

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ

FAKULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF METROLOGY AND QUALITY ASSURANCE TESTING

OPTIMALIZACE PROCESU LAKOVÁNÍ

OPTIMALIZATION OF PAINTING PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL SIEGL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALOIS FIALA, CSc.

BRNO 2008

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci nanášení práškové barvy během procesu lakování pomocí experimentálních metod a statistické analýzy. Popis studie současného stavu procesu lakování, analýza výsledku a návrh optimálního nastavení přímo v praxi.

Abstract

The diploma is focused on optimizing of rating during the process of painting by means of experimental methods and statistic analysis. Description of the study of the present state of painting process, result analysis and the project of optimal pre-set in practice.

Klíčová slova

Optimalizace, práškové lakování, plánovaný experiment, ishikawův diagram, regulační diagramy, způsobilost procesu, lisování, svařování.

Key words

Optimizing, painting process, design of experiment, ishikawa diagram, control chart, process capability, pressing, welding.

Bibliografická citace dle ČSN ISO 690

SIEGL, P. *Optimalizace procesu lakování* . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Alois Fiala, CSc.

Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně. Při vypracování diplomové práce jsem respektoval ustanovení předpisů pro diplomové práce a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude moje diplomová práce vedoucím diplomové práce přijata.

V Brně dne 23. května 2008

.....

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné rady a důležité podklady potřebné k vypracování této práce. Zvláště pak panu Ing. Sebastiánu Morovi, Ing. Miroslavu Kratochvílovi a Davidu Pavliňákovi za odborné vedení a rady, které mi poskytovali po celou dobu navštěvování firmy. Dále bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Aloisi Fialovi, CSc., a také panu doc. RNDr. Bohumilovi Marošovi, CSc., kteří mi vždy ochotně pomohli a poradili s řešenou problematikou. Na závěr chci také poděkovat rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, po celou dobu mého studia na Vysokém učení technickém v Brně.

Obsah

0	ÚVOD	8
1	Lakování	11
1.1	Technologie lakování	11
1.1.1	Základní charakteristika práškových barev	12
1.1.2	Nanášení práškových barev	13
1.1.3	Použitá předúprava ve Worthington Cylinders a.s.	15
1.2	Proces lakování vzduchojemů	16
1.2.1	Lakování vnitřní části vzduchojemu	18
1.2.2	Lakování vnějšího povrchu vzduchojemu	19
1.2.3	Vypalování barvy	20
2	Nástroje řízení jakosti	23
2.1	Používané nástroje jakosti	23
2.1.1	Sedm základních nástrojů jakosti	25
2.1.2	Principy regulačních diagramů	31
2.1.2.1	Výpočtové vzorce pro diagramy:	33
3	Plánování experimentů	38
3.1	Plánované experimenty a jejich popis	38
3.1.1	Faktorové plány	40
3.1.2	Vlastnosti plánovaného experimentu	41
3.2	Příprava experimentu	42
4	Aktuální stav procesu	44
4.1	Aktuální proces lakování vzduchojemů	44
5	Návrh řešení ke stabilizaci procesu lakování	50
5.1	Postup ke stabilizaci procesu lakování	50
5.1.1	Nalezení všech vlivů ovlivňující kvalitu	51
5.1.2	Výběr hlavních příčin	53
5.1.3	Příprava plánovaného experimentu	54
5.1.4	Realizace experimentu	55
5.1.5	Vyhodnocení získaných dat	59
5.2	Trvalá kontrola a kontrola stability procesu	64
6	Závěr	67

7	Seznam použitých zdrojů	70
8	Seznam použitých zkratek a symbolů	72
9	Seznam příloh	75

0 ÚVOD

Dosáhnout úspěchu v současném ekonomickém prostředí vyžaduje, aby se výrobní organizace, obzvlášť automobilový průmysl, věnovali neustálému zlepšování s cílem optimalizace výrobních procesů, snížení zmetkovitosti (úprav) a hlavně snížení nákladů. Z tohoto důvodu je snahou hledat co nejúčinnější způsoby výroby s minimálními vynaloženými náklady, při zachování vysoké kvality žádané zákazníkem.

Optimalizací se v podstatě rozumí, dosažení maximální (minimální) hodnoty sledovaného znaku a udržení v přijatelných mezích s cílem zamezit nadbytečnému plýtvání zdrojů a nákladů. Z důsledku velké variability procesu lakování je diplomová práce zaměřena na optimalizaci procesu lakování s úmyslem nalézt nejvhodnější nastavení lakovací kabiny, tak aby se minimalizovala variabilita, snížila tloušťka vrstvy barvy a náklady spojené s nadbytečnou vrstvou.

Diplomová práce je rozdělena do šesti částí. První část nazvaná lakování, je zaměřena na popis, vysvětlení teorie lakování a obecný proces práškování vzduchojemů. Druhá část je věnována nástrojům řízení kvality, převážně sedmi základním nástrojům jakosti, které jsou pro práci velice důležité. V třetí části je vysvětlena podstata nástroje plánování experimentu, pomocí kterého bude nalezeno optimální nastavení lakovací kabiny. Čtvrtá část je zaměřena na popis aktuálního stavu procesu lakování, jeho analyzování a navrhnutý postup ke zlepšení jakosti. Pátá část je věnována návrhu a jeho ověření v praxi. V závěrečné šesté části bude zhodnocen výsledek návrhu a přínos pro firmu Worthington Cylinders a.s.

Optimalizace procesu lakování bude provedena ve společnosti Worthington Cylinders a.s., která má ve světě již dlouholetou tradici. Worthington Cylinders a.s. je členem nadnárodní společnosti Worthington Industries sídlící v Columbusu ve státě Ohio s 64 výrobními zařízeními (Obrázek 1.). Jednotlivé pobočky se nacházejí na různých místech světa a to v Severní Americe, Jižní Americe, Asii a Evropě. Společnost založil v roce 1955 obchodník John H. McConnell s pěti zaměstnanci. V současné době společnost vykazuje roční zisk 320 milionů dolarů a je třetím největším výrobcem na severoamerickém trhu. Worthington Industries je přední rozmanitá společnost zpracovávající ocel, která působí v automobilovém a stavebním průmyslu, v oblasti technického vybavení, vytápění, chlazení, kosmonautice a jiných průmyslových odvětvích. Společnost má čtyři divize, které jsou zaměřeny na zpracovávání oceli, stavební průmysl, automobilový průmysl a nádoby.

Jedna z divizí je zaměřena na tlakové nádoby s působišťem v USA (7 závodů), České republice, Rakousku, Kanadě a Portugalsku [1].



Obrázek 1. Worthington Industries v Ohio

Worthington Cylinders a.s. je pobočkou rakouské společnosti Worthington Cylinders GmbH. Firma se sídlem v Hustopečích u Brna (Obrázek 2.) se specializací na výrobu nízkotlakých ocelových nádob prošla dlouholetým vývojem a významnými změnami. Činnost zahájila již před 130 lety. V roce 2004 rozšířila vstupními investicemi specifické výrobní linky z jedné linky na dvě. Současný výrobní sortiment společnosti zahrnuje široké spektrum vzduchojemů [1].

Své výrobky dodává do celého světa jak pro automobilový průmysl, tak i pro velkoobchodníky a distributory. Mezi zákazníky patří hned několik renomovaných mezinárodních značek, jako jsou Man, Volvo, Renault, Scania, Iveco. Firma disponuje 350 zaměstnanci s ročním obratem 18,5 milionů eur. Od roku 2006 je 100% vlastníkem společnost Worthington Cylinders sídlící v USA [1].



Obrázek 2. Worthington Cylinders a.s.

Historie

Tabulka 1. Historie Worthington Cylinders a. s.

1873	Založení továrny na výrobu cukrovinek.
1881	Pan Edmund Wesely zahájil v továrně výrobu lihovin.
1914	Výroba munice pro armádu během 1. světové války.
1918	Továrna přejmenována na Würfel a zahájena výroba cukrovinek s likérovou příchutí.
1948	Výroba lehkých užitkových zařízení: kola, sudy apod.
1951	Továrna přejmenována na Drukov Brno – výroba součástí pro stavebnictví a zemědělství.
1954	První sériová výroba nádob pro zkapalněné plyny (LPG). Název společnosti se nejprve změnil na Jihokov (1958), poté na Plynokov (1960).
1994	Úplná privatizace továrny. Celkový sortiment společnosti, která změnila svůj název na Gastec , doplnily nádoby, vzduchojemy a vařiče pro táboření.
1999	Worthington Cylinders Corporation (USA) získala 51% podíl společnosti Gastec, čímž byla založena společnost Worthington Gastec a. s.
2001	Worthington Gastec se přejmenovala na Worthington Cylinders a. s.
2006	Worthington Cylinders Corporation získala od českých vlastníků zbývajících 49% podíl společnosti.
2007	Konec výroby nádob pro zkapalněné plyny (LPG).

Během tvorby diplomové práce se společnost zaměřila pouze na výrobu vzduchojemů a tlakových nádob, které vyráběla od roku 1954, a přestala s definitivní platností v roce 2007 vyrábět nádoby na zkapalněné plyny. Všechny vzduchojemy vyrábějí v souladu s předpisy ČSN ISO/TS 16949:2002, ČSN EN ISO 14001:2005 a ČSN EN 286-2:1994, která platí pro užitková vozidla. Nátěry použité u vzduchojemů zajišťují vynikající vnitřní a vnější povrch, který snese nejnáročnější korozní prostředí. Kvalitu a spolehlivost výrobků potvrzuje skutečnost, že se světové automobilky prezentují jako zákazníci společnosti Worthington Cylinders a.s. V roce 2006 společnost byla také oceněna jako nejlepší dodavatel společností Man, Volvo a Renault.

1 Lakování

1.1 Technologie lakování

Lakování patří mezi finální operace procesu výroby vzduchojemů. Lakování je velice důležitý proces a je nutné mu věnovat velkou pozornost, protože kvalitně provedené lakování zvyšuje životnost vzduchojemů a hlavně odolnost proti korozi.

Lakování patří mezi nejrozšířenější povrchové úpravy. K vytvoření nátěrového povrchu se používají nejrozličnější druhy nátěrových hmot. Jedná se o přenos nátěrové hmoty vhodnou technologií na povlakovaný dílec s tím, že každá nátěrová hmota má své specifické vlastnosti a způsob určení. Povlakem z nátěrových hmot můžeme dosáhnout určitých vlastností dílce. Existují dva druhy povlaků a to:

- a) **Povlaky ochranné** - Antikorozní nátěrové hmoty jsou určeny pro ochranu dílců z různých materiálů (především běžných tříd oceli), proti koroznímu opotřebení v různých klimatických podmínkách.
- b) **Povlaky dekorativní** - Nátěrové hmoty vytvořené za účelem vzhledu na upravovaných dílech. Tyto povlaky jsou určeny do interiérů a exteriérů pro zkrášlení vzhledu a zároveň plní ochrannou funkci.

V praxi se využívá spousta způsobů nanášení nátěrových hmot. Mokré (tekuté) nátěrové hmoty lze nanášet mnoha způsoby [14]:

- 1) **Ruční nanášení** - Ruční nanášení štětcem, štětkou nebo válečkem je kvalitní způsob, ale příliš pracný a málo výkonný. Tento způsob se používá převážně ve stavebnictví nebo v kombinaci s některým ze způsobů stříkání. Při nanášení barev dochází k nerovnoměrné tloušťce povlaku nebo tzv. rýh po tahu štětcem.
- 2) **Vzduchové stříkání** - Nátěrovou hmotu unáší směrovaný paprsek vzduchu o tlaku 0,2 MPa až 0,6 MPa na povlakovaný předmět. Takto lze nanášet nátěrové hmoty nižších viskozit s vysokými ztrátami. Tyto ztráty se uvádí v řádech desítek procent dle členitosti povrchu předmětů. Výsledný efekt bývá pohledově dobrý, tudíž se tímto způsobem dají nanášet i dekorativní povlaky.
- 3) **Máčení, navalování, polévání** - Tyto způsoby se používají převážně v sériových výrobcích při podobném tvaru výrobků. Technologie je levná, avšak náročná na množství nátěrových hmot a případnou změnu odstínu.

- 4) **Vysokotlaké stříkání (airless, airmix)** - Velmi efektivní způsob pro nanášení nátěrových hmot různých viskozit na odlišné podklady. Nátěrová hmota je stlačena vysokotlakým pístovým čerpadlem na velmi vysoký tlak až 45 MPa na trysce při rychlosti až $250 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dle povrchu a členitosti výrobku lze používat různé trysky, které se liší množstvím průtoku a úhlem stříkání. Tento druh nanášení je velmi výkonný s přiměřenými ztrátami. Za směnu je možné jedním pracovníkem dosáhnout několik stovek metrů čtverečních. Rovněž je možné nanést vrstvu nátěrové hmoty až 100 mm v jedné operaci za použití příslušné nátěrové hmoty.
- 5) **Elektrostatické stříkání (STATIKA)** - Maximálně omezuje ztráty při stříkání malých předmětů za použití vytvoření stejnosměrného polarizovaného proudu mezi stříkací pistolí a povlakovanými předměty.
- 6) **Práškové lakování (TRIBO)** - Minimální ztráty (1 – 5 %), odpad lze vrátit do výrobního procesu. Při nástřiku jedné vrstvy lze dosáhnout spolehlivé tloušťky 30 až 120 mm a zároveň umožňuje lepší vykrytí dutých prostor. V následné operaci je nutné předměty spékat v peci při teplotách 120 až 220 °C.
- 7) **Kombinované (duplexní) povlaky** - Jedná se o povlaky zároveň stříkané v kombinaci s mokkými nátěrovými hmotami. Tyto způsoby se doporučují do silných korozních prostředí, případně s požadavky na dekorativnost povrchů. Je možné dosáhnout velmi dobrých antikorozních vlastností s dlouhou životností celého systému. Zpravidla se upravují běžné oceli třídy 11. Při dekorativních požadavcích jsou vyšší spotřeby základních nátěrových hmot vzhledem k drsnosti nastříkaného povlaku. Životnosti u těchto způsobů jsou velmi vysoké, je prokázáno, že kombinované povlaky se vyznačují 1,5krát až 2,5krát vyšší ochrannou účinností než součet ochranné účinnosti každé její části zvlášť.

1.1.1 Základní charakteristika práškových barev

Práškové barvy se zařazují mezi tzv. průmyslové nátěrové hmoty. Jejich složení bývá nejčastěji tvořeno směsí pryskyřic, pigmentů, tvrdidla, aditiva případně dalšími surovinami, které dodávají barvě tvrdost, lesk a požadovanou hloubku matu. Jedná se o suchou práškovou směs. Oproti jiným druhům barev se prášek ničím neředí a také v žádné látce nerozpouští [1].

Výroba práškových barev se od klasických nátěrových hmot výrazně liší. Zatím co tekuté nátěrové hmoty se vyrábí reakcí jednotlivých složek v roztoku vody případně

rozpouštědla, práškové barvy jsou vytvářeny v tavenině. Tavenina je vytlačena na chladicí válce, kde se ochladí a poté je rozemleta na požadovanou hrubost částic. Výsledná směs je konečným výrobním produktem, tedy práškovou barvou s požadovanými vlastnostmi [1].

Dělení práškových barev podle nosičů [1]:

1) Epoxidové (EP)

- pro použití v interiéru,
- vysoká odolnost proti korozi.

2) Epoxipolyesterové (PEP)

- nejpoužívanější, tzv. hybridní,
- pro použití v interiéru i pro krátkodobé vystavení povětrnostním vlivům.

3) Polyesterové (PES)

- pro použití v exteriéru pro vysokou odolnost proti UV záření a ostatním povětrnostním vlivům.

4) Polyuretanové (PUR)

- velice odolné proti povětrnostním vlivům,
- vysoká čírost.

5) Akrylátové (AC)

- použití pro interiér i exteriér,
- vysoká odolnost proti chemickým látkám.

Práškové barvy se vyrábí v mnoha vzhledových typech a paletě odstínů, nejčastěji podle stupnice RAL (190 odstínů). Mimo obvyklé odstíny systému RAL existují i jiné stupnice, například:

- RAL Design,
- NCS - Natural Color Systém,
- SIKKENS, PANTONE®,
- BS Britisch Standard ,
- Apod.

1.1.2 Nanášení práškových barev

Prášková barva se nanáší na vhodně předupravený povrch, který je zbaven všech chemických a mechanických nečistot. Předúprava se provádí za účelem:

- odstranění okují vznikajících při tepelném zpracování ocelí,
- odstranění mastnot a nečistot,
- odstranění starých nátěrů,
- vytvoření anorganických vrstev snižujících postup koroze a zvyšujících přilnavost povrchové vrstvy.

Druhy předúprav:

- mechanické čištění (tryskání, broušení, leštění, otłoukání apod.),
- odmašťování (alkalickými vodnými roztoky, organickými rozpouštědly, tenzidovanými přípravky),
- moření, odrezení, stabilizaci rzi,
- opalování,
- fosfátování a chromátování.

Základní popis nejpoužívanějších předúprav [15]:

Tryskání

- aplikují se z důvodu vyčištění povrchu, tj. odstranění korozních produktů či okují vzniklých během svařování,
- v praxi se používají průběžné tryskací zařízení.

Alkalické vodné roztoky

- zmýdelňují mastnoty rostlinného a živočišného původu, minerální tuky emulgují do vodné fáze.

Organická rozpouštědla

- rozpouštějí mastnoty rostlinného i živočišného původu včetně minerálních olejů.

Tenzidovanými přípravky

- zmýdelňující látky syntetického původu, ve vodě rozpustné, po odloučení minerálních olejů (filtrace, mikrofiltrace) biologicky odbouratelné.

Moření

- chemické odstraňování korozních zplodin kyselinami H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 .

Opalování

- plamenem, horkým vzduchem,
- nevhodné pro nátěrové hmoty obsahující pigmenty na bázi Pb, Cr.

Fosfátování

- způsob chemické úpravy povrchu železa, zinku, hliníku, hořčíku a jejich slitin,
- na povrchu se vytváří souvislá a dobře lnoucí vrstva nerozpustných fosforečnanů železa, zinku nebo manganu,
- fosfátování je vytváření anorganické nekovové vrstvy terciálního fosforečnanu:
 - a) zinečnatého,
 - b) zin. železnatého,
 - c) zin. vápenatého,
 - d) manganatého.

Chromátování

- vytváření povrchu s pasivačními vlastnostmi,
- nejčastěji na Zn (Zinek), Cd (Kadmium),
- podle složení lázně může mít povrch kovový vzhled s různým odstínem.

1.1.3 Použitá předúprava ve Worthington Cylinders a.s.

Společnost Worthington Cylinders a.s. používá pro lakování vzduchojemů práškové lakování, které plní funkci hlavně ochrannou. Před samotným lakováním musí vzduchojem projít tryskáním a následným fosfátováním. Tryskání vzduchojemů provádí firma Worthington Cylinders a.s. tak, že zavěšené výrobky na podéšném dopravníku prochází komorou s metacími koly rotujícími kolem své svislé osy, což umožňuje rovnoměrné otryskání celého povrchu vzduchojemů sedmi metacími koly. Následné fosfátování je prováděno přípravky od firmy Henkel pro zinečnaté fosfátování trikationového typu. Fosfátovací proces je prováděn na uceleném technologickém zařízení ve čtyřech komorách. Výrobky jsou do jednotlivých komor přiváženy na speciálních fosfátovacích vozících,

kteří umožňují fosfátování vzduchojemů z vnější i vnitřní strany. Teploty, tlaky a operační časy jsou stanoveny dodavatelem chemikálií firmou Henkel [1].

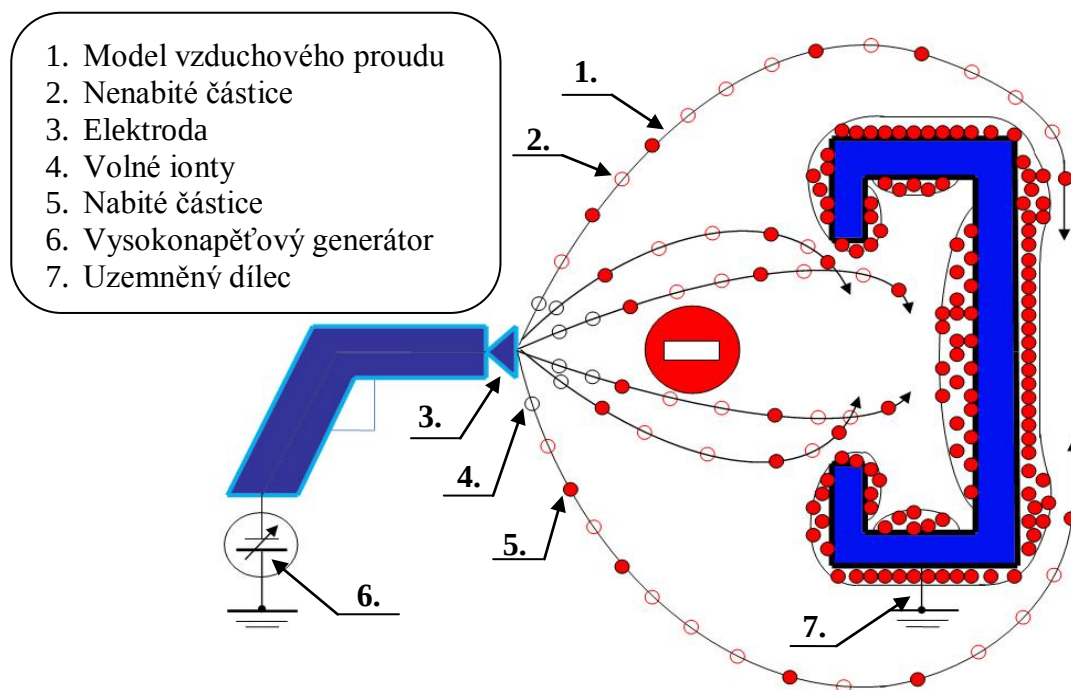
1.2 Proces lakování vzduchojemů

Pro aplikaci prášku na lakovaný dílec se využívá stlačeného vzduchu, který po smíšení s práškem vytváří tekutou směs. K tomu, aby prášek na dílci ulpěl, je nutné částicám prášku udělit určitou sílu, pomocí které se na dílci zachytí. Této síle se říká elektrostatická energie, která využívá fyzikálního jevu, že opačně nabitě částice se přitahují. Prášku musí být tedy udělena elektrostatická síla během cesty ze zásobníku. Nabíjení prášku se provádí dvěma způsoby [11]:

- 1) Elektrostatické nabíjení, tzv. STATIKA (Korona).
- 2) Elektrokinetické nabíjení, tzv. TRIBO.

1) STATIKA

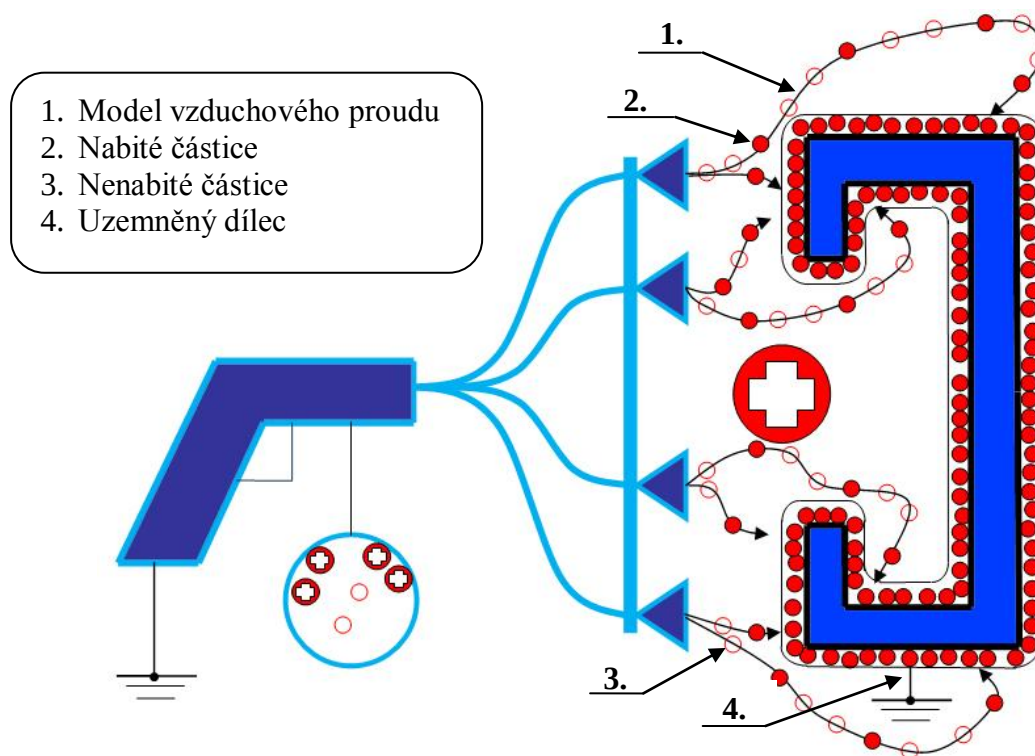
- částice prášku jsou nabíjeny pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné v ústí aplikační pistole,
- velice rychlý a účinný způsob nabíjení,
- nevhodné pro dílce s velkým zahlobením.



Obrázek 3. Elektrostatické nabíjení, tzv. STATIKA

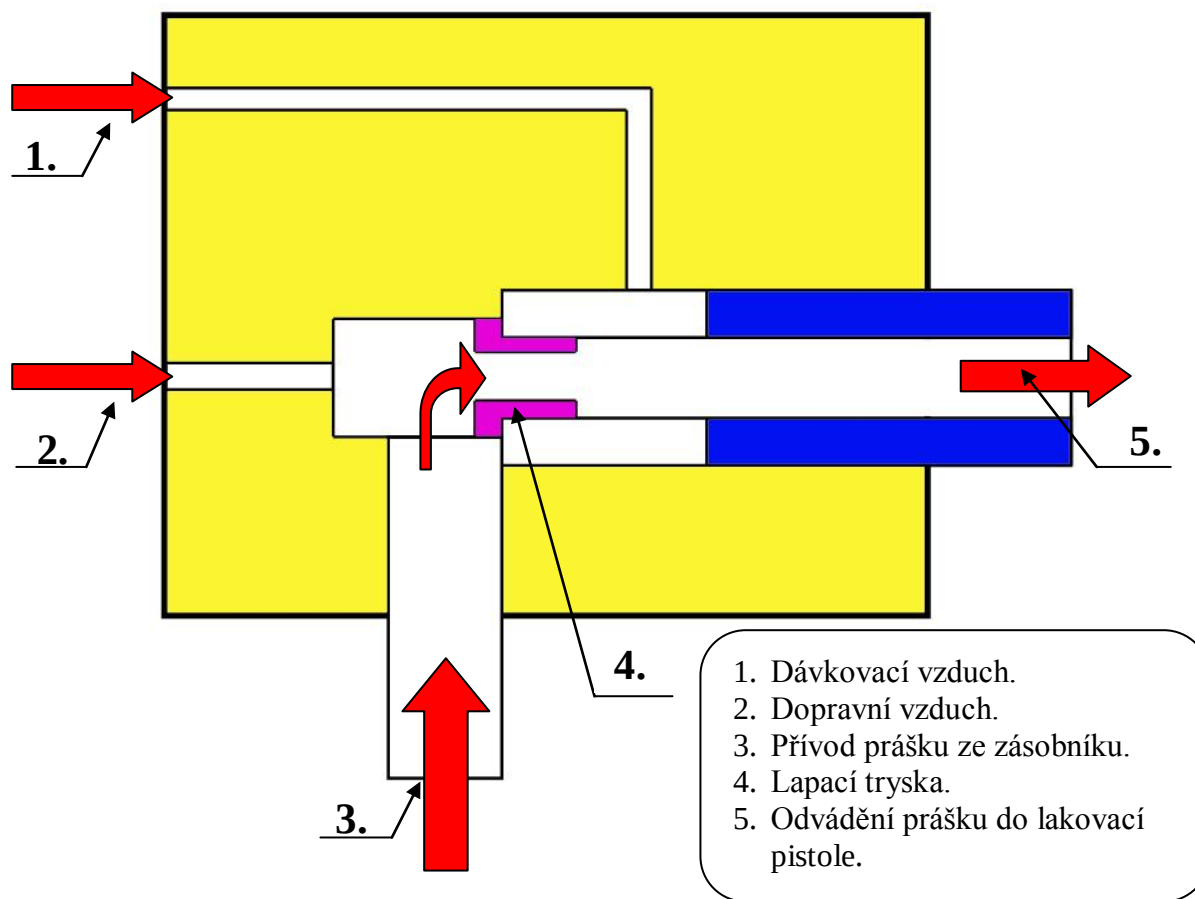
2) **TRIBO**

- podstata tribo nabíjení je v tom, že částice získávají elektrostatickou energii průchodem hadicí a aplikační pistole,
- hadice je vyráběna převážně z teflonu,
- metoda není tak efektivní jako statika, ale je vhodnější pro zahluobené dílce.



Obrázek 4. Elektrokinetické nabíjení

Worthington Cylinders používá pro lakování vzduchojemů metodu tribo (Obrázek 4.). Prášek je v první řadě v zásobníku smíšen s tlakovým vzduchem (fluidizován) a hnán ze zásobníku přes injektorovou kostku (Obrázek 5.) hadicí do aplikační pistole. Injektorová kostka slouží v podstatě k vytvoření podtlaku, který fluidizovaný prášek nasává do aplikační pistole. V aplikační pistoli je ještě prášek rozvířen pomocí několika otvorů, které jsou vyvrtány zešikma. Do těchto malých otvorů proudí opět stlačený vzduch, který tvoří v pistoli vzduchový vír a tím se prášek více otírá o stěny a získává větší náboj. Čím více se zrno otírá o stěny aplikační pistole, tím získává větší náboj a lépe ulpí na lakovaném předmětu. Lakování vzduchojemů se provádí následně po fosfátování v průběhu téhož pracovního dne, nejpozději do 4 hodin po fosfátování, protože hrozí vznik koroze.



Obrázek 5. Schéma injektorové kostky

1.2.1 Lakování vnitřní části vzduchojemu

Lakování vnitřního prostoru vzduchojemu je prováděno na speciálním pracovišti v lakovacích kabinách práškovou epoxy-polyesterovou barvou od italského dodavatele DuPont. Lakování vnitřků se realizuje současně po čtyřech kusech. Vzduchojem se uloží na otočné lože tak, aby obvodový svár neležel na podpůrných kladkách, hrdlo bylo v unášeci a přitlačován odpruženým dorazem. Poté se spustí otáčení. Pokud je pohyb trhavý, upraví se rychlost c . V případě, že se vzduchojem plynule otáčí a hrdlo sedí v unášeci, odstartuje se chod lakovacích pistolí. Během lakování operátor sleduje, zda z volného otvoru uniká přebytečný prášek. Říká se, že vzduchojem tzv. „kouří“. Po ukončení cyklu nanášení vrstvy, seřizovač kontroluje první dvojici vzduchojemů, zda je prášek nanesen po celé ploše a zda není přebytek prášku. Tuto zkoušku provádí seřizovač tzv. hřebínkem. Vrstva nevypáleného prášku musí být minimálně $60\ \mu\text{m}$ a vrstva vypáleného prášku pak minimálně $20\ \mu\text{m}$. Další kontroly provádí operátor po cca dvou hodinách a vždy při změně typu vzduchojemu

a dle potřeby provádí korekci v nastavení pistolí. O vykonané zkoušce seřizovač provede záznam do příslušné kontrolní knihy měření.

Nastavení pistolí pro vnitřní nástřik se provádí dle nastavovací tabulky pro jednotlivé průměry vzduchojemů. Pro správné nastavení přístroje a kontrolu vrstvy prášku se používá rozkládací vzduchojem požadovaného průměru, který se po nalakování vnitřku rozklopí a provede se vizuální kontrola celistvosti naneseného prášku. Dle potřeby se prodlouží nebo zkrátí nastavené hodnoty pro rychlost pojezdu pistolí a prodleva v přední a zadní úvratí. Nastavení se provádí pomocí otočného potenciometru.

1.2.2 Lakování vnějšího povrchu vzduchojemů

Po nalakování vnitřku jsou vzduchojemy odkládány na předem připravený vozík, kde obsluha odsaje prášek ze závitů, našroubuje závěs a hrdla osadí krytkami (Obrázek 6.). Takto připravený vzduchojem zavěsí na dopravník lakovací linky, po kterém jsou unášeny do velké automatické lakovací kabiny, kde je nanášen vnější povlak polyesterové tmavošedé práškové barvy od německého dodavatele DuPont. Seřizovač s obsluhou kabiny nastaví automatické nanášecí pistole dle nastavovacích tabulek příslušného typu a provede nástřik prvních kusů při konstantní rychlosti dopravníku $2,75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Po nalakování provede orientační měření pomocí hřebínku. Tloušťka barvy musí být minimálně $100 \text{ } \mu\text{m}$. Dle potřeby provede korekci nastavených hodnot pro lakování, tak aby byla splněna podmínka minimálně $100 \text{ } \mu\text{m}$ práškové barvy na povrchu. Z napráškovaných vzduchojemů obsluha za lakovací kabinou odstraní ochranné krytky. Při manipulaci se musí dbát zvýšené opatrnosti tak, aby nedošlo k setření barvy. Nastavení rychlosti dopravníku provádí zaškolený seřizovač lakovny patřičným otočením klíče zrychlení/zpomalení na požadovanou hodnotu, kterou kontroluje na LCD displeji.



Obrázek 6. Připravené vzduchojemy na vnější nástřik

1.2.3 Vypalování barvy

Nalakované kusy jsou unášeny dopravníkem do vypalovací pece, ve které dochází k vytvrzení barvy. Teplotu vytvrzování nastavuje vyškolená osoba na hodnotu 220 °C. Po vypálení je provedena kontrola tloušťky barvy a zápis do kontrolní tabulky včetně použité barvy a šarže. Tloušťka barvy nesmí v žádném místě vzduchojemu poklesnout pod kritickou hodnotu 60 µm. Tloušťka barvy se hodnotí pomocí přístroje DELTASCOPE® MP10E, který využívá pro měření tloušťky barvy princip vířivých proudů. Tento princip je používán k měření vrstvy barvy, laků, eloxu, plastu na hliníku, mědi a také na jiných barevných kovových materiálech. Přístroj je schopen měřit tloušťku vrstvy v rozmezí 0 až 5 mm (za použití speciální sondy až 20 mm) na podkladu tloušťky od 0,3 mm (Obrázek 7.).



Obrázek 7. DELTASCOPE® MP10E

Znalost přesných teplot vypalovací pece velice napomáhá optimalizovat a zvyšovat produktivitu. Proto Worthington Cylinders a.s. pravidelně kontroluje správnost a funkčnost teplotního režimu pece minimálně 2krát ročně přístrojem DataPaq (Obrázek 8.). Datová paměť DataPaq umožňuje přesná měření až s 10 termočlánky. Ty určují měřené hodnoty v programovatelných časových úsecích a ukládají je do paměti. Datovou paměť je možno velmi jednoduše instalovat a zvolit časový interval měření. Současně s měřením teplotního režimu v peci se ověřuje skutečná rychlost dopravníku lakovací linky a porovnává s hodnotou na ovládacím panelu [1].



Obrázek 8. DataPaq

Po vypálení jsou vzduchojemy unášeny dopravníkem do chladicího tunelu, z kterého putují do prostoru svěšování, kde dochází k odšroubování závěsů a kontrole kvality vzduchojemů. Při kontrole se hodnotí přilnavost barvy, tloušťka barvy, odstín a lesk barvy. Poškozené vzduchojemy se nechají opravit anebo při velkém poškození vyřadit. Po určitém počtu nalakovaných vzduchojemů obsluha provede kontrolu tloušťky a přilnavosti vnitřního nástriku. Následuje kontrola tloušťky vnějšího nátěru, která je prováděna vždy nedestruktivně 2krát za směnu. Odstín barvy a lesk se hodnotí srovnáváním se schválenými etalony. Záznamy o kontrole kvality vede oddělení řízení jakosti, kde se uvádí výrobní číslo vzduchojemu, na kterém bylo hodnocení provedeno a číslo srovnávacího etalonu [1].

Worthington Cylinders a.s. si také nechává kontrolovat kvalitu vzduchojemů nezávislou akreditovanou laboratoří. Externí kontrola se provádí v intervalu 1krát / 10.000 ks. Laboratoř se zaměřuje na kontrolu koroze při změně klimatických podmínek, kontrolu přilnavosti, jak vnějšího tak vnitřního nástriku, kontrolu tloušťky vnitřního nástriku, kontrolu odolnosti [1].

Je zřejmé, že nátěrové hmoty jsou rozhodující vrstvou průmyslových zařízení, ocelových konstrukcí a dalších technických struktur před korozí a zánikem. Využitím kvalitních nátěrových hmot ve své činnosti udržuje vložené hodnoty, šetří materiální zdroje a tím přispívá nejen k zvýšení ekonomických výhod, ale také k ochraně životního prostředí.

2 Nástroje řízení jakosti

2.1 Používané nástroje jakosti

Se slovem jakost se v dnešní době setkal snad každý. Jakost je známá již ze středověku, kdy lidé své výrobky směnovali na trhu a zjišťovali jejich kvalitu. Slovo jakost se v podstatě dá nahradit synonymem kvalita. Jako první nejstarší definice slova je přisuzována filosofovi vrcholného řeckého období Aristotelovi. Další zmínky se vyskytují v moderních filozofických slovnících. V roce 1987 byly na návrh technické komise ISO/TC 176 („Management jakosti a zabezpečování jakosti“) přijaty normy řady 9000 pro řízení jakosti, ve kterých se přesná definice jakosti vyskytuje. Do dnešní doby byla řada 9000 několikrát revidována v roce 1994 a 2000. V normě ČSN ISO EN 9000:2001 se o jakosti hovoří jako o stupni splnění požadavků souborem inherentních znaků. Přitom „požadavek“ lze rozumět jako potřeba zákazníka či očekávání, které je stanoveno např. závazným předpisem. Slovo jakost se dá definovat různými způsoby. Například pán Taguchi jakost definuje jako minimum ztrát, které výrobek od okamžiku své expedice společnosti způsobí. V dnešní době se vyskytuje nespočet definicí [12].

Základní podmínka pro zlepšování procesů v organizacích je porozumění procesů a jejich regulace vzhledem k cílům, které mají být dosaženy. Jednotlivé cíle procesů je nutno dosahovat efektivně, tedy co s nejmenšími vnitřními náklady a největší přidanou hodnotou. Každý proces je ovlivňován různými vlivy. Na výslednou kvalitu výrobků nám tedy působí bezpočet nejrůznějších faktorů. Jednotlivé faktory lze rozdělit na vnitřní a vnější [2]. Za vnitřní se považují:

- a) lidé a jejich práce,
- b) výrobní a jiné zařízení,
- c) suroviny a materiály,
- d) pracovní skupiny a metody,
- e) peníze, tedy zdroje, které jsou k dispozici.

Za vnější zdroje se považují:

- a) marketing,
- b) management.

Hlavním cílem každé firmy by mělo být vyrábět výrobky v maximální kvalitě a to za co nejmenší možnou cenu. Pokud se to dané firmě podaří, získá oproti konkurenci

značnou výhodu na trhu. V dnešní době moderní management řídí kromě nákladů také jakost výrobků. Většina těchto problémů se dá řešit použitím vhodné statistické metody, která vychází z teorie matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti. Jednotlivé metody se dají rozdělit do tří skupin podle obtížnosti [2]:

- A. elementární statistické metody,
- B. středně obtížné statistické metody,
- C. pokročilé statistické metody.

Ad A) Elementární statické metody se řadí mezi 7 základních nástrojů jakosti (Seven Quality Control Tools). Z několikaleté praxe japonských expertů vyplynulo, že 75 % problémů spojených s řízením jakosti se dá těmito metodami vyřešit. Mezi elementární metody patří:

- 1. sběr a třídění údajů,
- 2. histogramy,
- 3. vývojové diagramy,
- 4. paretův diagram,
- 5. diagram příčin a účinků,
- 6. regresní a korelační analýza,
- 7. regulační diagramy.

Ad B) Středně obtížné metody již vyžadují zaškolení inženýrů firmy a všechny příslušníky řízení jakosti. Mezi tyto metody patří:

- 1. teorie výběrových zkoušek (kontrol),
- 2. statistická výběrová kontrola,
- 3. různé metody statistických odhadů a testů,
- 4. metoda smyslového hodnocení,
- 5. metoda plánování experimentů.

Ad C) Pro použití pokročilých statistických metod je potřebná dokonalá znalost složitých analýz procesů a jakosti, mezi které patří:

- 1. pokročilé metody plánování experimentů,
- 2. multivariační analýza,
- 3. různé metody operačního výzkumu.

2.1.1 Sedm základních nástrojů jakosti

1) Sběr a třídění údajů (kontrolní tabulky)

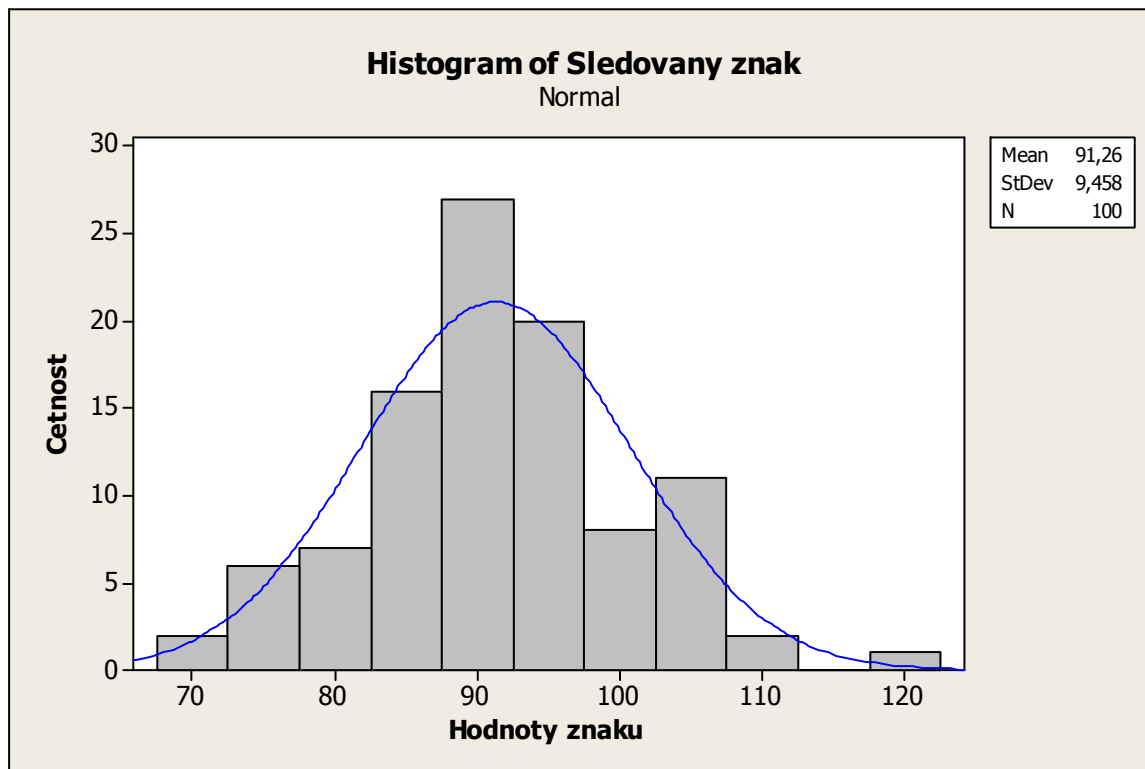
Velice jednoduchý nástroj, který slouží k zaznamenávání potřebných dat o kontrolovaném procesu. Je velice důležité klást velký důraz na správnost a pravdivost zaznamenávaných dat. Pokud se tento důraz nebude klást, budou data velice zkreslená a někdy i nesmyslná. Připravené tabulky musí být jednoduché a přehledné. Dále musíme data třídit podle přijatých kritérií. Účelem tohoto nástroje je zpřehlednění zaznamenávaných dat tak, abychom byly schopni relativně rychle určit příčiny neshod. V tabulce nesmí chybět důležité data, jako jsou datum, způsob získání dat, místo sběru dat, čas, podmínky, jak je vidět na příkladu (Tabulka 2.).

Tabulka 2. Příklad kontrolní tabulky

Kontrolní formulář: Tloušťka vrstvy barvy												
Číslo dílu: 199545687			Charakteristika: Tloušťka					Měřidlo: MP10E				
Název dílu: Plech			Norma - hodnota: 465 μm					Datum: 1.10.2007				
Proces: Lakování			Vzorek: P150					Provedl:				
Specifikace	Tloušťka	Kontrola										Celk.
	[μm]	1 0		2 0		3 0		4 0				
	500-509	/										1
	490-499	////										5
	480-489	////	////	//								12
	470-479	////	////	////								15
	460-469	////	////	////	////	////						24
	450-459	////	////	////	///							18
	440-449	////	////	///								14
	440-449	////	///									8
440-449	///										3	

2) Histogramy

Histogram je velice užitečný nástroj k zprehlednění velkého množství naměřených dat. Říká se mu také sloupcový graf. Jedná se v podstatě o znázornění intervalového rozdělení četností určitého sledovaného znaku jakosti. Z histogramu se dá velice dobře zjistit střední hodnota, rozptyl a způsobilost sledovaného znaku (Graf 1.).



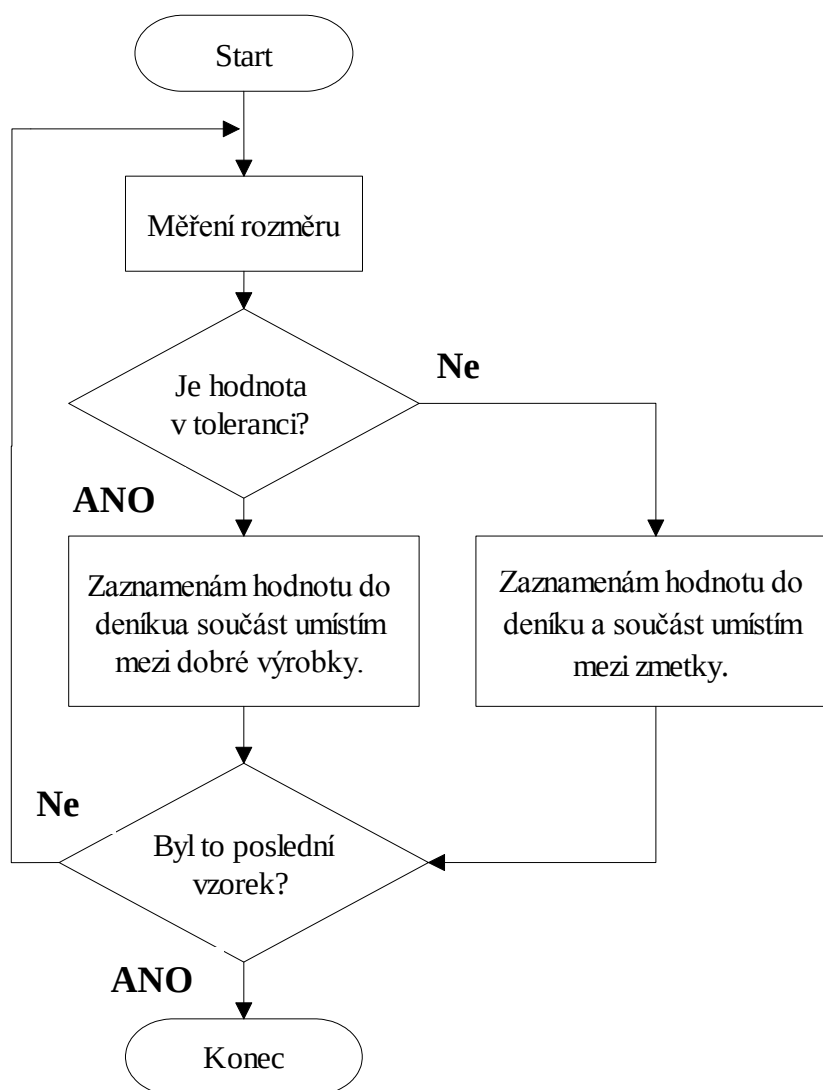
Graf 1. Histogram

3) Vývojové diagramy

Tyto diagramy se používají pro znázornění průběhů a struktury velmi složitých procesů, u kterých by byl slovní popis velice zdlouhavý a nepřehledný. Diagram se skládá z různých obdélníků, úseček, kosočtverců, kruhů a podobných tvarů. Jejich význam je uveden v tabulce (Tabulka 3.).

Tabulka 3. Druhy znaků vývojového diagramu

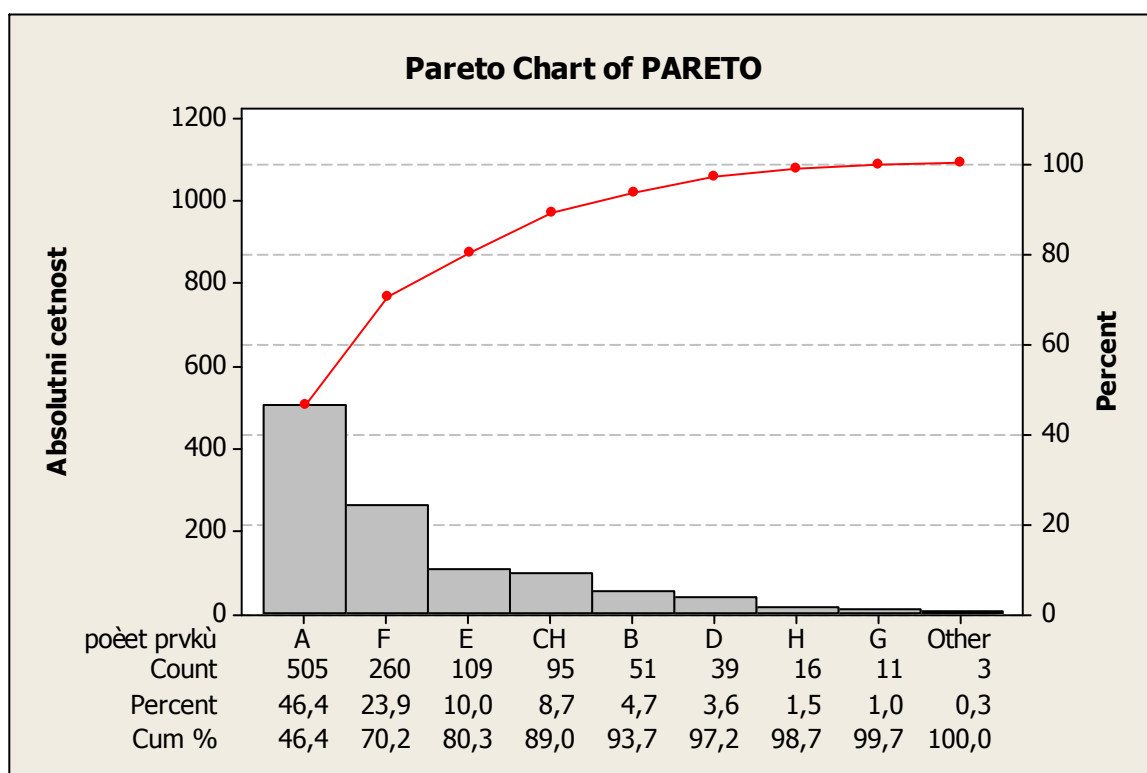
Úsečka	- určuje směr zpracování algoritmu.
Obdélník	- definuje dílčí krok zpracování algoritmu.
Kosočtverec	- větvení postupu v algoritmu v závislosti na splnění podmínky.
Obdélník se zaoblenými rohy	- počátek nebo ukončení zpracování algoritmu.
Kruh	- spojka jednotlivých úsečků.



Obrázek 9. Ukázka vývojového diagramu

4) Paretův diagram

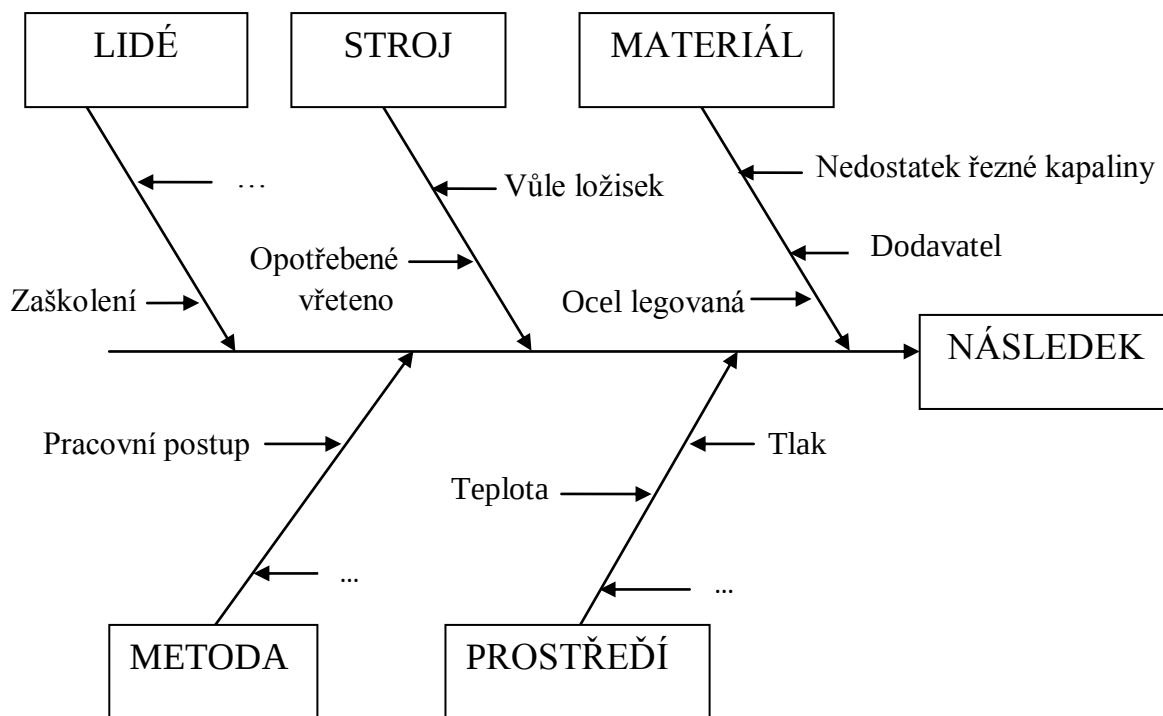
V praxi se mu také říká „Paretova analýza.“ Tento nástroj je postaven na základě tzv. „Paretově principu,“ tj. že 80 % následků je způsobeno 20 % příčin. Dá se říct, že se jedná o zvláštní případ sloupcového grafu. Slouží k rozhodování, který z mnoha příčin je spojený s největšími ztrátami. Sestrojení paretova diagramu se provádí tak, že se data zapíše do prvotní tabulky sestavené sestupně podle četností. Následně vytvořit kumulativní součty a vykreslit komutativní Lorenzovu čáru. Konečný součet je pak položen roven 100% a stanoveno rozhodovací kritérium, např. úroveň 80 %. Pak se zaměří jen na ty hodnoty, které jsou menší jak 80 % (Graf 2.).



Graf 2. Paretův diagram

5) Diagram příčin a účinků

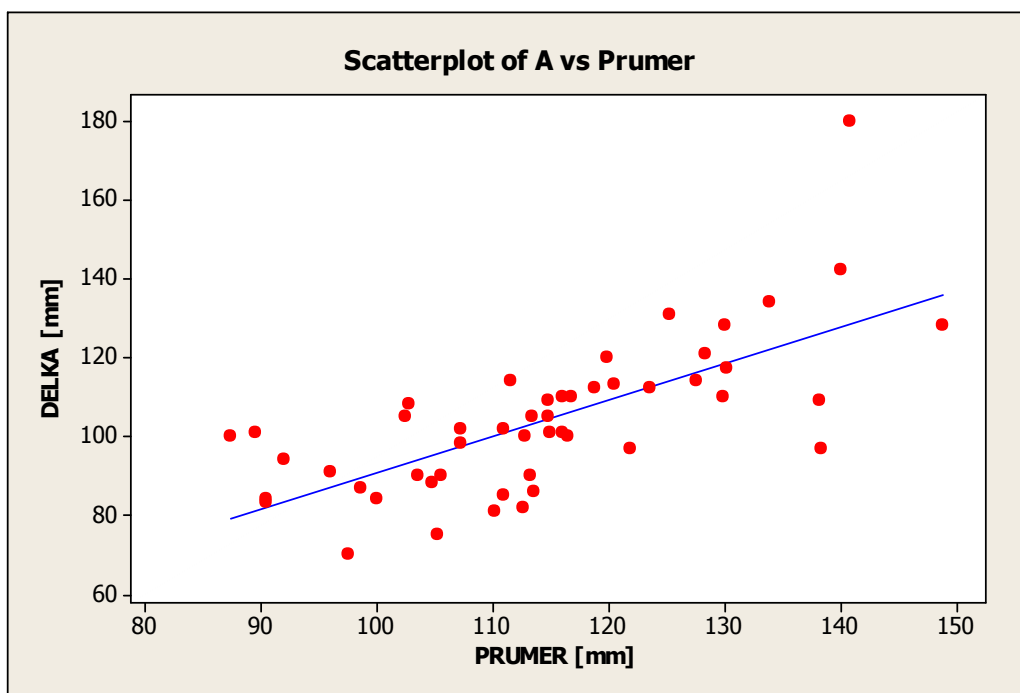
Také se mu říká Ishikawův diagram neboli „Rybí kost.“ Jedná se o velice jednoduchý nástroj, pomocí kterého zachytíme všechny možné příčiny, které mohou vést k nekvalitnímu výrobku. V praxi je velice využíván. Dále nám napomůže roztrdit data a zobrazit jejich vzájemné vztahy. Jednotlivé příčiny volíme podle brainstormingu. V prostředí výroby se obvykle vychází z příčin způsobených lidmi, stroji, materiálem, metodou a prostředím, jak je patrné z obrázku (Obrázek 10.).



Obrázek 10. Ishikawův diagram

6) Korelační analýza

Korelační analýza slouží k rychlému zjištění, zdali neexistuje mezi dvěma proměnnými vzájemná závislost. Jedná se o bodový diagram takzvaný Scatter Diagram (Graf 3.).



Graf 3. Korelační analýza

7) Regulační diagram

Regulační diagramy byly vytvořeny panem W. Shewhartem v roce 1924, kdy položil základy celého systému SPC neboli Statistical Process Control. Také se jim v praxi říká Shewhartesovi diagramy, kterými jsou věnovány normy ČSN ISO 8258:1995, ČSN ISO 7870:1995, ČSN ISO 7873:1995, ČSN ISO 7966:1994.

ČSN ISO 7870:1995 - Regulační diagramy – všeobecné pokyny a úvod.

ČSN ISO 7873:1995 - Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi.

ČSN ISO 7966:1995 - Přejímací regulační diagramy.

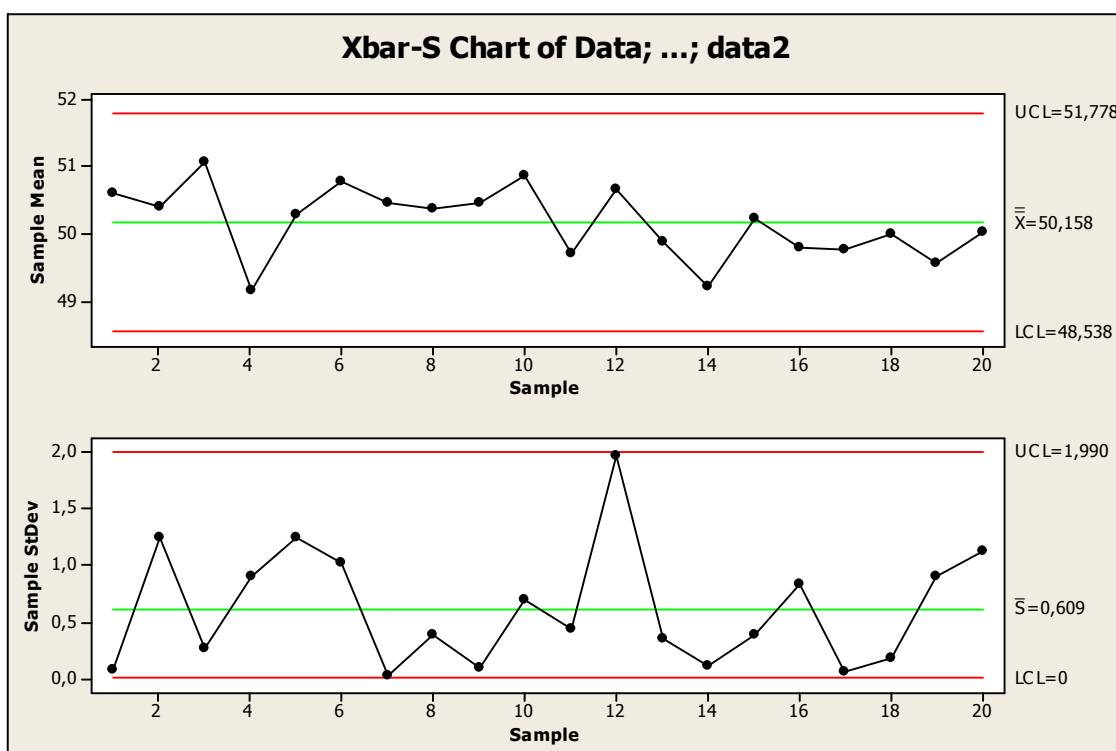
ČSN ISO 8258:1994 - Shewhartovi regulační diagramy.

V praxi jsou velice využívaným nástrojem, protože zobrazuje vývoj sledovaného znaku v časové posloupnosti. Z diagramu lze také vyčíst stabilitu procesu, trendy a podobně. Dokáže nám oddělit náhodné příčiny daného procesu od příčin vymezitelných. Náhodné příčiny lze charakterizovat jako široký komplex jednotlivě neidentifikovatelných příčin. K celkové variabilitě procesu přispívají velice zřídka. Vymezitelné jsou ty zdroje, které za běžných podmínek na proces nepůsobí. Vyvolávají změny projevující se kolísáním hodnot. Pro neustálé zlepšování procesu je nutné ho monitorovat, vyhodnocovat, a proto jsou regulační diagramy nejpoužívanějšími nástroji při statistické regulaci procesů. Existují dva druhy regulačních diagramů [3]. Dělí se na:

- a) regulační diagramy měřením,
 - b) regulační diagramy srovnáváním.
-
- a) Slouží ke sledování procesu pomocí kvantitativního (měřitelného) údaje, který představuje pozorování získaná měření číselných (spojitých) hodnot znaku.
 - b) Slouží ke sledování procesu pomocí kvalitativního údaje, který představuje pozorování získaná zaznamenáním přítomnosti (nepřítomnosti) určitého znaku nebo vlastnosti na každé jednotce a zjištění počtu jednotek, které vlastnost vykazují (nevykazují).

2.1.2 Principy regulačních diagramů

Regulační diagram se používá pro zobrazení vývoje variability procesu v čase. Jeho sestavení je velice jednoduché a v dnešní době se k tomu využívají počítače. Graf je tvořen dvěma základními osy. Na vodorovné ose představující čas, jsou vyneseny jednotlivá čísla výběrů podskupin zkoumané regulované veličiny, respektive parametru procesu. Na svislé ose se vynáší stupnice pro charakteristiku, která je ve zvoleném regulačním diagramu používána jako testovací kritérium stability procesu. V diagramu jsou zakresleny hodnoty regulované veličiny, získávané z jednotlivých měření, které se spojují úsečkami tak aby bylo možné pozorovat trend ve změnách hodnot regulované veličiny (Graf 4.).



Graf 4. Ukázka regulačního diagramu

K rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu slouží tři základní čáry, rovnoběžné s časovou osou. Značí se CL, LCL a UCL. CL značí střední přímku, někdy se jí také říká střední čára (Central Line), která odpovídá požadované, tzv. referenční hodnotě použité charakteristiky. Referenční hodnotou může být buď nominální hodnota (např. jmenovitá hodnota, hodnota daná technickým předpisem) nebo hodnota založená na minulé zkušenosti s daným procesem, respektive odhad z hodnot regulované veličiny získaných v podmínkách statisticky zvládnutého procesu. LCL a UCL označují dolní a horní regulační

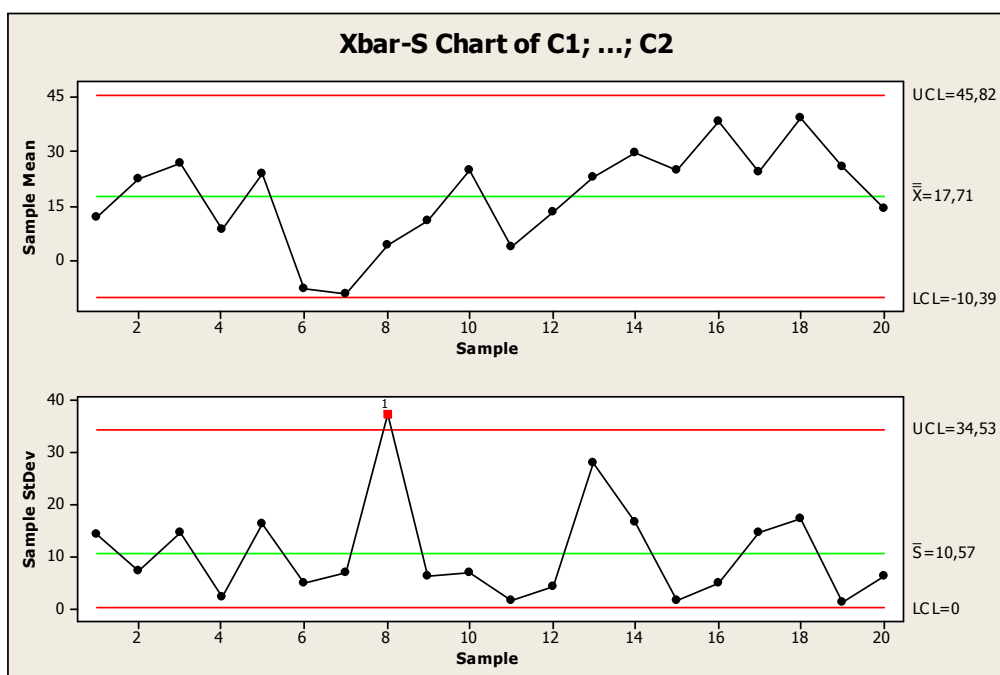
mez (Lower a Upper Control Limit). Regulační meze vymezují pásmo, v kterém působí pouze náhodné příčiny variability procesu. LCL a UCL jsou tzv. základním rozhodovacím kritériem, zda provést regulační zásah do procesu či ne. Proto se jim v praxi velice často říká akční meze. Dolní a horní regulační mez jsou ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od střední přímky – pravidlo 3σ [3]: „Pravděpodobnost, že normálně rozdělená veličina padne mimo interval $\pm 3\sigma$, je $2 \times 0,135 = 0,27\%$.“

V některých případech se do diagramu zakreslují také další dvě čáry UWL a LWL. Tyto čáry značí horní a dolní výstražné meze (Upper a Lower Warning Limit).

Ad A) Základní typy diagramů měření [3]:

- a) diagram pro průměr a diagram pro rozpětí ($\bar{X} - R$),
- b) diagram pro průměr a diagram pro směrodatnou odchylku ($\bar{X} - S$),
- c) diagram pro individuální hodnoty a diagram pro klouzavé rozpětí ($X_i - R$),
- d) diagram pro medián a diagram pro rozpětí ($\hat{X} - S$).

Diagramy měření jsou specializované na ukazatele polohy, kterými mohou být například průměrná hodnota znaku v podskupině nebo medián. Používají se pro zhodnocení, zda existuje skutečný posun v úrovni procesu (Graf 5.).



Graf 5. $\bar{X} - S$ diagram

2.1.2.1 Výpočtové vzorce pro diagramy:

Pro $\bar{X}$ diagram:

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (1)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \quad (2)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

3σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (5)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (6)$$

A_2 – součinitele získané z tabulek (Příloha 11.)

Pro S diagram:

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{s} \quad (7)$$

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (8)$$

3σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = B_4 \bar{s} \quad (9)$$

$$LCL = B_3 \bar{s} \quad (10)$$

B_3, B_4 – součinitele získané z tabulek (Příloha 11.)

Pro R diagram:

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{R} \quad (11)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (12)$$

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (13)$$

3 σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (14)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (15)$$

D_3, D_4 – součinitele získané z tabulek (Příloha 11.)

Pro X_i diagram:

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{x} \quad (16)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

3 σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = \bar{x} + E_2 \bar{R} \quad (18)$$

$$LCL = \bar{x} - E_2 \bar{R} \quad (19)$$

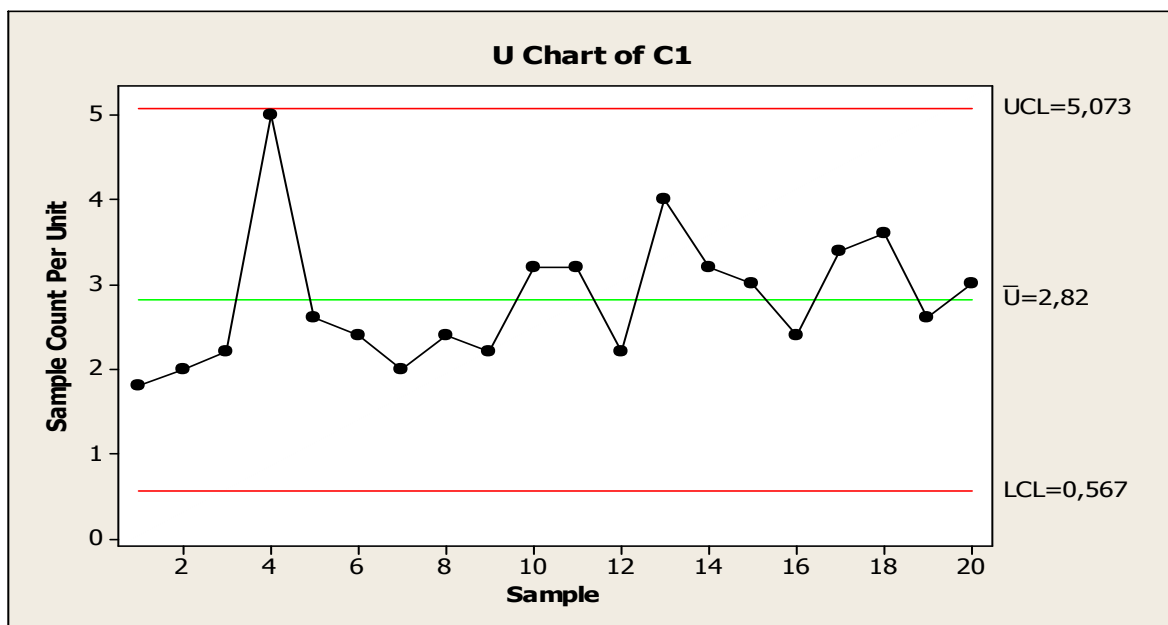
E_2 – součinitele získané z tabulek (Příloha 11.)

Ad B) Základní typy diagramů srovnáváním:

- a) p pro podíl neshodných jednotek,
- b) np pro počet neshodných jednotek,
- c) c pro počet neshod na jednotku,

d) u pro poměrný počet neshod na jednotku.

Diagramy srovnáváním se používají zásadně při sledování kvalitativního údaje, který představuje přítomnost (nepřítomnost) určitého znaku nebo vlastnosti. Při vykreslování srovnávacích diagramů se zásadně využívá jen jeden typ diagramů (Graf 6.) na rozdíl od diagramů měření, které využívají vždy dva diagramy ($\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$ atd.). Diagramy p a np se používají pro binomické rozdělení, c a u pro poissonovo rozdělení.



Graf 6. Diagram u

Výpočtové vzorce pro diagram:

Pro p diagram:

Průměrná hodnota podílu neshodných jednotek při konstantních i nekonstantních výběrech.

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{p} \quad (20)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{n} \quad (21)$$

p = počet neshodných jednotek

n = rozsah výběru

3σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (22)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (23)$$

Pro np diagram:

Počet neshodných jednotek ve výběru při konstantním rozsahu výběru.

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = n\bar{p} \quad (24)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{n} \quad (25)$$

p = počet neshodných jednotek

n = rozsah výběru

3σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (26)$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (27)$$

Pro c diagram:

Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách při konstantním rozsahu výběru.

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{c} \quad (28)$$

$$\bar{c} = \frac{\sum nc}{n} \quad (29)$$

c = počet neshodných jednotek

n = rozsah výběru

3 σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (30)$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (31)$$

Pro u diagram:

Průměrná hodnota počtů neshod na jednotku při konstantním i nekonstantním rozsahu výběru.

Centrální linie (CL) vypočítáme:

$$CL = \bar{u} \quad (32)$$

$$\bar{u} = \frac{\sum nu}{n} \quad (33)$$

u = počet neshodných jednotek

n = rozsah výběru

3 σ regulační meze (UCL, LCL):

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (34)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (35)$$

3 Plánování experimentů

3.1 Plánované experimenty a jejich popis

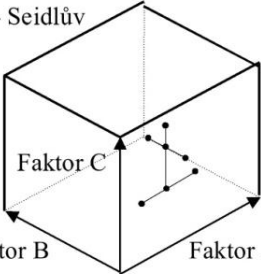
V posledních letech je věnována velká pozornost návrhu experimentu jako prostředku zlepšování jakosti průmyslových procesů. Návrh experimentu je ve světě spjat se jménem pana Taguchiho a v dnešní době také s panem Shaininem. Vznik se datuje přibližně v 19. století, kdy základy položil Ronald Aylmer Fisher (1890–1962), na které navázal G. Taguchi svoji filozofii a následně ji publikoval. Od roku 1965 se metoda úspěšně začala používat v Japonsku a až v roce 1980 také v USA. V roce 1985 byla zavedena také v Evropě a to v Německu [9].

Při hodnocení jakosti procesu jak už pomocí ztrátové funkce anebo pomocí indexu způsobilosti, je důležité posunutí střední hodnoty směrem k cílové hodnotě a minimalizovat variabilitu. Proto je hlavním cílem identifikovat faktory, jejichž vhodným nastavením se docílí požadovaných změn. K této identifikaci se v praxi využívají postupy z oblasti navrhování experimentů. Metody pro plánování experimentů se široce používají ve výzkumu i v průmyslové praxi. Umožňují naplánovat experiment tak, aby se získalo maximum informací při minimálních nákladech. Jsou prokazatelně efektivnější než přístupy založené na postupných změnách jednoho z faktorů či na metodě pokusů a omylů. Používají se jak k popisu procesu (zjištění faktorů s největším vlivem na sledovanou veličinu), tak i k optimalizaci procesu (nalezení optimálních úrovní jednotlivých faktorů).

V klasickém plánování zkoušek máme velký počet metod, s kterými se mohou výrobky, procesy a systémy systematicky vyšetřovat (Obrázek 11.). Od toho jsou faktorové plány zkoušek, také nazývány víceparametrické zkoušky. S nimi mohou být výrobky a procesy vyšetřovány za současného respektování několika ovlivňujících faktorů. Aby se náklady na zkoušky udrželi pokud možno minimální, jsou zvolena za faktory většinou dvě nastavení (předpoklad linearity) [9].

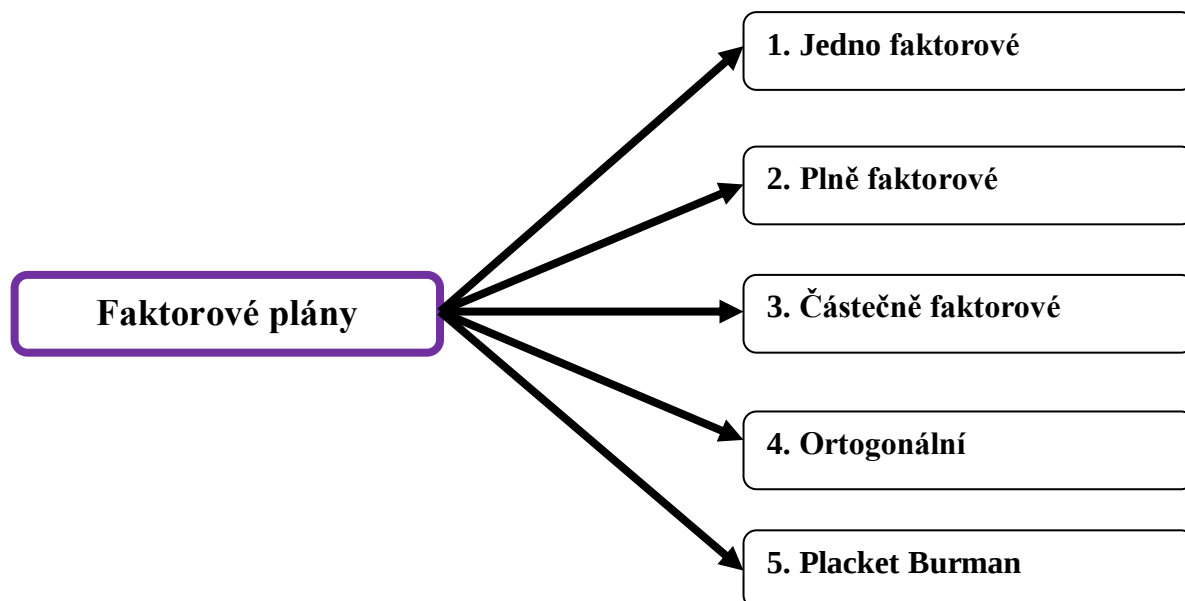
Kvadratické plány	Faktrové plány	Deterministické plány
Latin Square Graeco Latin Square Hyper Graeco Latin Square Youden Square Lattice Square Randomized Blocks	Jednofaktorové Plně faktorové Částečně faktorové Placket Burman Ortogonální	Gauss – Seidlův plán Gradientní plán Simplexní plán

Obrázek 11. Klasické plány zkoušek

Typ	Plán zkoušek	Poznámka																																																																								
Jednofaktorový	<table><tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>G</td></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>8</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr></table>		A	B	C	D	E	F	G	1	-	-	-	-	-	-	-	2	+	-	-	-	-	-	-	3	+	+	-	-	-	-	-	4	+	+	+	-	-	-	-	5	+	+	+	+	-	-	-	6	+	+	+	+	+	-	-	7	+	+	+	+	+	+	-	8	+	+	+	+	+	+	+	Výhoda: jednoduchá obsluha programu Nevýhoda: není možné poznat vzájemné působení
	A	B	C	D	E	F	G																																																																			
1	-	-	-	-	-	-	-																																																																			
2	+	-	-	-	-	-	-																																																																			
3	+	+	-	-	-	-	-																																																																			
4	+	+	+	-	-	-	-																																																																			
5	+	+	+	+	-	-	-																																																																			
6	+	+	+	+	+	-	-																																																																			
7	+	+	+	+	+	+	-																																																																			
8	+	+	+	+	+	+	+																																																																			
Plně faktorový	<table><tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>5</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>7</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>8</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr></table>		A	B	C	1	-	-	-	2	-	-	+	3	-	+	-	4	-	+	+	5	+	-	-	6	+	-	+	7	+	+	-	8	+	+	+	Výhoda: vysoká vypovídací schopnost Nevýhoda: velmi nákladné při vyšším počtu faktorů																																				
	A	B	C																																																																							
1	-	-	-																																																																							
2	-	-	+																																																																							
3	-	+	-																																																																							
4	-	+	+																																																																							
5	+	-	-																																																																							
6	+	-	+																																																																							
7	+	+	-																																																																							
8	+	+	+																																																																							
Částečně faktorový	<table><tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>G</td></tr><tr><td>1</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr><tr><td>5</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr><tr><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr></table>		A	B	C	D	E	F	G	1	+	+	+	+	+	+	+	2	+	+	+	-	-	-	-	3	+	-	-	+	+	-	-	4	+	-	-	-	-	+	+	5	-	+	-	+	-	+	-	6	-	+	-	-	+	-	+	7	-	-	+	+	-	-	+	8	-	-	+	-	+	+	-	Výhoda: nízký počet zkoušek při vysokém počtu faktorů Nevýhoda: špatný výsledek při podcenění vzájemných působení
	A	B	C	D	E	F	G																																																																			
1	+	+	+	+	+	+	+																																																																			
2	+	+	+	-	-	-	-																																																																			
3	+	-	-	+	+	-	-																																																																			
4	+	-	-	-	-	+	+																																																																			
5	-	+	-	+	-	+	-																																																																			
6	-	+	-	-	+	-	+																																																																			
7	-	-	+	+	-	-	+																																																																			
8	-	-	+	-	+	+	-																																																																			
Kvadratický	Faktor 2 <table><tr><td colspan="2"></td><th colspan="5">Faktor 1</th></tr><tr><td colspan="2"></td><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th></tr><tr><th>1</th><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td></tr><tr><th>2</th><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>A</td></tr><tr><th>3</th><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><th>4</th><td>D</td><td>E</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><th>5</th><td>E</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr></table> Latinsquare 5 x 5			Faktor 1							1	2	3	4	5	1	A	B	C	D	E	2	B	C	D	E	A	3	C	D	E	A	B	4	D	E	A	B	C	5	E	A	B	C	D	Výhoda: jednoduchá obsluha programu, jsou možná víc jak dvě nastavení Nevýhoda: možný pouze pro dva až tři faktory																												
		Faktor 1																																																																								
		1	2	3	4	5																																																																				
1	A	B	C	D	E																																																																					
2	B	C	D	E	A																																																																					
3	C	D	E	A	B																																																																					
4	D	E	A	B	C																																																																					
5	E	A	B	C	D																																																																					
Deterministický	Gauss - Seidlův 	Výhoda: sleduje optimální směr Nevýhoda: možný pouze pro dva až tři faktory, špatný výsledek podmíněný nelineárním průběhem cílové veličiny a výskytu lokálního optima vzájemného působení																																																																								

Obrázek 12. Klasické plánování zkoušek výhody a nevýhody [9]

Faktoriální plány se dělí na 5 druhů [9] (Obrázek 13.):



Obrázek 13. Faktorové plány

3.1.1 Faktorové plány

Jedno faktorový plán zkoušek

Výhodou tohoto plánu je bezpochyby jednoduchost obsluhy programu. Při každé zkoušce je pozměněn pouze jeden faktor. Z tohoto důvodu je patrné, že nelze poznat z experimentu vzájemné působení.

Plně faktorový plán

Oproti předchozímu plánu jsou podchyceny všechny možnosti. Jedna z nevýhod tohoto plánu je bezpochyby nákladnost zkoušky zapříčiněné velkým počtem zkoušek. Počet zkoušek prudce narůstá s přibývajícími faktory. Například pro 2 faktory musíme provést minimálně 4 zkoušky, pro 3 faktory 8 zkoušek, pro 4 faktory je nutno už provést 16 zkoušek. Zde je vidět strmost přibývajících zkoušek.

Částečně faktorový plán

Jedna z velkých výhod tohoto plánu je, že při vysokém počtu faktorů máme nízký počet zkoušek. Ale nesmíme podcenit vzájemné působení faktorů, které mohou výsledek velice ovlivnit.

Ortogonalní plán

Jedná se o takový plán experimentu, ve kterém všechny sloupce matice jsou na sebe kolmé a jsou nenulové.

Placket Burman

V praxi se moc nepoužívá a to z jednoho prostého důvodu, jen tehdy pokud jsou vzájemná působení velice malá.

3.1.2 Vlastnosti plánovaného experimentu

Co si pod slovem experiment vlastně představit? Dá se říct, že se jedná o změnu pracovních podmínek s cílem nalézt nejlepší pracovní postupy a také lépe poznat sledovaný proces [9]. Tradiční přístup je založen na vyhledávání faktorů, které mají vliv na případnou úroveň sledované veličiny. Pokud identifikujeme faktory měřitelné, je našim cílem stanovení nejpriznivějších podmínek, kdy střední hodnota sledovaného znaku odezvy je optimální. V praxi se ale často stává, že udržení některých faktorů na požadované úrovni je příliš náročné a takřka nemožné. Dalším známým modelem je také model složek rozptylu, který je využíván k identifikaci nejdůležitějších zdrojů variability sledované veličiny. U obvyklého procesu i experimentu se vyskytuje několik úrovní zkoumaného faktoru a cílem není určení optimální úrovně, ale realizovat taková opatření, aby rozdíly v hodnotách sledované odezvy při různých úrovních byli minimální. Experimenty mohou být:

- 1) Plánované.
- 2) Neplánované.

Rozdíl mezi těmito experimenty je ten, že plánovaný experiment se řídí plánem, který je předem vytvořen a je nutné se jím řídit. Neplánovaný není řízen plánem. Plán experimentu se skládá z počtu pokusů a podmínek, za kterých se jednotlivé pokusy uskutečňují. Důležité je hlavně dodržovat plán experimentu tak jak ho vygeneruje příslušný software. Po provedení experimentu je cílem:

- a) stanovit, které ze zahrnutých faktorů významným způsobem ovlivňují ukazatel kvality,
- b) určit optimální úrovně významných faktorů.

Obecně DOE přináší [7]:

- zlepšování (optimalizaci) jakosti,
- snižování nákladů,
- redukci % neshodných výrobků,
- vyšší spokojenost zákazníka.

Oblasti použití DOE:

- analytické simulace,
- návrh a vývoj výrobku,
- návrh a vývoj procesu,
- zlepšování procesu,
- testování a validace,
- řešení problémů s jakostí ve výrobě,
- efektivní použití SPC,
- pro analýzu a zlepšování systému měření (MSA).

3.2 Příprava experimentu

Prvním krokem při plánování experimentů je vytvoření týmu, součástí kterého by měli být odborníci a zástupci všech oddělení spojených s daným procesem. Pomocí brainstormingu je zvolen tým s počtem 2 – 15 lidí. V týmu je zvolen vedoucí, který debatu vždy vede a hledá odpovědi na základní otázky [9]:

- Jaký je cíl experimentu?
- Jaké jsou charakteristiky jakosti?
- Jaké faktory máme a jejich úroveň?

Výsledek plánovaného experimentu by měl vždy vést k dosažení definovaného cíle. Charakteristika jakosti následně slouží jako měřítko pro posouzení, zdali cíle byly dosaženy či ne. Také je výhodné, když jsou známy faktory a jejich vzájemné interakce, které nejpravděpodobněji ovlivňují danou charakteristiku jakosti. Znalost důležitých faktorů a jejich interakcí se využívá při dalším zdokonalování procesu. Například při provádění dalšího plánovaného experimentu je možné vyloučit faktory, o kterých víme, že jsou ze statistického hlediska nevýznamné a můžeme experiment rozšířit o další nové faktory. Je zřejmé, že pro firmu jedním experimentem nic nekončí. Je potřebné neustále

proces sledovat a vyhodnocovat. Předchozí znalost procesu nám jen napomůže při hledání optimálnějšího nastavení a celý proces tak urychlí.

4 Aktuální stav procesu

4.1 Aktuální proces lakování vzduchojemů

Pro důkladné pochopení procesu bylo nutné sestavit model, kterému se v praxi také říká procesní mapa (viz. kap. 2.1.1). Hlavním účelem procesní mapy je srozumitelně a správně znázornit prvky procesu. Pro správnost modelu je nutné dbát na pečlivost zpracování. Procesní mapa se dívá na výrobu produktů nebo dodání služeb z vyšší perspektivy, což je někdy při řešení problému velice výhodné.

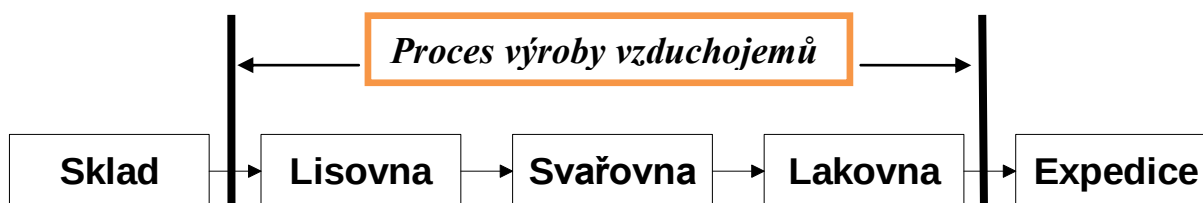
Jelikož práce je zaměřená na proces lakování, je zde uveden zjednodušený proces výroby vzduchojemů (Obrázek 14.). Proces výroby vzduchojemů se skládá ze vstupů, samotné výroby vzduchojemu a výstupu. Vstupními faktory jsou zde plech, hrdla, svařovací materiál a barvy, které se dále používají k výrobě vzduchojemů. Výstupem z procesu výroby je hotový a plně funkční vzduchojem připravený k expedici.



Obrázek 14. Proces výroby vzduchojemu

Samotný proces výroby vzduchojemu se skládá z dílčích procesů (Obrázek 15.):

- procesu lisování,
- procesu svařování,
- procesu lakování.



Obrázek 15. Proces výroby vzduchojemu

Kompletní proces výroby vzduchojemů je zobrazen v příloze (Příloha 1.). Do procesu lisování vstupuje válcovaný plech, z kterého jsou vytvořeny jednotlivé části doplněné o příslušné otvory pro hrdla. Každá dávka je řádně označena tak, aby nemohlo dojít k záměně. Obsluha

lisovny provádí vždy kontrolu prvního a posledního kusu dávky, kterou pak zaznamená do knihy měření. Pokud první a poslední kus je ve shodě se specifikacemi, obsluha dávku uvolní na další proces svařování. Výstupem z procesu lisování jsou:

- plášť vzduchojemu,
- rondel (Obrázek 17.).



Obrázek 16. Proces lisování



Obrázek 17. Rondel

Vstupními faktory do procesu svařování jsou plášť vzduchojemu, rondel, hrdla a svařovací materiál. Jednotlivé části vzduchojemů jsou svařováním zkompletovány a opatřeny přírubami. Svařené vzduchojemy obsluha zkontroluje, zdali je svar proveden kvalitně a jestli nedošlo k nějaké odchylce od požadovaných parametrů. Vzduchojemy jsou nyní otryskány, kde jsou zbaveny veškerých nečistot po svařování (viz. kap. 1.1.2.), která trvá přibližně 5 minut. Následuje 100% kontrola každého kusu tzv. tlaková zkouška, kde jsou vzduchojemy vystaveny vysokému tlaku 3 MPa po dobu 30 s, pomocí které se zjišťuje těsnost a kvalita svarů. Vzduchojemy, které zkouškou projdou a vyhoví daným požadavkům, jsou označeny

a operátorem uvolněny na další proces lakování. Výstupem z procesu svařování jsou funkční prověřené vzduchojemy bez povrchové úpravy.



Obrázek 18. Proces svařování

Poslední fáze výroby vzduchojemů je proces lakování. Vstupem do procesu lakování jsou otestované vzduchojemy bez povrchové úpravy, prášková barva a různé chemikálie. Vzduchojemy jsou přesunuty pomocí fosfátovacích vozíků do lakovny na fosfátování (viz. kap. 1.1.2). Celý proces fosfátování trvá přibližně 27 minut. Po ukončení fosfátování obsluha provede kontrolu fosfátu prvního kusu a záznam do příslušné knihy. Po provedení kontroly prvního kusu je dávka uvolněna obsluhou na další operaci tzv. vnitřní nástřik práškovou barvou (viz. kap. 1.2.1). Po nástřiku prvních 2 kusů jsou tyto kusy zkontrolovány, zdali se vrstva nachází v přijatelných mezích a posléze uvolněna celá dávka operátorem. Následuje vnější nástřik vzduchojemů, na kterých se provede pouze vizuální kontrola vrstvy prvních 5 kusů obsluhou lakovací kabiny. Pokud je nástřik rovnoměrný a v požadovaných mezích, obsluha spustí dopravník a vzduchojemy putují do vypalovací pece (viz. kap. 1.2.3). Po vytvrzení a ochlazení barvy vyjedou vzduchojemy do části haly (Obrázek 20.), kde jsou jednotlivé vzduchojemy kontrolovány obsluhou. Pracovníci kontrolují celkový vzhled, hrdla závitů, případné deformace vzduchojemů. Následně provedou kalibraci, zaslepení závitových hrdel. Zkontrolované vzduchojemy se označují indikačním štítkem INK-JET (Obrázek 21.). Výstup z lakovny je kompletní, funkční vzduchojem připravený k expedici. Celý proces lakování vzduchojemu trvá přibližně 1 hodinu a 40 minut. Jako poslední krok následuje balení a expedice.



Obrázek 19. Proces svařování

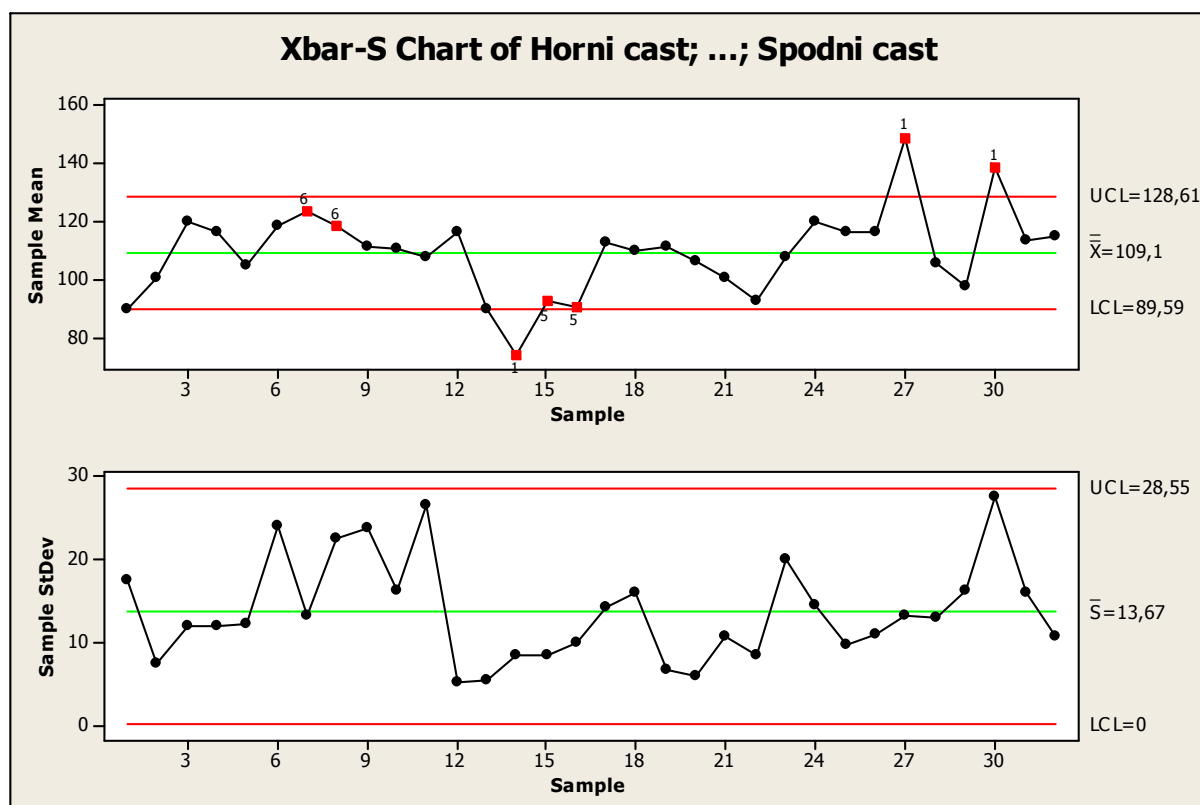


Pro posouzení procesu lakování bylo potřebné zjistit jeho aktuální stav. Pro zjištění v jakém stavu se proces lakování nachází, bylo nutné v prvé řadě určit, zdali je proces stabilní či ne.

K určení stavu je velice vhodný nástroj regulační diagram a následný výpočet indexů způsobilosti. Data získaná měřením tloušťky vrstvy barvy vždy na 5 místech po intervalech 30 minut, byla měřena na:

- horní části vzduchojemu,
- dolní části vzduchojemu,
- plášť vzduchojemu I.,
- plášť vzduchojemu II.,
- plášť vzduchojemu III..

Celkem bylo zaznamenáno 32 hodnot, které odpovídají 16 hodinám výroby (Graf 7.). Už z prvního pohledu se nejednalo o stabilní proces.



Graf 7. Regulační diagram procesu lakování

Sledovaný proces obsahuje odlehlé hodnoty mimo akční meze UCL a LCL, a proto nelze spočítat indexy způsobilosti procesu. Hodnoty mimo akční meze jsou výrazně posunuty od centrální linie, což značí velký rozptyl hodnot. Pro přehlednost je regulační diagram umístěn také v příloze ve zvětšeném formátu i s tabulkou hodnot (Příloha 3.). Příčiny bylo nutné nyní analyzovat a hlavně stabilizovat.

Je zřejmé, že proces lakování není příliš zvládnutý a je nutné se na něj zaměřit, protože je jednoznačné, že proces je centrovaný doprava od hodnoty, kterou by firma chtěla dosahovat (Target). Také rozptyl hodnot je neskutečně velký pohybující se v rozmezí od 60 μm do 160 μm . Je tedy zjevné, že je nezbytné minimalizovat variabilitu a snížit aritmetický průměr co nejnižší tak, aby firma neměla ztráty způsobené nadměrnou tloušťkou barvy.

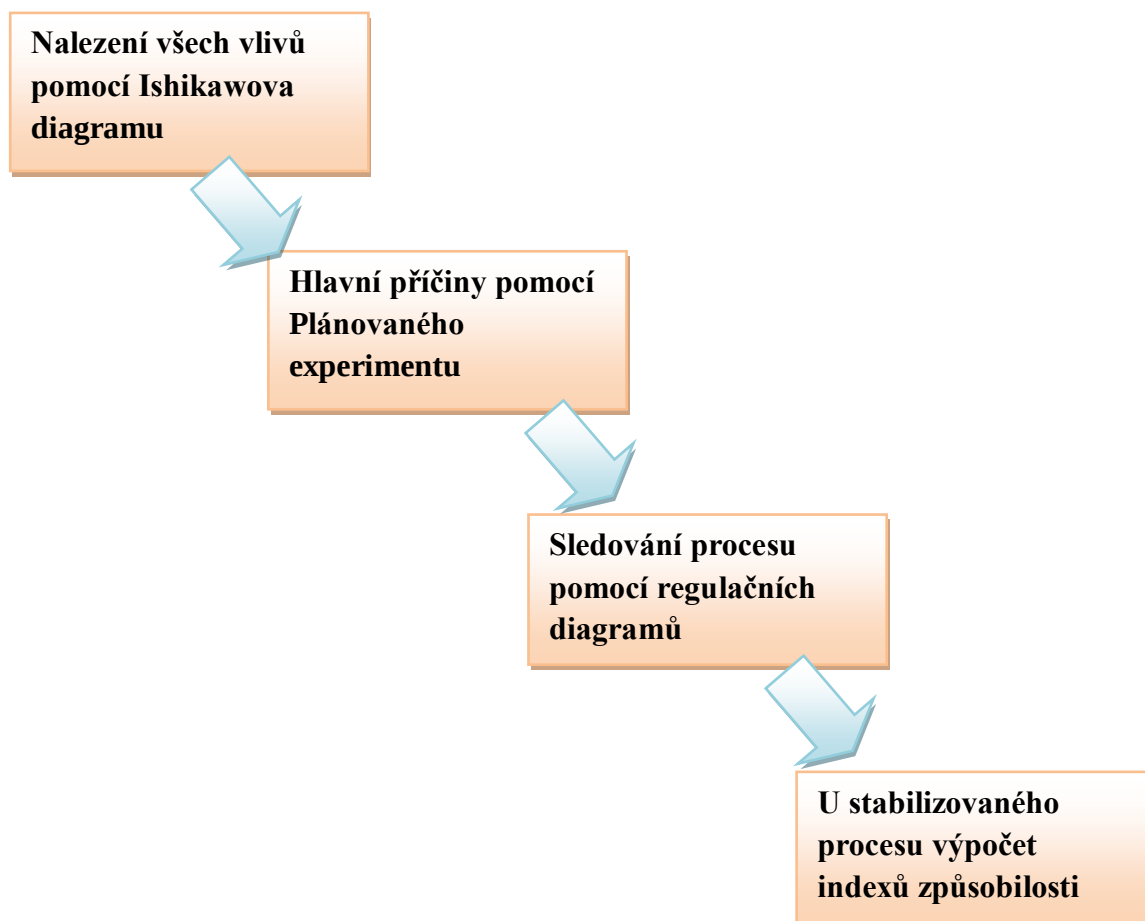
5 Návrh řešení ke stabilizaci procesu lakování

5.1 Postup ke stabilizaci procesu lakování

Jelikož na proces působí mnoho faktorů, které mohou ovlivnit daný proces lakování, je nutné posoudit, které z faktorů jsou rozhodující. Jako vhodná cesta k stabilizaci daného procesu je (3):

- a) **Nalezení všech vlivů ovlivňujících kvalitu** – například pomocí Ishikawova diagramu.
- b) **Vybrat hlavní příčiny** – například Plánování experimentů, Paretova analýza, Analýza rozptylu.
- c) **Trvalá kontrola a kontrola stability procesu** – například Regulační diagram.
- d) **Po stabilizaci provést** – Hodnocení způsobilosti.

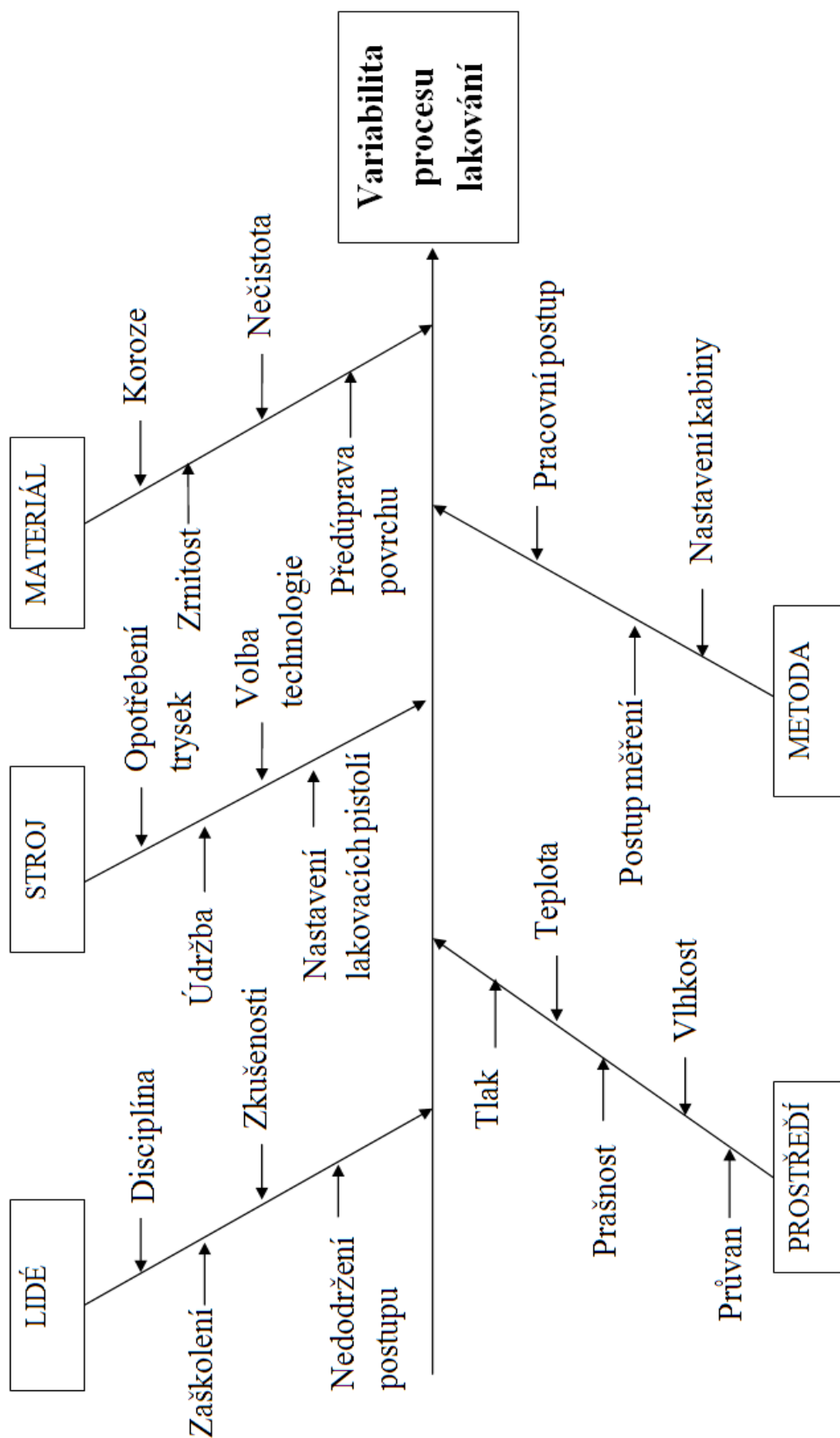
Pro stabilizaci procesu bude zvolen následující způsob (Obrázek 22.):



Obrázek 22. Postup ke stabilizaci procesu lakování

5.1.1 Nalezení všech vlivů ovlivňující kvalitu

Pro nalezení vlivů působících na proces lakování je nejvhodnějším nástrojem Ishikawův diagram (viz. kap. 2.1.1). K vytvoření diagramu se využil brainstorming, na kterém byly prodiskutovány a zvoleny všechny možné příčiny s přispěním technologa, mistra lakovny, seřizovače, technické kontroly a také údržbáře. Jednotlivé příčiny byly zakresleny do diagramu příčin a účinků (Obrázek 23.).



Obrázek 23. Ishikawův diagram

5.1.2 Výběr hlavních příčin

Určení hlavních příčin značné variability procesu lakování nebyl vůbec snadný, jelikož všechny faktory uvedené v diagramu (Obrázek 23.) do jisté míry daný proces mohou ovlivnit. Některé zvolené faktory nelze téměř ovlivnit, jako jsou například prostředí tedy tlak, vlhkost a podobně. Proto bylo cílem zaměřit se na takové vlivy, které pravděpodobně povedou k naplnění cíle této práce a budou regulovatelné. Experiment byl proveden na novější lakovací kabině (Obrázek 24.), kterou firma disponuje. Snahou je najít optimální nastavení faktorů ovlivňujících proces lakování, což by mělo vést ke stabilizaci procesu. Na základě Ishikawova diagramu se analyzovaly jednotlivé faktory dle zkušeností z provozu.



Obrázek 24. Lakovací kabina

Proč nalezení optimálního nastavení faktorů? Hlavně proto, že firma Worthington Cylinders a. s. pro daný typ vzduchojemu Volvo nemá dané standardní nastavení, které by seřizovači měli dodržovat a při případné odchylce jen korigovali. Seřizovači lakovací kabiny nastavují jednotlivé faktory podle zkušeností a to se zdá jako jedna z největších příčin značné variability. Pro získání optimálního nastavení se aplikoval již léta používaný nástroj plánování experimentu (viz. kap. 3).

Společně byly zvoleny nejdůležitější faktory:

- společný vzduch,
- tribo vzduch,
- rozprašování barvy z talířku,
- mezera mezi tryskou a tělesem trysky,
- zrnitost barvy,
- opotřebení trysky,
- nastavení pistolí.

5.1.3 Příprava plánovaného experimentu

Jelikož experiment by firmě snížil produkci vzduchojemů, domluva zněla realizovat experiment o víkendu, kdy je prováděno čištění a údržba strojů. Jedna z dalších podmínek kladené firmou bylo provést experiment tak, aby nedocházelo k výrobě zmetků.

V prvním kroku následovala definice cíle experimentu, volba hlavních faktorů a jejich úrovní. Cílem experimentu je nalezení optimálního nastavení faktorů lakovací kabiny tak, aby byla snížena variabilita procesu a také sníženy náklady za nadbytečnou barvu.

Z celkového výběru faktorů byl zvolen konečný výběr 4. faktorů dohodou všech stran a na základě doporučení seřizovačů a technologů. Hlavní 4. faktory, které daný proces lakování ovlivňují, jsou:

- 1) společný vzduch,
- 2) tribo vzduch,
- 3) zrnitost barvy,
- 4) opotřebení lapacích trysek.

Také byly nadefinovány úrovně faktorů, které stanovil opět seřizovač spolu s technologem. Hranice úrovní zvolili ze zkušeností tak, aby na vzduchojemech bylo případně více barvy a nedocházelo k výrobě zmetků. Tohle byla jedna z podmínek kladených firmou na realizaci experimentu. Jednotlivé úrovně jsou uvedené v tabulce (Tabulka 4.).

Tabulka 4. Hlavní faktory plánovaného experimentu a jejich úrovně

Faktor	MAX	MIN	POPIS
Společný vzduch	4,5 Nm ³ /h	4 Nm ³ /h	Slouží k nasávání prášku (princip Venturiho trubice), Společný vzduch = Dávkovací + dopravní vzduch
Tribo vzduch	2,5 Nm ³ /h	2 Nm ³ /h	Slouží k víření nasátého prášku a tím dochází ke zvýšení tření.
Zrnitost	Nová barva	Minimum barvy v zásobníku	Větší zrna získávají větší náboj a tím lépe ulpívají na vzduchojemu.
Opotřebení lapací trysky	Nové trysky	Opotřebené trysky	Opotřebením trysky se mění tlak a tím i rychlost proudění zrn.

5.1.4 Realizace experimentu

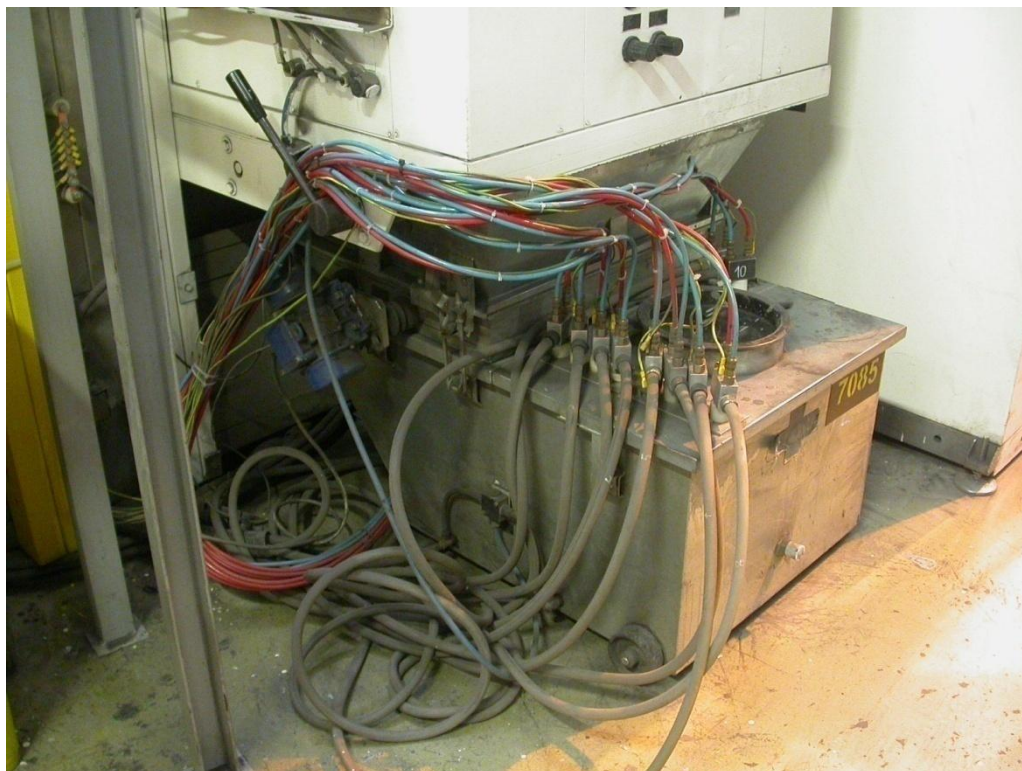
Experiment byl uskutečněn 1.12.2007 v sobotu, tak jak bylo dohodnuto s firmou. K tomu, aby experiment mohl být proveden bylo nutné si vytvořit plán experimentu pomocí softwaru MINITAB® Release verze 14.1.. Po zadání počtu faktorů, jejich úrovní a počtu opakování byl vytvořen minitabem plán experimentu (Obrázek 25.), který bylo nutné dodržovat. Kdyby nebyl plán dodržen, mohlo by dojít ke zkreslení výsledků, či nesprávnému popisu procesu.

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8-T
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Společný vzduch	Třibovzduch	Zrnitost	Opotřebení trysky
1	13	1	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Nové	Nové trysky
2	5	2	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
3	23	3	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
4	16	4	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Nové	Nové trysky
5	1	5	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
6	9	6	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Použité	Nové trysky
7	14	7	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Nové	Nové trysky
8	12	8	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Použité	Nové trysky
9	21	9	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
10	3	10	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
11	2	11	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
12	11	12	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Použité	Nové trysky
13	8	13	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
14	4	14	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
15	19	15	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
16	31	16	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Nové	Nové trysky
17	24	17	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
18	30	18	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Nové	Nové trysky
19	10	19	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Použité	Nové trysky
20	20	20	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
21	6	21	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
22	29	22	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Nové	Nové trysky
23	18	23	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
24	26	24	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Použité	Nové trysky
25	25	25	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Použité	Nové trysky
26	15	26	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Nové	Nové trysky
27	32	27	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Nové	Nové trysky
28	28	28	1	1	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Použité	Nové trysky
29	7	29	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
30	22	30	1	1	Max SPOL VZD	Min TRIB VZD	Nové	Opotřeb trysky
31	17	31	1	1	Min SPOL VDZ	Min TRIB VZD	Použité	Opotřeb trysky
32	27	32	1	1	Min SPOL VDZ	Max TRIB VZD	Použité	Nové trysky

Obrázek 25. Plán experimentu

Na začátku bylo nutné lakovací kabinu kompletně vyčistit a překontrolovat jednotlivé části, zdali nejsou některé poškozené nebo opotřebené po týdnu lakování. Po kontrole proběhlo ujasnění postupu, tak aby nedocházelo k problémům a experiment mohl být realizován.

Před zahájením experimentu byly předem připraveny dva lakovací vozíky, v kterých se nacházela lakovací prášková barva (Obrázek 26.). První vozík byl kompletně dosypán novou práškovou barvou. Druhý vozík obsahoval jen minimum barvy, převážně zrna, která neulpěla na lakovacím předmětu a byla odsáta zpět do vozíku. Takto odsátá zrna bývají převážně menší a při průchodu hadicí získávají malý náboj a tak špatně ulpívají na uzemněném předmětu.



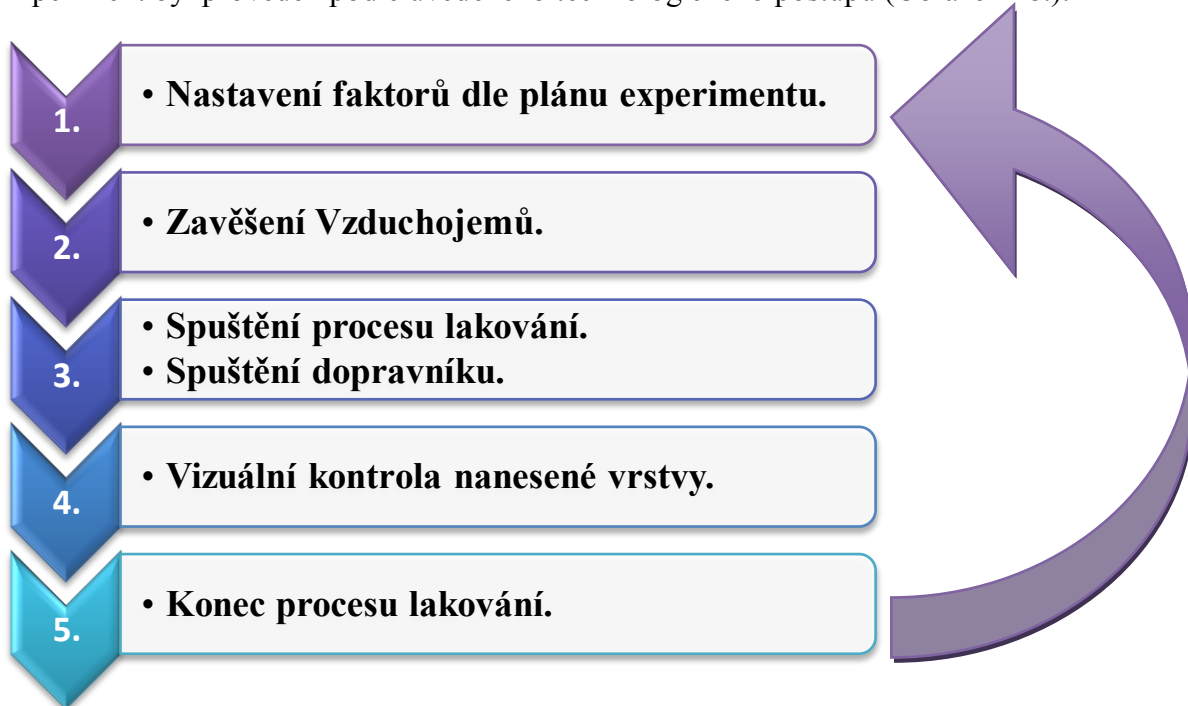
Obrázek 26. Lakovací vozík s práškovou barvou

Připraveny byly také dvě sady trysek (Obrázek 27.). Jedna sada obsahovala již použité do značné míry opotřeбенé trysky a druhá sada složená z úplně nových trysek.



Obrázek 27. Lapací trysky

Experiment byl proveden podle uvedeného technologického postupu (Obrázek 28.).



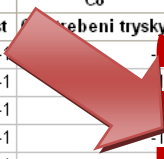
Obrázek 28. Technologický postup plánovaného experimentu

Po všech 32. nastaveních lakovací kabiny následoval poslední krok experimentu měření všech vzduchojemů a následná analýza získaných dat. Měření se provádělo pomocí přístroje DELTASCOPE® MP10E (viz. kap. 1.2.3). Každý vzduchojem byl měřen na 5 místech. Pro každé nastavení podle plánu se měřili 3 vzduchojemy typu Volvo. Hodnoty jednotlivých částí vzduchojemů byly zprůměrovány a tyto průměry představovaly výstupní veličinu pro dané nastavení (Červeně zvýrazněné) (Obrázek 29.).

Nastavení podle plánu:	Společný vzduch	Třibovzduch	Zrnitost	Opotřebení trysky		
	Max SPOL VZD	Max TRIB VZD	Nové	Nové trysky		
		Horní část	Plášť 1	Plášť 2	Plášť 3	Spodní část
1. vzduchojem	104	101	105	108	103	
2. vzduchojem	101	110	102	97	109	
3. vzduchojem	108	97	105	106	98	
Aritmetický průměr hodnot (Plášť 1 - 3)						
	Horní část	Plášť 1	Spodní část			
1. vzduchojem	104	104,7	103			
2. vzduchojem	101	103,0	109			
3. vzduchojem	108	102,7	98			
Průměr	104,3	103,4	103,3			

Obrázek 29. Připravená tabulka

Daný experiment se dal nyní vyhodnotit dvěma způsoby. Buď udělat aritmetický průměr z daných průměrů jednotlivých částí, nebo postupovat přesnější cestou. Pro daný problém byl zvolen druhý způsob. Data byla vyhodnocena pro jednotlivé části vzduchojemů a výsledek by měl vyjít pro všechny části stejný. Tedy budou vyhodnoceny jednotlivé části zvlášť, a pokud vyjdou všechny části stejně je to pro nás měřítko, že byl proveden experiment správně. Pokud během experimentu vnikla nějaká chyba, tzn., že experiment byl v podstatě špatně realizovaný, musel by být proveden znovu. Výsledné hodnoty (aritmetické průměry) byly zaokrouhleny a přepsány do minitabu. Pro přehlednost hodnoty doplněné do plánu jsou zvýrazněny červeně (Obrázek 30.).



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Společný vzduch	Tribo vzduch	Zrnitost	Prostředí trysky	Horní část	Plast	Dolní část
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	88,3	89,2	91,0
2	2	2	1	1	1	-1	-1	-1	105,7	104,7	104,3
3	3	3	1	1	-1	1	-1	-1	100,3	100,9	102,0
4	4	4	1	1	1	1	-1	-1	76,3	77,4	76,3
5	5	5	1	1	-1	-1	1	-1	106,3	105,3	105,7
6	6	6	1	1	1	-1	1	-1	90,3	90,3	89,0
7	7	7	1	1	-1	1	1	-1	89,0	90,0	88,7
8	8	8	1	1	1	1	1	-1	101,3	102,4	100,7
9	9	9	1	1	-1	-1	-1	-1	114,0	113,7	114,3
10	10	10	1	1	1	-1	-1	1	105,7	105,6	106,0
11	11	11	1	1	-1	1	-1	-1	97,7	96,7	97,0
12	12	12	1	1	1	1	-1	1	101,7	102,8	101,3
13	13	13	1	1	-1	-1	1	-1	109,3	108,8	108,7
14	14	14	1	1	1	-1	1	1	96,3	96,7	97,0
15	15	15	1	1	-1	1	1	-1	101,7	101,1	102,0
16	16	16	1	1	1	1	1	1	101,7	102,1	101,3
17	17	17	1	1	-1	-1	-1	-1	92,3	92,0	93,0
18	18	18	1	1	1	-1	-1	-1	94,3	93,6	93,0
19	19	19	1	1	-1	1	-1	-1	110,0	110,6	111,7
20	20	20	1	1	1	1	-1	-1	89,3	89,4	90,0
21	21	21	1	1	-1	-1	1	-1	84,7	85,0	85,3
22	22	22	1	1	1	-1	1	-1	92,3	91,8	91,3
23	23	23	1	1	-1	1	1	-1	95,7	96,7	96,3
24	24	24	1	1	1	1	1	-1	98,7	99,3	99,0
25	25	25	1	1	-1	-1	-1	-1	110,7	110,1	111,0
26	26	26	1	1	1	-1	-1	1	101,7	101,6	100,7
27	27	27	1	1	-1	1	-1	-1	109,3	109,7	110,0
28	28	28	1	1	1	1	-1	1	105,3	105,1	104,7
29	29	29	1	1	-1	-1	1	-1	109,0	109,6	112,7
30	30	30	1	1	1	-1	1	1	93,7	93,1	91,7
31	31	31	1	1	-1	1	1	-1	97,7	97,4	99,3
32	32	32	1	1	1	1	1	1	104,3	103,4	103,3

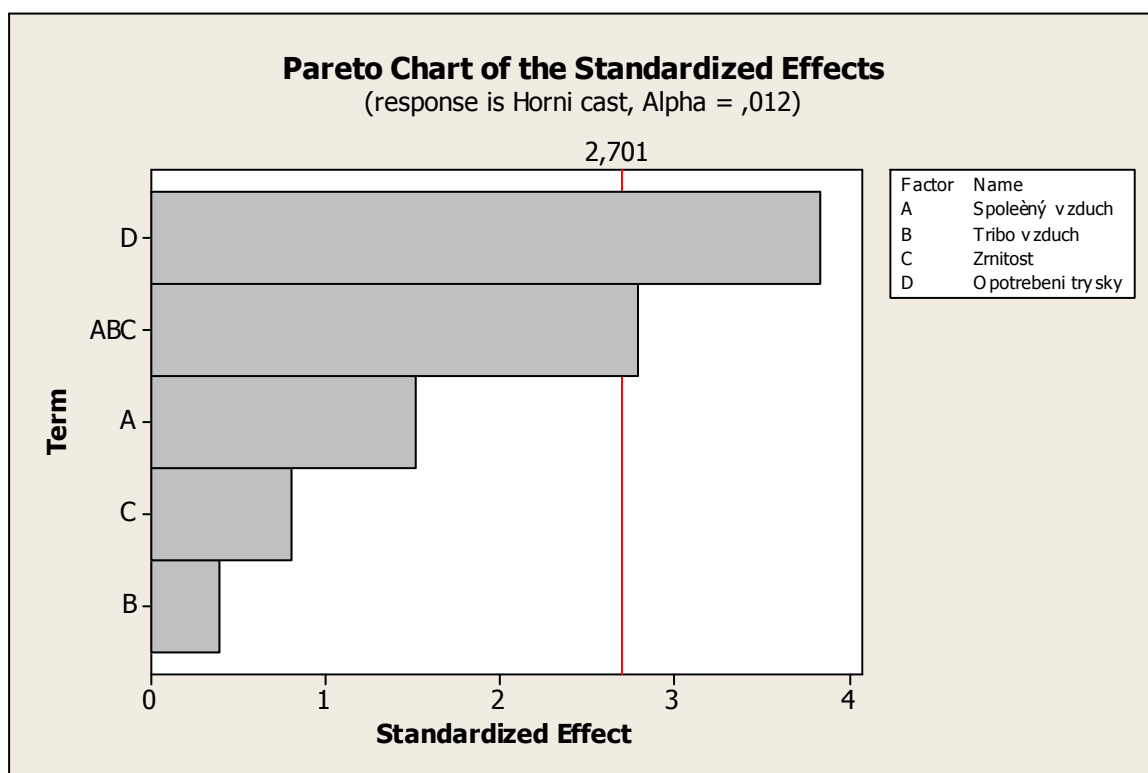
Obrázek 30. Plán experimentu s hodnotami

5.1.5 Vyhodnocení získaných dat

V první řadě byla použita analýza faktoriálního plánu (Analyze Factorial Design), pomocí které je možné rozhodnout o důležitosti faktorů a jejich případné interakce. Jako zobrazovací

nástroj byl použit Paretův diagram. Graf obsahuje významnou červenou čáru, která označuje kritickou hodnotu T-rozdělení, v tomto případě hodnotu 2,701. Ty obdélníčky, které přesahují kritickou hodnotu, jsou významné členy v modelu. V dalším kroku bylo nutné postupně odstranit faktory a interakce, které z 98,8% spolehlivostí nejsou významné. Jsou to ty členy, které nepřesahují kritickou hodnotu. Po odstranění faktorů jednoznačně vyplynulo, že s 98,8% spolehlivostí jsou nejvýznamnější členy v modelu faktory opotřebení trysky a interakce společného vzduchu, tribo vzduchu a zrnitosti (Graf 8.). Toto rozhodnutí lze provést také po zhlédnutí P hodnot, které nám minitab spočítal (Příloha 4. - 6.). Významné členy v modelu jsou ty, které mají P hodnotu menší jak 0,012. Model pro proces lakování vypadá následovně (Vzorec 35.):

$$Y = 9,062 \cdot \text{Opotřebení trysky} + 6,587 \cdot \text{Společný vzduch} \cdot \text{Tribo vzduch} \cdot \text{Zrnitost} \quad (35)$$



Graf 8. Paretova analýza po odstranění faktorů

Minitab také spočítal adekvátnost modelu, kterou vyjádřil opět pomocí P hodnoty. V případě, že bychom neměli opakovaná měření, tak minitab neumí adekvátnost modelu vyjádřit. Protože měření jsou opakovaná je minitab schopen adekvátnost posoudit. Pokud P hodnota vyjde větší jak 0,012 pak je model adekvátní. V tomto případě je hodnota $P = 0,171$,

což značí adekvátnost modelu. Hodnota je počítána z dvou rozptylů Lack of fit a Pure Error, které vzájemně podělí a porovná s kritickou hodnotou F- rozdělení. Jelikož P hodnota je větší, jak 0,012 pak vyplývá, že dané rozptyly jsou od sebe nevýznamně různé (adekvátní model).

$$F = \frac{s_R^2}{s_E^2} \quad (36)$$

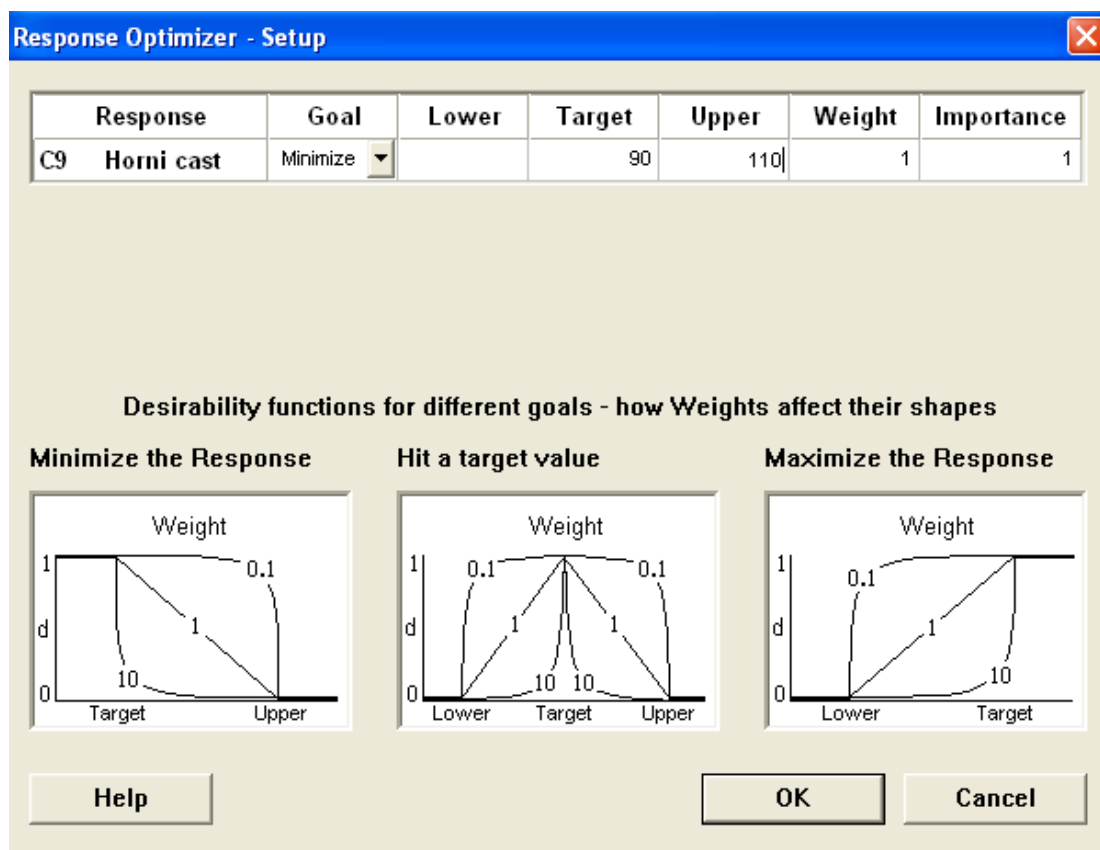
$$s_E^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (p_i - n)} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{p_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (37)$$

$$s_R^2 = \frac{1}{n-k} \cdot \sum_{i=1}^n p_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (38)$$

- Kde:
 - n... je počet úrovní měření,
 - p_i...počet opakovaných měření na úrovni,
 - $\bar{y}_i$...průměrná hodnota z modelu,
 - $\hat{y}_i$...vypočtená hodnota z modelu,
 - k...počet členů v modelu.

- s_R^2 je rozptyl značený jako Lack of fit,
- s_E^2 je rozptyl značený jako Pure Error.

Z paretova diagramu jasně vyplynulo, že je nutné se zaměřit hlavně na lapací trysky a interakci společného vzduchu, tribo vzduchu a zrnitosti. Pro nalezení optimálního nastavení lakovací kabiny bylo nezbytné zjistit nejvhodnější hodnoty jednotlivých faktorů. Protože je cílem udržet tloušťku barvy co nejbližší hodnotě 60 μm, je potřebné hledat optimum všech faktorů tak, aby bylo docíleno výstupní hodnoty co nejbližší této hodnotě. Hledané optimální nastavení bylo provedeno pomocí minitabu, který umí dané minimum vypočítat. Z obrázku je také možné zjistit, jak se změní výstupní hodnota při změně určitého faktoru či více faktorů. Daná funkce se jmenuje Response Optimizer (Obrázek 31.). V první řadě se zadala výstupní veličina, tedy změřené tloušťky vrstvy pro jednotlivé části vzduchojemu.



Obrázek 31. Nabídka minitabu pro výpočet optimálního nastavení

Potřebné bylo také doplnit Target a Upper hodnoty a v nabídce goal (Obrázek 31.) nastavit hledané Minimize. Target je cílová hodnota, kterou by chtěli dosáhnout a Upper horní hranice jenž nechtějí překročit. Úsilí firmy je pohybovat se v rozmezí od 90 μm do 110 μm , a proto jsou hodnoty Target 90 μm a Upper 110 μm (Obrázek 31.).

Po doplnění potřebných údajů minitab dané optimum spočítal. Optimální nastavení vypočítal pro všechny 4. faktory a zobrazil je ve formě obrázku. Z výpočtu vyplynulo, že optimální nastavení lze získat jen tehdy, pokud je nastavení totožné se zobrazeným obrázkem (Obrázek 32.). Při tomto optimálním nastavení by docílili výstupní hodnoty přibližně 89,1 μm . Jelikož nelze v praxi dodržet, aby barva a trysky byly neustále nové, bude i součástí práce vytvořená tabulka optimálních nastavení faktorů tak, aby vždy tloušťku udrželi v přijatelné mezi. Optimálnější nastavení zobrazené ve formě tabulky bude využíváno při nastavování lakovací kabiny.



Tabulka 5. Optimální nastavení vypočtené pomocí minitabu

<u>Společný vzduch:</u>	4,5 Nm ³ /h
<u>Tribo vzduch:</u>	2 Nm ³ /h
<u>Zrnitost:</u>	Nová barva
<u>Trysky:</u>	Opotřebené trysky
<u>Výstupní hodnota:</u>	89,1 μm

Určené optimální nastavení by firma měla využívat a držet se tabulky (Příloha 8.), čímž docílí snížení variability. Je důležité, aby vždy po výměně trysek či dosypání barvy upravili tlaky tak, jak je uvedené v tabulce (Tabulka 6.). Z experimentu vyplynulo, že se musí nastavovat správný poměr tlaků při různých kombinacích nastavení. Při nesprávném poměru společného vzduchu a tribo vzduchu by mohlo dojít k vysokému nárůstu výstupní hodnoty. Například kdyby seřizovač nastavil společný vzduch na minimum, tribo na minimum, při dosypané nové

barvě a nových tryskách by výstupní tloušťka vycházela přibližně 109,3 μm , což by vedlo k nárůstu o 20 μm od hodnoty, kterou je firma schopna docílit.

Tabulka 6. Nastavení faktorů při spuštění lakovací kabiny

Nová barva	Opotřebení trysky	Společný vzduch [Nm³/h]	Tribo vzduch [Nm³/h]	Výstupní hodnota [μm]
	Opotřebené	4,5	2	89,1
	Nové	4,5	2	98,2

V této fázi již zbývalo dané nastavení otestovat v praxi a zjistit, zdali plánovaný experiment vedl ke stabilizaci procesu lakování a zmenšení variability. Pokud se dané nastavení osvědčí v praxi, tak by firma měla provést nový experiment s širším rozsahem tlaků. Z 3D grafu totiž vyplynulo, že pokud by zvětšili společný vzduch nad maximum a tribo vzduch by snížili pod minimum tak by tloušťka měla klesnout ještě níž, než nám nyní minitab spočítal. Tím by si firma mohla ještě snížit náklady za nadbytečnou barvu na vzduchojemech.

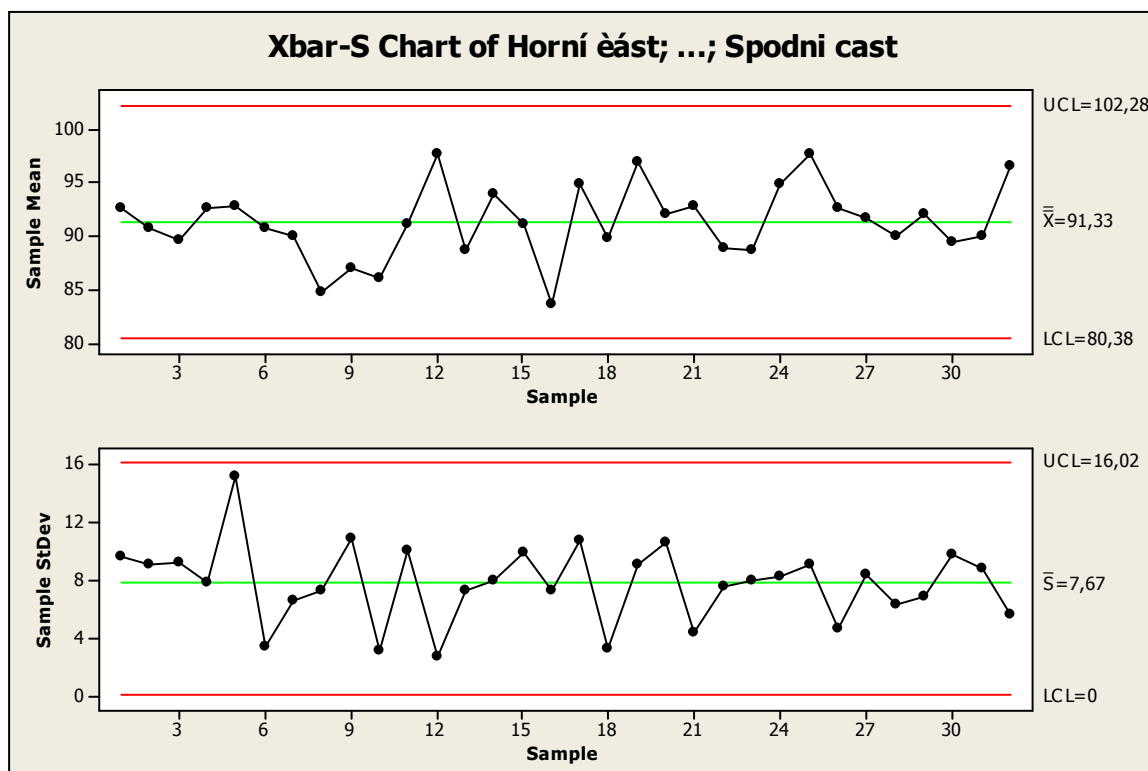
5.2 Trvalá kontrola a kontrola stability procesu

Pomocí plánovaného experimentu bylo zjištěno optimální nastavení stroje a její případné korekce (Příloha 7.). Ověření experimentu bylo provedeno na stejném pracovišti, na stejném stroji i za spolupráce stejného seřizovače. Jako první krok byla seznámena obsluha s výsledky experimentu a případné nejasnosti prodiskutovány. Seřizovač obdržel navrhnutý a minitabem spočítaný návod ve formě tabulky, kterou využíval pro ověření správnosti experimentu.

Lakovací stroj byl nastaven podle vypočtené tabulky a mohl být proces lakování spuštěn. Následovalo zaznamenávání naměřených hodnot v časových intervalech po 30 minutách. Hodnoty byly zaznamenávány a následně přepsány do minitabu, pomocí kterého byly data

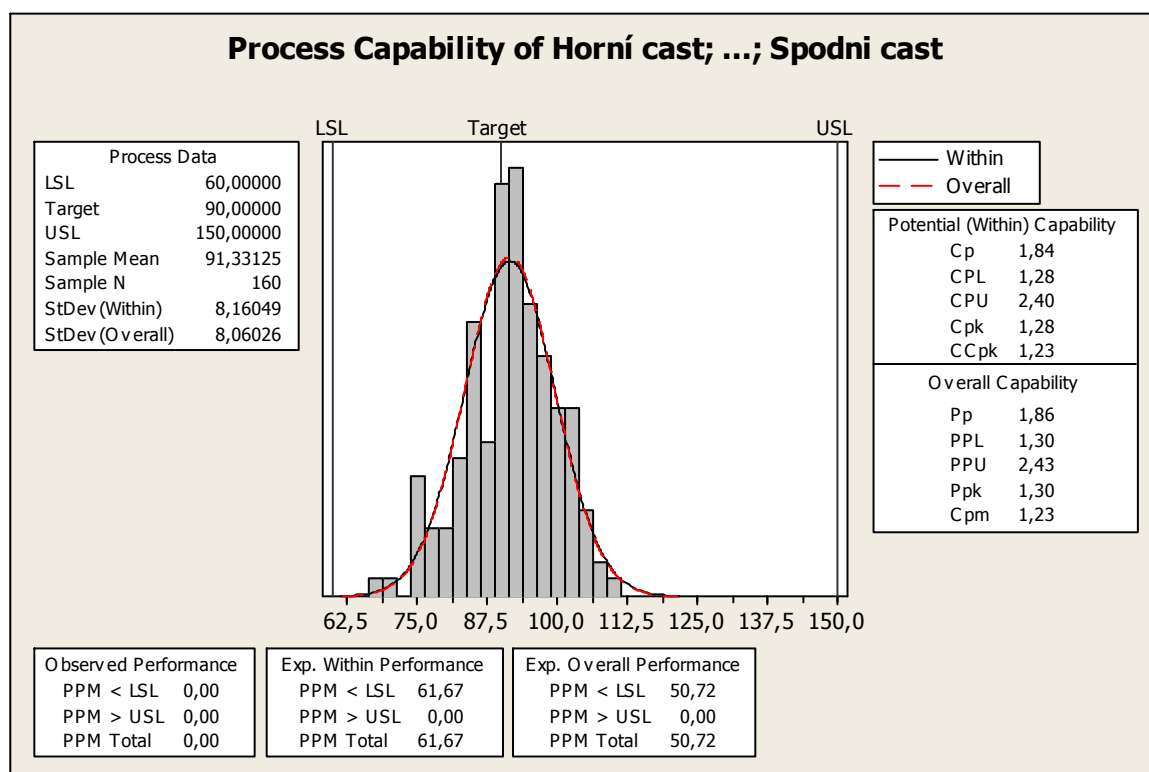
vyhodnocena a vykreslen $\bar{X} - S$ diagram, z kterého se stanoví, zdali bylo dosaženo hlavního cíle.

Z diagramu již na první pohled bylo zřejmé, že proces se stabilizoval a dokonce i průměrná hodnota se zmenšila na přijatelných 91,3 μm (Graf 9.). Je vidět, že experiment splnil svou úlohu a nyní je nutné, aby firma vypočtené nastavené zavedla jako standart pro lakování vzduchojemů Volvo.



Graf 9. Regulační diagram $\bar{X} - S$ při ověření experimentu

Také vypočtené indexy způsobilosti jasně ukazují, že proces se stabilizoval (Graf 10.). Hodnota $c_{pk} = 1.28$ což značí výrazný posun ve snížení variability. A definovaná Target hodnota byla v tuto chvíli v podstatě totožná s průměrem naměřených hodnot. Také byla vypořazována občasná vysoká variabilita mezi horní a dolní částí vzduchojemu. Protože seřizovači pracují pod neustálým tlakem a jsou nuceni vše dělat v plné rychlosti, je nutné, aby při čištění kabiny a rozbíhání nové dávky dbali zvýšené opatrnosti při nastavování horních a dolních pistolí, jelikož někdy dochází k velké variabilitě. Proces je nutný dále sledovat a získaná data analyzovat, zdali se návrh dlouhodobě osvědčí.



Graf 10. Indexy způsobilosti při ověření experimentu

6 Závěr

V současné době v důsledku velké konkurence se většina firem v České republice potýká s existenčními problémy. Firmy jsou nyní nuceny se soustředit na neustálé zlepšování procesů a hlavně snížení veškerých nákladů na minimum. Prioritou dnešní doby je bezpochyby vyrábět produkty co možná v nejkratším možném čase a co s nejmenšími vynaloženými náklady, tedy hledat co nejúčinnější způsoby výroby při zachování vysoké kvality žádané zákazníkem.

Díky velké proměnlivosti procesu lakování se společnost Worthington Cylinders a.s. rozhodla danou problematiku začít řešit a to prostřednictvím této diplomové práce. Práce byla zaměřena pouze na jeden typ vzduchojemů VOLVO s cílem nalézt možné faktory, které daný proces lakování ovlivňují a pokusit se o minimalizaci značné variability. Jedna z možných cest vedla přes nalezení optimálního nastavení lakovací kabiny tak, aby byla tloušťka barvy neustále udržována v přijatelných mezích a zamezit tak nadbytečnému plýtvání zdrojů způsobených nadbytečnou barvou.

Proces lakování se nejprve analyzoval proto, aby bylo zjištěno v jakém stavu se sledovaný proces nachází. Pro zjištění aktuálního stavu procesu lakování byly použity nástroje $\bar{X} - S$ regulační diagram, histogram a indexy způsobilosti c_p a c_{pk} . Z analýzy vzešel jednoznačný výsledek, kde byla potvrzena realita popsaná firmou před zahájením projektu. Nestabilita procesu je způsobená převážně značnou variabilitou a byla prokázána na základě vypočtených indexů způsobilosti:

- $c_p = 1,05$,
- $c_{pk} = 0,98$,
- rozpětí hodnot od 60 μm do 160 μm .

Z rozptylu hodnot bylo zřejmé, že společnost Worthington Cylinders a.s. vynakládá zbytečné náklady za nadbytečnou barvu. Proto se přistoupilo k analýze příčin a návrhu opatření, které by zmenšily variabilitu a především, aby se proces stabilizoval. K analýze příčin byl použit Ishikawův diagram. Pomocí brainstormingu byly navrženy všechny možné příčiny a na závěr zvoleny čtyři hlavní faktory, které z největší pravděpodobností ovlivňují proces lakování. Byly zvoleny faktory společný vzduch, tribo vzduch, zrnitost a lapací trysky.

Pro nalezení optimálního nastavení se použil osvědčený nástroj plánování experimentů, pomocí kterého byly zjištěny závislosti faktorů na výstupní hodnotě. Výpočet optimálního nastavení bylo provedeno pomocí software MINITAB® Release verze 14.1.. Z experimentu jednoznačně vyplynulo, že společnost je schopná dosahovat průměrné tloušťky barvy 89,1 μm při optimálním nastavení:

- **Společný vzduch** 4,5 Nm^3/h ,
- **Tribo vzduch** 2 Nm^3/h ,
- **Zrnitost** Nová barva,
- **Lapací trysky** Opotřeбенé.

Nyní zbývalo vypočtené nastavení ověřit v praxi. Optimální nastavení ve formě tabulky obdrželi seřizovači lakovací kabiny a přistoupilo se k ověření experimentu. Byla provedena následná analýza s použitím $\bar{X} - S$ diagramu, indexy způsobilosti a výsledky porovnány s předchozími hodnotami. Z výsledků jednoznačně vyplynulo:

- stabilizace procesu ($c_{pk}=1,28$),
- snížení aritmetického průměru o 18 μm ,
- pokles variability o 50 μm ,
- snížení nákladů za nadbytečnou barvu.

Díky experimentu došlo k výraznému posunu procesu směrem doleva, což firmě jednoznačně sníží náklady za nadbytečnou barvu. Přispěl také ke snížení variability, která se nyní pohybuje v rozmezí 50 μm . Diplomová práce splnila svůj cíl a hlavně ukázala cestu, jakou lze postupovat k řešení daného problému. Tedy přínosy pro firmu Worthington Cylinders a. s. jsou:

- stabilita procesu,
- snížení variability,
- snížení nákladů,
- zjištění standardního nastavení lakovací kabiny,
- znalost interakcí,
- lepší znalost procesu.

Je nutné, aby firma optimalizované nastavení zavedla jako standard, kterým by se seřizovači museli řídit a v případě odchylky jen korigovali. Firma je nyní schopna docílit vrstvy barvy pohybující se kolem hodnoty 90 μm . Ale při výměně lapacích trysek se doporučuje nastavit

faktory podle tabulky uvedené v příloze (Příloha 7.), protože při nesprávném nastavení dochází k vysokému nárůstu vrstvy barvy. Výsledné optimální nastavení faktorů lze také vyčíst z 3D nebo 2D grafů zobrazených v příloze (Příloha 9., 10.). Pokud se dané nastavení dlouhodobě osvědčí ve výrobě, měla by firma provést nový experiment s využitím většího rozsahu tlaků a rozšířit novými faktory. Z přiložených grafů lze vyčíst, že případným zvýšením společného vzduchu nad maximum a snížením tribo vzduchu pod minimum, by tloušťka barvy měla poklesnout ještě níž, než daný experiment prokázal.

Diplomová práce jednoznačně splnila svůj cíl, ale i přesto je nutné, aby firma proces neustále monitorovala a data vyhodnocovala. Prvním experimentem pro firmu nic nekončí. Říká se, že prvním experimentem bývá zjištěno obvykle jen 25 % dosažitelných informací. Proto je nutné provést nový experiment s novými faktory a s využitím předchozích znalostí procesu.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Worthington Cylinders a. s.* [online]. 2006 [cit. 2008-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.wthg.cz/>>.
- [2] BARTES, František. *Quality Management : Řízení jakosti*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 109 s. ISBN 80-86510-92-1.
- [3] TOŠENOVSKÝ, Josef, NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava : MONTANEX a.s., 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
- [4] FIALA, Alois. *Statistické řízení procesů*. 1995. vyd. Brno : [s.n.], 1995. 78 s.
- [5] MELOUN, Milan, MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat : Metody a řešené úlohy*. 2002. vyd. [s.l.] : Academia, 2002. 755 s.
- [6] JAROŠOVÁ, Eva. Analýza experimentu pro robustní návrh. *Eva Jarošová* [online]. 2007 [cit. 2007-02-14], s. 1-11. Dostupný z WWW: <<http://www.statspol.cz/request/request2006/sbornik/jarosova.pdf>>.
- [7] MAROŠ, Bohumil. Konference WITNESS 2006. *Plánování experimentu* [online]. 2006 [cit. 2006-05-30], s. 1-4. Dostupný z WWW: <<http://www2.humusoft.cz/www/akce/witkonf06/prispevky/pdf/maros.pdf>>.
- [8] *PQM : Process Quality Management* [online]. Firma P.Q.M., 2001 [cit. 2007-07-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.pqm.cz/main.htm>>.
- [9] BLECHA, P., VAVŘÍK, I. Řízení a zabezpečování jakosti. *Design of experiments (DOE)* [online]. 2006 [cit. 2006-03-29], s. 1-29. Dostupný z WWW: <<http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/opory/jakost/doe.pdf>>.
- [10] PEKÁRKOVÁ, Lucie. *Techniky modelování a optimalizace podnikových procesů*. Brno, 2007. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ráček Jaroslav. Dostupný z WWW: <http://is.muni.cz/th/60555/fi_m/DP-pekarkova.doc>.
- [11] *Práškové lakování v kostce* [online]. Press Agency spol. s r.o., 2006 , 11.11.2006 [cit. 2006-11-11]. Český. Dostupný z WWW: <http://www.salum.cz/cz_press.htm>.
- [12] *Systém managementu jakosti* [online]. Český institut pro akreditaci (ČIA), 2004, 2008 [cit. 2004-06-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/kvalita-jakost/system-managementu-jakosti/1000513/16924/>>.
- [13] *Prominent* [online]. 2007 [cit. 2008-01-01]. Dostupný z WWW: <http://www.prominent-km.cz/fa_fischer/>.
- [14] CHRÁST, Vlastimil. *Ochrana proti korozi, způsoby ochrany proti korozi, charakteristika a ekologické aspekty*, ústní sdělení, 2007.

[15] ŠČERBEJOVÁ, Marta. *Předúprava povrchů*, ústní sdělení, 2007.

8 Seznam použitých zkratk a symbolů

USA	Spojené státy americké
LPG	Zkapalněný ropný plyn
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní normy vydané International Organization for Standardization
ISO/TC	Technická komise normalizační organizace ISO
RAL	Vzorník barev
NCS	Natural Color Systém
BS	Britisch Standard
UV	Ultrafialové záření
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
HCL	Kyselina chlorovodíková
H ₃ PO ₄	Kyselina fosforečná
Pb	Olovo
Cr	Chrom
Zn	Zinek
Cd	Kadmium
LCD	Liquid Crystal Display (Displej s tekutými krystaly)
SPC	Statistical Process Control
CL	Central Line (Střední čára)

LCL	Lower Control Limit (Dolní regulační mez)
UCL	Upper Control Limit (Horní regulační mez)
UWL	Upper Warning Limit (Horní výstražná mez)
LWL	Lower Warning Limit (Dolní výstražná mez)
σ	Sigma
$\bar{x}$	Aritmetický průměr
$\bar{\bar{x}}$	Aritmetický průměr z $\bar{x}$
X_{Max}	Maximální hodnota souboru
X_{min}	Minimální hodnota souboru
R	Rozpětí
s^2	Výběrový rozptyl
s	Směrodatná odchylka výběrového souboru
$\bar{s}$	Průměrná hodnota směrodatné odchylky
$\hat{x}$	Medián
p	Počet neshodných jednotek
$\bar{p}$	Průměrná hodnota podílu neshodných jednotek
np	Počet neshodných jednotek
$\overline{np}$	Průměrná hodnota podílu neshodných jednotek
c	Počet neshodných jednotek
$\bar{c}$	Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách
u	Počet neshodných jednotek

$\bar{u}$	Průměrná hodnota počtů neshod na jednotku
DOE	Design of Experiments (Plánovaný experiment)
MSA	Analýza systémů měření
C_p, C_{pk}	Indexi způsobilosti procesu
Tzv.	Tak zvaný(á,é,í)
Tzn.	To znamená
Atd.	A tak dále
MAX	Horní úroveň
MIN	Dolní úroveň
TRIBO	Elektrokinetické nabíjení
TRIBO vzduch	Vzduch sloužící k víření zrn v lakovací pistoli
s_R^2	Rozptyl Lack of fit
s_E^2	Rozptyl Pure Error
Target	Cílová hodnota
3D	Trojrozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
H.Č.	Horní část
P.1.	Plášť číslo 1.
P.2.	Plášť číslo 2.
P.3.	Plášť číslo 3.
D.Č.	Dolní část

9 Seznam příloh

Příloha 1. Proces výroby vzduchojemů

Příloha 2. Proces výroby vzduchojemů od firmy Worthington Cylinders a.s.

Příloha 3. Regulační diagram aktuálního stavu a tabulka hodnot

Příloha 4. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro Horní část vzduchojemu

Příloha 5. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro Plášť vzduchojemu

Příloha 6. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro Dolní část vzduchojemu

Příloha 7. Tabulka optimálních nastavením při změně faktoru

Příloha 7. Tabulka optimálních nastavením při změně faktoru

Příloha 8. Přehled kombinací nastavení lakovacího stroje

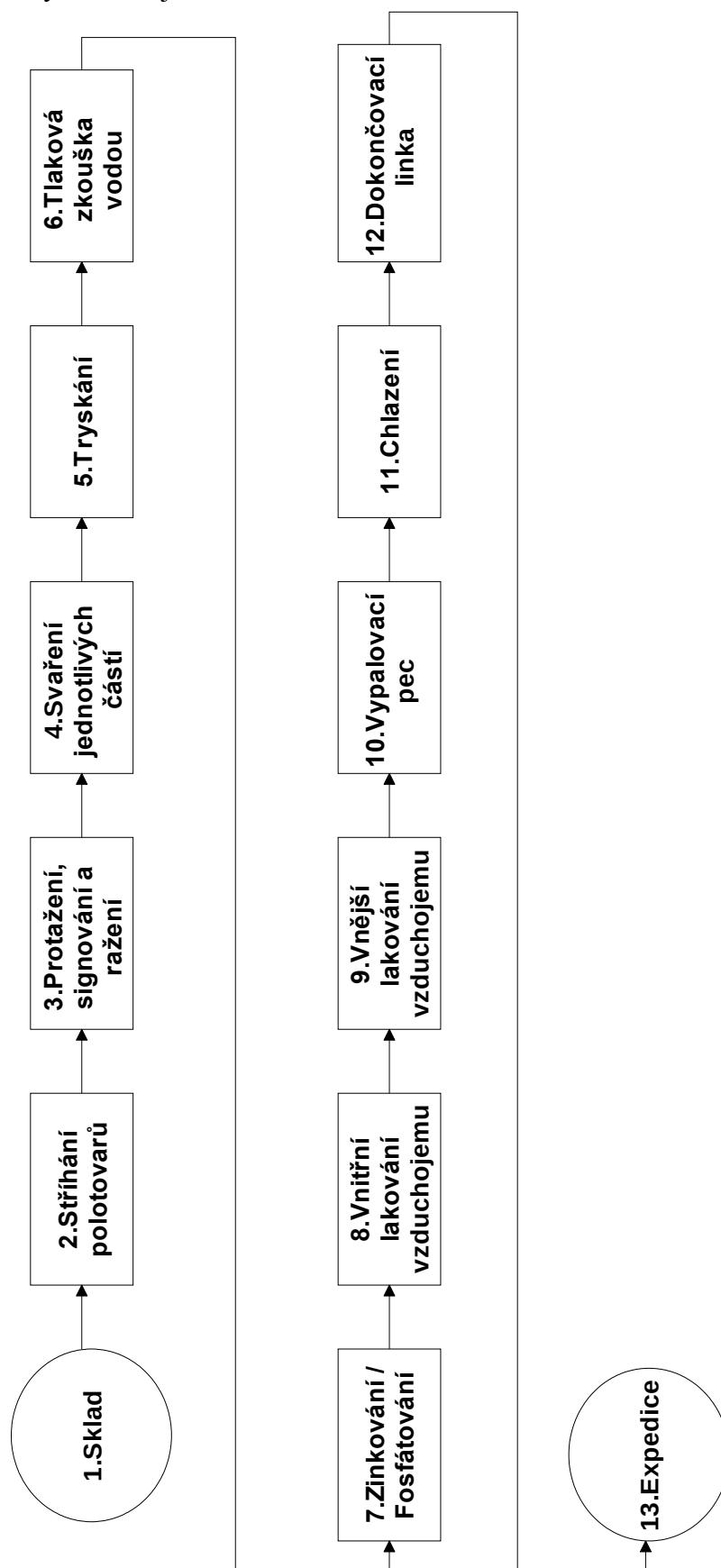
Příloha 9. Grafická závislost mezi faktory v 3D

Příloha 10. Grafická závislost mezi faktory v 2D

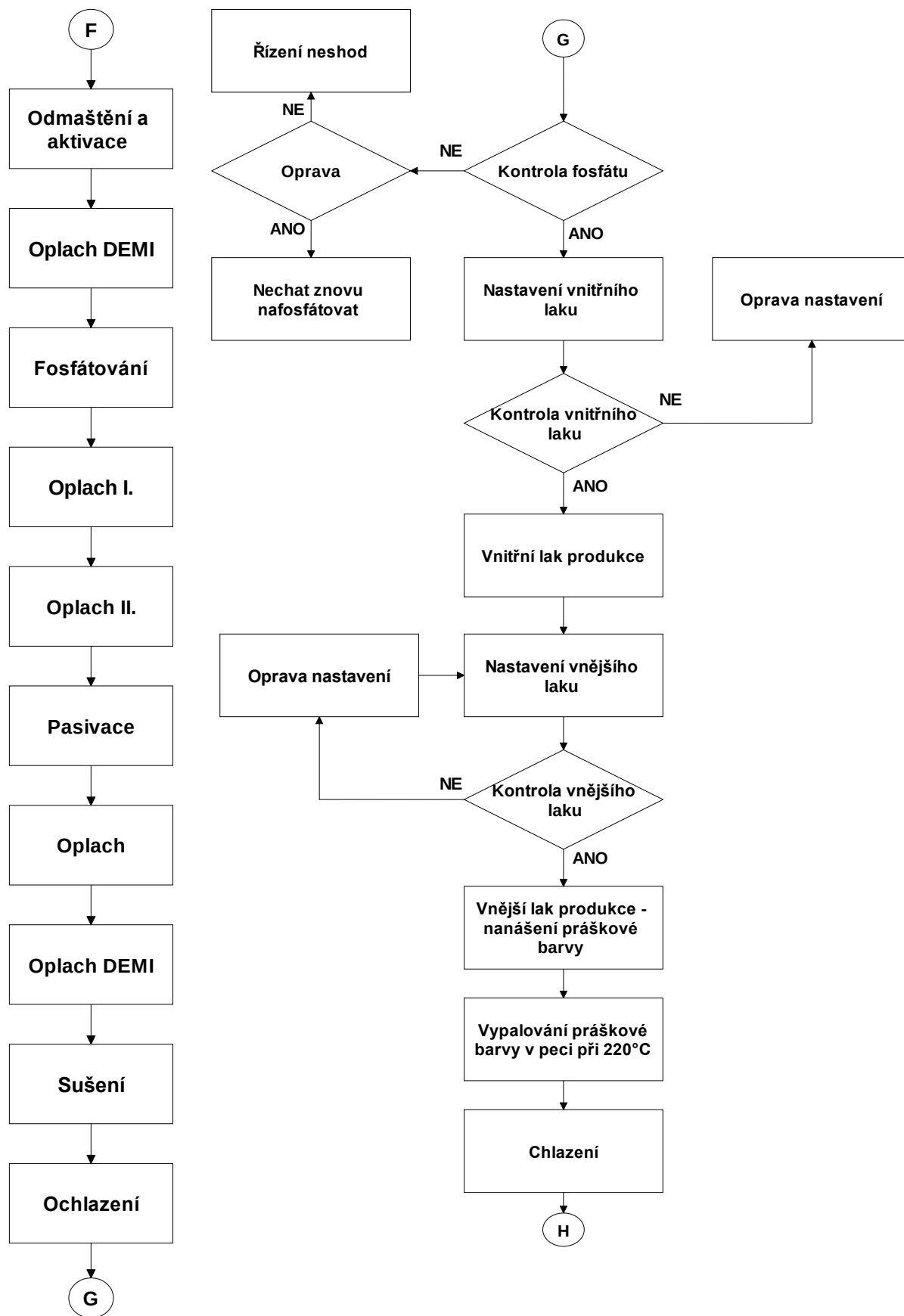
Příloha 11. Součinitelé pro výpočet CL, LCL a UCL u Shewhartových diagramů

Příloha 12. Data naměřená při ověřování návrhu

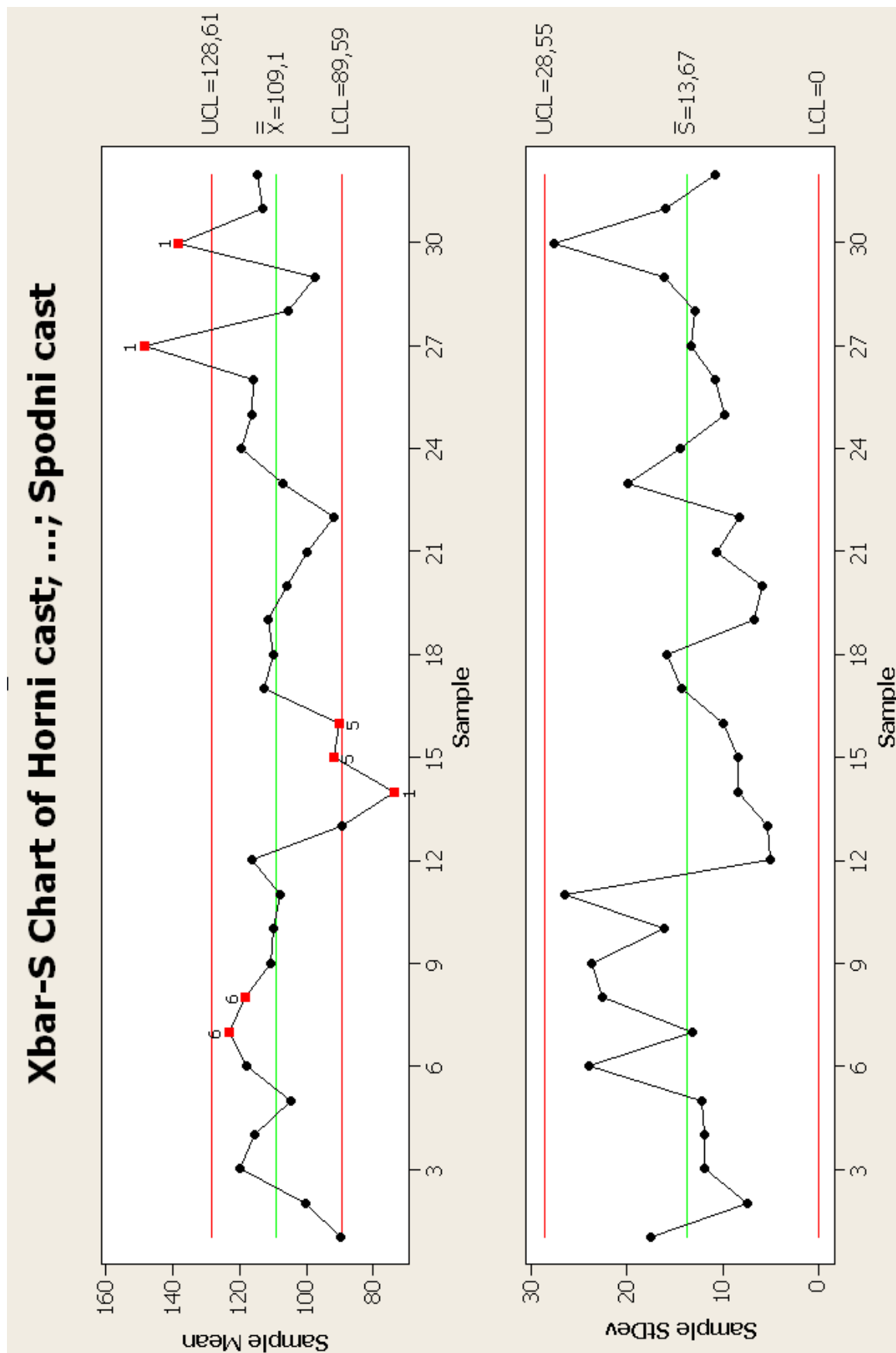
Příloha 1. Proces výroby vzduchojemů



Příloha 2. Proces výroby vzduchojemů od firmy Worthington Cylinders a.s.



Příloha 3. Regulační diagram aktuálního stavu a tabulka hodnot



Příloha 3. Pokračování - Tabulka hodnot

č.	H.Č.	P.1	P.2	P.3	D.Č	$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	R	S	$\bar{S}$
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
1.	74	87	102	113	73	89,8	109,1	40	17,5	13,7
2.	106	92	109	101	94	100,4		17	7,4	
3.	111	104	128	132	125	120,0		28	11,9	
4.	126	100	122	125	106	115,8		26	12,0	
5.	88	118	115	104	99	104,8		30	12,2	
6.	87	115	108	130	151	118,2		64	24,0	
7.	104	123	121	140	129	123,4		36	13,1	
8.	81	124	119	126	142	118,4		61	22,6	
9.	70	118	113	123	130	110,8		60	23,7	
10.	90	114	97	120	129	110,0		39	16,2	
11.	65	122	101	118	133	107,8		68	26,5	
12.	124	112	119	113	114	116,4		12	5,0	
13.	89	85	95	95	84	89,6		11	5,3	
14.	75	68	70	88	68	73,8		20	8,4	
15.	95	87	97	101	80	92,0		21	8,4	
16.	98	74	89	98	93	90,4		24	9,9	
17.	93	103	127	123	117	112,6		34	14,2	
18.	85	111	127	119	107	109,8		42	15,8	
19.	109	120	102	111	115	111,4		18	6,7	
20.	103	105	116	105	101	106,0		15	5,8	
21.	84	102	96	106	112	100,0		28	10,7	
22.	94	81	90	91	104	92,0		23	8,3	
23.	98	113	134	111	80	107,2		54	19,9	
24.	120	100	136	112	131	119,8		36	14,5	
25.	100	125	122	116	119	116,4		25	9,8	
26.	101	118	130	120	111	116,0		29	10,8	
27.	128	153	163	145	155	148,8		35	13,3	
28.	90	100	125	109	104	105,6		35	12,9	
29.	70	105	112	101	100	97,6		42	16,1	
30.	97	123	153	160	159	138,4		63	27,6	
31.	90	104	129	120	123	113,2		39	15,9	
32.	105	103	128	122	116	114,8		25	10,8	

Příloha 4. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro horní část vzduchojemu

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4; 16
Runs: 32 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: Horni cast versus Společ ný vzduch; Tribo vzduch; ...

Estimated Effects and Coefficients for Horni cast (coded units)

Term	Effect	Coef	SE	Coef	T	P
Constant		99,206		1,182	83,90	0,000
Společ ný vzduch	-3,588	-1,794		1,182	-1,52	0,141
Tribo vzduch	-0,913	-0,456		1,182	-0,39	0,703
Zrnitost	-1,913	-0,956		1,182	-0,81	0,426
Opotrebeni trysky	9,062	4,531		1,182	3,83	0,001
Společ ný vzduch*Tribo vzduch* Zrnitost	6,587	3,294		1,182	2,79	0,010

S = 6,68892 R-Sq = 49,56% R-Sq(adj) = 39,86%

Analysis of Variance for Horni cast (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	795,9	795,9	198,98	4,45	0,007
3-Way Interactions	1	347,2	347,2	347,16	7,76	0,010
Residual Error	26	1163,3	1163,3	44,74		
Lack of Fit	10	595,6	595,6	59,56	1,68	0,171
Pure Error	16	567,6	567,6	35,48		
Total	31	2306,4				

Unusual Observations for Horni cast

Obs	StdOrder	Horni cast	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	4	76,300	90,088	2,896	-13,787	-2,29R
21	21	84,700	99,263	2,896	-14,563	-2,42R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Příloha 5. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro plášť vzduchojemu

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4; 16
Runs: 32 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: Plast versus Společ ný vzduch; Tribo vzduch; ...

Estimated Effects and Coefficients for Plast (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		99,253	1,173	84,64	0,000
Společ ný vzduch	-3,594	-1,797	1,173	-1,53	0,138
Tribo vzduch	-0,381	-0,191	1,173	-0,16	0,872
Zrnitost	-1,881	-0,941	1,173	-0,80	0,430
Opotrebeni trysky	8,681	4,341	1,173	3,70	0,001
Společ ný vzduch*Tribo vzduch*	6,406	3,203	1,173	2,73	0,011
Zrnitost					

S = 6,63369 R-Sq = 48,19% R-Sq(adj) = 38,22%

Analysis of Variance for Plast (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	735,7	735,7	183,93	4,18	0,010
3-Way Interactions	1	328,3	328,3	328,32	7,46	0,011
Residual Error	26	1144,2	1144,2	44,01		
Lack of Fit	10	609,0	609,0	60,90	1,82	0,137
Pure Error	16	535,1	535,1	33,44		
Total	31	2208,2				

Unusual Observations for Plast

Obs	StdOrder	Plast	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	4	77,400	90,663	2,872	-13,263	-2,22R
11	11	96,700	109,344	2,872	-12,644	-2,11R
21	21	85,000	99,163	2,872	-14,163	-2,37R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Příloha 6. Vypočtené P hodnoty z minitabu pro dolní část vzduchojemu

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4; 16
Runs: 32 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: Dolni cast versus Společ ný vzduch; Tribo vzduch; ...

Estimated Effects and Coefficients for Dolni cast (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		99,322	1,190	83,49	0,000
Společ ný vzduch	-4,944	-2,472	1,190	-2,08	0,048
Tribo vzduch	-0,694	-0,347	1,190	-0,29	0,773
Zrnitost	-2,144	-1,072	1,190	-0,90	0,376
Opotrebeni trysky	8,981	4,491	1,190	3,77	0,001
Společ ný vzduch*Tribo vzduch*	6,531	3,266	1,190	2,75	0,011
Zrnitost					

S = 6,72965 R-Sq = 50,94% R-Sq(adj) = 41,51%

Analysis of Variance for Dolni cast (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	881,4	881,4	220,36	4,87	0,005
3-Way Interactions	1	341,3	341,3	341,26	7,54	0,011
Residual Error	26	1177,5	1177,5	45,29		
Lack of Fit	10	592,2	592,2	59,22	1,62	0,188
Pure Error	16	585,2	585,2	36,58		
Total	31	2400,2				

Unusual Observations for Dolni cast

Obs	StdOrder	Dolni cast	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	4	76,300	89,819	2,914	-13,519	-2,23R
11	11	97,000	110,275	2,914	-13,275	-2,19R
21	21	85,300	99,844	2,914	-14,544	-2,40R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Příloha 7. Tabulka optimálních nastavením při změně faktoru

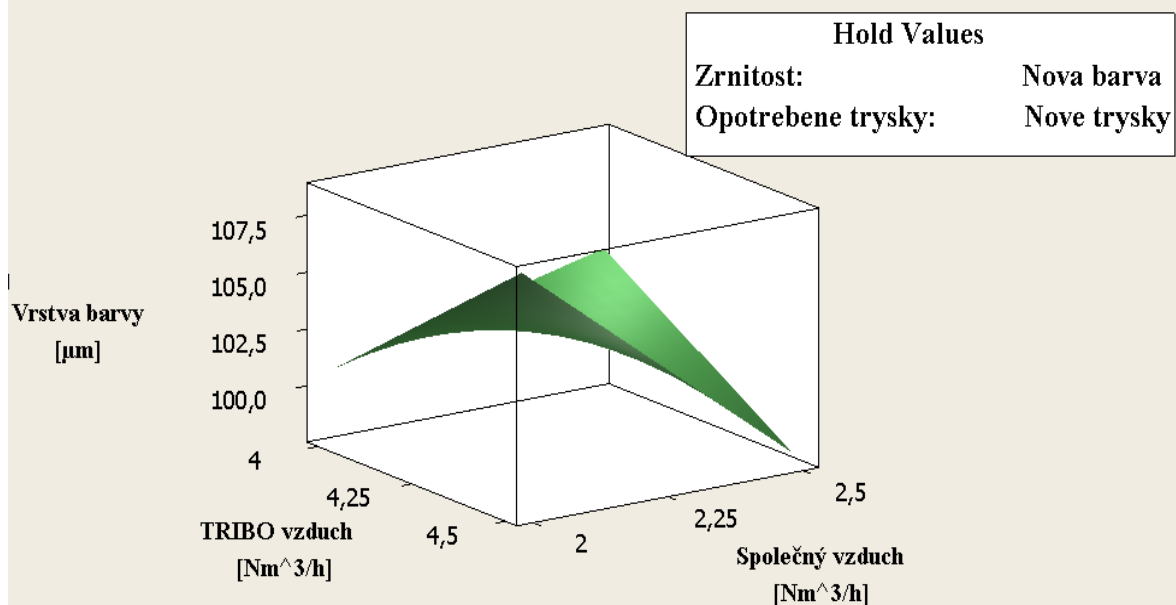
Nové trysky	Zrnitost	Společný vzduch [Nm³/h]	TRIBO vzduch [Nm³/h]	Výstupní hodnota [μm]
	Nová barva	4,5	2	98,2
	Minimum barvy	4,5	2,5	99,2
Opotřebené trysky	Zrnitost	Společný vzduch [Nm³/h]	TRIBO vzduch [Nm³/h]	Výstupní hodnota [μm]
	Nová barva	4,5	2	89,1
	Minimum barvy	4,5	2,5	90,1

Příloha 8. Přehled kombinací nastavení lakovacího stroje

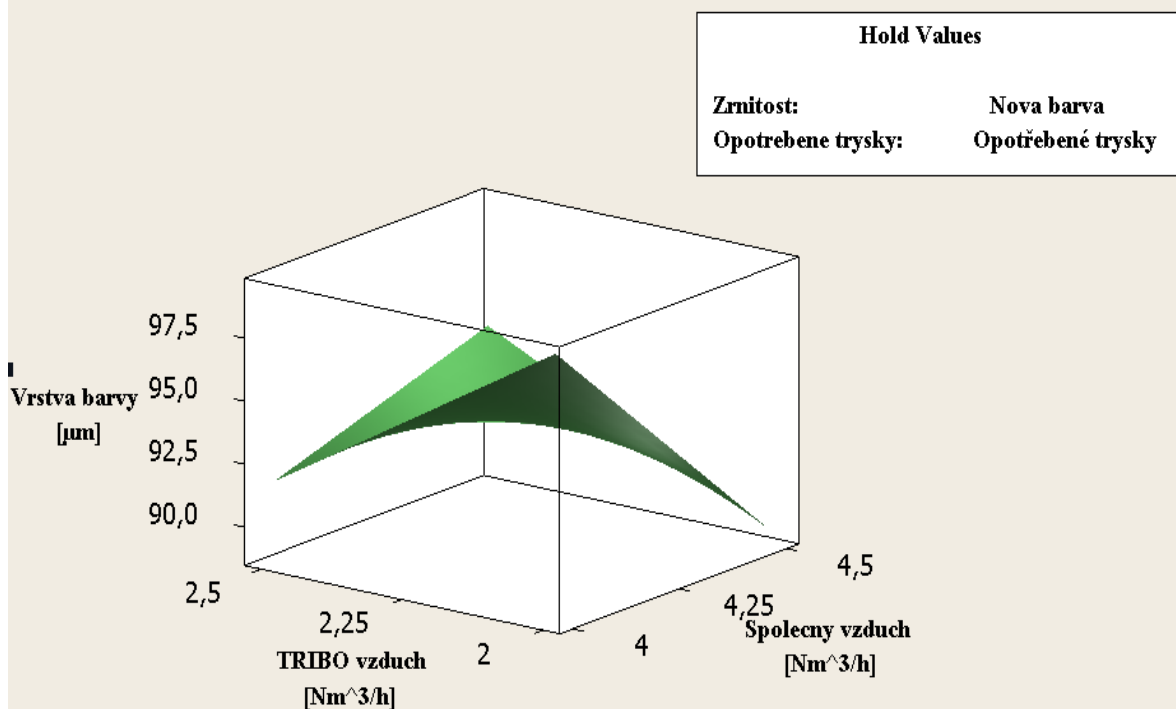
Nové trysky	Společný vzduch [Nm³/h]	TRIBO vzduch [Nm³/h]	Zrnitost	Výstupní hodnota [μm]
	4,5	2	Nová barva	98,2
	4,5	2,5	Minimum barvy	99,2
	4	2,5	Nová barva	100,8
	4	2	Minimum barvy	103,7
	4,5	2,5	Nová barva	103,8
	4,5	2	Minimum barvy	106,7
	4	2	Nová barva	108,3
	4	2,5	Minimum barvy	109,3
	Společný vzduch [Nm³/h]	TRIBO vzduch [Nm³/h]	Zrnitost	Výstupní hodnota [μm]
Opotřebené trysky	4,5	2	Nová barva	89,1
	4,5	2,5	Minimum barvy	90,1
	4	2,5	Nová barva	91,5
	4	2	Minimum barvy	94,6
	4,5	2,5	Nová barva	94,8
	4,5	2	Minimum barvy	97,6
	4	2	Nová barva	99,3
	4	2,5	Minimum barvy	100,3
	Společný vzduch [Nm³/h]	TRIBO vzduch [Nm³/h]	Zrnitost	Výstupní hodnota [μm]

Příloha 9. Grafická závislost mezi faktory v 3D

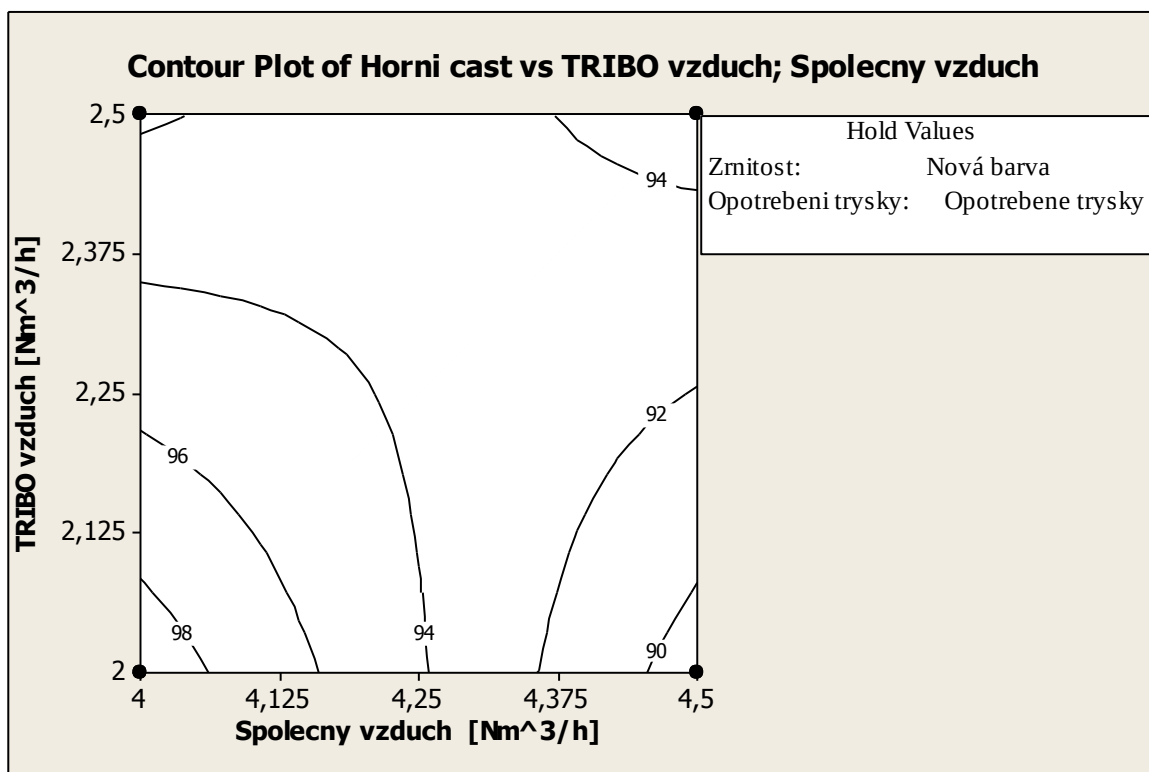
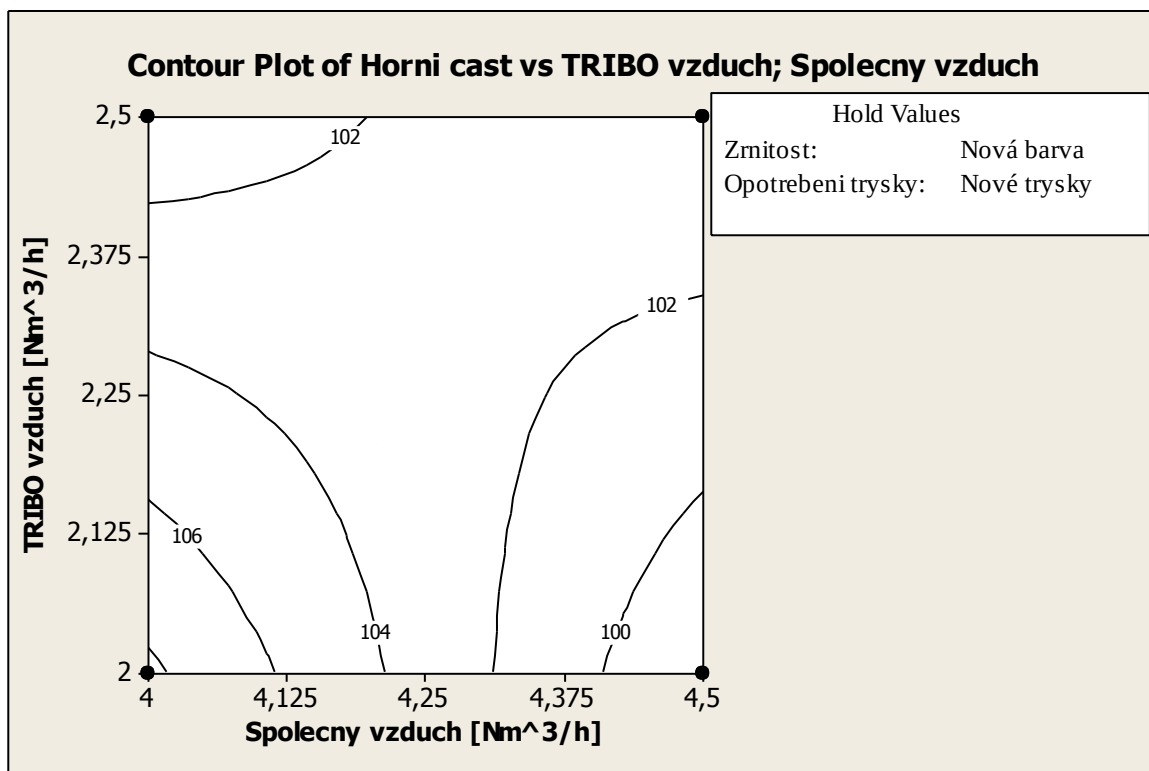
Surface Plot of Horní Čast vs TRIBOvzduch; Společný vzduch



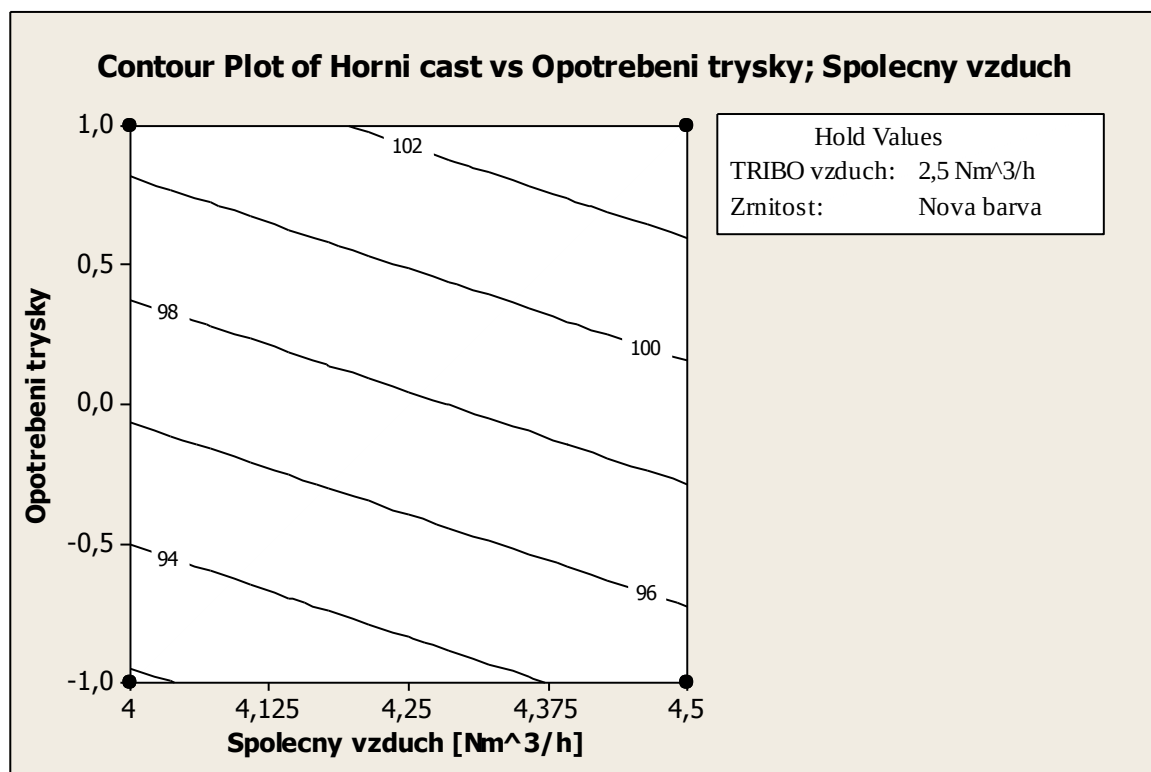
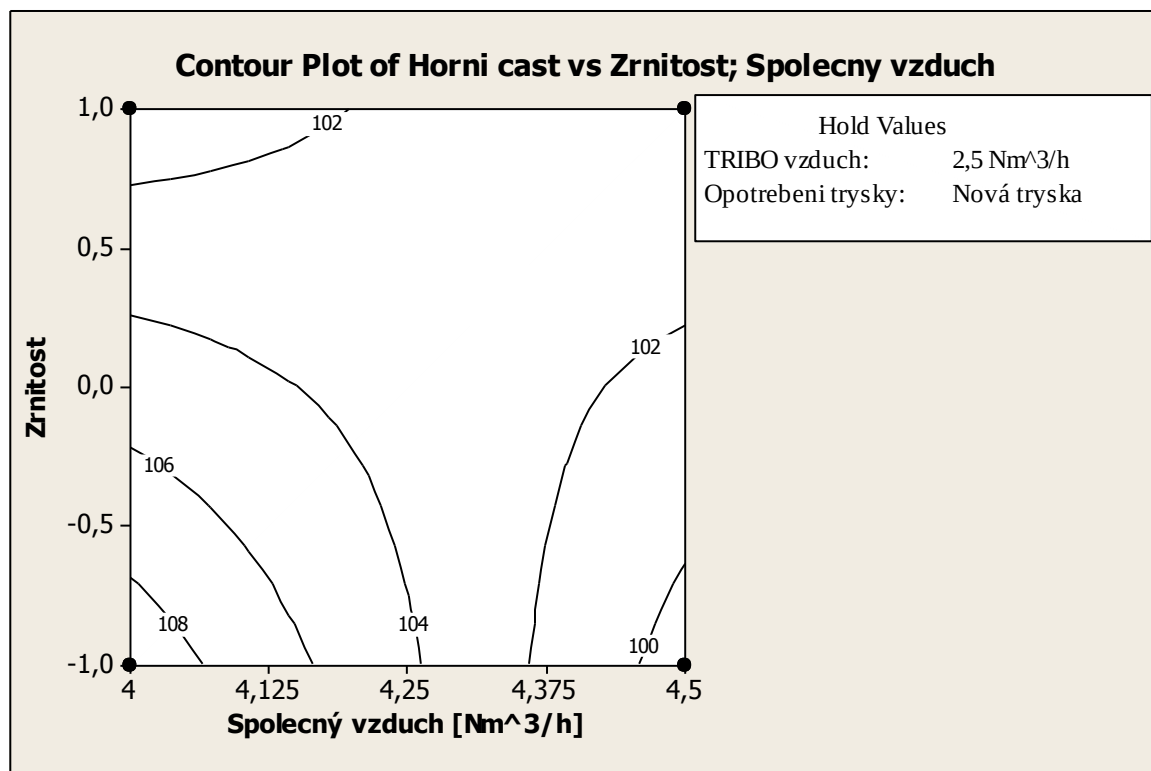
Surface Plot of Horni cast vs Tribo vzduch; Společný vzduch



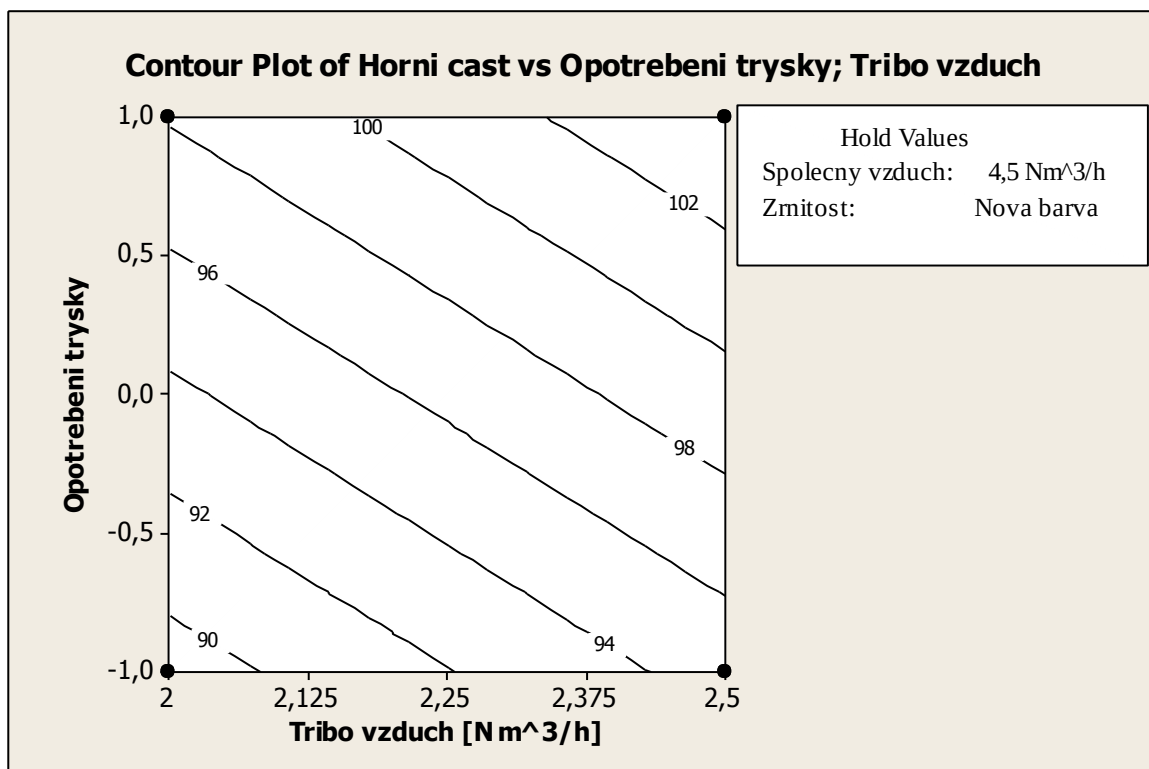
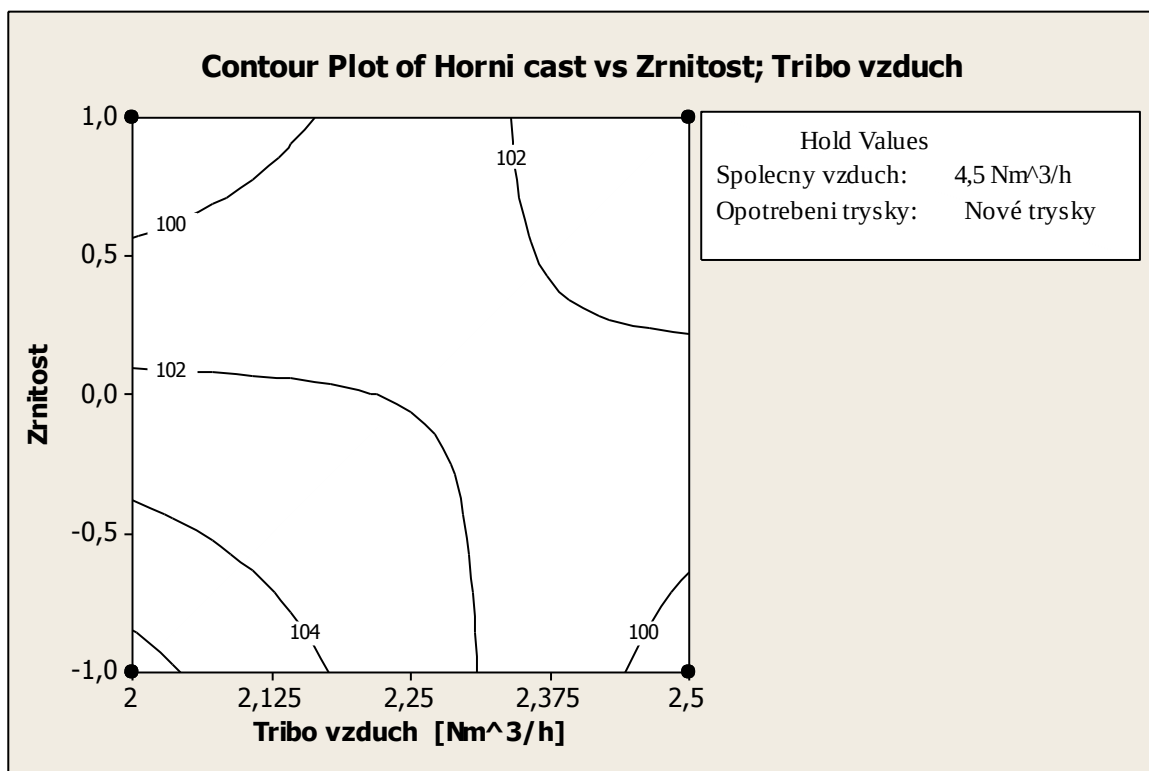
Příloha 10. Grafická závislost mezi faktory v 2D



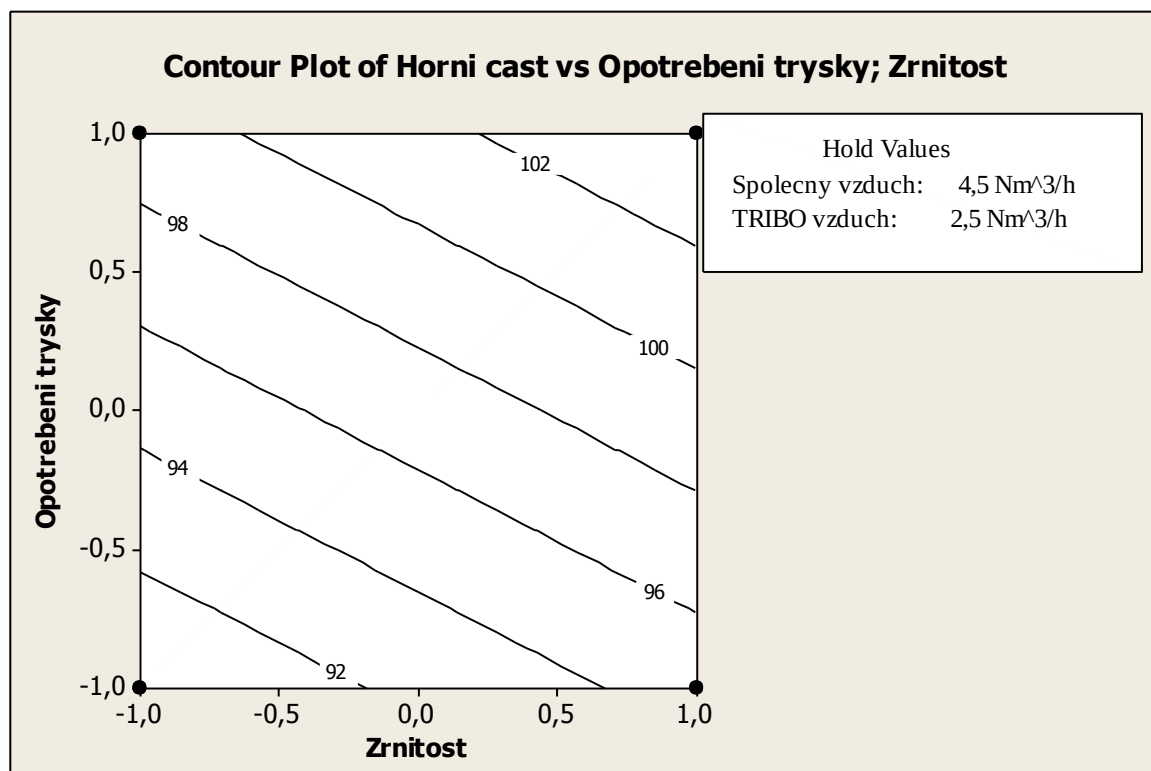
Příloha 10. Pokračování



Příloha 10. Pokračování



Příloha 10. Pokračování



Příloha 11. Součinitelé pro výpočet CL, LCL a UCL u Shewhartových diagramů

n	A(n)	A ₂ (n)	A ₃ (n)	A ₄ (n)	B ₃ (n)	B ₄ (n)	B ₅ (n)	B ₆ (n)	D ₁ (n)	D ₂ (n)	D ₃ (n)	D ₄ (n)	C ₄ (n)	d ₂ (n)	d ₃ (n)	c _n	E ₂ (n)
2	1,1631	1,0311	1,4577	1,0311	0	2,2427	0	1,7894	0	2,5302	0	2,2431	0,79788	1,1280	0,8525	1,000	1,458
3	0,9497	0,5610	1,0716	0,6507	0,1402	1,8598	0,1242	1,6482	0,2316	3,1542	0,1368	1,8632	0,88623	1,6929	0,8884	1,160	0,972
4	0,8224	0,3994	0,8927	0,4362	0,3058	1,6942	0,2818	1,5609	0,6118	3,5060	0,2971	1,7029	0,92132	2,0589	0,8798	1,092	0,799
5	0,7356	0,3162	0,7826	0,3789	0,4029	1,5971	0,3787	1,5012	0,9048	3,7474	0,3890	1,6110	0,93999	2,3261	0,8641	1,198	0,707
6	0,6715	0,2650	0,7057	0,3010	0,4684	1,5316	0,4457	1,4574	1,1394	3,9290	0,4496	1,5504	0,95153	2,5342	0,8480	1,136	0,649
7	0,6217	0,2299	0,6480	0,2791	0,5162	1,4838	0,4953	1,4235	1,3337	4,0747	0,4932	1,5068	0,95937	2,7042	0,8332	1,214	0,608
8	0,5815	0,2042	0,6026	0,2367	0,5532	1,4468	0,5339	1,3962	1,4989	4,1959	0,5264	1,4736	0,96503	2,8474	0,8198	1,159	0,578
9	0,5483	0,1846	0,5656	0,2258	0,5828	1,4172	0,5649	1,3737	1,6413	4,2987	0,5526	1,4474	0,96931	2,9700	0,8078	1,223	0,554
10	0,5201	0,1690	0,5348	0,1986	0,6073	1,3927	0,5907	1,3547	1,7668	4,3890	0,5740	1,4260	0,97266	3,0779	0,7971	1,175	0,534
11	0,4959	0,1563	0,5085	0,1921	0,6279	1,3721	0,6124	1,3383	1,8776	4,4676	0,5918	1,4082	0,97535	3,1726	0,7873	1,229	0,518
12	0,4748	0,1457	0,4857	0,1734	0,6455	1,3545	0,6311	1,3241	1,9779	4,5389	0,6070	1,3930	0,97756	3,2584	0,7785	1,190	0,505
13	0,4562	0,1368	0,4658	0,1686	0,6609	1,3391	0,6473	1,3115	2,0684	4,6028	0,6201	1,3799	0,97941	3,3356	0,7704	1,233	0,493
14	0,4396	0,1290	0,4481	0,1542	0,6745	1,3255	0,6616	1,3003	2,1522	4,6622	0,6317	1,3683	0,98097	3,4072	0,7630	1,195	0,483
15	0,4247	0,1223	0,4323	0,1513	0,6865	1,3135	0,6744	1,2903	2,2284	4,7160	0,6418	1,3582	0,98232	3,4722	0,7562	1,237	0,474
16	0,4112	0,1164	0,4181	0,1399	0,6973	1,3027	0,6858	1,2812	2,2988	4,7658	0,6508	1,3492	0,98348	3,5323	0,7499	1,202	0,466
17	0,3989	0,1112	0,4052	0,1376	0,7070	1,2930	0,6961	1,2729	2,3642	4,8120	0,6589	1,3411	0,98451	3,5881	0,7441	1,238	0,458
18	0,3877	0,1065	0,3934	0,1285	0,7159	1,2841	0,7055	1,2654	2,4254	4,8552	0,6663	1,3337	0,98541	3,6403	0,7386	1,207	0,452
19	0,3774	0,1023	0,3826	0,1268	0,7240	1,2760	0,7140	1,2584	2,4822	4,8952	0,6729	1,3271	0,98621	3,6887	0,7335	1,239	0,446
20	0,3678	0,0985	0,3727	0,1193	0,7315	1,2685	0,7219	1,2520	2,5369	4,9341	0,6791	1,3209	0,98693	3,7355	0,7287	1,212	0,440
21	0,3589	0,0950	0,3634		0,7383	1,2617	0,7292	1,2460	2,5867	4,9691	0,6847	1,3153	0,98758	3,7779	0,7242		0,435
22	0,3507	0,0918	0,3549		0,7447	1,2553	0,7359	1,2404	2,6356	5,0038	0,6900	1,3100	0,98817	3,8197	0,7199		0,431
23	0,3430	0,0889	0,3469		0,7507	1,2493	0,7422	1,2352	2,6804	5,0356	0,6948	1,3052	0,98870	3,8580	0,7159		0,426
24	0,3358	0,0862	0,3394		0,7562	1,2438	0,7480	1,2304	2,7243	5,0669	0,6993	1,3007	0,98919	3,8956	0,7121		0,422
25	0,3290	0,0837	0,3324		0,7614	1,2386	0,7535	1,2258	2,7656	5,0960	0,7036	1,2964	0,98964	3,9308	0,7084		0,418

Příloha 12. Data naměřená při ověřování návrhu

č.	H.Č. [μm]	P.1 [μm]	P.2 [μm]	P.3 [μm]	D.Č [μm]	$\bar{X}$ [μm]	$\bar{\bar{X}}$ [μm]	R [μm]	S [μm]	$\bar{S}$ [μm]
1.	89	105	82	87	100	92,6	91	23	9,6	8,1
2.	77	92	91	92	102	90,8		25	8,9	
3.	82	88	84	89	105	87,2		33	12,0	
4.	79	97	95	95	97	92,6		18	7,7	
5.	68	102	103	102	89	92,8		35	15,0	
6.	87	88	91	93	95	90,8		8	3,3	
7.	91	92	82	86	99	90		17	6,4	
8.	80	95	83	89	77	82,4		24	9,6	
9.	69	96	92	85	93	87		27	10,8	
10.	85	83	86	91	85	86		8	3,0	
11.	91	91	75	100	99	91,2		25	10,0	
12.	97	102	98	97	95	97,8		7	2,6	
13.	85	92	78	92	96	88,6		18	7,1	
14.	102	87	91	87	103	94		16	7,9	
15.	95	75	89	99	98	91,2		24	9,9	
16.	75	92	78	84	89	83,6		17	7,2	
17.	85	83	105	97	105	95		22	10,6	
18.	92	85	92	88	92	89,8		7	3,2	
19.	103	99	85	91	107	97		22	8,9	
20.	75	92	103	93	97	92		28	10,4	
21.	92	97	87	91	97	92,8		10	4,3	
22.	89	79	92	85	99	88,8		20	7,5	
23.	95	89	75	92	92	88,6		20	7,9	
24.	95	107	97	91	85	95		22	8,1	
25.	91	106	109	91	92	97,8		18	8,9	
26.	96	92	95	85	95	92,6		11	4,5	
27.	99	85	82	92	101	91,8		19	8,3	
28.	85	92	82	97	94	86		35	14,1	
29.	92	81	92	97	98	89,6		17	6,7	
30.	102	89	89	75	92	89,4		27	9,7	
31.	95	76	91	89	99	90		23	8,7	
32.	88	102	96	96	101	96,6		14	5,5	