



ZABEZPEČOVÁNÍ JAKOSTI PRODUKTU NA ZÁKLADĚ SPECIFIKACE OD ZÁKAZNÍKA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3911T023 – Řízení jakosti

Autor práce: **Bc. Kateřina Buriánková**
Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



PRODUCT QUALITY ASSURANCE BASED ON CUSTOMER SPECIFICATION

DIPLOMA THESIS

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3911T023 – Quality Control

Author: **Bc. Kateřina Buriánková**
Supervisor: doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.



ZADÁNÍ

P r o h l á š e n í

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom-to případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Liberci dne:

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce – Ing. Vladimíru Bajzíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat všem kolegům z Inteva products, kteří mi věnovali svůj čas a poskytli mi cenné rady, bez kterých by tato práce nemohla být dokončena. Také děkuji své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

ANOTACE

Práce se zabývá vývojem projektu SK253 (rolety panoramatické střechy vozu) od úplného začátku až po současný stav. Během celého období bylo třeba vyřešit několik klíčových otázek v souvislosti s dodržáním minimální a maximální síly pro manipulaci s roletou. Specifikace sil je stanovena zákazníkem. V rámci předsériové fáze (APQP) bylo třeba stanovit polohu síly v tolerančním intervalu. Dále byla ověřena normalita naměřených dat a poté vypočteny indexy způsobilosti procesu a výkonu. S blížícím se vstupem do sériové výroby se vyskytl problém se samovolným zatahováním rolet při jízdě. Závěr práce je proto věnován dynamice rolety a možnostem řešení tohoto problému.

Klíčová slova: APQP, indexy způsobilosti procesu a výkonu, regulační diagramy, síla, ověření normality, Box-Cox transformace

ANNOTATION

The thesis deals with the development of the project SK253 (blinds for car sunroofs) from the very beginning until today. During the entire period was necessary to solve some key issues related to compliance with the minimum and maximum force which is needed for manipulation with blinds. Force specification is determined by the customer. During the pre-production phase (APQP) was necessary to define the force position within the tolerance interval. Afterwards the data normality was verified and then the process and performance capability indexes were calculated. With the impending entry into the serial production occurred a problem with spontaneous closing of the blinds during the ride. The conclusion of the thesis is devoted to the dynamics of blinds and possibilities of solving this problem.

Key words: APQP, process and performance capability indices, control chart, force, normality verify, Box-Cox transformation

OBSAH

Seznam použitých symbolů a zkratk	10
Seznam tabulek	12
Seznam obrázků	13
Úvod	15
1. Inteva products	17
1.1. Historie	17
1.2. Produkce	17
1.3. Střešní systém	18
2. Advanced Product Quality Planning (APQP) / Moderní plánování kvality	19
2.1 Program plánování a definování	19
2.2 Návrh a vývoj produktu	19
2.3 Návrh a vývoj procesu	20
2.4 Validace produktu a procesu	20
2.5 Zpětná vazba, posuzování a nápravná opatření	21
2.6 Metodika plánu kontroly a řízení	21
3. Statistika	22
3.1 Normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$	22
3.1.1 Normované normální rozdělení	22
3.1.2 Ověření normality	22
3.2 Charakteristiky polohy	22
3.3 Charakteristiky variability	23
3.4 Intervaly spolehlivosti	24
3.5 Weibullovo rozdělení Wei $[\beta, \eta, \gamma]$	24
4. Způsobilost procesu a regulace procesu	26
4.1 Způsobilost procesu a výkonnost procesu	27
4.1.1 Indexy způsobilosti a výkonnosti pro oboustrannou toleranci s předpokladem normálního rozdělení	28
4.1.2 Indexy způsobilosti a výkonnosti pro jednostranné toleranční meze	30
4.1.3 Další indexy	31
4.1.4 Indexy způsobilosti pro data nepocházející z normálního rozdělení	32
4.2 Regulační diagramy	33
5. Síla [N]	35

5.1	Newtonovy pohybové zákony	35
5.2	Síly brzdící pohyb tělesa	38
6.	Vývoj projektu SK253 od počátků až po současnost.....	40
6.1	Chod společnosti	40
6.2	Jednotlivé fáze projektu.....	41
7.	VÝROBNÍ POSTUP	43
7.1	Proces vzorkování	43
7.2	Čištění pružin.....	43
7.3	Lepící robot	44
7.4	Humidor.....	44
7.5	Ořez a čištění rolety.....	44
7.6	Děrování pružiny	44
7.7	Přivaření kedru (polyvinylchloridového těsnění) a temperovací komora .	44
7.8	Šroubování bočnic	45
7.9	Testování	45
8.	Síla na projektu SK253.....	46
8.1	Faktory ovlivňující sílu.....	46
8.2	Hlavní problémy projektu z hlediska síly.....	46
9.	Kam sílu nastavit - první měření a výsledky	47
9.1	Ověření normality.....	48
9.2	Vyhodnocení výsledků tabulky	49
10.	Natavení otevírací síly k horní toleranční mezi.....	50
10.1	Přední rolety	50
10.1.1	Ověření normality.....	52
10.1.2	Indexy způsobilosti.....	54
10.2	Zadní rolety	58
10.2.1	Ověření normality.....	60
10.2.2	Indexy způsobilosti.....	62
11.	Pravděpodobnost, že dojde k překročení mezí	65
11.1	Přední rolety	65
11.2	Zadní rolety	66
12.	Dynamika rolety.....	67
12.1	Vliv rychlosti manipulace na použitou sílu	67
12.2	Síla potřebná pro udržení rolety na místě.....	68

13. Nestabilní pozice rolet během jízdy	71
13.1 Řešení v Inteva products.....	71
13.2 Mé návrhy řešení	72
14. Závěr	74
Seznam použité literatury	75
Seznam příloh.....	77

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Název veličiny/popis
a	Zrychlení [m.s^{-2}]
APQP	Advanced Product Quality Planning, metoda kvality pro předsériovou výrobu
c_4	Koeficient závislý na počtu měření ve skupině
CL	Centrální linie
C_p	Index způsobilosti procesu, respektuje pouze kolísání procesu a technické specifikace
C_{pk}	Index způsobilosti procesu, respektující jak kolísání a technické specifikace, tak i polohu těžiště procesu
CV	Variační koeficient [%]
d_2	Koeficient závislý na počtu měření ve skupině
DCF	Distribuční funkce
DFMEA	Design Failure Mode Effects Analysis
F	Síla ruky působící na těleso [N]
f	Součinitel smykového tření Hodnota je různá pro různé typy povrchů (menší než 1)
F'	Síla tělesa působící na ruku [N]
F_{12}	Síla tělesa 1 působící na těleso 2 (akce) [N]
F_{21}	Síla tělesa 2 působící na těleso 1 (reakce) [N]
F_G	Tíhová síla [N]
F_o	Odporová síla [N]
F_p	Síla pružiny [N]
F_{p-t}	Síla, kterou tlačí podložka na těleso [N]
F_t	Třecí síla podložky působící na těleso [N]
F'_t	Třecí síla tělesa působící na podložku [N]
F_v	Síla vytažení rolety [N]
F_z	Síla zavření rolety [N]
G; g	Tíhové zrychlení (na Zemi = $9,81 \text{ m.s}^{-2}$)
m	Hmotnost [kg]
m	Počet skupin
n	Počet měření ve skupině
p	Tlak [Pa]

PDF	Hustota pravděpodobnosti
PFMEA	Process Failure Mode Effects Analysis
P_p	Index výkonnosti procesu, respektuje pouze kolísání procesu a technické specifikace
P_{pk}	Index výkonnosti procesu, respektující jak kolísání a technické specifikace, tak i polohu těžiště procesu
R	Poloměr tělesa
S	Plocha [m ²]
s; σ	Směrodatná odchylka
T	Předepsaná hodnota parametru x , je středem tolerančního intervalu
t	Čas [s]
t_1	Počáteční čas [s]
t_2	Konečný čas [s]
UCL / LCL	Horní a dolní regulační mez
USL / LSL	Horní a dolní toleranční mez dle technické specifikace
v	Rychlost [m.s ⁻¹]
v_1	Počáteční rychlost [m.s ⁻¹]
v_2	Konečná rychlost [m.s ⁻¹]
$\bar{x}$	Aritmetický průměr
x_i	Jednotlivá měření
α	Pravděpodobnost chyby [%]
β	Parametr tvaru
γ	Parametr posunu
η	Parametr měřítka
μ	Střední hodnota
ξ	Součinitel, rameno valivého odporu Hodnoty součinitele jsou různé pro různé typy povrchů [m]
σ^2	Rozptyl
σ_c	Kolísání uvnitř podskupiny
σ_p	Celkové kolísání

Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřené hodnoty prvních vyrobených kusů.	48
Tabulka 2: Výsledky měření předních rolet.	51
Tabulka 3: Výsledky měření zadních rolet.	59
Tabulka 4: Váhy hybných komponentů rolety.	69

Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění Intevy ve světě dle [2].	18
Obrázek 2: Shewhartův regulační diagram dle [9].	33
Obrázek 3: Setrvačnost pohybu tělesa dle [12].	35
Obrázek 4: Zákon síly dle [13].	36
Obrázek 5: Vzájemné působení sil [14].	37
Obrázek 6: Fáze APQP na projektu SK253.	41
Obrázek 7: Pružiny rolety.	43
Obrázek 8: EOL Tester.	45
Obrázek 9: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vpřed).	48
Obrázek 10: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vzad).	48
Obrázek 11: Q-Q graf pro přední rolety, síla vpřed.	52
Obrázek 12: Histogram relativních četností (přední roleta, síla vpřed).	52
Obrázek 13: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vpřed).	53
Obrázek 14: Q-Q graf pro přední rolety, síla vzad.	53
Obrázek 15: Histogram relativních četností (přední roleta, síla vzad).	54
Obrázek 16: Box-Cox Transformace (přední rolety, síla vpřed).	54
Obrázek 17: Indexy způsobilosti (přední rolety, síla vpřed).	55
Obrázek 18: Indexy způsobilosti pro posunutou toleranční mez.	56
Obrázek 19: Indexy způsobilosti (přední rolety, síla vzad).	56
Obrázek 20: Q-Q graf pro zadní rolety, síla vpřed.	60
Obrázek 21: Histogram relativních četností (zadní rolety, síla vpřed).	60
Obrázek 22: Pravděpodobnostní grafy (zadní rolety, síla vpřed).	61
Obrázek 23: Q-Q graf pro zadní rolety, síla vzad.	61
Obrázek 24: Histogram relativních četností (zadní rolety, síla vzad).	62
Obrázek 25: Box-Cox Transformace – zadní rolety, síla vpřed.	63
Obrázek 26: Indexy způsobilosti - zadní rolety, síla vpřed.	63
Obrázek 27: Indexy způsobilosti - zadní rolety, síla vzad.	64
Obrázek 28: Působení sil při otevírání rolety.	69
Obrázek 29: Působení síly při zavírání rolety.	69
Obrázek 30: Pružina v ose Z.	71
Obrázek 31: Pružina v ose Z.	71

Obrázek 32: Detail hřebenu ve střeše.	72
Obrázek 33: Děrování.....	73

Úvod

Diplomová práce sleduje vývoj projektu SK253 (rolety pro panoramatickou střechu vozu) od počátku po současný stav. Cílem práce je stanovení optimální polohy síly dle zákaznické specifikace, analýza stavu procesu po nastavení sil, stanovení fyzikálních vlastností rolety a jejich vliv na produkt.

V úvodu práce je stručně shrnuta historie společnosti, poté je představena metoda APQP a účel jejího použití. Dále jsou vysvětleny pojmy, které jsou klíčové pro výpočty v praktické části. Jedná se především o pojmy ze statistiky, řízení jakosti a fyziky.

Nejdůležitějšími faktory, které se během výroby rolet sledují, jsou síla, průvės textilie a barva. Práce se věnuje stabilizaci procesu z hlediska dodržení stanové síly zákazníkem, neboť právě síla je u manuálních rolet klíčovou veličinou. V případě automatických rolet není třeba klást na sílu tak velký důraz – roleta se pohybuje automaticky díky motorku. Manuální roleta je však uváděna do pohybu pouze lidskou silou. Je tedy třeba tuto sílu kontrolovat, aby byla manipulace pro konečného zákazníka co nejsnazší.

Měří se jak síla potřebná pro roztažení rolety (tah), tak síla potřebná pro zavření rolety (tlak). Síla pro zavření je podstatně nižší, než síla pro roztažení. To je dáno tím, že je při otevírání potřeba překonat sílu pružin. Toleranční meze pro použitou sílu jsou zákazníkem stanoveny na minimum 5N pro sílu vzad a maximum 31N pro sílu vpřed (Inteva si sama posunula minimální hranici z 5N na 8N).

V praktické části bude nejprve stanovena nejvhodnější poloha sil v tolerančním intervalu a po nastavení bude vyhodnoceno 75 výsledků měření pro každou sílu (*roleta přední* – síla vpřed, síla vzad; *roleta zadní* – síla vpřed, síla vzad). Pomocí testů bude ověřena normalita naměřených dat, data z nenormálního rozdělení budou transformována na normální rozdělení. Dále bude zjištěna způsobilost procesu i výkonu a pravděpodobnost překročení tolerančních mezí.

Pomocí fyzikálních vzorců bude stanoven vliv rychlosti manipulace na potřebnou sílu a rovnovážný stav sil pro udržení rolety na místě.

Úplný závěr práce bude věnován řešení problému, který u rolet nastal při namontování do vozu. Přesto, že byly dodrženy veškeré specifikace stanovené zákazníkem, vyskytl se neočekávaný problém. Roleta se vlivem otřesů při jízdě samovolně zatahuje. Není přípustné, aby byl zákazník během jízdy nucen roletu zatahovat opakovaně. Do současné doby není tento problém oficiálně vyřešen. Budou proto jen nastíněna řešení společnosti, která se stále optimalizují a připojím i své vlastní návrhy.

1. Inteva products

1.1. Historie

Je jedním z největších dodavatelů automobilového průmyslu na světě. Pobočky společnosti se nacházejí na 4 kontinentech, v 18 státech, ve 42 lokalitách a jejím sídlem je město Troy v Michiganu (viz. *Obrázek 1*).

Značka Inteva Products byla sice uvedena na trh až v roce 2008, ale tato společnost má bohatou mezinárodní historii, sahající až k založení německého automobilového dodavatele Traugott Golde v roce 1872. V následujících 30 letech vznikali 4 automobiloví dodavatelé – Inland Manufacturing Company, Gude Lamp, Fisher Body Company a Arvin Heater Company, kteří vytvořili základy, pro vytvoření čtyř hlavních produktových řad Intevy.

Traugott Golde začal dodávat střešní komponenty v roce 1907, s výrobou automobilových střech však začal až roku 1927. O rok později se začaly v Birminghamu v Anglii vyrábět dveřní zámky, jejichž výroba se velmi brzy rozšířila i do Francie, která se stala designérem a dodavatelem dveřních systémů v Evropě. Tyto dvě společnosti byly startem pro střešní systémy společnosti Inteva a pro uzamykací systémy. V roce 1930 se začalo s masivní výrobou. Zásadní součástí úspěchu společnosti je neustálá snaha o inovace systému.

1.2. Produkce

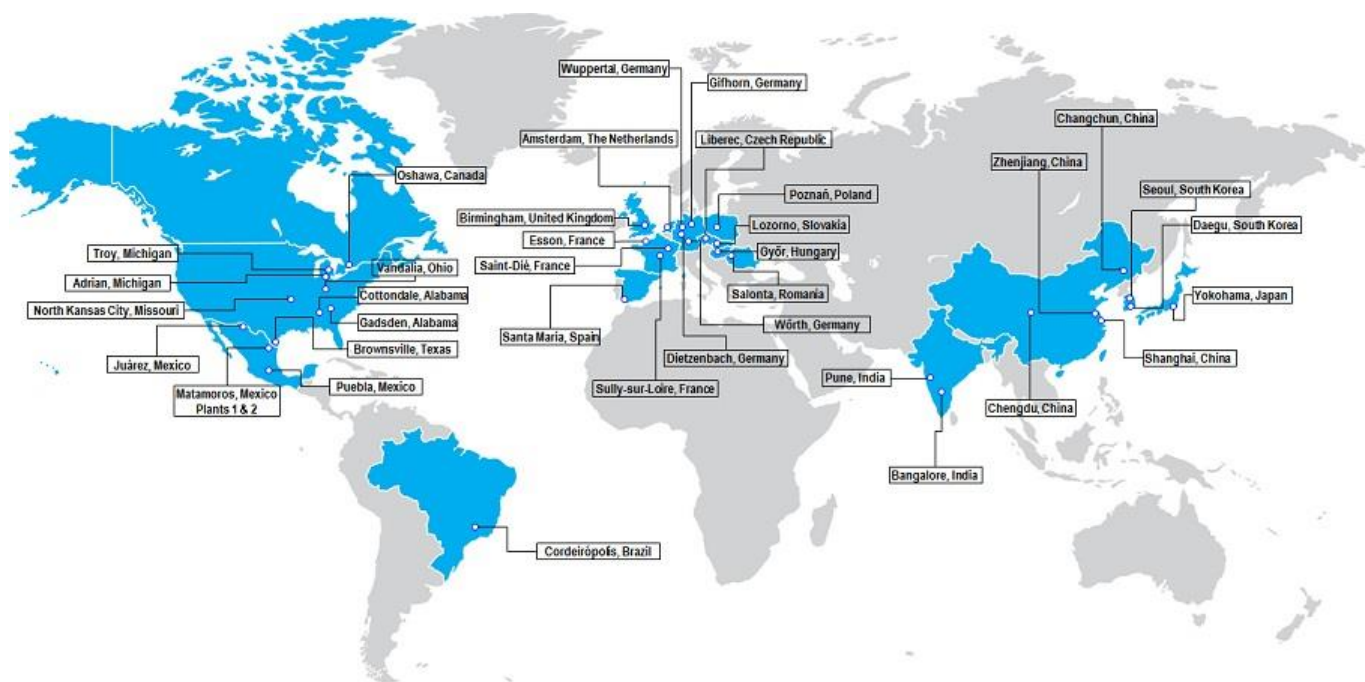
Produktové portfolio společnosti je rozděleno do čtyř produktových řad:

- a) **Uzamykací systém (Closure system)** – vyrábí dveřní zámky, západky, spojené úderníky, elektronické pohony atd. Dveřní systém Inteva nabízí také okenní regulátory a jednotné dveřní moduly.
- b) **Vnitřní systém (Interior system)** – je nejmladším sortimentem společnosti Inteva (od roku 1951). Poskytují kompletní sortiment komponentů pro interiéry vozidel – přístrojové desky, konzole, obložení dveří, čalounění stropu a celé kabiny.

- c) **Motory a elektronika (Motors & Electronics)** – zahrnuje výrobu elektrických motorů, např: pro elektrickou roletu oken.
- d) **Střešní systém (Roof system)** – patří sem výroba střešních oken a panoramatických střech.

1.3. Střešní systém

Počátky výroby střešních systému Intevy se datují do roku 1927 s produkcí automobilových panoramatických střech od Traugott Golde. Po přejmenování na Golden spol. s r.o. se tato společnost stala prvním výrobcem posuvných střech v roce 1950 a pokračovala ve svém průkopnictví v roce 1973 s výrobou světově prvního výklopného a posuvného modulu. Tyto vlivy přispěly k zahájení prvního velkého otevření střešního systému v roce 2004 a dnešní revoluční modulární panoramatické střešní systémy. [1]



Obrázek 1: Umístění Intevy ve světě dle [2].

2. Advanced Product Quality Planning (APQP) / Moderní plánování kvality

APQP je nástrojem pokročilého plánování kvality v předsériové výrobě. Je to proces vývoje nového výrobku, procesu, či jejich změn. Předsériová výroba je klíčová pro zajištění úspěchu projektu, neboť právě tam je tvořeno 80% jakosti. Je-li projekt dobře připraven během předsériové výroby, nemělo by během série dojít ke komplikacím. Původně bylo APQP využíváno pouze v automobilovém průmyslu (normy řady QS 9000), ale její praktické využití vedlo k tomu, že byla tato metoda postupně rozšířena i do dalších oblastí.

2.1 Program plánování a definování

Základem každého projektu, je správně a v plném rozsahu pochopit potřeby zákazníka a jeho požadavky na produkt. Pak teprve může dojít k samotnému plánování výrobních procesů. Požadavky na produkt bývají velmi rozsáhlé – kromě použitých materiálů, vzhledu, životnosti, nákladů atd. je to na příklad i konkurenceschopnost.

Vstupy a výstupy tohoto kroku (výstupy kroku 1 jsou zároveň vstupy kroku 2):

- vstupy: hlas zákazníka (průzkum trhu, zkušenosti z minulých projektů, zkušenosti týmu), podnikatelský plán a marketingová strategie, benchmarkové údaje o produktu a procesu, studie o bezporuchovosti produktu, vstupy od zákazníka
- výstupy: cíle návrhu, cíle bezporuchovosti a kvality, předběžný rozpis materiálu, předběžný vývojový diagram procesu, předběžná identifikace zvláštních znaků produktu a procesu, plán zabezpečování produktu, podpora vedení

2.2 Návrh a vývoj produktu

Pokud jsme se dostatečně seznámili s požadavky zákazníka, můžeme pokračovat návrhem prototypu. Je nutné ověřit, zda je návrh schopen splnit časové a objemové požadavky na výrobu. Zda splňuje požadavky na kvalitu, bezporuchovost, náklady,

hmotnost, atd. Provádí se také analýza potenciálních problémů, které by při výrobě mohly nastat.

Vstupy a výstupy tohoto kroku (vstupy kroku číslo 2 jsou zároveň výstupy kroku 1, výstupy kroku 2 jsou vstupy kroku 3):

- výstupy: analýza možných způsobů a důsledků poruch při návrhu produktu (DFMEA), návrh z hlediska vyrobitelnosti a montáže, ověřování návrhu, přezkoumání návrhu, realizace prototypu, technické výkresy, technické specifikace, materiálové specifikace, změny výkresů a specifikací, požadavky na nové vybavení, nástroje a zařízení, zvláštní znaky produktu a procesu, požadavky na měřidla/zkušební zařízení, závazek týmu k realizovatelnosti a podpora vedení

2.3 Návrh a vývoj procesu

Za předpokladu, že jsme úspěšně dokončili první dva kroky, můžeme pokračovat krokem třetím. Zde se budeme zabývat vývojem výrobního procesu a kontrolních kroků, které s procesem souvisejí. Systém musí být navržen tak, aby zabezpečoval efektivní výrobu a splňoval veškeré požadavky zákazníka.

Vstupy a výstupy tohoto kroku (vstupy kroku číslo 3 jsou zároveň výstupy kroku 2, výstupy kroku 3 jsou vstupy kroku 4):

- výstupy: normy a specifikace pro balení, přezkoumání systému kvality produktu/procesu, vývojový diagram procesu, plán uspořádání výrobních prostorů, matice znaků, analýza možných způsobů a důsledků poruch při návrhu procesu (PFMEA), plán kontroly a řízení ověřovací série, instrukce pro proces, plán analýzy systémů měření, plán předběžné studie způsobilosti procesu, podpora vedení

2.4 Validace produktu a procesu

Validace procesu probíhá prostřednictvím ověřovací výroby. Během této výroby se zkoumá, zda jsou dodržovány stanovené procesy, kontrolní plány i požadavky

zákazníka. Pokud se vyskytnou odchylky od optima, měla by být přijata nápravná opatření dříve, než bude spuštěna sériová výroba.

Vstupy a výstupy tohoto kroku (vstupy kroku číslo 4 jsou zároveň výstupy kroku 3, výstupy kroku 4 jsou vstupy kroku 5):

- výstupy: významná výrobní zkouška (dávka), hodnocení systémů měření, předběžná studie způsobilosti procesu, schvalování dílů do sériové výroby, zkoušení při validaci sériové výroby, hodnocení balení, plán kontroly a řízení pro výrobu, schválení plánování kvality a podpora vedení

2.5 Zpětná vazba, posuzování a nápravná opatření

Dochází k hodnocení výstupů, posuzování kvality procesu, produktu či služby. Vyhodnocují se data a přijímají se nápravná opatření. Pokud se proces APQP prokáže jako efektivní, bude firma schopna plnit požadavky zákazníka.

Vstupy a výstupy tohoto kroku (vstupy kroku číslo 5 jsou zároveň výstupy kroku 4, výstupy kroku 5 jsou vstupy kroku 6):

- výstupy: snížená variabilita, zlepšená spokojenost zákazníka, zlepšená dodávka a servis, efektivní využívání získaných poznatků/nejlepších praktik

2.6 Metodika plánu kontroly a řízení

Jedná se o písemný souhrn, který poskytuje informace o systémech minimalizujících variabilitu procesu a produktu. Popisuje systém řízení a kontroly dílů i procesů v průběhu celého výrobního cyklu (vstupní, mezioperační, výstupní a pravidelné kontroly) a ověřuje, zda jsou všechny výstupy procesu ve zvládnutém stavu. Každá firma má svůj vlastní systém dokumentace, který musí být v souladu s požadavky zákazníka. Účelem metodiky plánu kontroly a řízení, je poskytnout zákazníkovi kvalitní produkt. Používá se v širokém rozsahu výrobních procesů a technologií. Veškerá dokumentace musí být aktualizována.

Pokud jsou některé díly vyráběny stejným způsobem – za použití stejných procesů a zdrojů, lze pro ně použít stejný plán kontroly a řízení. [3]

3. Statistika

3.1 Normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$

Normální rozdělení je jednovrcholové rozdělení symetrické okolo střední hodnoty, která je značena μ . Dalším parametrem normálního rozdělení je rozptyl (σ^2). Při opakovaném měření téže veličiny za stejných podmínek způsobují náhodné vlivy odchylky od skutečné měřené veličiny. Tyto náhodné odchylky se obvykle řídí normálním rozdělením. [4]

3.1.1 Normované normální rozdělení

Obecný tvar: $x(\mu, \sigma^2)$

Normovaný tvar: $N(0,1)$

- střední hodnota $\mu = 0$ – parametr posunutí

- rozptyl $\sigma^2 = 1$ – parametr měřítka [5]

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \longrightarrow N(0,1).$$

(1)

3.1.2 Ověření normality

Před zahájením analýz je třeba se ujistit, zda jsou data z normálního rozdělení. Pro ověření se používají buď *statistické testy* (Chí-kvadrát test dobré shody, Kolmogorov–Smirnov, Shapiro–Wilk, Anderson–Darling, Ryan–Joiner) či *grafické metody* (histogram, pravděpodobnostní graf, Q-Q graf, P-P graf). [6]

3.2 Charakteristiky polohy

Určují, kde jsou data koncentrována. Mezi míry polohy patří *aritmetický průměr, modus, medián a kvantily*.

Aritmetický průměr je vhodný pro data z normálního rozdělení, bez vybočujících hodnot. Medián dělí výběrový soubor na dvě části o 50% pozorování. Medián není citlivý na vybočující měření (je robustním odhadem). Modus je nejčtenější hodnota u diskretních rozdělení, u spojitých rozdělení je to lokální maximum na hustotě pravděpodobnosti. Kvantil řádu p ($0 \leq p \leq 1$) je v setříděných datech hodnota $x_{(p)}$. Mezi nejpoužívanější kvantily patří percentily, decily, kvintily, kvartily. [7]

3.3 Charakteristiky variability

Rozptyl

Je střední kvadratická odchylka pozorování od střední hodnoty. Výběrový rozptyl datového souboru $x_1, x_2, \dots, x_n$ je dán vztahem:

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

Směrodatná odchylka

Udává průměrně, v jaké vzdálenosti se hodnoty vyskytují od střední hodnoty v obou směrech. Je dána vztahem:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (3)$$

Směrodatná odchylka je ve stejných jednotkách jako měřená veličin, proto je jako míra variability vhodnější.

Variační koeficient

Vyjadřuje relativní míru variability u proměnných v různých jednotkách.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} 100. \quad (4)$$

3.4 Intervaly spolehlivosti

Interval, v němž se se zadanou pravděpodobností $(1 - \alpha)$ nachází skutečná hodnota daného parametru Θ . Platí, že čím je rozsah výběru n větší, tím je interval spolehlivosti užší. Čím je odhad přesnější a má menší rozptyl, tím je interval spolehlivosti užší. Čím je vyšší statistická jistota $(1 - \alpha)$, tím je interval spolehlivosti širší. [7]

3.5 Weibullovo rozdělení Wei $[\beta, \eta, \gamma]$

Představuje dobu bezporuchovosti technických zařízení tam, kde se projevuje opotřebení a únava materiálu. Toto rozdělení se používá i při modelování různých jevů, jako je například předpověď počasí, délka zaměstnaneckých stávek či hodnocení pravděpodobnosti vzniku zemětřesení.

- Tříparametrové Weibullovo rozdělení

Je to rozdělení spojitě náhodné veličiny, kde β je parametrem tvaru, η je parametr měřítka a γ je parametr posunu.

Hustota pravděpodobnosti tříparametrového Weibullova rozdělení je dána vztahem:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}, \quad \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, t > \gamma. \quad (5)$$

Symbol " t " reprezentuje náhodnou veličinu (při analýze spolehlivosti buď čas do poruchy, nebo počet cyklů/operací).

- Dvouparametrové Weibullovo rozdělení

je speciálním případem tříparametrového Weibullova rozdělení, pro které je parametr umístění γ roven nule.

Hustota pravděpodobnosti tříparametrového Weibullova rozdělení je dána vztahem:

$$f(t) = \frac{C}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{C-1} \exp - \left(\frac{t}{\eta} \right)^C .$$

(6)

- Jednparametrové Weibullovo rozdělení

je speciálním případem tříparametrového Weibullova rozdělení, pro které je parametr umístění γ roven nule a pro které je parametr tvaru β konstantou $\beta = C$.

Hustota pravděpodobnosti jednparametrového Weibullova rozdělení je dána vztahem:

$$f(t) = \frac{C}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{C-1} \exp - \left(\frac{t}{\eta} \right)^C .$$

(7)

Rozdělení má potom pouze jeden neznámý parametr - parametr měřítka, η . [8]

4. Způsobilost procesu a regulace procesu

Systém regulace procesu je součástí systému řízení obchodu a podnikání. Hlavním účelem regulace procesu, je kontrola současného stavu výroby a odhad budoucího vývoje procesu. Na základě těchto informací provádí společnost zásadní ekonomická rozhodnutí a přijímá opatření. Společnost musí zvážit, zda je opatření nutné přijímat či nikoliv – pokud je do systému zasahováno zbytečně, může to vést k jeho zhoršení. Zároveň však nesmí chybět opatření, která jsou nutná pro zlepšení procesu. Na proces mají vliv dva zdroje kolísání – zvláštní příčiny a náhodné příčiny.

Náhodné příčiny kolísání

Vztahují se k mnoha zdrojům kolísání, které trvale působí na proces. Výsledkem jejich působení je v čase stabilní a opakující se rozdělení pravděpodobnosti sledovaného znaku jakosti. Tento stav procesu se nazývá „statisticky zvládnutý stav procesu“. Náhodné veličiny se chovají jako stabilní systém náhodných příčin. Jsou-li přítomny pouze náhodné příčiny a nemění se, je výstup z procesu předvídatelný.

Zvláštní příčiny

Vztahují se ke každému z faktorů, který způsobuje kolísání ovlivňující pouze některé produkty z výstupů z procesu. Tyto příčiny působí obvykle přerušovaně a jsou nepředvídatelné. Přítomnost zvláštních příčin je signalizována jedním či několika body mimo regulační meze nebo nenáhodnými seskupeními bodů uvnitř regulačních mezí. Dokud nejsou všechny zvláštní příčiny kolísání identifikovány, mohou pokračovat v ovlivňování výstupu z procesu nepředvídatelnými způsoby. Pokud jsou tyto příčiny v procesu přítomny, je proces v čase nestabilní.

Využití systému regulace procesu může být jak jednorázové, kdy chceme zhodnotit stávající stav procesu, nebo se může stát pravidelně používaným nástrojem. Pravidelné využívání systému regulace slouží k rozlišení výrobků na dobré/špatné, charakterizování procesu na stabilní/nestabilní nebo na způsobilý/nezpusobilý. V okamžiku, kdy je proces ve *statisticky zvládnutém stavu*, je třeba nastavit polohu procesu na cílovou hodnotu.

4.1 Způsobilost procesu a výkonnost procesu

Způsobilost procesu je určena kolísáním, které je vyvoláno pouze náhodnými příčinami. To obecně představuje nejlepší výkon samotného procesu. Tento stav se projevuje, když proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu bez ohledu na požadavky specifikace.

Zákazníci, jak externí tak interní, se však zaměřují spíše na *výkonnost procesu*, což je celkový výstup z procesu a jak tento proces koresponduje s jejich požadavky definovanými technickou specifikací bez ohledu na kolísání procesu.

Výstup z toho procesu lze popsat distribuční funkcí rozdělení pravděpodobnosti sledovaného znaku jakosti (ve statisticky zvládnutém stavu). Proces musí být stabilní, aby se toto rozdělení pravděpodobnosti dalo použít pro odhad budoucího stavu procesu. Rozdělení pravděpodobnosti je popsáno parametry, jejichž velikost lze odhadnou pomocí statistik vypočítaných z dat získaných z procesu.

Nejčastějšími statistikami jsou odhady parametru polohy (těžiště) a rozptýlení, které musejí být v souladu s požadavky zákazníka. Většinou je poloha odhadována pomocí výběrového průměru nebo výběrového mediánu. Rozptýlení je nejčastěji odhadováno pomocí výběrového rozpětí nebo výběrové směrodatné odchylky.

Centrování procesu a jeho rozptýlení společně ovlivňují výrobu přijatelného výrobku. Pokud se rozdělení sledovaného znaku posouvá od středu, zmenšuje se prostor pro možné kolísání variability. Vzrůst rozptýlení procesu, posun v poloze procesu nebo kombinace obou dvou faktorů může vést k produkci výrobků mimo mezní hodnoty dané technickými specifikacemi. Proces s takovýmto rozdělením bychom nemohli pokládat za proces splňující potřeby zákazníka.

Indexy

C_p / P_p – pro data s normálním rozdělením; ukazatel respektující pouze kolísání procesu a technické specifikace

C_{pk} / P_{pk} – pro data s normálním rozdělením; ukazatel respektující jak kolísání a technické specifikace, tak i polohu těžiště procesu

C_{PkU} , $C_{P_{KL}}$ / P_{PkU} , P_{PkL} – data často nemají normální rozdělení; jedná se o indexy pro jednostranně neomezenou toleranci

C'_P / C'_{Pk} / C_{PP} / C_{PT} – pro data, která nepocházejí z normálního rozdělení (C'_P / C'_{Pk} – odvozeno z C_P a C_{Pk} ; C_{PP} a C_{PT} – speciální indexy)

Požadavky na způsobilost proces se vztahují obecně k hodnotě indexu C_{Pk} . Aby byl proces způsobilý, musí být $C_{Pk} > 1,33$.

4.1.1 Indexy způsobilosti a výkonnosti pro oboustrannou toleranci s předpokladem normálního rozdělení

Kolísání uvnitř podskupin (σ_c) – C_P , C_{Pk}

Pro proces ve statisticky zvládnutém stavu, je toto kolísání dobrým odhadem inherentního kolísání procesu (ta část kolísání, která je vyvolána pouze náhodnými příčinami). Lze ho dobře odhadnout z regulačních diagramů pomocí podílů:

$$\sigma_c = \frac{R}{d_2} \quad \text{nebo} \quad \sigma_c = \frac{\bar{s}}{c_4}. \quad (8)$$

C_P : Jedná se o ukazatel způsobilosti. Ten porovnává způsobilost procesu s maximálním možným kolísáním procesu, který je dán tolerančním polem. Tento ukazatel vyjadřuje, jak dobře proces splňuje požadavek na variabilitu. Ukazatel C_P se zjistí pomocí vzorce:

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)}. \quad (9)$$

Tento ukazatel není ovlivňován polohou procesu. Lze jej počítat pouze v případě předpisu obou mezních hodnot.

C_{Pk} : Jedná se rovněž o ukazatel způsobilosti procesu. Přihlíží i k poloze procesu. V případě předpisu oboustranných mezních hodnot je C_{Pk} vždy nejvýše rovno C_P , tedy

platí, že $C_P \geq C_{Pk}$. Rovnost mezi oběma indexy nastává pouze u centrovaného procesu. Ukazatel C_{Pk} lze vypočítat, jako menší hodnotu z:

$$C_{Pk} = \min \left(\frac{USL - \mu}{3 \sigma_c} ; \frac{\mu - LSL}{3 \sigma_c} \right) = \min \left(\frac{USL - \mu}{3 \left(\frac{R}{d_2} \right)} ; \frac{\mu - LSL}{3 \left(\frac{R}{d_2} \right)} \right). \quad (10)$$

Ukazatele C_{Pk} a C_P by se měly vyhodnocovat a analyzovat vždy současně. Je-li hodnota ukazatele C_P větší nežli hodnota C_{Pk} signalizuje to příležitost ke zlepšení centrování procesu.

Celkové kolísání (σ_p) - P_p , P_{pk}

Zahrnuje jak kolísání uvnitř podskupin, tak i kolísání mezi podskupinami. Pro statisticky nezvládnuté procesy zahrnuje celkové kolísání procesu jak vliv zvláštních příčin na proces, tak i vliv náhodných příčin. Toto kolísání lze odhadnout výběrovou směrodatnou odchylkou s . Odhad celkového kolísání je dán výrazem:

$$\sigma_p \approx s = \sqrt{\sum_i^n \frac{(xi - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (11)$$

Kde xi značí jednotlivá měření, $\bar{x}$ je celkový aritmetický průměr ze všech individuálních měření a n je celkový počet jednotlivých měření.

P_p : Je ukazatelem výkonnosti procesu. Porovnává výkon procesu s maximálním dovoleným kolísáním, které je dáno tolerančním polem. Tento ukazatel vyjadřuje, jak dobře proces splňuje požadavek na kolísání procesu. Ukazatel P_p se zjistí pomocí vzorce:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s}. \quad (12)$$

Hodnota P_p není ovlivněna polohou procesu.

P_{pk}: Je rovněž ukazatelem výkonnosti procesu. Přihlíží i k poloze procesu. V případě předpisu oboustranných mezních hodnot je P_{pk} nejvýše rovno P_p , tedy platí, že $P_{pk} \leq P_p$. P_{pk} se vypočítá jako menší hodnota ze vztahu:

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma_p}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma_p}\right) = \min\left(\frac{USL - \mu}{3s}; \frac{\mu - LSL}{3s}\right). \quad (13)$$

Indexy P_p a P_{pk} by se měly vyhodnocovat a analyzovat současně. Větší hodnota ukazatele P_p než je hodnota ukazatele P_{pk} značí příležitost ke zlepšení centrování procesu.

Pro statisticky zvládnutý proces je hodnota způsobilosti procesu velmi blízká hodnotě jeho výkonnosti. Velký rozdíl mezi ukazateli C a P ukazuje přítomnost zvláštních příčin.

4.1.2 Indexy způsobilosti a výkonnosti pro jednostranné toleranční meze

Používají se v případě, kdy je technickými specifikacemi dána buď jen horní, nebo jen dolní mezní hodnota. Data často nemají normální rozdělení.

C_p: Pokud je předepsána pouze jedna mezní hodnota, nemá smysl. Chybějící mez lze nahradit fyzikálními vlastnostmi (za předpokladu, že má sledovaný znak fyzikální omezení).

C_{pk}: Ukazatel způsobilosti. Na rozdíl od C_p je C_{pk} ovlivňován polohou procesu. Pokud je předepsána jednostranná mezní hodnota s fyzikálním omezením, může být hodnota C_{pk} menší, rovna nebo i větší než hodnota indexu C_p . Ukazatel C_{pk} lze vyjádřit následujícím vztahem a je roven buď vazbě s LSL , nebo s USL dle toho, která z mezních hodnot je předepsána:

$$C_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)} \quad (14)$$

$$C_{PKL} = \frac{\mu - LSL}{3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)}. \quad (15)$$

P_p: Ukazatel výkonnosti. Porovnává výkon procesu a maximální možné kolísání v tolerančním poli. Pro jednostranný předpis nemá smysl. Chybějící toleranční mez však lze nahradit fyzikálními vlastnostmi (za předpokladu, že má sledovaný znak fyzikální omezení).

P_{pk}: Ukazatel výkonnosti. Je vázán k podílu neshodných jednotek, které jsou vyrobeny procesem. Ukazatel P_{pk} lze vyjádřit následujícím vztahem a je roven buď vazbě s LSL , nebo s USL dle toho, která z mezních hodnot je předepsána:

$$P_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma_p} \quad (16)$$

$$P_{pKL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_p}. \quad (17)$$

4.1.3 Další indexy

Kromě těchto nejpoužívanějších indexů, existují i mnohé další, na příklad C_{pm} :

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (18)$$

$$T = \frac{USL + LSL}{2}. \quad (19)$$

T je předepsaná hodnota parametru x a platí pro ni, že je středem tolerančního intervalu.

$$T = CL = \bar{x} \quad (20)$$

Pokud je výrobní proces centrován, je T průměr z tolerančních mezí a spojuje tak indexy způsobilosti se Shewhartovými regulačními diagramy [viz. Kapitola 4.2 „Regulační diagramy“].

4.1.4 Indexy způsobilosti pro data nepocházející z normálního rozdělení

Indexy odvozené z C_P a C_{Pk}/P_P a P_{Pk}

$$C'_P/P'_P = \frac{USL - LSL}{x_{0,99865} - x_{0,00135}} \quad (21)$$

$$C'_{Pk}/P'_{Pk} = \min\left(\frac{x_{0,5} - LSL}{x_{0,5} - x_{0,00135}} ; \frac{USL - x_{0,5}}{x_{0,99865} - x_{0,5}}\right). \quad (22)$$

Speciální indexy

$$C_{PP} = \min\left(\frac{USL - \mu}{x_{0,99865} - \mu} ; \frac{\mu - LSL}{\mu - x_{0,00135}}\right) \quad (23)$$

$$C_{PT} = \left(\frac{USL - T}{x_{0,99865} - T} ; \frac{T - LSL}{T - x_{0,00135}}\right). \quad (24)$$

Pokud máme k dispozici méně než 740 měření, jsou příslušné kvantily nahrazeny hodnotami x_{max} . a x_{min} . [9,10]

4.2 Regulační diagramy

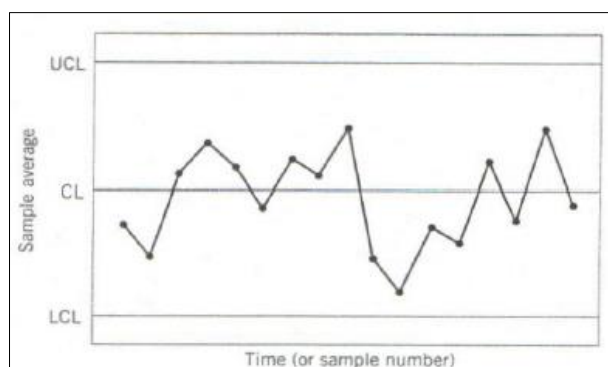
Spolu s diagramem příčin a následků, kontrolní tabulkou, histogramem, Paretovým diagramem, korelačním diagram a vývojovým diagram patří k sedmi základním nástrojům zlepšování kvality.

Regulační diagramy se používají pro stabilizaci výrobního procesu a udávají, zda se proces nachází ve zvládnutém stavu. Díky regulačním diagramům můžeme sledovat danou veličinu v průběhu času.

Pokud jsou regulační diagramy používány správně, včas upozorní na nežádoucí změny v procesu výroby. Společnost tak může včas na změny reagovat a předejít finančním ztrátám. Sledovaná veličina se buď odkloní od předepsané hodnoty, nebo vzroste variabilita.

Existují dva typy regulačních diagramů. Jedny pro kvantitativní data, druhé pro kvalitativní data. Proces obvykle sám určuje, který typ regulačního diagramu je vhodné použít. Jestliže data z procesu mají diskrétní charakter (např. hodnocení typu: vyhovuje/nevyhovuje nebo shodný /neshodný), pak se mají použít regulační diagramy pro *kvalitativní znaky* (regulační diagramy při kontrole srovnáváním). Jestliže data mají spojitý charakter (např. průměr či délka), pak je třeba použít regulační diagramy pro *kvantitativní data* (regulační diagramy při kontrole měřením).

V praxi jsou nejpoužívanější Shewhartovy regulační diagramy (viz. *Obrázek 2*).



Obrázek 2: Shewhartův regulační diagram dle [9].

UCL,LCL (Upper Control Line a Lower Control Line)

Schopnost určit hodnoty vně regulačních mezí, které signalizují výskyt zvláštních příčin, je dána regulačním diagramům zakreslením regulačních mezí vypočtených pomocí rozdělní výběrové charakteristiky. Tyto meze určují interval, ve kterém se s velkou pravděpodobností nacházejí charakteristiky znaku jakosti, pokud je proces ve zvládnutém stavu

CL (Central Line)

K určení nenáhodných seskupení, která signalizují přítomnost zvláštní příčiny, vyžaduje regulační diagram zakreslení centrální přímky založené na rozdělení výběrové charakteristiky.

Výpočet regulačních mezí pro jednu řadu dat [5,9]

Centrální linie:

$$CL_X = \bar{x} = \frac{1}{m^*} \sum x. \quad (25)$$

Horní a dolní mez:

$$UCL_X, LCL_X = CL_X \pm 3 \frac{R}{d_2}. \quad (26)$$

Průměrné rozpětí:

$$\bar{R} = \frac{1}{m^*-1} \sum R_{ik} \quad (27)$$

$$R_{ik} = |x_{i+1} - x_i|. \quad (28)$$

5. Síla [N]

Síla je vektorová fyzikální veličina a projevuje se vždy při vzájemném působení těles. Je určena velikostí, směrem a působištěm. Její charakter je jak pohybový (dynamický), tak deformační (statický). Silou přemísťujeme předměty, manipulujeme s nástroji, měníme tvar těles, uvádíme tělesa do pohybu, nebo je naopak uvádíme do klidu. Síla musí splňovat tři podmínky: musí mít původce, cíl a partnerskou sílu. [11]

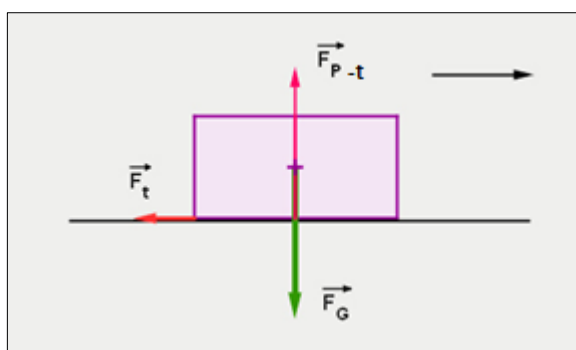
5.1 Newtonovy pohybové zákony

Celkem tři pohybové zákony byly zformulovány Issacem Newtonem, anglickým matematikem a fyzikem, v knize „*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*“ (1687). Tyto pohybové zákony tvoří základ mechaniky a dynamiky a zkoumají vztah mezi pohybem tělesa a silami, které na něj působí. [11]

1. Newtonův zákon – Zákon setrvačnosti

„Každé těleso setrvává v relativním klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno silovým působením jiných těles tento stav změnit.“ [11]

Uvedeme-li těleso do pohybu postrčením, vypadá působení sil poté, co se již tělesa nedotýkáme, dle *Obrázku 3*:



Obrázek 3: Setrvačnost pohybu tělesa dle [12].

V tuto chvíli na těleso působí pouze třecí síla F_t (F_{P-t} a F_G se vzájemně vyruší). Důvodem, proč těleso zůstává v pohybu, je setrvačnost. Čím nižší bude tření, tím dál se

těleso posune. Tímto nám Newtonův zákon říká, že síla není příčinou pohybu. Pohyb však musí být přímočarý a rovnoměrný (nedochází ke změně rychlosti ani směru). [12]

Tíhová síla F_G [11]

Jestliže se těleso o hmotnosti m dotýká podložky plochou S , působí kolmo k podložce tlakovou silou. Tato síla má deformační účinky. Deformace může být buď trvalá, nebo vratná – záleží na vlastnostech materiálu a na velikosti síly. Síla, kterou těleso tlačí na podložku, je většinou rovna tíze tělesa – gravitační síle. Její velikost lze vypočítat vztahem:

$$F_G = mg. \quad (29)$$

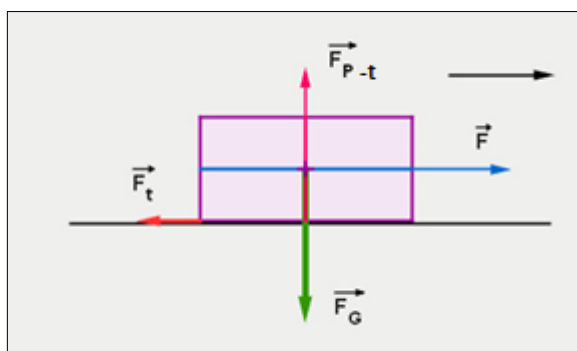
Tlak pak vyjádříme vztahem:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (30)$$

2. Newtonův zákon – Zákon síly

„Velikost zrychlení a , které uděluje síla F tělesu o hmotnosti m , je přímo úměrná velikosti této síly a nepřímo úměrná hmotnosti tělesa.“ [11]

Uvedeme-li těleso do pohybu a stále se jej dotýkáme, vypadají působící síly dle *Obrázku 4*:



Obrázek 4: Zákon síly dle [13].

Síla podložky a tíhová síla se opět vzájemně vyruší a $F_t < F$, výslednice je tedy nenulová. Čím větší silou na těleso působíme, tím dál a rychleji se posune. Pohyb už není rovnoměrný, ale dochází ke zrychlení, které je vyjádřeno vztahem:

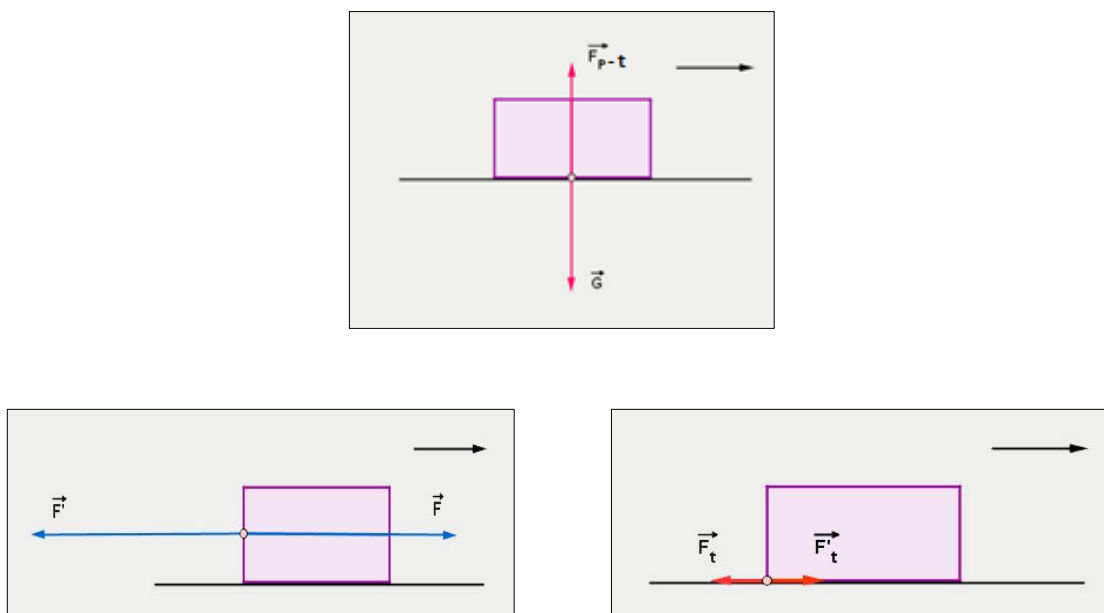
$$a = \frac{F}{m} \quad F = ma. \quad (31)$$

Rozhodující je tedy kromě síly [F], také hmotnost [m] tělesa – čím je těleso těžší, tím větší sílu bude třeba vynaložit.

3. Newtonův zákon – Zákon akce a reakce

„Síly, kterými na sebe vzájemně působí dvě tělesa, jsou stejně velké, navzájem opačného směru, současně vznikají a zanikají.“ Jinak: „Každá akce vyvolává stejně velkou reakci opačného směru.“ [11]

Znázornění vzájemného působení sil na *Obrázku 5*:



Obrázek 5: Vzájemné působení sil [14].

F_{p-t} , G – síla, kterou působí podložka na těleso vs. tíhová síla

F' , F – síla, kterou působí těleso na prst vs. síla, kterou působí prst na těleso

F_t , F'_t – třecí síla, kterou působí podložka na krabičku vs. třecí síla krabičky, která působí na podložku

Matematická formulace zákona, je vyjádřena rovnicí: [14]

$$F_{12} = -F_{21}, \quad (32)$$

5.2 Síly brzdící pohyb tělesa

Smykové tření

Vzniká tehdy, pohybuje-li se těleso po povrchu jiného tělesa. Odporová síla, která přitom na těleso působí a „brzdí“ jeho pohyb, se nazývá třecí síla [F_t]. Její působíště je na stykové ploše těles a má opačný směr než rychlost tělesa.

Hlavní příčinou vzniku třecí síly jsou nerovnosti na stykových plochách těles a přitažlivé síly mezi částicemi povrchových vrstev těles.

Třecí síla F_t je přímo úměrná tlakové síle F_G , kterou působí těleso kolmo na podložku, tedy:

$$F_t = f F_G, \quad (33)$$

kde f je součinitel smykového tření. Jeho hodnota je různá pro různé typy povrchů a je menší než 1. Poněvadž je součinitel smykového tření vyjádřen poměrem dvou veličin stejného druhu (síly), jde o tzv. bezrozměrovou veličinu, která má jednotku 1. Klidová třecí síla je za jinak stejných podmínek větší než třecí síla při pohybu. [11, 15]

Valivový odpor

Pokud se valí těleso o kruhovém průřezu po pevné podložce, mluvíme o valivovém odporu. Příčinou valivového odporu je stlačování a deformace podložky před valícím se tělesem (někdy i deformace valeného tělesa), které vznikají působením kolmé tlakové síly F_G valeného tělesa. Touto silou je těleso do určité míry vtlačováno do povrchu podložky. Deformace podložky je většinou tak malá, že ji nepozorujeme. V každém případě však vyvolává odporovou sílu F_o , která působí proti směru pohybu tělesa, čímž jeho pohyb brzdí.

$$F_o = \xi \frac{F_G}{R}. \quad (34)$$

Kde je F_G tlaková síla, R poloměr tělesa a součinitel ξ rameno valivého odporu [m]. Hodnoty součinitele jsou různé pro různé typy povrchů. [11, 15]

6. Vývoj projektu SK253 od počátků až po současnost

6.1 Chod společnosti

V předseriové fázi byla aplikována metoda APQP, jejíž teoretický postup byl popsán v kapitole 2 „*Advanced Product Quality Planning (APQP) / Moderní plánování kvality*“. Pokud se ale jedná o velký projekt jako je tomu v případě SK253, nelze realizovat všechny kroky této metody na jednom místě. Zadavatel projektu si vybere výrobní i nevýrobní podniky, které spolu v průběhu projektu spolupracují.

Projekt SK253 byl vypracován v Dietzenbachu a do Inteva products se dostal až ve 3. fázi (*Návrh a vývoj procesu*). Inteva je nevýrobním podnikem – všechny součástky jsou do Intevy dodávány výrobními podniky a úkolem Intevy je vše sestavit ve finální produkt, který bude splňovat požadavky a specifikace zákazníka.

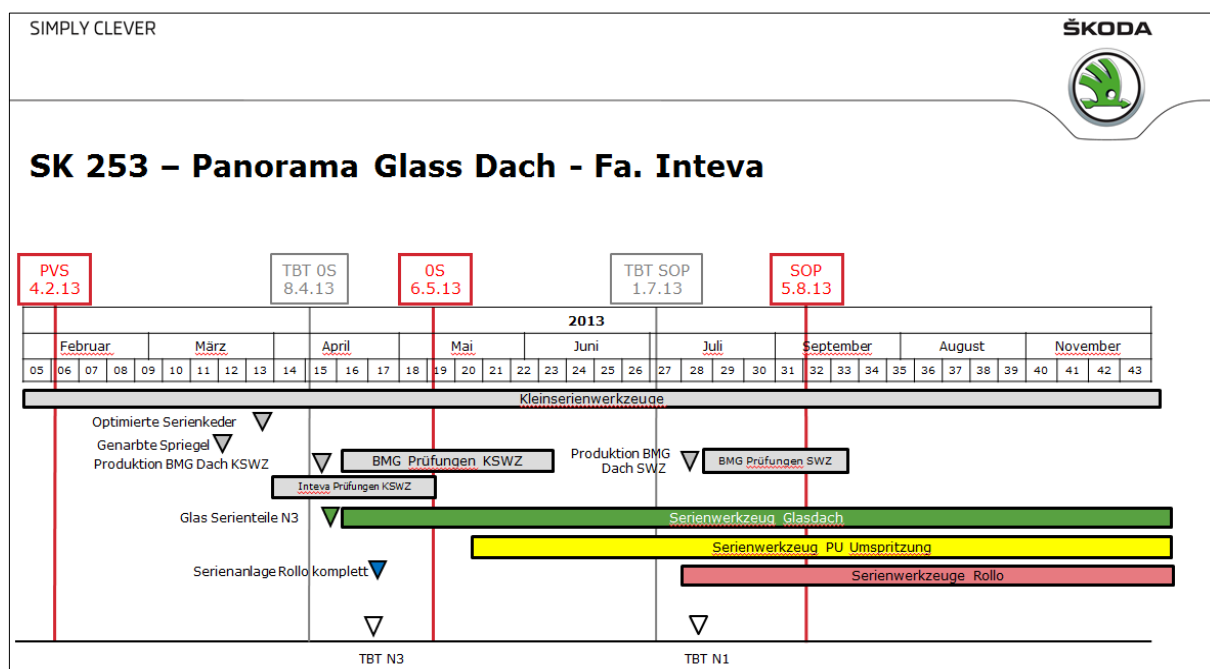
Jednotlivé součástky, které jsou do Intevy dodávány výrobními podniky, musejí splňovat veškerá kritéria, stanovená zákazníkem (rozměry, hmotnost, balení atd.). Kontrolu těchto dodaných dílů má na starosti vstupní kontrola s dodavatelskou kvalitou. V případě, že kontrola odhalí nedostatky, je dodavatel neprodleně informován a kusy jsou vyřazeny z výroby. Součástky, které jsou v souladu s požadavky, pokračují do výroby.

Ve výrobě je celý produkt sestaven a otestován. Testy samozřejmě probíhají i během sériové výroby, ale během předserie (APQP) probíhají přípravy na projekt a testování mnohem intenzivněji. Úkolem je zajistit stabilizovaný proces, aby během sériové výroby nedocházelo k výrobě zmetků. Na vše dohlíží pracovníci procesní kvality.

Když je produkt vyroben a otestován, odchází k zákazníkovi. Komunikaci s ním a řešení případných reklamací zajišťuje zákaznická kvalita. Všichni členové projektu, musejí být neustále v kontaktu a informovat se o jednotlivých změnách, které v průběhu projektu nastávají poměrně často.

Pro zvládnutí projektu je nezbytná jak komunikace mimo podnik (zákazníci, dodavatelé), tak i uvnitř podniku. Pro oddělení kvality je důležité mít oporu zejména v technologickém oddělení a dalších úsecích firmy.

6.2 Jednotlivé fáze projektu



Obrázek 6: Fáze APQP na projektu SK253.

Každá fáze projektu (viz. Obrázek 6) je naplánována na určité období, ve kterém se musí splnit zákazníkem stanovené požadavky. Po uplynutí této doby se provádí kontrola, zda bylo vše zvládnuto podle plánu. Pokud některé body nebyly splněny, záleží na jejich důležitost pro vstup do další fáze. Pokud jsou nezbytné, dochází ke zdržení celého projektu a čeká se na nápravu. Pokud ale jejich nezvládnutí nebrání dalšímu pokračování, je se zákazníkem domluven nový termín pro ověření a projekt pokračuje dál.

V předseriové fázi byl výrobní objem velmi malý (desítky rolet měsíčně). Každý kus byl otestován a zkoumán. Jakmile byly odhaleny nedostatky, byla se zákazníkem neprodleně konzultována náprava. V průběhu celé předserie bylo provedeno okolo čtyřiceti úprav, než dostala roleta svou finální podobu. Například v případě odhalení hluku v kazetě rolety se volný prostor vyplnil plstí a hluky byly odstraněny. Úpravou

prošly také koncové dorazy a unášče, kdy se postupně modifikoval jejich tvar a materiál. Unášče musejí být odolné vůči otěru a měly by se hladce posouvat v liště. Vývoj se nevyhnul ani madlu rolety, které bylo původně z hladkého, poměrně kluzkého materiálu. Ten byl později nahrazen materiálem s drobnými zrnky pro lepší úchop a snadnější manipulaci.

Jak je patrné z *Obrázku 6*, předsériová výroba pro SK253 skončila 5.8.2013 (**start of production**), tímto dnem projekt vstoupil do sériové výroby. Objem produkce se několikanásobně zvětšil (v současné době se vyrábí stovky rolet týdně). Nedá se ale říci, že by tímto datem skončily veškeré úpravy na roletách. Jejich používáním se odhalují další a další nedostatky, které musejí být řešeny.

V ideálním případě, by měly být všechny nedostatky vyřešeny v předsériové výrobě a sériová výroba by měla probíhat bez větších zásahů a změn. Bohužel tomu tak v praxi většinou není a i zásadní problémy se odhalí až s prvním používáním produktu. Stejně tak tomu bylo i na projektu SK253. Během předsérie byly splněny všechny požadavky zákazníka dle specifikace a přesto nastal s roletami problém během jízdy, kdy se vlivem otřesů samovolně zatahují. V současné době se stále pracuje na nápravě tohoto problému.

7. VÝROBNÍ POSTUP

7.1 Proces vzorkování

Proces vzorkování se provádí před zahájením výroby. Získaná data slouží ke stanovení správného nastavení strojů, které je klíčové pro zajištění maximální kvality produktu.

Proces vzorkování v Inteva Products: Jsou vybrány vzorové kusy textilie (většinou 4 ze 140), roleta projde celým výrobním procesem a na závěr je otestována. Třemi hlavními charakteristikami, které se testují, jsou průvės (měl by být max. 6mm), barva a potřebná síla pro manipulaci – otevření/zavření. Pokud rolety splňují stanovené požadavky, může být výroba zahájena. Vyskytnou-li se však odchylky, je třeba stroje přenastavit. Ve většině takovýchto případů stačí upravit šíři rolety - ta ovlivňuje jak průvės, tak sílu.

7.2 Čištění pružin

Nejprve je třeba pružiny (viz. *Obrázek 7*) odmastit a odstranit z nich veškeré nečistoty, které se na pružiny dostaly během manipulace. Pro tyto účely se používá tekutina D-SOL, která pružinky odmastí a na závěr jsou dočištěny papírovými ubrousky. Pro ujištění, že je pružina dostatečně odmaštěna, je proveden test povrchového napětí pomocí testovacího inkoustu (pokud se inkoust slije do drobných kapiček, je pružina odmaštěna špatně).



Obrázek 7: Pružiny rolety.

7.3 Lepicí robot

Textilie rolety je rozprostřena na stole, podél pravého a levého okraje se rozvinou pružiny a vše je vloženo do lepicího robota. Robot automaticky očistí pružiny plasmou, začne je zahřívat na požadovanou teplotu, nanese lepidlo (schne během 5/6s), přitlačí látku na pružinu pomocí rolerů a když je vše hotovo, látka s přilepenými pružinami vyjede ven.

7.4 Humidor

Pro rychlé vytvrzení lepidla se používá Humidor, který je nastaven na požadovanou teplotu a vlhkost. Za běžných podmínek by vytvrzení trvalo týden, díky Humidoru stačí 8 hodin.

7.5 Ořez a čištění rolety

Tento proces je velmi důležitý pro zachování požadované manipulační síly. Kdyby nebyly otřepy textilie dostatečně odstraněny, docházelo by k drhnutí během manipulace. Dalším faktorem, který by mohl ovlivňovat manipulační sílu je přetok lepidla. Roleta musí být pečlivě vizuálně zkontrolována a očištěna.

7.6 Děrování pružiny

Po očištění jsou pružiny proděrovány. Tyto otvory slouží pro uchycení rolety v kazetě.

7.7 Přivaření kedru (polyvinylchloridového těsnění) a temperovací komora

V současné době se těsnění před navařením dává do temperovací komory, kde se zahřeje až na teplotu 120°C a dojde k odparu vody. Kdyby tak nebylo učiněno, v oblastech s vyšší teplotou by se voda začala odpařovat samovolně, těsnění by se zkrátilo a došlo by ke zvlnění textilie rolety přímo v automobilu.

7.8 Šroubování bočnic

Roleta už získává finální podobu. Vloží se do kazety, proděrované konce pružiny se nasadí do bočnic a vše se sešroubuje dohromady.

7.9 Testování

Posledním krokem je testování. Kontroluje se, zda je roleta správně vedena v bočnicích. Roleta se zasune do lišt, které simulují reálnou střechu automobilu a spustí se automatický cyklus testování (viz. *Obrázek 8*). Tester provede kontrolu síly, průvěsu a barvy. Barva je velmi důležitým faktorem, protože slouží k rozeznání rolet pro jednotlivé typy automobilů. Barvy se často liší jen nepatrně a je téměř nemožné od sebe rozeznat roletu pro auto Škoda, Volkswagen, nebo Audi. Dále je také nutné provést optickou kontrolu. Na závěr je roleta zabalena a připravena na odeslání k zákazníkovi.



Obrázek 8: EOL Tester.

8. Síla na projektu SK253

8.1 Faktory ovlivňující sílu

Síla je ovlivňována už od začátku výrobního procesu a každý nedostatek ve kvalitě na ni může mít nežádoucí vliv. Během výroby provádějí zaměstnanci vizuální kontroly, během kterých hledají případné nedostatky – přetok lepidla, nedostatečně začištěné okraje textilie (otřepy na látce), nečistoty a další vady, které by mohly manipulaci znesnadnit.

Výrazný vliv na sílu má také nastavení samotných lišť, ve kterých se roleta pohybuje. Pro zajištění snadné manipulace je třeba dodržet naprostou paralelitu a rovnoměrnou výšku. I tvar a velikost unášečů (část rolety, která se pohybuje v liště) může mít na sílu zásadní vliv.

Nesmíme opomíjet ani vlastnosti textilie, i ty sílu ovlivňují. U textilií se sleduje okolo 20 vlastností, jako například elasticita, stálost barev, přetrh, ohyb, prodloužení, nehořlavost atd. Vybereme-li textilií s vhodnými vlastnostmi, bude snazší sílu udržet v tolerančních mezích.

Potřebná síla se dá regulovat i šíří rolety. U pevných textilií se šíře, v případě potřeby, upravuje v řádech desetin milimetru – není se tedy třeba obávat následných průvěsů textilie.

8.2 Hlavní problémy projektu z hlediska síly

V počátcích výroby byly klíčové dvě otázky – kam sílu v tolerančních mezích nastavit, aby ani jedna ze sil nepřekročila svou toleranční mez a jak této pozice dosáhnout. Inteva ovlivňuje velikost síly pro manipulaci pomocí úpravy šíře rolety.

9. Kam sílu nastavit - první měření a výsledky

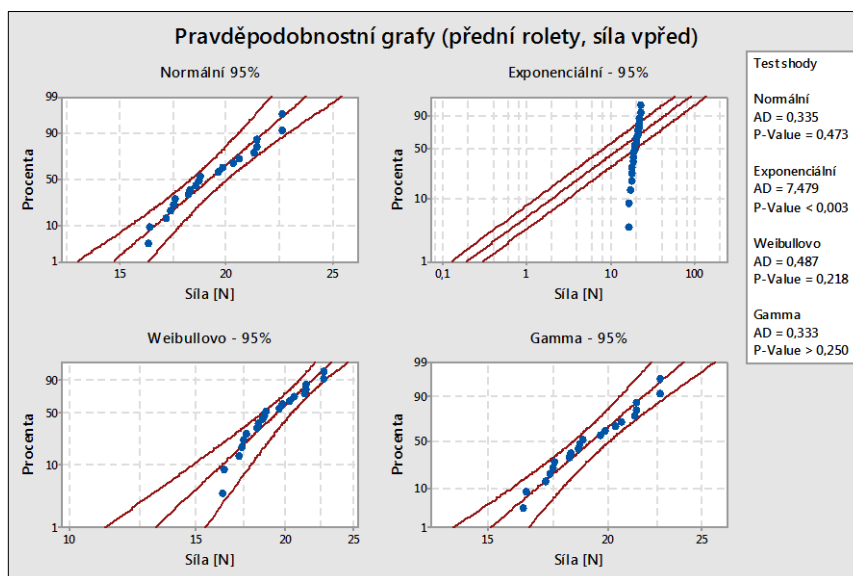
Klíčové bylo nastavit sílu rolety tak, aby nebyla překročena horní toleranční mez během otevírání (31N) ani dolní toleranční mez během zavírání (8N). Obě ze sil mají sice jen jednu toleranční mez, ale pro stanovení kam sílu směřovat lze použít 31N jako maximum a 8N jako minimum jednoho intervalu (obě síly jsou měřeny na jedné roletě a vzájemně se ovlivňují). Původní strategií bylo směřovat otevírací sílu ke středu intervalu (19,5N) a mít tak dostatek prostoru z obou stran pro případné odchylky. Bohužel hned testování prvních vyrobených kusů ukázalo, že rozdíl mezi silou vpřed a vzad je větší, než se předpokládalo. Tato metoda se tedy prokázala jako nevhodná. Výsledky měření viz. *Tabulka 1*.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty prvních vyrobených kusů.

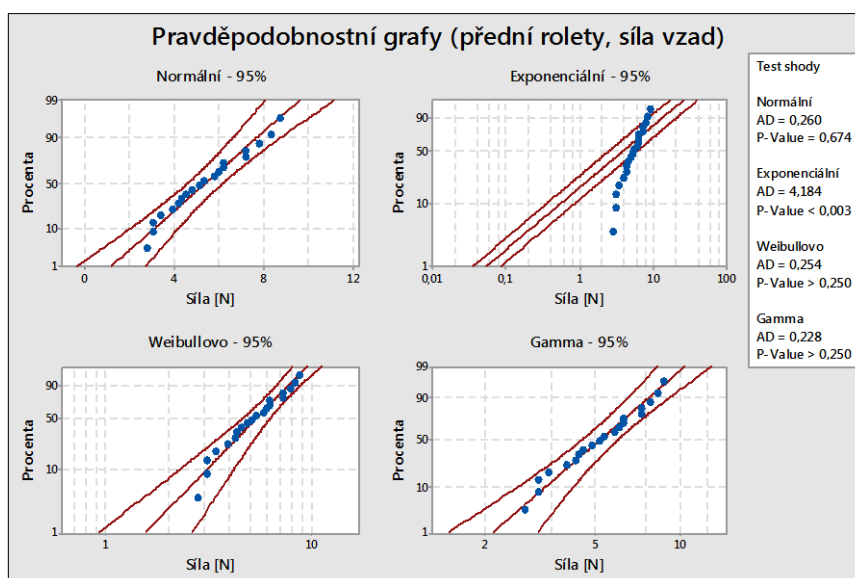
Č.	Roleta přední			
	síla vpřed [N]		síla vzad [N]	
1	18,8		4,3	
2	17,4		3,9	
3	19,6		5,8	
4	21,4		6,2	
5	20,3		6,2	
6	17,5		3,1	
7	18,3		4,2	
8	18,6		5,1	
9	22,6		8,3	
10	16,4		2,8	
11	18,2		4,8	
12	19,8		6	
13	22,6		8,7	
14	16,3		3,4	
15	21,4		7,2	
16	17,2		4,5	
17	18,7		5,3	
18	20,6		7,8	
19	21,3		7,2	
20	17,6		3,1	
Aritmetický průměr [N]	19,230		5,395	
Rozptyl [N ²]	3,867		3,073	
Směrodatná odch. [N]	1,966		1,753	
Interval spol. (95 %) [N]	18,368	20,092	4,627	6,163

9.1 Ověření normality

Před analyzováním prvních dat je třeba ověřit, z jakého jsou rozdělení. Pravděpodobnostní grafy byly vyhodnoceny programem *Minitab 17* a výsledky jsou na následujících *Obrázcích 9 a 10*.



Obrázek 9: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vpřed).



Obrázek 10: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vzad).

Obě síly jsou pravděpodobně z normálního rozdělení (hodnota P-Value je nejvyšší a překročila hodnotu 0,05). Můžeme tedy počítat se základními charakteristikami jako je aritmetický průměr či směrodatná odchylka.

9.2 Vyhodnocení výsledků tabulky

Je-li otevírací síla nastavena pomocí šíře rolety ke středu tolerančního intervalu, nedojde sice k překročení horní toleranční meze (průměrná velikost síly vpřed je 19,23N i rozptyl hodnot je poměrně malý), nicméně hodnoty zavíracích sil se dostanou hluboko pod minimální hranici 8N. Bude tedy třeba polohu sil v tolerančních mezích upravit.

Nad otevírací silou zbývá ještě dostatek prostoru, než dojde k překročení horní toleranční meze a maximální rozdíl intervalů spolehlivosti je přibližně 15,5N. Síla vpřed by tedy měla být směřována mezi 27-28N, síla vzad by se tak pohybovala okolo 11,5-12,5N a z obou stran by zůstala rezerva 3-4N pro případné odchylky.

Tento případ není klasickým příkladem centrovaného procesu, kdy se snažíme držet od tolerančních mezí v dostatečné vzdálenosti, aby nešlo k jejich překročení. Již z těchto prvních výsledků vyplývá, že se budeme muset pohybovat na hraně obou tolerančních mezí. **Bude třeba nastavit otevírací sílu k horní toleranční mezi a zajistit tak, že zavírací síla nepřekročí dolní toleranční mez.**

10. Natavení otevírací síly k horní toleranční mezi

10.1 Přední rolety

Pro úpravu otevírací síly byla přenastavena šíře rolety v lepícím robotu. Výsledky měření předních rolet jsou uvedeny v *Tabulce 2*.

Tabulka 2: Výsledky měření předních rolet.

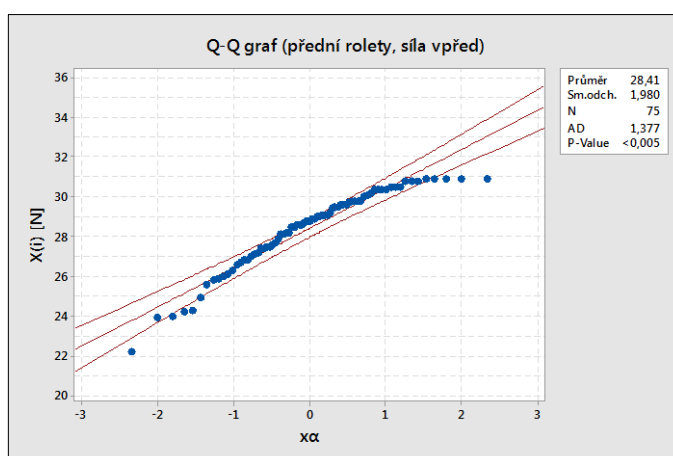
Č.	Roleta přední (kratší)		
	síla vpřed [N]	síla vzad [N]	rozdíl [N]
1	29,7	14,4	15,3
2	30,2	16,2	14,0
3	30,8	15,7	15,1
4	29,6	15,4	14,2
5	30,9	17,7	13,2
6	29,8	16,7	13,1
7	29,5	13,0	16,5
8	27,5	15,9	11,6
9	30,5	15,1	15,4
10	29,8	15,5	14,3
11	29,6	13,2	16,4
12	28,2	11,6	16,6
13	25,9	12,0	13,9
14	26,6	10,2	16,4
15	24,9	15,2	9,7
16	30,0	13,6	16,4
17	28,5	13,1	15,4
18	29,0	13,7	15,3
19	29,8	11,6	18,2
20	30,4	14,2	16,2
21	28,6	15,3	13,3
22	27,5	11,8	15,7
23	30,1	13,6	16,5
24	30,4	13,6	16,8
25	22,2	16,3	5,9
26	24,0	16,2	7,8
27	28,9	12,5	16,4
28	26,8	11,0	15,8
29	30,9	18,3	12,6
30	27,6	15,2	12,4
31	28,7	13,1	15,6

32	28,1	15,3	12,8
33	25,8	10,8	15,0
34	23,9	13,1	10,8
35	28,6	13,6	15,0
36	28,2	11,5	16,7
37	26,8	11,9	14,9
38	27,4	12,1	15,3
39	26,3	10,5	15,8
40	30,5	16,2	14,3
41	27,9	12,3	15,6
42	30,4	14,7	15,7
43	30,8	15,6	15,2
44	30,9	14,7	16,2
45	29,1	19,3	9,8
46	30,8	14,0	16,8
47	29,1	12,2	16,9
48	28,8	12,4	16,4
49	24,2	15,9	8,3
50	28,9	17,4	11,5
51	30,9	13,9	17,0
52	28,5	18,6	9,9
53	29,4	16,9	12,5
54	24,3	12,7	11,6
55	29,8	17,7	12,1
56	27,7	16,3	11,4
57	25,6	15,9	9,7
58	28,1	15,6	12,5
59	29,6	19,0	10,6
60	30,4	19,1	11,3
61	26,1	15,5	10,6
62	27,4	18,5	8,9
63	26,0	15,9	10,1
64	27,1	16,8	10,3
65	28,6	17,7	10,9
66	30,9	19,7	11,2
67	27,2	16,0	11,2
68	29,2	19,9	9,3
69	30,5	13,7	16,8
70	29,5	13,2	16,3
71	27,0	14,3	12,7
72	28,8	15,6	13,2
73	26,7	15,8	10,9
74	29,1	17,4	11,7
75	29,0	17,1	11,9

10.1.1 Ověření normality

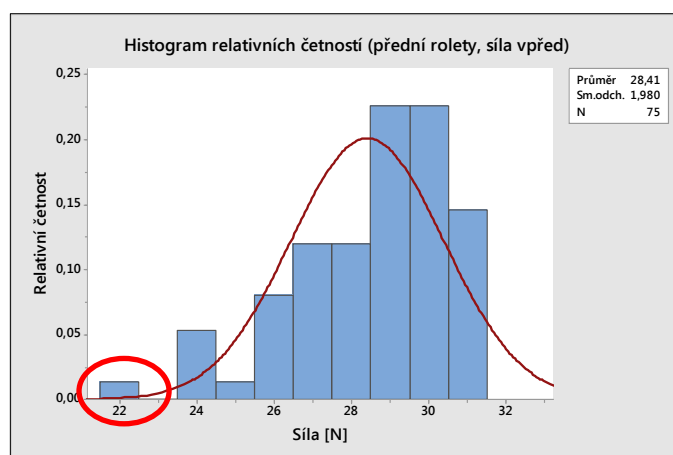
Před analyzováním dat a výpočtem indexů způsobilosti je třeba určit, zda jsou data z normálního rozdělení, či nikoliv. Pro ověření normality budou použity Q-Q grafy (Obrázek 11 a Obrázek 14), histogramy (Obrázek 12 a Obrázek 15) a P-Value.

SÍLA VPŘED



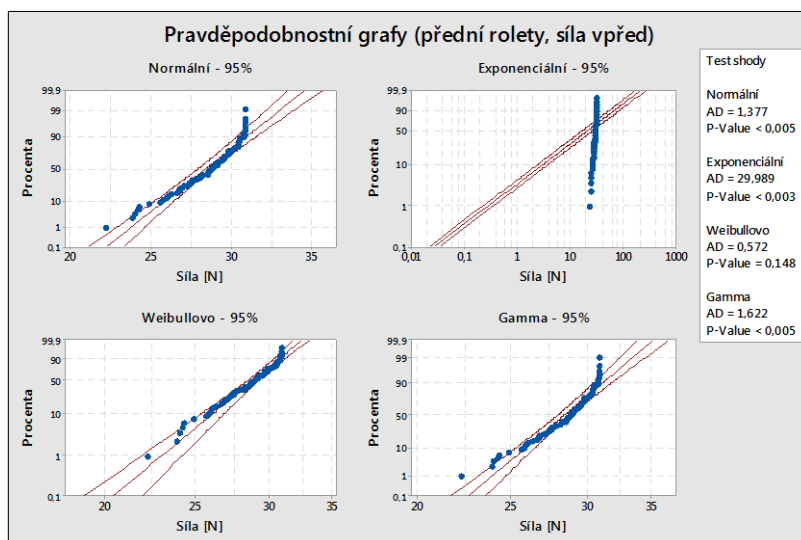
Obrázek 11: Q-Q graf pro přední rolety, síla vpřed.

Křivka je mírně prohnuta směrem nahoru, což signalizuje zešikmení dat směrem doprava. Nejedná se tedy o data z normálního rozdělení, což dokládá i hodnota P-Value, která je menší než 0,05 a následující histogram. Červeně je v histogramu vyznačena odlehlá hodnota pozorování.



Obrázek 12: Histogram relativních četností (přední roleta, síla vpřed).

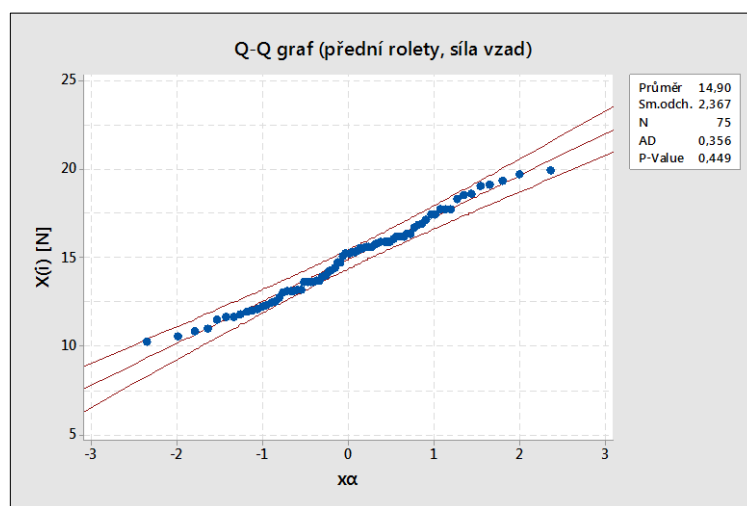
Pomocí dalších testů v programu *Minitab 17* bylo zjištěno rozdělení síly vpřed. Výsledky testů jsou uvedeny na následujícím *Obrázku 13*.



Obrázek 13: Pravděpodobnostní grafy (přední rolety, síla vpřed).

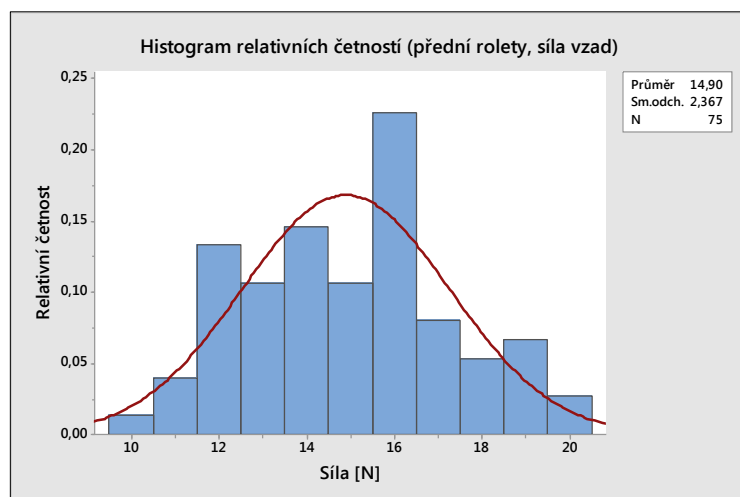
Z testu vyplývá, že síla vpřed u předních rolet je s největší pravděpodobností z Weibullova rozdělení, které má nejvyšší P-Value.

SÍLA VZAD



Obrázek 14: Q-Q graf pro přední rolety, síla vzad.

Esovitý tvar křivky značí jinou špičatost, což je patrné i z následujícího histogramu (*Obrázek 15*). P-Value je větší než 0,05 – jedná se tedy o data z normálního rozdělení.



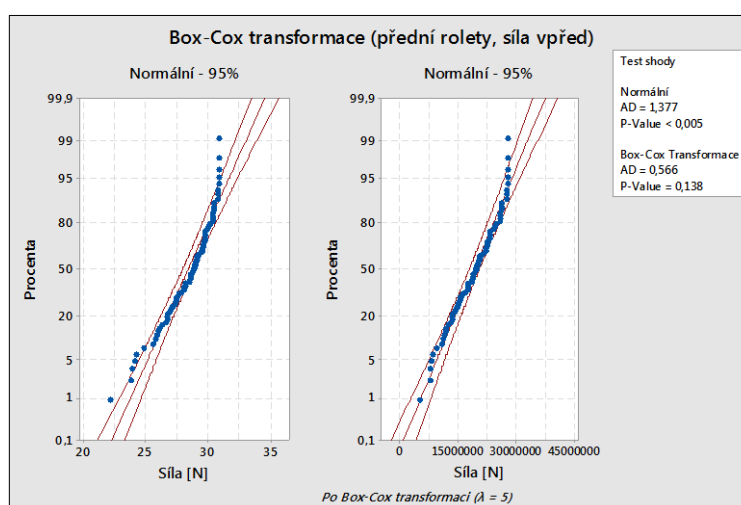
Obrázek 15: Histogram relativních četností (přední roleta, síla vzad).

Testy normality prokázaly normální rozdělení pouze u síly vzad, síla vpřed je z Weibullova rozdělení. Indexy způsobilosti lze vypočítat dvěma způsoby. Buď převedení Weibullova rozdělení na normální, nebo použít jiné index pro sílu vpřed a jiné pro sílu vzad.

10.1.2 Indexy způsobilosti

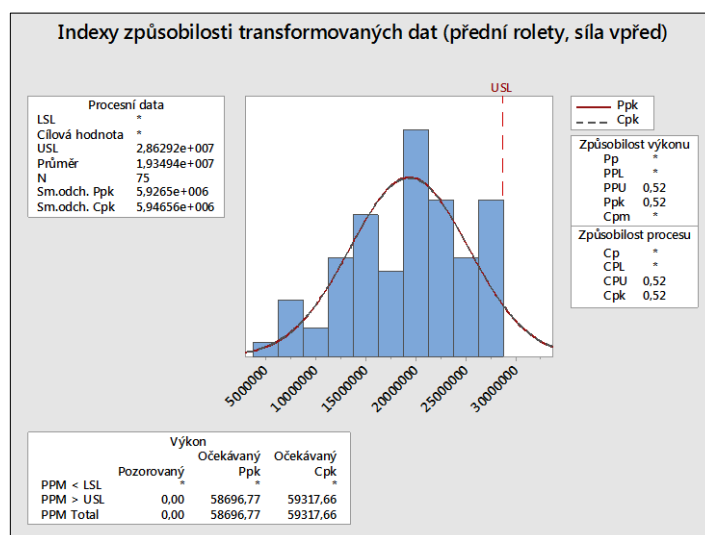
SÍLA VPŘED

Pro výpočet indexů způsobilosti bude třeba nejprve převést Weibullovo rozdělení na normální. K tomu použijí *Box-Cox Transformaci* (Obrázek 16) v programu *Minitab 17*.



Obrázek 16: Box-Cox Transformace (přední roleta, síla vpřed).

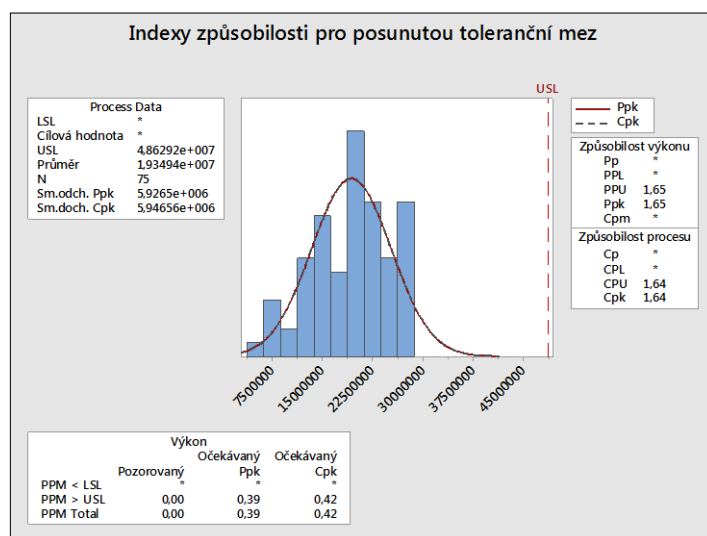
Pro transformaci dat musela být použita maximální velikost λ (5), což způsobilo velký rozdíl mezi původními a transformovanými hodnotami. Dále je třeba přepočítat horní toleranční mez, původní hodnotu 31N pro nová data nelze použít ($USL = 28\,629\,150N$). Výsledné indexy způsobilosti jsou vypočteny programem *Minitab 17* na následujícím Obrázku 17.



Obrázek 17: Indexy způsobilosti (přední rolety, síla vpřed).

Indexy P_p a C_p nemohou být v případě jednostranné tolerance vypočteny (ve vzorci jsou použity obě toleranční meze). Obvykle je mezi indexy způsobilosti výkonu (P_{PU} , P_{PK}) a způsobilosti procesu (C_{PU} , C_{PK}) rozdíl, který je dán odlišným způsobem výpočtu směrodatné odchylky. Indexy způsobilosti procesu počítají s variabilitou uvnitř podskupin, oproti tomu indexy způsobilosti výkonu počítají jak s variabilitou uvnitř podskupin, tak s variabilitou mezi podskupinami. V tomto případě je ale pouze jedna skupina dat, proto není mezi indexy způsobilosti procesu a výkonu téměř žádný rozdíl.

Ani jeden z indexů nepřekročil hodnotu 1,33, proto nemůžeme hovořit o způsobilém procesu. I hodnota *PPM* (*Parts Per Milion*), která ukazuje odhadované množství vadných kusů na milion vyrobených, se u očekávaného výkonu nerovná požadované nule. Tato nezpůsobilost procesu je dána poměrně velkou variabilitou naměřených dat a především těsnou blízkostí k USL. Bohužel ze strany Intevy nemůže dojít k posutí sil směrem dolů, byla by tak ohrožena síla vzad, která by mohla klesnout pod 8N. Jedinou možností by byla změna specifikace ze strany zákazníka např. z 31N na 34,5N. Tato situace je ukázána na následujícím Obrázku 18.

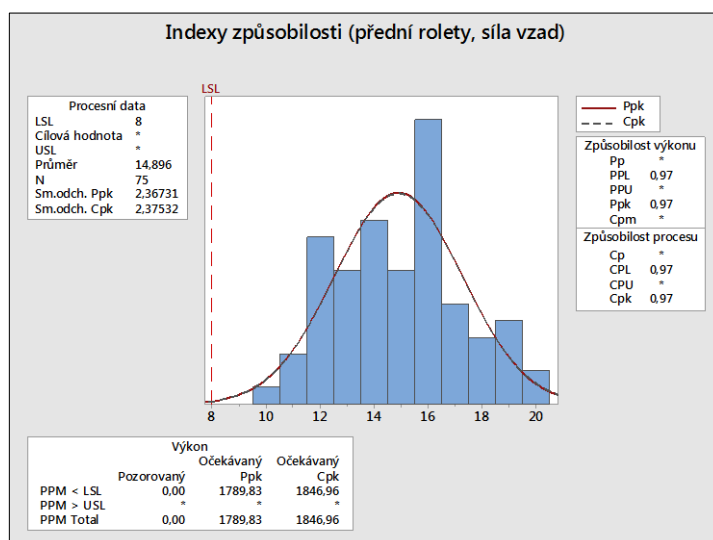


Obrázek 18: Indexy způsobilosti pro posunutou toleranční mez.

Indexy způsobilosti by překročily požadovanou hodnotu 1,33 a proces by mohl být pokládán za způsobilý.

SÍLA VZAD

Data síly vzad jsou z normálního rozdělení, proto není třeba transformace. Indexy způsobilosti jsou vypočteny na následujícím Obrázku 19.



Obrázek 19: Indexy způsobilosti (přední rolety, síla vzad).

Ani tentokrát nemohly být vypočteny indexy P_P a C_P . Indexy jednostranné tolerance P_{PL} a C_{PL} nepřekročily 1,33 – ani v tomto případě se tedy nejedná o způsobilý proces. Pro zvýšení indexů je třeba přijmout nápravná opatření pro snížení variability procesu, popřípadě požádat zákazníka o změnu specifikace a posunutí toleranční meze směrem dolu.

10.2 Zadní rolety

I u zadních rolet byla otevírací síla směřována k horní toleranční mezi. Výsledky měření zadních rolet jsou v *Tabulce 3*.

Tabulka 3: Výsledky měření zadních rolet.

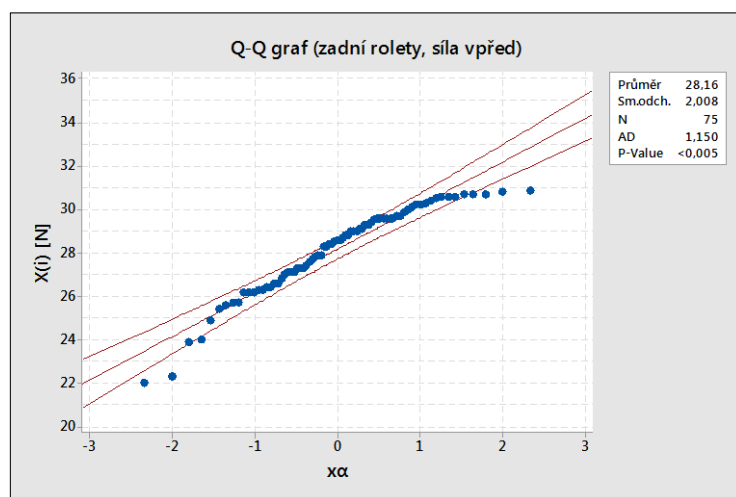
Č.	Roleta zadní (delší)		
	síla vpřed [N]	síla vzad [N]	rozdíl [N]
1	30,5	19,0	11,5
2	27,9	15,5	12,4
3	30,2	20,4	9,8
4	26,6	13,7	12,9
5	30,8	16,2	14,6
6	30,3	19,9	10,4
7	29,6	18,7	10,9
8	30,7	18,2	12,5
9	28,7	12,3	16,4
10	30,1	15,7	14,4
11	26,4	14,7	11,7
12	28,3	14,3	14,0
13	30,6	17,4	13,2
14	29,5	15,4	14,1
15	27,0	15,1	11,9
16	29,9	17,3	12,6
17	27,3	14,8	12,5
18	28,6	12,9	15,7
19	30,4	15,7	14,7
20	29,0	13,1	15,9
21	26,3	16,5	9,8
22	30,7	14,8	15,9
23	30,0	16,7	13,3
24	22,0	14,6	7,4
25	26,2	16,7	9,5
26	27,3	13,1	14,2
27	29,0	15,1	13,9
28	24,0	13,7	10,3
29	26,3	16,9	9,4
30	29,6	14,7	14,9
31	27,1	17,4	9,7
32	22,3	12,0	10,3
33	25,7	11,5	14,2
34	27,8	13,3	14,5

35	25,6	10,3	15,3
36	26,2	10,9	15,3
37	25,7	13,4	12,3
38	23,9	10,1	13,8
39	30,7	14,5	16,2
40	26,8	11,9	14,9
41	28,4	13,6	14,8
42	26,4	11,9	14,5
43	30,6	14,1	16,5
44	29,6	14,4	15,2
45	27,6	16,6	11,0
46	28,4	12,2	16,2
47	27,4	11,1	16,3
48	24,9	9,6	15,3
49	27,1	11,6	15,5
50	29,1	14,4	14,7
51	27,3	14,0	13,3
52	29,6	14,9	14,7
53	29,4	14,2	15,2
54	30,6	17,0	13,6
55	30,9	18,2	12,7
56	28,8	14,7	14,1
57	29,1	14,7	14,4
58	29,3	14,4	14,9
59	29,7	14,6	15,1
60	30,2	16,0	14,2
61	29,7	13,8	15,9
62	27,7	13,5	14,2
63	28,6	14,2	14,4
64	25,4	10,8	14,6
65	27,1	13,1	14,0
66	26,2	12,4	13,8
67	28,5	14,8	13,7
68	27,9	13,1	14,8
69	26,6	13,1	13,5
70	28,3	13,8	14,5
71	29,0	14,0	15,0
72	29,6	15,5	14,1
73	29,3	14,5	14,8
74	29,6	15,0	14,6
75	28,8	12,6	16,2

10.2.1 Ověření normality

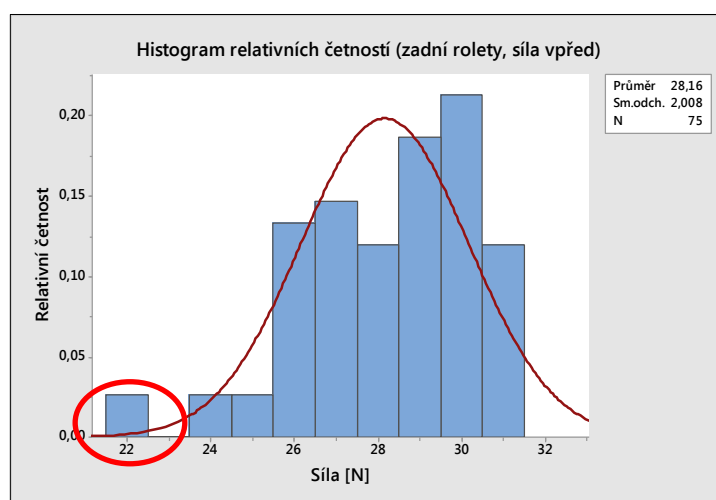
Pro ověření normality budou použity Q-Q grafy (Obrázek 20 a Obrázek 23), histogramy (Obrázek 21 a Obrázek 24) a P-Value.

SÍLA VPŘED



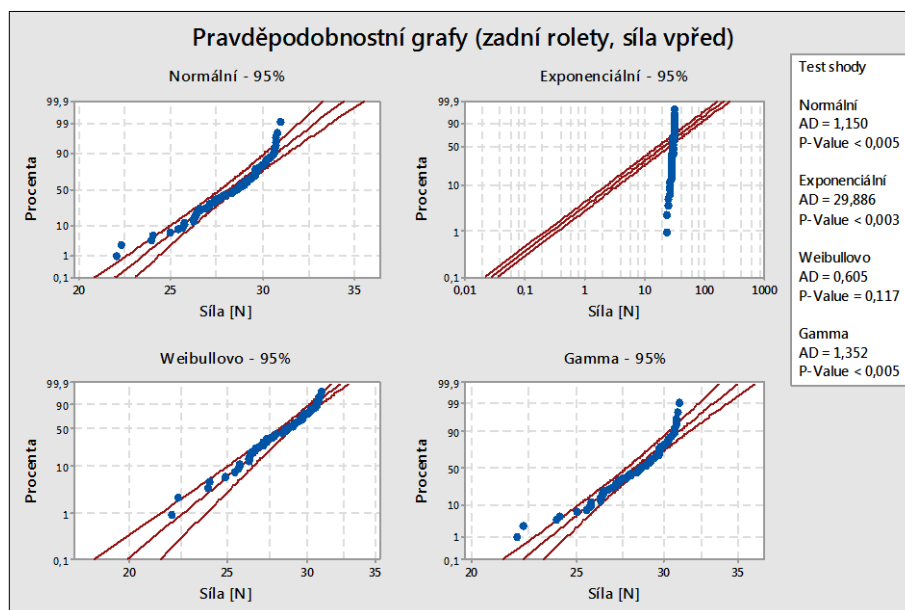
Obrázek 20: Q-Q graf pro zadní rolety, síla vpřed.

Křivka je mírně prohnuta směrem nahoru, což signalizuje zešikmení dat směrem doprava. Nejedná se tedy o data z normálního rozdělení, což dokládá i hodnota P-Value, která je menší než 0,05 a následující histogram. Červeně je v histogramu vyznačena odlehlá hodnota.



Obrázek 21: Histogram relativních četností (zadní rolety, síla vpřed).

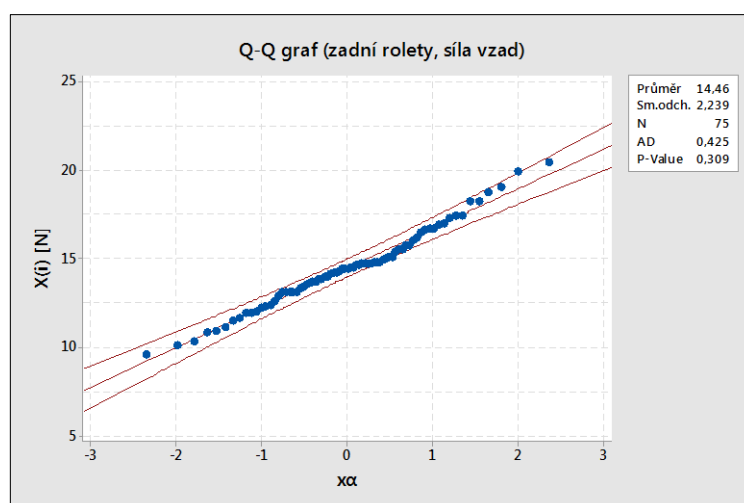
Pomocí dalších testů v programu *Minitab* 17 bylo zjištěno rozdělení síly vpřed. Výsledky testů jsou uvedeny na následujícím Obrázku 22.



Obrázek 22: Pravděpodobnostní grafy (zadní rolety, síla vpřed).

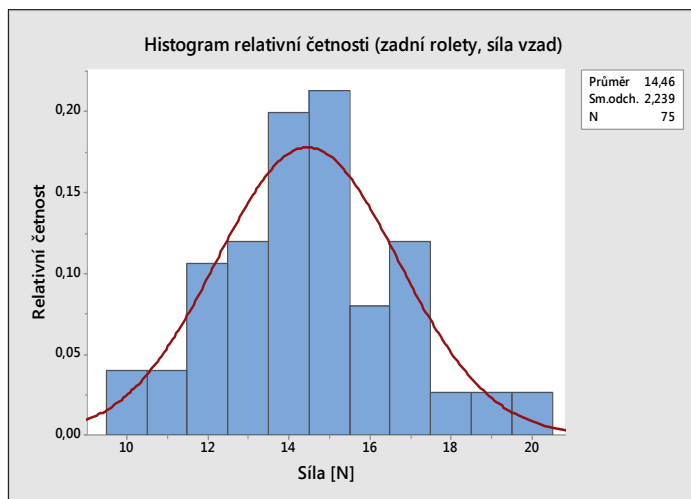
Nejvhodnějším rozdělením pro naměřená data je Weibullovo, které má nejvyšší hodnotu P-Value.

SÍLA VZAD



Obrázek 23: Q-Q graf pro zadní rolety, síla vzad.

Ani tentokrát neleží data zcela na přímce. Křivka má lehce esovitý tvar, který značí jinou špičatost. Důkazem je i následující histogram. P-Value je větší než 0,05, síla vzad je tedy z normálního rozdělení.



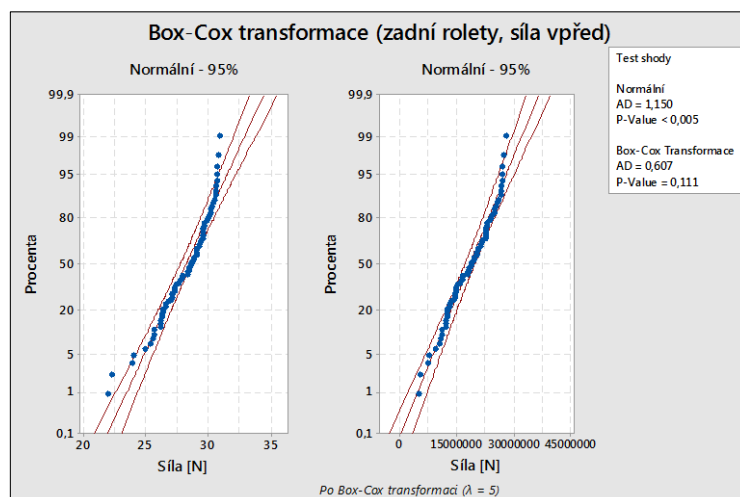
Obrázek 24: Histogram relativních četností (zadní rolety, síla vzad).

Testy normality prokázaly, že z normálního rozdělení je jen síla vzad, síla vpřed má Weibullovo rozdělení. Pro výpočet indexů způsobilosti bude třeba data předních sil transformovat na normální rozdělení.

10.2.2 Indexy způsobilosti

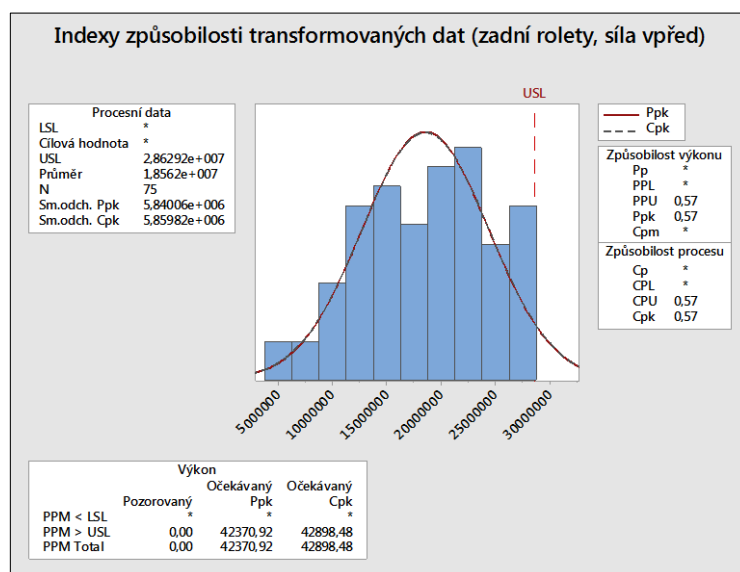
SÍLA VPŘED

Transformace Weibullova rozdělení na normální byla provedena pomocí *Box-Cox Transformace* v programu *Minitab 17* a je uvedena na následujícím Obrázku 25.



Obrázek 25: Box-Cox Transformace – zadní rolety, síla vpřed.

P-Value nových dat je větší než 0,05, jedná se tedy o data z normálního rozdělení. Po transformaci dat a horní toleranční meze mohly být vypočteny indexy způsobilosti z normálního rozdělení, které jsou uvedeny na Obrázku 26.

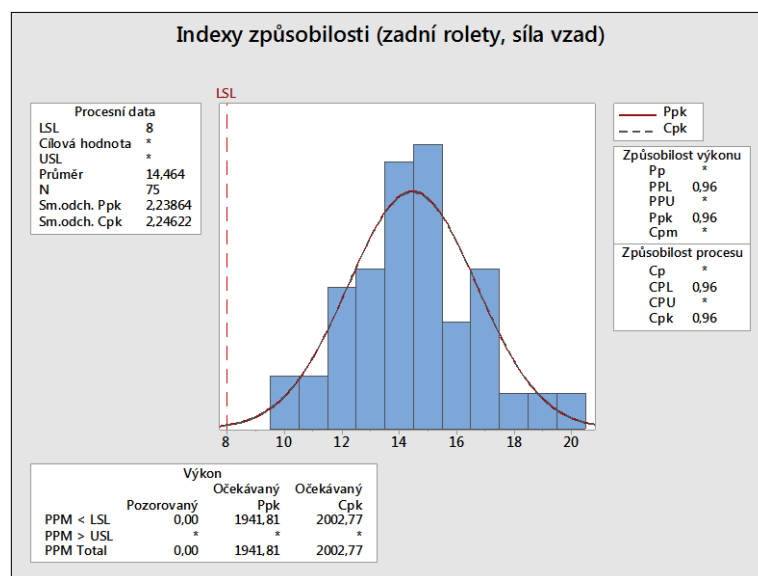


Obrázek 26: Indexy způsobilosti - zadní rolety, síla vpřed.

Indexy P_P a C_P u jednostranné tolerance nemohly být vypočteny. Rozdíl mezi indexy způsobilosti procesu a výkonu není téměř žádný, protože jsou počítány z jedné skupiny dat. Ani jeden z indexů nepřekročil 1,33, nelze proto ani u zadních rolet mluvit o způsobilém procesu. Je třeba přijmout nápravná opatření pro snížení variability procesu, popřípadě diskutovat se zákazníkem změnu specifikace a požádat o posunutí toleranční meze směrem nahoru.

SÍLA VZAD

Data pro sílu vzad nebylo třeba transformovat, protože už z normálního rozdělení jsou. Výsledky indexů způsobilosti jsou uvedeny na *Obrázku 27*.



Obrázek 27: Indexy způsobilosti - zadní rolety, síla vzad.

Ani jeden z indexů nesplnil podmínku způsobilosti procesu (nejsou větší než 1,33). Náprava této situace by byla stejná jako u předchozích sil - snížení variability procesu, popřípadě změna specifikace ze strany zákazníka.

11. Pravděpodobnost, že dojde k překročení mezí

Díky Box-Cox transformaci jsou nyní všechny síly z normálního rozdělení. Pro výpočet pravděpodobnosti, že dojde k překročení tolerančních mezí, může být použit buď následující vztah

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad (35)$$

nebo funkce „*NORMDIST*“ v *Microsoft Excel*. Pro transformovaná data bylo třeba určit novou toleranční mez, směrodatnou odchylku a rozptyl. Nové hodnoty jsou díky maximální velikosti λ velmi vysoké, proto pro výpočet pravděpodobností překročení horních tolerančních mezí použijí program.

11.1 Přední rolety

- Pravděpodobnost, že dojde k překročení horní toleranční meze dle *Microsoft Excel*:

$$x > 28\,629\,150; P(28\,629\,150 < x < \infty)$$

$$1 - 0,9413 = \underline{0,0587}$$

Pravděpodobnost, že dojde k překročení horní toleranční meze dle nových dat po transformaci je **5,87%**.

- Pravděpodobnost, že dojde k překročení dolní toleranční meze:

$$N(14,896; 5,604)$$

$$X < 8; P(-\infty < x < 8)$$

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{8 - 14,896}{2,367} = -\frac{6,896}{2,367} = -2,91 \quad \text{dle tabulek} = 0,9982 [16]$$

$$1 - 0,9982 = \underline{\underline{0,0018}}$$

Pravděpodobnost, že dojde k překročení dolní toleranční meze je **0,18%**.

11.2 Zadní rolety

- Pravděpodobnost, že dojde k překročení horní toleranční meze dle *Microsoft Excel*:

$$x > 28\,629\,150; P(28\,629\,150 < x < \infty)$$

$$1 - 0,9576 = 0,0424$$

Pravděpodobnost, že dojde k překročení horní toleranční meze dle nových dat po transformaci je **4,24%**.

- Pravděpodobnost, že dojde k překročení dolní toleranční meze:

$$N(14,464; 5,012)$$

$$X < 8; P(-\infty < x < 8)$$

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{8 - 14,464}{2,239} = -\frac{6,464}{2,239} = -2,887 \quad \text{dle tabulek} = 0,9981 [16]$$

$$1 - 0,9981 = \underline{\underline{0,0019}}$$

Pravděpodobnost, že dojde k překročení dolní toleranční meze je **0,19%**.

12. Dynamika rolety

12.1 Vliv rychlosti manipulace na použitou sílu

Pro určení, zda má rychlost manipulace s roletou vliv na potřebnou sílu, bude použit vztah pro zrychlení (*dle druhého Newtonova zákona*), ke kterému bude přičten vliv tření (do rovnice není započten odpor vzduchu). Výsledná rovnice vypadá takto:

$$F = ma + mgf \quad (36)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}. \quad (37)$$

Pro stanovení velikosti m je třeba znát hmotnost všech částí rolety, se kterými je během otevírání/zavírání pohybováno (viz. *Tabulka 4*). Pouze na tyto části působí síla.

Tabulka 4: Váhy hybných komponentů rolety.

Komponenty	Váha (g)
Roleta (textilie, 2x pružina, tyčka)	160,802
Madlo	237,392
Lepící hranol	0,42
Posuvník pravý	12,864
Posuvník levý	12,619
Unašeč pravý	1,913
Unašeč levý	1,872
Celková váha pohyblivé části	427,882

Zrychlení a je rovno v_2 (konečná rychlost), neboť $v_1 = 0\text{ m/s}$ a $\Delta t = 1\text{ s}$. G je gravitační zrychlení, které je na Zemi rovno $9,81\text{ m/s}^2$. Součinitel smykového tření f pro pohyb po vodorovné přímé dráze je 0,2.

Běžné rychlost testeru $v_2 = 0,05 \text{ m/s}$

$$F = ma + mgf$$

$$F = 0,428 \times 0,05 + 0,428 \times 9,81 \times 0,2$$

$$F = 0,0214 + 0,8397$$

$$\underline{F = 0,8611 \text{ [N]}}$$

Zvýšení rychlosti na $v_2 = 0,5 \text{ m/s}$

$$F = ma + mgf$$

$$F = 0,428 \times 0,5 + 0,428 \times 9,81 \times 0,2$$

$$F = 0,214 + 0,8397$$

$$\underline{F = 1,0537 \text{ [N]}}$$

Snížení rychlosti na $v_2 = 0,01 \text{ m/s}$

$$F = ma + mgf$$

$$F = 0,428 \times 0,01 + 0,428 \times 9,81 \times 0,2$$

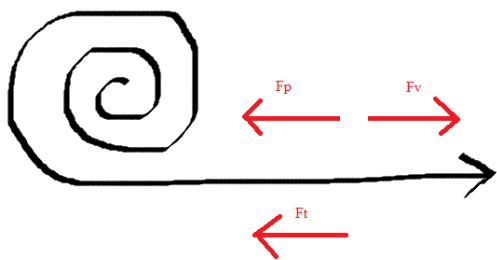
$$F = 0,00482 + 0,8397$$

$$\underline{F = 0,84452 \text{ [N]}}$$

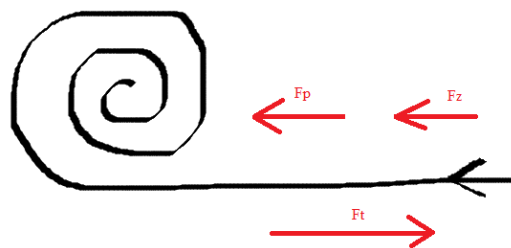
Z těchto výpočtů vyplývá, že čím větší rychlost při manipulaci použijeme, tím větší síly bude zapotřebí. Je to dáno tím, že pro větší rychlost, potřebujeme i větší energii a ta se projeví na větší celkové síle potřebné k manipulaci.

12.2 Síla potřebná pro udržení rolety na místě

Pro vypočtení minimální síly pro udržení rolety na místě budou použity známé síly - za otevírací sílu bude dosazena horní toleranční mez (31N) a za zavírací sílu dolní toleranční mez stanovenou zákazníkem (5N). Síly působící na roletu během otevírání a zavírání jsou znázorněny na *Obrázku 28* a *29*.



Obrázek 28: Působení sil při otevírání rolety.



Obrázek 29: Působení sily při zavírání rolety.

Rovnovážný stav pro otevírání rolety

Jediná otevírací síla (F_v) směřuje opačným směrem než síla pružiny (F_p) a síla tření (F_t). Rovnovážný stav proto nastává v okamžiku, kdy:

$$F_v - F_p - F_t = 0$$

$$F_v = F_p + F_t$$

Rovnovážný stav pro zavírání rolety

Jediná třecí síla (F_t) působí proti síle pružiny (F_p) a zavírací síle (F_z). Rovnovážný stav proto nastává v okamžiku, kdy:

$$F_z + F_p - F_t = 0$$

$$F_z = -F_p + F_t$$

Sílu otevření i zavření již známe. Získáme tak dvě rovnice o dvou neznámých.

$$F_v = F_p + F_t$$

$$F_z = -F_p + F_t \longrightarrow F_p = F_t - F_z$$

$$F_v = F_t - F_z + F_t$$

$$F_v = 2F_t - F_z$$

$$F_v + F_z = 2F_t$$

$$\frac{31+5}{2} = F_t$$

$$\underline{\underline{F_t = 18N}}$$

$$F_v = F_p + F_t$$

$$31 = F_p + 18$$

$$\underline{\underline{F_p = 13N}}$$

Pokud použijeme dolní toleranční mez 5N jako zavírací sílu a horní toleranční mez 31N jako otevírací sílu, nastane rovnovážný stav ve chvíli, kdy bude síla pružin 13N a třecí síla 18N.

Pro udržení rolety na místě stačí dodržení jednoduché podmínky, kdy musí být třecí síla větší, než ostatní síly působící na roletu během jízdy (síla pružin, otřesy, zrychlení vozu). Velikost otřesů je však závislá na povrchu vozovky a jen těžko se určuje. Potřebná třecí síla by se také zvyšovala s rostoucí rychlostí vozu. Tato rychlost by způsobovala tažení zadní rolety zpět do kazety, oproti tomu přední roleta by směřovala ke středu.

Ve vzorci by bylo velké množství neznámých, proto jsem pro výpočet využila zjednodušený vztah se známými veličinami (otevírací a zavírací síla) a zanedbala jsem velikost odporu vzduchu, zrychlení a vlastnosti povrchu, po kterém se vozidlo pohybuje.

13. Nestabilní pozice rolet během jízdy

První testovací jízdy vozu s namontovanými roletami prokázaly, že se rolety během jízdy pohybují. Měřením bylo zjištěno, že se problém vyskytuje pouze u rolet, jejichž zavírací síla je menší než 13N. Pokud by byla minimální toleranční mez posunuta z 5N na 13N, maximum by se pohybovalo až okolo 40N. Bohužel už teď je manipulace s roletou při otevírání dost obtížná a navýšení síly na 40N by bylo pro konečného zákazníka velmi nepříjemné. Ideálním řešením by bylo posunout jen sílu vzad – obě síly jsou ale vzájemně závislé a nelze změnit jednu, aniž by nebyla změněna i druhá.

13.1 Řešení v Inteva products

Pružina v ose Z

V současné době je do rolety montována pružina, která neustále tlačí do lišty ve směru osy Z (směrem vzhůru). Nežádoucí součástí tohoto řešení je fakt, že pružina tlačí do lišty po celou dobu. Zvyšuje tak nejen zavírací sílu ale i otevírací sílu.

Čím je pružina delší, tím větší je její tuhost a tím silněji tlačí na lištu, ve které se pohybuje. Pružina je zachycena na *Obrázku 30* a *31*.



Obrázek 30: Pružina v ose Z.



Obrázek 31: Pružina v ose Z.

Největší problém nastává u plně roztažených rolet. Je to podobné, jako u vysunovacího metru – pokud je plně vytažen, stačí zavadit o jeho konec a ihned zajede zpět. Jednou z možností řešení tohoto problému je postupné zužování lišty směrem ke středu. Pokud

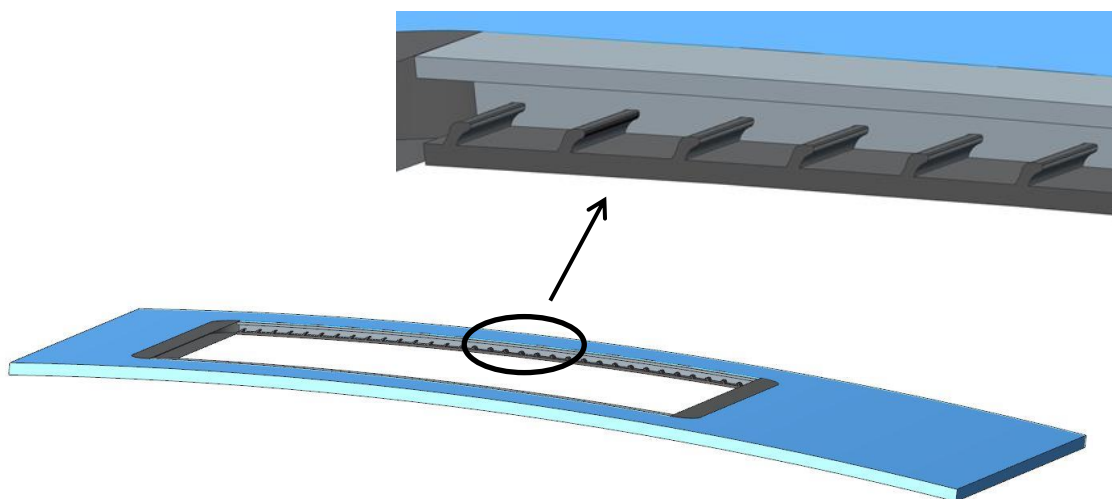
by byla lišta zúžena, pružina v ose „Z“ by tlačila nejvíce u středu, kdy je roleta plně roztažena.

13.2 Mé návrhy řešení

Nepřítomnost upínacího systému rolety vidím jako největší problém. Kdyby byla možnost roletu v jakékoliv pozici zafixovat, nebylo by třeba řešit velikost síly vzad a jedinou starostí by byla síla vpřed.

Upínací systém – hřeben

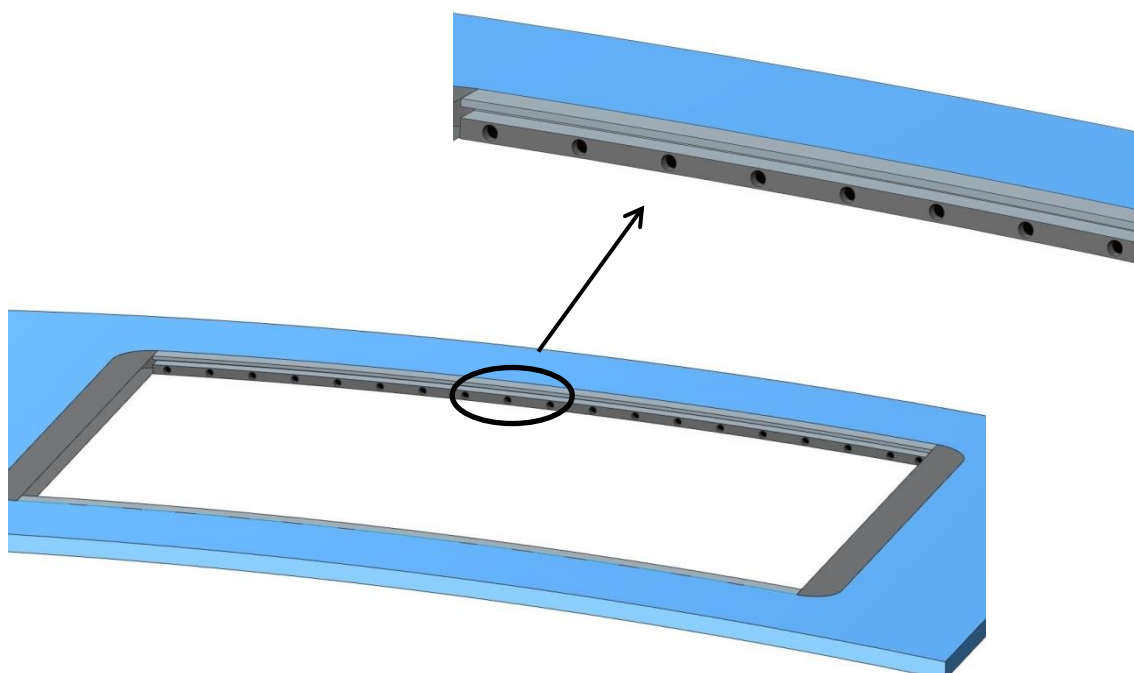
Jedním z možných řešení by bylo nahrazení lišty hřebenem (viz. *Obrázek 32*). V něm by se roleta zachytila a problém se samovolným zavíráním by byl vyřešen. Jistý nekomfort přináší to, že by nebylo možné uvést roletu do jakékoliv pozice. Tento problém se však dá eliminovat množstvím zubů hřebenu.



Obrázek 32: Detail hřebenu ve střeše.

Další možnost uchycení rolety

Další možností by mohlo být děrování v liště (viz. *Obrázek 33*), do kterého by zapadly unášče na čelu rolety. Unášče by musely být zásuvné a ovládaly by se například pomocí stisknutí tlačítka na madlu (přesné řešení by bylo na konstruktérech společnosti).



Obrázek 33: Děrování

Podobných upínacích systémů by se dalo použít nespočet. Bohužel je projekt již v sériové výrobě a takto velký zásah by byl z finančních důvodů nemožný.

14. Závěr

V rámci této práce byla stanovena optimální poloha sil v tolerančním intervalu. Po nastavení sil, byly vyhodnoceny výsledky 75 měření pro každou z nich. Bohužel indexy způsobilosti neprokázaly způsobilost procesu, což je dáno především tím, že se jak otevírací síla, tak zavírací síla pohybují při hranici tolerančního intervalu. Ani jednu ze sil nelze od toleranční meze vzdálit, došlo by tak k překročení toleranční meze druhou silou. Jediným východiskem z této situace by byla změna specifikace ze strany zákazníka. Díky odhalení problému se zavíráním rolet při jízdě není možné zavírací sílu posunout pod 13N, proto by se celý interval musel posunout a rozšířit (např. minimum pro zavírací sílu 13N, maximum pro otevírací sílu 45N). Takovéto zvýšení otevírací síly by ale mohlo mít za následek znesnadnění manipulace s roletou a mohlo by přinést další problémy. Nezbyvá tedy než obě síly držet těsně okolo tolerančních mezí a pracovat s nezpůsobilým procesem.

Dříve než stihly být odhaleny všechny nedostatky na projektu SK253, byl spuštěn další, velmi podobný projekt. Ten se v současné době potýká s podobnými problémy, jako SK253. Kdyby byla možnost větší prodlevy mezi jednotlivými projekty, nemuselo by docházet k opakování stejných chyb.

Dalším důležitým poznatkem této práce je, že i když jsou během přípravných fází splněny veškeré zákaznické požadavky na produkt, není zcela zaručena jeho funkčnost a bezporuchovost. Vždy se může vyskytnout nečekaná komplikace, na kterou je třeba reagovat.

Seznam použité literatury

- [1] *History* [online]. 2014 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z:
<http://www.intevaproducts.com/about-inteva/history>
- [2] *Locations* [online]. 2014 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z:
<http://www.intevaproducts.com/locations>
- [3] *Moderní plánování kvality produktu (APQP) a plán kontroly a řízení: referenční příručka* /. 2. vyd. 2008. ISBN 978-80-02-02142-1.
- [4] *Normální rozdělení* [online]. [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://iastat.vse.cz/Normalni.htm>
- [5] VYSKOČILOVÁ, Iveta. Cvičení z předmětu *Řízení jakosti*. 2012
- [6] *Testy normality* [online]. 2006 [cit. 2014-11-21]. Dostupné z:
http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Stati_sticke_metody/sborniky/2006/05_-_12_-_Testy_normality.pdf
- [7] TUNÁK, Maroš. *Počítačová podpora řízení jakosti a analýzy dat*. Učební text [online]. [cit. 2014-11-12]. Dostupné z:
https://blade1.ft.tul.cz/elearning/Media/File/5/132/PPJ_3P.pdf
- [8] *Weibullovo rozdělení* [online]. 2002 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z:
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/02017/index.html>
- [9] BAJZÍ, Vladimír. Přednášky z předmětu *Řízení jakosti*. 2012
- [10] *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, xii, 216 s. ISBN 80-02-01810-9.

- [11] LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy*. Praha 4: Prometheus, spol. s r. o., 2008. Učebnice pro střední školy. ISBN 978-80-7196-184-0.
- [12] *První Newtonův pohybový zákon — setrvačnost* [online]. 2010-2013 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/mechanika/prvni-newtonuv-pohybovy-zakon-setrvacnost.php>
- [13] *Druhý Newtonův pohybový zákon* [online]. 2010-2013 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/mechanika/druhy-newtonuv-pohybovy-zakon.php>
- [14] *Třetí Newtonův pohybový zákon* [online]. 2010-2013 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/mechanika/treci-sila-smykove-treni.php>
- [15] LANK, Vladimír. *Fyzika v kostce*. 3. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 2004, 120 s. ISBN 80-720-0968-0. Str. 12-15
- [16] ARLTOVÁ, Markéta. *Příklady k předmětu Statistika A*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola ekonomická, Fakulta informatiky a statistiky, 2001, 197 s. ISBN 80-245-0178-3.

Seznam příloh

Příloha A: Panoramatická střecha a rolety	78
Příloha B: Nákres střechy	79
Příloha C: Kontrolní návodka.	80
Příloha D: Kalibrační protokol pro EOL Tester.	81

Příloha A: Panoramatická střecha a rolety

Panoramatická střecha

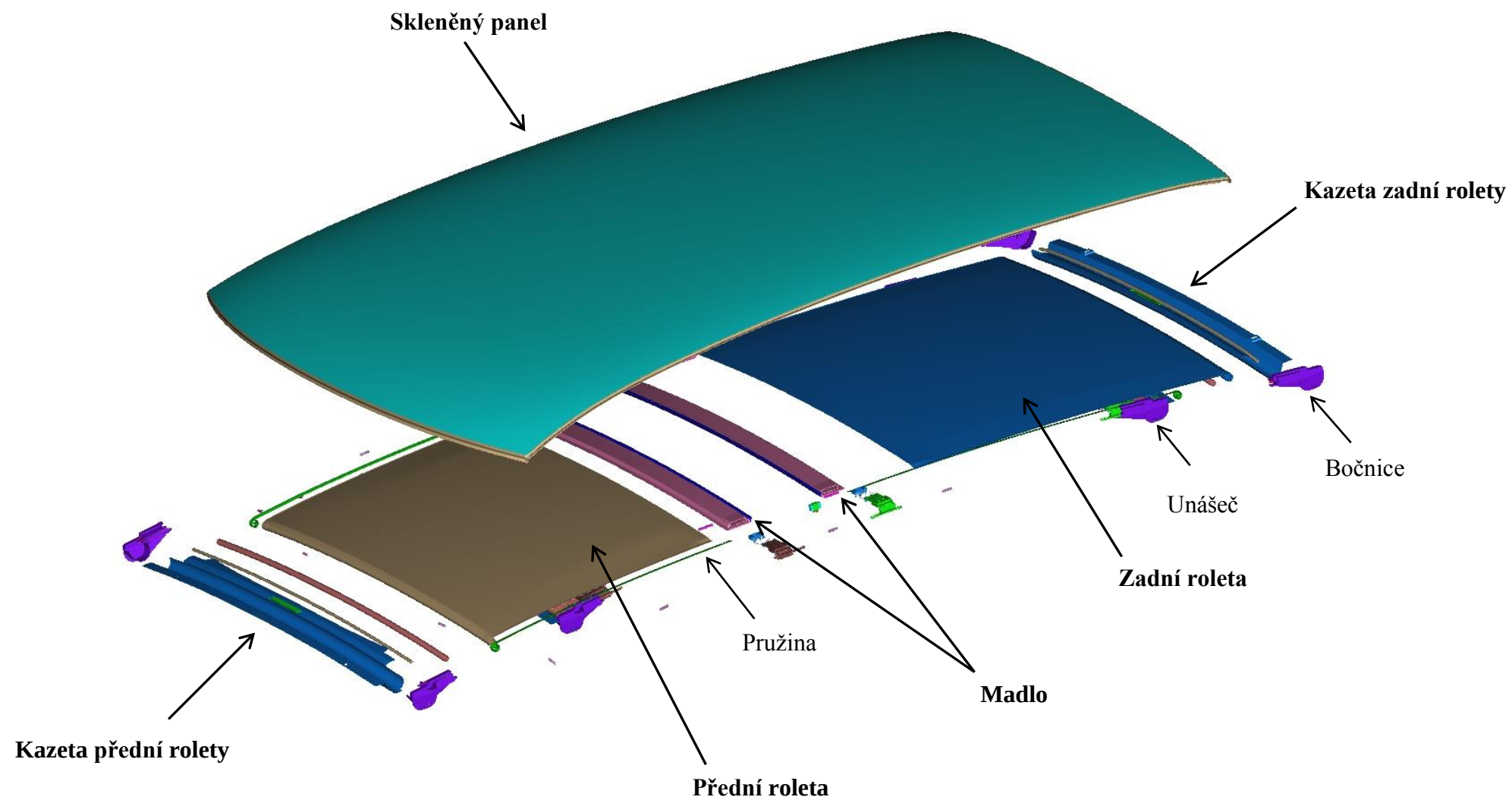


Přední roleta

Zadní roleta



Příloha B: Střešní komponenty



Příloha C: Kontrolní návodka

DATE:		SK253 ROLETY PŘEDNÍ - VYSTUPNÍ KONTROLA													
POPIS VADY	Nevyhovující provedení zataveného spoje	Odloupená textilie v místě svařovaného spoje	Poškození textilie v místě svařovaného spoje	Přilomenost šňůrky pod textilií	Přilomenost dorazu a pružiny na obou bočnicích	Poloha a povrchové vady EPDM těsnění	Záměna přední/zadní bočnice	Poškození listů s madlem, vizuální vady povrchu	Zvinění textilie	Hluky pružina	Hluky textilie	Vyskakování vnitřní trubky	Znečištěná textilie	max. síla na zavření rolety	max. síla na otevírání rolety
č. / GS / KONTROLA	VIZUÁLNĚ V NEROZVINUTÉM STAVU ROLETY								PO MONTÁŽI DO SK253 STŘECHY					EOL TESTER	
PŘEDNÍ ROLETA 703847405 GEN. STAV	41319													30,4	13,6
	41320													22,2	16,3
	41321													24,0	16,2
	41322													28,8	12,5
	41323													26,8	11,0
	41324													30,8	18,3
	41325													27,6	15,2
	41326													28,7	13,1
	41327													28,1	15,3
	41328													25,8	10,8
	41329													23,9	13,1
	41330													28,6	13,6
	41331													28,2	11,5
	41332													26,8	11,9
	41333													27,4	12,1
41334													26,3	10,5	
	41335													30,5	16,2
	41336													27,5	12,3
	41337													30,4	16,7
	41338													30,8	15,6
	41339													30,9	16,7
	41340													29,1	13,3
	41341													30,8	14,0
	41342													29,1	14,2
	41343													28,8	14,4
	41344													29,2	15,9

Příloha D: Kalibrační protokol pro EOL Tester



Český metrologický institut

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111, fax +420 545 222 728, www.cmi.cz



K 2202

Kalibrační laboratoř č. 2202 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Pracoviště: Oblastní inspektorát Liberec, Slunečná 23, 460 01 Liberec

Oddělení síly - úsek ředitele, tel. 485 207 544, fax 485 104 466

KALIBRAČNÍ LIST

4001-KL-S0073-13

Datum vystavení: 27. březen 2013

List 1 ze 2 listů

Zákazník: Inteva Products Czech Republic a.s.
České mládeže 452
460 08 Liberec 8

Uživatel: _____

Měřidlo: pracovní síloměr
Výrobce: HBM
Typ: PW22C3 10kg
Výrobní číslo: 02696539
Evidenční číslo: FINAL TESTER SK253
Jmenovitá síla: 100N
Rozlišitelnost: 1
Směr působení síly: ohyb

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 27. březen 2013

Kalibraci provedl:



Ředitel oblastního inspektorátu:


Petr Hajfler


Ing. Petr Hajfler

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.

Použité etalony: Etalonová zatěžovací tělesa inv.č. 400148, kalibrováno ČMI Ol Liberec, 30.8.2011, kalibrační list č. 4051-KL-E0057-11

Kalibrační postup: č. 811-MP-C111

Místo kalibrace: FINAL TESTER

Podmínky prostředí: Teplota vzduchu: (21,7 ± 0,5) °C

Výsledky kalibrace:

Zatěžovací síla	Referenční hodnota údaje siloměru pohyb vpřed	Relativní odchylka indikace vpřed	Relativní rozšířená nejistota kalibrace vpřed	Referenční hodnota údaje siloměru pohyb zpět	Relativní odchylka indikace zpět	Relativní rozšířená nejistota kalibrace zpět
<i>F</i>		<i>q</i>	<i>W</i>		<i>q</i>	<i>W</i>
N	N	%		N	%	
10	11,0	10	10	11,0	10	10
20	22,0	10,0	5,3	22,0	10,0	5,3
30	33,0	10,0	3,5	33,0	10,0	3,5
40	44,0	10,0	2,6	44,0	10,0	2,6
50	55,0	10,0	2,1	55,0	10,0	2,1
60	66,0	10,0	1,8	66,0	10,0	1,8
70	77,0	10,0	1,5	77,0	10,0	1,5
80	88,0	10,0	1,3	88,0	10,0	1,3
90	99,0	10,0	1,2	99,0	10,0	1,2

Dle požadavku zákazníka kalibrace provedena do 90 N.

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Vyjádření o plnění specifikace:

Pracovní siloměr vyhovuje internímu předpisu pro vyhodnocování měřidel po kalibraci č. 5, OS KK-9 pro snímače síly v rozsahu:

0 - 100 N od 10 N do 90 N

Konec kalibračního listu.

Český metrologický institut
Oblastní inspektorát Liberec
Slunečná 23
460 01 Liberec
-2-