ukončení projektu				■

(zdroj: vlastní)

8.7 RIPRAN analýza

RIPRAN analýza je určena k identifikaci rizik spojených s projektem. V následující tabulce 8 je vypracována tato analýza s cílem identifikovat hrozby, analyzovat a vyhodnotit rizika a navrhnout vhodná opatření pro eliminaci rizik. Jako nejmenší hrozba s nejmenším rizikem byla vyhodnocena nízká podpora managementu, jelikož je pro vedení důležité tento problém vyřešit. Naopak největší hrozbou s největším rizikem je skutečnost, že realizovaný návrh nesplnil očekávaný výsledek.

Tabulka 8 RIPRAN analýza

RIPRAN analýza									
ID	Hrozba	Pravd. hrozby	Scénář	Pravd. scénáře	Celková pravd.	Pravd. rizika	Dopad	Hodnota rizika	Opatření
1	Nedostatek vstupních dat	10 %	Chybějící přístupy k datům	80 %	8 %	NP	VD	SHR	Zajištění přístupových práv, vyžádání dat od spolupracovníků
2	Nízká podpora managementu	15 %	Nízká priorita řešení projektu	20 %	3 %	NP	SD	NHR	Prezentace přínosů projektu, finančních a provozních dopadů
3	Chybné zpracování analýzy	20 %	Špatná interpretace výsledků	85 %	17 %	SP	SD	SHR	Kontrola interpretace výsledků s vedoucí osobou
4	Nedodržení časového harmonogramu	35 %	Změna priorit řešení problémů	20 %	7 %	NP	VD	SHR	Zavedení pravidelných kontrolních schůzek, nastavení milníků a odpovědností
5	Špatná komunikace mezi odděleními	30 %	Špatná spolupráce a sdílení dat mezi výrobou, kvalitou a údržbou	30 %	9 %	NP	SD	NHR	Pravidelné meetingy mezi odděleními, jasné definování odpovědností
6	Odmítnutí navrhovaných opatření	25 %	Změna navrhovaných opatření	75 %	19 %	SP	SD	SHR	Zapojení klíčových pracovníků do návrhů řešení, testování před implementací
7	Realizace návrhu nesplnila očekávaný výsledek	30 %	Nesplnění cíle projektu	90 %	27 %	SP	VD	VHR	Průběžné testování a validace opatření, analýza opatření

(zdroj: vlastní)

8.8 Kontrolní bod fáze definování

Na závěr každé fáze musí být provedena kontrolní fáze. Odpověď na všechny otázky v této fázi musí být Ano. V případě, že alespoň jedna odpověď na otázku by byla Ne, není možné pokračovat v následné fázi projektu. Bylo by potřeba se vrátit zpět do fáze definování a provést zde potřebné úpravy. V tabulce 9 (str. 62) je zobrazen kontrolní list fáze definování, ze kterého je patrné, že odpověď na všechny kontrolní otázky je Ano a je tedy možné pokračovat do fáze měření.

Tabulka 9 Kontrolní list fáze Definování

Kontrolní list fáze Definování	Ano	Ne
Souhlas se sponzorem o důležitosti projektu?	Ano	
Definování problému ve dvou větách?	Ano	
Primární a sekundární metriky s přibližnými hodnotami?	Ano	
Tým byl složen a je funkční?	Ano	
Vytvořený SIPOC?	Ano	
Vytvořený VOC?	Ano	
Je problém stále aktuální a bude mít jeho řešení přínosy?	Ano	

(zdroj: vlastní)

9 FÁZE MĚŘENÍ

V této fázi je nejprve sestaven IPO diagram s cílem identifikovat klíčové vstupy procesu a jejich vliv na výstupy testování. Následně je provedena analýza výchozích dat, která poskytne podrobnější informace o aktuálním stavu. Na základě této analýzy je vytvořen vzorník možných příčin vedoucích k NG výsledkům testování.

Na základě vzorníku příčin je provedena analýza četnosti výskytu jednotlivých příčin, která umožní pomocí Pareto diagramu identifikovat nejčastější příčiny ovlivňující výsledky testování. Dále je ověřena validita získaných dat z testování těsnosti pomocí bodového grafu, aby bylo možné posoudit, zda jsou získaná data spolehlivá. Následuje ověření variability vstupních dat pomocí analýzy způsobilosti procesu, která umožní posouzení stability procesu. Na závěr této fáze je zpracován kontrolní bod, který shrne dosažené výstupy této fáze.

9.1 IPO Diagram

Prvním krokem ve fázi měření bylo vytvoření IPO diagramu (tabulka 10, str. 64), který identifikuje klíčové vstupy procesu jako jsou například bateriové moduly určené k testování či vstupní parametry ovlivňující testování. Proces zahrnuje samotný průběh testování bateriového systému a také faktory, které jej ovlivňují. Výstupem procesu je bateriový systém, který buď splnil parametry testování a pokračuje dále do výroby nebo bateriový systém, který nesplnil testované parametry a vyžaduje další testování či opravu. Zároveň jsou generována data o výsledcích testů těsností, která jsou ukládána do MES systému, Data mohou poté sloužit pro analýzu procesu testování vedoucí k jeho optimalizaci.

Tabulka 10 IPO diagram

I (Input)	P(Proces)	O(Výstup)
Teplota okolí	Plnicí tlak	Výsledný únik (tlak)
Teplota vzduchu v řádu	Čas plnění	Výsledek (OK/NG)
Vlhkost okolí	Čas stabilizace	Zákazník (netěsnost)
Vlhkost vzduchu v řádu	Čas měření	
Teplota trubky (manipulací od operátora)	Změna teploty okolí během testu	
Teplota baterie po testu		
Čas mezi testem nabíjení a testem těsnosti		
Kia/Hyundai modely		

(zdroj: vlastní)

9.2 Klasifikace chyb a vytvoření vzorníku příčin

Na základě analýzy výstupních dat, zkušeností osoby odpovědné za testy těsnosti a přezkoumání kamerových záznamů byl sestaven vzorník příčin NG výsledků testů těsnosti včetně jejich charakteristiky. Bylo identifikováno celkem 18 druhů příčin NG výsledků. Analýza vstupních dat byla provedena za období od začátku října do konce listopadu a zahrnuje celkem 6118 provedených testů, které slouží jako základ pro vstupní vyhodnocení. Příčiny lze klasifikovat do dvou hlavních skupin:

9.2.1 NG výsledky chladicího systému

V tomto bodě jsou popsány příčiny, které způsobují NG výsledky chladicího systému.

- **Falešný NG chladicího systému** – výsledek testu neprošel o méně než 0,6 milibarů a následný retest má vynikající hodnoty výsledku. Analýza délky testovacího cyklu potvrdila, že operátoři neprovedli žádný zásah.
- **Reálný NG chladicího systému** – výsledek testu neprošel kvůli výrazné netěsnosti. Následný test vychází úspěšně. Analýza délky testovacího cyklu naznačuje, že

operátoři provedli úpravy v chladicím systému přímo na výrobní lince, aniž by byl bateriový systém z výrobní linky vyjmut.

- **Chybně připojena plnicí pistole** – počáteční tlak testu nedosáhl požadované hodnoty kvůli výrazné odchylce. Analýza kamerového záznamu prokázala, že operátoři před spuštěním nového testu manipulovali pouze s plnicí pistolí a následný retest vychází bez problému.
- **Úpravy provedené u linky** – opakovaně nebylo dosaženo požadovaného počátečního tlaku. Bateriový systém byl vyjmut z výrobní linky, ale nebyl odeslán na rework. Dle zkušeností odpovědného pracovníka dochází nejčastěji k výměně trubek chladicího systému. Následný retest vychází v normě.
- **Vadná část trubky** – bateriový systém byl odeslán na rework, kde byla jako hlavní příčina netěsnosti identifikována vadná část trubky, což potvrdila i kontrola kvality.
- **Porušený těsnicí kroužek** – při montáži došlo k porušení těsnicího kroužku, což způsobilo netěsnost. Bateriový systém byl odeslán na rework, kde tato příčina byla potvrzena kontrolou kvality.

9.2.2 NG výsledky obalu bateriového systému

V tomto bodě jsou popsány příčiny, které způsobují NG výsledky obalu bateriového systému.

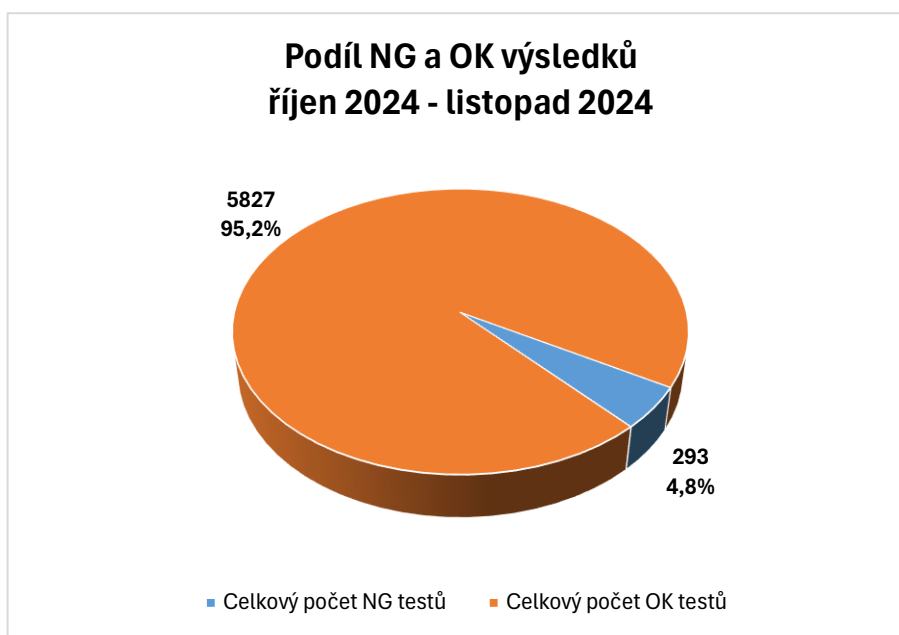
- **Přetlakovaný obal bateriového systému** – počáteční tlak testování byl několikanásobně vyšší než požadovaná počáteční hodnota. Operátor neodpustil před retestem přebytečný tlak z obalu bateriového systému.
- **Vadný propustný ventil na obalu bateriového systému** – obal bateriového systému byl při prvním testu výrazně přetlakován. Příčinou je vadný propustný ventil nebo nebyl při montáži namontován.
- **Špatně zasunutý konektor** – únik dosahoval přibližně dvojnásobku povolené hodnoty, následný retest vychází v normě. Na základě kamerového záznamu a zkušeností odpovědného pracovníka bylo zjištěno, že příčinou byl špatně zasunutý konektor do zásuvky.
- **Reálný NG obalu bateriového systému** – bateriový obal vykazoval výrazný únik. Analýza záznamu prokázala, že operátor prováděl úpravy na bateriovém obalu, aniž

by došlo k vyjmutí bateriového systému z výrobní linky. Následný retest vychází v normě.

- **NG těsnění obalu bateriového systému** – test neprošel kvůli špatně usazenému těsnění, což způsobilo výraznou netěsnost. Operátor problém napravil přímo na výrobní lince, což bylo potvrzeno kamerovým záznamem. Následný retest vychází v normě.
- **Nenatlakovaný obal bateriového systému** – obal bateriového systému nebyl natlakován na požadovanou hodnotu o minimální odchylku. Při následném retestu jsou požadované hodnoty splněny.
- **Oprava obalu bateriového systému po montáži** – test vykázal abnormální hodnoty. Obal bateriového systému byl opraven mimo výrobní linku, ale nebyl na reworku. Následný retest vychází v normě.
- **Nedotažené zátky na obalu bateriového systému** – na základě kamerového záznamu a zkušeností odpovědného pracovníka byla příčinou netěsnosti nedostatečně dotažená zaslepovací zátka nebo poškozené těsnění zaslepovací zátky. Tato příčina se vyskytuje pouze u modelu Hyundai Tucson, kde jsou těsnící zátky montovány pouze pro test těsnosti.
- **Falešný NG obalu bateriového systému** – obal bateriového systému byl odeslán na rework, nicméně na základě testování heliovým testem a kontroly kvality bylo potvrzeno, že se jednalo o falešný NG výsledek. Následný retest vychází bez problému.
- **Vadná část uvnitř bateriového systému** – při kontrole na reworku bylo zjištěno drobné ohnutí spodního krytu obalu bateriového systému. Problém byl identifikován kontrolou kvality.
- **Těsnění mimo pozici** – při montáži nebylo správně usazené těsnění, což vedlo k netěsnosti. Problém byl identifikován kontrolou kvality na reworku.
- **Vypadnutá podložka z těsnění** – při kontrole na reworku bylo zjištěno, že v těsnění chybí podložka. Problém byl identifikován kontrolou kvality.

9.3 Četnost výskytu příčin

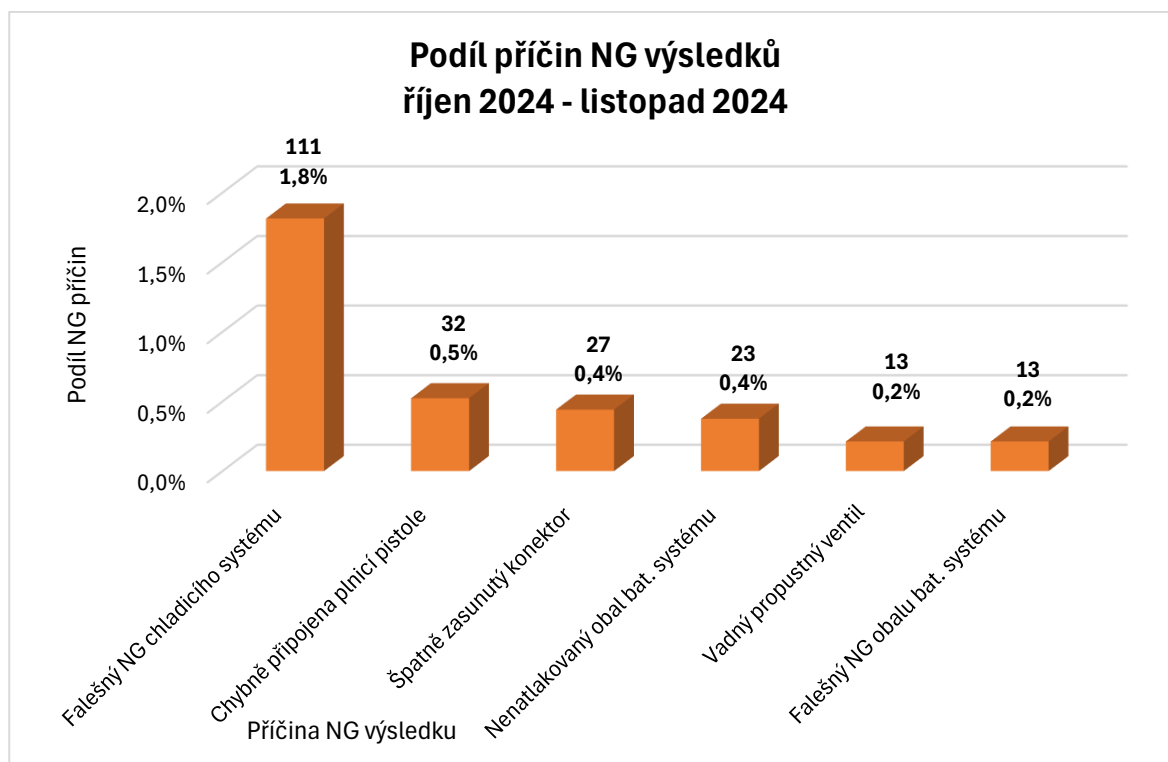
Pro identifikování poměru NG a OK výsledků byl vytvořen výsečový graf (Obrázek 7). Na základě tohoto grafu lze konstatovat, že za výchozí období říjen až listopad bylo 4,8 % NG výsledků testování těsnosti z celkového počtu provedených testů. Tato hodnota 4,8 % je použita jako výchozí metrika pro tento projekt.



Obrázek 7 Podíl NG a OK výsledků

(zdroj: vlastní)

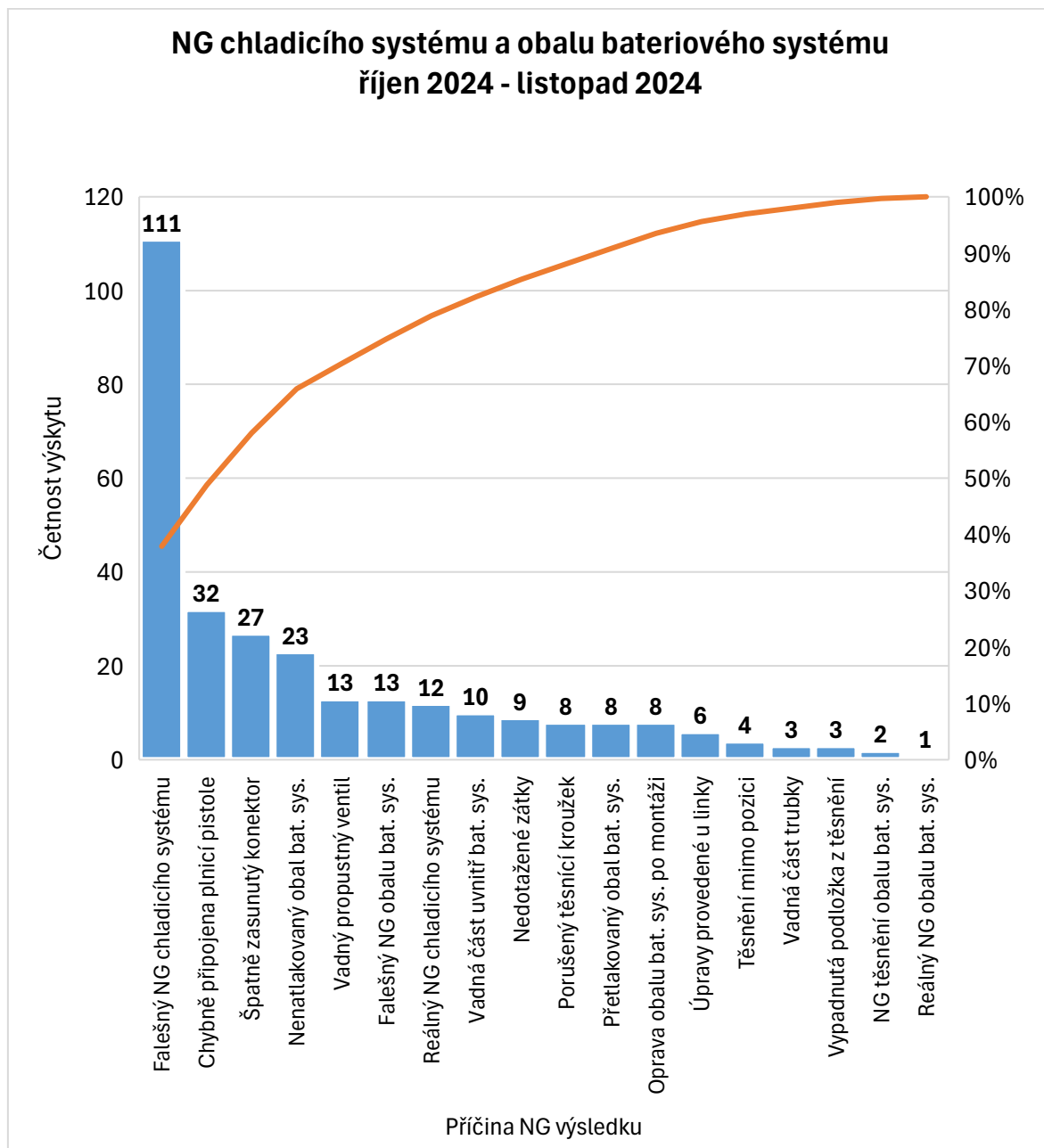
Dále je zobrazen (Obrázek 8, str. 68) sloupcový graf, který znázorňuje podíl šesti nejčastějších příčin NG výsledků z celkového počtu provedených testů. Nejčastěji identifikovanou příčinou je falešný NG chladicího systému, který se vyskytuje s četností 1,8 %, což odpovídá absolutní hodnotě 111 případů. Tato hodnota 1,8 % je použita jako výchozí metrika pro tento projekt. Druhou nejčastější příčinou je chybně připojená plnicí pistole s četností 0,5 % následovaná špatně připojeným konektorem s četností 0,4 %.



Obrázek 8 Podíl NG příčin NG výsledků

(zdroj: vlastní)

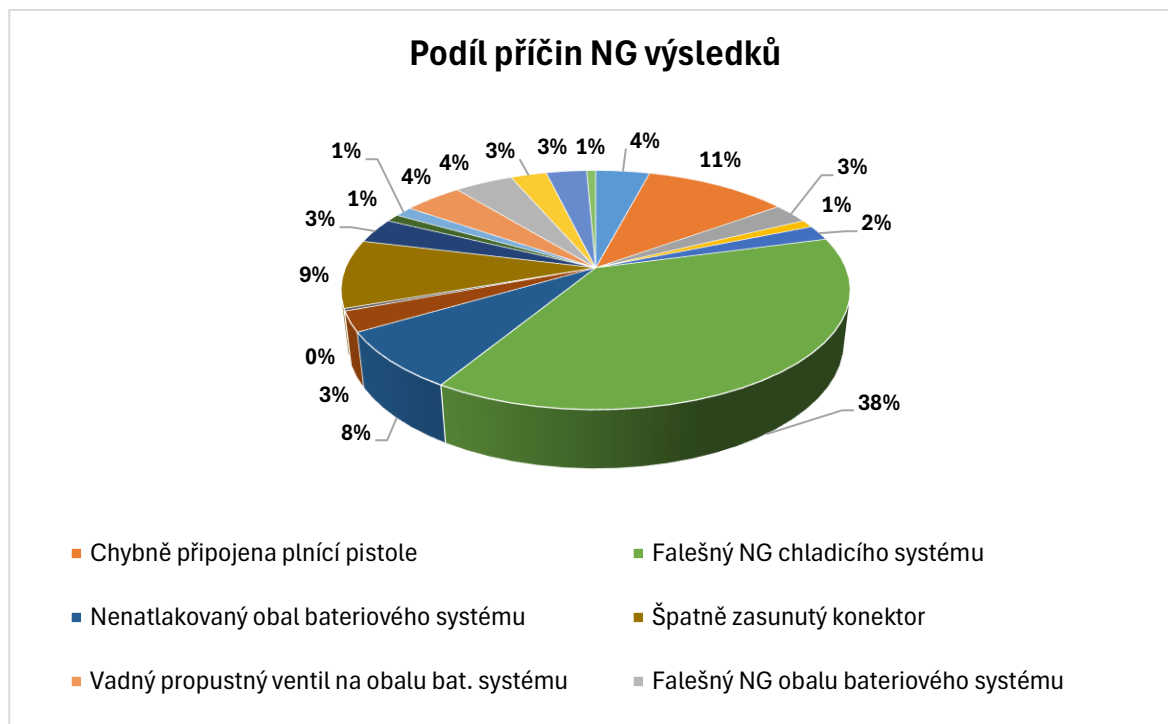
Paretův diagram (Obrázek 9, str. 69) a výsečový graf (Obrázek 10, str. 70), který znázorňuje procentuální podíl příčin NG výsledků, byly vytvořeny na základě četnosti výskytu jednotlivých příčin NG výsledků testu těsnosti. Z diagramu vyplývá, že nejvýznamnějším problémem je falešný NG chladicího systému, který se v průběhu sledovaného období vyskytl ve 111 případech a způsobuje 38 % NG výsledků. Další relativně často se vyskytující příčinou je chybně připojená plnicí pistole, které se vyskytovalo ve 32 případech a způsobuje 11 % NG výsledků. Třetím nejčastějším problémem byl špatně zasunutý konektor na obalu bateriového systému, který byl zaznamenán v 27 případech a způsobuje 9 % NG výsledků. Zatímco chybně připojená pistole a špatně zasunutý konektor jsou způsobeny lidským faktorem a vyskytují se při testování obalu bateriového systému, falešný NG chladicího systému je způsoben jinými faktory a objevuje se při testování chladicího systému. Tyto tři hlavní příčiny dohromady představují 58 % NG výsledků testů těsnosti. Nicméně tento projekt je primárně zaměřen na eliminaci falešných NG výsledků chladicího systému.



Obrázek 9 Paretův diagram NG testů

(zdroj: vlastní)

Výšečový graf (Obrázek 10, str. 70), který byl okomentován výše, znázorňuje procentuální podíl šesti nejčastějších příčin NG výsledků. Ostatní příčiny jsou v grafu uvedeny pouze procentuálně.



Obrázek 10 Podíl příčin NG výsledků

(zdroj: vlastní)

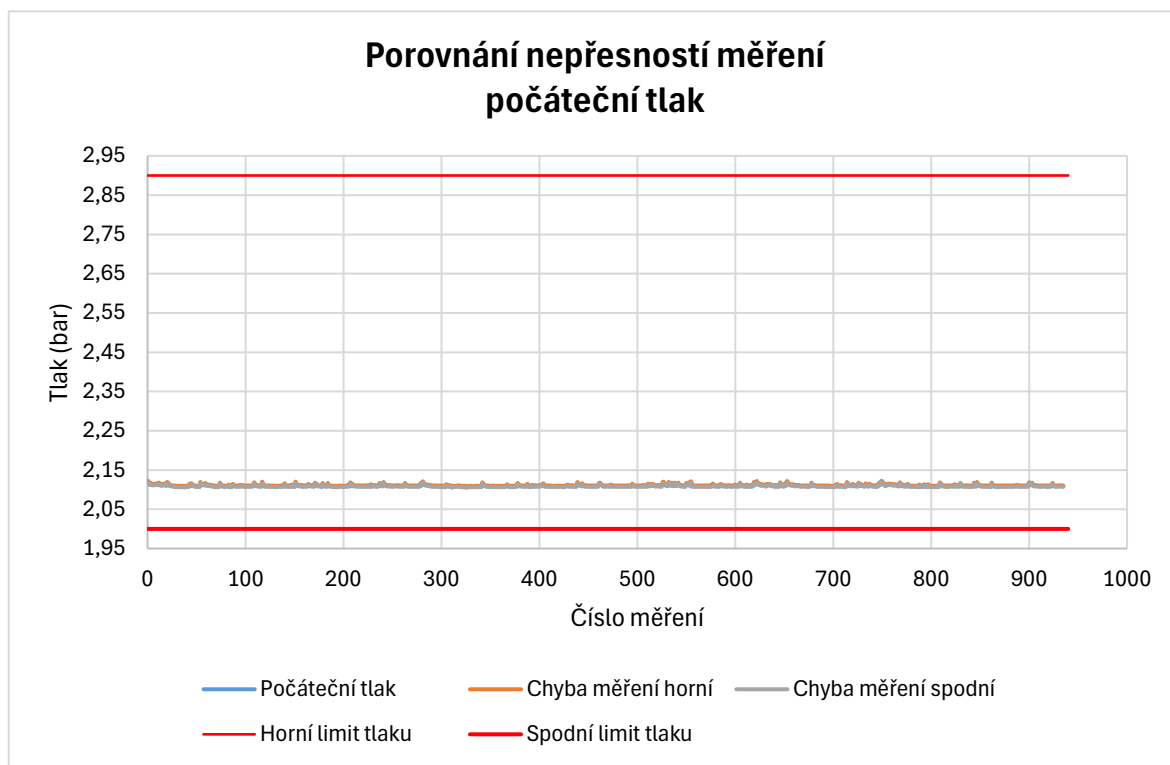
9.4 Ověření validity vstupních dat z testování těsnosti

V tomto kroku byla nejprve provedena analýza, s jakou nepřesností jsou data měřena, a cílem bylo ověření, zda jsou naměřena data validní. Jak již bylo v kapitole 8.1 uvedeno, test těsnosti chladicího systému je měřen pomocí tlakového převodníku s přesností měření 0,05 % FS. Tento tlakový převodník má rozsah měření 0–3,0 bary a naměřená data jsou automaticky zaznamenávána do podnikového MES systému.

Pro ověření platnosti měření byl použit regulační diagram s SPC limity (Obrázek 11, str. 71), který umožnil zobrazení počátečních hodnot testování, a také počáteční hodnoty s připočtením a odečtením maximální odchylky měření 0,05 % FS. Zelená barva zobrazuje naměřené počáteční hodnoty. Spodní maximální odchylka měření je znázorněna modrou barvou a horní maximální odchylka měření je zobrazena oranžovou barvou.

Analýzou tohoto grafu bylo zjištěno, že i při zohlednění této nepřesnosti měření se naměřené hodnoty pohybují v tolerančním rozpětí definovaném kontrolním plánem, které je v grafu znázorněno červenými čarami. Bylo zjištěno, že spodní i horní odchylka nepřesnosti měření se nacházejí v těsné blízkosti spodní hranice tolerančního rozpětí, což je však

způsobeno nastavením vstupního tlaku. Na základě této analýzy lze konstatovat, že naměřené hodnoty počátečního tlaku splňují požadavky a lze je považovat za validní.

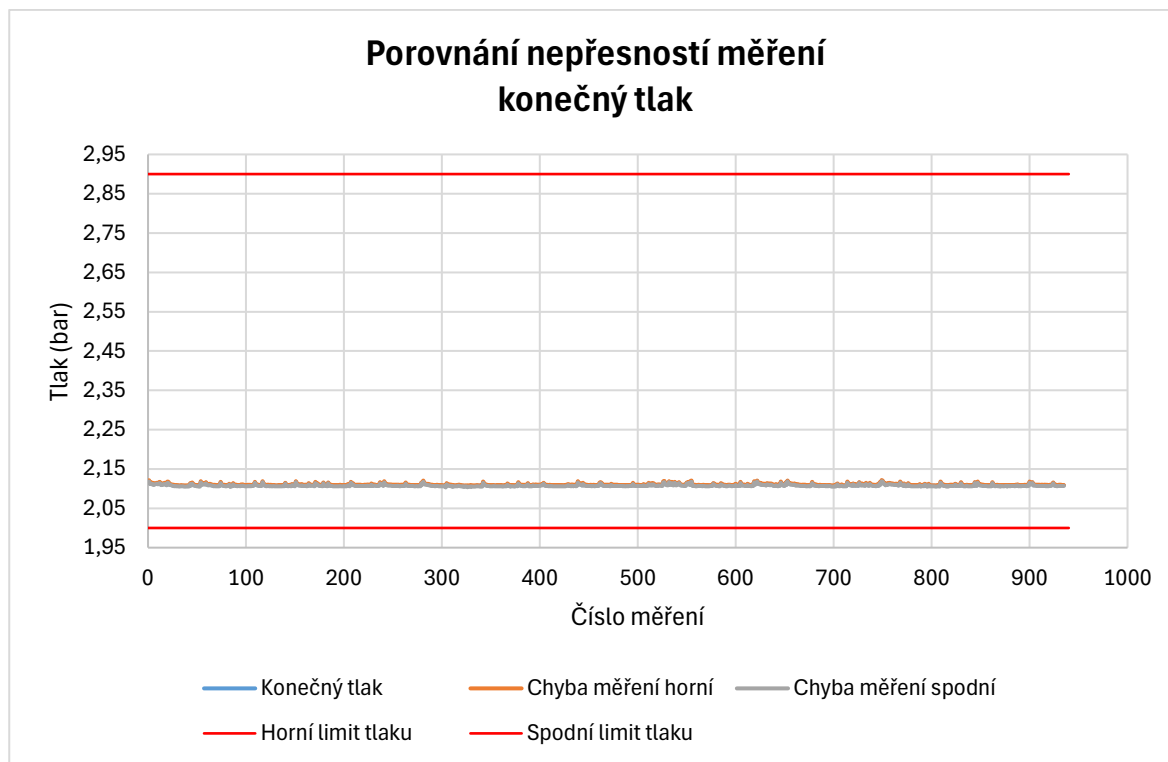


Obrázek 11 Nepřesnost měření počátečního tlaku

(zdroj: vlastní)

Regulační diagram s SPC limity (Obrázek 12, str. 72) znázorňuje hodnoty konečného tlaku měření zelenou barvou. K naměřeným hodnotám byla také připočtena a odečtena maximální odchylka nepřesnosti měření 0,05 % FS. Horní odchylka měření je zobrazena oranžovou barvou a spodní odchylka měření je zobrazena modrou barvou. Tím bylo ověřeno, zda se naměřené hodnoty konečného tlaku, i s touto nepřesností měření, nacházejí v tolerančním rozpětí, které je zobrazeno červenými čarami a které je stanoveno kontrolním plánem.

Na základě analýzy grafu lze konstatovat, že naměřené hodnoty, včetně maximálních odchylek nepřesnosti měření, se nacházejí v tolerančním rozmezí. Podobně jako u počátečního tlaku testování se i konečné hodnoty testování nacházejí výrazně blíže k spodní hranici tolerance. Jak již bylo zmíněno, je to způsobeno nastavením vstupního tlaku. Na základě této analýzy lze konstatovat, že naměřené hodnoty konečného tlaku splňují požadavky a lze je považovat za validní.



Obrázek 12 Nepřesnost měření konečného tlaku

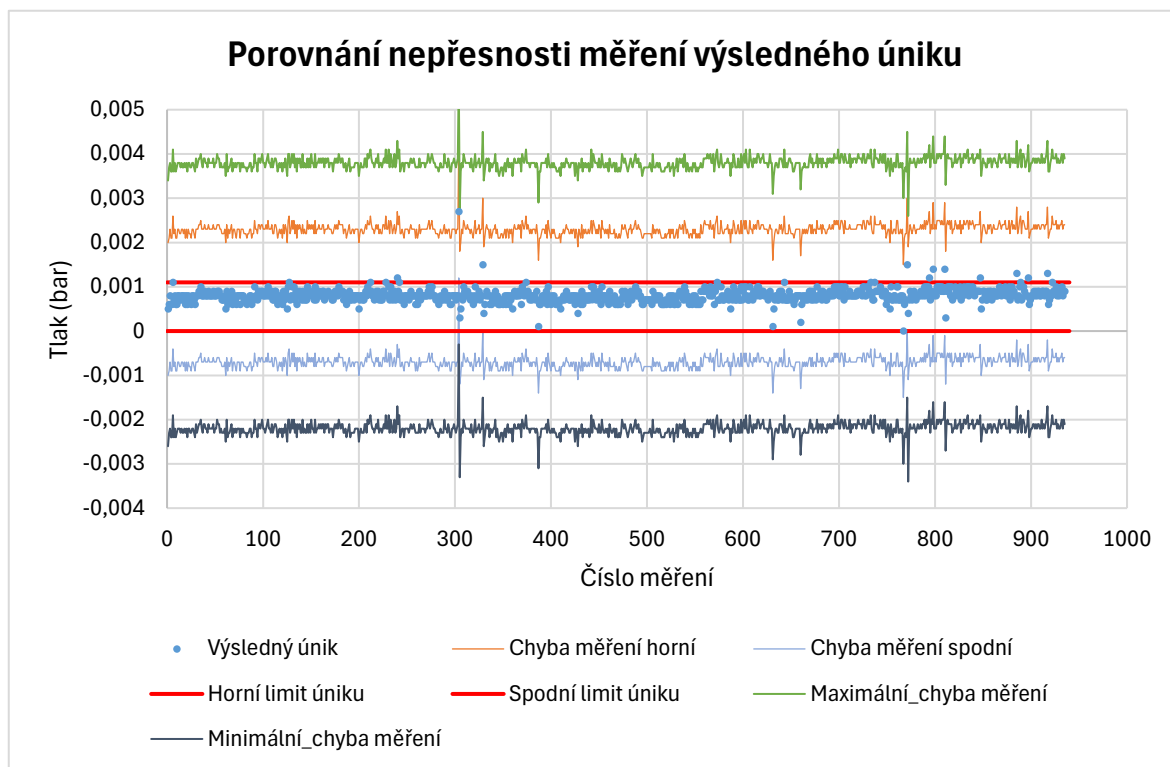
(zdroj: vlastní)

Pokud se však hodnoty z obou grafů od sebe vzájemně odečtou (Obrázek 13, str. 73), lze vidět zásadní změnu vůči předchozím grafům. Již na první pohled je patrné, že toleranční rozpětí stanovené kontrolním plánem, znázorněné červenými čarami, je výrazně užší, než je nepřesnost měření.

Zelená čára znázorňuje maximální nepřesnost měření, která byla vypočítána jako rozdíl mezi počátečním tlakem navýšeným o maximální odchylku nepřesnosti měření a konečným tlakem sníženým o tuto odchylku nepřesnosti měření. Naopak černá čára zobrazuje minimální nepřesnost měření, která byla dopočítána odečtením počátečního tlaku sníženého o maximální odchylku nepřesnosti měření a konečného tlaku navýšenou o maximální odchylku nepřesnosti měření.

Červené čáry v grafu vymezují toleranční rozpětí definované kontrolním plánem, které je stanoveno od 0 do 0,0011 barů. Jak již bylo zmíněno, z analýzy je patrné, že toto toleranční rozpětí je výrazně užší v porovnání s maximálním možným rozpětím nepřesnosti měření. Na základě této skutečnosti nelze považovat naměřené výsledné hodnoty za validní, jelikož rozptyl měření může být širší, než jsou vyžadované tolerance.

Modrá čára znázorňuje výslednou hodnotu, ke které byla odečtena nepřesnost měření 0,05 % FS 0-3,0 bary. Oranžová čára znázorňuje výslednou hodnotu, ke které byla přičtena nepřesnost měření 0,05 % FS 0-3,0 bary. Rovněž i u těchto nepřesností měření lze vidět, že jsou mimo toleranční rozpětí.



Obrázek 13 Nepřesnost měření výsledného úniku

(zdroj: vlastní)

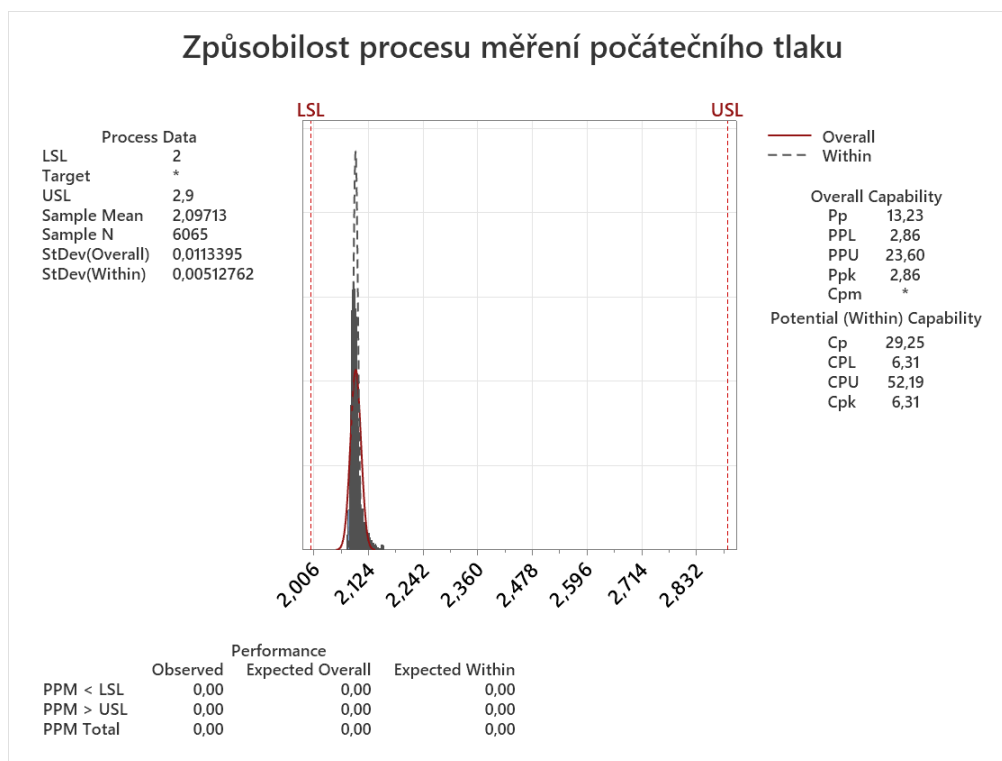
V souvislosti s metodikou DMAIC by tato data nebylo možné použít, jelikož nesplňují požadována kritéria pro jejich spolehlivost. Pro získání validních výsledků by bylo nutné rozšířit toleranční rozpětí, použít tlakový převodník s nižší nepřesností měření nebo s nižším rozsahem měření nebo použít zcela jiný způsob měření úniku tlaku. Vzhledem k tomu, že žádná z těchto možností není realizovatelná v krátkém časovém období, je nezbytné pracovat s aktuálně dostupnými daty, ačkoli jejich spolehlivost není plně zaručena.

9.5 Ověření variability vstupních dat

Analýza variability vstupních dat byla provedena pomocí softwaru Minitab 22 a znázorňuje rozložení naměřených dat procesu testování těsnosti. Grafy zobrazují distribuci naměřených dat ve vztahu k tolerančním mezím, které jsou znázorněny svislými červenými přerušovanými čarami a jsou definovány v kontrolním plánu.

Dolní specifikační limit LSL a horní specifikační limit USL představují mezní hodnoty, mezi kterými by se měly pohybovat výsledky měření. Černá křivka znázorňuje krátkodobou variabilitu procesu za předpokladu, že proces je stabilní a není ovlivňován externími faktory, jako jsou změny operátorů, směn a teplotních podmínek. Tato křivka zobrazuje rozložení dat procesu za ideálních podmínek. Červená křivka představuje celkovou variabilitu procesu v delším časovém horizontu a zahrnuje vlivy vnějších faktorů, například změny operátorů, směn či kolísání teploty ve výrobní hale. Zobrazuje tedy rozložení dat procesu v reálných podmínkách výroby.

Na obrázku (Obrázek 14) je zobrazen graf způsobilosti procesu měření počátečního tlaku. Histogram naměřených hodnot je velice úzký, což značí malou variabilitu procesu. Zároveň je patrné, že naměřené hodnoty se nacházejí v blízkosti dolní specifikační hodnoty ($LSL = 2,0$ bary). To je důsledkem nastavení počátečního tlaku při testování těsnosti. Index způsobilosti procesu $C_p = 29,25$ značí extrémně vysokou způsobilost procesu a hodnota indexu způsobilosti $C_{pk} = 6,31$ potvrzuje, že proces je stabilní a variabilita je minimální.



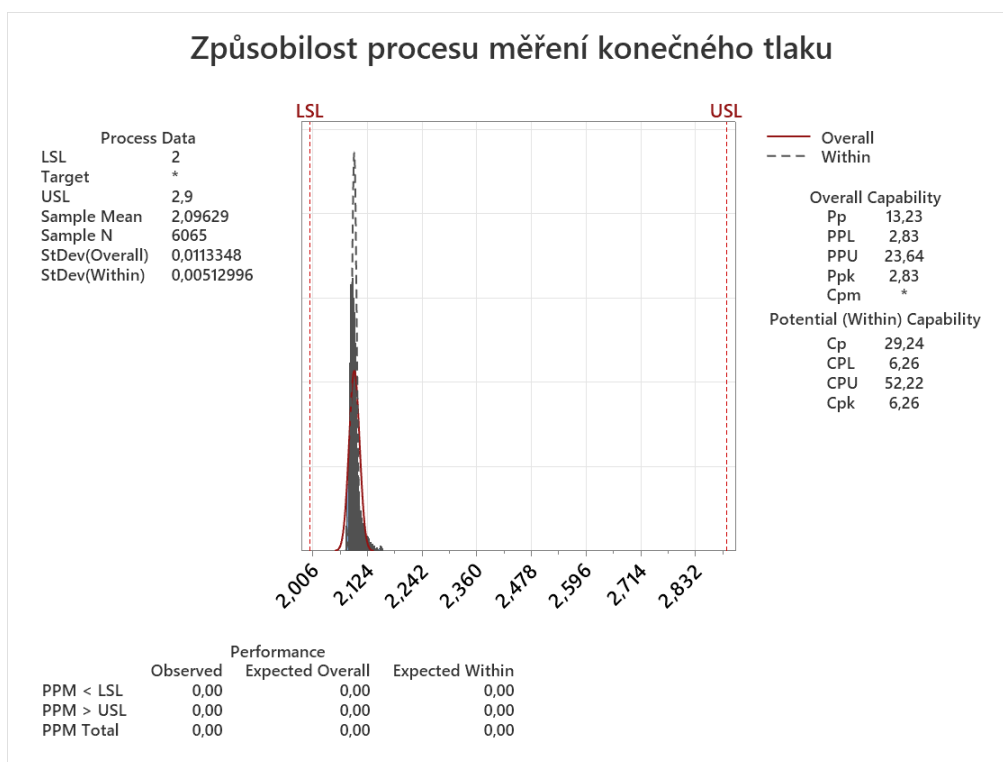
Obrázek 14 Graf způsobilosti procesu počátečního tlaku

(zdroj: vlastní)

Graf na obrázku (Obrázek 15, str. 75) znázorňuje analýzu způsobilosti procesu měření konečného tlaku. Podobně jako u počátečního tlaku lze pozorovat, že histogram naměřených

hodnot je velmi úzký, což svědčí o nízké variabilitě procesu. Naměřené hodnoty, stejně jako u počátečního tlaku, se nacházejí v blízkosti dolního specifikačního limitu $LSL = 2,0$ bary.

Index způsobilosti procesu $C_p = 29,24$ potvrzuje vysokou schopnost procesu a index způsobilosti procesu $C_{pk} = 6,26$ naznačuje, že proces je vysoce přesný a stabilní s minimální variabilitou.



Obrázek 15 Graf způsobilosti procesu konečného tlaku

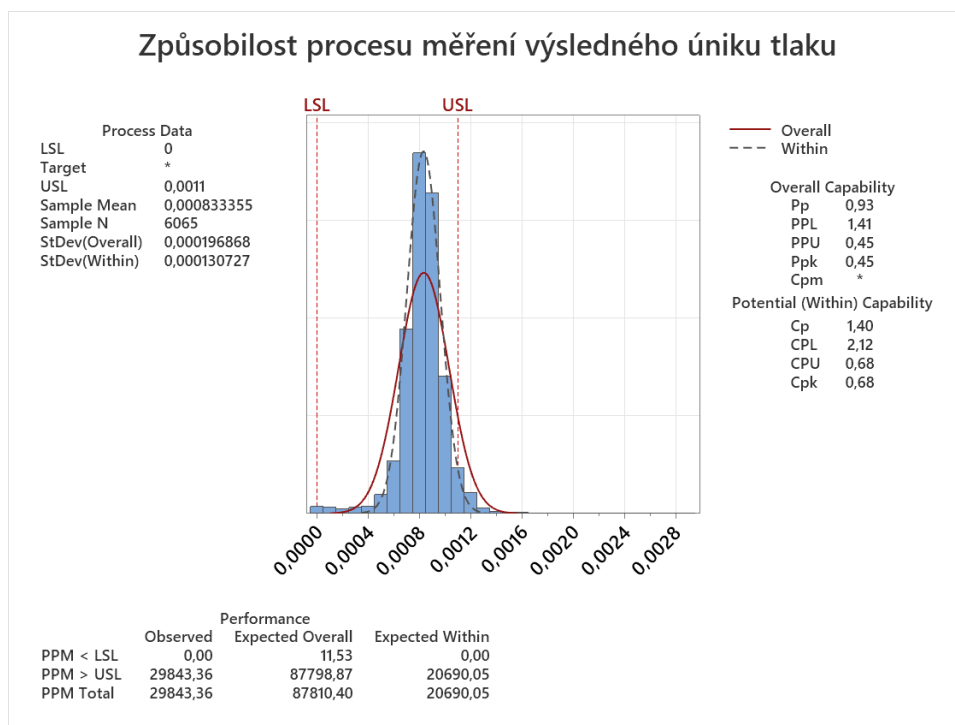
(zdroj: vlastní)

Graf na obrázku (Obrázek 16, str. 76) znázorňuje analýzu variability výsledného úniku. Na první pohled je patrné, že černá křivka v grafu je užší a strmější ve srovnání s červenou křivkou, což naznačuje, že krátkodobá variabilita procesu testování těsnosti je nižší. Zároveň se černá křivka nachází v mezích procesu vymezených dolním specifikačním limitem ($LSL = 0,0000$ barů) a horním specifikačním limitem ($USL = 0,0011$ barů).

Červená křivka je v porovnání s černou křivkou širší a méně strmá, což značí, že z dlouhodobého hlediska výsledné úniky z procesu testování těsnosti mají výrazně větší rozptyl naměřených hodnot než z krátkodobého hlediska. Šířka červené křivky naznačuje, že dlouhodobě dochází k významné variabilitě výsledných úniků z procesu testování těsnosti a k významným odchylkám od požadovaných tolerančních mezí, což vede k nevyhovujícím výsledkům testování těsnosti a tedy k NG kusům. Pokud by byla

způsobilost výsledného úniku procesu testování těsnosti posuzována pouze na základě krátkodobé variability, která je zobrazena pomocí černé křivky, dalo by se výsledky procesu testování těsnosti považovat jako stabilní a přesné.

Index způsobilosti procesu $C_p = 1,40$ ukazuje, že toleranční pásmo je 1,4krát širší než 6σ rozptyl procesu. To znamená, že proces má potenciál být způsobilý a naznačuje relativně nízkou variabilitu. Problém však nastává u nízké hodnoty indexu způsobilosti $C_{pk} = 0,68$. To značí, že proces není správně nastaven, což může vést k produkci významného procenta nevyhovujících NG kusů, které budou vyžadovat retesty nebo opravy na reworku. Proces je vychýlen směrem k hornímu specifikačnímu limitu (USL) a mnoho hodnot se k němu přibližuje nebo jej dokonce překračuje. To vede k nespolehlivosti a nezpůsobilosti procesu testování úniku. Aby bylo možné proces považovat za způsobilý, hodnota obou indexů způsobilosti by musela dosahovat alespoň hodnoty 1,33. Na základě této analýzy lze předpokládat výskyt přibližně 87 810 špatných testů z 1 milionu provedených testů.



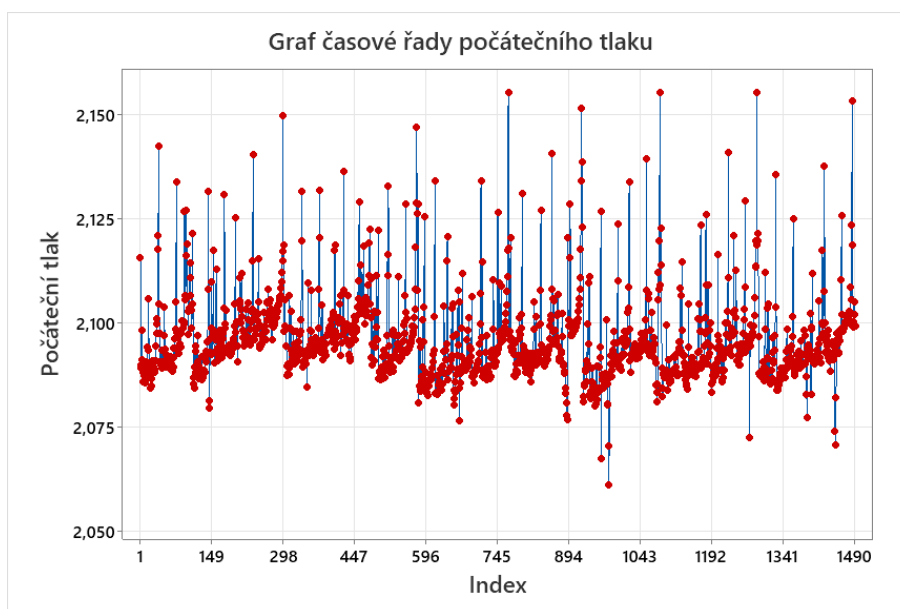
Obrázek 16 Graf způsobilosti procesu výsledného úniku tlaku

(zdroj: vlastní)

Graf časové řady (Obrázek 17, str. 77) znázorňuje vývoj naměřených hodnot počátečního tlaku v čase. Na ose X jsou zobrazeny testované bateriové systémy v chronologickém pořadí, zatímco na ose Y jsou zaznamenávány naměřené hodnoty

počátečního tlaku. Na první pohled je patrný mírně rostoucí trend, který naznačuje postupnou změnu počátečního tlaku během výrobního procesu. Bylo identifikováno, že tento trend odpovídá jednotlivým výrobním dnům. Bylo zjištěno, že během denní a odpolední směny dochází k postupnému růstu počátečního tlaku testování, zatímco po noční nevýrobní směně klesá zpět na hodnotu přibližně 2,085 barů. Příčinou tohoto jevu je zvýšení okolní teploty ve výrobní hale v průběhu dne a také postupný nárůst teploty vzduchu v rozvodovém systému vzduchu.

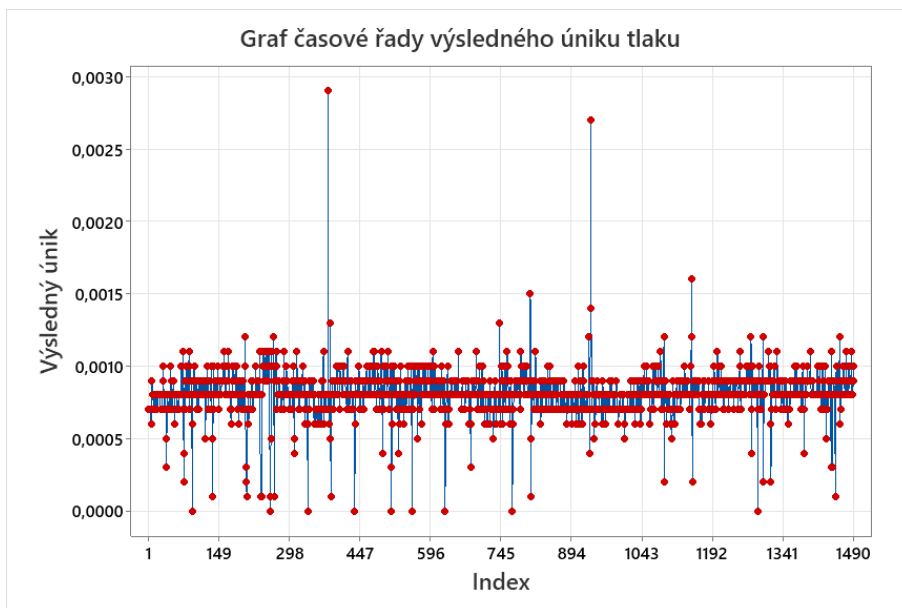
Podobný vývoj trendů lze pozorovat také u konečného tlaku měření. Graf časové řady konečného tlaku je v příloze I.



Obrázek 17 Graf časové řady počátečního tlaku

(zdroj: vlastní)

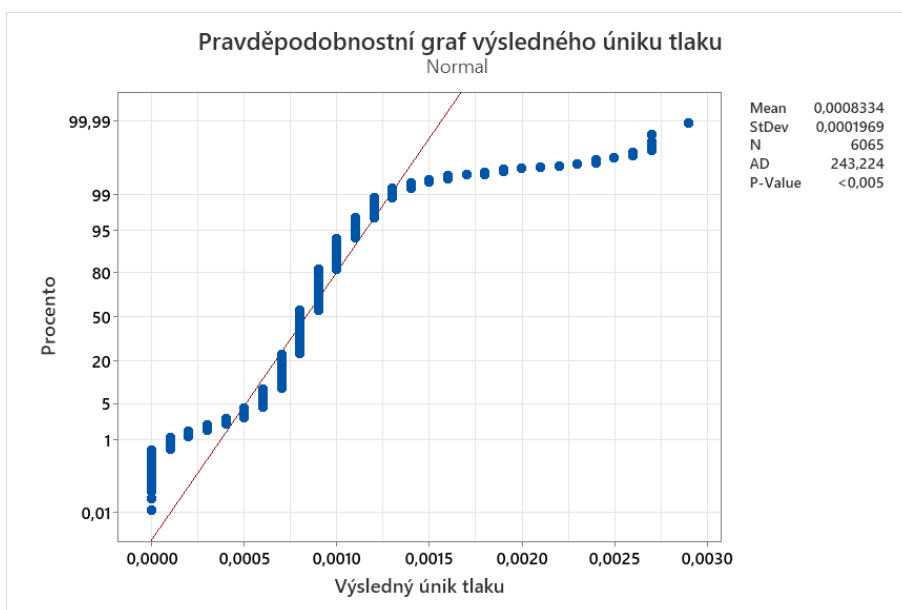
Následující graf časové řady hodnot výsledného úniku tlaku (Obrázek 18, str. 78) zobrazuje na ose Y jednotlivá měření a na ose X hodnoty výsledného úniku tlaku. Červené body představují naměřené hodnoty úniku tlaku, zatímco modré čáry je spojují a ukazují trend v čase. Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty jsou relativně stabilní a vykazují nízkou variabilitu s výjimkou několika bodů s vyššími naměřenými hodnotami, které přesahují povolený limit úniku tlaku 0,0011 barů.



Obrázek 18 Graf časové řady výsledného úniku tlaku

(zdroj: vlastní)

Pravděpodobnostní graf rozdělení hodnot výsledného úniku tlaku (Obrázek 19) je použit pro ověření, zda je rozdělení dat normální. Na vodorovné ose X jsou zobrazeny naměřené hodnoty úniku tlaku, zatímco svislá osa Y představuje procentuální pravděpodobnost od 0,01 % do 99,9 %. Modré body reprezentují naměřené hodnoty výsledného úniku a červená přímka ukazuje očekávané normální rozdělení.



Obrázek 19 Pravděpodobnostní graf výsledného úniku tlaku

(zdroj: vlastní)

Z grafu lze vyvodit, že data se významně odchyľují od normálního rozdělení. To znamená, že proces testování těsnosti může mít problém s výsledky testování, které nejsou stabilní a vyskytují se zde odchylky.

9.6 Souhrnné zhodnocení výsledků fáze měření

Ve fázi měření byl nejprve vytvořen vzorník příčin na základě vstupních dat. Pomocí Paretova diagramu a výsečového grafu bylo zjištěno, že nejčastější příčinou NG výsledků testování je falešný NG chladicího systému, který způsobuje 38 % NG výsledků. Následovala chybně připojená plnicí pistole s 11 % a třetí nejčastější příčinou je špatně zasunutý konektor s podílem 9 % NG výsledků testování. Tyto tři příčiny způsobují dohromady 58 % NG výsledků testování.

Následně byla provedena analýza validity vstupních dat. Pomocí regulačního diagramu bylo zjištěno, že naměřené hodnoty počátečního i konečného tlaku, i s nepřesností měření tlakového převodníku 0,05 % FS, se pohybují v tolerančních mezích. Naopak u výsledného úniku tlaku bylo zjištěno, že nepřesnost měření je větší než stanovené toleranční meze. Tyto hodnoty nelze považovat za validní.

Poté byla ověřena variabilita výsledků měření. Pomocí grafu způsobilosti procesu bylo zjištěno, že naměřené hodnoty počátečního i konečného tlaku mají nízkou variabilitu a nacházejí se v blízkosti dolního specifikačního limitu $LSL = 2,0$ bary, což je způsobeno nastavením vstupního tlaku. U počátečního i konečného naměřeného tlaku index způsobilosti procesu C_p potvrzuje vysokou schopnost procesu, a index způsobilosti procesu C_{pk} naznačuje, že proces je vysoce přesný a stabilní s minimální variabilitou. Naopak u výsledného úniku tlaku ukazuje index způsobilosti procesu $C_p = 1,40$, že proces má potenciál být způsobilý a naznačuje relativně nízkou variabilitu. Nízká hodnota indexu způsobilosti $C_{pk} = 0,68$, však značí, že proces není správně nastaven, je vychýlen směrem k hornímu specifikačnímu limitu (USL) a mnoho hodnot se k němu přibližuje nebo jej dokonce překračuje. To vede k nespolehlivosti a nezpůsobilosti procesu testování úniku.

Dále byla provedena analýza počátečního a konečného tlaku pomocí grafu časové řady, který znázorňuje vývoj naměřených hodnot tlaku v čase. Bylo zjištěno, že během denní a odpolední směny dochází k postupnému růstu počátečního tlaku testování, a po noční výrobní směně klesá zpět na původní hodnotu.

Bylo také zjištěno, že na základě analýzy pravděpodobnostního grafu se data výsledného úniku tlaku významně odchyľují od normálního rozdělení. To naznačuje, že proces testování těsnosti může vykazovat nestabilitu. To se projevuje odchylkami ve výsledcích testování.

9.7 Kontrolní bod fáze Měření

Z tabulky 11 je patrné, že odpověď na všechny kontrolní otázky není Ano. V jednom případě se vyskytla odpověď Ne. Na základě metodiky DMAIC není možné pokračovat ve fázi analyzování, a projekt by měl být vrácen k nezbytným změnám, aby měření mohlo být validní. Vzhledem k tomu, že se jedná o velkou nadnárodní korporaci, u které musí všechny klíčové úpravy projít zdoluhavým schvalovacím procesem, nebylo by možné pokračovat v projektu. S ohledem na tuto skutečnost, že během krátké doby není možné přenastavit parametry měření, bylo rozhodnuto pokračovat navzdory této okolnosti. V současné době změna nastavení parametrů měření není řešena, nicméně z dlouhodobého hlediska je cílem provést změny v nastavení měřicího systému tak, aby měření bylo validní.

Tabulka 11 Kontrolní list fáze Měření

Kontrolní list fáze Měření	Ano	Ne
Vyjasnit, zda shromážděná data souvisejí s problémem?	Ano	
Jsou data použitelná?	Ano	
Jsou měřicí systémy spolehlivé?		Ne
Je k dispozici dostatečné množství dat k analýze?	Ano	
Je proces dostatečně objasněn?	Ano	
Je zkontrolována stabilita procesu?	Ano	
Je problém stále platný?	Ano	

(zdroj: vlastní)

10 FÁZE ANALYZOVÁNÍ

Ve fázi analyzování je nejprve vytvořen Ishikawa diagram, který pomůže identifikovat hlavní příčiny NG výsledků. Na základě tohoto diagramu jsou určeny hlavní parametry, které jsou dále analyzovány.

Prvním krokem je analýza vlivu změny okolní teploty, která je provedena pomocí uměle vyvolaných změn okolních podmínek v průběhu procesu testování. Následuje analýza vlivu teploty materiálu, která je provedena změnou teploty trubek za účelem posouzení tohoto účinku na výsledky měření.

Další analýza je zaměřena na vliv změny času stabilizace prostřednictvím přenastavení daných parametrů v PLC. Následuje testování vlivu času mezi jednotlivými testy a na závěr je proveden DOE experiment s pěti faktory, jehož cílem je zjistit vhodné nastavení parametrů. Dále je analyzována závislost počtu retestů na dosažení OK výsledku.

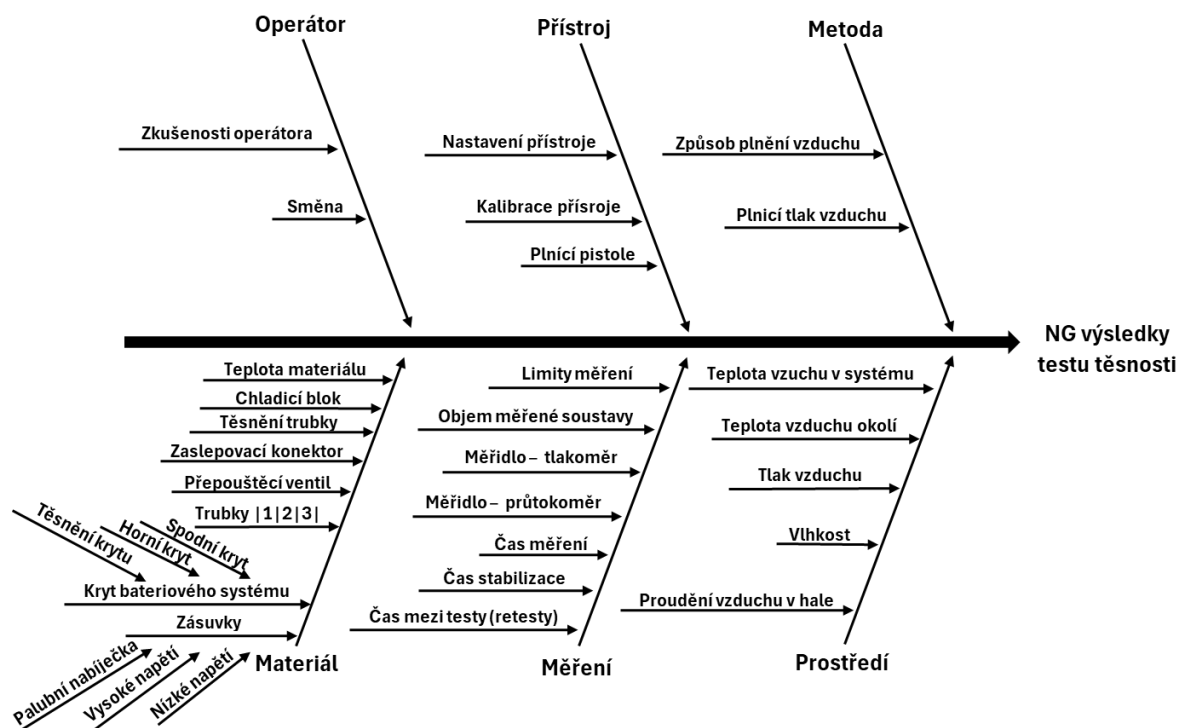
Na závěr této fáze je definován kontrolní bod, který sumarizuje dosažené výstupy a klíčová zjištění.

10.1 Ishikawa Diagram

Prvním krokem ve fázi analyzování bylo vytvoření Ishikawa diagramu (Obrázek 20, str. 82). V diagramu jsou zachyceny všechny možné příčiny, které mohou nějakým způsobem proces testování ovlivňovat a působit na NG výsledky testů těsnosti. Diagram byl vytvořen celým týmem pomocí brainstormingu. Na závěr byly týmem vybrány čtyři příčiny, které by mohly nejvýrazněji ovlivňovat výsledky testování. Tyto příčiny jsou dále analyzovány a testovány.

Čtyři hlavní příčiny, které mohou významně ovlivnit proces testování:

- Teplota materiálu – vliv teploty materiálu
- Okolní teplota – vliv změny okolní teploty v průběhu testování
- Čas mezi testy – vliv časového rozmezí mezi testy
- Čas stabilizace – vliv délky stabilizace



Obrázek 20 Ishikawa diagram

(zdroj: vlastní)

10.2 Analýza vlivu změny okolní teploty

Na základě Ishikawa diagramu bylo vybráno několik příčin, které by mohly přímo a výrazně ovlivňovat výsledky testů těsnosti. Jedním z nich byl vliv změny okolní teploty v průběhu testování. Cílem tohoto pokusu bylo zjistit, zda změna okolní teploty má skutečně vliv na výsledky testování.

Průběh pokusu probíhal následovně. Náhodně bylo vybráno 5 bateriových systémů v různou denní dobu, na kterých pokus probíhal. Pro eliminaci plýtvání z důvodu čekání kvůli experimentu byly testy prováděny vždy v nevýrobních směnách nebo během obědové pauzy operátorů, aby bylo možné pokus uskutečnit bez omezení výroby na výrobní lince. Po provedení všech úkonů team leaderem nebo operátorem byl nejprve bateriový systém otestován standartním způsobem, pro ověření, zda splňuje požadavky těsnosti. Po ukončení testu byl bateriový systém znovu testován a při tomto testování byl proveden experiment. Po spuštění testu byla následně otevřena vrata pro zásobování a dveře, které jsou určeny pro nouzový únik. Tímto došlo k vytvoření průvanu studeného vzduchu, který na testovaný bateriový systém působil. Venkovní teplota vzduchu se pohybovala přibližně kolem $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po provedení experimentu byly zásobovací vrata i dveře zavřeny a pro kontrolu byl proveden

ještě jeden test bateriového systému. Výsledky z testování jsou zaznamenány v následující tabulce 12.

Tabulka 12 Záznam vlivu snížení okolní teploty na výsledky testování

Baterie	Čas testování	Kontrolní měření	Počáteční teplota trubek (°C)	Snížení okolní teploty	Konečná teplota trubek (°C)	Kontrolní měření
č.1	10:45:03	0,0005	20,1	0,0014	18,5	0,0006
č.2	11:10:05	0,0009	20,0	0,0012	18,9	0,0005
č.3	14:32:08	0,0004	19,9	0,0017	18,2	0,0009
č.4	14:50:35	0,001	20,1	0,0015	18,5	0,0007
č.5	8:15:52	0,0006	19,9	0,0014	18,6	0,0002

(zdroj: vlastní)

Z tabulky je zřejmé, že výsledný únik při experimentu byl způsoben změnou okolních podmínek. Během testování se trubky v průměru ochladily o 1,5 °C, což způsobilo, že výsledky tohoto experimentu byly nad maximálním možným únikem tlaku 0,0011 barů. Výsledky, které překračují tento limit úniku, jsou zvýrazněny tučně. Na základě analýzy výsledků z testování lze konstatovat, že změna okolní teploty a podmínek v průběhu testování má vliv na výsledky testování.

Za předpokladu konstantního objemu chladicího systému bylo na základě následujícího výpočtu podle Boyleova zákona zjištěno, že maximální možné ochlazení celého chladicího systému je o 0,161 °C, aby byl výsledek testu OK (Tabulka 13). Při větším ochlazení dojde k vyššímu poklesu tlaku a výsledky testování vycházejí NG.

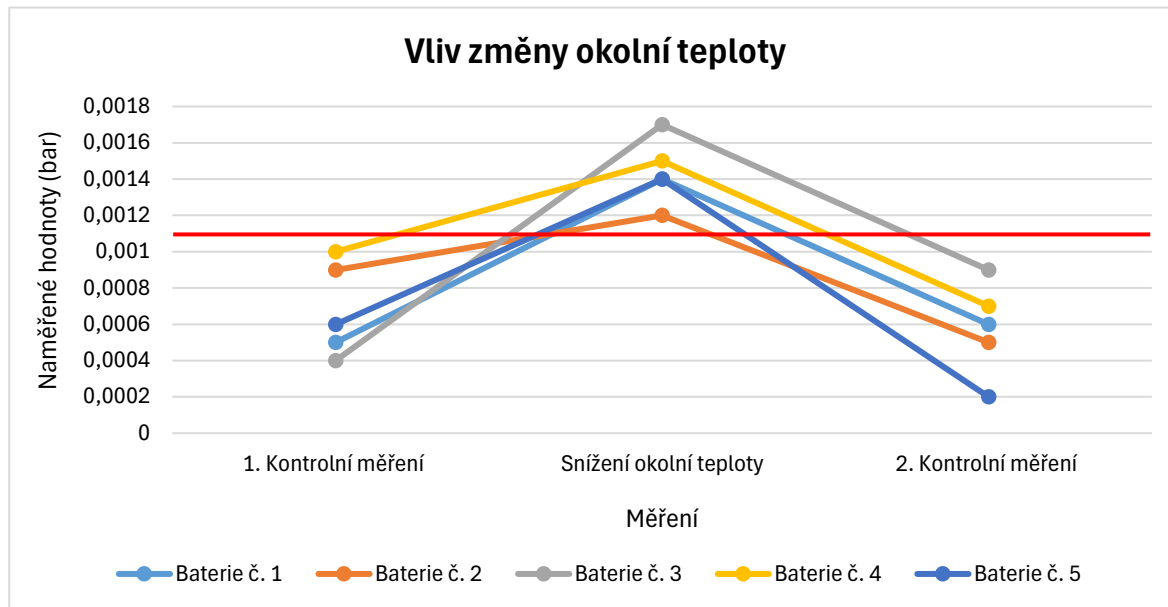
Tabulka 13 Výpočet možného ochlazení chladicího systému

$p/T = \text{konstantní}$	$p_1 = 200310 \text{ Pa}$
$p_1/T_1 = p_2/T_2$	$p_2 = 200200 \text{ Pa}$
$T_2 = ?$	$T_1 = 20 \text{ °C} = 293,15 \text{ K}$
$T = \frac{p_2}{p_1} \times T_1$	$T_2 = 292,9890 \text{ K}$
	$\Delta T = 0,1610 \text{ K} = 0,1610 \text{ °C}$

(zdroj: vlastní)

Následující graf (Obrázek 21, str. 84) znázorňuje průběh experimentu se změnou okolní teploty. Modrá, oranžová, šedá, žlutá a zelená čára představují jednotlivé bateriové systémy, na kterých byl experiment prováděn, a zobrazují výsledky měření úniku. Červená čára označuje maximální povolený limit úniku tlaku 0,0011 barů. Z grafu je patrné, že při

snížení okolní teploty v průběhu testování dochází k nárůstu výsledného úniku na chladicím systému, přičemž ve všech provedených experimentech výsledný únik vždy překročil povolený limit úniku tlaku.



Obrázek 21 Vliv snížení okolní teploty na výsledky testování

(zdroj: vlastní)

10.3 Analýza vlivu teploty materiálu

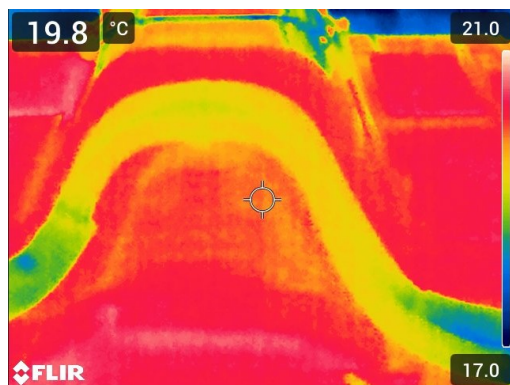
Další příčinou, která by mohla mít vliv na výsledky testování, je vliv teploty materiálu. Aby bylo možné tuto myšlenku potvrdit či vyvrátit, byl proveden následující pokus. Náhodně bylo vybráno 6 bateriových systémů, na kterých byl testován vliv změny teploty trubek, které jsou součástí chladicího systému. Celý experiment byl měřen pomocí termo kamery. Trubky chladicí soustavy byly ochlazeny nebo ohřáty, vždy na různé teploty. Poté byly namontovány na bateriový systém, který byl následně otestován. Výsledky jednotlivých testů experimentů jsou zobrazeny v následující tabulce 14 (str. 85). Na obrázku (Obrázek 22, str. 86) zachyceném termokamerou lze vidět experiment prováděný s trubicí, která byla ochlazená přibližně o 3,5 °C vůči okolnímu prostředí.

Tabulka 14 Záznam měření teplotního rozdílu trubek a okolí

	Teplota okolí (°C)	20				
Baterie	Teplota trubky (°C)	Rozdíl trubky a okolí (°C)	Poč. tlak (bar)	Kon. tlak (bar)	Výsledek (bar)	
					Dle stanice	Dle výpočtu
1	18,0	-2,0	2,0128	2,0125	0,0003	0,0003
2	16,6	-3,4	2,0133	2,0135	0,0003	-0,0002
3	16,0	-4,0	2,0131	2,0134	0,0004	-0,0003
4	13,3	-6,7	2,0180	2,0192	0,0013	-0,0012
5	16,1	-3,9	2,0107	2,0112	0,0005	-0,0005
6	23,8	3,8	2,0135	2,0112	0,0023	0,0023
Ø z 580 baterií	20	0				0,0008

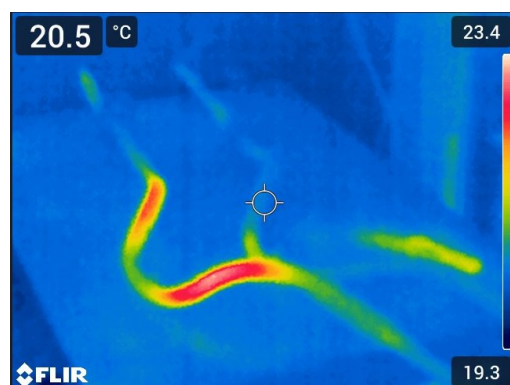
(zdroj: vlastní)

Ve zjednodušené tabulce 14 je zaznamenán průběh jednotlivých měření. Plná verze této tabulky je uvedena v příloze II. Z tabulky je zřejmé, že dva výsledky provedených testů jsou zvýrazněny tučně, jelikož měly vysoký únik a byly vyhodnoceny jako NG. Na základě výsledků tohoto experimentu bylo zjištěno, že výsledky z měření těsnosti jsou do systému MES zapisovány v absolutních hodnotách. To vysvětluje, proč je v kontrolním plánu uvedeno toleranční rozpětí 0,00-0,0011 barů. Tuto skutečnost je potřeba upravit. Také bylo na základě monitorování termo kamerou zjištěno, že chladné trubky velice rychle absorbují okolní teplo. To potvrdilo, že délka manipulace operátora s trubkami má vliv na výsledky testování těsnosti. Na obrázku (Obrázek 23, str. 86) zachyceném pomocí termokamery je vidět zahřátá trubka vlivem manipulace operátora. Lze zcela jasně pozorovat místa držení při manipulaci operátorem, která způsobila oteplení trubky v těchto místech přibližně o 2,5 °C v porovnání s okolní teplotou.



Obrázek 22 Testování zchlazených trubek

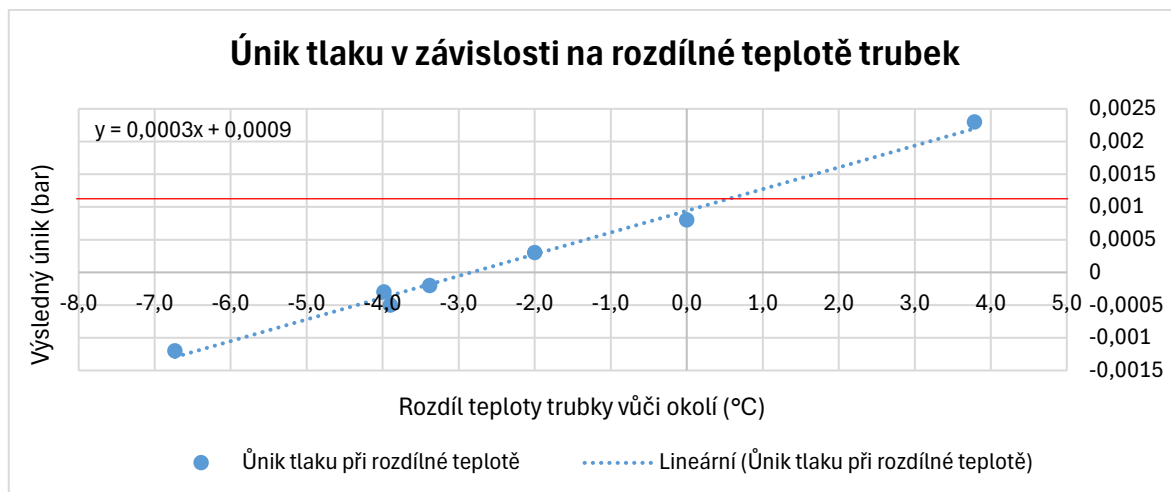
(zdroj: vlastní)



Obrázek 23 Oteplení trubky vlivem manipulace operátora

(zdroj: vlastní)

V následujícím grafu (Obrázek 24, str. 87) je znázorněn vliv rozdílu teploty trubek vůči okolí. Z grafu lze vidět lineární průběh spojnice trendu jednotlivých výsledků měření. Na základě tohoto experimentu bylo zjištěno, že optimálních výsledků je dosaženo, pokud jsou trubky ochlazeny přibližně o 2–4 °C. Naopak, když trubky byly podchlazené o více než 6,3 °C, nárůst tlaku byl významný a výsledek testu již neprošel, byl vyhodnocen jako NG. Naopak při zahřátí trubek, které simulovalo zahřívání trubek operátorem při montáži, bylo potvrzeno, že trubky se v průběhu testu rychle ochlazují a tlak uvnitř chladicího systému tedy klesá. To má za následek falešné NG výsledky testů. Na základě rovnice spojnice trendu lze konstatovat, že oteplení trubky o 1 °C má za následek zvýšení úniku o 0,0003 bary.

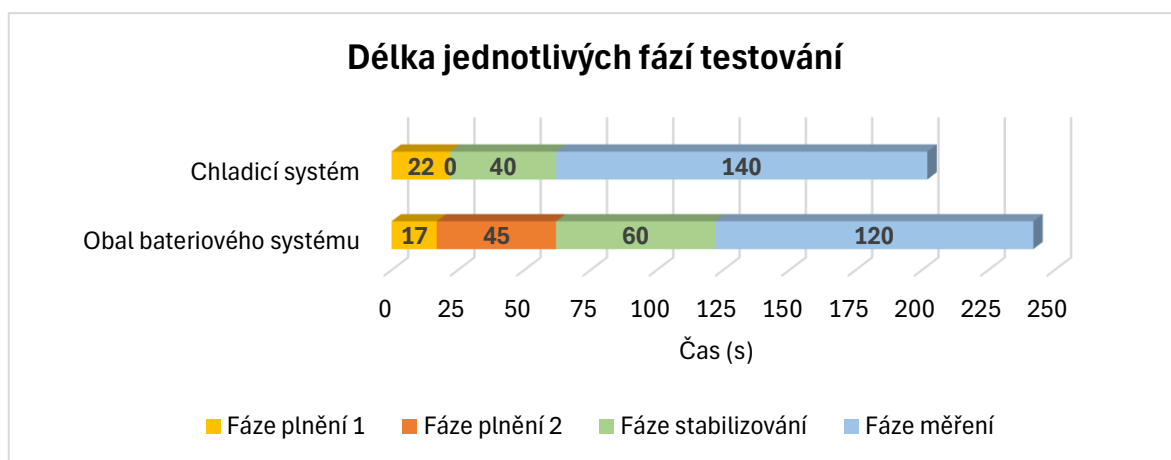


Obrázek 24 Únik tlaku v závislosti na rozdílné teplotě trubek

(zdroj: vlastní)

10.4 Analýza změny času stabilizace

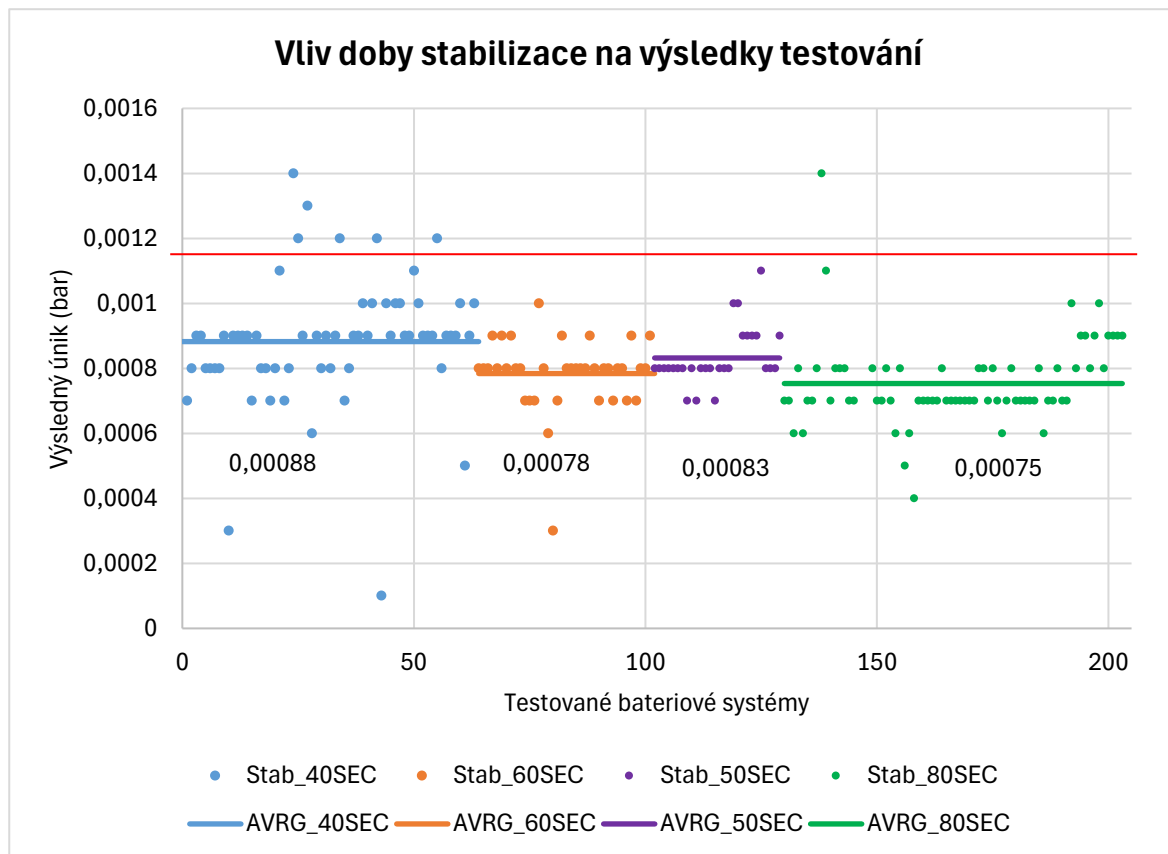
Analýzou délky jednotlivých fází testování (Obrázek 25) bylo zjištěno, že test chladicího systému je o 40 sekund kratší než test obalu bateriového systému. Na základě této skutečnosti bylo rozhodnuto o experimentu s úpravou doby stabilizace a zároveň nebyla ovlivněna celková doba testování. Po konzultaci s oddělením kvality bylo schváleno experimentování s úpravou délky stabilizační fáze. Jelikož změna doby fáze stabilizování není nikde specifikována požadavky zákazníka a zároveň nemá vliv na ovlivnění kvality testování, je možné s délkou této fáze manipulovat. Zároveň musí být dodržena podmínka, která je stanovena kontrolním plánem, že počáteční i konečný tlak testování nesmí poklesnout pod hodnotu 2,00 bary.



Obrázek 25 Délka jednotlivých fází testování

(zdroj: vlastní)

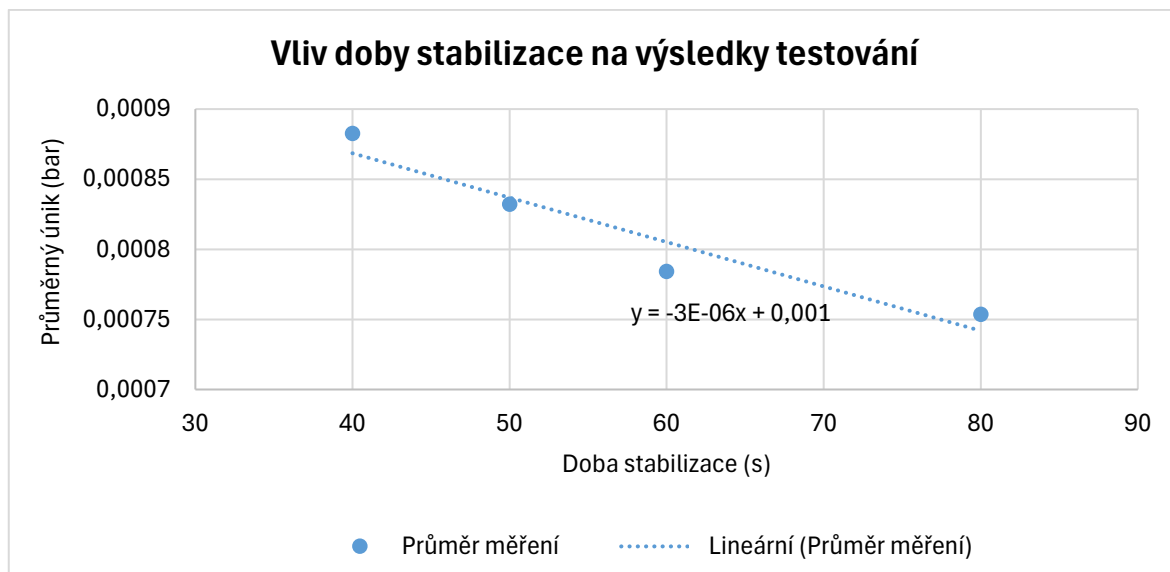
V následujícím grafu (Obrázek 26) je znázorněn vliv doby stabilizace na výsledky testování. Jednotlivé body v grafu představují naměřené hodnoty při různých dobách stabilizace 40, 50, 60 a 80 sekund. Z grafu je zřejmé, že nejhorších výsledků testování bylo dosaženo při době stabilizace 40 sekund, kdy průměrný únik tlaku byl 0,00088 barů. Naopak při času stabilizace 80 sekund bylo dosaženo nejlepších výsledků testování a průměr úniku tlaku byl 0,00075 barů.



Obrázek 26 Vliv doby stabilizace na výsledky testování

(zdroj: vlastní)

Následující graf (Obrázek 27, str. 89) zobrazuje závislost doby stabilizace na průměrném úniku tlaku. Na vodorovné ose je zobrazena doba stabilizace, na svislé ose je zobrazen průměrný únik. Lineární spojnice trendu je znázorněna rovnicí, kde y je výsledný únik a x je doba stabilizace. Spojnice trendu ukazuje vztah mezi dobou stabilizace a výsledným únikem. Na základě této rovnice, prodloužení doby stabilizace o 1 sekundu sníží v průměru výsledný únik o 0,000003 barů. Lze tedy konstatovat, že čím delší je doba stabilizace, tím menší je výsledný únik tlaku.



Obrázek 27 Vliv doby stabilizace na výsledky testování

(zdroj: vlastní)

10.5 Analýza vlivu času mezi jednotlivými testy

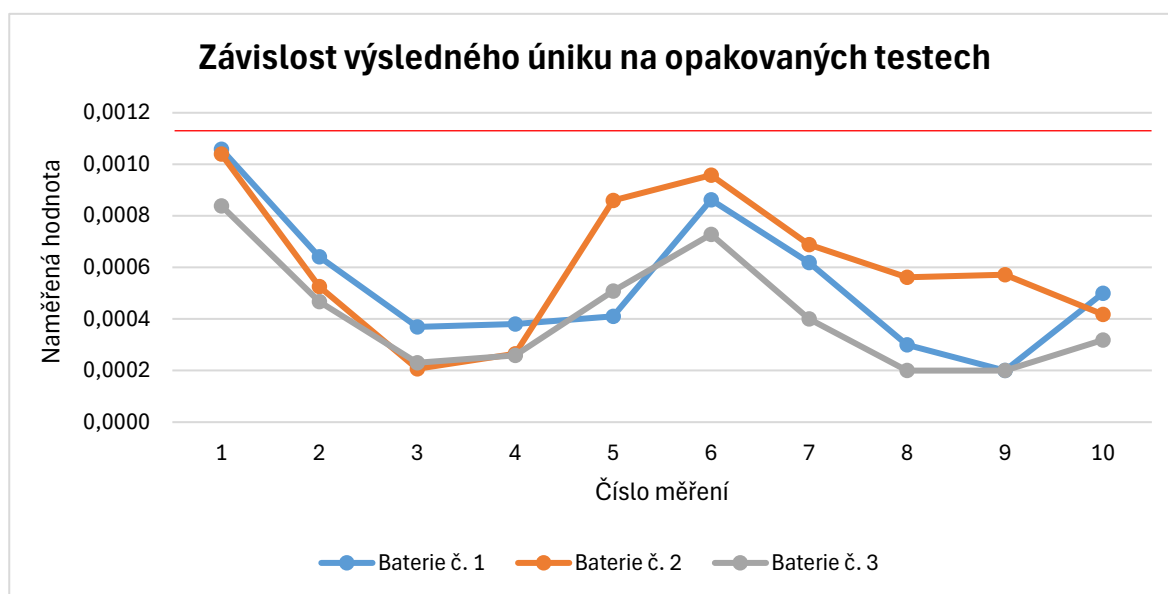
Cílem tohoto experimentu bylo zjistit vliv času mezi jednotlivými testy na výsledný únik tlaku v chladicím systému. V následující tabulce 15 jsou zobrazeny naměřené hodnoty provedeného experimentu, který byl z důvodu časové náročnosti uskutečněn na třech bateriových systémech. U každého bateriového systému bylo provedeno 5 po sobě jdoucích testů těsnosti, po kterých následovala přibližně čtyřhodinová pauza a poté bylo znovu provedeno pět po sobě jdoucích měření.

Tabulka 15 Záznam testování vlivu času mezi jednotlivými testy

Číslo měření	Baterie č. 1		Baterie č. 2		Baterie č. 3	
	Čas testování	Naměřená hodnota	Čas testování	Naměřená hodnota	Čas testování	Naměřená hodnota
1	10:55:23	0,0011	15:36:25	0,0010	13:45:54	0,0008
2	11:00:19	0,0006	15:41:17	0,0005	13:50:48	0,0005
3	11:04:19	0,0004	15:45:40	0,0002	13:54:59	0,0002
4	11:08:08	0,0004	15:49:56	0,0003	13:59:02	0,0003
5	11:12:03	0,0004	15:54:10	0,0009	14:03:07	0,0005
6	15:45:02	0,0009	19:35:12	0,0010	17:40:07	0,0007
7	15:48:50	0,0006	19:38:49	0,0007	17:43:49	0,0004
8	15:54:06	0,0003	19:43:50	0,0006	17:48:58	0,0002
9	15:59:03	0,0002	19:48:33	0,0006	17:53:48	0,0002
10	16:03:57	0,0005	19:53:13	0,0004	17:58:35	0,0003

(zdroj: vlastní)

Následující graf (Obrázek 28) zobrazuje vývoj úniku tlaku v pěti po sobě jdoucích testech. V první fázi experimentu lze v grafu vidět klesající trend úniku tlaku u prvních třech po sobě jdoucích měření. Poté u čtvrtého měření dochází ke stabilizaci či lehkému nárůstu úniku tlaku a u pátého měření lze vidět, že ve většině případů únik tlaku roste. Po čtyřhodinové pauze, tedy u šestého měření, lze vidět, že únik tlaku se vrátil téměř na původní hodnotu prvního měření. Poté je průběh testování podobný jako v první fázi experimentu. Na základě výsledků experimentu lze konstatovat, že opakovaná měření bezprostředně po sobě vedou ke zlepšení výsledků testování. Po určitém počtu měření však dochází k nárůstu úniku tlaku.



Obrázek 28 Vliv času mezi jednotlivými testy

(zdroj: vlastní)

10.6 DOE

Pro zlepšení procesu testování těsnosti bylo týmem odsouhlaseno provedení DOE experimentu. Pro tento experiment bylo zvoleno pět faktorů: doba stabilizace tlaku, testovací tlak, čas mezi montáží a testem, zaizolování měřicího převodníku a ofukování trubek před zahájením testu.

Nejprve byla vytvořena tabulka měření pomocí programu Minitab 22. Na základě této tabulky zobrazené na obrázku (Obrázek 29, str. 91) byla provedena jednotlivá měření experimentu. Tým rozhodl, že z důvodu časové náročnosti není možné experiment provádět na jednom bateriovém systému. Pro relevantnost měření bylo dané měření provedeno vždy

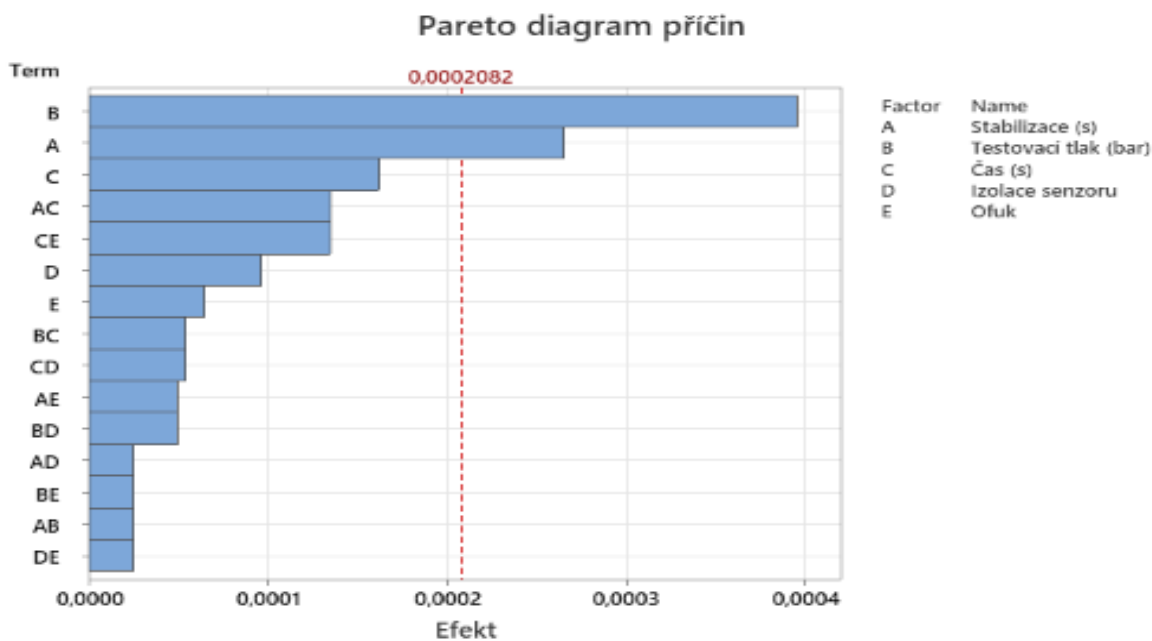
na třech po sobě jdoucích bateriových systémech. Z naměřených úniků tlaku byl udělán průměr výsledného úniku tlaku, se kterým bylo následně v experimentu počítáno.

*	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T	C9-T	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Stabilizace (s)	Testovací tlak (bar)	Čas (s)	Izolace senzoru	Ofuk	Únik (bar)
1	10	1	1	1	80	2,03	0 Ne	Ne		0,0005
2	12	2	1	1	80	2,90	0 Ne	Ano		0,0008
3	7	3	1	1	40	2,90	250 Ano	Ne		0,0008
4	2	4	1	1	80	2,03	0 Ano	Ano		0,0002
5	14	5	1	1	80	2,03	250 Ne	Ano		0,0004
6	13	6	1	1	40	2,03	250 Ne	Ne		0,0005
7	11	7	1	1	40	2,90	0 Ne	Ne		0,0014
8	15	8	1	1	40	2,90	250 Ne	Ano		0,0009
9	1	9	1	1	40	2,03	0 Ano	Ne		0,0008
10	5	10	1	1	40	2,03	250 Ano	Ano		0,0005
11	4	11	1	1	80	2,90	0 Ano	Ne		0,0007
12	3	12	1	1	40	2,90	0 Ano	Ano		0,0010
13	8	13	1	1	80	2,90	250 Ano	Ano		0,0007
14	6	14	1	1	80	2,03	250 Ano	Ne		0,0003
15	9	15	1	1	40	2,03	0 Ne	Ano		0,0006
16	16	16	1	1	80	2,90	250 Ne	Ne		0,0007

Obrázek 29 Data pro DOE experiment

(zdroj: vlastní)

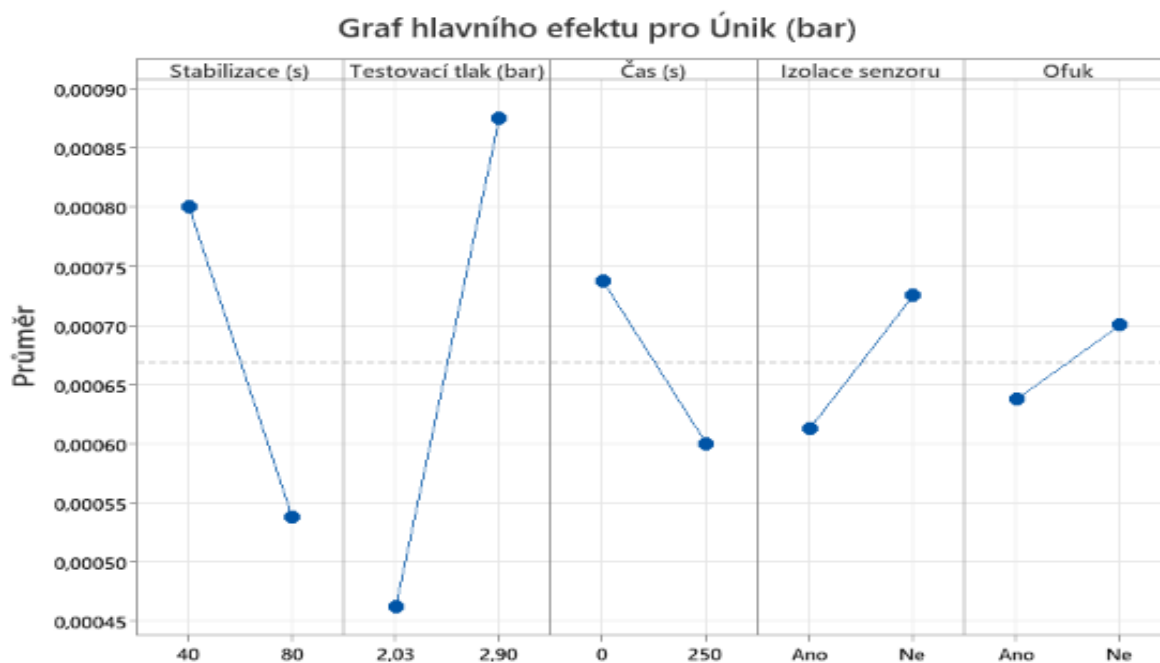
Na základě výsledků měření byl vytvořen Pareto diagram příčin (Obrázek 30, str. 92). Paretův diagram zobrazuje jednotlivé faktory a jejich kombinace. Softwarem Minitab 22 bylo určeno, že hodnoty faktorů, které přesahují hodnotu 0,0002082, jsou pro testování zásadní. Diagram zobrazuje, že největší dopad na výsledky testování má testovací tlak a doba stabilizace. Dalšími důležitými faktory jsou čas mezi montáží trubek a procesem testování, izolace senzoru a ofukování trubek. Přestože jejich vliv není zásadní, je důležité je zohlednit. Faktor času mezi montáží trubek a procesem testování nelze z důvodu výrobního procesu ovlivňovat. Do tohoto experimentu byl zařazen jen z důvodu informace o významnosti vlivu tohoto faktoru.



Obrázek 30 Pareto diagram příčin

(zdroj: vlastní)

Graf hlavního efektu pro únik tlaku (Obrázek 31) graficky znázorňuje výsledky Pareto diagramu.

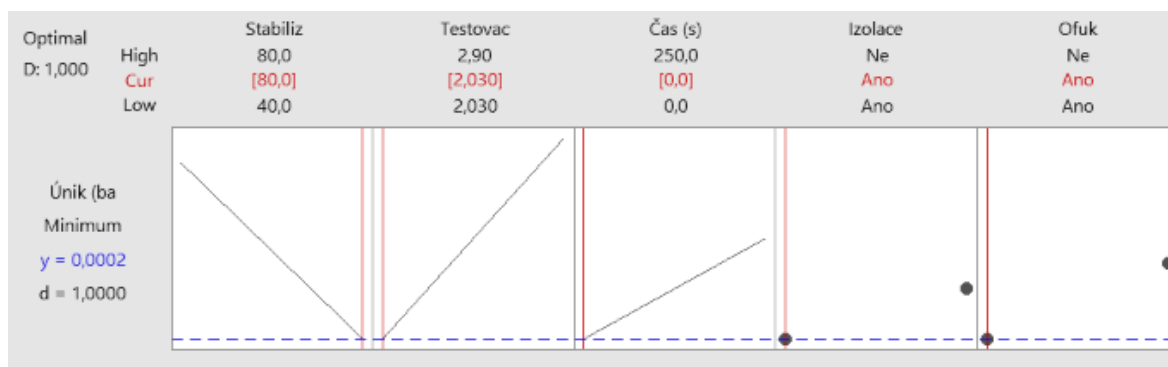


Obrázek 31 Graf hlavního efektu pro únik tlaku

(zdroj: vlastní)

Lze vidět významnost vlivu nastavení jednotlivých faktorů a jejich dopad na výsledky testování. Jak již bylo uvedeno výše, nejvýznamnější vliv na výsledky má testovací tlak, který při svém maximálním a minimálním nastavení může ovlivnit výsledný únik tlaku až o 0,0004 barů. Doba stabilizace, dle grafu, může ovlivnit výsledný únik tlaku až o 0,00026 barů v závislosti na jejím nastavení.

Graf optimalizace (Obrázek 32) zobrazuje, při jakém nastavení jednotlivých faktorů je dosaženo optimálních výsledků testování. Z grafu tedy vyplývá, že ideální doba stabilizace je 80 sekund, nastavení optimálního testovacího tlaku je na hodnotě 2,03 barů, což odpovídá současnému stavu nastavení, čas mezi montáží trubek a procesem testování je optimální, když je mezi nimi 0 sekund, a izolace měřicího senzoru a ofukování trubek by mělo být nainstalováno. Následující opatření jsou implementována ve fázi zlepšování.



Obrázek 32 Graf optimalizace jednotlivých faktorů

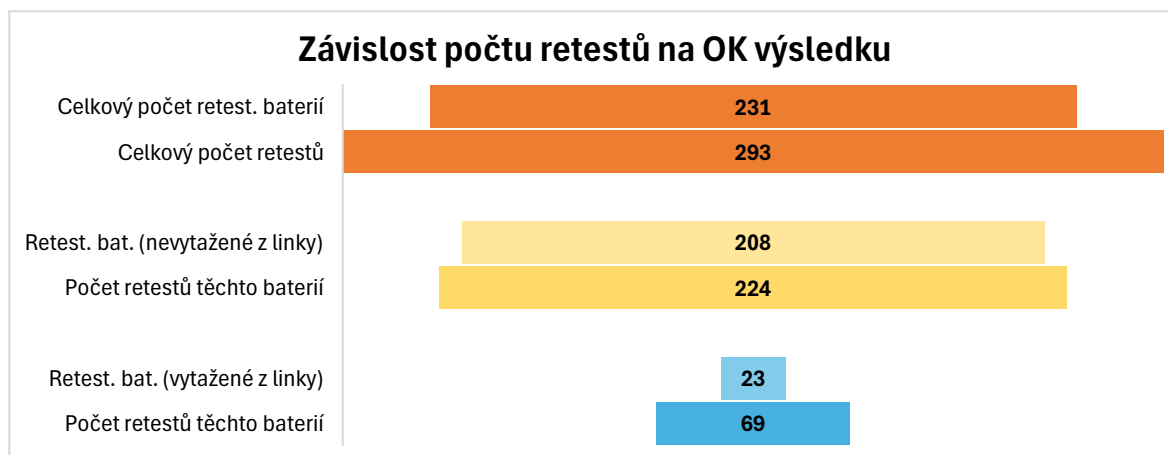
(zdroj: vlastní)

10.7 Analýza závislosti počtu retestů na dosažení OK výsledku

Analýza závislosti počtu retestů na dosažení OK výsledku (Obrázek 33, str. 94), byla provedena na základě dat za období říjen až listopad. Za toto období bylo retestováno celkem 231 bateriových systémů, nicméně celkový počet retestů byl 293. Detailnější analýzou bylo zjištěno, že na 208 bateriových systémů, které nebyly vytaženy z výrobní linky, připadalo celkem 224 retestů. To znamená průměrně 1,08 opakovaného testu na jeden bateriový systém k dosažení OK výsledku.

Při analýze bateriových systémů, které byly vytaženy z výrobní linky, bylo zjištěno, že na 23 retestovaných bateriových systémů připadá celkem 69 provedených retestů. Operátoři tedy vytahují bateriové systémy až po třech neúspěšných retestech, poté jsou převezeny na

rework, kde jsou otestovány pracovníkem kvality a následně opraveny. Při opětovném vložení těchto bateriových systémů do výrobní linky již testy vykazují OK výsledky.



Obrázek 33 Závislost počtu retestů na OK výsledku

(zdroj: vlastní)

10.8 Souhrnné zhodnocení výsledků fáze analyzování

Ve fázi analyzování byl nejprve vytvořen Ishikawa diagramu, který identifikuje všechny možné příčiny vedoucí k NG výsledkům testu těsnosti. Tým byly vybrány čtyři příčiny, které byly dále analyzovány. Z provedených analýz bylo zjištěno, že na výsledky měření úniku mají vliv tyto faktory: teplota materiálu, změna okolní teploty v průběhu testování, délka stabilizační fáze a časové rozmezí mezi jednotlivými testy.

Následně byl proveden experiment DOE s pěti faktory, jehož výsledky ukázaly, že největší vliv na výsledky testování má vstupní tlak, následovaný dobou stabilizace. Dále bylo zjištěno, že menší, ale stále významný vliv mají tyto faktory: čas mezi montážemi trubek a procesem testování, izolace měřicího senzoru a ofukování trubek. Pomocí grafu optimalizace bylo stanoveno optimální nastavení jednotlivých faktorů pro dosažení optimálních výsledků testování.

Analýza závislosti počtu retestů na dosažení OK výsledků ukázala, že k dosažení OK výsledku je v průměru potřeba provést 1,08 retestu. Pokud byl bateriový systém retestován vícekrát, vždy vykazoval reálný únik tlaku a na reworku musel být opraven.

10.9 Kontrolní bod fáze analyzování

Z tabulky 16 (str. 95) je patrné, že odpověď na všechny otázky je Ano. Na základě metodiky DMAIC je tedy možné pokračovat ve fázi zlepšování.

Tabulka 16 Kontrolní list fáze Analyzování

Kontrolní list fáze Analyzování	Ano	Ne
Jsou identifikovány potencionální kořenové příčiny a problémy?	Ano	
Jsou identifikovány úzká místa v procesu?	Ano	
Jsou upřesněny příčiny, které budou analyzovány podrobněji?	Ano	
Je ověřeno, zda kořenové příčiny jsou skutečně správné?	Ano	
Je problém stále platný?	Ano	

(zdroj: vlastní)

11 FÁZE ZLEPŠOVÁNÍ

Cílem této fáze je navrhnout a implementovat opatření, která povedou ke snížení podílu NG výsledků z původních 4,8 % na cílovou hodnotu 3,0 % a zároveň minimalizovat podíl falešných NG výsledků z 1,8 % na 0,8 %.

Nejprve je prodloužen čas stabilizace, který je upraven přenastavením parametrů v PLC. Následně je zaizolován měřicí senzor a část měřeného okruhu pomocí vhodné tepelné izolace. Dalším opatřením je instalace ofuku trubek po jejich montáži. Po implementaci těchto opatření je vyhodnocen jejich efekt.

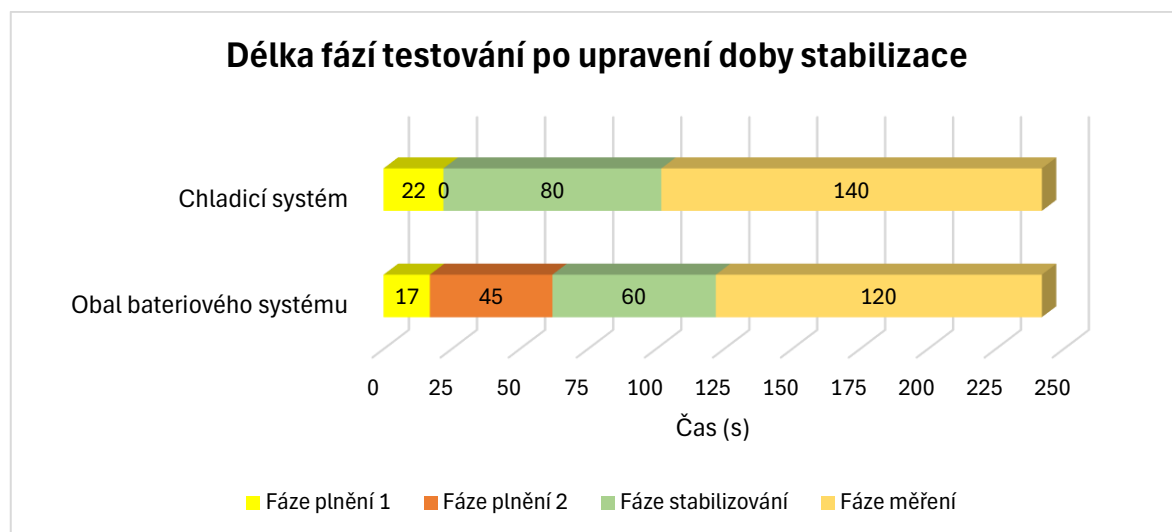
Následně je upraven design konektorů za účelem lepší manipulace. Poté jsou vytvořena vhodná opatření zaměřená na operátory a jejich proškolení, s cílem minimalizovat podíl lidských chyb. Dále je navržen systém opatření na ochranu proti vlivu změn okolních podmínek, který by měl vést ke stabilizaci prostředí.

Na závěr této fáze jsou navržena další opatření pro budoucí optimalizaci procesu a je definován kontrolní bod shrnující dosažené výstupy.

11.1 Úprava času stabilizace

Na základě výsledků analýzy uvedené v bodě 10.4 bylo prvním krokem ve fázi zlepšování provedeno přenastavení doby stabilizace z původních 40 sekund na 80 sekund. Cílem této úpravy bylo zajištění stabilnějších podmínek testování a zvýšení spolehlivosti měření.

Tato změna byla schválena vedením společnosti a následně byla provedena PLC specialistou prostřednictvím úpravy nastavení v PLC. Jelikož se jednalo pouze o změnu parametrů v nastavení softwaru, nebyly s touto úpravou spojeny žádné finanční náklady. Tato úprava času stabilizace je zobrazena na následujícím grafu (Obrázek 34, str. 97).



Obrázek 34 Délka fází testování po upravení doby stabilizace

(zdroj: vlastní)

11.2 Zaizolování měřicího senzoru a části měřeného okruhu

Na základě výsledků analýzy uvedené v bodě 10.6 bylo rozhodnuto o zaizolování měřicího senzoru a části měřeného okruhu pomocí tepelné izolace s cílem eliminovat vliv změn okolní teploty v průběhu testování a zajistit stabilnější a opakovatelné výsledky měření.



Obrázek 35 Izolace měřicího senzoru a části okruhu

(zdroj: vlastní)

Pro zaizolování byla použita tepelná izolace MIRELON, která se běžně využívá pro tepelnou izolaci potrubí. Tato úprava pomáhá k minimalizaci vlivu teplotních výkyvů, které by mohly

negativně ovlivnit přesnost měření a výsledky testů těsnosti. Na obrázku (Obrázek 35) lze vidět provedenou tepelnou izolaci vybrané části měřeného okruhu a měřicího převodníku.

11.3 Instalace ofuku po montáži trubek

Na základě výsledku analýzy uvedené v bodě 10.6 bylo rozhodnuto o namontování ofuku po montáži trubek. Cílem této úpravy je stabilizace teploty trubek, které byly zahřáty v důsledku manipulace při procesu montáže, a jejich ochlazení na hodnotu, která co nejvíce odpovídá původní teplotě. Ofukovací systém byl umístěn mezi stanoviště montáže a stanoviště testování těsnosti. Trubky jsou ofukovány vzduchem z centrálního rozvodového systému. To zajistí, že jejich teplota se částečně srovná s teplotou vzduchu, který je používán pro zkoušky těsnosti bateriového systému. Tímto opatřením se minimalizuje vliv teplotních rozdílů na výsledky testování těsnosti a zajistí se tím vyšší opakovatelnost měření. Na obrázku (Obrázek 36) je znázorněn již nainstalovaný ofukovací systém.



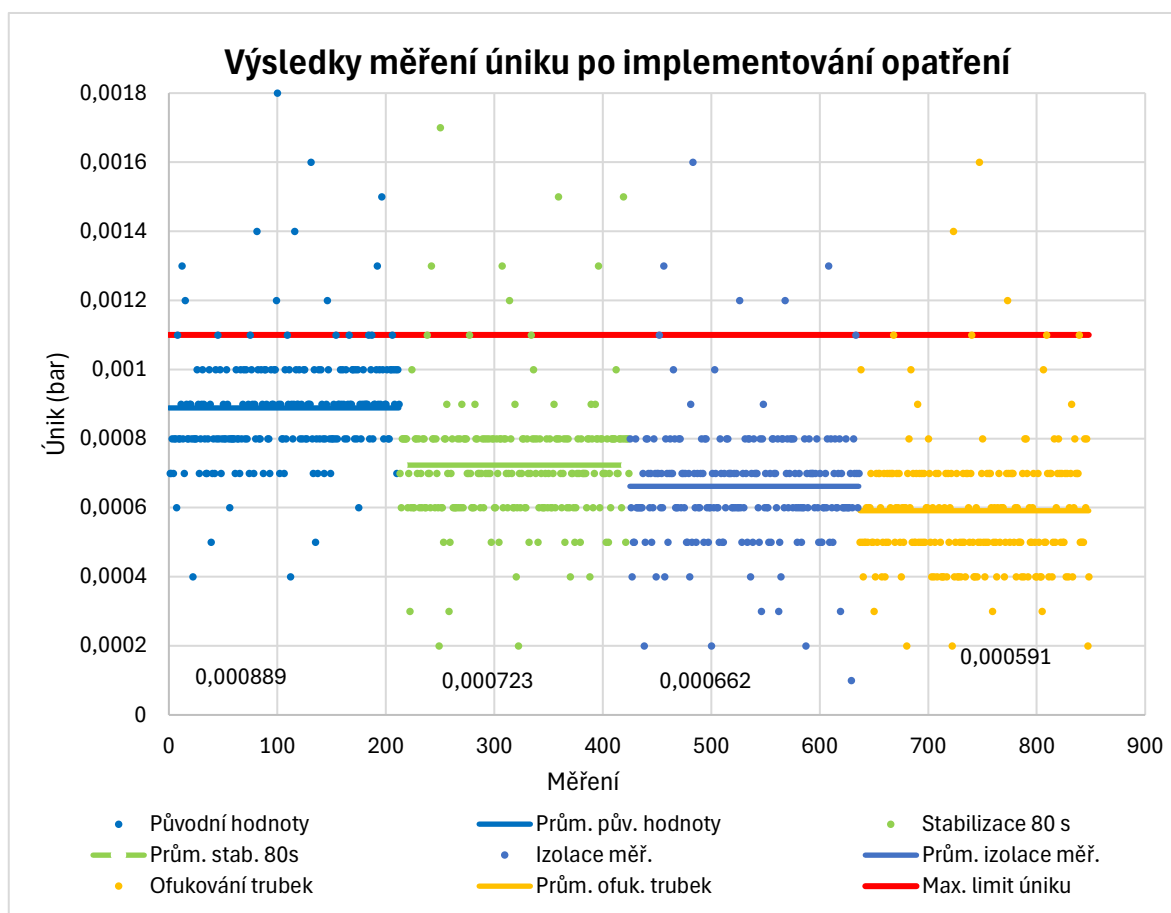
Obrázek 36 Ofukovací systém

(zdroj: vlastní)

11.4 Vyhodnocení provedených úprav

Na základě analýzy výsledků měření po implementaci opatření byl vytvořen bodový graf s SPC limity (Obrázek 37, str. 99), který vizualizuje jednotlivé výsledky testování. Jak již bylo zjištěno ve fázi analýzy, nejvýznamnější vliv na výsledky testování mělo prodloužení doby stabilizace z původních 40 sekund na 80 sekund. Tato změna vedla ke snížení průměrné hodnoty úniku z původní úrovně 0,000889 barů na úroveň 0,000723 barů.

Další snížení průměrné hodnoty úniku bylo dosaženo díky implementaci zbývajících opatření. To vedlo k dalšímu poklesu průměrné hodnoty úniku na 0,000591 barů, což představuje významné zlepšení výsledků měření v porovnání s původní průměrnou hodnotou úniku. Tato data potvrzují pozitivní dopad navržených a implementovaných opatření na výsledky měření těsnosti.



Obrázek 37 Výsledky měření úniku po implementování opatření

(zdroj: vlastní)

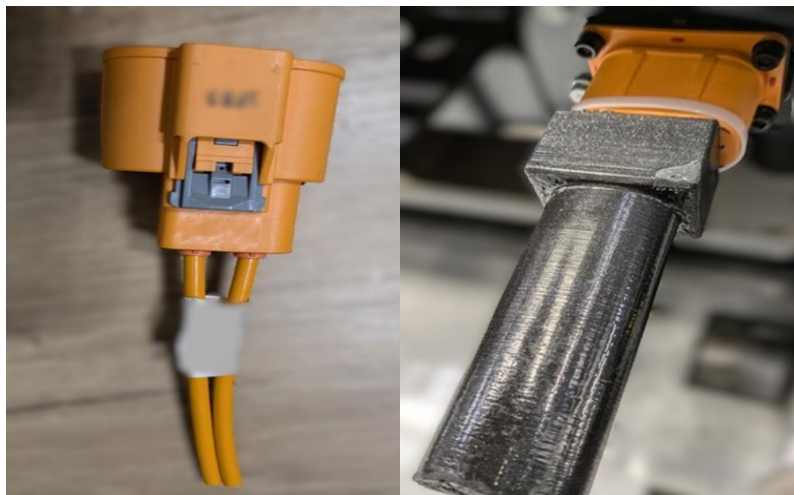
11.5 Úprava designu konektorů

Na základě analýzy uvedené v bodě 9.3, která identifikovala četnost výskytu špatně zasunutého konektoru jako třetí nejčastější příčinu NG výsledků, bylo rozhodnuto o úpravě jeho designu s cílem zlepšit manipulaci a usnadnit jeho zasouvání.

Na obrázku (Obrázek 38, str. 100) je v levé části znázorněn původní konektor a v pravé části je jeho upravená verze. Úprava spočívala v přidání rukojeti, která byla vyrobena pomocí 3D tisku a následně osazena na konektor. Upravený konektor byl otestován pomocí

heliového testu pracovníkem kvality pro ověření jeho těsnosti a funkčnosti. Po úspěšné kontrole se takto upravený konektor začal využívat ve výrobním procesu.

Cílem této úpravy je minimalizovat výskyt NG výsledků testování způsobených špatně zasunutým konektorem.



Obrázek 38 Konektor původní a po úpravě

(zdroj: vlastní)

11.6 Školení operátorů

Na základě analýzy uvedené v bodě 10.5 bylo zjištěno, že okamžité provedení retestu neprodleně po neúspěšném testu vede k lepším výsledkům, ale pouze v případě, že došlo k překročení limitu úniku o maximálně 0,0005 barů, tedy do celkového úniku 0,0016 barů. S ohledem na tuto skutečnost bylo nastaveno pravidlo, že pokud dojde k NG výsledku těsně před zahájením plánované přestávky, operátor by měl provést retest okamžitě a teprve poté odejít na přestávku, jejíž délka mu zůstane zachována.

Dále byla analyzována závislost mezi počtem provedených retestů a dosažením OK výsledků. Na základě této analýzy provedené v bodě 10.7 bylo nastaveno pravidlo pro minimalizování plýtvání a eliminování prostojů celé výrobní linky. Bateriové systémy mohou být retestovány pouze jednou. Pokud to však aktuální kapacitní podmínky na výrobní lince umožní, může být proveden druhý retest pouze v případě, že jeho provedení nezpůsobí zastavení celé výrobní linky. Tímto opatřením se optimalizuje využití stanoviště testování těsnosti a zároveň se minimalizují negativní dopady na průběh výroby. Tato opatření byla přidána do pracovních instrukcí pozice testování těsnosti.

Na základě analýzy příčin NG výsledků testování uvedené v bodě 9.3 bylo rozhodnuto o realizaci školení operátorů. Analýza odhalila, že špatné připojení plnicí pistole představuje 11 % z celkového počtu NG výsledků a špatné zasunutí konektorů představuje dalších 9 %. Tyto příčiny byly klasifikovány jako lidské chyby, které negativně ovlivňují výsledky testování těsnosti.

Cílem školení bylo minimalizovat výskyt těchto chyb prostřednictvím zlepšení dovedností operátorů, především správného připojení plnicí pistole a správného zasunutí konektorů. Školení bylo zaměřeno na zdokonalení manuálních dovedností operátorů a také na zvýšení povědomí o důležitosti správného provedení každé operace. Součástí školení bylo rovněž předání jasných a strukturovaných pokynů, jak mají operátoři postupovat v případě NG výsledku. Tyto pokyny byly přidány do pracovních instrukcí.

11.7 Kontrolní bod fáze Zlepšování

Z tabulky 17 je patrné, že odpověď na všechny otázky je Ano. Na základě metodiky DMAIC je tedy možné pokračovat ve fázi zlepšování.

Tabulka 17 Kontrolní list fáze Zlepšování

Kontrolní list fáze Zlepšování	Ano	Ne
Je vytvořen seznam nápadů možných řešení?	Ano	
Je identifikováno a vybráno řešení vztahující se ke kořenové příčině řešeného problému?	Ano	
Byla vybrána řešení, která budou implementována?	Ano	
Bylo ověřeno, že implementované řešení skutečně funguje?	Ano	

(zdroj: vlastní)

12 FÁZE KONTROLY

Cílem poslední fáze metodiky DMAIC je kontrola, zda provedené změny byly správně nastaveny a zdali došlo k očekávanému zlepšení procesu. Dále je kontrolováno, jestli pracovní instrukce byly upraveny správně a jestli je operátoři dodržují.

12.1 Kontrola pomocí pracovních instrukcí

Na každé montážní pozici jsou pracovní instrukce, jejichž dodržování je klíčové pro zajištění požadované kvality vyráběných bateriových systémů. Tyto pracovní instrukce jsou spravovány a pravidelně aktualizovány oddělením produkce. Dodržování těchto instrukcí je nezbytné pro minimalizaci chyb a zajištění hladkého průběhu montáže.

Na základě provedených analýz byly pracovní instrukce upraveny a rozšířeny o nové instrukce, které specifikují, jak má operátor postupovat v případě NG výsledku testování.

Pro udržení kvality procesu bylo stanoveno, že dodržování pracovních instrukcí je pravidelně kontrolováno. V případě nedodržování pracovních instrukcí je operátor nejprve upozorněn svým team leaderem, který je za kontrolu dodržování pracovních instrukcí zodpovědný. V případě opakovaného porušování stanovených postupů je operátorovi zaslán vytýkáci dopis. Pokud se i poté dodržování pracovních postupů nezlepší, následuje výpověď podle vnitřních předpisů společnosti.

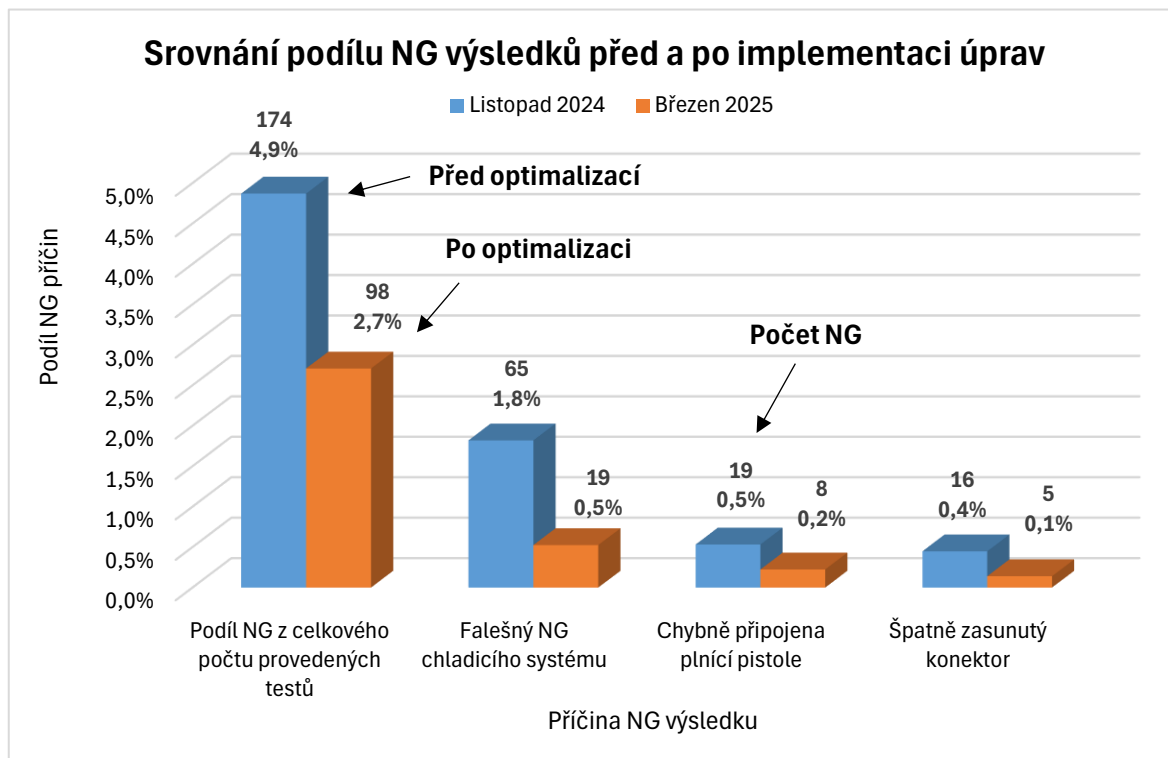
12.2 Ověření výsledků

Pro uzavření projektu je nezbytné provést srovnání výsledků před zahájením projektu a po implementaci jednotlivých opatření pro optimalizaci procesu.

Pro porovnávání podílu NG výsledků před zahájením projektu a po realizaci opatření byl použit sloupcový graf (Obrázek 39, str. 103), který zobrazuje data z listopadu 2024 před optimalizací, a z března 2025 po optimalizaci. V grafu byl porovnán celkový podíl NG výsledků a tři nejčastějších příčin NG výsledků.

Výsledky analýzy ukazují, že opatření, která byla aplikována, vedla ke zlepšení. Podíl celkového množství NG výsledků se snížil z 4,8 % na 2,7 %. Podíl falešných NG výsledků se z 1,8 % snížil na 0,6 %. Také podíl chybně připojené plnicí pistole se snížil z 0,5 % na 0,2 % a podíl NG výsledků způsobených špatným připojením konektoru, u kterého došlo ke snížení z 0,4 % na 0,1 %.

Tyto výsledky po implementaci opatření potvrzují, že cíle projektu, které byly stanoveny, byly splněny. Díky tomuto projektu bylo dosaženo snížení podílu NG výsledků testování. To vedlo ke zvýšení efektivity procesu testování těsnosti bateriových systémů.



Obrázek 39 Srovnání podílu NG výsledků před a po implementaci úprav

(zdroj: vlastní)

12.3 Finanční zhodnocení

Ve finančním zhodnocení jsou kalkulovány náklady a přínosy tohoto projektu. Na základě požadavku společnosti byla veškerá data přenásobena určitým koeficientem.

12.3.1 Náklady projektu

Do celkových nákladů projektu byly zahrnuty pouze reálně vynaložené náklady spojené s realizací navržených opatření. Náklady spojené s prací techniků údržby a PLC specialisty nebyly do kalkulek zahrnuty, jelikož se jednalo o činnost, která je náplní jejich práce.

Na zaizolování měřicího převodníku a části měřeného okruhu byl pořízen materiál tepelné izolace v hodnotě 200 Kč. Instalace byla provedena technikem údržby.

Pro instalaci systému ofukování trubek byly zakoupeny kloubové hadice s tryskami v celkové částce 800 Kč. Montáž tohoto systému byla rovněž provedena technikem údržby, a proto její náklady nebyly zahrnuty do celkové kalkulace.

Úprava konektorů zahrnovala vytvoření ergonomické rukojeti, která byla navržena v softwaru SolidWorks a následně vytištěna pomocí 3D tisku. Náklady na výrobu rukojeti konektorů byly stanoveny na 1 500 Kč.

Významnou položkou v cenové kalkulaci bylo školení operátorů zaměřené na eliminaci lidských chyb. Školení, které trvalo v délce 2 hodin, bylo vykalkulováno na částku 15 000 Kč.

Tabulka 18 Náklady projektu

Náklady projektu	
Položka	Cena (Kč)
Tepelná izolace	200
Kloubové hadice + trysky	800
Úpravy konektorů	1 500
Školení zaměstnanců	15 000
Celkem	17 500

(zdroj: vlastní)

Výsledné celkové skutečně vynaložené náklady projektu (Tabulka 18) byly ve výši 17 500 Kč a splnily požadavek společnosti na minimalizování nákladů a maximalizování přínosu realizovaných opatření.

12.3.2 Přínosy projektu

Pro výpočet celkové ztráty způsobené NG výsledky testování byly použity následující parametry:

- Sazba prostoje výrobní linky: 692 Kč/min
- Čas jednoho testovacího cyklu: 332 sekund
- Cena prostoje výrobní linky na jeden testovací cyklus: 3 829 Kč

Uvedené hodnoty a počty vyrobených bateriových systémů včetně výrobního plánu na rok 2025 byly získány z interních dat společnosti a slouží jako základ pro následující výpočty.

Na základě uvedených údajů byla sestavena následující tabulka 20, která zobrazuje celkovou ztrátu společnosti způsobenou NG výsledky testování. Podíl NG výsledků testování byl vypočítán v bodě 9.3.

Počet NG testů = podíl NG výsledků / (100 – podíl NG výsledků) × počet vyrobených bateriových systémů

Ztrátový čas (min) = čas jednoho testovacího cyklu (s) × počet NG testů / 60

Finanční ztráta = ztrátový čas × sazba prostoje výrobní linky

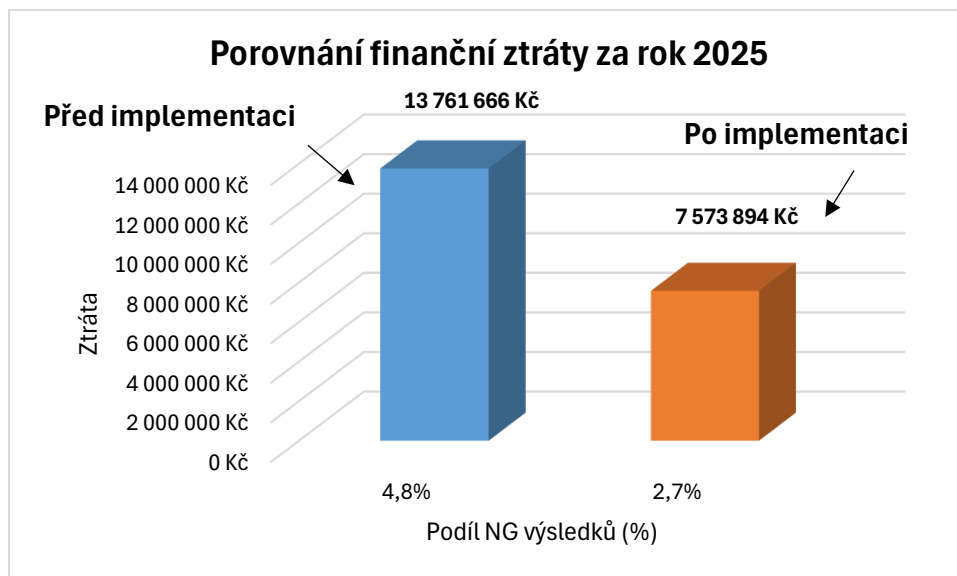
Následující tabulka 19 zobrazuje vyhodnocení ztrát způsobených NG výsledky testování těsnosti v letech 2023–2025. Pro rok 2025 bylo kalkulováno s podílem NG výsledků 4,8 %, který odpovídá stavu před zahájením projektu, a také s podílem NG výsledku 2,7 %, který odpovídá stavu po implementaci navržených opatření.

Tabulka 19 Vyhodnocení finanční ztráty

Rok	Počet vyrobených bateriových systémů (ks)	Podíl NG výsledků (%)	Počet NG testů	Ztrátový čas (min)	Finanční ztráta (Kč)
2023	59 363	4,8	2 993	16 561,27	11 460 397
2024	50 659	4,8	2 554	14 132,13	9 779 436
2025	71 287	4,8	3 594	19 886,80	13 761 666
2025	71 287	2,7	1 978	10 944,93	7 573 894

(zdroj: vlastní)

Pro znázornění vývoje finanční ztráty byl vytvořen sloupcový graf (Obrázek 40, str.106), který porovnává finanční ztráty způsobené podílem NG výsledků za rok 2025 před implementací opatření a pro rok 2025 navíc s 2,7 % podílem NG výsledků po implementaci opatření.



Obrázek 40 Porovnání finanční ztráty

(zdroj: vlastní)

Na základě výpočtu v předchozí tabulce 20 byla stanovena předpokládaná úspora za rok 2025. Tato úspora byla vypočítána podle následujícího vzorce:

Úspora za rok 2025 = (ztrátový čas při podílu 4,8 % NG výsledků – ztrátový čas při podílu 2,7 % NG výsledků) × sazba prostoje linky – náklady projektu

$$\text{Úspora za rok 2025} = (19\,886,8 - 10\,944,93) \times 692 - 17\,500 = 6\,170\,272 \text{ Kč}$$

Díky implementaci navržených opatření se předpokládá finanční ztráta za rok 2025 ve výši 7 573 894 Kč, zatímco očekávaná finanční úspora činí **6 170 272 Kč**.

12.4 Uzavření projektu

V závěrečné fázi projektu bylo provedeno jeho vyhodnocení na základě dosažených výsledků. Hlavním cílem projektu bylo snížení podílu NG výsledků testování těsnosti z výchozí hodnoty 4,8 % na cílovou hodnotu 3,0 %. Implementací navržených opatření se podařilo dosáhnout výsledné hodnoty 2,7 %, čímž byla původní cílová hodnota překročena.

Na základě této optimalizace procesu lze očekávat finanční úsporu ve výši 6 170 272 Kč ročně. Hlavní přínosy projektu spočívají ve snížení ztrátového času, omezení prostojů celé výrobní linky a především ve zvýšení efektivity procesu testování těsnosti.

S ohledem na dosažené výsledky lze konstatovat, že projekt byl úspěšně realizován a může být uzavřen (Tabulka 20, str. 107).

Tabulka 20 Uzavření projektu

Uzavření projektu				
Název projektu	Snížení podílu NG výsledků testování těsnosti	Oddělení	Procesní inženýrství	
Green belt	Ondřej Krpec			
Koordinátor	Procesní inženýr			
Sponzor	Vedoucí oddělení výroby			
Datum zahájení	02.12.2024	Datum ukončení	31.03.2025	
Formulace problému	Vysoké % NG výsledků testování			
Proces a vlastník	Produkce			
Cíl projektu	Metrika	Výchozí	Cílová	Dosažená
	Podíl NG výsledků	4,8 %	3,0 %	2,7 %
Dosažené finanční výsledky	6 170 272 Kč			
Dosažené nefinanční výsledky	Snížení podílu NG výsledků o 2,1 %			

(zdroj: vlastní)

13 NÁVRH OPATŘENÍ PRO BUDOUCÍ OPTIMALIZACI PROCESU

V následující kapitole jsou navržena opatření pro budoucí optimalizaci procesu, která nabyla v projektu řešena z důvodu jejich časové náročnosti realizace.

Nejprve je navrženo opatření pro eliminaci průvanu ovlivňujícího výsledky testování těsnosti. Toto opatření spočívá v úpravě uzavření testovacího stanoviště. V současnosti je testovací stanoviště otevřené ze všech čtyř stran, přičemž tři strany jsou otevřeny z důvodu nutnosti průjezdu bateriového systému a čtvrtá strana je otevřená kvůli obsluze operátorem.

Navrhované řešení spočívá v uzavření stanoviště ze tří stran s cílem minimalizovat vliv okolního proudění vzduchu během procesu testování. Průjezd bateriového systému bude uzavřen pomocí mechanismu (Obrázek 41), který bude otevírán a zavírán pomocí dvou pneumatických pístů dle potřeb průjezdu bateriového systému. Tímto opatřením dojde k zajištění stabilnějších podmínek testování, což povede ke snížení falešných NG výsledků testu těsnosti alepší opakovatelnost měření.



Obrázek 41 Návrh uzavření stanoviště testování

(zdroj: vlastní)

V následující části jsou navržena opatření pro úpravu způsobu měření úniku tlaku. Na základě analýzy validity dat bylo zjištěno, že naměřené hodnoty nelze považovat za validní, jelikož současný způsob testování těsnosti není optimálně nastaven. Na základě těchto zjištění doporučuji rozšířit limit maximální tolerance úniku, aby se kompenzovala nepřesnost měření. Dále navrhuji výměnu současného tlakového převodníku, který má

rozsah měření 0,0–3,0 bary za nový převodník s nižším rozsahem, například 1,5–2,5 barů. To by mělo zvýšit přesnost měření v požadovaném pracovním rozsahu.

Další doporučení se týká úpravy vyhodnocení úniku tlaku. Namísto současného vyhodnocování výsledků v absolutních hodnotách navrhuji přechod na reálné hodnoty měření. To by vedlo k jasnému vyhodnocení výsledků i se zápornými hodnotami a bylo by zřejmé, zdali nedošlo během testu k nárůstu tlaku.

Také doporučuji upravit způsob měření úniku, aby výsledek nebyl odvozen na základě rozdílu mezi naměřenou počáteční a konečnou hodnotou tlaku, ale aby test měřil skutečný únik tlaku. Tento přístup by minimalizoval chybu měření, která vzniká z důvodu měření dvou hodnot, z nichž každá má určitou nepřesnost, která se v konečném výsledku sečte. Tímto způsobem by bylo možné dosáhnout výrazně přesnějších a spolehlivějších výsledků testování těsnosti.

Dále doporučuji zásadní změnu ve způsobu měření úniku. Místo současného způsobu tlakování bateriového systému, který je řízen časem, doporučuji, aby systém byl řízen na základě dosáhnutého počátečního tlaku testování. To by zajistilo stejný výchozí stav pro každý test a nedocházelo by k rostoucímu trendu počátečního tlaku, jak je znázorněno v grafu (Obrázek 17, str. 77). Počáteční tlak by musel dosáhnout určité hodnoty do určitého časového okamžiku a poté by bylo zahájeno testování. Tento způsob nastavení by umožnil přesnější sledování změn tlaku v reálném čase.

Na závěr doporučuji zvážit možnost automatizace této pozice testování těsnosti. Automatizací by bylo možné eliminovat chyby vznikající v důsledku manuální činnosti operátora. To by přispělo k vyšší spolehlivosti a stabilitě výsledků testování. Automatizace by současně vedla k zefektivnění celého procesu a ke zkrácení cyklového času. To by mělo pozitivní dopad na celkovou produktivitu výrobní linky.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo snížit celkový podíl NG výsledků testování těsnosti PHEV bateriových systémů, zejména podíl falešných NG výsledků, z 4,8 % na 3,0 % pomocí metodiky DMAIC. Dílčími cíli bylo analyzovat příčiny NG výsledků, navrhnout a implementovat opatření, ověřit jejich účinnost a provést vyhodnocení dosaženého zlepšení, včetně finančního zhodnocení.

Diplomová práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byla provedena literární rešerše, která poskytla teoretická východiska pro zpracování praktické části. Byl popsán proces výroby a proces testování bateriových systémů pomocí zkoušek těsnosti. Dále byly představeny statistické metody a metodika DMAIC spolu s jejími nástroji.

V praktické části byla představena vybraná společnost a její produktové portfolio. Následně byla vypracována projektová část pomocí metodiky DMAIC a jejích nástrojů. Ve fázi definování byl popsán proces testování těsnosti bateriových systémů, sestaven tým, nadefinovány cíle a vymezení projektu, vytvořen harmonogram a provedena riziková analýza. Ve fázi měření byl vytvořen vzorník příčin a provedena analýza četnosti jejich výskytu. Z výsledků analýzy vyplynulo, že nejčastější příčinou NG výsledků je falešný NG chladičového systému. Dále byla ověřena validita a variabilita vstupních dat. Bylo zjištěno, že vstupní data nelze považovat za validní, avšak v krátkodobém horizontu nebylo možné provést zásadní úpravy. Ve fázi analyzování byly provedeny experimenty zaměřené na analýzu příčin a jejich vlivu na vznik NG výsledků.

Ve fázi zlepšení byla navržena a realizována opatření, která vedla ke zlepšení procesu. Účinnost těchto opatření byla ověřena pomocí regulačního diagramu s SPC limity. Ve fázi kontroly bylo ověřeno dodržování pracovních instrukcí a vyhodnoceny výsledky testování těsnosti po implementaci opatření. Zároveň bylo provedeno finanční zhodnocení projektu. V závěru byla navržena opatření pro budoucí optimalizaci procesu.

Díky implementaci opatření se podařilo snížit celkový podíl NG výsledků testování těsnosti z původních 4,8 % na pouhých 2,7 %, přičemž podíl falešných NG výsledků chladičového systému klesl z 1,8 % na 0,6 % ve srovnání s předchozími roky. Na základě provedených opatření lze v roce 2025 očekávat úsporu přibližně 6 170 272 Kč. Vzhledem k dosaženým výsledkům a finančnímu vyhodnocení lze projekt považovat za úspěšný.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AL-RIFAI, H, Mohammad. *Lean Six Sigma: A DMAIC Roadmap and Tools for Successful Improvements Implementation*. Online. New York: Routledge. Taylor & Francis Group. 2024. ISBN 9781032688343. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9781032688343>. [cit. 2025-02-25].

ALTMAN, Harry. *Lean: this book includes Lean Six Sigma, Lean startup, Lean enterprise, Lean analytics, Agile project management, Kanban, Scrum*. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2017. ISBN 9781978348684.

ATEQ. *Leaktesting*. Online. ©2025. Dostupné z: <https://www.ateq-leaktesting.com>. [cit. 2025-02-25].

BLOOM, T, Daniel. *The TLS continuum field guide: how theory of constraints, lean, and six sigma will transform your operations and process flow*. Online. New York: Routledge. Taylor & Francis Group. 2024. ISBN 9780429029196. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9780429029196>. [cit. 2025-02-25].

BRAU, Sebastian J. *Lean manufacturing 4.0: the technological evolution of lean: practical guide on the correct use of technology in lean projects Kanban, 5S, TPM, Kaizen, VSM, 6Sigma, SMED OEE, Hoshin Kanri, Gemba, JIT, TPS, PDCA*. Boca Raton: American Lean SD. 2016. ISBN 9781539322948.

CAMILLERI, Emanuel. *Key performance indicators: the complete guide to KPIs for business success*. Online. Abingdon. Oxon: Routledge. 2024. ISBN 9781032685465. Dostupné z: <https://doi.org/10.4324/9781032685465>. [cit. 2025-02-25].

CINCINNATI TEST SYSTEMS. *Cincinnati Test Systems, the Leader in Leak and Flow Testing*. Online. ©2025. Dostupné z: <https://www.cincinnati-test.com>. [cit. 2025-02-25].

DAS, K. Prodip. *Battery Management in Electric Vehicles: Current Status and Future Trends*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Online. 2024. ISBN 9783725813452. Dostupné z: <http://doi.org/10.3390/books978-3-7258-1346-9>. [cit. 2025-02-25].

DENNIS, Pascal. *Lean production simplified: a plain-language guide to the world's most powerful production system*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2016. ISBN 9781498708876.

DOLEŽAL, Jan a kolektiv. *Projektový management*. 2. vydání. Praha: Grada. 2023. ISBN 978-80-271-3619-3.

DOLEŽAL, Jan; MÁCHAL, Pavel; LACKO, Branislav a kolektiv. *Projektový management podle IPMA*. 2. vydání. Praha: Grada. 2012. ISBN 9788024742755.

EISLER, N. Matthew. *Age of Auto Electric: Environment, Energy, and the Quest for the Sustainable Car*. Online. Cambridge: The MIT Press. 2022. ISBN 9780262372022. Dostupné z: <https://doi.org/10.7551/mitpress/14759.001.0001>. [cit. 2025-02-25].

FILIP, Ludvík. *Efektivní řízení kvality*. Praha: Pointa. 2019. ISBN 9788090753051.

FRANCHETTI, Matthew J. *Lean Six Sigma for engineers and managers: with applied case studies*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2015. ISBN 9781482243529.

FULTON, M. Lewis, SELEEM, Amr, BOSHELL, Francisco SALGADO, Alessandra, SAYGIN, Deger. *Electric Vehicles - Technology Brief*. Online. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. 2017. ISBN 978-92-95111-00-4 Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEVTB0004/electric-vehicles-technology/electric-vehicles-technology>. [cit. 2025-02-25].

GOETSCH, L David a DAVIS, Stanley. *Quality management for organizational excellence: introduction to total quality*. Eighth edition. Boston: Pearson. 2016. ISBN 9780133791853.

HAGYARD, Chuck. *How to Leak Test EV Electrical Components*. Online. Cincinnati Test Systems. 22.2.2024. Dostupné z: <https://www.cincinnati-test.com/blog/how-leak-test-ev-electrical-components>. [cit. 2025-02-25].

HENDL, Jan. *Základy matematiky, logiky a statistiky pro sociologii a ostatní společenské vědy v příkladech*. 3. doplněné vydání. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum. 2022. ISBN 978-80-246-5400-3.

HÜCKSTÄDT, Malte a LEISTEN, M, Luca. Internal factors promoting research collaboration problems: an input-process-output analysis. *Scientometrics*. Online. 2024. Vol. 129, s. 2007–2035. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11192-024-04957-w>. [cit. 2025-02-25].

INFICON. *Quality control for your complete value chain*. Online. ©2025. Dostupné z: <https://www.inficon.com>. [cit. 2025-02-25].

IQBAL, Nabeel. The Scope of Input-Process-Output Diagrams in Teaching Economics. *International Journal of Academic Research in Education and Review*. Online. 2021. Vol. 9, No. 1, s. 8-10. Dostupné z: <https://mp.ra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/118230>. [cit. 2025-02-25].

JANUŠKA, Martin. *Úvod do operativního řízení podniku*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2018. ISBN 9788026108009.

JAROŠOVÁ, Eva a NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing. 2015. ISBN 9788024753553.

JUROVÁ, Marie a kolektiv. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada. 2016. ISBN 9788024757179.

KHAN, Mehwish, Mahek; ALKHEDHER, Mohammad; RAMADAN, Mohamad a GHAZAL, Mohammed. Hybrid PCM-based thermal management for lithium-ion batteries: Trends and challenges. *Journal of Energy Storage*. Online. 2023. Vol. 73, s. 2023. ISSN 108775. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108775>. [cit. 2025-02-25].

LEIJON, Jennifer a BOSTRÖM, Cecilia. Charging Electric Vehicles Today and in the Future. *World Electric Vehicle Journal*. Online. 2022. Vol. 13, no. 8, s. 139. ISSN 13080139. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/wevj13080139>. [cit. 2025-02-25].

MAYNARD, B, Harold a BINANDA, Bopaya (ed.). *Maynard's industrial and systems engineering handbook*. Sixth edition. New York: McGraw Hill. 2023. ISBN 978-1-260-46156-5.

MCSHANE-VAUGHN, Mary. *ASQ Certified Six Sigma Black Belt Handbook*. Online. 4. vydání. American Society for Quality. 2022. ISBN 978-1-5231-5592-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASQCSSB2/asq-certified-six-sigma/asq-certified-six-sigma>. [cit. 2025-02-25].

NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. 1. vydání. Praha: Management Press. 2018. ISBN 9788072615612.

NEUBAUER, Jiří; SEDLAČÍK, Marek a KŘÍŽ, Oldřich. *Základy statistiky: Aplikace v technických a ekonomických oborech*. Online. 3. rozšířené vydání. Grada. 2021. ISBN 978-80-271-3421-2. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/zaklady-statistiky-2162175/>. [cit. 2025-02-25].

PARKHURST, Graham a CLAYTON, William. *Electrifying mobility: realising a sustainable future for the car*. Online. Transport and sustainability. Bingley, U.K.: Emerald Publishing Limited. 2022. ISBN 9781839826368. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/S2044-9941202215>. [cit. 2025-02-25].

POLLOCK, Steve a MOTT, Daro. *Coaching green belt projects for sustainable success*. Online. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press. 2015. ISBN 9781680157789. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCGBSS002/coaching-green-belts?kpromoter=marc>. [cit. 2025-02-25].

RABUŠIC, Ladislav; SOUKUP, Petr a MAREŠ, Petr. *Statistická analýza sociálněvědních dat (prostřednictvím SPSS)*. 2. přepracované vydání. Brno: Masarykova univerzita. 2019. ISBN 978-80-210-9248-8.

RANGARAJAN, S. Shriram; SUNDDARARAJ, Suvetha, Poyyamani; SUDHAKAR, Avv; SHIVA, Chandan Kumar; SUBRAMANIAM, Umashankar et al. Lithium-Ion Batteries—The Crux of Electric Vehicles with Opportunities and Challenges. *Clean Technologies*. Online. 2022. Vol. 4, no. 4, s. 908-930. ISSN 4040056. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040056>. [cit. 2025-02-25].

ŘEHÁK, Jan a BROM, Ondřej. *SPSS - Praktická analýza dat*. Brno: Computer Press. 2015. ISBN 9788025146095.

SARTOR, Marco a ORZES, Guido. *Quality management: tools, methods, and standards*. Online. Bingley, U.K.: Emerald Publishing Limited. 2019. ISBN 9781787698017. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/9781787698017>. [cit. 2025-02-25].

SHI, Yan; CHANG, Jiaqi; WANG, Yixuan a YANG, Liman. Analysis on Influence Factors of Differential Pressure Detection of Gas Leakage. *Journal of Sensors*. Online. 2022. Vol. 2022, no. 1, s. 1-21. ISSN 973299. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2022/9973299>. [cit. 2025-02-25].

SCHMOLKE, Tobias; TEUTENBERG, Dominik a MESCHUT, Gerson. Development of a test method for investigating the leak tightness of hybrid joined battery housing connections. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. Online. 2022. Vol. 117, ISSN 103171. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103171>. [cit. 2025-02-25].

SCHMOLKE, Tobias; TEUTENBERG, Dominik a MESCHUT, Gerson. Investigation of the leak tightness of structural adhesive joints for use in battery housings considering mechanical and corrosive loads. *The Journal of Adhesion*. Online. 2023. Vol. 100, no. 2, s. 96-117. ISSN 2195556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00218464.2023.2195556>. [cit. 2025-02-25].

SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada. 2011. ISBN 9788024739380.

TARANTINO, Anthony. *Smart manufacturing: the lean six sigma way*. Hoboken. Online. New Jersey: John Wiley. 2022. ISBN 9781119846642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119846642>. [cit. 2025-02-25].

TITMARSH, Rohin a HARRISON, Robert. Automated Leak Testing for Cylindrical Cell Automotive Battery Modules: Enabling Data Visibility using Industry 4.0. *23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT)*. Online. s. 1-4. 2019. ISBN 978-1-7281-3998-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICMECT.2019.8932152>. [cit. 2025-02-25].

TUDOROIU, Nicolae. *Electric Vehicles Design, Modelling and Simulation*. Online. *IntechOpen*. 2023. ISBN 978-1-83769-179-1. Dostupné z: <http://doi.org/10.5772/intechopen.111090>. [cit. 2025-02-25].

VEŘEJNÝ REJSTŘÍK A SBÍRKA LISTIN. *Ministerstvo spravedlnosti České republiky*. online. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik>. [cit. 2025-02-25].

WRIGHT, Christopher. *Fundamentals of Assurance for Lean Projects*. Online. Ely: IT Governance Publishing. 2017. ISBN 9781849288996. Dostupné z: Knovel, <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFALPAOA1/fundamentals-of-assurance?kpromoter=marc>. [cit. 2025-02-25].

ZHANG, Lijun; MENG, Dejian a CHEN, Gang. *Noise, vibrations and harshness of electric and hybrid vehicles*. Online. Warrendale, PA: SAE International. 2020. ISBN 9781523140510. Dostupné z: [Knovel, https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNVHEHV05/noise-vibrations-and?kpromoter=marc](https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNVHEHV05/noise-vibrations-and?kpromoter=marc). [cit. 2025-02-25].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Organizační struktura vybrané společnosti.....	49
Obrázek 2 Plnicí pistole a část okruhu chladicího systému	53
Obrázek 3 Plnicí píst obalu bateriového systému	54
Obrázek 4 Testování propustného ventilu na bateriovém obalu	55
Obrázek 5 Vyhodnocení výsledků testování.....	56
Obrázek 6 Graf testování těsnosti	56
Obrázek 7 Podíl NG a OK výsledků.....	67
Obrázek 8 Podíl NG příčin NG výsledků	68
Obrázek 9 Paretův diagram NG testů	69
Obrázek 10 Podíl příčin NG výsledků	70
Obrázek 11 Nepřesnost měření počátečního tlaku.....	71
Obrázek 12 Nepřesnost měření konečného tlaku.....	72
Obrázek 13 Nepřesnost měření výsledného úniku.....	73
Obrázek 14 Graf způsobilosti procesu počátečního tlaku.....	74
Obrázek 15 Graf způsobilosti procesu konečného tlaku.....	75
Obrázek 16 Graf způsobilosti procesu výsledného úniku tlaku.....	76
Obrázek 17 Graf časové řady počátečního tlaku	77
Obrázek 18 Graf časové řady výsledného úniku tlaku	78
Obrázek 19 Pravděpodobnostní graf výsledného úniku tlaku	78
Obrázek 20 Ishikawa diagram.....	82
Obrázek 21 Vliv snížení okolní teploty na výsledky testování.....	84
Obrázek 22 Testování zchlazených trubek	86
Obrázek 23 Oteplení trubky vlivem manipulace operátora	86
Obrázek 24 Únik tlaku v závislosti na rozdílné teplotě trubek	87
Obrázek 25 Délka jednotlivých fází testování	87
Obrázek 26 Vliv doby stabilizace na výsledky testování	88
Obrázek 27 Vliv doby stabilizace na výsledky testování	89
Obrázek 28 Vliv času mezi jednotlivými testy	90
Obrázek 29 Data pro DOE experiment	91
Obrázek 30 Pareto diagram příčin	92
Obrázek 31 Graf hlavního efektu pro únik tlaku	92
Obrázek 32 Graf optimalizace jednotlivých faktorů.....	93
Obrázek 33 Závislost počtu retestů na OK výsledku	94
Obrázek 34 Délka fází testování po upravení doby stabilizace	97

Obrázek 35 Izolace měřicího senzoru a části okruhu	97
Obrázek 36 Ofukovací systém.....	98
Obrázek 37 Výsledky měření úniku po implementování opatření	99
Obrázek 38 Konektor původní a po úpravě	100
Obrázek 39 Srovnání podílu NG výsledků před a po implementaci úprav	103
Obrázek 40 Porovnání finanční ztráty	106
Obrázek 41 Návrh uzavření stanoviště testování.....	108

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Pravděpodobnost vzniku rizika.....	31
Tabulka 2 Typ dopadu na projekt	32
Tabulka 3 Výsledná hodnota rizika	32
Tabulka 4 Členové týmu	57
Tabulka 5 SIPOC diagram	58
Tabulka 6 Projektový list	59
Tabulka 7 Harmonogram projektu.....	60
Tabulka 8 RIPRAN analýza.....	61
Tabulka 9 Kontrolní list fáze Definování	62
Tabulka 10 IPO diagram	64
Tabulka 11 Kontrolní list fáze Měření.....	80
Tabulka 12 Záznam vlivu snížení okolní teploty na výsledky testování	83
Tabulka 13 Výpočet možného ochlazení chladicího systému	83
Tabulka 14 Záznam měření teplotního rozdílu trubek a okolí.....	85
Tabulka 15 Záznam testování vlivu času mezi jednotlivými testy	89
Tabulka 16 Kontrolní list fáze Analyzování	95
Tabulka 17 Kontrolní list fáze Zlepšování.....	101
Tabulka 18 Náklady projektu.....	104
Tabulka 19 Vyhodnocení finanční ztráty	105
Tabulka 20 Uzavření projektu.....	107

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BEV Battery Electric Vehicle (Bateriové elektrické vozidlo)

BSA Battery System Assembly (Montáž bateriového systému)

Cp Index způsobilosti

Cpk Index způsobilosti

č. Číslo

DMAIC Define, Measure, Analyze, Improve and Control (Definovat, Měřit, Analyzovat, Zlepšovat a Kontrolovat)

DOE Design of Experiment (Návrh experimentu)

FCEV Fuel Cell Electric Vehicle (Elektrické vozidlo s palivovými články)

FS Full Scale (Plný rozsah)

HEV Hybrid Electric Vehicle (Hybridní elektrické vozidlo)

ID Identifikace

IPO Input – Process – Output (Vstup – Proces – Výstup)

K Kelvin

Kč Koruna česká

Kon. Konečná

kWh Kilowatthodina

LCL Lower Control Limit (Dolní regulační mez)

MES Manufacturing Execution Systém (Výrobní informační systém)

Min Minuta

např. Například

n Látkové množství

NG Not Good (Není dobrý)

NHR Nízká hodnota rizika

NP Nízká pravděpodobnost

OK	All Correct (Vše správně)
p	Tlak
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in hybridní elektrické vozidlo)
Poč.	Počáteční
PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
Pravd.	Pravděpodobnost
R	Molární plynová konstanta
RIPRAN	RIsk PROject ANalysis (Riziková analýza projektu)
s.	Strana
Sd	Střední dopad
SHR	Střední hodnota rizika
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers (Dodavatelé – Vstupy – Proces – Výstupy – Zákazníci)
SP	Střední pravděpodobnost
SPC	Statistical Process Control (Statistické řízení procesů)
T	Termodynamická teplota
UCL	Upper Control Limit (Horní regulační mez)
V	Objem
VD	Vysoký dopad
VHR	Vysoká hodnota rizika
VoC	Voice of Customer (Hlas zákazníka)
°C	Stupeň Celsia
ΔT	Změna teploty

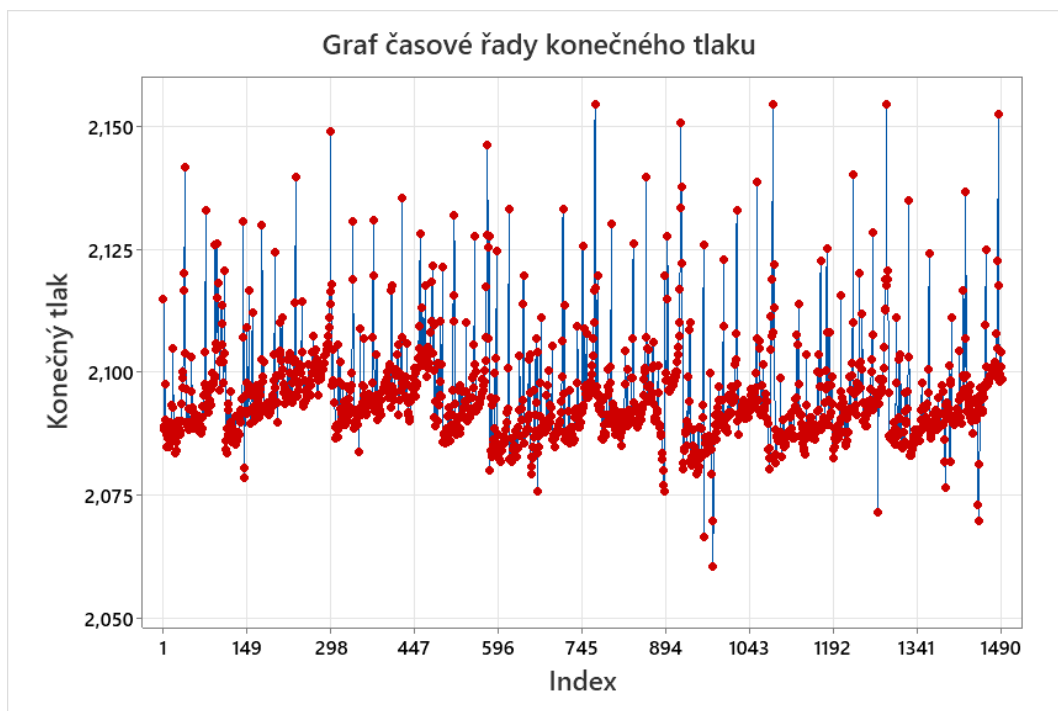
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Graf časové řady konečného tlaku

Příloha P II: Záznam měření teplotního rozdílu trubek a okolí

Příloha P III: Srovnání NG výsledků

PŘÍLOHA P I: GRAF ČASOVÉ ŘADY KONEČNÉHO TLAKU



**PŘÍLOHA P II: ZÁZNAM MĚŘENÍ TEPLOTNÍHO ROZDÍLU
TRUBEK A OKOLÍ**

Baterie	Cyklus	Teplota trubky (°C)			Teplota okolí (°C)		20	Průměr testu	Oteplení trubky při testu	Poč. tlak	Kon. Tlak	Výsledek	
		1	2	3	Průměr	Delta pro okolí						Dle stanice	Dle výpočtu
1	START	18,5	16,5	17,5	17,5	-2,5		-2,0	1,0	2,0128	2,0125	0,0003	0,0003
	KONEC	19,0	18,0	18,5	18,5	-1,5							
2	START	16,6	15,6	15,5	15,9	-4,1		-3,4	1,4	2,0133	2,0135	0,0003	-0,0002
	KONEC	18,0	17,0	17,0	17,3	-2,7							
3	START	15,0	15,0	15,0	15,0	-5,0		-4,0	2,0	2,0131	2,0134	0,0004	-0,0003
	KONEC	17,7	16,4	17,0	17,0	-3,0							
4	START	12,0	11,0	11,0	11,3	-8,7		-6,7	3,8	2,018	2,0192	0,0013	-0,0012
	KONEC	16,5	14,0	15,0	15,2	-4,8							
5	START	16,5	14,0	15,0	15,2	-4,8		-3,9	1,8	2,0107	2,0112	0,0005	-0,0005
	KONEC	17,5	16,5	17,0	17,0	-3,0							
6	START	25,0	24,5	24,8	24,8	4,8		3,8	-2,0	2,0135	2,0112	0,0023	0,0023
	KONEC	23,1	22,9	22,4	22,8	2,8							
Ø z 580 baterií		20	20	20	20	0		0	0				0,0008

PŘÍLOHA P III: SROVNÁNÍ NG VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Příčina NG výsledku	Listopad	Březen
Falešný NG chladicího systému	65	19
Chybně připojena plnicí pistole	19	8
Špatně zasunutý konektor	16	5
Nenatlakovaný obal bateriového systému	13	12
Vadný propustný ventil na obalu bat. systému	8	9
Falešný NG obalu bateriového systému	8	6
Reálný NG chladicího systému	7	4
Vadná část uvnitř bateriového systému	6	5
Porušený těsnicí kroužek	5	6
Přetlakovaný obal bateriového systému	5	2
Oprava obalu bateriového systému po montáži	5	7
Nedotažené zátky na obalu bat. systému	5	3
Úpravy provedené u linky	4	5
Vadná část trubky	2	3
Vypadnutá podložka z těsnění	2	1
Těsnění mimo pozici	2	1
Reálný NG obalu bateriového systému	1	0
NG těsnění obalu bateriového systému	1	2
Celkový počet NG testů	174	98
Celkový počet OK testů	3399	3521
Celkový součet	3573	3619