



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# NÁVRH OPTIMALIZACE KONTROLNÍ ČINNOSTI U VYBRANÉHO PROCESU

THE PROPOSAL FOR THE OPTIMISATION OF CONTROL ACTIVITIES FOR A SELECTED PROCESS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ladislav Kocmánek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karla Maradová

BRNO 2023



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Ladislav Kocmánek**  
Studijní program: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Karla Maradová**  
Akademický rok: 2022/23

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

## Návrh optimalizace kontrolní činnosti u vybraného procesu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je provedení optimalizace kontrolní činnosti u vybraného procesu, kde v současné době firma provádí 100 % kontrolu po procesu lakování. Firma investovala do robotizace lakovacího procesu a nyní by nekvalita a stabilita měla být na vyšší úrovni než při manuálním lakování. Úkolem je navrhnout na základě naměřených hodnot změnu četnosti zkoušek a vyhodnotit ekonomický přínos.

### Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky (práškové lakování, robotizace).  
Systémový rozbor řešené problematiky vybraného procesu, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Statistické zpracování a vyhodnocení výsledků u vybraného procesu.

Návrh nové metodiky optimalizace kontrolní činnosti.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016: systémy managementu kvality - Požadavky. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6.

Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016: požadavky na systém managementu kvality v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu příslušných náhradních dílů v automobilovém průmyslu = Automotive quality management system standard IATF 16949:2016 : quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá optimalizací kontrolní činnosti ve vybraném procesu práškového lakování. V současné době čelí společnosti rostoucím zákaznickým požadavkům, které vyžadují vysokou kvalitu a rychlost výroby. Ve společnosti Hitachi Energy je proces práškového lakování jedním z nejdůležitějších procesů, po kterém je zavedena konečná kontrola všech lakovaných částí. Společnost již nadále nemůže vzhledem k situaci na pracovním trhu nabírat nové zaměstnance, ale musí snížit dobu a náklady spojené s kontrolou po laku. Práce se zaměřuje na celý proces práškového lakování, identifikuje nejčastější nekvalitu v procesu a stanovuje kořenové příčiny této nekvality. Na základě těchto příčin byly navrženy a implementovány řešení s cílem optimalizovat kontrolní činnost a snížit náklady na nekvalitu procesu lakování.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the optimization of control activities in the selected powder coating process. In today's companies face increasing customer demands that demand high quality and speed of production. At Hitachi Energy is the powder coating process one of the most important processes, after which is introduced the final inspection of all painted parts. Due to situation on the labor market, the company cannot longer recruit new employees, but it must reduce the time and costs associated with powder coating inspection. The thesis focuses on the entire process of powder coating, identifies the most common poor quality in the process and determines the root causes of this poor quality. Based on these causes, solutions were designed and implemented with the aim of optimizing the control activity and reducing the costs of the poor quality of the powder coating process.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Práškové lakování, kontrola laku, Ishikawův diagram, způsobilost měřidla, regulační diagram, optimalizace

## **KEYWORDS**

Powder coating, powder paint inspection, Ishikawa diagram, capability of a measuring equipment, control chart, optimization



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOCMÁNEK, Ladislav. Návrh optimalizace kontrolní činnosti u vybraného procesu. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149307>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Karla Maradová.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval své vedoucí Ing. Karle Maradové za rady, inspiraci a trpělivost v celém průběhu zpracování diplomové práce.

Chci poděkovat Hitachi Energy a svým kolegům v práci, kteří byli ochotni věnovat svůj drahocenný čas na měření bodů a debatu o procesních problémech práškové lakovny.

V neposlední řadě chci poděkovat mé manželce Veronice Kocmánkové, která byla moji největší podporou v době, kdy to díky pracovnímu nasazení a škole nebylo semnou příliš jednoduché. To jen díky ní jsem se dostal před konec této náročné pětileté cesty. Dále děkuji svým rodičům, rodině a kamarádům, kteří mně věřili, že to zvládnu.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 26.5.2023

.....

Ladislav Kocmánek



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>MANAGEMENT KVALITY</b>	<b>15</b>
2.1	Plánování kvality	15
2.2	Řízení kvality	16
2.2.1	Statistická regulace procesu	16
2.2.2	Metoda MSA	23
2.3	Metody a nástroje analýzy na zpracování dat v managementu kvality	27
2.3.1	Histogram	28
2.3.2	Vývojový diagram	29
2.3.3	Paretův diagram	30
2.3.4	Ishikawův diagram	30
2.4	Neustálé zlepšování v systémech managementu kvality	31
2.4.1	Cyklus PDCA	31
<b>3</b>	<b>ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VĚDY A TECHNIKY – PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ A ROBOTICKÉ LAKOVÁNÍ</b>	<b>33</b>
3.1	Práškové lakování	33
3.1.1	Mechanická předúprava	34
3.1.2	Chemická předúprava	36
3.1.3	Sušení	38
3.1.4	Práškový lak	39
3.1.5	Nanesení práškového laku	40
3.1.6	Recyklace práškového laku	42
3.1.7	Vytvrzení laku	43
3.1.8	Konečná kontrola procesu lakování	43
3.2	Robotické lakování	48
3.2.1	Proces implementace robotického lakování	48
3.2.2	Rozdělení lakovacích robotů	49
3.2.3	Řídící systémy pro lakovací roboty	50
<b>4</b>	<b>HITACHI ENERGY</b>	<b>51</b>
4.1	Představení společnosti Hitachi Energy	51
4.2	Výrobní závod Brno – Slatina	52
4.2.1	Organizační struktura	52
4.2.2	Mapa procesů	53
4.2.3	Layout výrobního závodu	55
4.3	Zapouzdřené plynem izolované vodiče velmi vysokého napětí	55
4.4	Proces výroby ve výrobním závodě v Brně	56
4.4.1	Výrobní proces svařování	56
4.4.2	Výrobní proces lakování	57
4.4.3	Výrobní proces montáže	60
4.4.4	Testování a expedice konečných výrobků	61
4.5	Management kvality	62
4.5.1	Metody managementu kvality	62
4.5.2	Zákaznický management kvality	65
4.5.3	Kontrolní činnosti vstupní kontroly	66
4.5.4	Výrobní kvalita	68
4.5.5	Mezioperační kontrola 1 – konečná kontrola procesu lakování	69

<b>5</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....</b>	<b>71</b>
5.1	Zákaznické požadavky .....	71
5.2	Zákaznické reklamace .....	72
5.3	Náklady na nekvalitu ve výrobním závodě Brno .....	74
<b>6</b>	<b>NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ ZADANÉHO ÚKOLU .....</b>	<b>75</b>
6.1	Vyhodnocení interních záznamů o nekvalitě .....	75
6.1.1	Vyhodnocení fiskálního roku 2022 .....	76
6.1.2	Příčiny slabé tloušťky laku.....	77
6.2	Rozbor potenciálních příčin slabé tloušťky laku.....	78
6.2.1	Analýza oblasti měření.....	78
6.2.2	Analýza oblasti metoda .....	79
6.2.3	Analýza oblasti prostředí.....	80
6.2.4	Analýza oblasti materiál.....	81
<b>7</b>	<b>STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ U VYBRANÉHO PROCESU.....</b>	<b>82</b>
7.1	Způsobilost měřidla .....	82
7.2	Analýza slabé tloušťky laku .....	87
7.2.1	Analýza slabé tloušťky vnitřního nátěru .....	88
7.2.2	Analýza slabé tloušťky vnějšího laku .....	93
<b>8</b>	<b>NÁVRH NOVÉ METODIKY OPTIMALIZACE KONTROLNÍ ČINNOSTI.....</b>	<b>100</b>
8.1	Návrh nové kontroly .....	100
8.1.1	Měření vnější tloušťky laku vodiče.....	100
8.1.2	Měření vnější tloušťky laku pouzdra.....	101
8.1.3	Měření vnější tloušťky laku hliníkového odlitku tvaru T .....	102
8.2	Návrh na zavedení statistické regulace procesu .....	103
8.2.1	Návrh zařízení pro sběr dat .....	104
8.2.2	Návrh na zavedení statistické regulace pro vnitřní lak.....	105
8.2.3	Návrh na zavedení statistické regulace pro vnější lak.....	106
8.3	Návrh experimentu .....	108
8.4	Ekonomické přínosy navrhovaných opatření .....	110
8.4.1	Ekonomické přínosy optimalizace kontrolní činnosti .....	110
8.4.2	Ekonomické přínosy experimentu.....	112
<b>9</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....</b>	<b>114</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>115</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>117</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>121</b>
12.1	Seznam tabulek.....	121
12.2	Seznam obrázků.....	122
12.3	Seznam zkratk a symbolů .....	124
<b>13</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>127</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>129</b>

# 1 ÚVOD

V dnešním konkurenčním prostředí je kvalita výrobků a služeb klíčovým faktorem pro úspěch firem. Společnosti by měly mít zájem o zlepšování svých výrobních i nevýrobních procesů, aby dokázaly konkurovat na trhu. Základem každé firmy je uspokojit zákaznické požadavky, a to hlavně v době, kdy je zájem o jeho výrobky na vzestupném trendu. Rostoucí výrobní objemy musí firma razantně a rychle řešit pomocí analýz svých procesů. Bez těchto analýz není firma schopna najít úzká místa ve svých procesech, které by mohla zlepšit nebo optimalizovat.

V současnosti existuje mnoho metod a nástrojů, které společnosti mohou použít pro zlepšení svých externích a interních procesů. Je nutné zvážit strategické cíle, které budou preferovat oblast, kterou chce společnost řešit. V konkurenčním prostředí je nutné mít tyto cíle neustále pod kontrolou a pravidelně vyhodnocovat jejich dosažení. Na základě vnějších a vnitřních vlivů musí společnosti své cíle obnovovat.

Při případném nárůstu zákaznických objednávek by měli společnosti reagovat na trh práce. V současnosti je v České republice nejnižší nezaměstnanost v celém Evropské unii. Jsou regiony jako Praha a Brno, kde je nezaměstnanost pouze kolem 2 %. To způsobuje radikální nedostatek pracovní síly, kdy jsou firmy nuceny potenciální kandidáty navzájem přeplácet. To způsobuje celkový nárůst nákladů a tím pádem zvýšení ceny pro koncového zákazníka. Za této situace společnosti investují nemalé peníze do digitalizace a robotizace svých procesů, tam kde je to možné. Díky využití moderních technologií Průmyslu 4.0 jsou výrobní podniky schopny snížit tlak na lidské zdroje. Na druhé straně je to riskantní strategie v případě poklesu zákaznických objednávek, kdy náklady na stroje nelze rychle snížit.

Hlavní roli při volbě tématu diplomové práce je pomoci společnosti Hitachi Energy v konkurenčním prostředí tím, že jsou sníženy interní náklady na vybraný proces. Hlavní motivací je pro autora prohloubení znalosti v oblasti procesu práškového, metod a nástrojů managementu kvality a celkový dopad a přínos diplomové práce společnosti, ve které je zaměstnán.





## 2 MANAGEMENT KVALITY

Management kvality je normou ČSN EN ISO 9000:2016 označován jako koordinované činnosti pro vedení a řízení organizace, pokud se týče kvality. Tento management je možné rozdělit do čtyřech oblastí, kterými jsou:

- plánování kvality,
- řízení kvality,
- prokazování kvality,
- zlepšování kvality. [1] [2]

Tyto čtyři rozsáhlé soubory procesů a činností pak nemohou být v organizacích prováděny bez vzájemné koordinace a harmonizace v rámci tzv. systémů managementu kvality. Systém managementu kvality je soubor vzájemně souvisejících prvků, který je nedílnou součástí celkového systému řízení organizací a který má garantovat maximalizaci spokojenosti zainteresovaných stran při minimální spotřebě zdrojů. [2]

### 2.1 Plánování kvality

Plánování kvality je první z částí, kterým se organizace věnuje. Organizace musí porozumět potřebám a očekáváním zainteresovaných stran, na základě, kterých stanoví své cíle a následně politiku kvality. Pomocí strategických cílů je poté schopna kontrolovat a vyhodnocovat plnění těchto cílů. [2]

Mezi zainteresované strany, které budou mít přínos po zavedení systému managementu kvality jsou:

- zákazníci,
- vrcholové vedení organizace,
- zaměstnanci,
- dodavatelé,
- společnost. [1] [2]

Schopnost naplňovat očekávání zainteresovaných stran splní organizace pouze pomocí strategických zásad, které budou tvořit pevné základy celé organizace. Základními principy moderního managementu kvality jsou:

- zaměření na zákazníka,
- vůdcovství,
- zapojení zaměstnanců,
- učení se,
- flexibilita,
- procesní přístup,
- systémový přístup k managementu,
- management na základě faktů,
- vzájemně prospěšné vztahy s dodavateli,
- společenská odpovědnost. [2]

## 2.2 Řízení kvality

Řízení kvality je soubor povinností, které musí výrobce nebo poskytovatel služby zajistit, aby jeho produkt splňoval požadavky na kvalitu. Řízení kvality zahrnuje plánování, koordinace a usměrňování činností, motivace pracovníků, průběžná kontrola, zajištění nápravy neshod atd. [1] [2] [3]

Nejznámější metody řízení kvality výroby jsou:

- metoda QFD,
- metoda FMEA,
- metoda SPC,
- metoda DOE,
- metoda Poka – Yoke,
- metoda MSA,
- metoda FTA. [2] [4]

V závěrečné práci jsou uvedeny pouze metody statistické regulace procesu a analýzy měřících systémů, které byly aplikovány ve vybraném výrobním procesu.

### 2.2.1 Statistická regulace procesu

Statistická regulace procesu (SPC – Statistical Process Control) je preventivní nástroj řízení jakosti, který na základě včasného odhalování významných odchylek v procesu od předem stanovené úrovně, umožňuje realizovat zásahy do procesu tak, aby byla kvalita dlouhodobě udržována na stabilní a přípustné úrovni. [5]

Hlavním cílem SPC je dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutém stavu tak, aby se zajistila shodnost výrobků se zadanými požadavky (tj. způsobilý proces). [5]

Tohoto cíle dosáhneme pomocí čtyř fází:

- fáze přípravná,
- fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu,
- fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu,
- fáze vlastní statistické regulace procesu. [2] [5]

Základními nástroji pro analýzu procesu jsou:

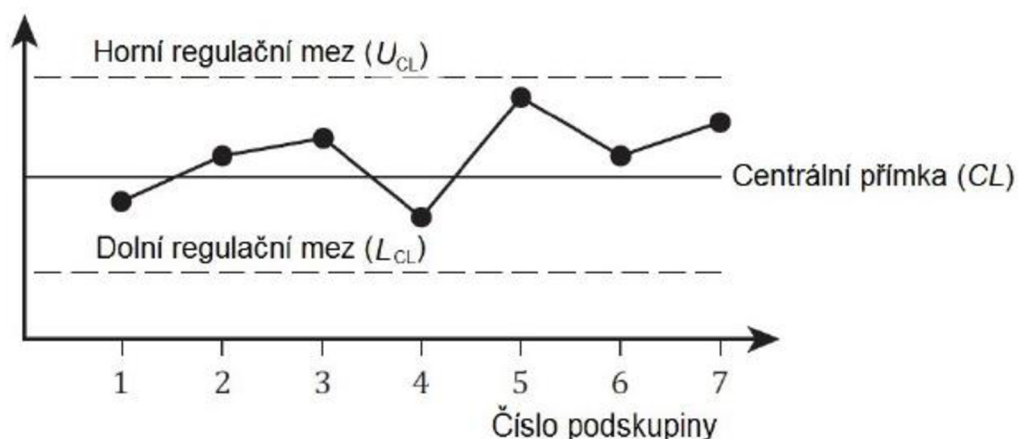
- histogram,
- regulační diagram. [2]

#### Shewhartovy regulační diagramy

Shewhartův regulační diagram je graf, který se používá k zobrazení statistiky získané z hodnot buď měřitelných, nebo atributivních znaků. Regulační diagram vyžaduje data z logických podskupin, které mají být odebírány z procesu v přibližně pravidelných intervalech. Intervaly mohou být vymezeny časově nebo množstvím. Vybrané podskupiny jsou tvořeny stejným

znakem procesu, výrobku nebo služby. Z každé podskupiny se získá jedna nebo více charakteristik (průměr  $\bar{X}$ , rozpětí v podskupině  $R$ , směrodatná odchylka  $s$ ). Pomocí těchto dat lze v regulačním diagramu určit, zda je proces statisticky zvládnutý. [6]

Základní regulační diagram se skládá ze tří přímk (Obr. 1). Centrální přímka ( $C_L$ ) je umístěna v referenční hodnotě zakreslené charakteristiky. Jedná se o průměrnou hodnotu uvažované statistické charakteristiky. Tato hodnota může vycházet z dlouhodobé hodnoty znaku dané specifikací produktu. Hodnoty také mohou vycházet z minulé zkušenosti s procesem, který byl ve statisticky zvládnutém stavu. Horní regulační mez ( $U_{CL}$ ) a dolní regulační mez ( $L_{CL}$ ) jsou umístěny ve vzdálenosti 3 sigma na každé straně centrální přímk, kde sigma je známá nebo odhadnutá směrodatná odchylka. [2] [6]

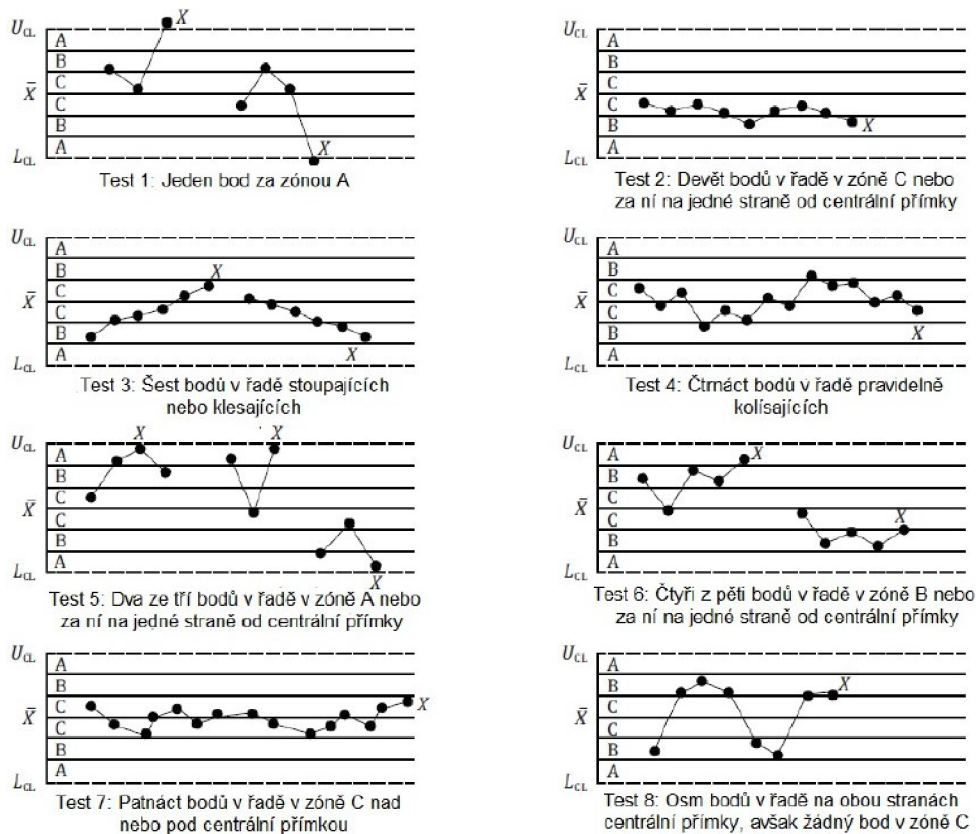


Obr. 1) Náčrt regulačního diagramu [6]

Za předpokladu, že zakreslovaná statistika má normální rozdělení, znamenají 3 sigma meze, že 99,73 % hodnot této statistiky bude ležet uvnitř regulačních mezí. V případě překročení těchto hranic bude proces považován za statisticky nezvládnutý a je nutný zásah. Výrobní procesy si nastavují i varovné regulační meze v hodnotě 2 sigma ( $U_{WL}$  a  $L_{WL}$ ). Pokud se naměřené hodnoty dostanou nad nebo pod varovné meze není nutný zásah do procesu, ale pouze upozornění na možné budoucí komplikace v procesu. Pokud se proces dlouhodobě pohybuje mezi  $U_{CL}$  a  $U_{WL}$  nebo  $L_{CL}$  a  $L_{WL}$  znamená, že na proces již nepůsobí pouze náhodné vlivy a nutný zásah. Proces je statisticky zvládnutelný pouze tehdy, je-li zřejmé, že na něj působí pouze náhodné vlivy. [6] [7]

Pokud je proces ve statisticky zvládnutém stavu, tak to neznamená, že na něj nepůsobí žádná vymezená příčina. Proto byly v minulém stolení vytvořeny testy seskupení pro vymezené příčiny kolísání. Kolísání nemusí být natolik velké, aby se projevil vně nastavených mez, ale i přesto mohou naznačovat určitou nestabilitu v procesu. Při vyhodnocení regulačních diagramu by měl pracovník kvality vždy brát v pozornosti náznaky a indikovat vlivy vymezených příčin v procesu. [6] [7]

Testy vymezených příčin na základě seskupených bodů je určena normou ČSN ISO 7870-2:2018 (Obr. 2). [6]



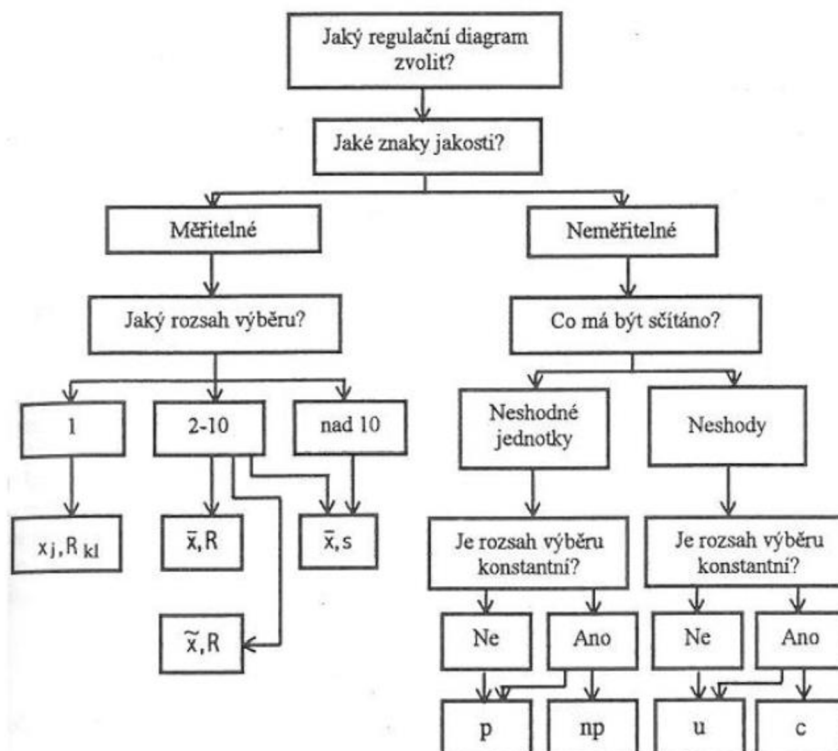
Obr. 2) Testy vymežitelných příčin [6]

Rozlišují se dva typy statistické regulace v závislosti na charakteru sledovaného znaku kvality:

- statistická regulace měřením,
- statistická regulace srovnáváním. [8]

Pokud je možnost volby mezi statistickou regulací měřením a srovnáváním, měla by být volena přednostně regulace měřením. Regulační diagram měřením signalizuje mnohem dříve působení vymežitelných příčin, než vznikne neshodný výrobek. [6] [8]

Pro volbu vhodného regulačního diagramu lze použít rozhodovací strom (Obr. 3). [8]



Obr. 3) Rozhodovací strom pro volbu regulačního diagramu [8]

### Statistická regulace měřením

Statistická regulace měřením se používá pouze v případech, kdy sledovaný znak kvality je měřitelný (délka, hmotnost, tvrdost atd.). Při regulaci měřením se pracuje vždy s dvojicí regulačních diagramů. V jednom diagramu se v časové závislosti vynáší výběrová charakteristika, která popisuje polohu procesu, a ve druhém výběrová charakteristika, která vyjadřuje variabilitu hodnot. [8]

Možnosti jsou:

- výběrový průměr a výběrové rozpětí ( $\bar{x}-R$ ),
- výběrový průměr a výběrová směrodatná odchylka ( $\bar{x}-s$ ),
- výběrový medián a výběrové rozpětí ( $Me - R$ ). [8]

Výpočtové vztahy pro regulační diagram:

- aritmetický průměr,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

- směrodatná odchylka,

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

Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měření jsou shrnuty v Tab 1).

Tab 1) Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měření [6]

<b>Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měření</b>				
<b>Diagramy</b>	<b>Typ grafu</b>	<b>Poloha centrální přímky CL</b>	<b>Horní regulační mez UCL</b>	<b>Dolní regulační mez LCL</b>
(x̄, R)	x̄	x̄	x̄ + A <sub>2</sub> · R̄	x̄ - A <sub>2</sub> · R̄
	R	R̄	D <sub>4</sub> · R̄	D <sub>3</sub> · R̄
(x̄, s)	x̄	x̄	x̄ + A <sub>3</sub> · s̄	x̄ - A <sub>3</sub> · s̄
	s	s̄	B <sub>4</sub> · s̄	B <sub>3</sub> · s̄
(M <sub>e</sub> , R)	M <sub>e</sub>	M̄ <sub>e</sub>	M̄ <sub>e</sub> + A <sub>4</sub> · R̄	M̄ <sub>e</sub> - A <sub>4</sub> · R̄
	R	R̄	D <sub>4</sub> · R̄	D <sub>3</sub> · R̄

kde: x̄...aritmetický průměr z aritmetických průměrů výběru,

R̄...průměr variačních rozpětí výběrů,

s̄...průměr směrodatných odchylek výběrů,

M̄<sub>e</sub>...průměr mediánů,

A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>...součinitelé pro výpočet regulačních mezí.

### Statistická regulace srovnáváním

U statistické regulace srovnáváním se sleduje neměřitelný znak kvality (vzhled výrobku, zatečení svaru atd.), kde se identifikují neshodné výrobky nebo se u nich stanovuje počet neshod. Při regulaci srovnáváním se pracuje s jedním regulačním diagramem. [8]

Možnosti jsou:

- podíl neshodných jednotek (diagram p),
- počet neshodných jednotek (diagram np),
- počet neshod na jednotku nebo na 100 jednotek (diagram c),
- podíl neshod na jednotku nebo na 100 jednotek (diagram u). [8]

Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním jsou shrnuty v Tab 2).

Tab 2) Vztahy pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním [6]

Vztahy pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním			
Diagramy	Poloha centrální přímký $C_L$	Horní regulační mez $U_{CL}$	Dolní regulační mez $L_{CL}$
p	$\bar{p}$	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$	$\bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$
n·p	$n \cdot \bar{p}$	$n \cdot \bar{p} + 3 \sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}$	$n \cdot \bar{p} - 3 \sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}$
c	$\bar{c}$	$\bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}}$
u	$\bar{u}$	$\bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$	$\bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$

kde:  $\bar{p}$ ...průměrný podíl neshodných jednotek výběru,

$\bar{n}$ ...průměrný rozsah výběrů,

$\bar{u}$ ...průměrný počet neshod na jednotku ve výběrech,

$\bar{c}$ ...průměr počet neshod ve výběrech.

### Způsobilost procesu

K hodnocení způsobilosti procesu se používají indexy způsobilosti. Indexy způsobilosti porovnávají předepsanou maximálně přípustnou variabilitu hodnot danou tolerančními mezemi se skutečnou variabilitou sledovaného znaku jakosti dosahující u statisticky zvládnutého procesu. Pro hodnocení způsobilosti procesu musí být proces ve statisticky zvládnutém stavu a rozdělení sledovaného znaku jakosti musí odpovídat normálnímu rozdělení. [2] [8]

Pro hodnocení způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků jakosti se může postupovat takto:

- volba znaku jakosti,
- analýza systému měření,
- shromažďování údajů,
- posouzení statisticky zvládnutého stavu,
- ověření normality sledovaného znaku,
- výpočet indexu způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami. [2]

Index způsobilosti procesu  $c_p$  je mírou potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Lze ho stanovit pouze v případech, kdy jsou specifikovány oboustranné toleranční meze. Hodnota indexu  $c_p$  je poměrem maximálně přípustné a skutečné variability hodnot znaku bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. [2]

Výpočet indexu způsobilosti  $c_p$ :

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

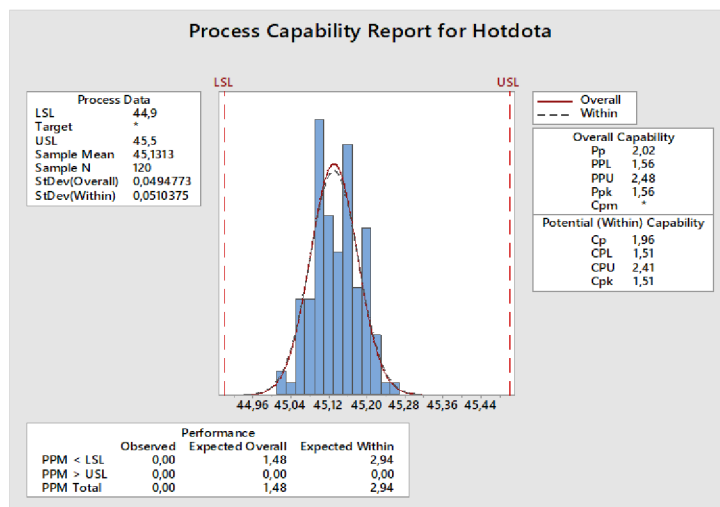
kde: LSL...dolní toleranční mez,  
 USL...horní toleranční mez,  
 $\sigma$ ...směrodatná odchylka.

Index způsobilosti  $c_{pk}$  na rozdíl od indexu  $c_p$  zohledňuje nejen variabilitu sledovaného znaku kvality, ale i jeho polohu vůči tolerančním mezím. Index  $c_{pk}$  tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. [2]

Výpočet indexu způsobilosti  $c_{pk}$ :

$$c_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (4)$$

kde: LSL...dolní toleranční mez,  
 USL...horní toleranční mez,  
 $\sigma$ ...směrodatná odchylka,  
 $\mu$ ... střední hodnota sledovaného znaku kvality



Obr. 4) Výpočet způsobilosti procesu v Minitabu



Pro vyhodnocení indexů způsobilosti procesu jsou stanoveny hodnoty, podle kterých se způsobilost určuje (Tab 3) .

Tab 3) Hodnoty indexu způsobilosti procesu [9]

Hodnoty indexů způsobilosti procesu			
Indexy způsobilosti procesu	Hodnocení procesu	Opatření	Kontrolní opatření při dalším ověřování procesu
$c_p, c_{pk} < 1,00$	<b>Nezpůsobilý</b>	Zastavení produkce, odstranění příčin nezpůsobilosti procesu	100 % kontrola výrobků po stanovenou dobu
$1,00 \leq c_p, c_{pk} < 1,33$	<b>Podmíněně způsobilý</b>	Pokračování produkce. Zvýšená periodická kontrola produktu	Analýza možností zvýšení způsobilosti procesu
$c_p, c_{pk} \geq 1,33$	<b>Způsobilý</b>	Pokračování produkce při standardní periodické kontrole	Analýza možností snižování variability procesu

### 2.2.2 Metoda MSA

MSA (Measurement Systems Analysis) byla vytvořena ve Spojených státech tak zvanou „Big Three“, tedy automobilkami Ford, General Motors a Chrysler. Tito největší zástupci automobilového průmyslu v USA pracují společně pod záštitou ASQC a AIAG. Cílem bylo standardizovat manuály, procesy a zavedení jednotných formátů dokumentace, hlavním cílem však bylo vylepšení přesnosti celého systému měření. [8]

Přestože byla původně vyvinutá v automobilovém průmyslu, používá se vzhledem ke své praktičnosti a univerzálnosti také v dalších odvětvích. Metoda MSA se používá pro hodnocení jak samotného měřidla (např. kalibrovaného měřidla), tak na posouzení celého systému měření. [8]

MSA má za cíl především:

- určit způsobilost měření,
- určit zdroje variability systému měření,
- popsat zdroje variability statickými a metrologickými veličinami,
- přinést potřebné informace o systému měření. [2] [8]

### Způsobilost měřicího systému

Analýzy způsobilosti měřicích systémů jsou řazeny mezi klíčové nástroje používané pro zajištění kvality výroby. Jedná se o metody, které zkoumají kvalitu naměřených hodnot, tedy posuzují vhodnost nasazení daného měřicího systému pro konkrétní aplikaci, zda splňuje příslušná kritéria. Je ověřováno, zda jsou výsledky měření relevantní pro manažerská rozhodování a nejsou omezeny pouze na vlastní měřidlo. [2] [8]

## Způsobilost měřidla

Prokazování způsobilosti měřidel je součástí hodnocení způsobilosti měřicího systému. Provádí se u měřidel, která vstupují rozhodujícím způsobem do výrobních procesů a která mají vliv na znaky procesu a výslednou kvalitu výrobku. Způsobilost měřidel se tak následně odvozuje z nejistoty měření měřícím systémem ve vztahu k toleranci kontrolovaného znaku a je prováděna ještě předtím, než je měřidlo použito k zamýšlenému účelu. [2]

Způsobilost měřidla se vyjadřuje za pomoci indexů  $c_g$  a  $c_{gk}$ . Stanovení způsobilosti měřidla je podobný stanovení způsobilosti procesu  $c_p$  a  $c_{pk}$ . [2]

Index způsobilosti měřidla  $c_g$  hodnotí správnost měřidla ve smyslu vztahu:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} \quad (5)$$

kde:  $T$ ...toleranční pole pro danou operaci,

$s_g$ ...směrodatná odchylka naměřených hodnot.

Index způsobilosti měřidla  $c_{gk}$  hodnotí správnost měřidla ve smyslu vztahu:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T |\bar{x}_g - x_e|}{3 \cdot s_g} \quad (6)$$

kde:  $T$ ...toleranční pole pro danou operaci,

$s_g$ ...směrodatná odchylka naměřených hodnot,

$\bar{x}_g$ ...průměrná naměřená hodnota,

$x_e$ ...etalonová hodnota.

Pro vyhodnocení indexů způsobilosti měření jsou stanoveny hodnoty, podle kterých se způsobilost určuje (Tab 4) .

Tab 4) Hodnoty indexů způsobilosti měřidla [10]

Hodnoty indexů způsobilosti měřidla	
Indexy způsobilosti měřidla	Interpretace
$c_g, c_{gk} < 1,33$	Měřidlo je nezpůsobilé pro měření
$c_g, c_{gk} \geq 1,33$	Měřidlo je způsobilé pro měření požadované tolerance

## Výpočet ukazatele vhodnosti dle VDA – 5

Metodika VDA – 5 (Verband der Automobilindustrie), která je normou vytvořenou pro automobilový průmysl. Norma zkoumá procesy a měřicí systémy, kde výsledkem je určení vhodnosti procesu měření a získání důkazů vhodnosti systému měření atributivních znaků. [11]

Při výpočtu je potřeba vypočítat složky nejistoty, které se skládají z nejistota kalibrace ( $u_{cal}$ ), opakovatelnosti ( $u_{evr}$ ), nejistota bias (vychýlení –  $u_{BI}$ ) a kombinované nejistoty měřicího systému  $u_{MS}$  a rozšířená nejistota měřicího systému  $u_{MS}$  ( $k=2$ ). [11]

Výpočet nejistoty kalibrace  $u_{cal}$  ( $k=2$ ) je:

$$u_{cal} = \frac{u_{RE}}{k} \quad (7)$$

kde:  $u_{RE}$ ...rozlišení měřidla,

$k$ ...koeficient rozšíření.

Výpočet opakovatelnosti  $u_{evr}$  je:

$$u_{evr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Výpočet nejistoty bias (vychýlení)  $u_{BI}$  je:

$$u_{BI} = \frac{|\bar{x} - x_m|}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

kde:  $\bar{x}$ ...aritmetický průměr,

$x_m$ ... naměřená hodnota při kalibraci.

Výpočet kombinované nejistoty měřicího systému  $u_{MS}$  je:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{evr}^2 + u_{LN}^2 + u_{BI}^2} \quad (10)$$

kde:  $u_{LN}$ ...nejistota linearity.

Výpočet rozšířené nejistoty měřicího systému  $u_{MS}$  ( $k=2$ ) je:

$$u_{MS}(k = 2) = u_{MS} \cdot k \quad (11)$$

kde:  $k$ ...koeficient rozšíření.

Po výpočtu složek nejistoty je vypočtena rozlišitelnost měřicího systému ( $\leq 5\%$  tolerance), ukazatel vhodnosti  $Q_{MS}$  a minimální tolerance, pro kterou je systém ještě vhodný  $TQ_{LMN-UMS}$ . [11]

Výpočet rozlišitelnosti měřicího systému ( $\leq 5\%$  tolerance):

$$RE = \left(\frac{0,1}{T}\right) \cdot 100 [\%] \quad (12)$$

kde:  $T$ ...toleranční pole.

Výpočet ukazatele vhodnosti  $Q_{MS}$  je:

$$Q_{MS} = 2 \cdot \left(\frac{u_{MS}(k = 2)}{T}\right) \cdot 100 [\%] \quad (13)$$

Výpočet minimální tolerance, pro kterou je systém ještě vhodný  $TQ_{LMN-UMS}$ :

$$TQL_{Mn-UMS} = \frac{2 \cdot u_{MS}(k = 2)}{\frac{Q_{MS-max}}{100}} \quad (14)$$

kde:  $Q_{MS-max}$ ... mezní hodnota ukazatele vhodnosti.

### Způsobilost procesu měření

Analýza způsobilosti procesu je důležitá především pro plánování a řízení jakosti produktů. Proces měření obsahuje navíc kromě nejistot obsažených v systému měření několik dalších nejistot (změna teploty, homogenita měřené části, interakce atd.), výpočet způsobilosti procesu měření a způsobilosti systému měření jsou tedy odlišné. [2] [8]

K jejímu hodnocení se využívá indexů způsobilosti, které porovnávají maximální přípustnou variabilitu (odchylku od normálu) hodnot sledovaného znaku jakosti s jeho skutečnou variabilitou dosahovanou u statisticky zvládnutého procesu. [2] [8]

Cíle způsobilosti měření:

- způsobilost procesu je schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality,
- snaha vyjádřit způsobilost číselně a srozumitelně pomocí indexů ( $Q_{MP}$ ,  $C_{MP}$ ,  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$  a  $P_{pk}$ ). [2]

Jedním ze způsobů popisu způsobilosti měřicího procesu jsou tzv. indexy způsobilosti a výkonnosti procesu:

- index způsobilosti  $C_p$ ,
- index způsobilosti  $C_{pk}$ ,
- index výkonnosti procesu  $P_p$ ,
- index výkonnosti procesu  $P_{pk}$ . [2]

### **2.3 Metody a nástroje analýzy na zpracování dat v managementu kvality**

Pro zlepšování jakéhokoliv procesu je důležité použití základních nástrojů managementu jakosti. Při používání metod DMAIC (D – definování, M – měření, A – analýza, I – zlepšování, C – kontrola, regulace) nebo Lean Six Sigma chce uživatel těchto metod docílit co nejlepšího výsledku. Pomocí základních statistických a grafických nástrojů je možné toho docílit. [2]

Sedm základních nástrojů managementu kvality je:

- kontrolní tabulky a záznamníky,
- histogram,
- vývojový diagram,
- Paretův diagram,
- Ishikawův digram,

- statistická regulace procesů,
- případová studie. [2]

V další části diplomové práce jsou rozebrány pouze nástroje, které byly využity pro dosažení cílů závěrečné práce. [2]

### 2.3.1 Histogram

Histogram (Obr. 5) představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četností. Histogram je sloupcový graf se sloupci ve většině případů stejné šířky, kde základna jednotlivých sloupců odpovídá šířce třídního intervalu a výška sloupců většinou vyjadřuje četnosti hodnot sledované veličiny (např. počet vyrobených dílců určitého druhu jakosti). Každý interval je definován dolní a horní hranicí. Díky přehlednosti a vcelku jednoduchému sestavení je histogram řazen k nejznámějším a v praxi nejpoužívanějším jednoduchým statistickým nástrojům. Pro použití histogramu jsou využívány statistické aplikace typu Microsoft Excel nebo Minitab. Pro sestavení histogramu jsou definovány vzorce, které jsou uvedeny níže. [2]

Sestavení histogramu:

- výpočet variačního rozpětí (výběrového rozpětí) souboru R: rozdíl max. a min. hodnoty:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (15)$$

- stanovení počtu třídních intervalů  $k$ :

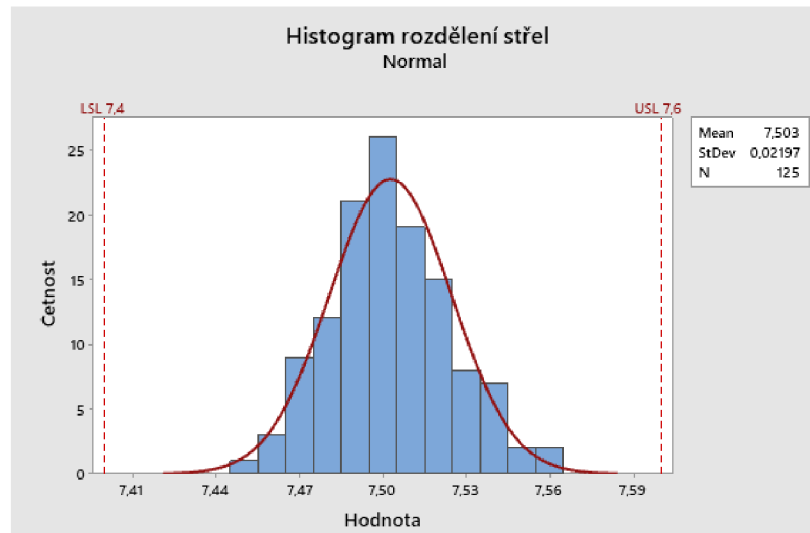
$$k = 5 \cdot \log N \quad (16)$$

kde:  $N$ ...je rozsah zkoumaného souboru.

Počet intervalů je volen mezi 7-20.

- stanovení šířky třídního intervalu:

$$h = \frac{R}{k} \quad (17)$$



Obr. 5) Histogram pomocí programu Minitab

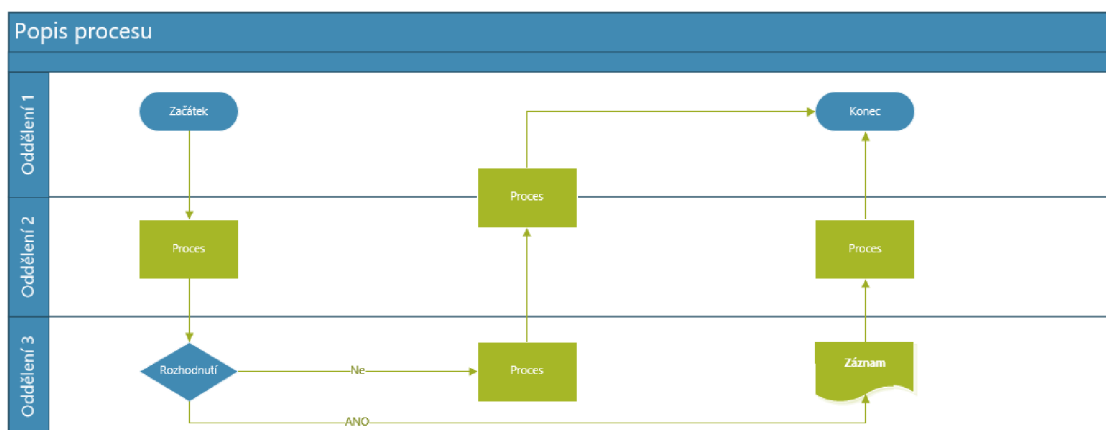
### 2.3.2 Vývojový diagram

Vývojový diagram je praktický nástroj používaný pro popis jakéhokoliv procesu. Je to konečný orientovaný graf s jedním začátkem a jedním koncem. Struktura a sekvence aktivit tvořících popisovaný proces je v grafu vyjádřena operačními bloky, zobrazujícími činnosti, a rozhodovacími bloky. [2]

Jsou tři typy vývojových diagramů:

- lineární vývojový diagram,
- vývojový diagram vstup/výstup,
- integrovaný vývojový diagram (Obr. 6). [2]

Při tvorbě vývojového diagramu je nutné znát dokonale proces a při dokončení by měl být pochopitelný i pro člověka, který proces nezná. Měl by být jednoduchý, jasný a přehledný. Pro praktické využití vývojového diagramu je možné využít aplikace Microsoft Visio. [4]

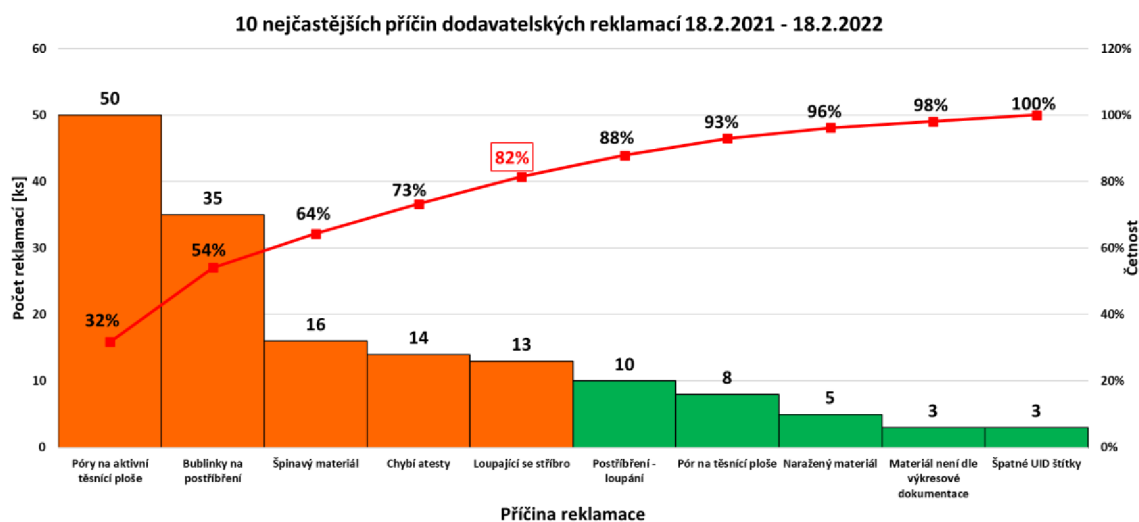


Obr. 6) Příklad integrovaného vývojového diagramu

### 2.3.3 Paretův diagram

Italský sociolog a ekonom Vilfredo Pareto v 19. století zjistil, že 80 % bohatství vlastní 20 % obyvatelstva. Americký odborník na jakost J. M. Juran označil zobecnění tohoto rozdělení jako Paretův princip (Paretův zákon či pravidlo 80/20) a na jeho základě zformuloval závěr, že 80-95 % problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5–20 %). Na příčiny tvořící tuto menšinu je potřeba se zaměřit přednostně. Když je vyřešena tato menšina, tak v procesu zůstane pouze triviální většina označena později jako užitečná většina. Pomocí Paretova pravidla je zaměřeno na skutečné problémy a procesy, které nám ovlivňují nejvíce jakost. Díky tomu nejsou v procesu řešeny příčiny, které po odstranění přinesou pouze malý užitek. V oblasti řízení jakosti je Paretův diagram jedním z nejefektivnějších běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. [2]

Na začátku je nutné si zvolit vhodné faktory, hlediska analýzy a správný sběr a záznam dat. Nejvhodnější vyjádření Paretova diagramu (Obr. 7) je grafické znázornění pomocí sloupcového grafu. Při tvorbě diagramu je nutné vybrat pouze určitý počet příčin, z kterých je vybíráno. Při tvorbě položek z různých příčin se stejným nízkým počtem četností ke konci diagramu je lepší diagram zkrátit a tyto příčiny vynechat. Data jsou pak méně zkreslená a prokazatelnější. Důležitý je popis os diagramu a název. Dalším vylepšením diagramu může být barevné označení sloupců, které je potřeba řešit nebo výrazně vyznačit zlomových 80 %. Pozorovatelé při prezentaci Paretova diagramu pak rychleji pochopí, kde jsou největší problémy ve vybraném procesu a na co je potřeba se zaměřit. Pro tvorbu je možné využití aplikací Microsoft Excel nebo Minitab. [2]



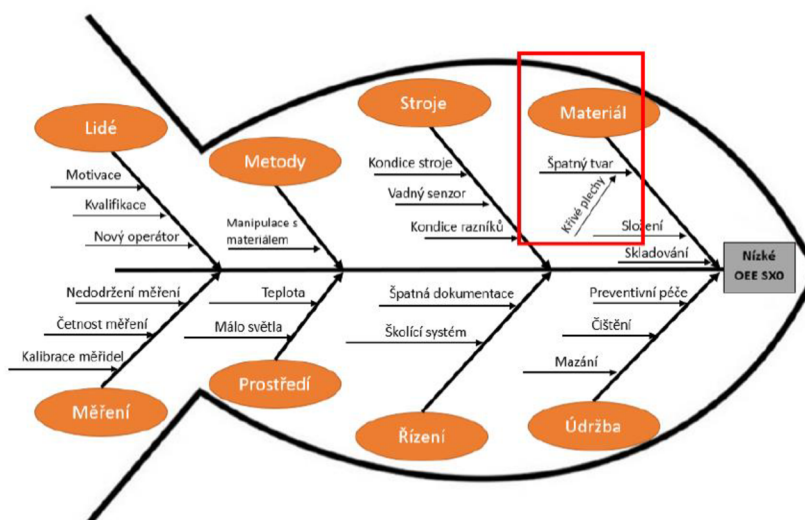
Obr. 7) Příklad Paretova diagramu

### 2.3.4 Ishikawův diagram

Ishikawův diagram (Obr. 8) je grafický nástroj, který logicky a v uspořádané formě zobrazuje příčiny daného následku. Umožňuje najít skutečné příčiny následků, ne pouze symptomy, a zvolit nejefektivnější řešení problému. Tento nástroj je základním a jednoduchým nástrojem shromažďování informací o procesech, výsledcích a výkonnosti procesu za účelem zdokonalování procesů. Je znám i jako diagram příčin a následků nebo dle anglického překladu



rybí kost, neboť jeho tvar připomíná rybu. Při tvorbě je zvolen následek, který je potřeba analyzovat, a pomocí základních zvolených příčin (lidé, metody, stroje, materiál, měření, prostředí, řízení, údržba) je podrobně hledána kořenová příčina. Tvorba diagramu by měla být vždy týmová práce, kdy každý člen týmu přidá originální pohled ze své části odbornosti. Na konci jsou zvoleny nejpravděpodobnější kořenové příčiny následku, které je nadále potřeba zanalyzovat. [2]



Obr. 8) Příklad Ishikawa diagramu

## 2.4 Neustálé zlepšování v systémech managementu kvality

Procesy neustálého zlepšování v managementu kvality jsou chápány jako schopnost neustále zvyšovat požadavky na kvalitu. Je to tedy dosahování vždy vyšší úrovně kvality při porovnání s předchozím stavem. Zlepšování by nikdy nemělo být považováno za jednorázovou aktivitu. Bez procesů neustálého zlepšování organizace nebudou schopni plnit požadavky a kritéria svých zákazníků. Požadavky zákazníků se totiž dynamicky mění a jsou neustále náročnější. Organizace musí neustále odstraňovat jakékoliv vnější vlivy a vnitřní neefektivnosti, aby mohla nabízet své produkty za přijatelnou cenu. Jinak přestanou být konkurenceschopné a mohou zaniknout. [2] [3]

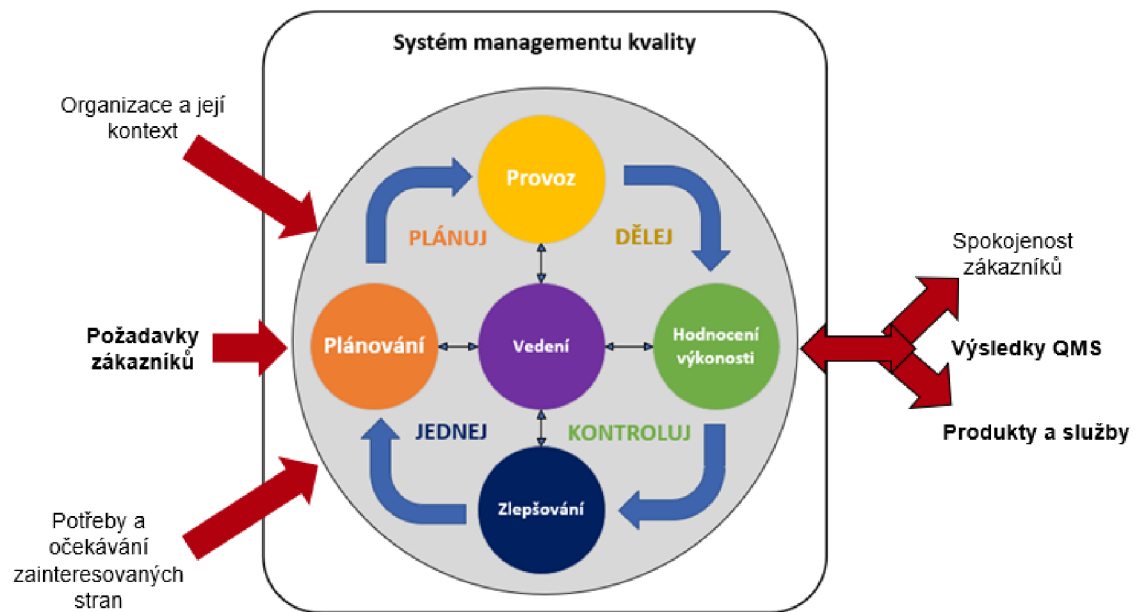
### 2.4.1 Cyklus PDCA

Proces neustálého zlepšování je možné rozpracovat do jednotlivých kroků, kterými by se organizace měla zabývat. Tyto kroky je možné dát do Demingova cyklu PDCA (Plan – Do – Check – Act), který je základním modelem zlepšování. [3]

Cyklus PDCA se skládá ze čtyř fází:

- plan (plánuj),
- do (dělej),
- check (zkontroluj),
- act (reaguj). [3]

Tento cyklus lze aplikovat na všechny procesy a na systém managementu kvality jako celek (Obr. 9).



Obr. 9) Znárodnění managementu kvality v cyklu PDCA [3]

## 3 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VĚDY A TECHNIKY – PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ A ROBOTICKÉ LAKOVÁNÍ

V diplomové práci je rozbor práškového lakování pomocí plně automatizované robotické lakovny. V současnosti je robotizace a automatizace procesů jedno z hlavních témat výrobních společností. Společnosti si najímají externí firmy specializující se na automatizaci procesů. Na začátku projektu je to velká investice, ale ekonomický dopad automatizace je projeven v budoucích nákladech a tím i ceně konečného výrobku. Společnosti mohou být více konkurenceschopné na průmyslovém trhu. Každá automatizace ale přináší riziko spojené s plným využitím kapacity výrobního procesu. Klesající poptávka a zákaznické objednávky mohou společnosti s plnými automatickými linkami způsobovat ekonomické ztráty. Nejvhodnější procesy pro automatizaci jsou nepřetržité procesy, třisměnné procesy, kdy výrobní kapacita je využita na maximum. Výhodou automatizace je také zvýšená kvalita konečného výrobku, kdy se z procesu odstraňují hrubé chyby, které může způsobit lidský faktor. V kapitole je uvedena technologie práškového lakování pomocí automatických robotických linek.

### 3.1 Práškové lakování

Práškové lakování je dnes jedna z rozšířených metod povrchové úpravy kovů ve všech oblastech průmyslu. Práškové lakování je možno využít v automobilovém průmyslu, energetickém průmyslu, chemickém průmyslu, stavebním průmyslu, kde může být využito při vnějších opláštění budov. Oblíbenost práškového lakování je způsobeno nejen díky svým vlastnostem, ale také díky šetrnosti k životnímu prostředí. Jeho předními vlastnostmi jsou chemická odolnost, korozní odolnost, mechanická odolnost, odolnost proti vnějším vlivům, odolnost proti opotřebení. Práškové lakování díky svým vlastnostem je výhodné i po ekonomické stránce. Jeho způsob nanášení nespotřebovává velké množství barvy a následné vytvrzení barvy je provedeno ve vytvrzovací peci ve velice krátkém čase. Při správně nastavených technologických podmínkách dojde k výraznému zvýšení produktivity práce, díky kterým lze dosáhnout značných ekonomických úspor. [12]

Práškové lakování je technologie založená na nanášení jemně mletých elektrostaticky nabitých částí pryskyřice a pigmentu na povrch kovových (vodivých) součástí. Částice přilnou k povrchu materiálu díky tomu, že jsou neutrálně uzemněny. Částice jsou takto přilnuty na materiálu až do vytvrzovací pece. Často je tato metoda označována jako suchá. Důvodem je porovnání s mokřím lakováním, kdy při metodě mokrého lakování dochází k ponoru materiálu do roztoku, ale při práškovém lakování je nátěr nanášen tlakem. [13] [14] [15]

Metodu práškového lakování lze využít nejen na kovové materiály, ale díky vlastnostem speciálních práškových nátěrových hmot (PNH) nebo práškové pasty v kombinaci s teplotou ve vytvrzovací peci se metoda využívá i pro materiály jako jsou sklo, plasty, keramika, měď a hliník. Dopady na životní prostředí se minimalizují pomocí recyklace barev, kdy dochází k opětovnému využití prášku. Skutečný odpad, který způsobuje práškové lakování činí 2-3 % z celkové spotřeby barvy. [13] [14] [15]

Celkový proces práškového lakování se skládá z více navzájem propojených procesů, kterými jsou (Obr. 10):

- mechanická předúprava,
- chemická předúprava,
- sušení
- nanášení práškového laku,
- vytvrzení laku,
- chlazení,
- konečná kontrola procesu lakování.



Obr. 10) Proces práškového lakování

### 3.1.1 Mechanická předúprava

Prvním procesem práškového lakování je mechanická předúprava lakovaného povrchu. Během mechanické úpravy povrchů jsou z materiálu odstraněny hrubé nečistoty, je zlepšena přilnavost a mechanické vlastnosti a také zvýšena korozivzdornost. Metodami, kterými lze provést mechanickou předúpravu jsou: broušení, kartáčování, leštění, tryskání a omílání. Pomocí metod je dosaženo sjednocené kvality povrchu před dalšími procesy. Velkým přínosem může být i ekonomická stránka, kdy povrchy, které jsou bez velké drsnosti, mohou přispět k menší spotřebě práškové nátěrové hmoty (PNH). Materiály od různých dodavatelů, kde je sjednocena drsnost před nanesením nátěrové hmoty (NH), mohou pomocí automatického přenastavení programu při aplikaci nátěru ušetřit velké množství barvy. Následkem bude ekonomický a enviromentální přínos. [16]

Broušení materiálů probíhá na suchém povrchu pomocí brusiva se zrnitostí od 24 do 100 pro hrubé broušení, 120 až 240 pro vyhlazování a 280 až 500 pro přešlešťování povrchů. Díky broušení materiálu dojde k odstranění hrubých nerovností povrchu. Jsou použity brusné pásy a kotouče s volnou nebo pevnou vazbou abraziva (Obr. 11). [14]



Obr. 11) Broušení pomocí brusného kotouče [17]

Kartáčování se při mechanické předúpravě využívá k odstranění starých nátěrů, rzi a hrubých nečistot. Kotouče, které jsou při této metody využívány jsou z ocelového drátu (rovného nebo vlnitého) (Obr. 12). Kartáčování sjednocuje povrch a odstraňuje jemné zoxidované vrstvy vzniklé v předchozí operace broušení. [12] [18]



Obr. 12) Kotouče pro metodu kartáčování [17]

Procesem leštění je dosahováno úběru malého množství materiálu. Od předchozích metod je metoda leštění velice rozdílná. Leštěním se z povrchu odstraňují jemné stopy po předchozích operacích. Leštění se taky dá využít na povrchy s nižší drsností nebo pro vizuální efekt. Pro leštění se dají využít jemné kotouče nebo nástroje vyrobené z kůže. Při procesu leštění se využívají lešticí pasty pro konečný výsledek úpravy povrchu. [13] [14]

Tryskání je mechanická předúprava povrchu, která je prováděna ručně nebo automaticky. Využití této metody je především u kovů, výrobků z kovu, ocelových konstrukcí, případně i jiných materiálů. Tryskání je prováděno ve speciálních komorách za pomoci mobilních či stacionárních tryskacích zařízení. Jako abrazivo je použit kovový nebo nekovový granulát s možným výběrem tvrdosti. Abrazivní částí jsou hnány velkou energií na povrchy, díky němuž dojde k odstranění koroze, hrubých nečistot a sjednotí se povrchová vrstva. [19] [20]

Omílání je metoda, při kterém je povrch materiálu odírán pomocí omílání těles a brusiva. Omílání probíhá ve velkém bubnu, kde je materiál společně s brusivem a kapalinou. Buben je otáčen do různých směrů, díky němuž dojde ke správně úpravě materiálu. Metoda je hojně využívána u drobných materiálů o velkých sériích. Kapacita je vždy závislá na velikosti bubnu, velikostech materiálu, na rychlosti otáčení bubnu a také velikosti omílaných těles, které jsou umístěny v bubnu. [19] [20]

### 3.1.2 Chemická předúprava

Chemickou předúpravou dojde k odstranění zbytkových nečistot, starého laku z povrchu materiálu. Materiál se následně chemicky připraví na nanesení práškového laku. Chemická předúprava ve většině případů probíhá v automaticky řízených linkách, kdy materiál je navěšen na traverze a za pomoci programu je ponořen do chemické lázně (Obr. 13). Materiál může být chemicky předupraven i ručně pomocí otryskávání povrchu chemickým roztokem. Ruční metoda je využívána spíše v menších provozech či dílnách. Velké lakovací procesy využívají plně automatický provoz, který jim přináší ekonomické úspory. Všechny složky chemické předúpravy musejí být průběžně monitorovány a v případě zhoršení kvality roztoků je nutný zásah formou výměny. Společnosti, které nemonitorují stav svých chemických lázní mohou při procesu práškového lakování dojít do situace, kdy lakované části nebudou držet na výrobku. Další negativní věcí může být rychlá koroze výrobku či zanesení lázní. Výměna a vyčištění chemických lázní je pak ekonomicky náročné a způsobí výpadek dalších částí výrobního procesu. [17] [20]



Obr. 13) Chemická předúprava materiálu u automatické linky

Metody využívané při chemické předúpravě jsou:

- odmašťování,
- moření,
- fosfátování,
- chromátování,
- eloxování. [20]

## Odmašťování

Odmašťování je významný proces při chemické předúpravě. Materiály a výrobky, které nejsou předem odmaštěny mohou v procesu lakování způsobit špatnou přilnavost povlaku, estetické závady a menší odolnost vůči pozdější korozi. Odmašťování působí dále jako odstraňovač všech nečistot, které po předchozích procesech na povrchu zůstaly. Odmaštění způsobuje, že jsou veškeré částice uvolněny do roztoku a tím je zabráněno opětovnému nanesení na povrch. Odmašťování může probíhat pomocí alkalického roztoku, organických rozpouštědel a emulzí. [16] [20]

Nejčastější způsob odmašťování kovových povrchů je pomocí alkalických roztoků, kdy odmaštění probíhá postříkem nebo ponorem. Metoda postříkem se zpravidla provádí u velkých a silně zamaštěných ploch, kdy roztok působí na povrch během tlakového postříku. Metoda ponorem probíhá při teplotě 60–90 °C obvykle v rozmezí 5–10 minut. Během této doby jsou z výrobku uvolněna všechna mastnota a nečistoty. [16] [20] [21]

Nejjednodušším a velice rychlým způsobem je odmaštění za pomoci organických rozpouštědel. Organická rozpouštědla způsobí uvolnění prachu, třísek i kovových částí a rozpustí se při něm mastné látky. Nelze použít na anorganické soli, pot, otisky prstů a vlhké povrchy. Další nevýhodou je likvidace, která je u použitých rozpouštědel obtížná. Organická rozpouštědla používaná v průmyslu jsou toluen, benzín, petrolej, benzen a jiné. [16] [20] [21]



Obr. 14) Odmaštění kovů pomocí organických rozpouštědel [22]

## Moření

Jedna z nejpoužívanějších metod chemické úpravy povrchu. Moření je prováděno za pomoci kyselin v roztoku, které odstraňují korozi a nežádoucí okuje. Za nejrozšířenější mořící kyseliny jsou považovány kyseliny solné, sírové a fosforečné. Typickým znakem této metody je ponor výrobku přímo do kyseliny. Chemické vany během procesu odolávají působení kyselin a nesmí uvolňovat nic ze svých částí. Standardní používaná teplota při moření je 60 až 80 °C. Doba, kterou výrobek stráví v lázni je velice krátká. Setrvání výrobku v lázni s kyselinou příliš dlouhou dobu způsobí naleptání základního kovu. Při moření pomocí kyselin je důležité dbát na dostatečné odvětrání celého procesu. [20] [21]

## Fosfátování

Fosfátování je chemický nebo elektrochemický proces, při kterém jsou na kovovém dílu vytvořeny souvislé a nerozpustné vrstvy fosforečnanů železa, zinku nebo manganu za účelem dosáhnout odolnosti proti korozi. Vrstva není používána jako konečná povrchová úprava. Procesem je tvořen základ pro následné nátěry. Obsahem lázně je roztok dihydrogenfosforečnanu zinečnatého (nebo manganatého) s podílem kyseliny fosforečné. Za pomoci urychlovačů (chlornany, dusičnany apod.), které jsou umístěny do lázně lze proces fosfátování provést při nižší teplotě a ve zkráceném čase. Standartní teplota lázně bez urychlovačů činí 95 až 98 °C a proces fosfatizace trvá 45 až 60 minut. Urychlovače mohou teplotu snížit na 50 až 60 °C a zrychlit proces fosfátování na 5 až 10 minut. Je to jeden z nejrozšířenějších typů konverzního nátěru. Fosfátováním je prodloužena živostnost nátěrů, který je vystaven externím podmínkám. Fosfátování je provedeno metodou ponorem či postřikem. [16] [20] [21]

## Chromátování

Chromátování vede ke zvýšení korozní odolnosti oceli a neželezných kovů a je označován jako nejrozšířenější způsob pasivace. Využívána je především jako konečná úprava povrchů pro prostředí s lehkou korozi nebo jako mezivrstva pod organické nátěry. Chromátování přispívá k výraznému zvýšení přilnavosti nátěrových hmot a díky němu do povrchu základního materiálu proniká lépe protikorozní médium. Ekonomicky výhodnější způsob chemické úpravy v porovnání s fosfátováním. Po chromátování vznikne na materiálu jemný barevný povlak, který je ovlivněn složením směsi v chemické lázni. [16] [20] [21]

### **3.1.3 Sušení**

Po chemické předúpravě následuje proces sušení. Výrobek je během procesu sušení zbaven veškeré vlhkosti na povrchu. Sušení je prováděno pomocí horkovzdušné pece při maximální teplotě 65 °C. Po procesu sušení je materiál možno použít na předpřípravu před procesem lakování. Výrobek může obsahovat více druhů barvy nebo jeho některé části nemusejí být lakovány vůbec. Proto je nutné tyto části zamaskovat (zakrýt). Zamaskování nelakovaných částí nám během procesu lakování a tvrzení dokonale ochrání povrch. K maskování jsou využity maskovací přípravky (dekle, špunty a jiné) nebo maskovací pásy a výseky (Obr. 15). [17]



Obr. 15) Umístění maskovacího deklu ve výrobku [23]



### 3.1.4 Práškový lak

Pro práškové lakování existuje široká škála práškových barev neboli práškové nátěrové hmoty (PNH), které jsou rozdílné svým využitím a vlastnostmi. PNH svými vlastnostmi jsou velice blízké plastům. Jejich výhodou jsou absence zdravých škodlivých látek, žádný obsah těžkých kovů, lehká likvidace a recyklace, korozivzdornost a dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti. Hmoty jsou tvořeny převážně ze směsi pigmentů, pryskyřic a dalších přidaných látek, kterými je určena výsledná tvrdost, mat, lesk a další požadované vlastnosti. [13] [15]

Nejpoužívanějšími a velice rozšířenými práškovými barvami jsou:

- epoxidy (EP),
- polyesterové (PES),
- polyuterannové (PUR),
- akrylové laky (AC),
- nylonové,
- polyvinylchlorid (PVC prášky),
- smíšené a hybridní. [13] [15]

Veškeré informace o PNH jsou obsahem bezpečnostních listů (Obr. 16), ve kterém je uvedeno: identifikace látky/směsi a informace o společnosti/podniku, identifikace nebezpečnosti, informace o složkách, pokyny pro první pomoc, opatření pro hlášení požáru, opatření v případě náhodného úniku, zacházení a skladování, použití osobních ochranných prostředků, fyzikální a chemické vlastnosti, stálost a reaktivita, toxické informace, ekologické informace, pokyny pro odstraňování, informace o předpisech a další informace. [17]

Vyhovuje dodatku II nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení (EU) č. 453/2010 - Česká republika



## Bezpečnostní list

### ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku

#### 1.1 Identifikátor výrobku

Název výrobku : 222 AEROSOL Pb FREE  
Kód produktu : 0000C0218

#### 1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití

Zamýšlené použití : Viz Technický list.  
Pouze pro použití kvalifikovanými pracovníky.  
Metody aplikace: Viz Technický list.

#### 1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Akzo Nobel Coatings CZ a.s.  
Podvihovská 304/12  
CZ 747 70 Opava 9-Komarov  
Czech Republic

Telefonní číslo : +420 553 692 255; 275  
Fax : +420 233 692 455; 357

#### 1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace

**Dovozce**  
Telefonní číslo : +420 224 919 293  
Provozní doba : 24 hod  
Telefonní číslo oficiální poradenské instituce: +420 224 964 234  
Pouze pro informaci lokálně & nemožnosti.  
**Národní poradní orgán/toxikologické středisko**  
Telefonní číslo : +44 (0)191 230 5460  
e-mail adresa osoby odpovědné za tento bezpečnostní list : Czech@akzonobel.com

Obr. 16) Příklad bezpečnostního listu PNH AkzoNobel [17]

### 3.1.5 Nanesení práškového laku

Existují tři metody pro nanesení práškového laku (Obr. 17) na povrch materiálu:

- corona,
- tribo,
- fluidní lože. [24]

Všechny metody využívají zfluidizování prášku v práškovacím centru. Metody corona a tribo jsou založeny na elektrostatickém nabíjení a zfluidizovaný prášek je důležitý pro průchodnost v hadici pistole. Fluidní lože je metoda, která využívá přímý ponor v prášku. [24]

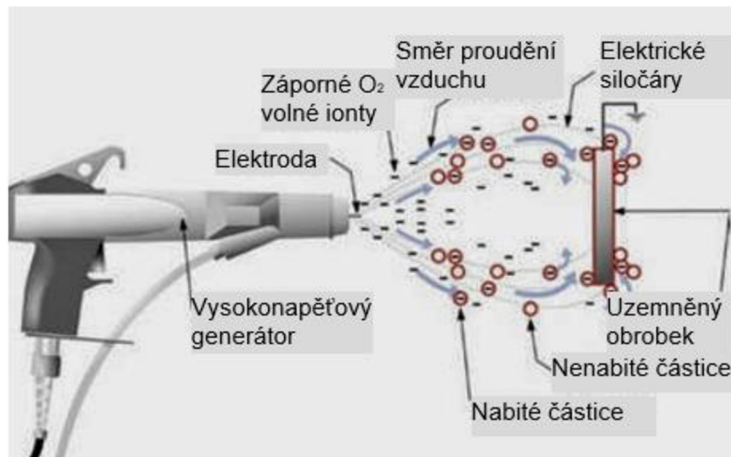


Obr. 17) Nanášení práškového laku [23]

#### Elektrostatické nabíjení částic metodou CORONA

Metoda corona (Obr. 18) se provádí pomocí vysokonapěťové kaskády (generátoru), který je integrován přímo v těle pistole. Výstupní rozsah těchto kaskád je obvykle v rozsahu 80-90 kV a maximální dosažitelné napětí je až 100 kV. Maximální proud pro metodu corona je 100  $\mu$ A. Generátor je řízen a regulován pomocí řídicí jednotky a jeho nastavení je závislé na tvaru a velikosti obrobku nebo používanému systému práškového lakování. Jehlová elektroda, která je umístěna na výstupu z pistole pro vytváření silného přebytku iontů. Částice směsi nátěrového prášku a stlačeného vzduchu vycházející z pistole a jsou záporně nabitý. Záporně nabitá částice jsou přitahovány k uzemněnému výrobku pomocí siločar. Kladné ionty jsou urychleny podél siločar v opačném směru a prostor mezi uzemněnou částí a pistolí je vyplněn miliony volných elektronů a iontů. Prášek je přichycen pomocí Coulombových sil a po uchycení musí dojít k vytvrzení v peci. [25] [26] [27]

Výhodou metody je široké spektrum použitých nátěrových hmot, rychlý a účinný způsob nanášení a velice jednoduchá výměna barev. Nevýhodou u této metody je tzv. Faradayův efekt (klec), který se objevuje u výrobků složitějších tvarů. Při tomto efektu vzniká nehomogenní hustota siločar, při které je v méně dostupném místě (ohyb, dutina) nanášeno menší množství práškových částic. To způsobuje nedostatečnou tloušťku laku nebo dokonce kompletní nezakrytí. Metoda corona je nejrozšířenější používaná metoda v lakovacím průmyslu. [25] [26]



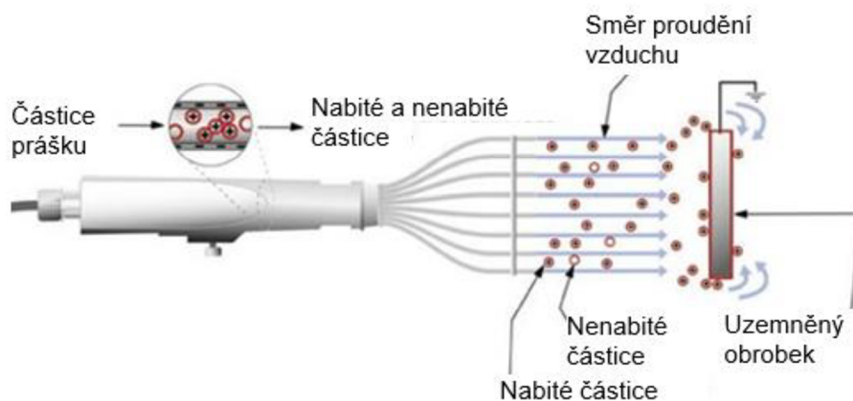
Obr. 18) Nanesení práškového laku metodou Corona [27]

### Elektrokinetické nabíjení částic metodou TRIBO

Metoda tribo (Obr. 19) využívá mechanického tření částic prášku o materiál uvnitř pistole (nejčastěji teflon). Prášek je pomocí teflonu zbaven elektronů, které jsou okamžitě odváděny k zemi. Při metodě tribo je uzemněná také pistole, což je rozdíl oproti metodě corona. Pro rozptýlení prášku je potřeba velké množství energie. Prášek je z pistole dostáván pomocí stlačeného vzduchu, který částice vyšle směrem k uzemněnému obrobku. Kladně nabitě částice prášku se uchytí na obrobku. Vyšší účinnosti lze dosáhnout průchodem větších částic prášku v kombinaci s optimálním průtokem stlačeného vzduchu pistolí. [25]

Metoda tribo má výhodu, že po nanesení prášku je vytvořen rovnoměrný povrch. Při jeho aplikaci se prášek dostane lépe do všech částí obrobku. Za další výhodu je považováno, že není potřeba vysokonapěťový generátor. [25]

Nevýhodou metody je použití pouze pro epoxidové laky, obtížné nabíjení menších částí prášků, delší doba pro změnu barvy. Vnitřní části pistole se rychle opotřebovávají a je potřeba speciální stlačený vzduch s předem definovanou čistotou a vlhkostí. [25]



Obr. 19) Nanesení práškového laku metodou Tribo [28]

### 3.1.6 Recyklace práškového laku

Výhodou práškového lakování je jeho samotná využitelnost spojená s recyklací. Práškové nátěry mají využitelnost až 97 % a odpadem jsou pouhá 3 % ze spotřebované PNH. Během nanesení PNH v lakovacím boxu se všechny materiál neuchytí na materiál. Během procesu padá na zem boxu, kde je zachycen pomocí odpadního systému. Z odpadního systému je prášek odsáván do recyklačního zařízení, kde dojde k oddělení prášku od nečistot a následnému vrácení do práškového centra. Filtrace od nečistot probíhá nejčastěji pásovými, cyklonovými a kazetovými filtry (cartige). [14] [24] [25]

Recyklace pásovými filtry známá jako metoda Twin-Air-Belt je tvořena dvěma vzduchovými obvody. V prvním vzduchovém obvodu je vytvořen podtlak, který odsává přestříknutý prášek a přivede ho do horizontálního textilního litru, tzv. pásového filtru. V druhém obvodu je vytvořen podtlak pod pásem a dojde k přitahování recyklovaného prášku na pás. Prášek je pohybem pásu přiveden do sekundárních filtrů, kde dojde k oddělení částí nečistot. Prášek bez nečistot je zpět dopravován do práškovacího centra ke znovupoužití. Účinnost recyklace pásovými filtry je až 99 %. [14] [24] [25]

Recyklace pomocí cyklonového filtru (Obr. 20) probíhá v komoře, do níž je zbytkový prášek vháněn velkou rychlostí a je uváděn do rotačního pohybu což vyvolá odstředivou sílu. Velké částice prášku ztrácejí rychlost a energii díky nárazům o stěny cyklonu. Částice pak klesají ke dnu k sítům. Malé částice zůstávají ve středu cyklonu a pomocí speciálního vzduchu jsou dopraveny k filtrům. Efektivita této metody je v rozmezí 86 % - 95 %. Automatické linky, kde probíhá rychlá výměna barev, používají monocyklony. [14] [24] [25]



Obr. 20) Cyklon pro recyklaci práškového laku [23]

Recyklace kazetovými filtry funguje na podobném principu jako filtry u bazénu. Je zde náplň s filtrem skládající se z vlnitých materiálů. Zbytkový nátěr je odsunut z lakovací komory a vehnán do filtru. Filtr díky tomu separuje částice nátěru a vzduchu od nečistot. Čistý nátěr putuje na dno filtru a přes síto se vrací zpět do práškovacího centra, kde se smíchá s novým práškovým nátěrem. Směs pak putuje do fluidního lože. U kazetových filtrů je jedna z výhod rychlá výměna barvy. [14] [24] [25]

### 3.1.7 Vytvrzení laku

Pro vytvrzení laku se používají speciální vytvrzovací pece. Pece mohou být elektrické nebo plynové. Materiály, buď pomocí dopravníků nebo manipulační techniky, jsou přepraveny do prostoru pece přímo po procesu nanesení práškové hmoty. Kdyby tomu tak nebylo tak hmota by za určitou dobu z materiálu opadala. Velikost pecí se odlišuje dle velikosti výrobků, které společnost vyrábí. [14]

Při malosériové výrobě nebo malé velikosti výrobku jsou pece zcela uzavřené. Výrobek je do nich vložen a pec se uzavře. Proběhne proces vytvrzení a výrobek je z pece vyndán. Nevýhodou takové pece jsou manipulační prostroje. Výhodou jsou malé úniky tepla. Velkosériové výroby používají zcela automatické linky. Jedná se o uzavřený prostor s dvěma otvory, kde se udržuje stálá teplota. Materiál do nich proudí postupně a pomocí času stráveném v peci je nátěr vytvrdnutý. Pece s automatickým procesem mají nevýhodu s velkým únikem tepla a velkým prostorem, který potřebují. Výhodou jsou minimální procesní a kapacitní ztráty. [24]

### 3.1.8 Konečná kontrola procesu lakování

Konečná kontrola po procesu lakování probíhá více způsoby. Při výstupní kontrole z procesu lakování je ověřováno, jestli lak splňuje předem definovanou jakost.

Kontrola je rozdělena do dvou částí:

- vizuální kontrola (posouzení lakovaných ploch dle specifikace),
- měření (mřížková zkouška, tloušťka nátěru, zkouška ohybem a jiné).

Všechny kontrolní činnosti musí být předem definovány a musí být obsahem instrukce ke konečné kontrole po procesu lakování. Instrukce musí obsahovat: postup zkoušky, vyhodnocení zkoušky, záznam o provedené zkoušce. Pro měření jsou používány zařízení, které jsou v interní evidenci podniku, jsou řádně označeny identifikačním štítkem a je u nich nastavená pravidelná kalibrace. [17]

#### Vady lakovaných ploch

Vady lakovacích ploch jsou posuzovány vizuálně s určitým odstupem od posuzované plochy. Při kontrole lakované plochy musí být prostor dostatečně osvětlen a osvětlení nesmí tvořit stíny, které by výsledek kontroly ovlivnily.

Obvyklé vady lakovacích ploch jsou:

- zalakované nečistoty na povrchu laku,
- pomerančová kůra,
- póry (nerovnoměrná struktura povrchu),
- černé mapy,
- bílé mapy,
- nálitky,
- rýhy na povrchu
- zatekliny,
- drsný povrch. [24]

## Stanovení tloušťky nátěru – ČSN EN ISO 2808:2020

Norma stanovení tloušťky nátěru určuje, jakými metodami lze měřit tloušťky nátěru. Základní rozdělení stanovuje, že tloušťku lze měřit na mokřém nebo suchém filmu. [29]

Přehled všech metod je obsahem Tab 5) .

Tab 5) Stanovení tloušťky nátěru dle ČSN EN ISO 2808:2020 [29]

<b>Stanovení tloušťky nátěru</b>				
<b>Stanovení tloušťky mokrého filmu</b>				
<b>Podstata metody</b>	<b>Metoda</b>	<b>Podklad</b>	<b>Charakteristika</b>	<b>Norma</b>
Mechanická	Měřicí hřeben	Jakýkoliv	Destruktivní	ASTM D 4414
	Měřicí kolečko	Jakýkoliv		ASTM D 1212
	Úchylkoměr	Jakýkoliv		ISO 463 ISO 13102
Gravimetrická	Rozdíl hmotnosti	Jakýkoliv	Nedestruktivní	ISO 3892
Fototermická	Šíření tepla	Tepelná vodivost mezi podkladem a povlaky	Nedestruktivní	EN 15042-2
<b>Stanovení tloušťky suchého filmu</b>				
Mechanická	Rozdíl tloušťky	Jakýkoliv	Destruktivní	ASTM D1005 DIN 50933
	Měření hloubky	Jakýkoliv		DIN 50933
	Snímání profilu povrchu	Jakýkoliv		ISO 4518
Gravimetrická	Rozdíl hmotnosti	Jakýkoliv	Nedestruktivní	-
Optická	Příčný řez	Jakýkoliv	Destruktivní	ISO 1463
	Klínový vryp	Jakýkoliv		ISO 19399
	Interferometrie v bílém světle	Jakýkoliv		ISO 25178-604
Radiologická	Zpětný rozptyl záření beta	Jakýkoliv	Nedestruktivní	ISO 3543
Magnetická	Odtrhová síla	Feromagnetický	Nedestruktivní	ISO 2178
	Hallův princip	Feromagnetický		ISO 2178
	Elektromagnetická indukce	Feromagnetický		ISO 2178
	Vířivé proudy	Neferomagnetický - kovový	Nedestruktivní	ISO 2360
Fototermická	Šíření tepla	Tepelná vodivost mezi podkladem a povlaky	Nedestruktivní	EN 15042-2
Akustická	Odraz ultrazvuku	Akustické vlnění	Nedestruktivní	ISO/TS 19397
Elektromagnetická	Terahertzová	Závisí na podkladu	Nedestruktivní	-

## Měření tloušťky povlaku – Magnetická metoda – ČSN EN ISO 2178:2017 a ČSN EN ISO 2360:2018

Měření tloušťky povlaku magnetickou metodou je nedestruktivní zkouška, při kterém je ověřena zatvrdlá tloušťka povlaku na kovovém podkladu. [30] [31]

Nejčastěji je kontrola laku prováděna digitálním ultrazvukovým tloušťkoměrem pomocí dotyku sondy na měřený povrch (Obr. 21). Odlišnosti jsou pouze v použitém typu měřících sond, které mohou být:

- feromagnetická (železo, ocel, litina),
- neferomagnetická (hliník, měď, titan),
- kombinovaná (automatické rozeznání podkladu). [30] [31]

Typ měřící sondy určuje použitý povlak (nemagnetický, nevodivý) a podklad (feromagnetický, vodivý neferomagnetický). Parametry určují vhodný typ sondy. Některé sondy mohou být ukončeny rubínovou kuličkou, což zvyšuje jejich životnost. Rozsah sond je různý a pohybuje se v rozmezí 0–1500  $\mu\text{m}$ . Sondy se také mohou lišit podle místa měření. Můžeme měřit sondou pod úhlem 45° nebo 90°. Takové sondy se lépe dostanou do špatně dostupných míst. [30] [31]



Obr. 21) Digitální tloušťkoměr Elcometer 456 [32]

Sondy jsou kalibrovány od výrobce. Je zapotřebí, aby byly zavedené do evidence metrologa a pravidelně v nastavené frekvenci kalibrovány. Dalším důležitým ověřením je vlastní kalibrace, kde frekvenci kalibrace si nastavují uživatelé sami. Vlastní kalibrace je provedena pomocí kalibračních fólií. Zařízení disponuje vnitřním nastavením, které uživatele postupně provede celou metodou kalibrace. Fólie jsou přikládány na nelakované materiály, u kterých bude probíhat měření tloušťky. Po konci kalibrace je přístroj připraven na měření.

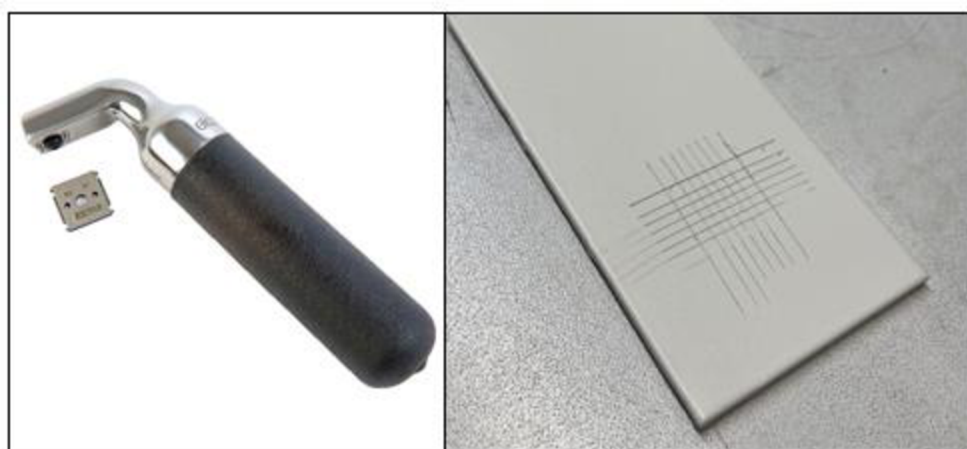
Měření je provedeno dotykem sondy na lakovaný povrch, kdy výsledek je odečten z digitálního displeje. Naměřená data jsou buď uložena do interní paměti zařízení a mohou být exportována pomocí USB do počítače nebo jsou pomocí Bluetooth odeslána do počítače. Po konci měření lze ve speciálním softwaru vytvořit měřící protokoly. U nejnovějších přístrojů jsou již zabudované Wi-Fi, které umožní posílat výsledky měření on-line do systému. Kontrolor

může vidět na displeji přesně definované body, kam má přiložit sondu a přístroj pak odešle výsledky do předem přizpůsobeného softwaru. Tento způsob je vhodný pro využití metody SPC.

#### Mřížková zkouška – ČSN EN ISO 2409:2021

Mřížková zkouška je destruktivní zkouška, která ověřuje odolnost nátěru proti oddělení od podkladů. Zkoušku lze provádět na hotových výrobcích nebo na speciálně připravených zkušebních vzorcích. Metoda je vhodná pro nátěry na tvrdém i měkkém podkladu a není vhodná pro nátěry o celkové tloušťce převyšující 250 µm ani pro nátěry s texturou. [33]

V nátěru je pomocí ručního nástroje s ostřím vytvořeno šest rovnoběžných řezů a kolmo na první šestici dalších šest řezů (Obr. 22).



Obr. 22) Ruční nástroj s ostřím a výsledek mřížkové zkoušky [34]

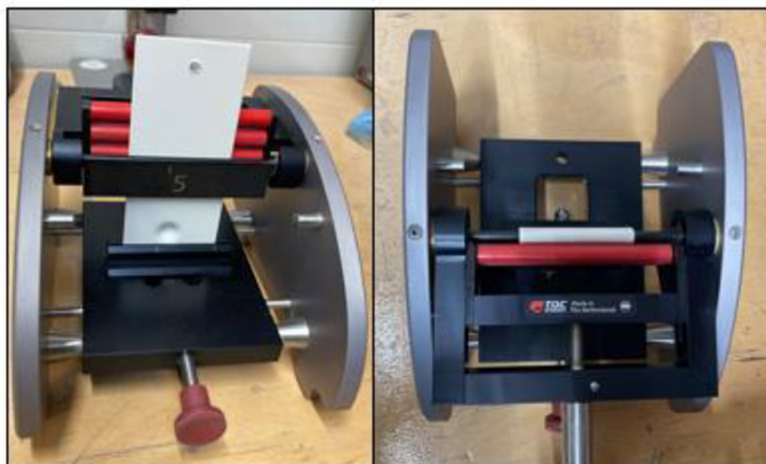
Pomocí pásky se odstraní všechny uvolněné částičky nátěru. Plocha řezu se vizuálně prohlédne a porovná se s šestistupňovou klasifikací uvedené v normě ČSN EN ISO 2409: Tabulka 1 – Klasifikace výsledků zkoušek. Pro přesnější vyhodnocení je možné použít lupu. Na konci zkoušky je vyhotoven protokol o zkoušce, kde jsou uvedeny všechny informace dle normy bod 12. Vzdálenost ostří neboli vzdálenosti mezi řezy jsou závislé na tloušťce zkoušeného nátěru. [33]

#### Zkouška ohybem – ČSN EN ISO 1519:2011

Zkouška ohybem je destruktivní zkouška pro vyhodnocení odolnosti povlaku z nátěrových hmot proti praskání. Zkoušku je doporučeno provádět na speciálně připravených zkušebních vzorcích. [35]

Zkušební vzorek s naneseným nátěrem se upne do zkušebního zařízení a pak se ohýbá kolem válcového trnu (Obr. 23). Ohnutý vzorek se při dobrém osvětlení vizuálně zkoumá, zda nátěr při dohodnuté nebo předepsané velikosti trnu nepraskl. Na konci zkoušky je vyhotoven protokol o zkoušce, kde jsou uvedeny všechny informace dle normy bod 10. [35]





Obr. 23) Průběh zkoušky ohybem ve zkušebním zařízení

### Stanovení lesku při úhlu 20°, 60° a 85° – ČSN EN ISO 2813:2016

Stanovení lesku je nedestruktivní zkouška, kde se pomocí reflektometrického zařízení (Obr. 24) stanoví čísla lesku na povrchu s nátěrem, které jsou ve vztahu k vizuálnímu vjemu lesku. V tomto kontextu (u leskoměru) se získá poměr lesku nátěru a lesku leštěné rovné skleněné destičky o specifikovaném referenčním indexu lomu. Lesk je vizuální vjem vznikající při pohledu na povrch. Princip měření lesku vychází z měření směrově odráženého světla. V této souvislosti je jeho intenzita měřena v definovaném rozsahu úhlů kolem úhlu odrazu. [36]

V praxi se osvědčily tyto úhly měření:

- 20° pro vysoce lesklé povrchy,
- 60° pro pololesklé povrchy,
- 85° pro matné povrchy. [36]

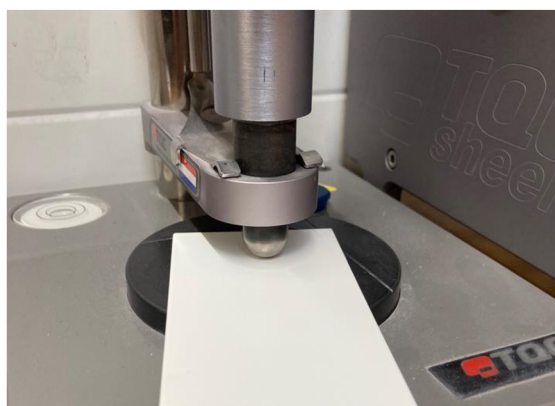
Číslo lesku se udává v jednotkách lesku GU – gloss units. Pro každý úhel měření je jasně definovaný rozsah. Na konci zkoušky je vyhotoven protokol o zkoušce, kde jsou uvedeny všechny informace dle normy bod 10. [36]



Obr. 24) Průběh stanovení lesku

## Zkouška padajícím závažím – ČSN EN ISO 6272-2:2012

Zkouška padajícím závažím je destruktivní zkouška, která ověřuje odolnost suchého nátěru proti praskání nebo odlepování od podkladu v důsledku deformace vyvolané padajícím závažím, které bylo za normalizovaných podmínek spuštěno na úderník s polokulovou hlavou o malé ploše. Pro zkoušku je vhodné využití referenčních vzorků, které se umístí na úderník. Spuštěním normalizovaného závaží z předem stanovené výšky dojde k deformaci nátěru. Po zkoušce se pomocí lupy vizuálně zkontroluje nátěr. Pokud nátěr není popraskaný, tak se zkouší s vyšší výškou (zvyšuje se po 25 mm). Postupným zvyšováním vzdálenosti, ze které závaží padá lze stanovit hodnotu, při které obvykle nastává poškození. U nátěru pak obvykle dojde k popraskání. Na konci zkoušky je vyhotoven protokol o zkoušce, kde jsou uvedeny všechny informace dle normy bod 10. [37]



Obr. 25) Průběh zkoušky padajícím závažím

## **3.2 Robotické lakování**

Základem lakovacích robotů je průmyslový šestiosý robot na obsluhu výrobních strojů, které jsou k nalezení v automobilovém nebo potravinářském průmyslu. Lakovací roboti však musí pracovat ve výbušném prostředí a díky tomu jsou na ně kladeny speciální požadavky. Tímto dosáhnou předem stanovenou finální úpravu lakovaného výrobku. [38]

### **3.2.1 Proces implementace robotického lakování**

Požadavky lakovacího robotu jsou:

- dlouhé kinematické kloubové rameno s dostupností do oblasti aplikace nátěru,
- 6 stupňů volnosti,
- nosnosti cca do 15 kg včetně stříkací pistole a příslušenstvím,
- pohony a jednotky do nevýbušného prostředí,
- ochranný návlék proti znečištění barvou,
- automatická řídicí jednotka hlídající celý proces,
- úprava lakovacích programů ve virtuální realitě,
- přesná trajektorie pohyblivých os v řádech mm,

- nastavitelná pracovní rychlost. [38]

Společnosti, které se rozhodnou automatizovat a robotizovat své výrobní procesy, tak v naprosté většině případů kontaktují externí společnosti s příslušnou poptávkou. V poptávce musí být jasně dané specifikace co robotizace musí zvládnout. Poptávka popisuje aktuální stav a nový stav, který dodavatel nového systému musí naplnit.

V poptávce zákazník uvede:

- lakovací proces,
- kvalitativní požadavky na hotový výrobek,
- portfolio,
- řídicí a plánovací specifika,
- možnosti změn a nastavení,
- požadovaná rychlost nalakování jednoho výrobku,
- požadavky v oblasti bezpečnosti a enviromentální požadavky.

Po první schůzce dodavatele a zákazníka dojde k upřesnění technických možností a vyjasnění nejasností, kterými jsou speciální přípravky, výměna barev, odsávání a jiné. Externí společnosti pak vyhotoví návrh robotické linky přesně na klíč zákazníka, kde navrhnu nejlepší řešení tak, aby splnili očekávání. Po odsouhlasení návrhu a odeslání oficiální objednávky dojde k realizaci celého projektu.

Výhody, které přináší robotická lakovna:

- navýšení kapacity výrobní linky,
- snížení nákladů na nekvalitu,
- snížení provozních nákladů,
- zvýšení bezpečnosti na pracovišti.

Nevýhody robotické lakovny:

- při poklesu zakázek je robot náklad (nevytíženost),
- náklady na servis, údržbu, výměnu dílů a školení pracovníků.

### 3.2.2 Rozdělení lakovacích robotů

Lakovací roboty rozdělujeme, dle typů výrobků, které jsou schopny lakovat:

- lakování malých a drobných dílů,
- lakování středně velkých dílů (Obr. 26),
- lakování velkých dílů (High-end). [38]



Obr. 26) Lakovací robot ABB IRB 5510 [39]

### 3.2.3 Řídicí systémy pro lakovací roboty

Řídicí systémy jsou mozkem automatických robotických linek. Pomocí hardwaru a softwaru dokážou řídit celé provozy od začátku procesu po její ukončení. Jako hardware se u řídicích systému používají velké PLC obrazovky s přesně nakonfigurovaným softwarem. Software je naprogramován, tak aby mohla obsluha linky dělat jednoduché úkony pomocí nichž může proces přerušit nebo zastavit. Všechny nastavení není možné nechat pouze na obsluze, proto je potřeba mít hlavní počítač, na kterém jde linka řídit a kde jsou rozšířené nastavení pro školené technology, procesní inženýry a programátory. Na počítači lze provádět změna rychlosti procesu, nastavování os robota a programování na nové materiály. [40]

Stále více se v průmyslových závodech projevují prvky průmyslu 4.0, kterými jsou virtuální realita a umělá inteligence. Za pomocí virtuální reality jsou technologové schopni ve 3D prostředí nastavit nový program, který přímo v této realitě vyzkouší. Není nutné přitom brzdit samotný provoz a ladění programu probíhá také přímo ve virtuální realitě. [38]

Pomocích řídicích systémů jsou společnosti schopny sledovat výtěžnost procesu (OEE), kvalitu a data, které mohou přinést v budoucnosti další efektivitu do procesu. Řídicí systémy jsou rozmístěny do všech důležitých částí provozu. Řídicí systémy mohou být propojeny s dalšími programy jako například SAP či MES a nemusí se omezovat na práci jednoho výrobního procesu, ale fungovat jakou součást celého výrobního plánování. Řídicí systémy zvyšují bezpečnost provozu díky instalaci bezpečnostních prvků. Bezpečnostní prvky snižují riziko ohrožení zaměstnanců.



Obr. 27) Přehled výkonnosti výrobního procesu na tabletu [40]

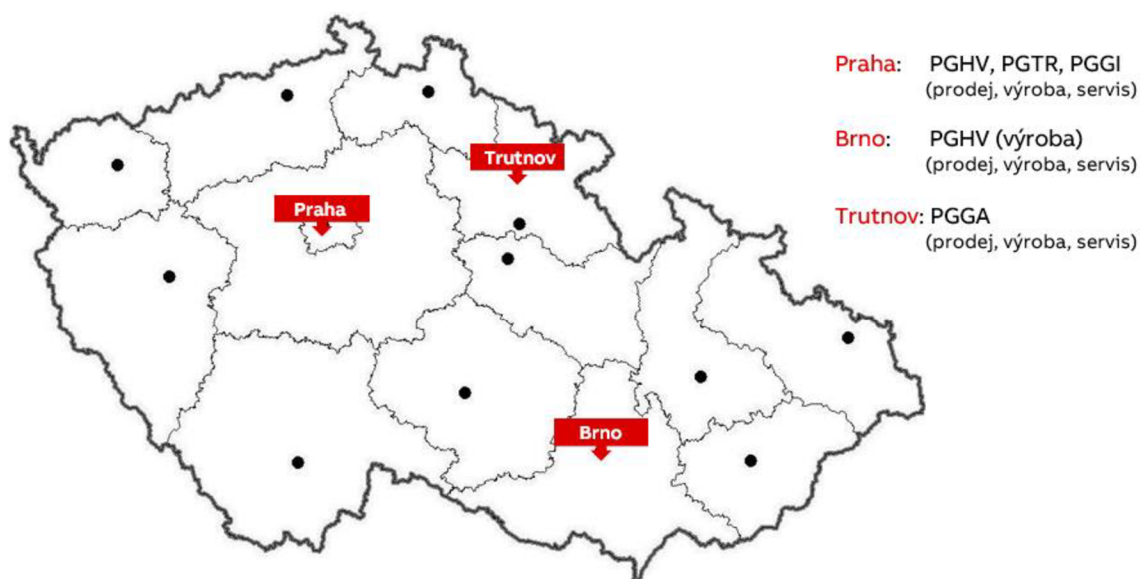
## 4 HITACHI ENERGY

Zpracování závěrečné práce bylo umožněno přímo ve výrobním podniku Hitachi Energy v Brně – Slatině. Hitachi Energy spadá pod skupinu Hitachi, která má více než 110 let zkušeností z oblasti provozních technologií a 60 let z oblasti informačních technologií. V Evropě skupina působí ve více než 130 společnostech ve 22 zemích, s více než 18 tisíci zaměstnanci. Celosvětově pak jde o více než 800 dceřiných společností s 300 tisíci zaměstnanci. Její hlavní sídlo se nachází v hlavním městě Japonska v Tokiu. Momentálně společnost obchoduje v oborech jako audiovizuální technika a komponenty, stavební stroje, informační a telekomunikační systémy, sociální infrastruktura, finanční služby, elektronické systémy a zařízení, energetika, digitální média a další jiné komponenty a systémy. [41]

### 4.1 Představení společnosti Hitachi Energy

Vznik Hitachi Energy se datuje na rok 2021, kdy byl ukončen pětiletý odkup z původní divize systémů pro energetiku od společnosti ABB. Divize má hlavní centrálu ve Švýcarském Curychu a zaměstnává po celém světě více než 36 tisíc zaměstnanců. Hlavním zaměřením společnosti jsou komponenty pro energetický průmysl, výhradně pro velmi vysoké napětí a zvláště vysoké napětí. Tato technologie byla poprvé použita roku 1965 ve švédské společnosti ASEA. Další roky byla technologie modernizována a digitalizována, až roku 1988 byla společnost sloučena se švýcarskou Brown Boveri Company, kdy dále vystupovali pod společnou značku známou jako ABB. [42]

Aktuálně se společnost dělí na čtyři obchodní jednotky: produkty velmi vysokého napětí (PGHV), transformátory (PGTR), automatizace a řízení rozvoden (PGGA) a polovodiče (PGGI). Všechny obchodní jednotky mají zastoupení v České republice ve 3 městech (Obr. 28), kde momentálně pracuje více jak 800 zaměstnanců. [42]



Obr. 28) Hitachi Energy Česká republika [43]

## 4.2 Výrobní závod Brno – Slatina

Výrobní závod PGHV v Brně vznikl pouze jako výrobní pobočka mateřské jednotky ve Švýcarsku v roce 2007 v Brně na Vídeňské ulici pod společností ABB. Postupně se přidali interní zákazníci, rozšířily se technologie o svařování metodou TIG, chemickou předúpravu, lakování mokrou barvou, balírnu a závod se rozšířil o HV servis. Bylo nutné se přestěhovat do nových prostor v Brně – Slatině (Obr. 29), kde sídlí od roku 2014 do současnosti. V současnosti zaměstnává okolo 370 zaměstnanců. [43]



Obr. 29) Výrobní závod Brno – Slatina

Ve společnosti je zaveden integrovaný systém řízení, který zahrnuje:

- systém managementu kvality dle ČSN EN ISO 9001:2016,
- systém environmentálního managementu dle ČSN EN ISO 14001:2016,
- systém managementu bezpečnosti dle ČSN EN ISO 45001:2018. [43]

Systém popisuje celkové řízení organizace a zaměřuje se na kontext organizace, vedení (leadership), plánování, podporu, provoz, hodnocení výkonnosti a proces zlepšování.

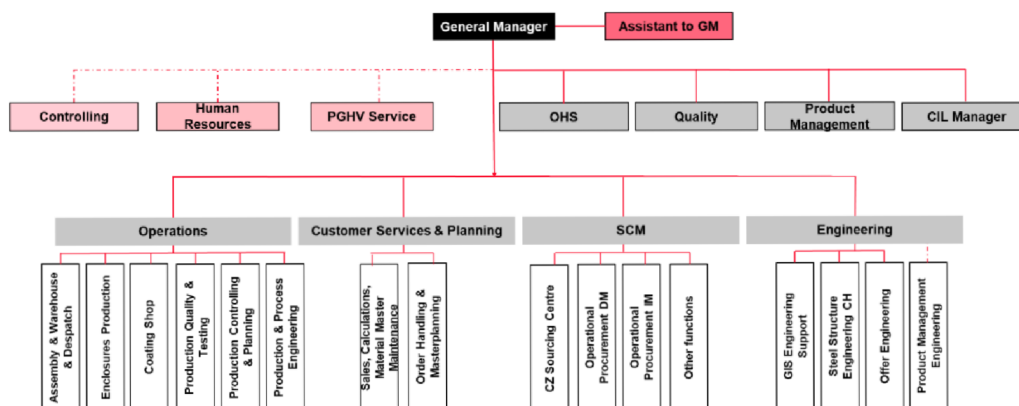
Hlavním výrobkem jsou plynem izolované vodiče pro rozvaděče, které jsou součástí rozvodu vysokonapěťových sítí. [43]

### 4.2.1 Organizační struktura

Organizační struktura se týká pouze výrobního závodu v Brně (Obr. 30). Jeho základem je management výrobního závodu:

- generální ředitel společnosti,
- finanční oddělení (Controlling),
- lidské zdroje (HR – Human Resources),
- bezpečnost a zdraví (OHS - Occupational Health and Safety),
- řízení kvality (QMS - Quality Management System),
- produktový management (Product management),
- neustále zlepšování (CIL – Continuous Improvement Leader),

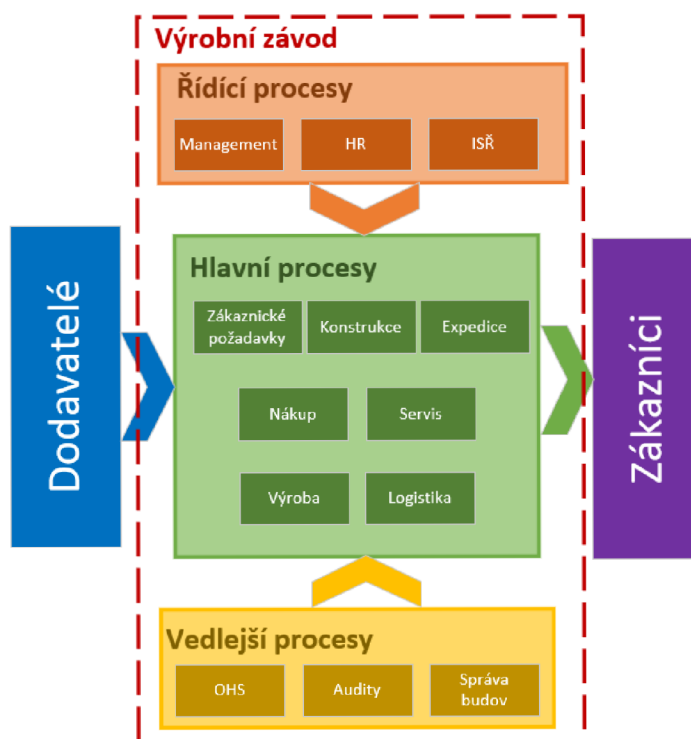
- výroba (Operations),
- zákaznické požadavky a plánování (CSP – Customer Services & Planning),
- nákup (SCM – Supply Chain Management),
- konstrukce (Engineering). [43]



Obr. 30) Organizační struktura výrobního závodu [43]

#### 4.2.2 Mapa procesů

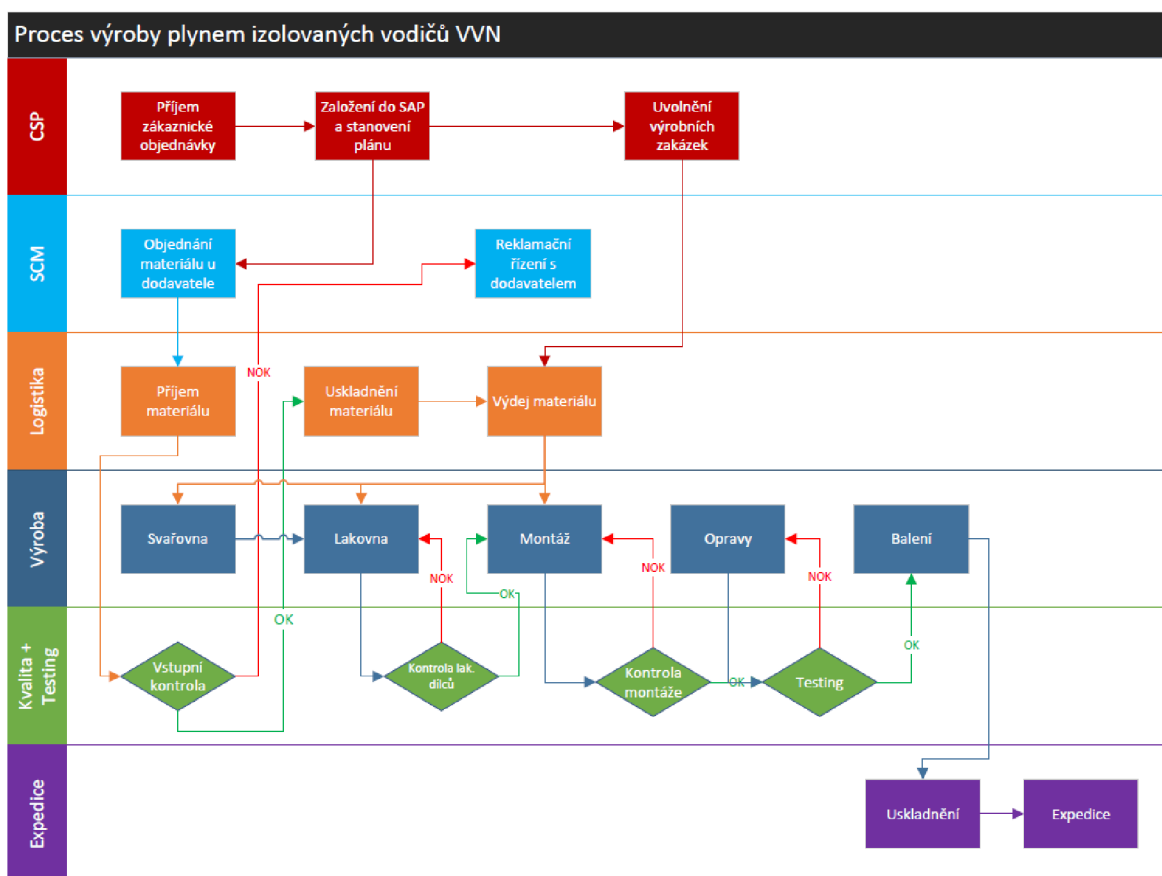
Pro správný chod celého závodu má výrobní závod vytvořenou mapu procesů, která se skládá z těchto částí (Obr. 31): řídicí procesy, hlavní procesy, vedlejší procesy, dodavatelský řetězec a zákazníci.



Obr. 31) Mapa procesů výrobního závodu v Brně

Celým řetězcem je tvořena skladba výrobního závodu a jeho návaznosti na sebe jsou důležitou součástí společnosti. Bez nastavení těchto procesů by výrobní závod nebyl schopen plnit zákaznické požadavky. Základní stavba je dělena na další jednotlivé procesy, které jsou popsány ve směrnících vlastníků procesů.

Všechny části firemních procesů jsou důležité pro fungování samotného závodu. Jedním z nejdůležitějších procesů je výrobní proces (Obr. 32). Výrobním procesem jsou přetvářeny vstupy na výrobky, které jsou následně prodávány zákazníkovi. Do výrobního procesu jsou vtaženy všechny oddělení, které jsou vzájemně procesně propojeny. [43]



Obr. 32) Proces výroby plynem izolovaných vodičů VVN [43]

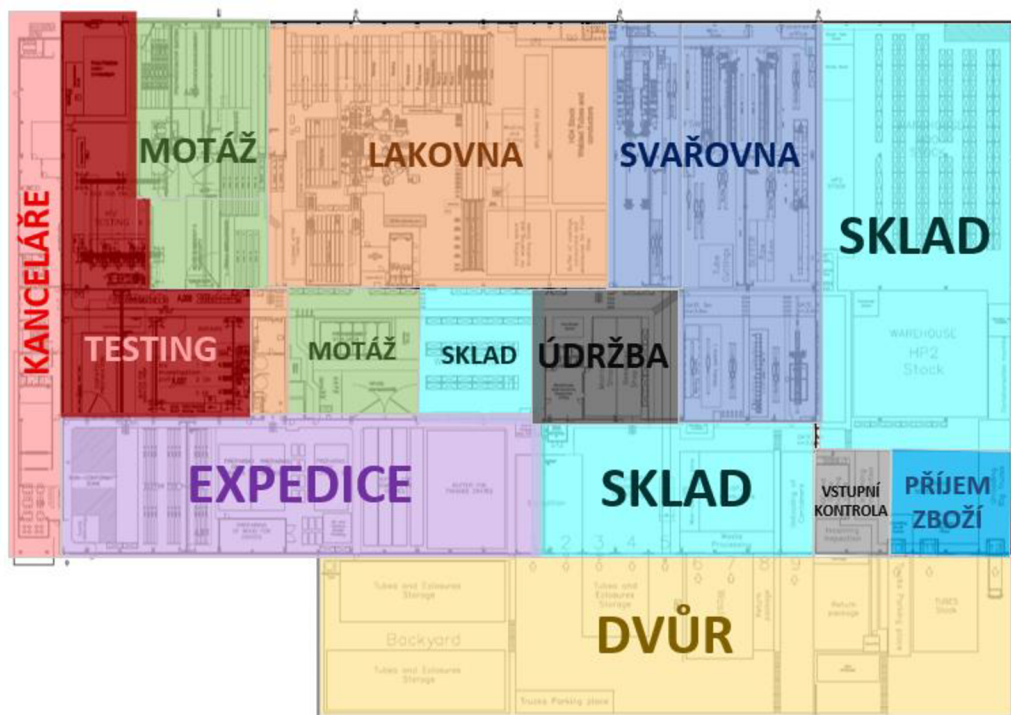
Oddělení, které se podílí přímo na výrobě jsou:

- příjem zboží,
- vstupní kontrola a výrobní kvalita,
- logistika (skladové hospodářství),
- svařovna,
- lakovna,
- montáž,
- testing
- expedice.



### 4.2.3 Layout výrobního závodu

Po nastavení všech vnitřních procesů je dalším důležitým krokem vytvoření layoutu firmy. Při tvorbě layoutu je důležité, aby procesy na sebe navzájem navazovaly a nevznikaly zbytečné manipulace, nadměrné skladové zásoby nebo nadvýroba. Při tvorbě layoutu se může použít metoda špagetového diagramu, která odhalí přesný tok materiálu ve výrobě. Aktuální layout závodu Hitachi Energy v Brně je vidět na Obr. 33).



Obr. 33) Layout výrobního závodu v Brně [44]

### 4.3 Zapouzdřené plynem izolované vodiče velmi vysokého napětí

Vysokonapěťové vedení izolované plynem sestává z vlastního vodiče, který je upevněn v zapouzdření (barva dle přání zákazníka) prostřednictvím izolátoru. Zapouzdření může obsahovat jeden, ale i více vodičů (= fází) najednou. Zapouzdření je v provozním stavu naplněné stlačeným izolačním plynem SF<sub>6</sub> o vysoké čistotě, který spolu s izolátory dostatečně izoluje prostor mezi vodičem a zapouzdřením. Aktuálně se vyvíjí alternativní ekologické plyny, které by měly za určitých podmínek nahradit SF<sub>6</sub>.

Výhodou vedení vysokého napětí v plynem izolovaných vodičích je jednak značné snížení požadavků na plochu rozvodny (až o 80 %), větší životnost a dále zvýšení bezpečnosti díky uzavření vodičů v zapouzdření (je možné se ho přímo dotknout). Nevýhodou je právě použití plynu SF<sub>6</sub>, který (jako skleníkový plyn) při úniku do atmosféry působí velmi nepříznivě na oteplování klimatu. Strategie společnosti je zmírnit enviromentální dopady jeho výrobků na klima. Z těchto důvodů v dnešní době společnost Hitachi Energy pracuje na vývoji nového plynu, který má stejné izolační vlastnosti jako plyn SF<sub>6</sub>. Plyn nemá takové dopady na klima a životní prostředí. [43]



Obr. 34) Zapouzdřená plynem izolovaná rozvodna VVN [43]

#### 4.4 Proces výroby ve výrobním závodě v Brně

Proces výroby plynem izolovaných vodičů VVN je tvořen celkovým konceptem všech oddělení uvedených v kapitole 5.2.2. Mapa procesů.

##### 4.4.1 Výrobní proces svařování

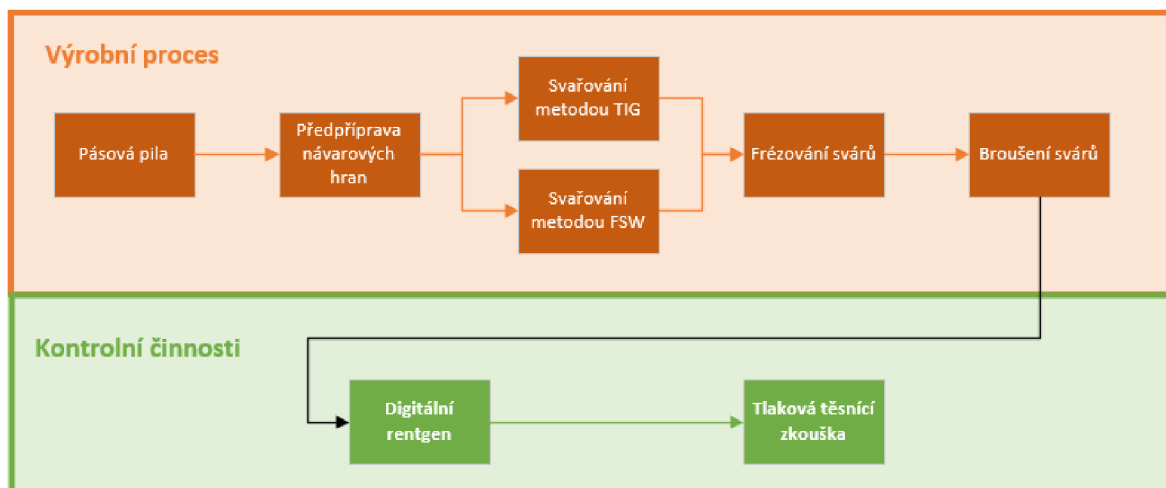
Výrobní proces svařování je prvním výrobním procesem. Při výrobním procesu dojde ke svařování z hliníku odlitých přírub k extrudované trubce (vnější obal celého výrobku). Dalším vyráběným produktem na svařovně je vodič (vnitřní část celého výrobku). K surovému hliníkovému vodiči je z obou koncových stran přivařen postříbřený konec. [45]

Technologický proces svařování je tvořen ze dvou částí:

- výrobních proces,
- kontrolní činnost. [45]

Jednotlivé procesy jsou popsány v procesní mapě svařovny (Obr. 35):

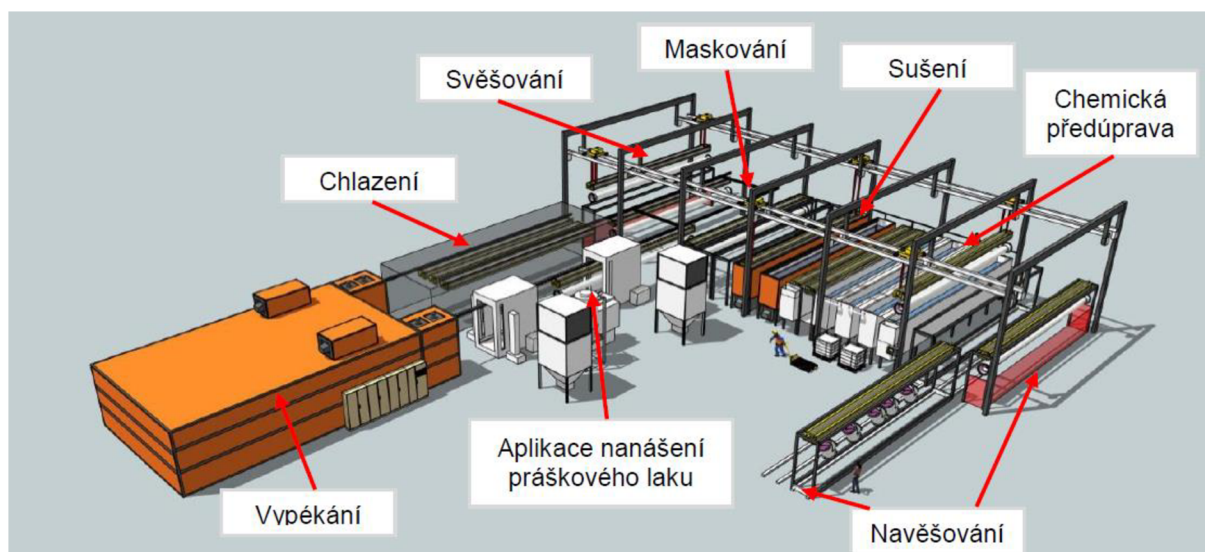
- pásová pila,
- předpříprava návarových hran,
- svařování metodou TIG a FSW,
- frézování svárů,
- broušení svárů,
- digitální rentgen,
- tlakově těsnostní zkouška. [45]



Obr. 35) Procesní mapa výrobního procesu svařování

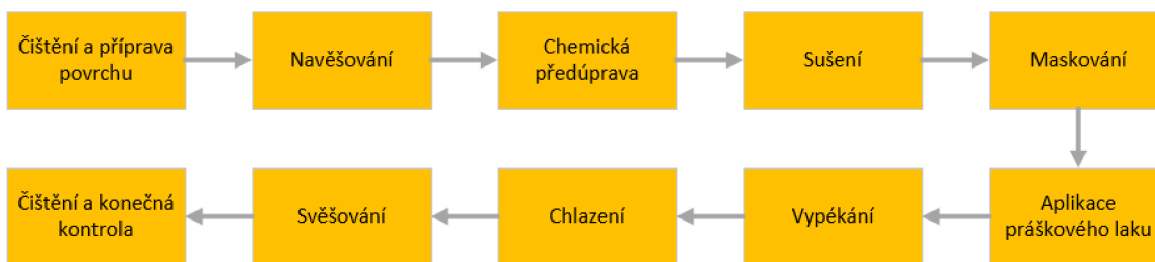
#### 4.4.2 Výrobní proces lakování

Hlavní část technologie výrobního procesu lakování je zajišťována poloautomatickou linkou, která se skládá s navzájem propojených částí (Obr. 36). [17]



Obr. 36) Poloautomatická linka procesu lakování [17]

Celá linka je navržena tak, aby jednotlivé její procesy (Obr. 37) na sebe navazovaly. V prvním kroku celého procesu je materiály nutné mechanicky předupravit a očistit povrchy (broušení, kartáčování). Mechanická předúprava probíhá ve speciálních boxech s odsáváním zbytkového hliníkového prachu. Pracoviště je nebezpečné z důvodu možnosti výbuchu nebo vznícení zbytkového prachu. Je zde nutné taky používat obličejové masky, pro ochranu pracovníků, kteří předúpravu provádí. Díky této předúpravě jsou materiály méně drsné a není nutné spotřebovat v procesu lakování příliš velké množství barvy. Tím je určena výsledná tloušťku laku. [17] [46]



Obr. 37) Procesní mapa lakovny [17]

Po mechanické předúpravě je materiál opláchnutý pomocí vysokotlakého oplachu. Díky tomu se zbaví veškerých nečistot po mechanické předúpravě. Materiály čekající v meziskladu na navěšení dle lakovacího plánu jsou zkontrolovány mezioperační kontrolou 0. [46]

Na materiálu jsou kontrolovány dle interní směrnice:

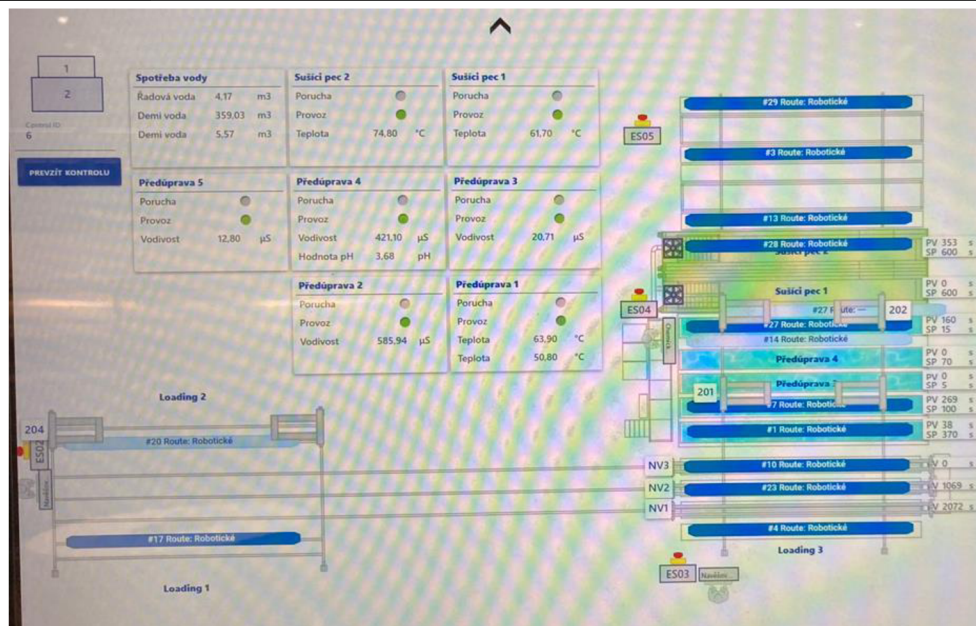
- těsnící a kontaktní plochy,
- díry a závity,
- identifikační číslo,
- vizuální kontrola povrchu,
- mechanická úprava svárů (hladkost, probroušení). [17]

Materiály, které prošly úspěšně kontrolou, jsou navěšeny na plně automatické traverzy. Neshodné materiály jsou vráceny zpět na mechanickou předúpravu nebo reklamovány dodavateli za pomoci vystavení interního záznamu o nekvalitě. [17]

Poloautomatická linka začíná procesem navěšování, kde pracovníci navěšují zkontrolované materiály dle lakovacího plánu. Navěšování je hlídáno pomocí světelných bran. Pokud pracovník navěšuje materiál na traverzu, proces pohybu traverz u navěšování je pozastaven. Linka spustí proces, až když pracovník opustí tento prostor. Lakovací plán obsahuje materiálové číslo, čísla traverz a časy, kdy mají být materiály navěšeny. Po navěšení materiál pokračuje na traverzách k chemické předúpravě, která probíhá v dekontaminačních lázních. [17]

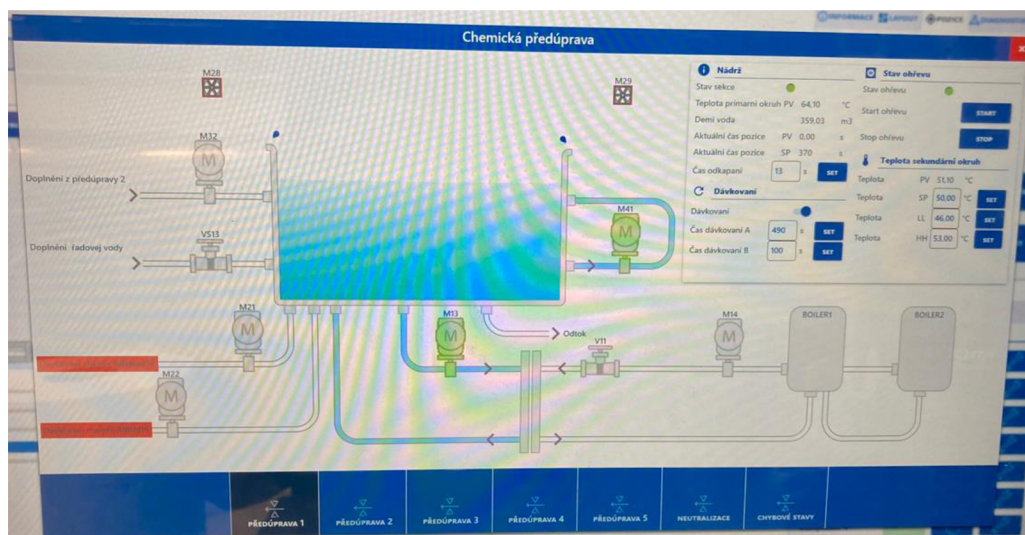
Proces chemické předúpravy je plně automatický (Obr. 38) a skládá se z 5 kroků:

- kyselé odmaštění s dezoxidací,
- oplach vodou z řádu,
- DEMI oplach (demineralizovaná voda),
- DEMI oplach s postřikovým rámem (demineralizovaná voda),
- pasivace (vytvoření konverzní vrstvy). [17]



Obr. 38) Plně automatický proces chemické předúpravy

Mechanická předúprava materiál zbaví nečistot, rzi, zbytkové barvy a připraví povrch na nanesení práškového nátěru. Obsah a složení v lázních je hlídán pomocí automatického systému (Obr. 39). Dle interní směrnice je složení pravidelně kontrolováno pracovníky technologie v podnikové laboratoři. V intervalu jednoho měsíce je provedena kontrola nezávislou externí laboratoři. Složení jednotlivých látek v lázni je pro celý proces lakování klíčová, protože vlivní výsledek procesu práškového lakování. [17]



Obr. 39) Automatická kontrola chemické předúpravy

Po chemické předúpravě následuje proces sušení, kde je materiál zbaven veškeré vlhkosti, při max. teplotě 65 °C, aby mohl být pracovníky lakovny zamaskován. Maskování probíhá pomocí speciální maskovacích přípravků (krycí dekl, špunty) či jiných maskovacích

prostředků (fólie) které zabrání nánosu barvy na místa, které nesmí být lakovaná dle technické dokumentace (těsnící plochy, kontaktní plochy, díry, závit). [17]

Materiál je pomocí dopravníku přesunut do lakovacího boxu, kde probíhá nános práškové barvy dle příslušné zákaznické specifikace (RAL, minimální vrstva) pomocí plně automatických robotů. Ve výrobním závodě se rozlišují dvě metody nanášené vrstvy laku:

- vnitřní lak,
- vnější lak. [17]

Přehled základního rozdělení je znázorněno v Tab 6) .

Tab 6) Rozdělení základních krycích vrstev používaných v PGHV Brno [17]

<b>Základní rozdělení krycích vrstev PGHV Brno</b>			
<b>Lakované plochy</b>	<b>Typ A - vnitřní lak</b>	<b>Typ B - vnější lak</b>	
	<b>Povrch kontaktu s FS6</b>	<b>Indoor - uvnitř budovy rozvodny</b>	<b>Outdoor - mimo budovu rozvodny</b>
<b>Tloušťka krycí vrstvy lakované plochy</b>	300 μm > vrstva > 60 μm	500 μm > vrstva > 70 μm	500 μm > vrstva > 70 μm
<b>Typy materiálu</b>	Hliníkové díly, pouzdro, vodič	Hliníkové odlitky, pouzdro	

Po aplikaci prášku na materiál je dopravníkem vložen do vypékací pece. Pec navazuje přímo na lakovací boxy a důvodem je zatvrdnutí barvy, které musí proběhnout v co nejkratší době po nanesení. Pokud by se tak nestalo, tak barva odpadne od materiálu. Pece pracují pomocí plynových hořáků s teplotou okolo 200 °C a jsou řízeny plně automaticky. Teplota a doba vypékání je nastavena dle technického listu použitého nátěru. [17]

Po vypečení je díl automaticky pomocí dopravníku převezen do chladicího boxu, kde je pomocí proudění a přívodu chladného vzduchu zajištěno postupné ochlazení dílu pro možnost další manipulace. Svěšování z dopravníků probíhá pomocí manipulátorů a materiál je odvážen na čištění a konečnou kontrolu. [17]

Čištění probíhá za pomoci ručních nástrojů a jemných brusných papírů, kdy jsou z materiálu odstraněny veškeré maskovací prostředky a pásy. Materiál je očištěn od přelakovaných částí a hran zbytkové barvy. Po očištění proběhne konečná kontrola po lakování, která je podrobněji popsána v kapitole 5.5.5. [17]

#### 4.4.3 Výrobní proces montáže

Proces montáže je srdce celého výrobního závodu. Během montáže jsou kompletovány jednotlivé části výrobku do sebe čímž vznikají tzv. montážní jednotky. Na montáži je velice důležitá čistota prostředí. Každá hliníková částice, která by se dostala do sestavy by způsobila přeskok během vysokonapěťové zkoušky. Montáž se řídí dle výkresové dokumentace, specifikace, interní dokumentace a kusovníků. Pro manipulaci s výrobky jsou využívány jeřábové dráhy, manipulátory a manipulační vozíky. Všechny části montážních jednotek musí

být důkladně vyčištěny. Jednotky se kompletují pomocí utahovacích momentových klíčů, utahovacích pistolí a speciálního nářadí, které obsahuje každé pracoviště. Během kompletace se využívají speciální přípravky, které zajistí přesnost celé sestavy. Celý proces montáže je pravidelně kontrolován pomocí interního auditování, který provádí pracovník výrobní kontroly. Při auditu je kontrolováno dodržování pracovních postupů a čistících přípravků. Výsledky auditování je zpětná vazba pro vedoucí pracovníky. Počet vyrobených jednotek je monitorován a vyhodnocován každou směnu. Na základě sběru dat je kontrolován plán plnění zákaznických objednávek. Po procesu montáže putují montážní jednotky na testování.

#### 4.4.4 Testování a expedice konečných výrobků

Testování je důležitou součástí výrobního procesu. Výsledky testů určují úspěšnost montáže (FPY). Cílem společnosti je dosahovat úspěšnosti testů nad 95 %. Montážní jednotka je testována:

- plynotěsnou zkouškou,
- vysokonapěťovou zkouškou.

Pokud testovaná jednotka neprošla jedním z testů, je nutné ji opravit. Opravné pracoviště jednotku prozkoumá a hledá kořenovou příčinu neúspěšné zkoušky. Po nalezení je závada odstraněna a všechny údaje jsou zaznamenány do systému evidence oprav. Na základě vyhodnocení dat z oprav dostává montáž zpětnou vazbu na jejich práci. Vyhodnocení probíhá pomocí Paretova diagramu a denních reportů.

Montážní jednotky z úspěšné zkoušky jsou připraveny na konečnou montáž, kdy jsou nainstalovány přepravní dekle a jednotka putuje na výstupní kontrolu. Výstupní kontrola je prováděna vizuálně dle průvodní a výkresové dokumentace. Neúspěšně složené jednotky se vrací zpátky do montáže. Úspěšné výrobky jsou následně baleny do přepravních dřevěných boxů (Obr. 40) a expedovány k zákazníkovi. Pro přepravu hotových výrobků se používá kamionová a lodní doprava. Při lodní dopravě jsou boxy vloženy do přepravních kontejnerů.



Obr. 40) Přepravní dřevěný box pro hotové výrobky

## 4.5 Management kvality

Management kvality je ve výrobním závodě jednou s nejdůležitější částí a je rozprostřen mezi řídicí procesy, hlavní procesy i vedlejší procesy. Jeho rozložení a dopad pro společnost je tedy zásadní. Hlavní rozdělení managementu kvality je (Obr. 41):

- metody managementu kvality (ISŘ, ČSN ISO 9001, ISO audit, CI, metrologie),
- zákaznický management kvality (Zákaznické reklamace, 8D reporty, FMEA),
- vstupní kontrola (Vzorkování, Dodavatelské reklamace),
- výrobní kvalita (KPI's, MOK, Výstupní kontrola, P-FMEA, Interní nekvalita).



Obr. 41) Organizační schéma managementu kvality

### 4.5.1 Metody managementu kvality

Management kvality má ve výrobním závodě na starosti řídicí prvky. Prvním takovým je ISŘ – Integrovaný systém řízení, který nastavuje veškerý koncept výrobního závodu. Cílem ISŘ je stanovit strategické cíle výrobního závodu, na základě, kterých je postavena firemní politika. Tento koncept je základním kamenem a díky němu jsou nastaveny a řízeny jednotlivé procesy. Správně nastavení politiky ISŘ pro management znamená, že může snadno kontrolovat stanovené cíle a v případě nutnosti reagovat, pokud se firma vychýlí mimo nastavený směr. Firmy, které nemají nastaveny cíle a politiku nemohou efektivně a včas reagovat na problémy, které se v podnikání vyskytují a mohou rychle ztratit konkurenceschopnost a tím i zákazníky. Firma, která má správně nastavené cíle a politiku, tak může dynamičtěji reagovat na vývoj trhu, je konkurenceschopná a může přilákat nové zákazníky nebo případné investory.

Součástí managementu kvality je kontrola nastavených cílů, pravidel a procesů. Tato kontrola je prováděna formou auditování. Výrobní závod má ve svém procesu tři druhy auditů, kterými jsou:

- interní audit,
- externí audit,
- zákaznický audit.



Jednotlivé audity mají nastavený proces, jak audity probíhají. Audit je tvořen týmy, které se auditů účastní osobně. Audit přináší výrobnímu záводу určité zrcadlo na funkčnost nastavení procesů. Interní audity jsou nastaveny tak, aby každé oddělení bylo auditováno jednou ročně (Tab 7) , kdy vedoucí oddělení dostane zpětnou vazbu na celý jeho proces a případné doporučení, jak by mohl zefektivnit svoje oddělení.

Tab 7) Plán interních auditů výrobního závodu [48]

<b>Plán interních auditů výrobního závodu</b>		
<b>Číslo</b>	<b>Oddělení</b>	<b>Plán</b>
1	Svařovna	Leden
2	Lakovna	Únor
3	Montáž & Testing	Březen
4	Balírna & Expedice	Duben
5	Příjem zboží	Květen
6	Interní logistika	Květen
7	Výrobní kvalita	Červen
8	Výrobní a procesní engineering	Červenec
9	CSP (Zákaznické oddělení)	Srpen
10	SCM (Nákup)	Srpen
11	HR (Lidské zdroje)	Září
12	System řízení	Říjen
14	Engineering Steel	Listopad
15	PGHV Service + realizace	Prosinec
16	Provoz	Říjen

Důležitou částí pro firmu je externí audit, kdy je závod kontrolován externí společností. Tyto auditu jsou důležité ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že po auditu dostane výrobní závod certifikaci na své procesy (normy), které mohou být důležitým požadavkem zákazníka. Audit taky dává zákazníkovi jistotu, že společnost dodržuje všechny procesy, které jsou i pro zákazníka důležité. Druhým faktorem je pohled profesionála, který pracuje mimo firmu. Občas může firma trpět už tzv. slepotou, jelikož se stejní lidé pohybují na stejných místech každý den. Pokud, ale jednou za rok dorazí do společnosti externí pracovníci, mohou si všimnout věcí, které firmu zase posunou o krok dále. Cílem externího auditu není demotivovat pracovníky v závodě, ale poukázat na potenciál, který závod má a kam se může posunout. Ve výrobním závodě probíhá certifikace na normy: ČSN ISO 9001:2016, ČSN ISO 14 001:2016, ČSN ISO 45 001:2018. [48]

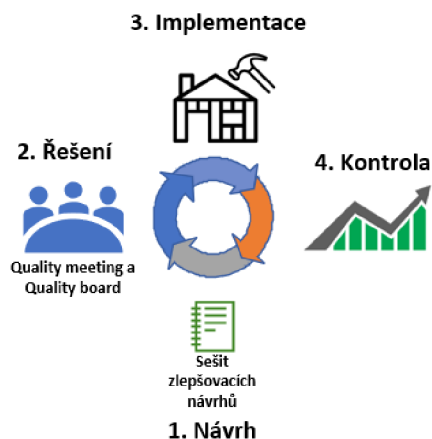
Posledním auditem, kterým může firma projít je audit zákaznický, který provádí zákazník přímo sám nebo si najímá externí společnost, která audit provede místo zákazníka. Při tomto auditu není firma posuzována vzhledem k normám ČSN ISO jako při externím auditu, ale je posuzována na požadavky, které má zákazník. Požadavky zákazníka, ale mohou být podobné jako jsou ISO normy.

Management kvality zaujímá procesy neustálého zlepšování. Výsledkem procesu neustálého zlepšování jsou kvalifikovaní pracovníci, vylepšené a organizované pracoviště,

zlepšení interních procesů. Zlepšením procesů a pracovišť firma dokáže plnit nové cíle a požadavky zákazníků. Pracovníci získávají vyšší kvalifikaci a odbornost pomocí školicího systému. Školící systém absolvují nominovaní pracovníci v rámci firemních benefitů. Systém, který firma používá pro školení se nazývá Lean 6 Sigma. Úroveň kvalifikace pracovníků určuje barevný pásek. Podobné rozlišení úrovně (kvalifikace) je používáno v bojových sportech (bílý pásek, žlutý pásek, zelený pásek, černý pásek).

Proces neustálého zlepšování zapojuje všechny zaměstnance. Lidé ve výrobě mají možnost své návrhy a nápady zapsat do zlepšovacích sešitů. Přispívají ke zlepšení svého pracoviště, okolí nebo svého procesu. Vedoucí každého oddělení má za povinnost se návrhům a problémům věnovat a dát vždy pracovníkům zpětnou vazbu. Návrhy a problémy pak vedoucí přednese na schůzce kvality. Schůzka probíhá jednou týdně a účastní se ji všichni vedoucí výrobních oddělení. Návrhy nebo problémy, které není možné vyřešit v kruhu vedoucích je řešeno na Quality boardu. QB probíhá jednou za čtrnáct dní a je zde přítomen firemní management. Samotný úkol dostane svého řešitele. Řešitel za pomoci všech kolegů ve firmě musí úkol zpracovat, popsat a najít vhodné řešení na odstranění. Řešitel pak formou prezentace popíše problém a navrhne nápravná opatření na vyřešení zadaného úkolu. Management na schůzce schvaluje nápravná opatření na vyřešení problému. Opatření jsou nadále monitorována a jejich přínos je vyhodnocen na konci každého měsíce Úspěšné návrhy jsou spjaté s finančními bonusy.

Proces napomáhající neustálému zlepšování je kaizen týden. Na začátku týdne je složen tým z pracovníků více oddělení. Členové týmu jsou seznámeni s aktuální problematikou ve stanoveném výrobním procesu. Cílem kaizen týdně je trvalé odstranění problematiky. Úkoly nevyřešené během kaizen týdně pravidelně kontroluje vedoucí kaizen týmu.



Obr. 42) Proces neustálého zlepšování ve výrobním závodě

Poslední částí managementu kvality je metrologie. Výrobní závod nemá vlastní metrologickou laboratoř, ale využívá služby externích společností. Důležitým faktorem pro závod je evidence a označení (Obr. 43) měřících zařízení. V evidenci jsou všechna zařízení a měřidla, u kterých byla nastavena pravidelná kontrola. Všechny zařízení mají interní číslo, kterým jsou označeny na viditelném místě. Pracovníci, kteří s nástroji a měřidly pracují mají

za povinnost jejich stav pravidelně kontrolovat. Na základě nastavených časových parametrů je pak měřidlo odesláno do externí laboratoře, kde dojde k jejímu ověření. Po návratu z laboratoře je měřidlo označeno kontrolním štítkem, který určuje vypršení kalibrace či ověření. Takto jsou tyto měřidla kontrolována dvěma způsoby. Elektronickou evidencí, která upozorňuje na vypršení kalibrace a zadruhé obsluhou, která před použitím měřidla musí zkontrolovat kontrolní štítek.



Obr. 43) Interní evidenční číslo měřidla s kontrolním štítkem

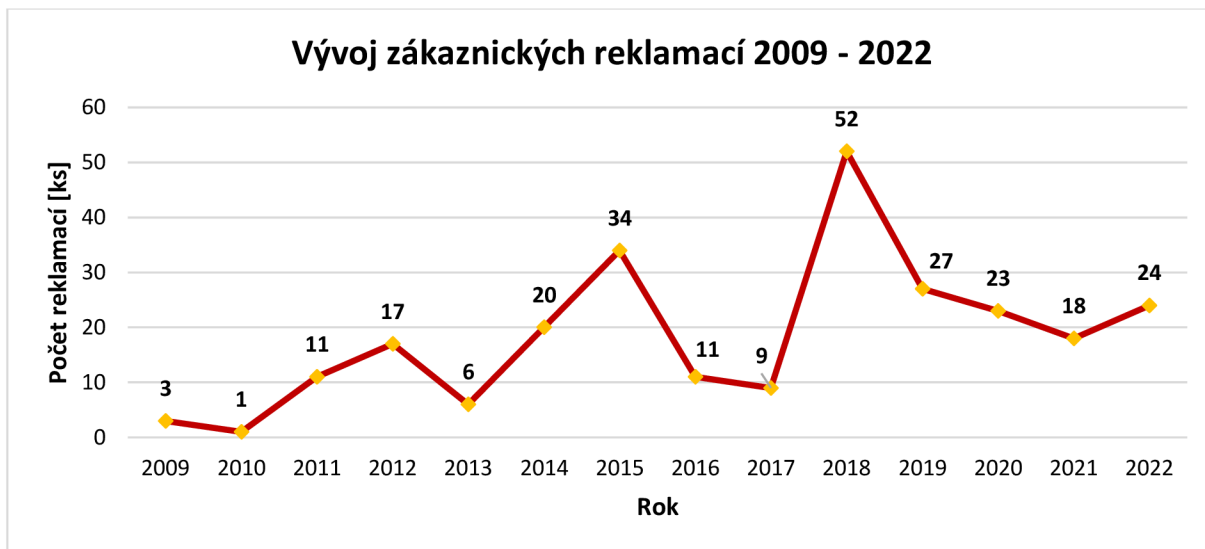
#### 4.5.2 Zákaznický management kvality

Zákaznický management kvality se výhradně zaměřuje na zákazníka. Jsou zde řešeny zákaznické reklamace, které se zpracovávají do databáze (Obr. 44). Následně jsou provedeny akce na základě, kterých je reklamační řízení nejen vyřízeno, ale je z něho ponaučení a opatření, které zamezí tomu, aby k podobné chybě v budoucnu došlo. Proces řešení zákaznických reklamací je nastaven, aby se na vyřešení a následných opatření podílely vždy dotčené oddělení.

Při reklamačním řízení se využívá 8D report, který se vypracuje a následně je zaslán zákazníkovi. Zákazník má tedy jasný přehled, co chybu způsobilo a jaká byla přijatá nápravná opatření, aby k tomu již v budoucnu nedocházelo. Hlavní člen týmu reklamačního řízení má na starosti dát jasné zodpovědné osoby a termíny na nápravná opatření, které na pravidelných schůzkách kontroluje, aby byly splněny. Interní proces reklamačního řízení je plně ukončen až jsou splněny všechny úkoly.

Pokud je reklamační závažnějšího typu, který ovlivňuje celkovou funkčnost a konstrukci výrobku, tak pro odstranění těchto chyb se využije metoda FMEA, která odhalí nebezpečná místa, které je potřeba technicky a konstrukčně řešit. Tým na tuto metodu je opět složen z pracovníků z více oddělení.

Poslední částí je produktový management, který spolupracuje s oddělením vývoje na rozvoji stávajícího výrobku a na zkouškách a testech nových výrobků. Má na starost nulté série nových portfolií a technická vylepšení, která dají firmě další výhodu před konkurencí. Na základě výsledků a reportů produktového managementu se firma může rychleji rozvíjet. Její proces je nastavený tak, aby nebyla ohrožena nebo zpožděna činnost výroby a tím ohroženy včasné dodávky k zákazníkům.

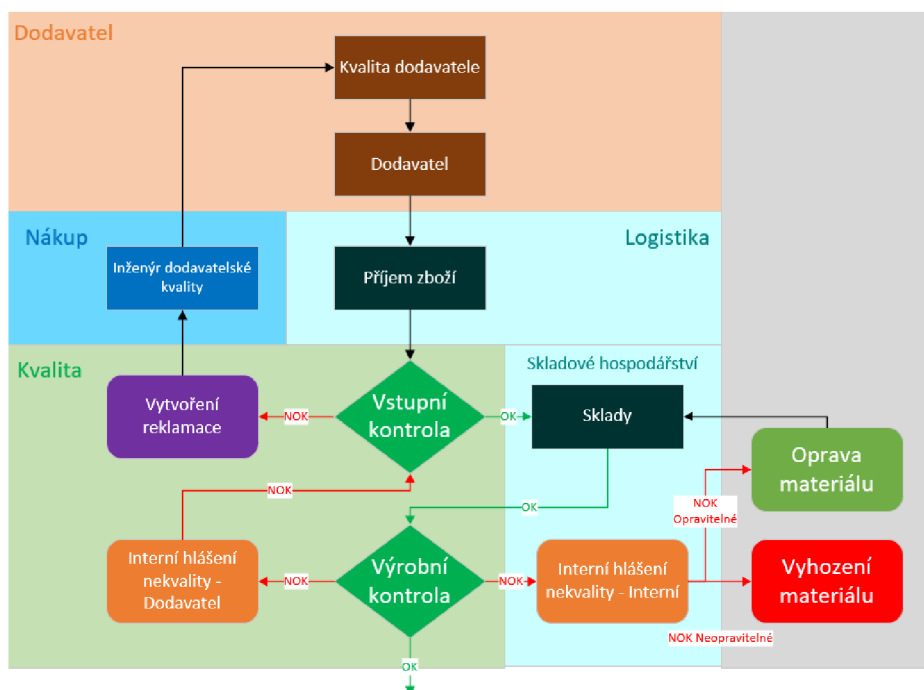


Obr. 44) Počet zákaznických reklamací za období 2009–2022

#### 4.5.3 Kontrolní činnosti vstupní kontroly

Vstupní kontrola je takovou branou pro materiál do firmy. Způsob kontroly kvality materiálu je založen na poskytnutí zpětné vazby dodavateli prostřednictvím reklamací a reakcí na nekvalitu zvýšením úrovně (četnosti kontroly). Úroveň kontroly se řídí nastaveným procesem pro nekvalitu (Obr. 45). Samotný proces kontroly je složen ze dvou částí vzájemně si poskytující zpětnou vazbu. Jedná se o:

- vstupní kontrolu,
- výrobní kontrolu.



Obr. 45) Proces nekvality ve výrobním závodě v Brně [49]

Systém zajišťuje automatickou reakci na nekvalitu nalezenou ve výrobě navýšením úrovně kontroly na vstupní kontrole, v případě problému s vyšším než nízkým dopadem do výroby (tj. řešitelným na operativní bázi) umožňuje implementovat nápravné opatření jako např. kontrolu skladových zásob, úpravu kontrolního postupu, zastavení výroby a jiné. Vstupní kontrola materiálu je prováděna na základě dostupné dokumentace v systému SAP (výkresová dokumentace, kusovníky, interní směrnice, legislativa). Organizace kontroly řídí proces, který sleduje, které materiály mají být kontrolovány přednostně a nebyly tím ohroženy termíny dodání.

Nekvalita dodavatele je reklamována formou NCR (Non-conformity record) a jeho záznam je zaslán na pracovníka nákupu, který zahájí s dodavatelem reklamační řízení. Pokud, lze materiál opravit vlastní silou a náklady navrácení materiálu by byli značně neekonomické, pošle se dodavateli návrh na opravu s vyčíslením nákladů, které s tím firma stráví. Po vzájemném odsouhlasení reklamačního řízení je materiál buď vyhozen (neopravitelný materiál) nebo opraven a zaskladněn. Reklamační řízení je ukončeno ve fázi, kdy dodavatel zaplatí náklady a pošle zprávu o nápravných opatření ve svém procesu. Oddělení nákupu si vede databázi dodavatelů, kde jejich spolehlivost závisí na předem nastavených kritérii (cena, termíny dodání, kvalita). Na základě těchto dat jsou poté dodavatelé auditováni.

Interní nekvalita je posuzovaná zvláště a materiál je buď vyhozen a je snížen firemní zisk nebo opraven, čímž je snížen zisk o vícenásobky spojené s opravou. Každý případ je posuzován individuálně v souvislosti s možným zpožděním dodání výrobku zákazníkovi. Na prvním místě je vždy bezpečně splnit termíny dodání v co nejlepší kvalitě.

Další důležitou součástí vstupní kontroly je proces vzorkování, kdy u materiálu může dojít k zásadní změně (rozměr, drsnost, složení) nebo je materiál objednan u jiného dodavatele, kdy dodavatel ještě tento typ materiálu nevyráběl. Dodavatel má za povinnost poslat referenční vzorky, které jsou podrobeny hloubkové kontrole. Všechny naměřené hodnoty a parametry během vzorkového řízení jsou uloženy do formuláře, který je pak zaslán na oddělení vývoje, které musí výsledky schválit. Dokud nedojde ke schválení, jsou referenční vzorky pozastaveny a na materiál či dodavatele nechodí žádné objednávky. Po schválení může být objednána nultá série.

Pro kontrolu kvality jsou ve firmě používána zařízení:

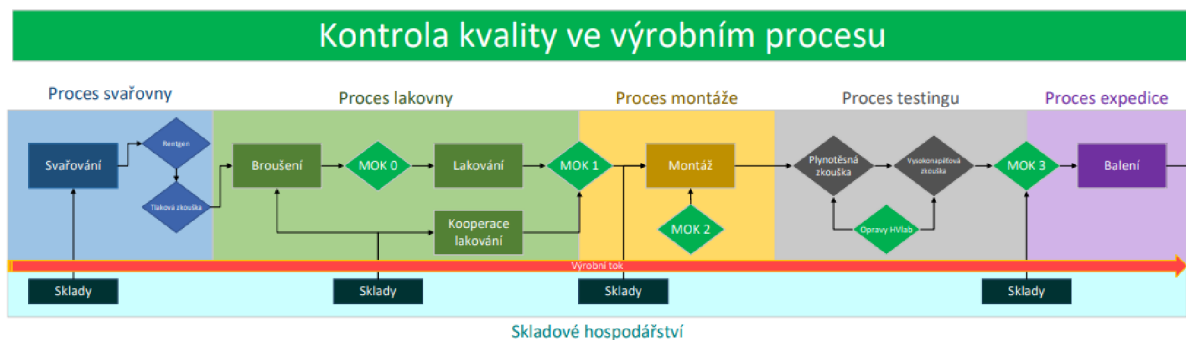
- drsnoměr MarSurf PS1,
- drsnoměr MarSurf M400 + SD 26 (Obr. 46),
- posuvná měřidla,
- tvrdoměr,
- Elcometer 456,
- třibodový dutinoměr,
- digitální sklonoměr,
- skládací mikrometrický odpich,
- mikrometr,
- digitální mikroskop Dino-Lite. [49]



Obr. 46) Drsnoměr MARSurfM400 + SD 26

#### 4.5.4 Výrobní kvalita

Výrobní kvalita je rozdělena do více procesů a její činnosti lze vidět téměř v celé výrobě (Obr. 47). Základem výrobní kvality jsou mezioperační kontroly (MOK). Tyto kontroly jsou v procesu umístěny tak, aby odhalily případnou nekvalitu, která by pak způsobovala vícenásobné zpoždění zakázek, nekvalitu v pozdějším procesu. [44]



Obr. 47) Proces kontroly kvality ve výrobním procesu [44]

Výrobní kvalita se skládá z těchto kontrol:

- MOK 0 (Mezioperační kontrola před lakem),
- MOK 1 (Mezioperační kontrola po laku),
- MOK 2 (Kontrola montáže – interní audity),
- MOK 3 (Výstupní kontrola),
- opravné pracoviště. [44]

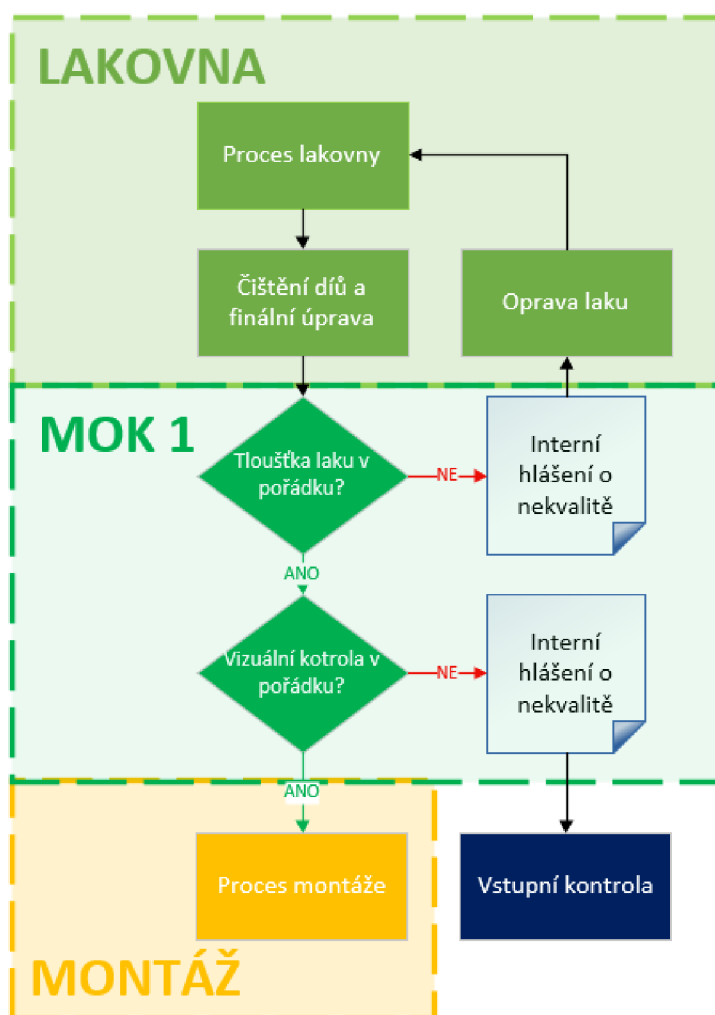
Parametry jednotlivých kontrol udávají interní dokumenty pro výrobní kvalitu a celkový proces je nastaven tak, aby reagoval na zvýšenou nekvalitu jednotlivých procesů či materiálů. Nekvalita je evidována pomocí interních hlášení o nekvalitě a je vyhodnocována průběžně. Interní procesy pomocí dat mohou rychle reagovat na zvýšenou nekvalitu a zabránit velkým finančním ztrátám. Opakující se nekvalita je reportována na Quality meetingu, kdy se pomocí akčního plánu hledá způsob trvalého řešení.

#### 4.5.5 Mezioperační kontrola 1 – konečná kontrola procesu lakování

Mezioperační kontrola 1 je konečná kontrola po procesu lakování. Nastavení konečné kontroly po procesu lakování funguje jako kvalitativní výstup lakovny. Samotnou kontrolu provádí pracovníci oddělení kvality podle nastavených interních pravidel. Celý tým mezioperační kontroly se skládá z:

- specialista výrobní kvality – analýza dat, reporty a proces
- technik kvality – tvorba interních hlášení, posuzování, operativa,
- kontrolor kvality – měření tloušťky laku, vizuální kontrola. [44]

Celkový proces vyhodnocení kvality po procesu lakování je znázorněn na Obr. 48).



Obr. 48) Proces vyhodnocení kvality po procesu lakování

Pracoviště čištění je podpůrný proces lakovny pro zajištění odmaskování, kontrolu a případné čištění, před převedením na konečnou kontrolu po procesu lakování. Po očištění a finální úpravě jsou materiály kontrolovány. Na pracovišti kontroly se pracuje ve třísměnném

provozu, kde jednotlivé směny mají vždy jednoho technika kvality a tři kontrolory. Jednotlivé kontrolní činnosti jsou sepsány v Tab 8).

Tab 8) Kontrolní činnosti mezioperační kontroly 1 [17]

<b>Kontrolní činnosti mezioperační kontroly 1</b>		
<b>Typ kontroly</b>	<b>Četnost</b>	<b>Odpovědnost</b>
Měření tloušťky laku dle ČSN EN ISO 2360:2018	Každý kus = 100 %	Kontrolor kvality
Vizuální kontrola dle interní směrnice I-0004	Každý kus = 100 %	Kontrolor kvality
Kontrola povrchového napětí dle interní směrnice 2GPH000044	1 x směna	Technik kvality
Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 2409:2021	1 x týdně	Technik kvality
Stanovení lesku při úhlu 20°, 60° a 85° dle ČSN EN ISO 2813:2016	1 x týdně	Specialista kvality
Zkouška padajícím závažím dle ČSN EN ISO 6272-2:2012	1 x týdně	Specialista kvality
Zkouška ohybem dle ČSN EN ISO 1519:2011	1 x týdně	Specialista kvality

Kontrolní činnosti, které se provádí na každém materiálu, který prošel procesem lakovny jsou:

- měření tloušťky laku dle ČSN EN ISO 2360:2018:
    - měření vnitřní tloušťky,
    - měření vnější tloušťky,
    - měření aktivních dílů,
  - vizuální kontrola dle interní směrnice I-0004:
    - kontrola správnosti materiálu dle raženého čísla,
    - těsnící plocha bez škrábanců, rýh, zbytkové barvy,
    - otvory pro šrouby bez nálitků,
    - závity – dobře opracovaná náběhová hrana, bez nečistot uvnitř,
    - čistá nepoškozená postříbřená kontaktní plocha,
    - dosedací/kontaktní plocha,
    - celková vizuální kvalita materiálu kvůli špičkám, rýhám, nečistotám, zbytkové cizí barvě, různého naražení, bublin v materiálu, neodlakovaným plochám.
- [44]

Materiály, kde nejsou splněny základní parametry tloušťky laku (Tab 6) nejsou vpuštěny dále do procesu. Na neshodné materiály je vystaveno interní hlášení o nekvalitě, které je vyplněno technikem kvality. V hlášení je uvedeno: číslo materiálu, název materiálu, projekt, číslo montážní jednotky, popis vady a fotky. Jako příloha při slabé tloušťce barvy je protokol pro měření suchého nátěru. Protokol je informace pro technologii, protože jsou zde uvedeny přesná místa se slabou tloušťkou laku i s naměřenými hodnotami. Pozastavený materiál je poslán na opravné pracoviště, kde je opraven dle interní instrukce 2GPH000064: Oprava poškození laku. Pokud jsou materiály poškozeny mimo lakované plochy nebo mají poškozené těsnící plochy, postříbřené plochy a jiné části, tak je vystaveno interní hlášení o nekvalitě a další proces posouzení vady jsou řešeny vstupní kontrolou. Materiály, které jsou v pořádku jsou poslány do procesu montáže.



## 5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Dle normy ČSN EN ISO 9001:2016 musí organizace určit interní a externí aspekty, které jsou relevantní pro její účel a strategické zaměření a které ovlivňují její schopnost dosahovat zamýšleného výsledku (výsledků) jejího systému managementu kvality. Organizace musí monitorovat a přezkoumávat informace o těchto aspektech. S ohledem na vliv nebo možný vliv potřeb a očekávání na schopnost organizace trvale poskytovat produkty a služby, které splňují požadavky zákazníka a příslušné požadavky zákonů a předpisů musí organizace určit:

- zainteresované strany, které jsou relevantní pro systém managementu kvality,
- požadavky těchto zainteresovaných stran, které jsou relevantní pro systém managementu kvality.

Vrcholové vedení musí s ohledem na zaměření na zákazníka prokázat svou vůdčí roli a závazek, přičemž zajistí, že:

- jsou určeny, pochopeny a trvale plněny požadavky zákazníka a příslušné požadavky zákonů a předpisů,
- jsou určena a řešena rizika a příležitosti, které mohou ovlivnit shodu produktů a služeb a schopnost zvyšovat spokojenost zákazníka,
- organizace se neustále zaměřuje a zvyšování spokojenosti zákazníka.

### 5.1 Zákaznické požadavky

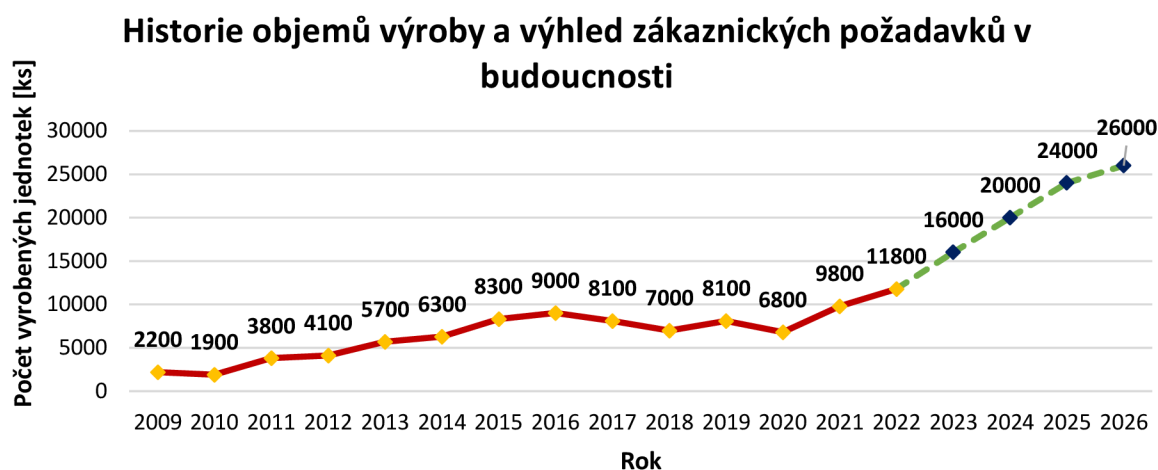
Organizace Hitachi Energy sídlící v Brně je řízena na základě ČSN EN ISO 9001:2016. Z těchto důvodů se zavázala zaměřit se na zákazníka, nastavovat cíle a politiku organizace na základě externích a interních vlivů. Jen za pomoci nástrojů managementu kvality je schopna i nadále konkurovat na trhu s energetikou díky nimž přicházejí nové výzvy a zákaznické požadavky.

Na začátku roku 2023 je energetický průmysl díky vnějším vlivům jedno z předních témat celosvětových vlád. Strategické cíle jednotlivých zemí po celém světě nyní směřují k nezávislým distribučním sítím. To navyšuje poptávku po výrobcích v energetice, které jsou využívány právě pro distribuční sítě. Organizace se musí na zvýšenou poptávku připravit, jinak nebude schopna splnit zákaznické očekávání a může ztratit pověst a jméno v energetickém průmyslu. Díky své strategii získává Hitachi Energy stále více poptávek na nové distribuční sítě po celém světě.

Výrobu zahájila organizace v roce 2009 v Brně na ulici Vídeňská. V prvním roce se jí podařilo vyrobit kolem 2200 jednotek při malém portfoliu. Během let 2011 až 2016 měla organizace vzestup zákaznických požadavků, na které musela reagovat, kdy v roce 2014 se přesunula do nynějších prostor v Brně – Slatině. Po roce 2016, kdy přišel rekord v počtu vyrobených jednotek, se začal trend obracet a společnost byla nucena přistoupit i k propouštění. Následující roky se pohybovaly stabilně a na přelomu let 2020 a 2021 začala sílit zákaznická poptávka. To vyústilo v nový rekord, který se podařil v roce 2022 v objemu 11800 jednotek.

Díky velmi vysoké poptávce je výhled na období 2023 až 2026 velice zajímavý a organizace musí reagovat na tyto změny. V roce 2026 by měla výroba dosáhnout historického

maxima 26000 vyrobených jednotek. Společnost se teď musí rozhodnout jakým směrem se vydá, aby byla schopna tyto požadavky vyrobit. Musí počítat, ale i s tím, že po roce 2026 může dojít k propadu. Proto její cíle a strategie musí počítat s rizikem poklesu a nesmí její náklady, které budou v budoucnosti, příliš ohrozit chod organizace. Celkový přehled historie výroby a budoucích požadavků je znázorněn v grafu Obr. 49).



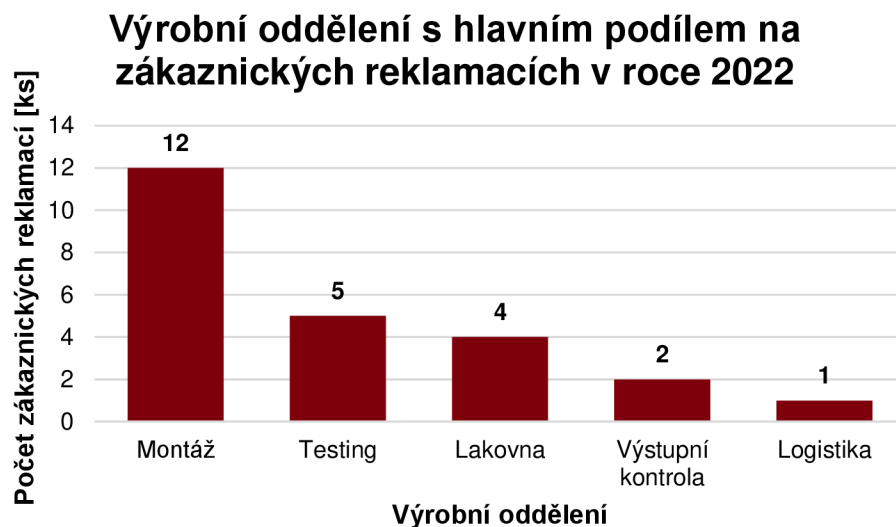
Obr. 49) Předpokládaný nárůst výroby v letech 2023–2026

Organizace se musí zaměřit na externí a interní vlivy. Tyto vlivy musí analyzovat a rozhodnout se, jakým způsobem stanovených cílů dosáhne. Jako externí vlivy na spokojenost zákazníka je kvalita, kterou je organizace schopna poskytovat. Proto je dobré se zaměřit na zákaznické reklamace z roku 2022.

## 5.2 Zákaznické reklamace

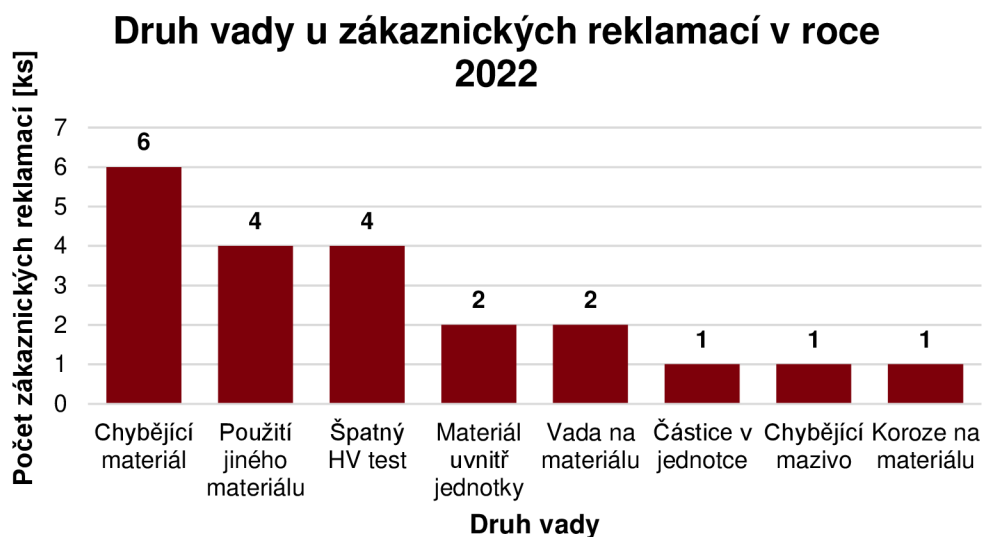
Celkový vývoj zákaznických reklamací je vidět na Obr. 44). Nejhorším rokem v celé historii výroby byl rok 2018, kdy společnost obdržela celkem 52 zákaznických reklamací. Od tohoto roku se firma zaměřila na zlepšování procesů a ponaučení se z vlastních chyb. Od roku 2019 je držen neustálý trend mezi dvaceti až třiceti reklamacemi v roce.

Analýza zákaznických reklamací je rozdělena do dvou částí. V první části je vytvořena analýza, která odhalí, co způsobilo nekvalitu. Dále je zaměřeno, jestli bylo možné pochybení odhalit. V analýze byly použity výsledky za rok 2022 a jsou znázorněny grafiky Obr. 50).



Obr. 50) Výrobní oddělení s hlavním podílem zákaznických reklamací v roce 2022

Dle grafu bylo 50 % zákaznických reklamací z důvodu chyb montáže, které v dalším procesu již nebylo možné odhalit. Dalším důležitým faktorem je druh vady, která byla zákazníkem odhalena. Z těchto vad by se měla organizace vždy poučit a formou 8D zákaznického reportu udělat nápravné opatření, které zabrání opětovné chybě. Jednotlivé druhy vad u zákaznických reklamací v roce 2022 je graficky znázorněn na Obr. 51).



Obr. 51) Druh vady zákaznických reklamací v roce 2022

Obě statistiky doporučují, zaměřit se na výrobní oddělení montáže, kde jsou nejčastější vady způsobeny chybějícím materiálem anebo použitím jiného materiálu, dle chybné konfigurace v systému. U těchto vad bych společností nedoporučoval žádnou optimalizaci kontrolní činnosti, ale zaměřil bych se na školení nových pracovníků montáže.

### 5.3 Náklady na nekvalitu ve výrobním závodě Brno

Po prošetření externích vlivů, které mají vliv na organizaci je nutné porovnat nekvalitu, která stojí společnost určité náklady. Nekvalita se skládá z:

- externí nekvality (zákaznické reklamace),
- interní nekvality (interní hlášení o nekvalitě),
  - vícepráce,
  - vyhozený materiál,
  - scrap (odpadní materiál – zbytky pouzdra, vodiče).

Celkové náklady pro rok 2022 jsou obsaženy v Tab 9) .

Tab 9) Náklady na nekvalitu ve výrobním závodě Brno za rok 2022

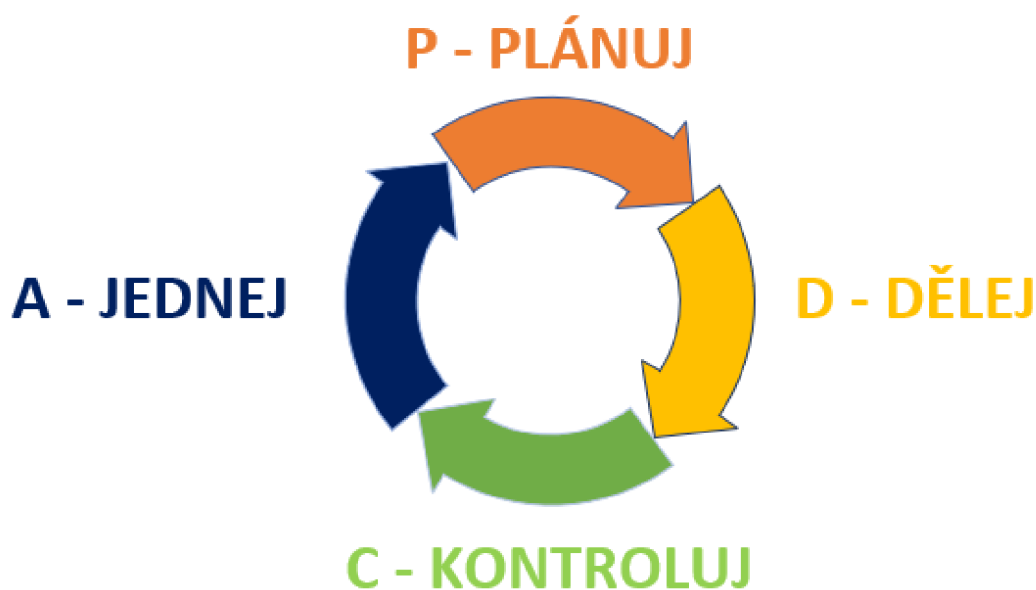
<b>Náklady na nekvalitu v roce 2022</b>	
<b>Druh nekvality</b>	<b>Částka</b>
Vícepráce	9 339 000 Kč
Materiál	4 160 000 Kč
Scrap	2 460 000 Kč
Zákaznické reklamace	41 000 Kč

Většina nákladů na nekvalitu je způsobena interní nekvalitou, která je v 99 % všech nákladů, která společnost ročně platí. Za rok 2022 bylo vynaloženo přes patnáct miliónů českých korun na interní nekvalitu. Vzhledem k tržbám stojí veškerá nekvalita firmu 0,83 %. Není to příliš velká částka, ale investice částky by se dala využít v některém jiném procesu. Z tohoto důvodu bude v další části závěrečné práce zaměřeno na rozbor interní nekvality ve výrobním procesu.

## 6 NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ ZADANÉHO ÚKOLU

V předchozí kapitole byl rozebrán externí vliv na organizaci formou navýšení zákaznických objednávek na následující čtyři roky. Organizace plánuje zaměřit se na procesy systému managementu kvality, aby našla příležitosti, jak snížit výrobní náklady a optimalizovala výrobní procesy. Jen díky tomu bude schopna tyto požadavky splnit.

Oblasti, kterým se organizace musí věnovat, je více, ale pro účely této diplomové práce byly zvoleny náklady na interní nekvalitu. Cílem diplomové práce je najít nejčastější příčinu způsobující interní nekvalitu a najít optimalizace kontrolní činnosti na snížení těchto nákladů. V rámci analyzování interní nekvality a návrhů na optimalizaci kontrolní činnosti je uplatněn cyklus PDCA (Obr. 52).



Obr. 52) Cyklus PDCA [3]

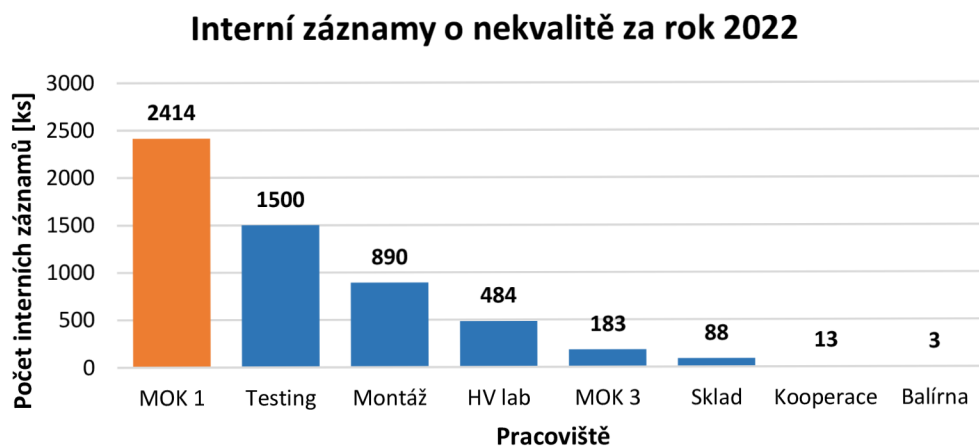
V první fázi „plánuj“ je nutné porozumět, které faktory mají největší vliv na interní nekvalitu výrobního závodu. Procesy nebo místa, které mají největší vliv na interní nekvalitu se objeví na základě celkové analýzy interní nekvality za rok 2022.

### 6.1 Vyhodnocení interních záznamů o nekvalitě

Pro sběr dat ve výrobě jsou vytvořeny interní záznamy o nekvalitě, které jsou uloženy do databáze na všech pracovištích výrobní kvality. Data budou podrobena detailní analýze, kde budou odhalena místa s největším odchytem nekvality ve výrobním závodě. Pro analýzu jsou použity statistické vyhodnocovací nástroje, kterými jsou Paretova analýza, grafické vyhodnocení pomocí sloupcových grafů nebo Ishikawův diagram.

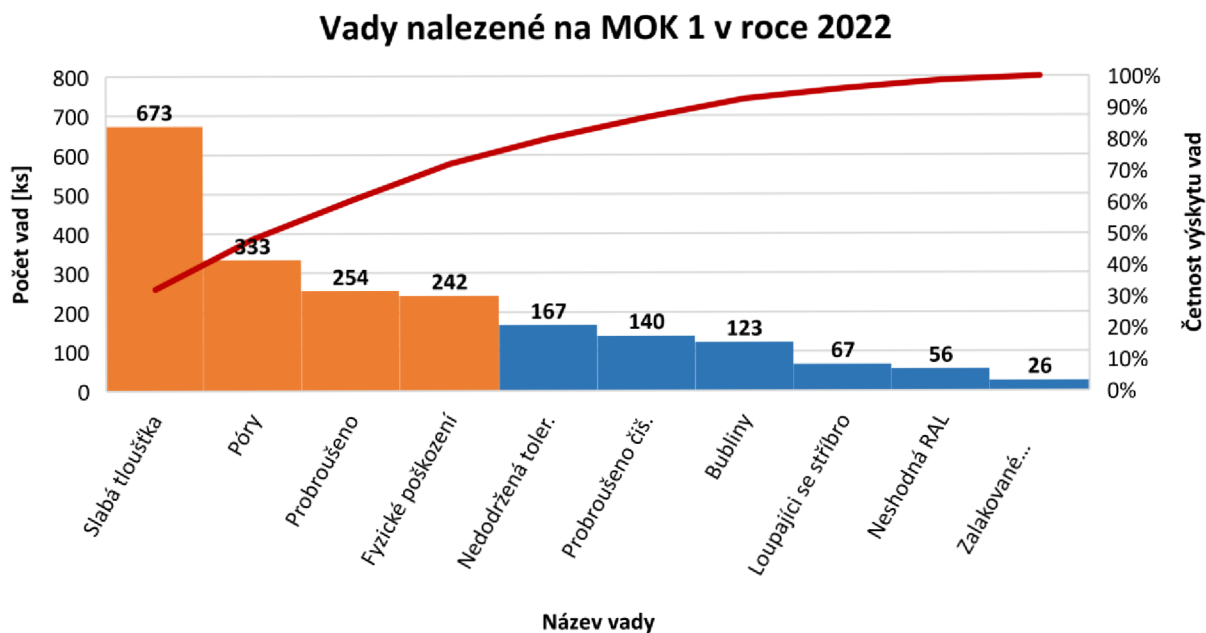
### 6.1.1 Vyhodnocení fiskálního roku 2022

V roce 2022 bylo na všech pracovištích výrobní kvality vystaveno celkem 5657 interních záznamů o nekvalitě. Pracoviště, která objevila nejvíce interní nekvality, jsou vyobrazeny graficky (Obr. 53).



Obr. 53) Přehled interních záznamů o nekvalitě za rok 2022

Pro vady nalezené na MOK 1 byl vytvořen Paterův diagram (Obr. 54), který znázorní vady, na které je nutné se zaměřit.



Obr. 54) Nejčastější vady nalezené na pracovišti MOK1

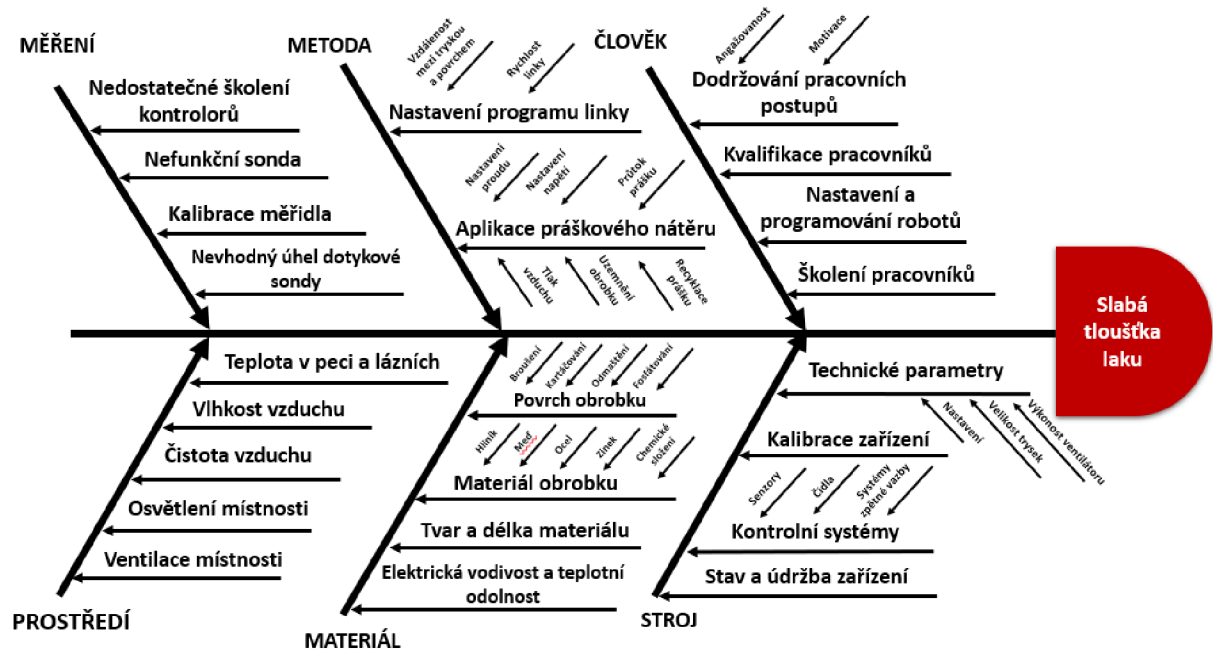
Ve výrobním procesu lakování je nutné řešit nejčastější vady, které jsou tvořeny z 80 % celkové nekvality:

- slabá tloušťka laku,
- póry,
- probroušení materiálu,
- fyzické poškození.

Po dohodě s vedoucí diplomové práce bylo rozhodnuto věnovat se pouze slabé tloušťce laku, která je nejčastěji se vyskytující vada po procesu lakování. Výrobnímu záводу v rámci procesu neustálého zlepšování doporučuji se věnovat i dalším vadám nalezených na kontrolním pracovišti.

### 6.1.2 Příčiny slabé tloušťky laku

Pro nalezení příčiny slabé tloušťky laku byl vytvořen Ishikawův diagram (Obr. 55). Diagram odhalí všechny potenciální příčiny, který tento druh vady může způsobit.



Obr. 55) Ishikawův diagram pro slabou tloušťku nátěru

Ishikawův diagram odhalil příčiny slabé tloušťky laku. Je nutné tyto příčiny analyzovat, aby bylo možné určit co skutečně v procesu způsobuje vadu slabé tloušťky laku. V následující kapitole bude rozbor jednotlivých oblastí a analýza toho, jak je proces nastaven, aby došlo k zamezení této příčiny.

## 6.2 Rozbor potenciálních příčin slabé tloušťky laku

V rozboru byly analyzovány pouze oblasti, které byly vyhodnoceny, že příčiny mohou mít velký vliv na slabou tloušťku laku. Po dohodě s vedoucí nebyly analyzovány všechny oblasti. Firmě doporučuji v rámci procesu neustálého zlepšování analýzu všech oblastí a jejich příčin.

### 6.2.1 Analýza oblastí měření

Příčiny, které mohou způsobovat slabou tloušťku laku v oblasti měření jsou:

- nedostatečné školení kontrolorů,
- nefunkční sonda,
- kalibrace měřidla,
- nevhodný úhel dotykové sondy.

#### Kalibrace měřidla

Kalibrace měřících zařízení na kontrole po procesu lakování je provedeno v nastavených intervalech specializovanou externí společností. Pravidelnost je hlídána systémem. Samotné tloušťkoměry jsou dle interní instrukce 2GPH000138 kalibrovány pomocí kalibračních fólií jednou týdně technikem kvality na třech různých površích: [50]

- hladký povrch,
- hrubý povrch,
- stínění.

Všechny zařízení jsou obsahem Tab 10) a jejich kalibrace jsou platné.

Tab 10) Kalibrace měřidel používaných na pracovišti kontroly

<b>Zařízení používané na mezioperační kontrole po lakování</b>			
<b>Název</b>	<b>Výrobní číslo</b>	<b>Evidenční číslo</b>	<b>Platnost kalibrace</b>
Digitální tloušťkoměr	LF04685	I-2940-075	06.11.2023
Digitální tloušťkoměr	NB02011	I-2940-076	06.01.2024
Digitální tloušťkoměr	PL10536	I-2940-077	06.01.2024
Digitální tloušťkoměr	SF16692	I-2940-078	04.08.2023
Digitální tloušťkoměr	SG19398	I-2940-079	24.02.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	XF01828	P-2940-021	13.05.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	XG26083	P-2940-024	01.11.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	XG26088	P-2940-025	12.08.2023
Sonda pro měření tloušťky povlaku	XL08951	P-2940-026	02.12.2023
Sonda pro měření tloušťky povlaku	XL08939	P-2940-027	02.12.2023
Sonda pro měření tloušťky povlaku	YF05092	P-2940-029	23.06.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	YF05100	P-2940-030	23.06.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	YF08754	P-2940-031	06.07.2024
Sonda pro měření tloušťky povlaku	YG04320	P-2940-032	04.08.2024
Kalibrační fólie	TXK119389, TXK119388	P-2940-028	18.07.2022
Kalibrační fólie	XD14199, XD11334	P-2940-033	09.05.2024



## Nevhodný úhel dotykové sondy a školení kontrolorů

Nevhodný úhel dotykové sondy je velice důležitý. Materiál, na kterém je měření prováděno je oblého tvaru, takže sonda se dotýká povrchu na hraně přípustné tolerance. Jakékoliv vychylování sondy během měření má za následek špatné vyhodnocení tloušťky laku. Pracovníci kontroly jsou pravidelně školeni dle interní směrnice 2GPH000243, která určuje způsob měření a vyhodnocení tloušťky laku. Pravidelným školením je zajištěna kvalifikace všech pracovníků výrobní kvality.

### **6.2.2 Analýza oblasti metoda**

Příčiny, které mohou způsobovat slabou tloušťku laku v oblasti metoda jsou:

- aplikace práškového nátěru,
- nastavení programu linky.

#### Aplikace práškového nátěru

Aplikace práškového nátěru je provedeno v lakovacích boxech za pomoci robotického lakování metodou corona. Během procesu aplikace může dojít k příčinám, které mohou způsobit slabou tloušťku laku. Tyto příčiny jsou:

- nastavení proudu,
  - ovlivňuje dostřik na obrobek, určuje množství elektrostatického náboje,
- nastavení napětí,
  - ovlivňuje přilnutí práškových částic na povrch obrobku, vysoké může tvořit tzv. pomerančovou kůru povrchu
- průtok prášku,
  - závisí na vlastnostech prášku, geometrii obrobku, rychlosti aplikace,
- tlak vzduchu,
  - zajištění optimálního rozptylu a adheze práškového laku na povrchu,
- uzemnění obrobku,
  - dochází k vytvoření elektrostatického potenciálu, který přitahuje práškové částice,
- recyklace prášku,
  - špatná konzistence nového a starého laku ovlivňuje výslednou tloušťku laku
- zavěšení obrobku na traverze
  - obrobek může být zavěšen ve špatném úhlu nebo mohou být navěšeny dva obrobky nad sebou což může způsobovat nedostatečnou tloušťku práškového laku

Nastavení proudu, napětí, průtoku prášku a tlaku vzduchu je pro každý materiál nastaven dle jiných parametrů. Tyto parametry byly stanoveny experimenty při zprovoznění robotické lakovací linky. Všechny parametry byly ověřeny kontrolním měřením. Linka je řízena automaticky, takže při jiném materiálu, změní linka lakovací program pro příslušný materiál. Technolog lakovny mění parametry v případě velkého výskytu nekvality.

Uzemnění obrobku vizuálně kontroluje obsluha linky. Recyklace prášku je monitorována pomocí měření spotřeby prášku senzory. Dále je nastavena pravidelná laboratorní kontrola recyklovaného prášku na chemické složení, granulometrie a distribuce velikosti částic.

### Nastavení programu linky

Program linky je složen z:

- vzdálenost mezi tryskou a obrobkem,
- rychlost linky.

Vzdálenost mezi tryskou a obrobkem má obrovský vliv na tloušťku laku a jeho nastavování probíhalo za pomoci experimentů a kontroly tloušťky laku. Linka má pouze dvě rychlosti: 1,78 metrů za minutu a 1,40 metrů za minutu. Standartně je používáno rychlejší nastavení pro větší kapacitu linky. Nižší rychlost je používána pouze pro jiný druh materiálu.

### **6.2.3 Analýza oblasti prostředí**

Prostředí má velký vliv na výslednou tloušťku laku a nejčastějšími příčinami jsou:

- teplota v peci,
  - vysoká teplota způsobuje předčasné vytvrzení a nežádoucí změny v toku nátěru, což vede ke snížení tloušťky,
- teplota v lánkách,
  - teplota ovlivňuje viskozitu lakovacího média, rychlost vytvrzování laku a adhezi laku na povrchu obrobku,
- vlhkost vzduchu,
  - vysoká vlhkost může ovlivnit proudění práškového laku a jeho adhezi na povrchu obrobku,
- čistota vzduchu,
  - nečistoty a částice mohou bránit správnému přilnutí práškového laku,
- osvětlení místnosti,
  - důležité pro vizuální kontrolu procesu a následnou reakci obsluhy linky,
- ventilace místnosti,
  - nezbytný pro odvod vznikajících plynů a aerosolů z lakovací místnosti,
- teplota v místnosti,
  - vliv na měření a pracovníky (při příliš vysoké teplotě ztráta koncentrace).

Teplota v peci je monitorována a proces je nastaven tak, aby linka nezačala aplikaci práškového nátěru do doby, než bude požadovaná teplota v peci. Všechny data o teplotě v peci jsou systémem zaznamenávány. V případě vyskytnutí nekvality lze zpětně vyhodnotit data z pece.

Při analýze lázní bylo zjištěno, že lázně stejnou funkci nemají. Automatická linka provede ponor materiálu do lázně, i když nemá správnou teplotu. Doporučuji do automatické linky instalaci teploměru s ponořovací sondou (Obr. 56), která bude propojena s linkou a zabrání ponoru materiálu do lázně, pokud nebude mít předem stanovené parametry. Po instalaci sondy doporučuji i pravidelnou kontrolu pomocí bezdotykového teploměru a porovnání hodnot. Pokud proces bude stabilní je možné bezdotykovou kontrolu zrušit.



Obr. 56) Teploměr s ponořovací sondou [51]

#### 6.2.4 Analýza oblasti materiálu

Materiál má vliv na slabou tloušťku laku. Příčiny u materiálu jsou:

- povrch obrobku
  - broušení
  - kartáčování
  - odmaštění
  - fosfátování
- materiál obrobku
  - hliník
  - ocel
  - měď
  - zinek
- tvar a délka
  - tvary odlitku
  - délka pouzdra a vodiče
- elektrická vodivost
  - materiály s nízkou elektrickou vodivostí mohou vyžadovat dodatečné předúpravy
- teplotní odolnost

Pro statistické zpracování a vyhodnocení výsledků u vybraného procesu byl vybrán tvar a délka materiálu. Další příčiny doporučuji, aby firma analyzovala v rámci procesu neustálého zlepšování.

## 7 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ U VYBRANÉHO PROCESU

V druhé fázi „dělej“ cyklu PDCA je zapojena fáze testování, sběr a vyhodnocení dat. Na základě těchto dat je nutné navrhnout změny, které budou přínosem pro aktuální proces. Všechny testy je nutné evidovat a měřící přístroje, které jsou použity pro sběr dat, tak překontrolovat platné kalibrace a ověřit způsobilosti.

### 7.1 Způsobilost měřidla

Pro statistické zpracování dat, byly měřeny údaje pomocí digitálního tloušťkoměru Elcometer 456 (Obr. 57) pod interním označením I-2940-075 s pravoúhlou neferomagnetickou měřicí sondou s rozsahem 0-1500  $\mu\text{m}$  od společnosti Elcometer s interním označením P-2940-030. Měřicí sonda má platnou kalibraci ze dne 23.6.2022. Kalibrační list je vložen v diplomové práci jako Příloha A.

Před samotným měřením je nutné zkontrolovat způsobilost měřidla, tedy ověření vhodnosti zařízení pro tento typ měření.



Obr. 57) Měřidlo Elcometer 456 (I-2940-075)

Pro měření způsobilosti byly použity kalibrační fólie (Obr. 58) velikosti 52,1  $\mu\text{m}$  evidenční číslo TXK119389 a 126,1  $\mu\text{m}$  evidenční číslo TXK119388 od společnosti Elcometer pod interním označením P-2940-028. Kalibrační fólie mají platnou kalibraci ze dne 18.7.2022. Kalibrační list folií je vložen jako Příloha B.



Obr. 58) Kalibrační fólie Elcometr (P-2940-028)

Měření způsobilosti měřidla i naměřené údaje byly měřeny v prostorách mezioperační kontroly, kde teplota během měření byla 22,4 °C. Teplota byla odměřena z digitálního teploměru od firmy TFA pod interním označením P-5920-088 s platnou kalibrací ze dne 23.5.2022. Kalibrační list digitálního teploměru je vložen jako Příloha C.

Měření probíhalo na nelakovaném hliníkovém podkladu, který je nejčastějším materiálem používaný pro práškové lakování. Průběh měření je vidět na Obr. 59). Sonda byla pokládána na kalibrační fólii a z displeje měřícího přístroje byla odečtena hodnota. U obou kalibračních fólií bylo naměřeno dvacet pět hodnot, pro prokazatelné určení způsobilosti měřidla.



Obr. 59) Průběh měření způsobilosti měřidla

Výsledky měření způsobilosti jsou shrnuty v Tab 11) .

Tab 11) Měření hodnot způsobilosti měřidla

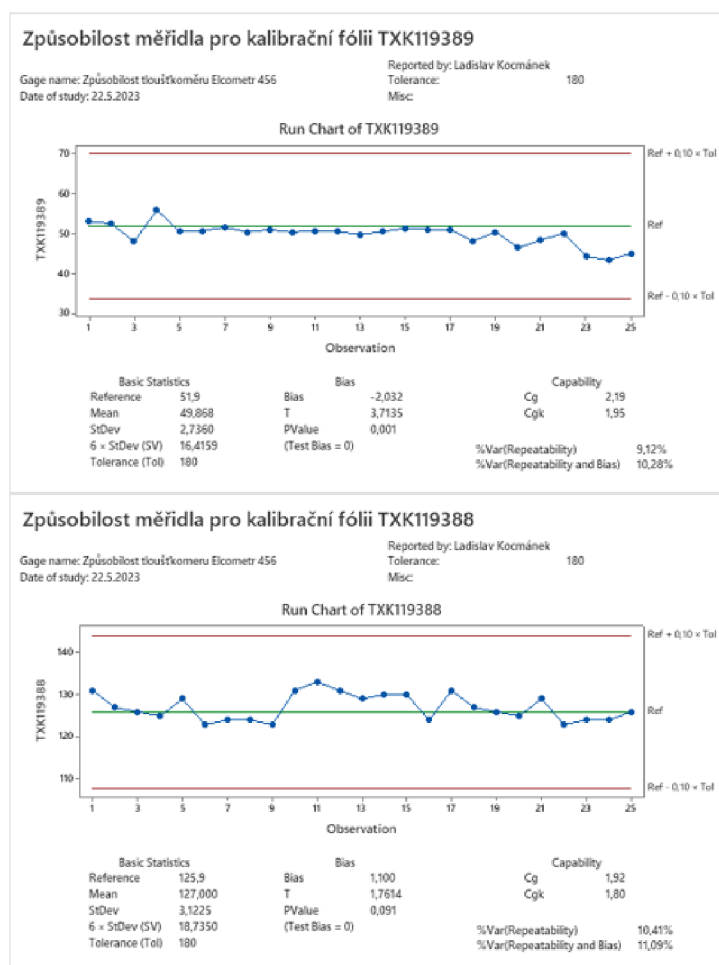
<b>Záznam o měření způsobilosti měřidla</b>		
<b>Data o měřidle</b>		<b>Evidenční a výrobní číslo</b>
<b>Měřidlo</b>	Digitální tloušťkoměr Elcometer 456	I-2940-075; LF04685
<b>Sonda</b>	Pravouhelná neferomagnetická sonda	P-2940-030; YF05100
<b>Typ</b>	Digitální	-
<b>Rozsah [μm]</b>	0-1500	-
<b>Rozlišitelnost [μm]</b>	0,1	-
<b>Obecná data</b>		
<b>Měřil</b>	Ladislav Kocmánek	
<b>Datum</b>	02.03.2023	
<b>Čas</b>	17:15	
<b>Místo</b>	Mezioperační kontrola 1	
<b>Tlak [hPA]</b>	990	
<b>Teplota [°C]</b>	22,4	
<b>Vlhkost [%]</b>	24	
<b>Naměřené hodnoty [μm]</b>		
<b>Číslo měření</b>	<b>Kalibrační fólie TXK119389</b>	<b>Kalibrační fólie TXK119388</b>
1	53,1	131
2	52,5	127
3	48,1	126
4	55,9	125
5	50,6	129
6	50,8	123
7	51,6	124
8	50,5	124
9	51,0	123
10	50,4	131
11	50,8	133
12	50,6	131
13	49,8	129
14	50,6	130
15	51,4	130
16	51,1	124
17	51,0	131
18	48,2	127
19	50,5	126
20	46,6	125
21	48,4	129
22	50,2	123
23	44,4	124
24	43,5	124
25	45,1	126

Pro vyhodnocení způsobilosti měřidla, byly použity výpočty z kapitoly 2.2.2. Toleranční pole bylo stanoveno v rozmezí 70–250 μm (180 μm). Výsledné hodnoty jsou shrnuty v Tab 12) .

Tab 12) Výpočet indexu způsobilosti  $c_g$  a  $c_{gk}$

Výpočet indexu způsobilosti		
Hodnota	Výsledek	
	TXK119389	TXK119388
Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	43,5	123
Maximum [ $\mu\text{m}$ ]	55,9	133
Roztýl [ $\mu\text{m}$ ]	12,4	10
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]	49,868	127
Směrodatná odchylka – $sg$	2,7360	3,1225
Nejistota typu A – $u_A$ [ $\mu\text{m}$ ]	0,5472	0,6245
Toleranční pole – $T$ [ $\mu\text{m}$ ]	180	180
<b>Index způsobilosti <math>c_g</math></b>	<b>2,19</b>	<b>1,92</b>
<b>Index způsobilosti <math>c_{gk}</math></b>	<b>1,95</b>	<b>1,80</b>

Pro vyhodnocení indexu způsobilosti  $c_g$  a  $c_{gk}$  je využita tabulka 4, kde hodnoty jsou ve vztahu  $c_g, c_{gk} \geq 1,33$ . Měřicí zařízení je vhodné pro měření hodnot v rozmezí dané tolerance. Ověření dat a grafické znázornění proběhlo v aplikaci Minitab (Obr. 60).



Obr. 60) Grafické znázornění způsobilosti tloušťkoměru Elcometer 456

Dalším možným ověřením ukazatele vhodnosti měřidla je pomocí normy VDA 5, která poskytuje směrnice a postupy pro posouzení vhodnosti měřidla v souladu s požadavky automobilního průmyslu.

Tab 13) Ověření ukazatel vhodnosti měřícího zařízení dle normy VDA - 5

Označení dle VDA - 5	Název	Výsledek	
		TXK119389	TXK119388
$u_{RE}$	Rozlišení (Resolution) [ $\mu\text{m}$ ]	0,02887	0,02887
$u_{cal} (k=2)$	Nejistota kalibrace (Calibration uncertainty) [ $\mu\text{m}$ ]	0,01443	0,01443
$u_{evr}$	Opakovatelnost (Repeatability on reference standard) [ $\mu\text{m}$ ]	2,73598	3,12250
$u_{LN}$	Nejistota linearity (Uncertainty from linearity) [ $\mu\text{m}$ ]	0	0
$u_{BI}$	Nejistota bias (vychýlení) (Uncertainty from bias) [ $\mu\text{m}$ ]	1,17318	0,63509
$u_{MS}$	Kombinovaná nejistota měřícího systému (Measurement system) [ $\mu\text{m}$ ]	2,97694	3,18646
TOL	Tolerance T (Tolerance) [ $\mu\text{m}$ ]	180	180
%RE	Rozlišení (Resolution) [%]	0,05556	0,05556
$u_{MS}$	Kombinovaná nejistota měřícího systému (Combined standard uncertainty of MS) [ $\mu\text{m}$ ]	2,97694	3,18646
$U_{MS} (k=2)$	Rozšířená nejistota měřícího systému (Expanded measurement uncertainty of MS) [ $\mu\text{m}$ ]	5,95387	6,37292
$Q_{MS-max}$	Mezní hodnota ukazatele vhodnosti [%]	15	15
$Q_{MS}$	Ukazatel vhodnosti [%]	<b>6,61541</b>	<b>7,08103</b>
$TQL_{MN-UMS}$	Minimální tolerance [ $\mu\text{m}$ ]	<b>79,38497</b>	<b>84,97233</b>

Měřící zařízení (tloušťkoměr) má vyhovující rozlišitelnost ( $\leq 5$  % tolerance), pro zadanou toleranci 180 mikrometrů je ukazatel vhodnosti  $Q_{MS}$  od 6,62 do 7,08 % (maximum 15 %). Tloušťkoměr je tedy pro tuto hodnotu tolerance vhodný. Minimální tolerance, pro kterou je ještě měřící zařízení vhodné, je rovna nejméně 85 mikrometrů.



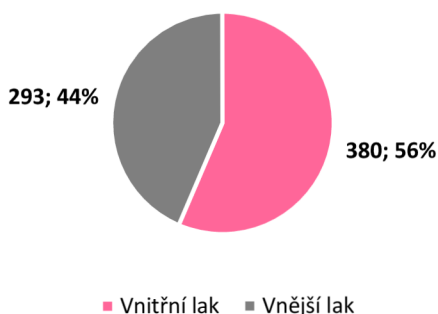
## 7.2 Analýza slabé tloušťky laku

Konečná kontrola laku je prováděna na dvou částech, dle dané zákaznické specifikace:

- vnější lak,
- vnitřní lak.

Dle nasbíraných dat lze určit, která z lakovaných částí má větší podíl na nekvalitu procesu lakování (Obr. 61).

### Rozdělení slabé tloušťky laku



Obr. 61) Rozdělení slabé tloušťky laku

Ze získaných dat je zřejmé, že větší zastoupení má vnitřní lak (56 %) v porovnání s vnějším lakem. Jelikož nejsou obě hodnoty ve větším procentuálním rozdílu, budou se analyzovat obě varianty.

Pro vnitřní lak je aplikován odstín RAL 3015, tedy růžové. Tento odstín je aplikován na všechny aktivní části, které jsou v kontaktu s plynem SF<sub>6</sub>. Vybraný odstín růžové je z důvodu lepší detekce nečistot při následné vizuální kontrole.

Pro vnější lak jsou nejčastěji aplikovány dva odstíny:

- RAL 9016 – pro vnitřní prostory rozvodny,
- RAL 7038 – pro vnější prostory rozvodny.

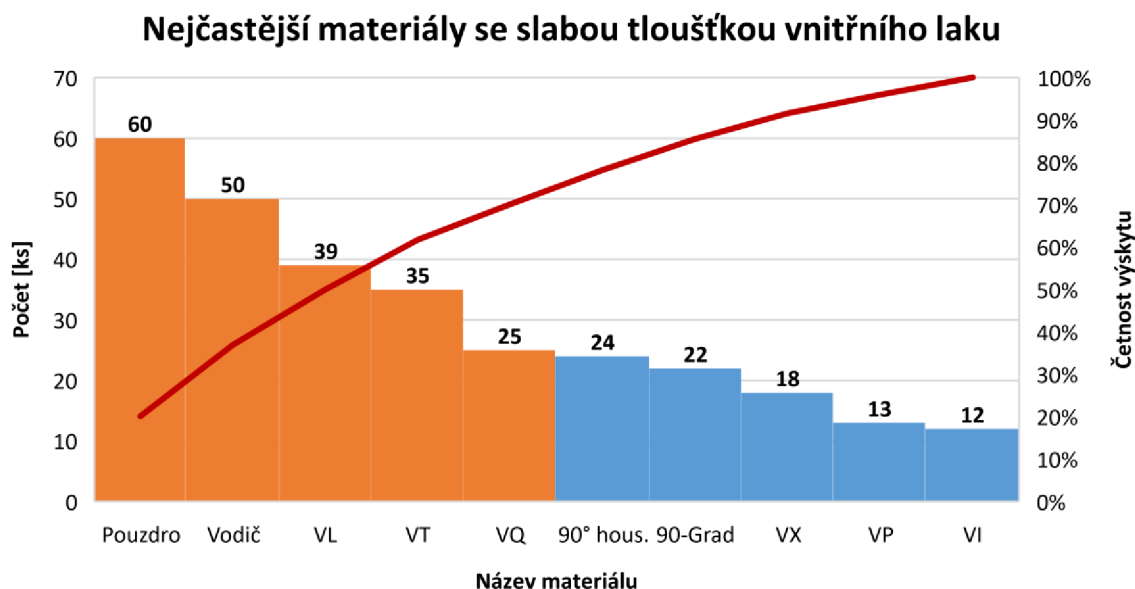
U vnějšího laku je rozhodující konečný požadavek zákazníka, který má na výběr z více odstínů práškových barev. Všechny odstíny, které jsou používány v Hitachi Energy mají své kalibrované etalony. Pomocí etalonu odstínu je možné vizuálně tento odstín zkontrolovat.



Obr. 62) Etalony pro různé odstíny práškových barev

### 7.2.1 Analýza slabé tloušťky vnitřního nátěru

V roce 2022 bylo objeveno 380 případů se slabou tloušťkou vnitřního laku. Prášková lakovna lakuje stovky druhů materiálů, proto je nutné analyzovat u kterých materiálů se slabá vnitřní tloušťka vyskytuje (Obr. 63).



Obr. 63) Analýza materiálů se slabou tloušťkou vnitřního laku

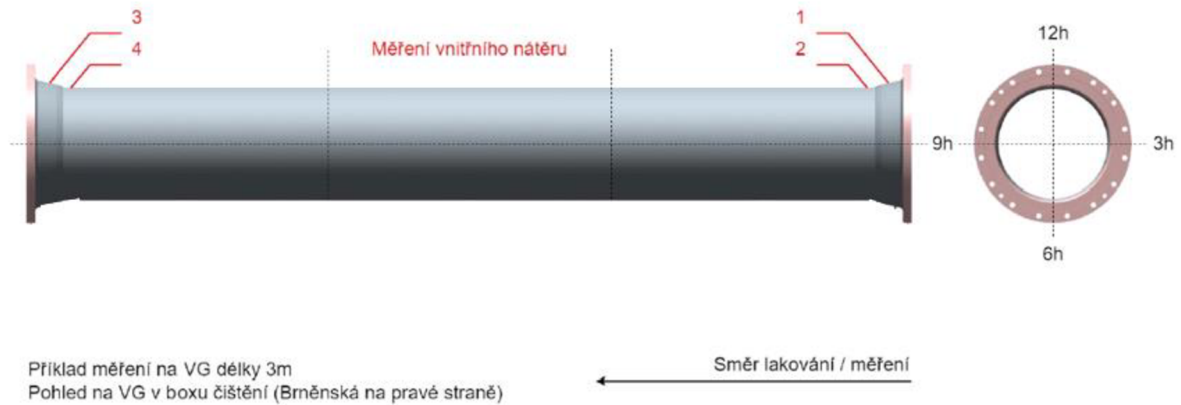
Analýza odhalila nejčastější materiály se slabou tloušťkou vnitřního laku, které jsou tvořeny z 80 % všech opravovaných materiálů:

- pouzdro (VG3),
- vodič,
- VL (hliníkový odlitek tvaru L),
- VT (hliníkový odlitek tvaru T),
- VQ (tlaková nádoba typu Q).

Pro zbavení veškeré nekvality doporučuji se zaměřit na vypsane materiály. V diplomové práci je zaměřeno na první dva nejčastější materiály se slabou tloušťkou vnitřního laku. Firma by měla analyzovat i ostatní vypsane materiály v rámci procesu neustálého zlepšování.

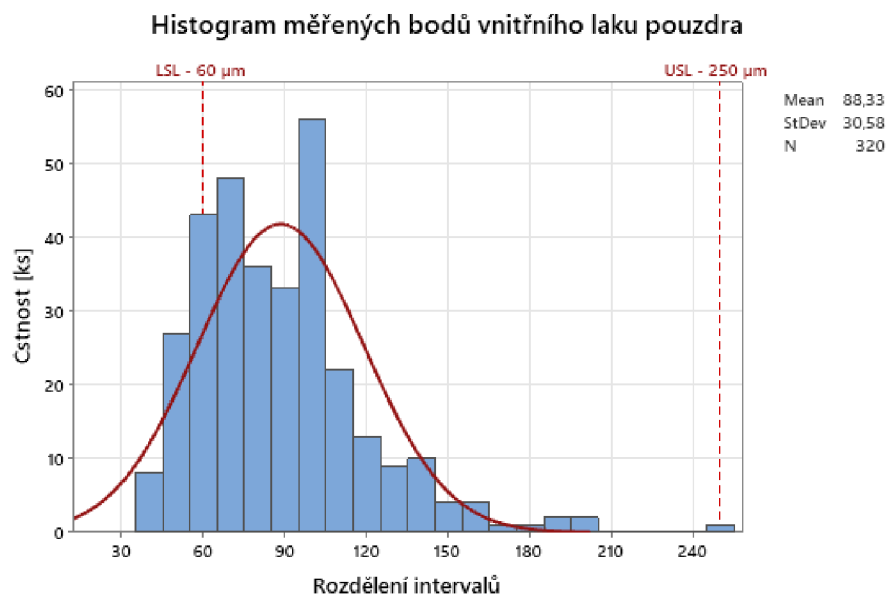
#### Analýza slabé tloušťky vnitřního laku – pouzdro

Pouzdra jsou lakována v robotické lakovně. Vnitřní lak odstínu RAL 3015 je aplikován do vnitřní obalu pouzdra, a to v délce 30 centimetrů. Díky tomu u vnitřního laku pouzdra není délka pouzdra rozhodujícím faktorem. Každé pouzdro je měřeno ve čtyřech bodech, a to vždy ve čtyřech sektorech: 12 h, 3 h, 6 h, 9 h. Každé pouzdro je měřeno v šestnácti bodech, kdy měření je provedeno zprava doleva (Obr. 64). Bylo měřeno dvacet pouzder. Měření pouzder probíhá pomocí tloušťkoměru v předem určených bodech.



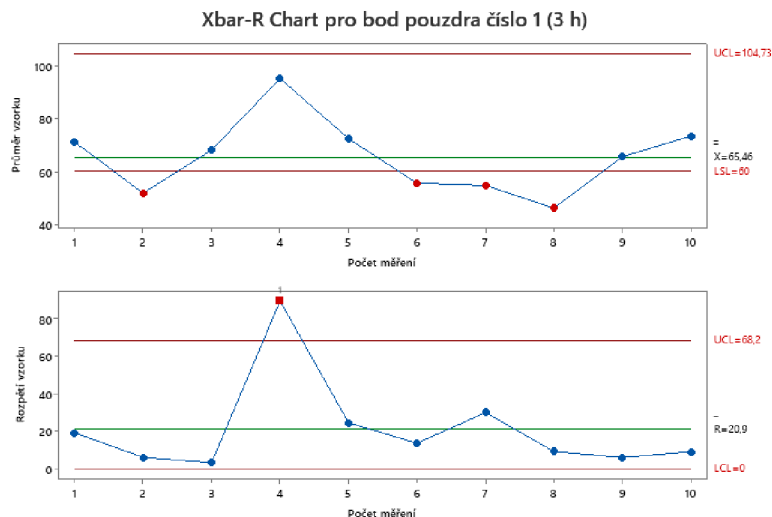
Obr. 64) Měření pouzdra vnitřního nátěru

Díky práci s daty byla určena problematická místa, kde tloušťka laku nesplňuje požadované parametry pravidelně. Minimální tloušťka vnitřního laku pro pouzdra je určena na hranici 60  $\mu\text{m}$ . Pro určení četnosti výskytu tloušťky vnitřního laku pro pouzdra byl použit histogram (Obr. 65).



Obr. 65) Histogram měřených bodů vnitřního laku pouzdra

Histogram znázorňuje četnost měření tloušťky laku u jednotlivých bodů. Dle výsledků z histogramu lze pozorovat, že proces je položen k dolní hodnotě tolerančního pole. Důvodem je motivace spotřebovat při nanesení práškového laku na obrobek co nejmenší možné množství laku kvůli ekonomickým důvodům. Z histogramu je i patrné, že některé měřené body jsou pod úrovní tolerančního pole. Určení bodů pod tolerancí lze dosáhnout pomocí regulačních diagramů měření. Pro výpočet byl použit software Minitab s funkcí Xbar-R. Regulační diagram byl vytvořen pro všechny měřené body. Výsledek jednoho bodu je vidět na Obr. 66).



Obr. 66) Příklad regulačního diagramu měřeného bodu pouzdra

Za pomoci regulačních diagramů lze určit, které body jsou rizikové pro proces. Rizikové body mají pravidelně slabou tloušťku laku (jsou pod tolerancí) nebo je jejich průměr velice blízko k dolní toleranci 60  $\mu\text{m}$ . Protikladem jsou body, kde se slabá tloušťka laku nikdy nevyskytuje a jejich průměr je v toleranční poli nad celkovým průměrem. Přehled rizikových bodů a bodů, kde se problém nevyskytuje je znázorněn v Tab 14) .

Tab 14) Přehled rizikových a nejlepších bodů u vnitřního laku pouzdra

<b>Přehled rizikových a nejlepších bodů u vnitřního laku pouzdra</b>	
<b>Měřené místo</b>	
<b>Body s pravidelnou slabou tloušťkou vnitřního laku</b>	
Bod 1 (3 h)	
Bod 2 (3 h)	
Bod 4 (3 h)	
Bod 1 (6 h)	
Bod 2 (6 h)	
Bod 3 (6 h)	
<b>Body bez slabé tloušťkou vnitřního laku</b>	
Bod 3 (12 h)	
Bod 4 (12 h)	
Bod 3 (9 h)	

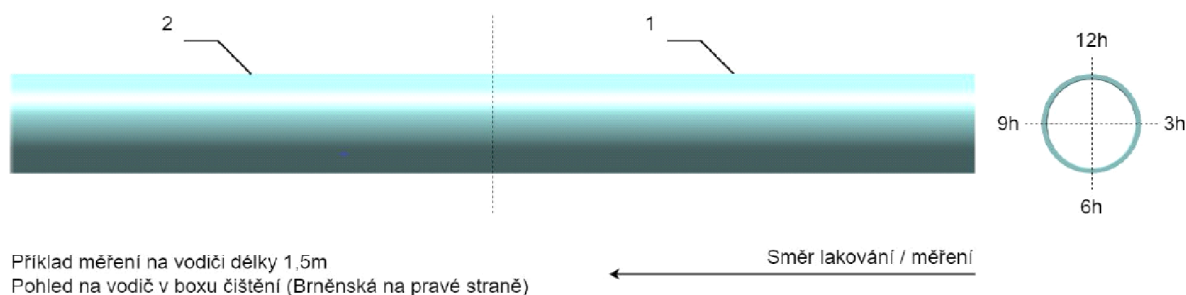
Příčinou slabé tloušťky vnitřního laku ve znázorněných bodech jsou způsobeny ramenem robota, který nanese nedostatečné množství prášku do těchto míst. Pro odstranění slabé tloušťky laku z těchto míst je doporučen experiment pomocí plánování experimentu metodou DOE. Díky vytiženosti lakovací linky nebylo možné experiment v době analýzy

provést. Návrh experimentu je v kapitole 8.4. Pro vnitřní lak u pouzdra doporučuji nedělat momentálně žádné optimalizace. Dále firmě doporučuji provést opětovnou analýzu po experimentu a vyřešení kořenové příčiny slabé tloušťky barvy u bodů v Tab 14) .

### Analýza slabé tloušťky vnitřního laku – vodič

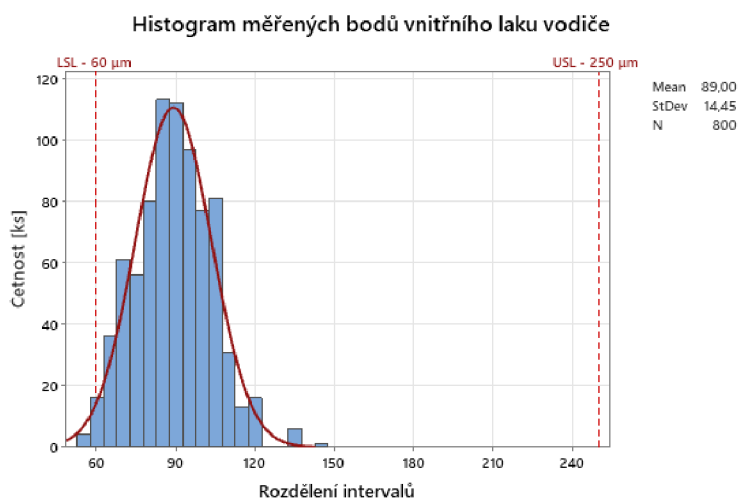
Vodiče jsou lakovány v robotické práškové lince. Mají velké portfolio a jejich rozdílem je délka, která je odlišná v závislosti na délce pouzdra. Na vodiče je nanášen vnitřní lak odstínu RAL 3015. U vodiče bude věnována pozornost, jestli k vadě slabé tloušťky vnitřního nátěru dochází na začátku procesu lakování nebo během nanesení práškového laku. Pro analýzu byla vybrána největší možná délka vodiče 9972 mm.

Měření vodiče probíhá na začátku zprava doleva a vodič je měřen vždy každý metr. Měření je provedeno vždy ve čtyřech sektorech: 12 h, 3 h, 6 h, 9 h. Vodiče maximální délky jsou měřeny celkově v čtyřiceti bodech (Obr. 67). Bylo změřeno celkem dvacet vodičů. Měření vodičů probíhá pomocí tloušťkoměru v předem určených bodech.



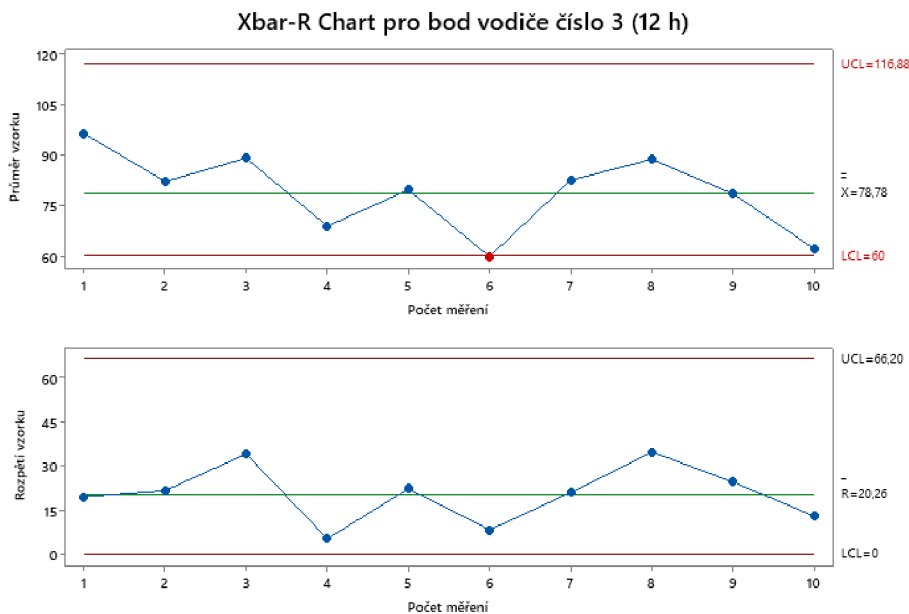
Obr. 67) Měření vodiče vnitřního nátěru

Pro určení četnosti výskytu tloušťky vnitřního laku pro vodiče byl vytvořen histogram (Obr. 68).



Obr. 68) Histogram měřených bodů vnitřního laku vodiče

Histogram znázorňuje četnost měření tloušťky laku u jednotlivých bodů. Dle histogramu pro vodiče lze vidět, že je proces nastaven k dolní hranici tolerančního pole. To je z důvodu celkové spotřeby barvy. Kdyby byl proces postaven uprostřed je spotřebováno příliš moc velké množství práškového laku. Z histogramu je i patrné, že některé měřené body jsou pod úrovní tolerančního pole. Určení bodů pod tolerancí lze dosáhnout pomocí regulačních diagramů měření. Pro výpočet byl použit software Minitab s funkcí Xbar-R. Regulační diagram byl vytvořen pro všechny měřené body. Výsledek jednoho bodu je vidět Obr. 69).



Obr. 69) Příklad regulačního diagramu měřeného bodu vodiče

Za pomoci regulačních diagramů lze určit, které body jsou rizikové pro proces. Rizikové body, kde se vyskytovala občasně slabá tloušťka laku jsou umístěny na 12 h. Při porovnání dat vyšlo najevo, že roboti lakují více při náběhu a konci programu, kdy se průměr naměřeného laku rovnal 90-95  $\mu\text{m}$ . Uprostřed vodiče se pohybovala tloušťka laku 85-88  $\mu\text{m}$ . Díky těmto hodnotám je možné konstatovat, že roboti začnou lakovat dostatečně včas a program je ukončen skutečně až když vodič je mimo lakovací box.

Občasný slabý lak je na dvanácté hodině vodiče, může ovlivňovat uchycení vodiče na pojízdnou traverzu. Vliv na slabou tloušťku na dvanácté hodině může mít i umístění dvojvodiče na jedné traverze (Obr. 70), kdy spodní vodič může být ovlivněn vrchním vodičem. Dalším faktorem ovlivňující toto místo je sklon, při kterém je vodič lakován.

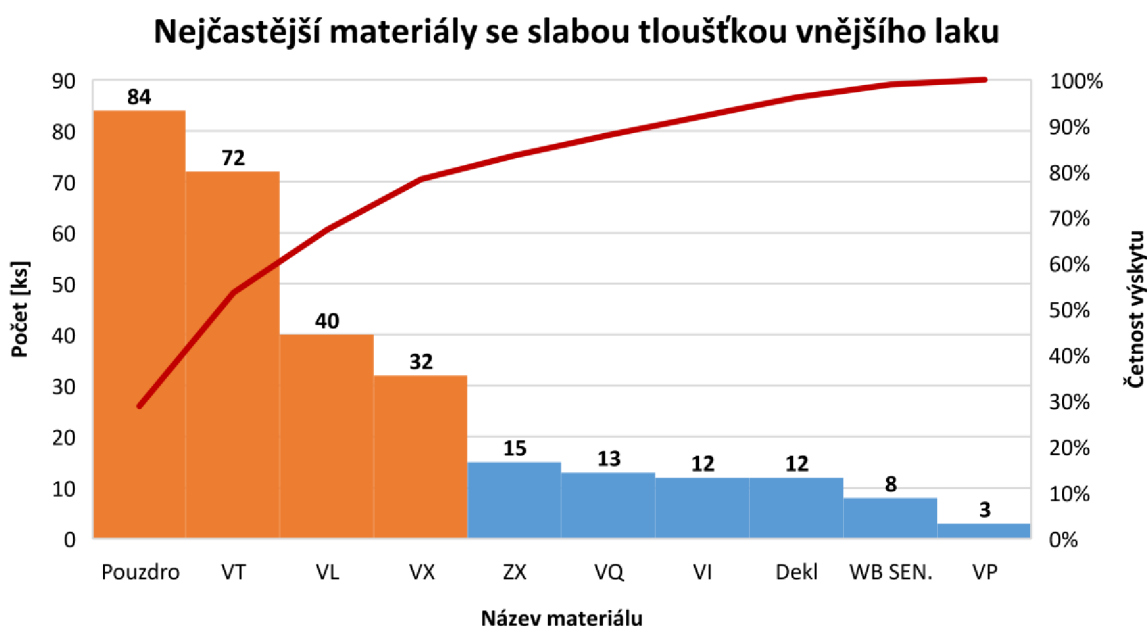
Doporučuji se v robotickém programu zaměřit na celou délku v sektoru 12 h. Díky velice dobrým výsledkům je navrhuji vodiče zahrnout do procesu regulačních diagramů a kontrolovat pouze každý druhý vodič. Regulační diagram by měl dokonale odhalit případný problém procesu lakování. Zavedení regulačního diagramu je popsán v následující kapitole.



Obr. 70) Zavěšení dvou vodičů na jedné traverze

### 7.2.2 Analýza slabé tloušťky vnějšího laku

V roce 2022 bylo objeveno 293 případů se slabou tloušťkou vnějšího laku. Prášková lakovna lakuje stovky druhů materiálů, proto je nutné analyzovat u kterých materiálů se slabá vnější tloušťka vyskytuje (Obr. 71).



Obr. 71) Analýza materiálů se slabou tloušťkou vnějšího laku

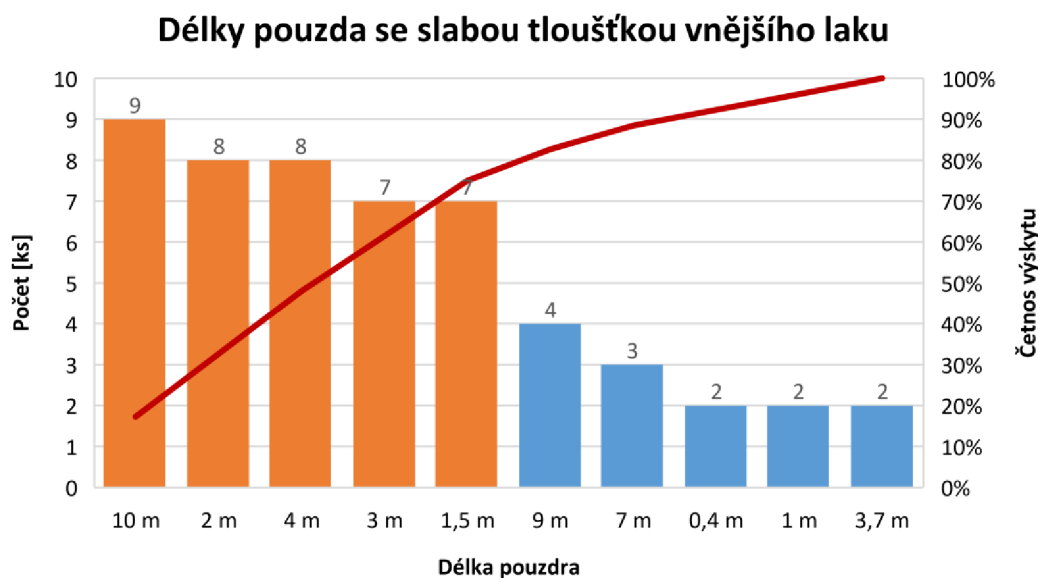
Analýza odhalila nejčastější materiály se slabou tloušťkou vnějšího laku, které jsou tvořeny z 80 % všech opravovaných materiálů:

- pouzdro (VG3),
- VT (hliníkový odlitek tvaru T),
- VL (hliníkový odlitek tvaru L),
- VX (hliníkový odlitek tvaru X).

Pro zbavení nekvality se musí firma zaměřit na vypsané materiály. V práci jsou rozebrány první dva materiály. Firmě doporučuji analyzovat i ostatní vypsané materiály v rámci procesu neustálého zlepšování.

### Analýza slabé tloušťky vnějšího laku – pouzdro

Pouzdra jsou lakována v robotické práškové lince. Mají velké portfolio, jelikož jsou rozdílné délkou. Každá délka pouzdra musí mít nastavený svůj vlastní originální lakovací program. Délka může hrát důležitý faktor v konečném výsledku. Analýzou dat pouzder je zjištěno, které délky jsou nejproblematictější (Obr. 72).

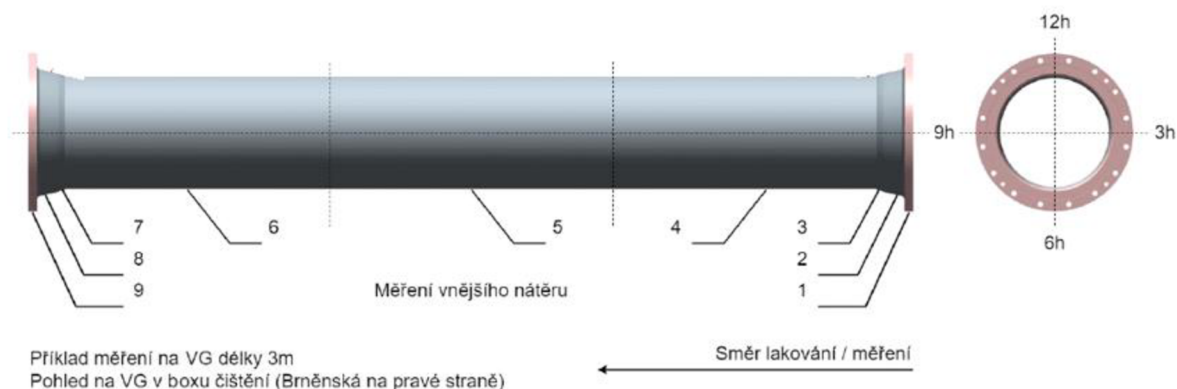


Obr. 72) Délky pouzder se slabou tloušťkou vnějšího laku

Nejvíce nekvality vykazuje desetimetrové pouzdro. Ve výskytu nekvality, se ale objevuje celé portfolio, které lakovna produkuje. Není zcela zřejmé, že by délka měla zásadní vliv na slabou tloušťku vnějšího laku. Pro pokračování je zvoleno pracovat s daty desetimetrového pouzdra. U pouzdra s objevenou nekvalitou jsou vyhotoveny záznamové protokoly s naměřenými daty. Pro určení přesných míst na pouzdře je nutné tyto data podrobit detailnější analýze. Jelikož je desetimetrových pouzder příliš malé množství, pro více naměřených hodnot budou brána také data pro devět a sedm metrů.

Konečná kontrola po laku je popsána v kapitole 5.5.5. Měření pouzder probíhá pomocí tloušťkoměru v předem určených bodech závislém na délce pouzdra (Obr. 73).

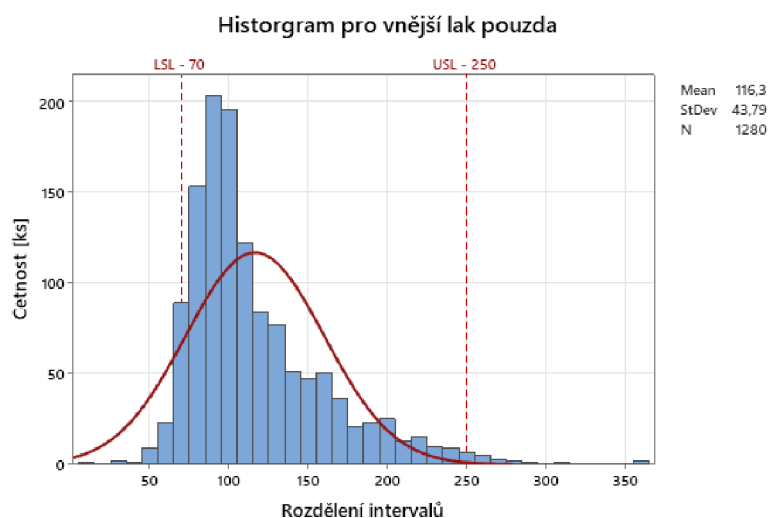




Obr. 73) Bodové měření vnějšího laku pouzdra

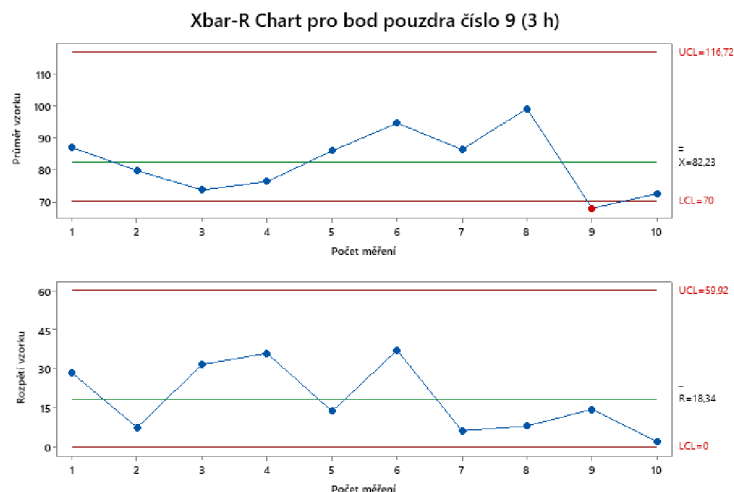
Měření je provedeno zprava doleva a začátek měření je stanoven na přírubě. Po prvních třech bodech na přírubě jsou měřeny body vždy po délce jednoho metru až na druhý konec pouzdra, kde je opět změřena příruba. Měření je provedeno celkově ve čtyřech sektorech: 12 h, 3 h, 6 h, 9 h. Desetimetrové pouzdro je měřeno v šestnácti bodech v každém sektoru. Na takto dlouhém pouzdru je naměřeno osmdesát bodů.

Pro určení četnosti výskytu tloušťky vnějšího laku pro pouzdra byl vytvořen histogram (Obr. 74).



Obr. 74) Histogram tloušťky vnějšího laku pro pouzdra

Histogram znázorňuje, že je proces nastaven na spodní hranici tolerančního pole. To je z důvodu zamezení příliš velké spotřeby práškového laku během aplikace laku. Z histogramu je i patrné, že některé měřené body jsou pod úrovní tolerančního pole. Určení bodů pod tolerancí lze dosáhnout pomocí regulačních diagramů měření. Pro výpočet byl použit software Minitab s funkcí Xbar-R. Regulační diagram byl vytvořen pro všechny měřené body. Výsledek jednoho bodu je vidět na Obr. 75).



Obr. 75) Příklad regulačního diagramu měřeného bodu pouzdra vnějšího laku

Pomocí regulačního diagramu lze určit, které body jsou rizikové pro proces. Rizikové body mají pravidelně slabou tloušťku laku nebo je jejich průměr velice blízko k dolní toleranci 70  $\mu\text{m}$ . Protikladem jsou body, kde se slabá tloušťka laku nikdy nevyskytuje a jejich průměr je v toleranční poli nad celkovým průměrem. Celkový přehled analyzovaných dat je v Tab 15) .

Tab 15) Průměrné hodnoty délek a sektorů u vnější laku pouzder

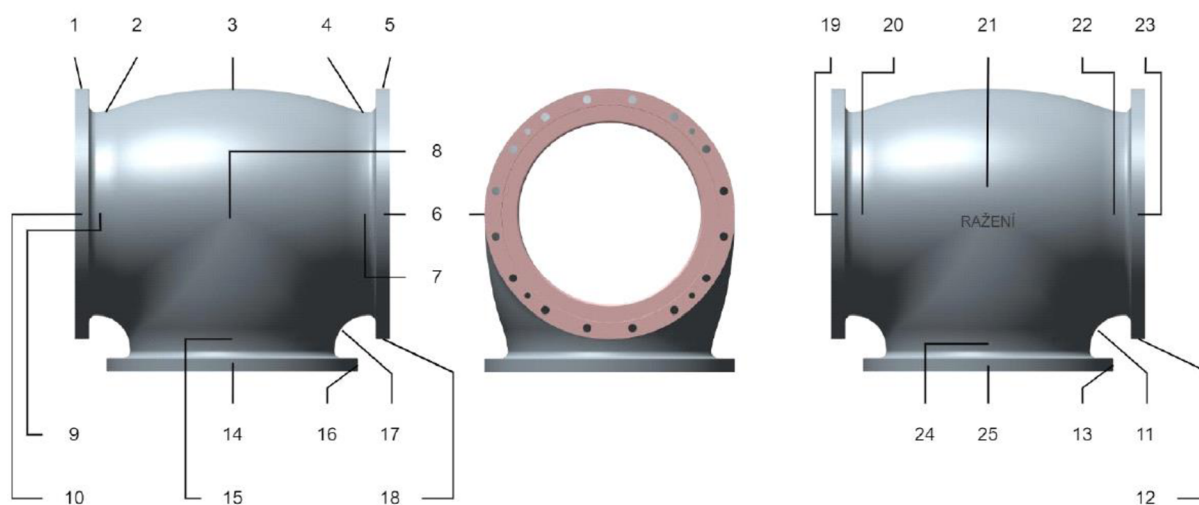
<b>Průměrné hodnoty délek a sektorů u vnějšího laku pouzder</b>						
		<b>Sektor</b>				
		<b>12 h</b>	<b>3 h</b>	<b>6 h</b>	<b>9 h</b>	<b>Celkem [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
<b>Délka</b>	<b>Příruba 1 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	156,05	111,66	195,75	135,21	<b>149,67</b>
	<b>Příruba 2 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	234,30	119,64	136,94	131,33	<b>155,55</b>
	<b>Příruba 3 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	183,30	116,07	160,70	131,42	<b>147,87</b>
	<b>1 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	137,11	95,65	133,55	117,42	<b>120,93</b>
	<b>2 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	97,87	79,95	91,52	99,28	<b>92,15</b>
	<b>3 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	98,31	80,94	90,64	97,29	<b>91,79</b>
	<b>4 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	95,07	80,94	90,25	95,26	<b>90,38</b>
	<b>5 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	95,31	85,18	97,71	92,66	<b>92,71</b>
	<b>6 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	94,96	82,23	94,58	86,46	<b>89,56</b>
	<b>7 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	90,22	81,22	99,52	86,83	<b>89,45</b>
	<b>8 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	94,33	81,98	100,74	86,92	<b>90,99</b>
	<b>9 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	105,24	86,43	119,23	90,09	<b>100,25</b>
	<b>10 m [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	184,75	132,78	146,16	121,99	<b>146,42</b>
	<b>Příruba 4 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	153,44	126,11	164,98	125,01	<b>142,38</b>
	<b>Příruba 5 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	160,65	108,56	161,67	135,03	<b>141,48</b>
<b>Příruba 6 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	109,51	81,04	173,90	112,71	<b>119,29</b>	
<b>Celkem [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>130,65</b>	<b>96,90</b>	<b>128,61</b>	<b>109,05</b>		

Tabulka ukazuje zvládnutí nastavení lakovacího programu robota pro aplikaci vnějšího laku u pouzder. Dle výsledků je na začátku a na konci procesu tedy na přírubách dostatečné množství laku. Menší množství práškového laku obsahuje pouzdro od druhého až po devátý metr své délky. Sektor, kde se nejvíce vyskytovala slabá tloušťka vnějšího laku je sektor 3 h. Zde bylo nejvíce bodů, které byly na hraně dolní tolerance nebo pod její hodnotou.

Příčina slabé tloušťky v tomto sektoru způsobuje samotný program robota, kdy v robot v místě je nejkratší dobu během celého procesu aplikace laku. Doporučuji v rámci experimentu upravit program tak, aby sektor měl dostatečné množství laku a měl hodnoty podobné sektoru 9 h. Dále doporučuji zavedení regulačního diagramu pro měření od prvního metru, až po poslední metr v sektoru 3 h. V rámci optimalizace kontrolní činnosti doporučuji přestat měřit 100 % přírub ve všech čtyřech sektorech. V rámci kontroly doporučuji měřit příruby u každého čtvrtého pouzdra, které je svěřeno z lakovací linky.

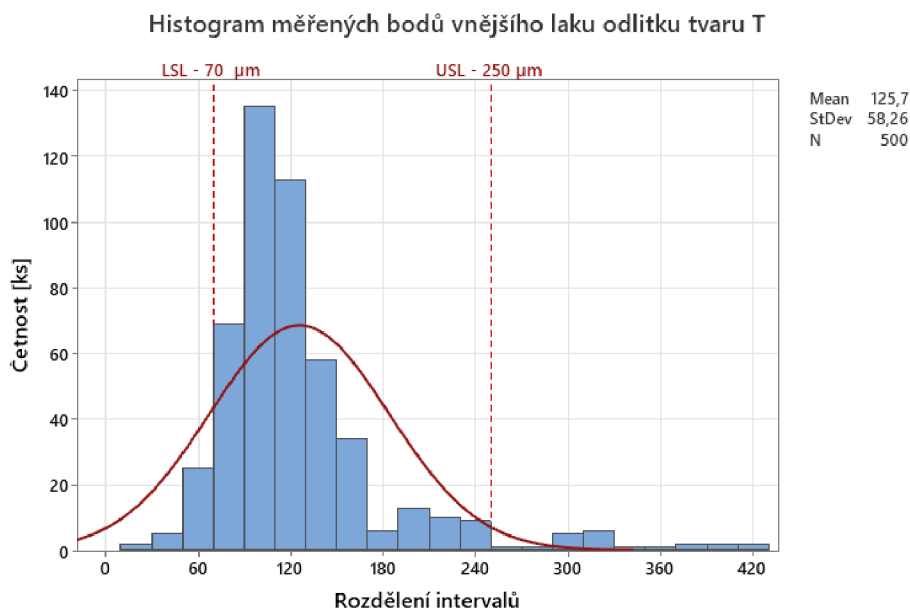
### Analýza slabé tloušťky vnějšího laku – VT

Hliníkové odlitky jsou stejného tvaru a není zde žádná délka, která by mohla ovlivňovat výsledek lakování. Odlitek je měřen vždy ve stejných předem určených bodech (Obr. 76).



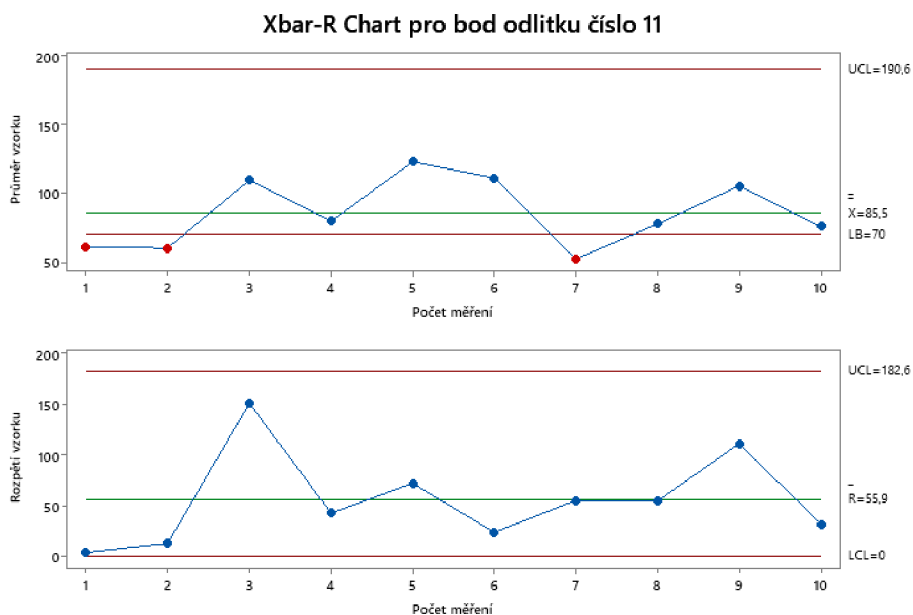
Obr. 76) Bodové měření vnějšího laku odlitku tvaru T

Vnější lak hliníkového odlitku tvaru T je měřen v pětadvaceti bodech. Pro určení četnosti výskytu tloušťky vnějšího laku pro odlitek tvaru T byl vytvořen histogram (Obr. 77).



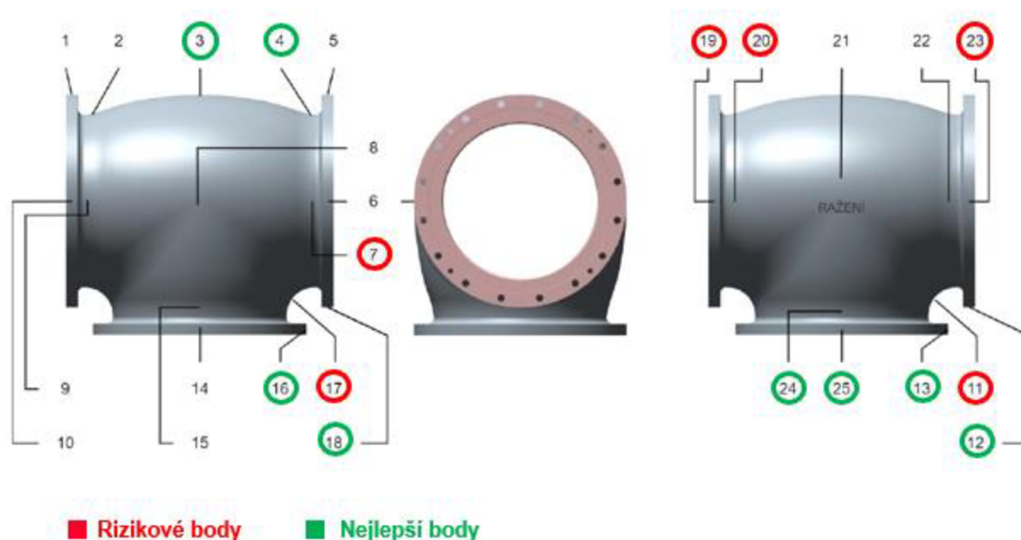
Obr. 77) Histogram měřených bodů vnějšího laku odlitku tvaru T

Histogram znázorňuje četnost měření tloušťky laku u jednotlivých bodů. Dle výsledků z histogramu lze pozorovat, že proces je položen k dolní hodnotě tolerančního pole. Důvodem je motivace spotřebovat při nanesení práškového laku na obrobek co nejmenší možné množství laku kvůli ekonomickým důvodům. Z histogramu je i patrné, že některé měřené body jsou pod úrovní tolerančního pole. Určení bodů pod tolerancí lze dosáhnout pomocí regulačních diagramů měření. Pro výpočet byl použit software Minitab s funkcí Xbar-R. Regulační diagram byl vytvořen pro všechny měřené body. Výsledek jednoho bodu je vidět na Obr. 78).



Obr. 78) Příklad regulačního diagramu měřeného bodu odlitku T

Regulační diagramy určily body, které jsou mimo toleranční pole pro proces vnějšího laku. Takové body můžeme nazývat jako rizikové body mají pravidelně slabou tloušťku laku nebo je jejich průměr velice blízko k dolní toleranci 70  $\mu\text{m}$ . Protikladem jsou body, kde se slabá tloušťka laku nikdy nevyskytuje a jejich průměr je v toleranční poli nad celkovým průměrem. Přehled rizikových bodů a bodů, kde se problém nevyskytuje je znázorněn na Obr. 79).



Obr. 79) Přehled rizikových a nejlepších bodů na odlitku tvaru T

Nejrizikovějšími body pro aplikaci laku na odlitek tvaru T jsou body 17 a 11. Příčinou je Faradaův jev (efekt), který je typickým znakem pro metodu corona, kdy práškové částice v elektrostatickém poli jsou navázány z velké části pouze na příruby (body 12, 13, 16 a 18) a zbytek částic dostatečně nepronikne až na body 17 a 11. Pro odstranění slabé tloušťky laku z těchto míst je doporučuji experiment pomocí plánování experimentu metodou DOE.

V rámci experimentu je nutné najít správnou kombinaci pohybu pistole, napětí, proudu a tlaku. Během analýzy dat nebylo možné experimenty provést, jelikož linka byla plně vytížena výrobou zákaznických objednávek. Návrhy experimentů jsou v následující kapitole 8.4.

Dalším možným experimentem by bylo možné nahřát obrobek pomocí speciální komory, kdy je možné dosáhnout lepší adheze a rovnoměrného nanesení laku. Předehřev, ale není vhodný pro všechny typy materiálu. Hliníkový odlitek má obvykle vyšší tepelnou vodivost a může být náchylný k rychlému ochlazení, než by dorazil do lakovacího boxu. Z těchto důvodů nedoporučuji nahřívát odlitek před aplikací lakovacího prášku.

Jako optimalizaci kontrolní činnosti navrhuji neměřit nejlepší body na odlitku tvaru T. Tyto body dle statistiky nejsou rizikové a v případě zhoršení jejich hodnot jsou zhoršena i riziková místa. Návrh celkové optimalizace je popsán v následující kapitole.

# 8 NÁVRH NOVÉ METODIKY OPTIMALIZACE KONTROLNÍ ČINNOSTI

V rámci návrhů na nové metodiky optimalizace kontrolní činnosti byly zpracovány dva návrhy, které ovlivní budoucí kontrolní činnost:

- návrh nové kontroly
  - omezení 100 % kontroly u jednotlivých výrobků,
  - omezení měření všech bodů u jednotlivých výrobku.
- návrh na zavedení statistické regulace procesu
  - zavedení regulace procesu u vybraných výrobků.

Nejen statistická regulace procesu může pomoci při optimalizaci kontrolní činnosti. Je nutné se zaměřit na kořenové příčiny slabé tloušťky laku a ty řešit pomocí plánování experimentu metodou DOE. V rámci práce je navržen experiment pro hliníkové odlitky tvaru T, který může firma kdykoliv provést. Experiment vzhledem k vytíženosti výrobní linky nebylo možné provést.

Na konci je vypočítána možná finanční úspora při optimalizaci, kde byly měřeny kontrolní časy před zavedením a po zavedení optimalizace a výsledný rozdíl byl finančně vyčíslen. Dále je vypočten finanční přínos, pokud se firma rozhodne provést experiment a díky kterému budou sníženy náklady na opravy odlitků.

## 8.1 Návrh nové kontroly

Vlastní návrhy nové kontroly jsou zpracovány pro tyto materiály:

- měření vnitřní tloušťky laku vodiče,
- měření vnější tloušťky laku pouzdra,
- měření vnější tloušťky laku hliníkového odlitku tvaru T.

### 8.1.1 Měření vnější tloušťky laku vodiče

Při měření vnější tloušťky vodiče je doporučeno zaměřit se na sektor 12 h. Jelikož výsledky dat vodiče vykazovaly stabilní hodnoty, které se pohybovaly k dolní toleranci 60  $\mu\text{m}$ . Důvodem je úspora nákladů na spotřebu práškové barvy. Dále doporučuji omezit kontrolu u každého druhého vodiče. Při měření vnitřní tloušťky laku vodiče je zachováno všech čtyřicet bodů. Je měřen první vodič, který je svěšen z lakovací linky, poté je provedena vizuální kontrola. U druhého vodiče je provedena pouze vizuální kontrola. U třetího vodiče je měřena tloušťka laku i provedena vizuální kontrola. Čtvrtý vodič je pouze vizuálně kontrolován.

Přehled nového návrhu kontroly je i s časy kontroly shrnut v tabulce Tab 16) .

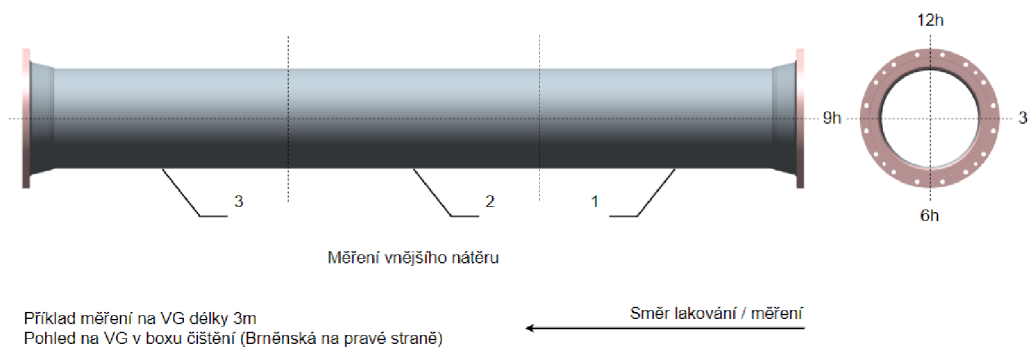
Tab 16) Porovnání aktuální kontrolní činnosti a nového návrhu

Číslo kontrolovaného vodiče	Kontrola	Čas kontroly [s]
<b>Aktuální kontrolní činnost</b>		
1	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
2	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
3	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
4	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
<b>Časová náročnost</b>		<b>1800</b>
<b>Nový návrh kontrolní činnosti</b>		
1	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
2	Vizuální kontrola	300
3	Měření vnitřní tloušťky	150
	Vizuální kontrola	300
4	Vizuální kontrola	300
<b>Časová náročnost</b>		<b>1500</b>

Časový rozdíl při kontrole čtyř vodičů je 300 vteřin. Na jeden vodič je úspora 75 vteřin. Výpočet ekonomického dopadu je v kapitole 8.4.

### 8.1.2 Měření vnější tloušťky laku pouzdra

Výsledky měření vnějšího laku pouzdra vykazovalo skvělé výsledky na přírubách. Návrhem optimalizace kontrolní činnosti je vynechání 100 % měření přírub. Měření přírub před zavedením regulačních diagramů bude probíhat u každého třetího pouzdra. Nový návrh měření je znázorněn na Obr. 80). V sektoru na 12 h. může mít vliv slabé tloušťky navěšení.



Obr. 80) Nový návrh kontrolní činnosti vnějšího laku pouzdra

V sektoru na 12 h. může mít vliv slabé tloušťky navěšení pouzdra na traverze, proto v návrhu optimalizace je nutné tento bod měřit. Po zavedení regulačních diagramů je možné příruba měřit pouze u každého šestého pouzdra.

Tab 17) Porovnání časové náročnosti aktuálního stavu a nových návrhů

Varianta	Počet měřených bodů na pouzdro	Počet kontrolovaných pouzder	Časová náročnost jednoho bodu [s]	Počet měřených bodů	Časová náročnost [s]	Rozdíl [s]
Aktuální stav	64	6	3,75	384	1440	-
Návrh 1	48	6	3,75	288	1080	360
Návrh 2	44	6	3,75	264	990	450

Časový rozdíl při kontrole aktuálního stavu a prvního návrhu je 360 vteřin. Časový rozdíl při kontrole aktuálního stavu a druhého návrhu je 450 vteřin. Výpočet ekonomického dopadu je v kapitole 8.4.

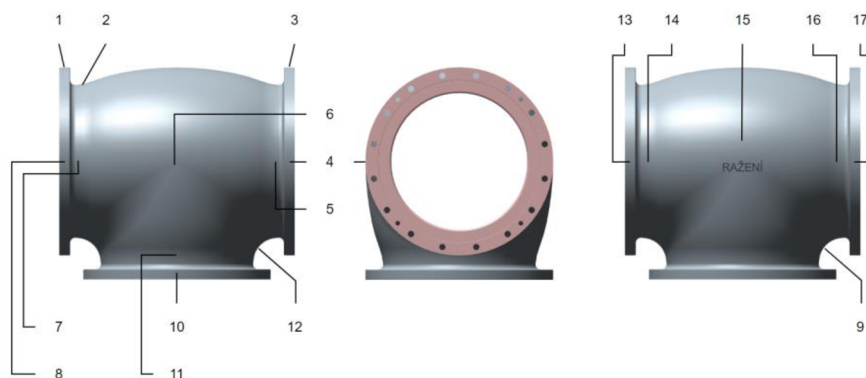
### 8.1.3 Měření vnější tloušťky laku hliníkového odlitku tvaru T

Měření vnější tloušťky laku hliníkového odlitku bude moct probíhat ve dvou variantách:

- vynechání měření nejlepších bodů,
- měření pouze kritických bodů.

Jak velká bude optimalizace kontrolní činnosti a tím i úspora je závislé na aktuální stabilitě výrobního procesu lakování, které se bude vyhodnocovat pomocí regulačních diagramů.

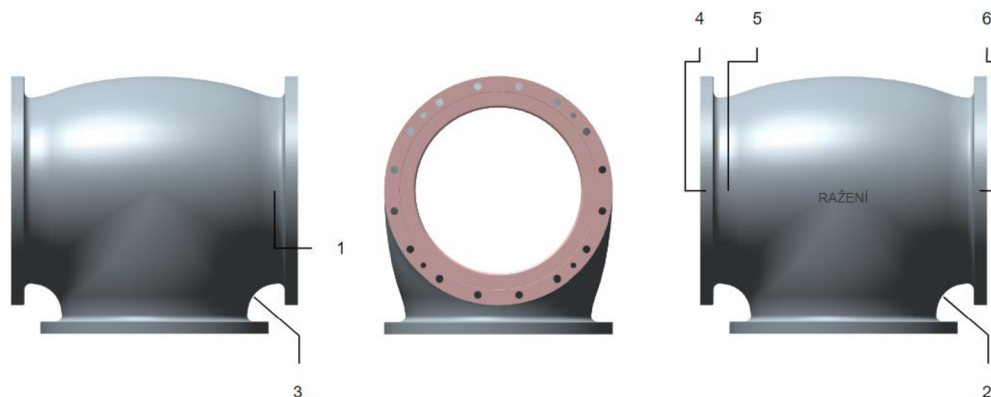
V prvním mém návrhu, který může být zaveden okamžitě je optimalizace osm nejlepších bodů, které není potřeba měřit. Je přímá souvislost mezi kritickými body a nejlepšími body. Pokud jsou kritické body v toleranci, tak jsou v toleranci i nejlepší body. Z toho důvodu je možné body vynechat okamžitě. Pokud pracovník kontroly objeví, že jsou kritické body pod tolerancí, bude muset změřit všech původních pětadvacet bodů. Nový návrh první měřené varianty je znázorněn na Obr. 81). Je měřeno pouze sedmnáct kontrolních bodů.



Obr. 81) Návrh nově měřených bodů po optimalizaci u odlitku T (návrh 1)



Druhá varianta je možná až po zavedení regulačních diagramů, kdy jsou kontrolovány pouze kritické body. Tento návrh bych doporučil provést až po experimentech, nápravných opatření a dlouhodobém sledování stability procesu. Návrh pro měření pouze kritických bodů je znázorněn na (Obr. 82). Je měřeno pouze šest kontrolních bodů.



Obr. 82) Návrh měření pouze kritických bodů (návrh 2)

Výpočet časových úspor všech variant je v Tab 18) .

Tab 18) Porovnání časové náročnosti aktuálního stavu a nových návrhů

Varianta	Počet měřených bodů	Časová náročnost [s]	Rozdíl [s]
Aktuální stav	25	111	-
Návrh 1	17	65	46
Návrh 2	6	29	82

Časový rozdíl při kontrole aktuálního stavu a prvního návrhu je 46 vteřin. Časový rozdíl při kontrole aktuálního stavu a druhého návrhu je 82 vteřin. Výpočet ekonomického dopadu je v kapitole 8.4.

## 8.2 Návrh na zavedení statistické regulace procesu

Po optimalizaci kontrolní činnosti je návrh pro firmu zavedení statistické regulace procesu.

Statistická regulace procesu je navržena pro:

- měření tloušťky laku vnitřního nátěru,
- měření tloušťky laku vnějšího nátěru.

Měřicím zařízením Elcometer je pouze ověřena výsledná hodnota kontrolorem kvality. Data nejsou uložena a nikdo sněmy nepracuje. V případě nekvality v podobě slabé tloušťky laku je vystaven protokol přesným místem určení vady i s naměřenými hodnotami. Z vlastní zkušenosti bylo zjištěno, že přepisovat naměřené údaje z protokolu do aplikace Excel je časově náročná činnost, která není vůbec efektivní. Proto je firmě doporučeno investovat do nových tloušťkoměrů, které obsahují již funkce Bluetooth a Wi-Fi.

Nové přístroje bude možné přes podnikovou interní síť připojit k databázi, která bude sbírat on-line data od kontrolorů kvality. Před zavedením bude nutné vytvořit pro pracovníky protokoly přímo v měřicím zařízení, který bude směřovat, kde se nachází přesně měřený bod. Protokoly musejí být vyhotoveny pro všechny materiály, které jsou měřeny po procesu lakování.

V aplikaci Microsoft Power BI budou vytvořeny regulační diagramy pro obě varianty měření. Zdrojem pro aplikaci bude databáze s naměřenými hodnotami. V aplikaci bude vytvořen filtr pro materiály. Uživatel si tedy pomocí filtru zvolí potřebný materiál, kde se mu zobrazí naměřené hodnoty v regulačním diagramu. Data budou pravidelně aktualizována a bude tedy možné sledovat trend naměřených hodnot na základě, kterých se bude zvyšovat nebo případně snižovat intenzita kontroly po procesu lakování.

### 8.2.1 Návrh zařízení pro sběr dat

Pro nový systém sběru dat navrhuji přístroj PosiTector v provedení Advanced (Obr. 83) od společnosti DeFelsko, který splňuje všechny požadavky na přenos dat i vytvoření protokolů přímo v zařízení. Měřicí zařízení disponuje velkým portfoliem sond, díky kterým lze použít pro velkou škálu měření.

Sondy, které lze připojit k přístroji jsou:

- tloušťka nátěru na kovech,
- tloušťka nátěru na nekovech,
- tloušťka materiálu
- klimatické podmínky,
- profil povrchu,
- zasolení povrchu,
- tvrdost.



Obr. 83) Měřicí přístroj DeFelsko [52]

## 8.2.2 Návrh na zavedení statistické regulace pro vnitřní lak

Během návrhu na zavedení statistické regulace pro vnitřní lak byly použity naměřené hodnoty jednotlivých materiálů. Návrh na zavedení statistické regulace pro vnitřní lak je pro:

- statistická regulace pro vnitřní lak pro pouzdro
- statistická regulace pro vnitřní lak pro vodič,

Práce obsahuje pouze jeden příklad pro vnitřní lak. Veškeré výpočty, společně s regulačními diagramy byly předány společnosti.

### Návrh statistické regulace pro vnitřní lak pro pouzdro

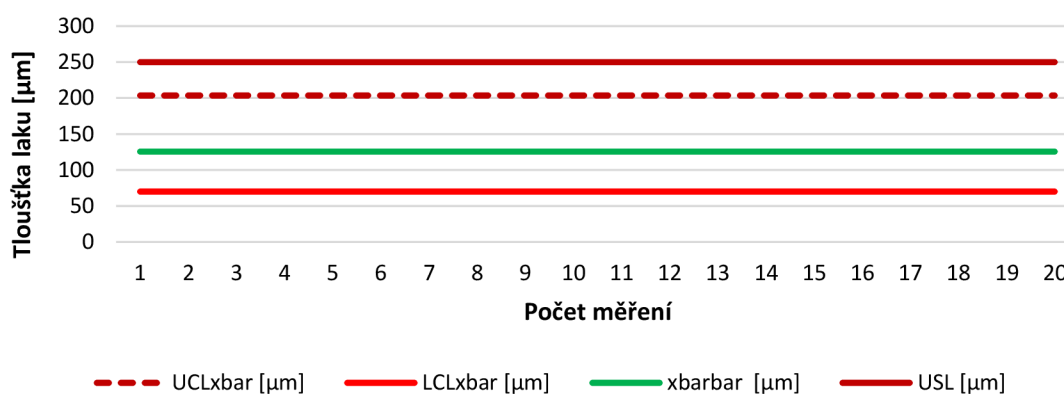
Pro návrh regulačního diagramu byly použity naměřená data pro vnitřní lak pouzdra. Celkové výpočty jsou v Tab 19) .

Tab 19) Výpočet dat pro statistickou regulaci procesu pouzdra

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Horní mez	USL =	250	μm
Dolní mez	LSL =	60	μm
CL průměr	$\bar{x}$	93,013	μm
CL rozpětí	$\bar{R}$	79,235	μm
Horní mez průměru	$UCL_{\bar{x}}$	138,732	μm
Dolní mez průměru	$LCL_{\bar{x}}$	47,295	μm
Horní mez rozpětí	$UCLR$	167,503	μm
Dolní mez rozpětí	$LCLR$	0	μm

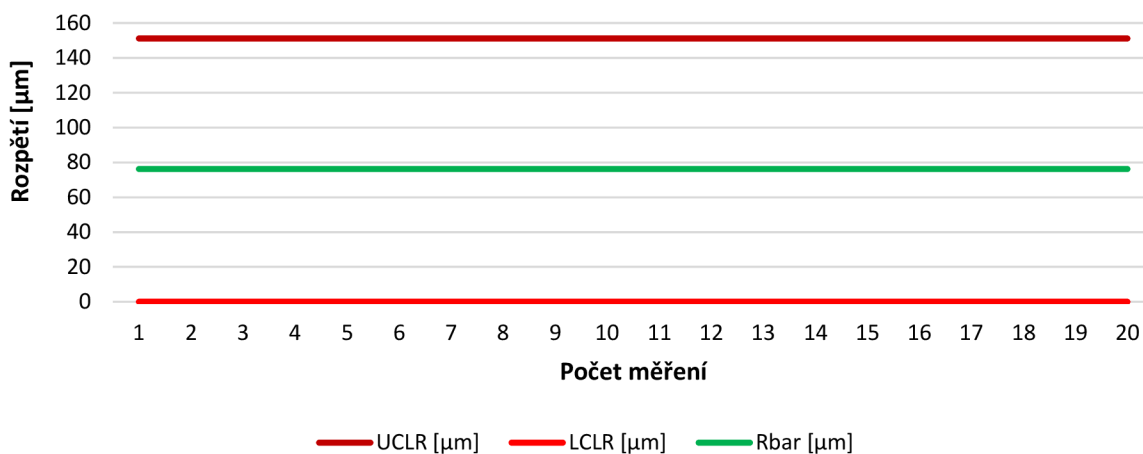
Hodnota dolní meze průměru vychází pod dolní mezí tolerančního pole. Není tedy možné tuto hodnotu zavést do regulačního diagramu. Jako dolní mez je nastavena hodnota 60 μm. Návrh regulačních diagramů pro průměr a rozpětí jsou na Obr. 84) a Obr. 85).

### Návrh regulačního diagramu pro průměr tloušťky vnitřního laku



Obr. 84) Regulační diagram pro průměr tloušťky vnitřního laku

## Návrh regulačního diagramu pro rozpětí tloušťky vnitřního laku



Obr. 85) Regulační diagram pro rozpětí tloušťky vnitřního laku

### 8.2.3 Návrh na zavedení statistické regulace pro vnější lak

Během návrhu na zavedení statistické regulace pro vnější lak byly použity naměřené hodnoty jednotlivých materiálů. Návrh na zavedení statistické regulace pro vnější lak je pro:

- statistická regulace pro vnější lak pro hliníkový odlitek tvaru T,
- statistická regulace pro vnější lak pro pouzdro.

Práce obsahuje pouze jeden příklad pro vnější lak. Veškeré výpočty, společně s regulačními diagramy byly předány společnosti.

#### Návrh statistické regulace pro vnější lak pro hliníkový odlitek tvaru T

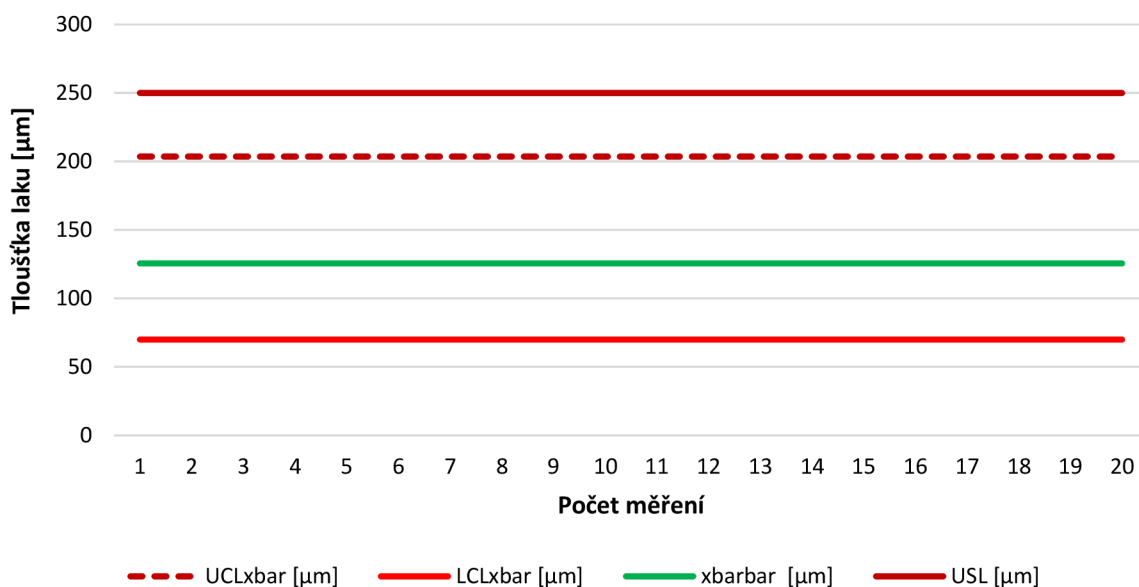
Pro návrh regulačního diagramu byly použity naměřená data pro vnitřní lak pouzdra. Celkové výpočty jsou v Tab 20) .

Tab 20) Výpočet dat pro statistickou regulaci procesu hliníkového odlitku

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Horní mez	USL =	250	μm
Dolní mez	LSL =	70	μm
CL průměr	$\bar{x}$	125,587	μm
CL rozpětí	$R_{bar}$	76,240	μm
Horní mez průměru	$UCL_{\bar{x}}$	203,577	μm
Dolní mez průměru	$LCL_{\bar{x}}$	67,359	μm
Horní mez rozpětí	$UCLR$	151,120	μm
Dolní mez rozpětí	$LCLR$	0	μm

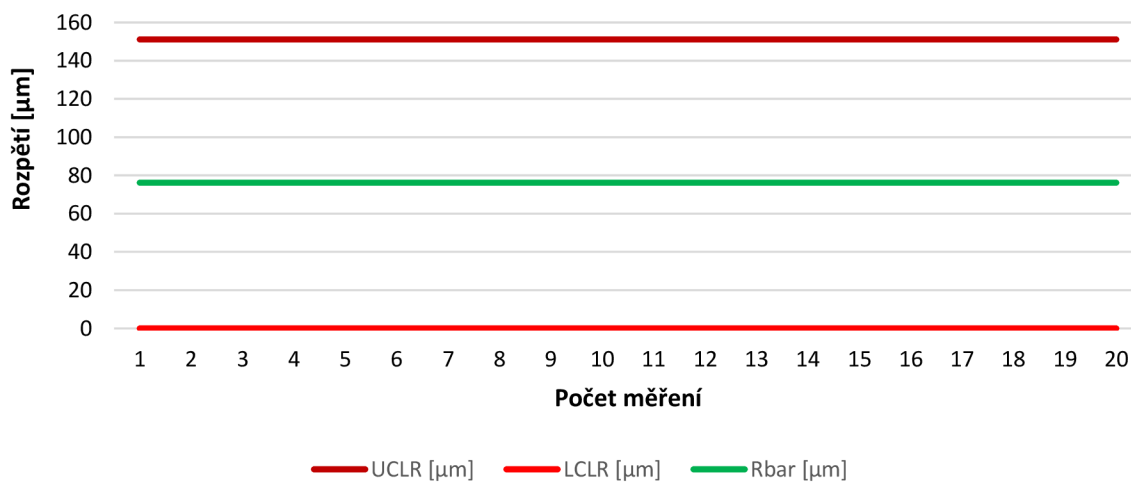
Hodnota dolní meze průměru vychází pod dolní mezí tolerančního pole. Není tedy možné tuto hodnotu zavést do regulačního diagramu. Jako dolní mez je nastavena hodnota 70  $\mu\text{m}$ . Návrh regulačních diagramů pro průměr a rozpětí jsou na Obr. 86) a Obr. 87).

### Návrh regulačního diagramu pro průměr tloušťky vnějšího laku



Obr. 86) Regulační diagram pro průměr tloušťky vnějšího laku

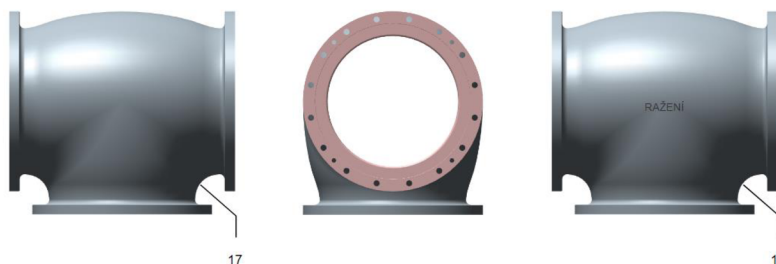
### Návrh regulačního diagramu pro rozpětí tloušťky vnitřního laku



Obr. 87) Regulační diagram pro rozpětí tloušťky vnějšího laku

### 8.3 Návrh experimentu

Z kapacitního vytížení lakovací linky nebylo možné ve společnosti experiment provést. Je na místě experiment v budoucnu neuskutečnit. Společnosti doporučuji provést experiment u hliníkového odlitku tvaru T, a to u bodů 11 a 17 (Obr. 88), které měly v průměru nejslabší tloušťku laku ze všech měřených bodů. Příčinou je Faradaův jev (efekt), který je popsán v teoretické části diplomové práce.



Obr. 88) Body 17 a 11 vybrané na experiment

Navrženou variantou experimentu metody DOE je úplný faktorový experiment. Aby bylo možné metodu použít, musí se stanovit faktory experimentu. Faktory, které ovlivňují tloušťku laku ve vybraných místech a je možné měnit jejich nastavení v programu robotického lakování jsou:

- proud,
- napětí,
- tlak vzduchu,
- barva.

U těchto faktorů je možné měnit jejich parametry. Aktuální nastavení u vybraných bodů a možné limity v nastavení faktorů jsou shrnuty v Tab 21) .

Tab 21) Parametry pro vybrané faktory

Nastavení parametrů pro vybrané faktory		
Faktor	Aktuální nastavení	Nastavitelné hodnoty
Proud [mA]	10	0-100
Napětí [kV]	40	0-100
Tlak vzduchu [bar]	4	0-7
Barva	85	0-100

Každý faktor je rozvržen na tři úrovně, kdy úroveň dva obsahuje vždy aktuální nastavení programu. Úroveň 1 je pod aktuálním nastavením a úroveň 3 nad aktuálním nastavením. Můj návrh experimentu i s parametry pro každou úroveň je v Tab 22) .

Tab 22) Navržené parametry programu pro jednotlivé úrovně faktorů

Faktor	Úroveň	Nastavení programu
Proud [mA]	1	5
	2	10
	3	15
Napětí [kV]	1	20
	2	40
	3	60
Tlak vzduchu [bar]	1	2
	2	4
	3	6
Barva	1	75
	2	85
	3	95

Všechny faktory a jejich úrovně musí být navzájem zkombinovány. Jak by kombinace mohla vypadat je znázorněno v Tab 23) .

Tab 23) Návrh kombinace faktorů pro plánovaný experiment

Číslo Kombinace	Proud [mA]	Napětí [kV]	Tlak vzduchu [bar]	Barva
Kombinace 1	5	20	2	75
Kombinace 2	5	20	2	85
Kombinace 3	5	20	2	95
...				
Kombinace 81	15	60	6	95

Celkový počet možných kombinací je 81. Každá kombinace musí být přesně změřena tloušťkoměrem a naměřené hodnoty uloženy do počítače. K vyhodnocení dat může být použita aplikace Minitab. Data doporučuji vyhodnotit vytvořením regresního modelu, který popíše vztah mezi faktory a tloušťkou laku. Regresní model dokáže určit, které faktory mají signifikantní vliv na tloušťku laku.

Nevýhodou může být měření pouze jednoho vzorku od každé kombinace. Kdyby se kombinace vztahovala na minimálně 3 vzorky, bylo by měření průkaznější. Náročnost měření vzroste 243 měření, což je neskutečně časově náročné. Společnost se může také rozhodnout jeden faktor vynechat a zvýšit počet vzorků u jedné kombinaci na tři. Tím zůstane počet měření v počtu 81, ale data mohou být prokazatelnější. Nejlepší výsledky tloušťky laku s nastavenou kombinací parametrů doporučuji nastavit na lakovacím programu. Poté pomocí regulačních diagramů sledovat stabilitu nastavených parametrů. V případě opětovného výskytu slabé tloušťky barvy doporučuji experiment s jinými faktory.

## 8.4 Ekonomické přínosy navrhovaných opatření

Ekonomické přínosy navrhovaných opatření jsou rozděleny na dvě části:

- ekonomické přínosy optimalizace kontrolní činnosti,
- ekonomické přínosy experimentu za předpokladu snížení nekvality.

### 8.4.1 Ekonomické přínosy optimalizace kontrolní činnosti

Ekonomické zhodnocení diplomové práce je počítáno ve dvou variantách:

- varianta 1 – zavedení okamžitých návrhů na optimalizaci,
- varianta 2 – optimalizace po zavedení regulačních diagramů.

Jsou návrhy, které navrhuji a jsou možné implementovat již nyní. Ostatní návrhy je možné optimalizovat až po zavedení a vyhodnocování regulačních diagramů, kdy proces bude vykazovat stabilní průběh.

Výpočet časové úspory na 1 směnu materiálu:

$$CU_{smena} = CU_{1kus} \cdot \text{Počet kusů za směnu [h]} \quad (18)$$

Výpočet časové úspory za rok (počet pracovních dní pro rok 2023 je 250):

$$CU_{rok} = CU_{smena} \cdot 3 \cdot 250 [h] \quad (19)$$

Výpočet časové úspory je obsahem Tab 24).

Tab 24) Výpočet časové úspory za rok

Název materiálu	Druh laku	Časová úspora/kus [s]	Časová úspora/kus [h]	Počet kusů za směnu	Časová úspora rok [h]
Vodič	Vnitřní	75	0,02083	15	<b>234,4</b>
Pouzdro (varianta 1)	Vnější	360	0,10000	15	<b>1125,0</b>
Pouzdro 2 (varianta 2)	Vnější	450	0,12500	15	<b>1406,3</b>
Odlitek 1 (varianta 1)	Vnější	46	0,01278	20	<b>191,7</b>
Odlitek 2 (varianta 2)	Vnější	82	0,02278	20	<b>341,7</b>



Vypočtená časová úspora se dá finančně vyjádřit jako:

$$F_{rok} = CU_{rok} \cdot \text{hodinová mzda zaměstnance [Kč]} \quad (20)$$

Výpočet je v tabulce Tab 25).

Tab 25) Výpočet roční finanční úspory

Název materiálu	Druh laku	Časová úspora rok	Finanční úspora
Vodič	Vnitřní	234,4	<b>70 313 Kč</b>
Pouzdro 1	Vnější	1125,0	<b>337 500 Kč</b>
Pouzdro 2	Vnější	1406,3	<b>421 875 Kč</b>
Odlitek 1	Vnější	191,7	<b>57 500 Kč</b>
Odlitek 2	Vnější	341,7	<b>102 500 Kč</b>

Nyní lze rozdělit obě varianty a zjistit celkovou finanční úsporu za rok, která je obsahem Tab 26).

Tab 26) Výpočet finanční úspory pro jednotlivé varianty

Varianta 1	
Vodič	70 313 Kč
Pouzdro 1	337 500 Kč
Odlitek 1	57 500 Kč
<b>Celkem</b>	<b>465 313 Kč</b>
Varianta 2	
Vodič	70 313 Kč
Pouzdro 2	421 875 Kč
Odlitek 2	102 500 Kč
<b>Celkem</b>	<b>594 688 Kč</b>

První varianta přinese úsporu **465 313 Kč/rok** a druhá varianta **594 688 Kč/rok**. Obě částky se budou zvedat v závislosti na plánované zvýšenou kapacitu výrobního závodu. Výpočet lze provést i směrem k úspoře pracovníků.

Výpočet ročního fondu zaměstnance lze:

$$T_p = (\text{Počet pracovních dní} - \text{Svátky} - \text{Dovolená}) \times \text{Pracovní doba} = \text{Roční časový fond pracovníka [h]} \quad (21)$$

Výpočet úspory pracovníků kontroly:

$$T = \frac{CU_{rok}}{T_p} \quad (22)$$

Výpočet časové úspory obou variant je v Tab 27) .

Tab 27) Výpočet časových úspor pro obě varianty

<b>Varianta 1</b>	
Vodič	234,38
Pouzdro 1	1125,00
Odlitek 1	191,67
<b>Celkem</b>	<b>1551</b>
<b>Varianta 2</b>	
Vodič	234
Pouzdro 2	1406
Odlitek 2	342
<b>Celkem</b>	<b>1982</b>

Pro rok 2023 je roční časový fond 1687,5 hodin. V první variantě je ušetřeno **0,92 pracovníka** a ve druhé variantě **1,17 pracovníků**.

Díky těmto úsporám se snižuje tlak na nábor nových pracovníků. Firma by měla i nadále hledat úspory v rámci dalších návrhů, které obsahuje diplomová práce.

#### 8.4.2 Ekonomické přínosy experimentu

Pokud se společnost rozhodne realizovat experiment, díky němuž bude odstraněna slabá tloušťka laku u hliníkového odlitku tvaru T, tak lze vyčíslit finanční úspora.

Finanční úspora lze vypočítat jako:

$$F_{ROK} = Počet\ oprav_{ROK} \cdot Náklady\ na\ opravu\ [Kč] \quad (23)$$

V případě hliníkového odlitku tvaru T je roční finanční úspora:

$$F_{ROK-T} = 72 \cdot 1157 = \mathbf{83\ 304\ Kč} \quad (24)$$

Není to pouze finanční úspora, ale i zvýšení kapacity výrobní linky lakovny, tedy zvýšení celkového OEE linky. Doporučuji firmě provést experiment i na dalších materiálech, aby se počet oprav na lince snížil na minimum.

## 9 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Celkový proces práškového lakování je složitá souhra veškerých částí procesu, kdy vliv na výsledný produkt má obrovská škála technologií. Jedná se tedy o proces, který klade vysoké požadavky na jednotlivé části linky.

Během systematického rozboru bylo objeveno několik částí, které by šlo vylepšit. V první části procesu je mechanická předúprava, která je prováděna ručně pomocí broušení a kartáčování, díky kterému je vytvořen obrovský hliníkový prach. Výsledek této předúpravy je kontrolován pouze vizuálně. Vstupní materiály mají různou základní drsnost, kdy brusič nemusí provést mechanickou předúpravu vždy ve stejné kvalitě. Určitě bych považoval o analýze měření drsnosti po mechanické předúpravě a jejího dalšího vlivu na proces aplikace práškového nátěru.

Dalším poznatkem, který se objevil během hledání kořenových příčin je kontrola teploty chemické předúpravy. Automatická linka není naprogramována tak, aby byl ponor do lázní proveden pouze, když má správnou teplotu a pH. Je na zvážení pořízení senzorů, které budou tyto parametry kontrolovat a jich hodnoty zavést do programu automatické linky. Program by v budoucnu neměl dovolit spuštění chemické předúpravy, pokud lázně nebudou mít požadovanou teplotu.

V procesu aplikaci práškového laku doporučuji na zvážení více experimentů na místa, které objevila analýza. Lakovací linka může těmito kroky zvýšit svoji produktivitu vzhledem k očekávanému nárůstu výroby v následujících letech a pravděpodobně dojde i k poklesu nákladů na nekvalitu.

Dalším poznatkem během analýzy byla konečná kontrola prováděná oddělením kvality. Pracovníci kontroly provádějí ověřovací činnost, kdy sice odhalí případnou nekvalitu laku, ale naměřená data se zatím žádným vhodným způsobem ve firmě nevyhodnocují. Je na zvážení investovat do nových měřících zařízení, které bude moci být propojeno s podnikovou sítí, kdy naměřené hodnoty budou ukládány do databáze. Pomocí aplikace Power BI mohou být předem definovány regulační diagramy, kdy aplikace bude čerpat data z databáze naměřených hodnot. Díky tomu společnost získá v podstatě on-line výsledky procesu práškového lakování a její reakce na případnou nekvalitu v procesu se z hodin případně dnů zkrátí na minuty.

Dále bych zvážil vyřazení z kontroly drobné lakované materiály, které dle výsledků nemají téměř žádnou nekvalitu. Je nutné, ale před vyřazením těchto dílů provést FMEA analýzu, která ukáže, jestli případná nekvalita, která se pustí do dalšího procesu nijak neohrozí výsledky vysokonapětového testu nebo až kvalitu dodanou zákazníkovi. Pro společnost je až příliš velký náklad kontrolovat vše 100 % kontrolou. Je nutné v rámci optimalizací taky zauvažovat nad metodou kontroly dávkou, kdy je kontrolováno pouze určité procento z nalakované dávky. V případě nulové nekvality u vybraných dílců je celá dávka vpuštěna dále do procesu.

## 10 ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na optimalizaci kontrolní činnosti ve vybraném procesu. Tímto procesem bylo robotické práškové lakování ve společnosti Hitachi Energy. Hlavním požadavkem společnosti je optimalizace svých procesů na základě nárůstu zákaznických objednávek pro rok 2023 a roky následující. Organizace společnosti musí reagovat na vnější a vnitřní vlivy, aby byla schopna tyto požadavky splnit.

V první části diplomové práci je zpracována rešerše v oblasti managementu kvality, kde je zaměřeno na plánování kvality, řízení kvality, nástroje pro vyhodnocení kvality a proces neustálého zlepšování. V práci jsou popsány metody a nástroje, které byly výhradně využity během praktické části.

V následující části je popsán současný stav práškového lakování a robotiky ve vědě a technice. Je zde zaměřeno na všechny faktory a oblasti procesu práškového lakování od mechanické předúpravy až po konečný proces kontroly procesu. Tato část práce byla velice důležitá směrem k pochopení procesu práškového lakování, kde nabitě znalosti byly použity při systematickém rozboru řešené problematiky.

V prostřední části diplomové práce je představení společnosti, kde byla práce zpracována. Představení společnosti bylo provedeno formou procesního rozboru, kdy na začátku kapitoly je zaměřeno na cíle a politiku společnosti. V následující oblasti je zaměřeno na organizační strukturu a základní procesy, které má společnost nastavené. V poslední části je již dopodrobna popsán výrobní proces včetně managementu kvality a kontrolní činnosti oddělení kvality.

V další části je v práci proveden systematický rozbor řešené problematiky, kdy vnější vlivy v očekávaném nárůstu zákaznických objednávek ovlivňují organizaci, která na to musí reagovat. Jsou zde rozebrány zákaznické reklamace a náklady a je provedeno porovnání celkových nákladů na nekvalitu společnosti. Celkové náklady nekvality jsou vyčísleny na patnáct miliónu korun, což dělá 0,83 %, kdy největší podíl je způsoben interní nekvalitou.

Příčiny interní nekvality jsou rozebrány v následující kapitole, kdy pomocí nástrojů kvality je nalezena nejčastější příčina objevené nekvality v procesu, kterou je slabá tloušťka laku po procesu práškového lakování. Možné příčiny slabé tloušťky laku jsou rozebrány za pomoci Ishikawa diagramu. Nalezené příčiny jsou zde rozebrány a další části práce je zaměřeno na tvar a délku lakovaných materiálů.

V předposlední části je statistické vyhodnocení dat, které určuje, jaké materiály jsou nejvíce nekvalitou dotčeny. Pomocí nástrojů kvality jako je histogram a regulační diagramy jsou objevena přesná místa, kde se u materiálů objevuje slabá tloušťka laku. Návrhem na zlepšení situace je provedení experimentu metodou DOE, kdy vzhledem k vyčerpání linky nebylo možné tento experiment uskutečnit. Analýza odhalila i místa, které vykazují stabilně nadprůměrné hodnoty tloušťky laku, kdy návrhem je odebrání 100 % kontroly těchto bodů a tím zvýšení kapacity kontrolorů kvality. Pomocí naměření nových časů kontroly po optimalizaci bodů bylo možné vyčíslit časové úspory jednotlivých kontrol.

V poslední části jsou návrhy na zavedení regulačních diagramů do procesu práškového lakování, popis experimentu, který může společnost provést při menší kapacitní vyčerpání

automatické linky a ekonomické zhodnocení po optimalizaci. Okamžitý přínos optimalizace kontrolní činnosti je vyčíslen kolem 450 000 Kč a po realizaci experimentu a regulačních diagramů činní celková úspora kolem 670 000 Kč. Výsledek lze přepočítat i na kapacitní požadavky lidských zdrojů, kdy po implementaci všech návrhů bude snížen požadavek na pracovní místo o jednoho pracovníka výrobní kontroly. Výsledky práce splnily všechny požadavky zadání.

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [2] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-807-2611-867.
- [3] ČSN EN ISO 9001. *Systémy managementu kvality – Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-561-2.
- [5] ČSN ISO 11462-1. *Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) - Část 1: Prvky SPC*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.
- [6] ČSN ISO 7870-2. *Regulační diagramy – Část 2: Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [7] JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.
- [8] TOŠENOVSKÝ, Josef. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-722-5040-X.
- [9] JANKOVÝCH, Róbert. *Přednáška 9, předmětu Statistické řízení procesů (XRP-K): Hodnoty indexů způsobilosti procesu*. Brno: VUT – Fakulta strojního inženýrství, 2022.
- [10] JANKOVÝCH, Róbert. *Přednáška 9, Předmětu Statistická regulace procesu (XRP-K): Pravidla pro hodnocení způsobilosti měřidla*. Brno. VUT – Fakulta strojního inženýrství, 2022.
- [11] *Procesy měření a zkoušení: vhodnost, plánování a management*. 3., přepracované vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2021. Management kvality v automobilovém průmyslu. ISBN ISBN978-80-02-02983-0.
- [12] HOLEČEK, Václav. Vliv práškového nátěru na ekonomiku lakovny. *Povrchové úpravy*. Praha: Vydavatelství Press Agency, 2019, 22. ročník (4), 40.
- [13] DOKOUPILOVÁ, Dita. *Povrchové úpravy v lehkém průmyslu*. Brno, 2009, 36 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubiček.
- [14] SVOBODA, Tomáš. *Optimalizace procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvodů – GIS*. Brno, 2016, 144 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA.

- [15] DONABAUER, Petr. *Volba vhodného systému vytvrzování práškových nátěrových hmot*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.
- [16] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 80-707-8267-6.
- [17] HOLEČEK, Václav. *Pracovní instrukce 2GPH000044: Prášková lakovna*. Revize AG. Brno: Hitachi Energy, 2017, 24 s.
- [18] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-707-8235-8.
- [19] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
- [20] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.
- [21] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-X.
- [22] Odmaštění kovů. In: *Údržba.cz* [online]. Louny: FALCON CZECH, 2023 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.udrzba.cz/odmastovaci-kapaliny/odmasteni-kovu/>
- [23] Automatizace a robotizace lakovací linky. In: *SURFIN Technology s.r.o.* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.surfin-tech.cz/novinky/technologie/automatizace-a-robotizace-lakovaci-linky>
- [24] CHVÁTAL, Antonín a Jarmila KUPFOVÁ. *Povrchová ochrana práškovými plasty*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Knižnice technických aktualit. ISBN 2-0888-089.
- [25] ULRICH, Darryl. *User`s Guide To Powder Coating* [online]. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1993, 114 s. [cit. 2023-04-30]. Third Edition. ISBN 0-87263-444-2. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18657314/user-s-guide-to-powder-coating---third-edition>
- [26] Electrostatic phenomena in powder coating. In: *Nordson Corporation* [online]. Amherst, Ohio: Nordson Corporation, 2017, s. 10 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://cdn.thomasnet.com/ccp/30845573/268894.pdf>
- [27] Powder Coating Application: Corona Charging Electrostatic Spray. In: *Intech Services* [online]. Newark, DE: Lone Star Templates, 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://intechservices.com/intech-insider-blog/powder-coating-application-corona-charging-electrostatic-spray/>
- [28] Electrostatic Spray(Tribo). In: *Professional Powder Manufacturer & Exporter* [online]. Nanjing City: ChinaPowderCoating.com, 2019 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.chinapowdercoating.com/tribo-charging/>



- [29] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 52 s.
- [30] ČSN EN ISO 2178. *Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech – Měření tloušťky povlaku – Magnetická metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [31] ČSN EN ISO 2360. *Nevodivé povlaky na nemagnetických elektricky vodivých podkladech – Měření tloušťky povlaku – Metoda vířivých proudů využívající změnu amplitudy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [32] *Digitální tloušťkoměr Elcometer 456* [online]. In: . Ostrava: Gamin, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.elcometer.cz/elcometer-456/>
- [33] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [34] Mřížková zkouška Elcometer 107. In: *Gamin s.r.o.* [online]. Ostrava: Omega Design, 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.elcometer.cz/elcometer-107/>
- [35] ČSN EN ISO 1519. *Nátěrové hmoty – Zkouška ohybem (na válcovém trnu)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [36] ČSN EN ISO 2813. *Nátěrové hmoty – Stanovení čísla lesku při úhlu 20°, 60° a 85°*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [37] ČSN EN ISO 6272-2. *Nátěrové hmoty – Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 2: Zkouška padajícím závažím, malá plocha úderníku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [38] Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy? *FANUC Czech s.r.o.* [online]. Magazín o průmyslové automatizaci a robotice, 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>
- [39] Lakovací robot ABB IRB 5510. In: *ABB s.r.o.* [online]. ABB, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/cs/3HNA028888-001/irb-5510>
- [40] *Excellent operator control and monitoring with SIMATIC HMI* [online]. In: . Munich: siemens.com Global Website, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi.html>
- [41] Hitachi Energy. *Hitachi Energy webside* [online]. Curych: Hitachi Energy Ltd. 2022, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.hitachienergy.com/about-us/country-and-regional-information/czech-republic>
- [42] Hitachi Energy v České republice. *Hitachi Energy* [online]. Curych: Hitachi Group Website, 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.hitachienergy.com/about-us/country-and-regional-information/czech-republic>
- [43] PÁLENÍK, Michal. *Interní dokument P-0001: Příručka integrovaného systému řízení (ISŘ) Hitachi Energy Czech Republic s.r.o., organizační jednotka PGHV Brno*. 8. Brno: Hitachi Energy, 2022, 17 s.

- [44] POTĚŠIL, Jan. *Pracovní instrukce I-0004: Mezioperační kontrola kvality*. Revize 4. Brno: Hitachi Energy, 2022, 33 s. 4.
- [45] SCHAFFELHOFER, Igor. *Konstrukce zařízení pro přesné dělení trubek z hliníkových slitin*. Brno, 2022. Diplomová práce. Vysoká škola technická v Brně. Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.
- [46] HOLEČEK, Václav. *Pracovní instrukce 2GPH000149: Instrukce kartáčování trubek*. Revize AB. Brno: Hitachi Energy, 2016.
- [47] HOLEČEK, Václav. *Pracovní instrukce 2GPH000063: Čištění a příprava povrchu*. Revize AB. Brno: Hitachi Energy, 2016.
- [48] PÁLENÍK, Michal. *Interní dokument P-0002: Politika integrovaného systému řízení (ISŘ)*. Revize 4. Brno: Hitachi Energy, 2021.
- [49] MAREK, Tomáš. *Pracovní instrukce I-0022: Vstupní kontrola kvality*. Revize 3. Brno: Hitachi Energy, 2022, 20 s.
- [50] HOLEČEK, Václav a Jan MAŠTERA. *Pracovní instrukce 2GPH000138: Měření a kalibrace pro ELCOMETER 456*. Revize AA. Brno: Hitachi Energy, 2016, 5 s.
- [51] Teploměr s ponornou/vpichovací sondou a ovládním pomocí chytrého telefonu. In: *Testo, s.r.o.* [online]. Praha: Testo SE & Co., 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-915i/p/0563-1915>
- [52] Přístroj PosiTector Advanced. In: *SURFIN Technology s.r.o.* [online]. Brno: ABRA Software, 2017 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://eshop.surfin-tech.cz/pristroj-positector-advanced-detail-1K94000101.aspx>

# 12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 12.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měřením [6]	20
Tab 2)	Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním	21
Tab 3)	Hodnoty indexu způsobilosti procesu [9].....	23
Tab 4)	Hodnoty indexů způsobilosti měřidla [10].....	24
Tab 5)	Stanovení tloušťky nátěru dle ČSN EN ISO 2808:2020 [29] .....	44
Tab 6)	Rozdělní základních krycích vrstev používaných v PGHV Brno [17] .....	60
Tab 7)	Plán interních auditů výrobního závodu [48].....	63
Tab 8)	Kontrolní činnosti mezioperační kontroly 1 [17].....	70
Tab 9)	Náklady na nekvalitu ve výrobním závodě Brno za rok 2022 .....	74
Tab 10)	Kalibrace měřidel používaných na pracovišti kontroly .....	78
Tab 11)	Měření hodnot způsobilosti měřidla .....	84
Tab 12)	Výpočet indexu způsobilosti $c_g$ a $c_{gk}$ .....	85
Tab 13)	Ověření ukazatel vhodnosti měřícího zařízení dle normy VDA - 5 .....	86
Tab 14)	Přehled rizikových a nejlepších bodů u vnitřního laku pouzdra .....	90
Tab 15)	Průměrné hodnoty délek a sektorů u vnější laku pouzder .....	96
Tab 16)	Porovnání aktuální kontrolní činnosti a nového návrhu .....	101
Tab 17)	Porovnání časové náročnosti aktuálního stavu a nových návrhů .....	102
Tab 18)	Porovnání časové náročnosti aktuálního stavu a nových návrhů .....	103
Tab 19)	Výpočet dat pro statistickou regulaci procesu pouzdra .....	105
Tab 20)	Výpočet dat pro statistickou regulaci procesu hliníkového odlitku .....	106
Tab 21)	Parametry pro vybrané faktory .....	108
Tab 22)	Navržené parametry programu pro jednotlivé úrovně faktorů .....	109
Tab 23)	Návrh kombinace faktorů pro plánovaný experiment .....	109
Tab 24)	Výpočet časové úspory za rok .....	110
Tab 25)	Vypočet roční finanční úspory .....	111
Tab 26)	Výpočet finanční úspory pro jednotlivé varianty .....	111
Tab 27)	Výpočet časových úspor pro obě varianty .....	112

## 12.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Náčrt regulačního diagramu [6] .....	17
Obr. 2)	Testy vymezitelných příčin [6].....	18
Obr. 3)	Rozhodovací strom pro volbu regulačního diagramu [8].....	19
Obr. 4)	Výpočet způsobilosti procesu v Minitabu .....	22
Obr. 5)	Histogram pomocí programu Minitab .....	29
Obr. 6)	Příklad integrovaného vývojového diagramu .....	29
Obr. 7)	Příklad Paretova diagramu .....	30
Obr. 8)	Příklad Ishikawa diagramu .....	31
Obr. 9)	Znázornění managementu kvality v cyklu PDCA [3] .....	32
Obr. 10)	Proces práškového lakování .....	34
Obr. 11)	Broušení pomocí brusného kotouče [17] .....	35
Obr. 12)	Kotouče pro metodu kartáčování [17].....	35
Obr. 13)	Chemická předúprava materiálu u automatické linky .....	36
Obr. 14)	Odmaštění kovů pomocí organických rozpouštědel [22].....	37
Obr. 15)	Umístění maskovacího deklu ve výrobku [23] .....	38
Obr. 16)	Příklad bezpečnostního listu PNH AkzoNobel [17] .....	39
Obr. 17)	Nanášení práškového laku [23] .....	40
Obr. 18)	Nanesení práškového laku metodou Corona [27] .....	41
Obr. 19)	Nanesení práškového laku metodou Tribo [28] .....	41
Obr. 20)	Cyklon pro recyklaci práškového laku [23] .....	42
Obr. 21)	Digitální tloušťkoměr Elcometer 456 [32] .....	45
Obr. 22)	Ruční nástroj s ostřím a výsledek mřížkové zkoušky [34].....	46
Obr. 23)	Průběh zkoušky ohybem ve zkušebním zařízení.....	47
Obr. 24)	Průběh stanovení lesku .....	47
Obr. 25)	Průběh zkoušky padajícím závažím .....	48
Obr. 26)	Lakovací robot ABB IRB 5510 [39] .....	50
Obr. 27)	Přehled výkonnosti výrobního procesu na tabletu [40].....	50
Obr. 28)	Hitachi Energy Česká republika [43] .....	51
Obr. 29)	Výrobní závod Brno – Slatina .....	52
Obr. 30)	Organizační struktura výrobního závodu [43] .....	53
Obr. 31)	Mapa procesů výrobního závodu v Brně.....	53
Obr. 32)	Proces výroby plynem izolovaných vodičů VVN [43] .....	54
Obr. 33)	Layout výrobního závodu v Brně [44] .....	55
Obr. 34)	Zapouzdřená plynem izolovaná rozvodna VVN [43] .....	56
Obr. 35)	Procesní mapa výrobního procesu svařování .....	57
Obr. 36)	Poloautomatická linka procesu lakování [17] .....	57
Obr. 37)	Procesní mapa lakovny [17] .....	58
Obr. 38)	Plně automatický proces chemické předúpravy .....	59
Obr. 39)	Automatická kontrola chemické předúpravy .....	59
Obr. 40)	Přepravní dřevěný box pro hotové výrobky .....	61
Obr. 41)	Organizační schéma managementu kvality .....	62
Obr. 42)	Proces neustálého zlepšování ve výrobním závodě .....	64
Obr. 43)	Interní evidenční číslo měřidla s kontrolním štítkem.....	65
Obr. 44)	Počet zákaznických reklamací za období 2009–2022.....	66
Obr. 45)	Proces nekvality ve výrobním závodě v Brně [49] .....	66

Obr. 46)	Drsnoměr MARSurfM400 + SD 26 .....	68
Obr. 47)	Proces kontroly kvality ve výrobním procesu [44] .....	68
Obr. 48)	Proces vyhodnocení kvality po procesu lakování.....	69
Obr. 49)	Předpokládaný nárůst výroby v letech 2023–2026.....	72
Obr. 50)	Výrobní oddělení s hlavním podílem zákaznických reklamací v roce 2022 .....	73
Obr. 51)	Druh vady zákaznických reklamací v roce 2022 .....	73
Obr. 52)	Cyklus PDCA [3].....	75
Obr. 53)	Přehled interních záznamů o nekvalitě za rok 2022 .....	76
Obr. 54)	Nejčastější vady nalezené na pracovišti MOK1 .....	76
Obr. 55)	Ishikawův diagram pro slabou tloušťku nátěru .....	77
Obr. 56)	Teploměr s ponořovací sondou [50].....	81
Obr. 57)	Měřidlo Elcometer 456 (I-2940-075) .....	82
Obr. 58)	Kalibrační fólie Elcometr (P-2940-028).....	83
Obr. 59)	Průběh měření způsobilosti měřidla .....	83
Obr. 60)	Grafické znázornění způsobilosti tloušťkoměru Elcometer 456 .....	85
Obr. 61)	Rozdělení slabé tloušťky laku .....	87
Obr. 62)	Etalony pro různé odstíny práškových barev .....	87
Obr. 63)	Analýza materiálů se slabou tloušťkou vnitřního laku .....	88
Obr. 64)	Měření pouzdra vnitřního nátěru .....	89
Obr. 65)	Histogram měřených bodů vnitřního laku pouzdra .....	89
Obr. 66)	Příklad regulačního diagramu měřeného bodu pouzdra .....	90
Obr. 67)	Měření vodiče vnitřního nátěru .....	91
Obr. 68)	Histogram měřených bodů vnitřního laku vodiče .....	91
Obr. 69)	Příklad regulačního diagramu měřeného bodu vodiče .....	92
Obr. 70)	Zavěšení dvou vodičů na jedné traverze.....	93
Obr. 71)	Analýza materiálů se slabou tloušťkou vnějšího laku .....	93
Obr. 72)	Délky pouzder se slabou tloušťkou vnějšího laku.....	94
Obr. 73)	Bodové měření vnějšího laku pouzdra .....	95
Obr. 74)	Histogram tloušťky vnějšího laku pro pouzdra .....	95
Obr. 75)	Příklad regulačního diagramu měřeného bodu pouzdra vnějšího laku.....	96
Obr. 76)	Bodové měření vnějšího laku odlitku tvaru T .....	97
Obr. 77)	Histogram měřených bodů vnějšího laku odlitku tvaru T .....	98
Obr. 78)	Příklad regulačního diagramu měřeného bodu odlitku T .....	98
Obr. 79)	Přehled rizikových a nejlepších bodů na odlitku tvaru T .....	99
Obr. 80)	Nový návrh kontrolní činnosti vnějšího laku pouzdra.....	101
Obr. 81)	Návrh nově měřených bodů po optimalizaci u odlitku T (návrh 1) .....	102
Obr. 82)	Návrh měření pouze kritických bodů (návrh 2).....	103
Obr. 83)	Měřicí přístroj DeFelsko [51] .....	104
Obr. 84)	Regulační diagram pro průměr tloušťky vnitřního laku .....	105
Obr. 85)	Regulační diagram pro rozpětí tloušťky vnitřního laku .....	106
Obr. 86)	Regulační diagram pro průměr tloušťky vnějšího laku .....	107
Obr. 87)	Regulační diagram pro rozpětí tloušťky vnějšího laku.....	107
Obr. 88)	Body 17 a 11 vybrané na experiment .....	108

### 12.3 Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Anglický název	Český název
ABB	Asea Broven Boveri	-
ASEA	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget	-
AIAG	Automotive Industry Action Group	Světově uznávaná organizace dodavatelů a výrobců
ASQC	American Society for Quality	Americká společnost pro kvalitu
CI	Continuous Improvement	Neustálé zlepšování
CIL	Continuous Improvement Leader	Vedoucí procesu neustálého zlepšování
CSP	Customer Services & Planning	Zákaznické požadavky a plánování
DMAIC	Define – Measure – Analyze – Improve - Control	Definovat – Měřit – Analyzovat – Zlepšovat – Řídit
DOE	Design of Experiments	Plánování experimentu
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	Analýza možných vad a jejich následků
FPY	First Pass Yield	Úspěšnost sestavy na první test
FTA	Fault Tree Analysis	Analýza stromu poruchových stavů
FSW	Friction stir welding	Třecí svařování promíšením
GU	Gloss units	Jednotky lesku
HV	High Voltage	Vysoké napětí
HR	Human Resources	Lidské zdroje
ISR	-	Integrovaný systém řízení
KPI	Key Performance Indicators	Klíčové ukazatele výkonnosti
MES	Manufacturing Execution Systems	Výrobní informační systém
MOK	-	Mezioperační kontrola
MSA	Measurement Systems Analysis	Analýza měřicích systémů
NCR	Non conformity report	Zpráva o neshodě
OEE	Overall equipment effectiveness	Celková efektivnost zařízení
OHS	Occupational Health and Safety	Bezpečnost a zdraví při práci
PDCA	Plan – Do – Check – Act	Plánuj – Dělej – Zkontroluj – Jednej
PGGA	Power Grids Grid Automation	-
PGGI	Power Grids Grid Integration	-
PGHV	Power Grids High Voltage	-
PGTR	Power Grids Transformers	-
PNH	-	Práškové nátěrové hmoty
QB	Quality board	Schůzka kvality
QFD	Quality Function Deployment	Plánování jakosti na požadavky zákazníka
QMS	Quality Management System	Systém managementu kvality
RAL	-	Vzorník barev
SAP	Systems – Applications – Products in data processing	Podnikový informační systém
SF <sub>6</sub>	Sulfur hexafluoride	Fluorid sírový
SCM	Supply Chain Management	Management dodavatelského řetězce
SPC	Statistical Process Control	Statistická regulace procesu
TIG	Tungsten Inert Gas	Svařování wolframovou elektrodou
USB	Universal Serial Bus	Universální sériová sběrnice
VDA	Verband der Automobilindustrie	Norma pro automobilový průmysl

VVN	-	Velmi vysoké napětí
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Bezdrátová věrnost





## 13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Kalibrační list pravouhly neferomagnetické sondy Elcometer (P-2940-030)

Příloha B: Kalibrační list kalibrační fólie (P-2940-028)

Příloha C: Kalibrační list digitálního teploměru (P-5920-088)



# PŘÍLOHY

## Příloha A) Kalibrační list pravoúhle neferomagnetické sondy Elcometer (P-2940-030)

Test Certificate  
Certificat d'essai • Testzertifikat

elcometer®  
www.elcometer.com

Certificate Number: 456-YF05100-P

Numero de Certificat:  
Bescheinigungsnummer:

Probe Part Number: T456CN1R

Code Article de la Sonde:  
Artikelnummer der Sonde:

Probe Type: Elcometer 456 Non Ferrous Probe: Right Angle; Scale 1: 0-1500µm/0-60mils

Sonde:  
Sondentyp:

Elcometer 456 Sonde Non Ferreuse: Angle Droit, Echelle 1: 0-1500µm/0-60mils  
Elcometer 456 Sonde für Nicht-Eisen: Rechtswinklig, Skala 1: 0-1500µm/0-60mils

Probe Serial Number: YF05100

Sonde Numéro de Série:  
Seriennummer des Sondens:

Measurement Date: 23/06/2022

Date de Mesure:  
Mafz datum:

The probe was calibrated using factory reference gauge Serial Number UA21128, using a smooth calibration, with the factory zero plate and the thickest certified foil listed below in accordance with Elcometer's Certification Procedure.

La Sonde a été étalonnée à l'aide d'un étalonnage lisse, en utilisant une jauge de référence (N° de Série UA21128), une plaque zéro et la feuille d'étalonnage certifiée la plus épaisse qui est énumérée ci-dessous, selon les Procédures d'Étalonnage d'Elcometer.

Die Sonde wurde mit einem Referenz-Gerät (Seriennummer UA21128) nach einer glatten Kalibriermethode kalibriert, durch Einsetzen einer Nullplatte und die dickste zertifizierte Folie, die unten aufgelistet ist. Die Kalibriermethode wurde gemäß Elcometer's Zertifizierungsprotokolls.

Measurement Results: Non Ferrous • Résultats de Mesure: Non-Ferreux • Messergebnisse: Nicht-Eisenmetall

Foil / Substrate <sup>1</sup> Feuille d'étalonnage / substrat <sup>1</sup> Folie / Untergrund			Actual Measured Value <sup>2</sup> Valeur mesurée réelle <sup>2</sup> Aktuelle Messwert <sup>2</sup>			Allowable Value <sup>3</sup> Valeur admissible <sup>3</sup> Zulässiger Wert <sup>3</sup>		
Value • Valeur • Wert	Serial Number <sup>2</sup> Numéro de Série <sup>2</sup> Seriennummer <sup>2</sup>		µm	mils		µm	mils	
1480.0 µm	58.27 mils	TH07723	1478.3	58.20	±1%	1465.2 - 1494.8	57.69 - 58.85	Pass • Réussi • Bestanden
744.0 µm	29.29 mils	TH11503	744.9	29.33	±3%	721.7 - 766.3	28.41 - 30.17	Pass • Réussi • Bestanden
0.0 µm	0.00 mils	WE22021	-0.1	0.00	±1µm	-1.0 - 1.0	-0.04 - 0.04	Pass • Réussi • Bestanden

Signed on behalf of Elcometer Limited • Signé au nom d'Elcometer Limited • Unterzeichnet im Namen Elcometer Limited

Name:

Signature:   
Name:

Quality Manager • Responsable Qualité • Qualitätsbetriebsleiter

<sup>1</sup> Measurements taken in microns, mils values are calculated using 1µm = 0.03937mil

<sup>2</sup> Les valeurs sont prises en microns, Les valeurs en "mils" sont calculées en utilisant 1µm = 0.03937mil

<sup>3</sup> Informations sind in Mikrometern angegeben. Um-wert „mils“ umzurechnen: 1mm = 0.03937mil

<sup>4</sup> Certificate Number: 54212

<sup>5</sup> Numéro de Certificat: 54212

<sup>6</sup> Bescheinigungsnummer: 54212







## KALIBRAČNÍ LIST č. KL2205D2455

Strana 1 z 2

**Zákazník:**

Hitachi Energy Czech Republic s.r.o.  
Tuřanka 106A, 627 00 Brno

**Měřidlo:** Digitální teploměr

**Typ:** 30.5000.02

**Výrobce:** TFA

**Výrobní // identifikační číslo:** - // P-5920-088

**Měřicí rozsah:** (-10 ÷ 60) °C

**Kalibrovaný rozsah:** (25 ÷ 35) °C

**Specifikovaná přesnost:**

1 °C

Kalibrováno ve stálých prostorech kalibrační laboratoře; pracoviště Ivančice.

**Datum kalibrace:** 23. 5. 2022

**Kalibraci provedl:** Jan Halada

**Kalibrováno dle kalibračního postupu:** KP TE1

**Podmínky při kalibraci:**

**Teplota:** (21 ± 2) °C

**Relativní vlhkost:** < 50 %

**Použitý etalon:**

Digitální teploměr, identifikační č.: H14040331 + ETE11\_1.

Měření má návaznost na (mezi)národní etalony.

Bez písemného souhlasu nesmí být tento kalibrační list kopírován a rozšiřován jinak, než v celkovém počtu stran. Výsledky se týkají pouze uvedeného měřidla a vztahují se k době a místu provedených měření.