VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU

PRODUCTION PROCESS OPTIMIZATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER´S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. VERONIKA DRÁBKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. ALOIS FIALA, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Veronika Drábková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Kvalita, spolehlivost a bezpečnost (2341T005)**

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

Optimalizace výrobního procesu

v anglickém jazyce:

Production process optimization

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Definování cílů práce.
2. Analýza problému a literární rešerše.
3. Návrh řešení.
4. Ověření návrhu.
5. Diskuse výsledků.
6. Závěry a doporučení.

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu ve vybrané organizaci.
Identifikace příležitostí pro zlepšování.
Návrh vhodných nástrojů a ověření použitelnosti.

Seznam odborné literatury:

Töpfer, A. a kol.: Six Sigma. Koncepce a příklady pro řízení bez chyb. Český překlad, 1. vydání, Computer Press, Brno, 2008, ISBN 978-80-251-1766-8
Jarošová, E.: Navrhování experimentů. ČSJ, Praha, 1997, ISBN 80-02-01154-6
Georg, M.L. a kol.: Lean Six Sigma kapesní příručka. Český překlad, 1. vydání, SC&C Partner, Brno, 2010, ISBN 978-80-904099-2-7
Imai, M.: Gemba Kaizen. Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Český překlad, 1. vydání, Computer Press, Brno, 2008, ISBN 80-251-0850-3
Plura, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Computer Press, Praha, 2001, ISBN 80-7226-543-1
Kolektiv: APQP – Moderní plánování kvality produktu a plán kontroly a řízení. 2. vydání, český překlad, ČSJ, Praha, 2009
Fiala, A.: Statistické řízení jakosti. VUT v Brně, Brno, 1997

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Alois Fiala, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 15.10.2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ L.S. DĚKANÁT

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá popisem a použitím strategií DOE (plánovaný experiment) a QFD (quality function deployment) do podniku. Je v ní pojednáno o daných metodách. Zabývá se jejich použitím pro vzniklý problém. V poslední části je uveden možný postup použití v podniku.

Klíčová slova

DOE, QFD, plánovaný experiment, dům kvality.

ABSTRACT

This master´s thesis is aimed at the strategy and implementation of DOE (planned experiment) and QFD (quality function deployment) in business. There are described about these methods. It deals with their use for a given problem. The last section provides a possible procedure in the enterprise.

Key words

DOE, QFD, planned experiment, the house of quality.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRÁBKOVÁ, V. Optimalizace výrobního procesu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 94 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Alois Fiala, CSc..

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byla seznámena s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně. Při vypracování diplomové práce jsem respektovala ustanovení předpisů pro diplomové práce a jsem si vědoma toho, že v případě jejich nedodržení nebude moje diplomová práce vedoucím diplomové práce přijata.

V Brně dne ……

……
Veronika Drábková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Aloisi Fialovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a rady při tvorbě mé práce. Paní Ing. Barboře Pappové za poskytnutí informací a dat ke zpracování diplomové práce u společnosti Mürdter Dvořák, lisovna, spol. s.r.o. Svým rodičům za materiální a morální podporu.

OBSAH

Úvod **13**

1 Plánování projektu **14**

1.1 Projektový plán 14

1.2 Návrh a vývoj produktu 15

1.3 Návrh a vývoj procesu 15

1.4 Validace 15

1.5 Zpětná vazba 15

1.6 Kontrola a řízení 16

2 Navrhování experimentů **17**

2.1 Základní pojmy 17

2.2 Vlastnosti návrhu 18

2.2.1 Nástroje a metodika experimentu 19

2.3 Základní kroky experimentu 19

3 Experimenty s jedním zkoumaným faktorem **27**

3.1 Dvě úrovně 27

3.1.1 Dvouvýběrový t-test 27

3.2 Více úrovní 28

3.2.1 ANOVA 28

3.2.2 Mnohonásobná porovnání 29

3.3 Experimenty s blokovými faktory 30

3.3.1 Neúplné znáhodněné bloky 31

3.3.2 Latinské čtverce 31

4 Faktoriální experimenty **33**

4.1 Dva faktory 33

4.2 Více faktorů 35

4.2.1 Pravidla pro určování stupňů volnosti a střední hodnoty průměrných čtverců 35

4.3 Znáhodněné bloky 36

4.4 Dílčí faktoriální návrh 37

4.5 Analytické nástroje pro plánovaný experiment 38

4.5.1 Graf hlavních efektů 38

4.5.2 Krychlový graf 38

4.5.3 Paretova analýza 39

4.5.4 Graf normální pravděpodobnosti vlivu faktorů 39

4.5.5 Graf normální pravděpodobnosti reziduální chyby 39

4.5.6 Regresní modely 39

5 Quality Function Deployment **40**

5.1 APQP 40

5.2 Definice a cíle QFD 41

5.3 Dům kvality 42

5.3.1 Koncepce „Co-Jak“ (8) ... 43
5.3.2 Kolik (8) ... 44
5.3.3 Souvztažnost (8) ... 44
5.3.4 Kvantitativní vyhodnocení (13) ... 44
5.3.5 Čtyřmaticový přístup (8) ... 46
5.4 Zavádění QFD a provázanost s různými metodami (8) ... 48
6 Průběh zkoušky ... 50
6.1 Metrologie ... 51
6.2 Podmíněně dobré díly ... 51
7 AUDI R8 ... 52
7.1 Metodika QFD ... 52
7.1.1 První a druhý krok ... 52
7.1.2 Třetí a čtvrtý krok ... 53
7.1.3 Pátý krok ... 54
7.1.4 Šestý krok ... 55
7.1.5 Sedmý krok ... 55
7.2 Metodika návrhu experimentu pomocí SW Minitab ... 56
7.2.1 ANOVA ... 56
7.2.2 DOE ... 71
7.2.3 Výběr faktorů a jejich úrovní ... 76
8 Závěr ... 84
9 Bibliografie ... 86
10 Seznam použitých obrázků ... 88
11 seznam použitých grafů ... 89
12 seznam použitých tabulek ... 90
13 seznam použitých vzorců a rovnic ... 91
14 Seznam použitých zkratek a symbolů ... 92
15 Seznam příloh ... 94

ÚVOD

Společnost Mürdter Dvořák patří mezi dynamicky se rozvíjející firmy. Specializuje se na oblast vstřikování a konečnou úpravu plastových dílů do automobilů. Jedná se o výrobu plastových interiérových a exteriérových dílů pro automobilový a elektrotechnický průmysl na strojích Krauss Maffei a Engel. (1) Firma byla založena roku 1965, Mürdter, Werkzeug- und Formenbau GmbH v Německu. V České republice byla založena společnost Mürdter Dvořák, nástrojárna, spol. s.r.o po vzniku samostatné republiky, roku 1993. Od té doby se stále rozvíjela a v lednu 1996 byla zahájena výroba v novém objektu v Olšanech u Prostějova a výstavba nové výrobní haly. Roku 2001 byla založena další společnost Mürdter Dvořák, lisovna, spol. s.r.o. V roce 2008 byla společnost rozšířena o nové procesy lakovna a montáž. Poslední změnou bylo vybudování pracoviště pro 3D modelování s plovoucí licencí. Společnost vlastní certifikace systému managementu jakosti firmy Mürdter Dvořák, nástrojárna, spol. s.r.o dle ISO 9001:2001 a certifikace systému managementu jakosti firmy Mürdter Dvořák, lisovna, spol. s.r.o dle ISO/TS 16949:2002 a certifikace systému environmentální managementu dle ISO 14001: 2004. (2)

Obr.1 Logo společnosti (1)

V současné době společnosti Mürdter Dvořák, lisovna, s.r.o., zajišťuje podporu systému řízení kvality software, dále jen SW, Palstat. Tento SW umožňuje vybudování efektivního systému řízení kvality, zajišťuje snadné naplnění vybraných požadavků zákazníka i norem v oblasti řízení kvality, metrologie a údržby. Systém implementuje normy ČSN EN ISO 9001, ISO/TS 16949 harmonizované s VDA. Obsahuje vybrané moduly přímo pro automobilní průmysl, které zajišťují řízení vztahů se zákazníkem, vývoj a návrh produktu a sledování kvality procesu. (3)

Do budoucna má společnost cíl zavedení dalších metodik na zlepšování kvality. Mezi ně patří i plánovaný experiment a dům kvality. Tyto metody je možné používat provázaně mezi sebou. Jedná se o použití DOE při určování jak vztahů v korelační matici, tak i později v určování nejlepší kombinace jmenovitých hodnot zjištěných parametrů do výroby. Použití nových strategií je možné použít jak při zavádění nových výrobků do výroby, tak i ke zlepšení již stávajících procesů.

V této diplomové práci analyzuji současný stav ve společnosti Mürdter Dvořák, lisovna, s.r.o. Dále analyzuji jeden plastový díl v již zaběhnuté předsériové výrobě. V této etapě použiji metodu QFD na specifikování vlastností požadovaných zákazníkem, určím parametry výroby, které ovlivňují tyto požadavky. Po stanovení těchto specifikací je nutné efektivně nastavit parametry ve výrobě a zjistit vliv jednotlivých proměnných, což umožní návrh experimentu. V další části bude proveden experiment na vyhodnocení, který materiál se nejlépe hodí pro danou výrobu, aby splnil podmínky stanovené zákazníkem. Tato analýza bude provedena pomocí statistické metody ANOVA. V závěru nastíním možné využití daných metod v podniku a jejich použitelnost při zlepšování kvality v podniku.

1 PLÁNOVÁNÍ PROJEKTU

Je to svým způsobem proces neustálého zlepšování přenesením zkušeností z předchozích projektů. Je to proces plánování kvality produktu, jehož cílem je zajistit schopnost produktu plnit požadavky zákazníků. Účelem je efektivně řídit a koordinovat činnosti s tímto spojené, aby se předcházelo následným nutným změnám, které by způsobily navršení nákladů. K plánování projektu také patří návrh a vývoj produktu, kde je nutné mít přesně definované požadavky zákazníka a znát všechny specifikace. To nám umožňuje například metoda QFD (Quality Function Deployment). Nedílnou součástí je i kontrola a ověřování daného návrhu. V pravidelných intervalech by měl být návrh přezkoumáván, což zahrnuje hodnocení pokroku, výsledky simulací a zkoušek, návrhy experimentů a vytváření plánu ověřování návrhu. (4)

Plánování kvality produktu je proces, jehož cílem je zajistit, že produkt bude vyhovovat požadavkům zákazníka. Účelem plánování je efektivní řízení a koordinace činnosti spojené s plánováním výrobku a procesu k předcházení následným nutným změnám, které by způsobily dodatečné náklady. Všeobecně je uznáváno, že o cca 80% vzniklých neshodách se rozhoduje už v době před zahájením sériové výroby, ale tyto neshody se objeví až ve fázi sériové výroby. Příčina neshod spočívá v nedostatečném zaměření se na plánování již v předsériové fázi projektu. Z toho důvodu má odpovědnost za výslednou kvalitu produktu projektový tým. (5)

Základním předpokladem každého úspěšného projektu je sestavení kvalifikovaného projektového týmu. Důležitým prvkem každého procesu je totiž určení vlastníka. V případě plánování projektu je tento tým sestaven průřezově tak, aby byla zabezpečena účast všech dotčených oddělení. To samé se zároveň očekává a vyžaduje od dodavatelů. Základem každého projektového týmu jsou zástupci projektového plánování, technik kvality a disponent. Vedoucím celého projektového týmu je zástupce projektového plánování, který je odpovědný za řízení procesu, komunikaci se zákazníkem ohledně plánování projektu, definování požadavků zákazníků a sledování nákladů v rámci projektu. Součástí širšího projektového týmu jsou zástupci výroby, procesního plánování, údržby, nákupu, konstrukce atd. Projektový tým má zejména pochopit očekávání zákazníka, přezkoumávat požadavky zákazníka, předkládat návrh na doplnění projektového týmu, posoudit realizovatelnosti návrhu, identifikovat potřeby a limity. Komunikace se zákazníkem může probíhat jakoukoliv formou, např. emailů, telefonátů, telekonferencí, vzájemných návštěv. V případě komunikace ohledně závažných otázek je potřeba provést záznam o výsledku jednání. (5)

1.1 Projektový plán

Jedním z nejdůležitějších úkolů v rámci plánování projektu je právě vedení projektového plánu a koordinace na sebe navazujících činností. Projektovým plánem se rozumí dokument obsahující všechny interní a zákaznické milníky zohledňující specifické požadavky zákazníka. Projektový plán obsahuje časový rámec plánování projektu. Při vytváření plánu musí být brány v úvahu zejména očekávání zákazníka, a specifikace produktu. (5)

Plánování projektu začíná nominací od zákazníka na daný projekt. Cílem první etapy v plánování projektu je zajistit pochopení potřeb a očekávání zákazníka. Zdrojem informací jsou veškeré informace od zákazníka získané ať už v podobě doporučení, stížností, průzkumem trhu, zkušeností z minulých projektů s tímto zákazníkem, dále taky strategický podnikatelský plán zákazníka, předpoklady o produktu či procesu (technologie, použité materiály, hodnocení bezporuchovosti aj.). Specifické požadavky zákazníků. V průběhu této etapy by mělo dojít k odsouhlasení měřítek spokojenosti zákazníka. Dalšími cíli může být například bezporuchovost, snižování zmetkovitosti, požadavky na rekvalifikaci atd.

V této fázi by již měl být výrobní proces popsán předběžným flow chartem vycházejícím z předběžného rozpisu materiálu a seznamu potenciálních dodavatelů/kooperantů, a měly by být identifikovány zvláštní znaky produktu a procesu. Výstupem z této fáze mohou být měřítka spokojenosti zákazníka, předběžný flow chart, předběžný rozpis materiálu a seznam potenciálních dodavatelů/kooperantů. (5)

1.2 Návrh a vývoj produktu

V této fázi plánování projektu by měla získávat konstrukce konečnou podobu. Všechna hlediska návrhu produktu by měla být přezkoumána i v případě, že návrh produktu je záležitostí zákazníka. V průběhu této fáze, pokud je to možné a zákazník to požaduje, je realizován prototyp s cílem ověřit splnění požadavků zákazníka. Hlavním úkolem této etapy je provedení předběžné realizovatelnosti s cílem odhalit potenciální problémy. Vstupem pro provedení analýzy realizovatelnosti jsou technické požadavky a související technické údaje, zejména tedy výkresy, specifikace, související normy a předpisy. Realizovatelný návrh musí brát v potaz technické požadavky, výrobní kapacity, kvalitativní požadavky, náklady a časový rámec. Zákazníkovo vlastnictví návrhů nezbavují projektový tým odpovědnosti za přezkoumávání výkresů, technických specifikací a norem. V průběhu ověřování návrhu musí být na pravidelných projektových poradách přezkoumáván návrh, což by mělo zahrnovat hodnocení pokroku při ověřování návrhu, výsledky simulací a zkoušek, návrhy experimentů (DOE) a vytváření Plánu ověřování návrhu (DVP). Cílem průběžného přezkoumávání je předcházení následným problémům a nedorozuměním. Zároveň slouží k předkládání zpráv o průběhu vedení společnosti a zákazníkům. Výstupem z této fáze mohou být požadavky na hmotné zdroje. (5)

1.3 Návrh a vývoj procesu

V průběhu této etapy je hlavním cílem zabezpečení splnění požadavků zákazníka v oblasti procesu výroby. Základem je tedy nastavení procesu výroby a získání odsouhlasení zákazníka. Jedním ze zákaznických požadavků je nastavení balení dílů. Balení musí zajišťovat to, že se výrobek dostane k zákazníkovi v neporušeném stavu. Balení zároveň musí být kompatibilní s manipulačními prostředky, aby nemohlo dojít k poškození při manipulaci nebo přepravě dílů. Návrh balení splňující zákaznické specifikace by měl být v této fázi projektu zákazníkem odsouhlasen. (5)

1.4 Validace

V etapě validace výrobního procesu se provádí formou výrobní zkoušky ověření, že je produkt ve shodě s požadavky zákazníka a výrobní proces probíhá podle flow chartu a plánu kontroly a řízení. V průběhu této fáze by měly být identifikovány zbývající potenciální body k dořešení před uvolněním výroby do série. Dalším a zásadním bodem je schválení dílů do série, tedy schválení a uvolnění od zákazníka. V této etapě je vytvořen sériový plán kontroly a řízení. (5)

1.5 Zpětná vazba

Zpětnou vazbou v procesu plánování projektu se rozumí etapa sériové výroby, kdy je vhodné hodnotit efektivnost plánování projektu. Lze tedy vyhodnotit, zda se v procesu vyskytují pouze běžné příčiny variability. (5)

1.6 Kontrola a řízení

Plán kontroly a řízení (dále jen CP) je dokumentovaný postup zabezpečení kvality výrobků, který obsahuje souhrn všech metod a systémů používaných k minimalizaci variability procesů a znaků produktu. Plán kontroly a řízení je důležitou součástí dokumentace zabezpečování kvality a tudíž podléhá schvalováním zákazníka. Plán kontroly a řízení nemůže být nahrazen výrobní dokumentací přestavující detailní instrukce pro obsluhy. (5)

Podle fáze projektu existují 3 různé druhy CP:

- ✓ CP pro prototyp – popis rozměrových měření a zkoušek (materiálové, funkční) prováděných v průběhu realizace prototypu.
- ✓ Před sériový CP – popis rozměrových měření a zkoušek (materiálové a funkční) prováděných v průběhu před sériové výroby. Před sériový CP by měl obsahovat doplňující nástroje řízení, které je potřeba z důvodu odhalení potenciálních neshod implementovat před validací výrobního procesu jako například častější kontroly, více kontrolních míst, identifikace nástrojů zabraňujícím chybám a další.
- ✓ Sériový CP – popis a dokumentace všech znaků produktu/procesu, měření a zkoušek (materiálové a funkční), které se provádí v průběhu sériové výroby. (5)

2 NAVRHOVÁNÍ EXPERIMENTŮ

Jedná se o test nebo řadu testů, v nichž se potenciální proměnné procesu systematicky mění podle předepsaného návrhu. Pojem statisticky navržený experiment označuje strategii řešení úloh pomocí vhodně navržených a vyhodnocených experimentů. Nejčastěji bývá takový experiment označován zkratkou DOE - Design of Experiments. DOE je účinným nástrojem optimalizace procesů i při návrhu nových výrobků. Hlavními oblastmi využití byl tradičně průmysl chemický, farmaceutický a zpracovatelský, v posledních letech se však využívá stále častěji i ve strojním inženýrství a v elektronice. Lze jej vnímat jako část vědeckého procesu, která umožňuje zjistit, jak proces funguje. (6)

Navrhování statistických experimentů se skládá ze dvou hlavních částí:

- ✓ vlastní plán experimentu,
- ✓ statistické vyhodnocení plánu – bezprostředně závisí na návrhu plánu. (4)

Základem navrhování experimentů jsou replikace a randomizace. Replikace znamená opakování experimentu, které přináší experimentátorovi velice důležitou informaci o chybě experimentu. Aritmetické průměry díky menším rozptylům dávají lepší odhady efektů jednotlivých faktorů, které jsou součásti experimentu. Randomizace zaručuje, že rozložení experimentálního materiálu a pořadí jsou náhodná. Vyhodnocování navrženého experimentu končí rozhodnutím o existenci či neexistenci vlivu zkoumaných faktorů na sledované veličiny. Výsledek pokusu je konkrétní hodnota sledované náhodné veličiny též zvané závislá proměnná či odezva, která je charakteristikou jakosti. Odezva se hodnotí podle podmínek:

- ✓ identifikovat vlivné proměnné,
- ✓ kvantifikovat vlivy napříč rozsahu reprezentovaného úrovněmi proměnných,
- ✓ lépe pochopit povahu systému při práci v procesu,
- ✓ porovnat vlivy a interakce. (7)

Použití na začátku vývoje může mít za následek:

- ✓ zlepšený výsledek procesu,
- ✓ snížení variability kolem dané hodnoty,
- ✓ zkrácenou dobu vývoje,
- ✓ snížení celkových nákladů. (8)

Cílem experimentu je:

- ✓ lepší návrh a vývoj výrobku a procesu,
- ✓ zlepšování (optimalizaci) jakosti,
- ✓ zlepšování procesu (zvýšení c_p a c_{pk}),
- ✓ snižování nákladů,
- ✓ redukci % neshodných výrobků,
- ✓ řešení problémů s jakostí ve výrobě,
- ✓ vyšší spokojenost zákazníka,
- ✓ redukce variability,
- ✓ zvýšení profilu a návratnosti investice,
- ✓ atd. (8)

2.1 Základní pojmy

K definování modelu experimentu je nutné definovat základní terminologii.

- ✓ **Odezva** – faktor pozorovaný nebo měřený v rámci plánovaného experimentu, někdy je také nazýván závislým faktorem. Odezva je výstupem a je často charakteristikou kvality nebo výkonnosti procesu. Experiment může mít více odezev. (9)

- ✓ **Faktor** – bývá také nazýván nezávislou proměnnou. Je v rámci experimentu měněn tak, aby bylo možné sledovat jeho dopad na odezvu. Může mít jak kvalitativní tak kvantitativní charakter. (9)
- ✓ **Proměnlivost pozadí** – bývá také nazývána blokovací proměnnou. Tato proměnná může ovlivňovat variabilitu odezvy při experimentu, ale není vzata v potaz jako faktor. Lze ovlivnit použitím bloků. (9)
- ✓ **Šumový faktor** – faktor, který může ovlivnit odezvu, je nám však v době plánování neznámý. Působení rušivých faktorů lze omezit znáhodněním. (9)
- ✓ **Bloky** – skupiny experimentálních jednotek zpracovávaných podobně v experimentálním návrhu. Proměnlivost odezvy u experimentu s bloky bývá nižší než u klasického. (9)
- ✓ **Úrovně** – hodnoty, kterých nabývají faktory. Mají jak kvalitativní tak kvantitativní charakter. (9)
- ✓ **Efekt** – změna odezvy, kterou vyvolá změna faktoru nebo proměnné v pozadí. (9)
- ✓ **Model** – popis uvádějící vztah odezvy s predikační proměnnou. (9)

- ✓ **Hypotéza** – předpoklad, který se potvrzuje nebo vyvrací experimentem. (9)
- ✓ **Experiment** – série testů pro ověření hypotézy**.** (9)
- ✓ **Analýza** – jedná se porozumění povahy dat a statistické analýzy dat získaných z experimentu. (9)
- ✓ **Interpretace** – porozumění výsledkům experimentu. (9)
- ✓ **Závěr** – zjištění, zda je původní hypotéza pravdivá či ne. (9)

2.2 Vlastnosti návrhu

Plánovaný experiment by měl mít dobře **definovaný cíl**. Správné definování cíle plánovaného experimentu umožňuje pečlivé rozvržení zdrojů. Cílem je také navržení způsobu kontroly plánovaného experimentu, který obsahuje velké množství proměnných. Je důležité také nalézt nejdůležitější proměnné. Dále je třeba také objasnit, zda se jedná o studium několika proměnných do hloubky, nebo schválení starých studií za nových podmínek. Všechny faktory, které mohou ovlivnit výsledek, by měly být zahrnuty do experimentu. (9)

Sekvenční přístup – plánovaný experiment je nutné provádět postupně, s využitím znalostí z předchozích plánovaných experimentů. S přibýváním nových zkušeností se plánované experimenty opakují s novými úrovněmi předchozích faktorů a s faktory novými. Pokud je požadováno posouzení vzájemných interakcí mezi faktory, použije se pro dva až čtyři faktory faktoriální návrh. (9)

Jednoduchost provedení - je jednou z nejdůležitějších vlastností plánovaného experimentu. Jednoduchost je důležitá pro návrh, řízení a analýzu plánovaného experimentu. Návrh plánovaného experimentu by měl být tak jednoduchý, jak je jen možné, ale neustále splňovat vlastnosti dobře plánovaného experimentu. Jednoduchost umožní experimentátorovi pružnost pro změny, které jsou často vyžadovány pro řízení studie. Důležitými aspekty jsou například stupeň obtížnosti změn, schopnost kontroly proměnlivosti pozadí a schopnost měření odezvy. (9)

Variace - důležitou součástí plánovaného experimentu je stanovení významných faktorů a odhad vlivu těchto faktorů na odezvu. Faktory, které jsou zvoleny pro plánovaný experiment, jsou nejčastěji ty faktory, které mají dle experimentátora největší vliv na odezvu. Pro zjištění, zda jsou studovány významné faktory, musí návrh v experimentu

umožnit rozdělit variaci v odezvě do komponent s ohledem na faktory, faktory v pozadí a skryté faktory. (9)

Důvěryhodnost – důvěryhodnost a validita plánovaného experimentu se zvýší při běhu experimentu využitím rozdílných strojů, časů, skupin materiálů, operátorů atd. Rozsah podmínek ovlivní důvěryhodnost u akcí, které jsou provedeny na základě výsledků experimentu. Experimentátor musí rozhodnout, co je adekvátní pro přijetí akce. Toto rozhodnutí bude záviset na významu změny v procesu a nezbytném stupni extrapolace. (9)

2.2.1 Nástroje a metodika experimentu

Znáhodnění – při navrhování plánovaného experimentu v průmyslu ovlivňují výsledek experimentu faktory spojené s výrobou jako chyby operátora, kolísání teploty a vlhkosti, atd. Tyto faktory mohou negativně ovlivnit výsledek plánovaného experimentu.

Znáhodnění vyžaduje použití formální procedury, ne pouze náhodný výběr či pořadí. Pro tento účel jsou vhodnými nástroji náhodné číslo, náhodná změna pořadí nebo tabulka náhodných čísel (10).

Znáhodnění v plánovaném experimentu se používá v těchto situacích:

- ✓ Experiment vedený v situaci, kdy jeden z významných faktorů není pod statistickou kontrolou (10).
- ✓ Experimenty, které budou vedeny velkým počtem operátorů a techniků (10).
- ✓ Experimenty, u kterých variabilita vlivem rušivých proměnných je relativně velká vzhledem k závažnosti efektu hlavních faktorů (10).
- ✓ Formální experimenty, u kterých má být výsledek prezentován ostatním, například zákazníkovi nebo spolupracovníkům za účelem přijetí okamžitého opatření (10).

Replikace hrají významnou roli v dosažení mnoha vlastností dobře plánovaného experimentu. Jedná se o zvýšení počtu měření. Existuje mnoho různých typů replikací (10):

- ✓ Opakované měření experimentálních jednotek (10)
- ✓ Více experimentálních jednotek pro každou kombinaci faktorů (10)
- ✓ Částečné opakování experimentální tabulky (10)
- ✓ Kompletní replikace experimentální tabulky (10)

Každý z tohoto typu replikace vyžaduje jinou interpretaci v analýze výsledků experimentu. Replikace mají dvě významné vlastnosti.

1. Umožňují člověku, který provádí plánovaný experiment, přibližný odhad chyby plánovaného experimentu,
2. získávají lepší precizní odhad interakce mezi různými faktory.

Replikace hrají významnou roli při poskytování informací a měření velikosti variant v experimentu s ohledem na rušivé proměnné. Pomocí vhodného použití replikací je tedy možné minimalizovat vliv rušivých proměnných. (10).

Blokování – je metoda eliminování externí variace způsobené vlivem rušivých faktorů. Hlavním cílem je eliminace nežádoucích zdrojů proměnlivosti. Cílem je uspořádat podobné experimentální podmínky do bloků (nebo skupin). Obecně je blok skupina relativně stejných experimentálních podmínek. Blok je pozorování, které bylo provedeno za stejných podmínek. Variabilita mezi bloky musí být odstraněna z experimentálních chyb, což vede ke zvýšení přesnosti experimentu. (10).

2.3 Základní kroky experimentu

Následující způsob popisuje kroky při plánování, provádění, analyzování a hlášení experimentu.

1. Příprava analýzy příčin a následků všech procesních vstupů a výstupů/ vytvoření domu kvality.
2. Vytvoření dokumentace použitím písemných postupů nebo flowcharts.
3. Sepsání podrobného popisu problému.
4. Provedení předběžného experimentu.
5. Navržení experimentu.
6. Určení velikosti vzorků, blokování a náhodného plánu.
7. Samotný experiment.
8. Provedení statistické analýzy experimentálních dat.
9. Interpretace statistické analýzy.
10. Provedení potvrzovacího experimentu.
11. Interpretace výsledků experimentu. (10)

Každý z těchto kroků je podrobně popsán v následující části. Popis zahrnuje seznam činností, které je třeba zkoumat, doporučení kdo má být do experimentu zapojen a odhad kolik času je na celý projekt potřeba. Obsazení osob zapojených do procesu plánovaného experimentu a jejich primární funkce jsou:

- ✓ Vedoucí projektu, který má primární odpovědnost pro tento projekt.
- ✓ Operátoři, kteří provádí proces.
- ✓ Technici nebo seřizovači strojů, kteří udržují zařízení a provádí výrazné změny procesu nebo jeho zlepšení.
- ✓ Procesní inženýr, který má znalosti o tom, jak se tento proces má spustit.
- ✓ Manažer/zákazník, v jehož prospěch se experiment provádí.
- ✓ Statistický specialista, který bude podporovat vedoucího projektu a řešit možné statistické problémy. (10)

Krok 1: Příprava (10)

Prvním krokem v přípravě na nový experiment je dokončit analýzu příčin a následků nebo vytvořit parametry splňující požadavky zákazníka metodou QFD. Účelem této analýzy je vytvořit katalog všech možných proměnných, které ovlivňují proces. Tradiční variabilní kategorie: metody, pracovní síly, stroje, materiál a životní prostředí, které poskytují dobrý výchozí bod. Všechny proměnné, včetně těch, které nejsou a nemohou být zahrnuty do experimentu, by měly být přidány do seznamu. Je potřeba zjistit všechny možné zdroje variace. Pokud se později v experimentu zjistí, že se přehlédla důležitá proměnná, měla by se alespoň uvést jako zdroj v katalogu.

Kromě vytváření seznamu vstupních proměnných, je také důležité vytvořit kompletní seznam všech možných odpovědí. Většina experimentů se však zaměřuje na jedinou reakci, kde jsou obvykle sekundární reakce, které musí splňovat alespoň určitá omezení, ne-li agresivní požadavky na výkonnost. Počáteční diagram příčin a účinků, který je vytvořen k dokumentování procesu by se měl vyvíjet k pochopení systémových změn a zlepšení.

	Aktivity	Projekt Leader	Operátoři	Technici	Design Inženýr	Procesní Inženýr	Manažer/Zákazník	Specialista na statistiku
1.	Diagram příčin a následků	*	*	*	*	*	*	
2.	Dokumentování procesu	*	*	*	*	*		
3.	Výkaz problému	*	přezkoumání	přezkoumání	přezkoumání	přezkoumání	přezkoumání	přezkoumání
4.	Předběžný experiment	*	*	*	*	*		
5.	Návrh experimentu	*	*	*	*	*	*	podpora
6.	Plán randomizace	*						podpora
7.	Vlastní experiment	*	*	*	*	*		
8.	Analýza dat	*		*				podpora
9.	Interpretace modelu	*		*				podpora
10.	Potvrzovací experiment	*	*	*	*	*	*	
11.	Zpráva výsledků	*			přezkoumání	přezkoumání	přezkoumání	

Obr. 2.1 Rozložení týmu a povinností v jednotlivých krocích (10)

I když lze spustit počáteční upravený diagram příčin a účinků jednou osobou, s největší pravděpodobností vedoucím DOE projektového týmu, je nezbytné, aby všichni lidé podílející se na procesu také přispěli k tomuto kroku. Vstupy od operátorů a techniků, kteří mají proces na denní bázi, jsou velmi důležité, protože jsou často jediní, kdo ví o zvláštních a důležitých proměnných. Konstrukční a procesní inženýři jsou důležití, protože poskytují technické a teoretické hledisko. Vedoucí projektu, který vlastní a provozuje tento proces, by měl být zapojen také, aby se ujistil, že všechny požadavky procesu, včetně širších, které nemusí být známy nebo zjevné ostatním, jsou řešeny. V případě, kdy se zákazník procesu nemůže účastnit ani konzultovat tuto fázi, je manažer procesu také zodpovědný za reprezentaci svého stanoviska zákazníkovi. Ředitel organizace musí poskytnout dostatečné zdroje pro provedení celého experimentu.

Krok 2: Dokumentace (10)

Proces, který má být zkoumán, musí být dokumentován ve formě písemných postupů nebo vývojových diagramů. Musí odpovídat realitě, navíc podléhá jeho schvalování.

V mnoha případech vytvoření nových postupů nebo revize stávajících postupů odhalí potenciálně závažné nedostatky v systému. Například může být zjištěno, že jeden nebo více operátorů opravdu nechápe, jak by měl tento proces fungovat. Tyto otázky musí být identifikovány a řešeny před pokračováním k dalšímu kroku v procesu DOE.

Pokud jsou nezávislé proměnné a/nebo reakce kvantitativní, potom by měly být kalibrační záznamy a vhodnost měřících systémů ověřeny, aby potvrdili, že jsou všechna potřebná měření a nastavení správná a přesná.

Všichni vlastníci/manažeři tohoto procesu by měly být zapojení do dokumentování procesu. Jedná se o osoby, které zabezpečují proces. Technici nebo seřizovači strojů, kteří řeší problémy a udržují proces na denní bázi. Designéři a/nebo procesní inženýři, kteří mají na starost celkovou odpovědnost za proces. Není potřeba, pokud není uvažována pouze malá organizace.

Krok 3: Popis problému (10)

Většina projektů DOE zahrnuje mnoho lidí, kteří pocházejí z různých úrovní a částí organizace. Tito lidé mají často velmi odlišné vnímání účelu konkrétního projektu DOE. Například očekávání vrcholového manažera, který chce vidět pouze závěrečnou zprávu z projektu DOE, mohou být zcela odlišné od těch, které má operátor, který spouští proces. Účelem oznámení problémů DOE je jednoznačně vymezit rozsah a cíle tohoto experimentálního programu pro všechny zúčastněné.

Problém DOE projektu by měl být písemný dokument, který se zasílá k připomínkám, formálnímu přezkoumání a je podepsán jako smlouva mezi týmem projektu DOE a manažerem. Prohlášení o problému by mělo obsahovat:

- ✓ Popis odpovědi nebo odpovědi ke studiu a jejich příslušné cíle nebo omezení.
- ✓ Odhad nejmenších prakticky významných změn v odpovědi, které experiment očekává k detekci za účelem výpočtu velikosti vzorku.
- ✓ Prezentace všech příslušných teorií nebo fyzikálních modelů na problém, který může přinést další pohled nad jeho chováním.
- ✓ Popis příslušných historických dat nebo jiných experimentů, které byly provedeny ke studiu problému.
- ✓ Seznam možných experimentálních proměnných. Tento seznam nemusí být úplný, nebo dokonce přesný v tomto bodě procesu DOE, ale pomáhá určit rozsah proměnných, které budou použity. Předběžné proměnné by měly být přiřazené do následujících kategorií:

- 1) proměnná určená pro aktivní experimentování,
- 2) proměnná, která se bude udržovat konstantní po celou dobu experimentu,
- 3) proměnná, která nemůže být kontrolována a může nebo nemusí být měřena během experimentu.

✓ Seznam očekávání a možné interakce mezi proměnnými designu.
✓ Citace z důkazů způsobilosti pro experimentální proměnné a reakce.
✓ Citace z důkazů, že tento proces je pod kontrolou.
✓ Odhady personálu, množství času a materiálu potřebného k provádění experimentu.
✓ Seznam předpokladů, které budou provedeny ke zjednodušení návrhu, realizace a analýzy experimentu.
✓ Identifikace otázek, které musí být zodpovězeny, například z předběžných pokusů, před velkým navrženým experimentem.

Problém prohlášení DOE je obvykle vypracovaný vedoucím projektového týmu DOE, ale návrh by měl být přezkoumán všemi lidmi projektového týmu. Jejich návrhy změn a doporučení by měly být zváženy a začleněny do dokumentu, pokud je to třeba.

Krok 4: Předběžný experiment (10)

Často jediný způsob, jak zaplnit mezery ve znalostech zjištěné v problémů DOE, je provést některé předběžné pokusy a to buď v laboratoři, nebo v samotném procesu. Úspěšné předběžné experimentování má zásadní význam pro snížení rizika velkého navrženého experimentu. Tyto předběžné experimenty mají obvykle podobu malých sérií běhů, kde se vyšetřuje jedna proměnná nebo postup najednou.

Účelem předběžného experimentování je:

✓ Zisk zkušenosti s novými experimentálními proměnnými.
✓ Ujištění se, že nejsou žádné neznámé proměnné.
✓ Identifikace bezpečné horní a dolní meze pro experimentální proměnné.
✓ Vyšetření nutnosti středně pokročilé úrovně kvantitativní proměnné k detekci nebo kvantifikaci zakřivení v odpovědi.
✓ Ujištění se, že postupy používané k provozu procesu jsou přesné.
✓ Ujištění se, že operátoři a zařízení správně fungují a jak se očekávalo.
✓ Odhad směrodatné odchylky odezvy, tak že se výpočte vzorek.

Předběžné experimenty by se neměly používat z více než 10 až 15 procent celkových prostředků přidělených pro experiment. Rozsah předběžných pokusů by měl být omezen na ty otázky, které je třeba vyřešit před plně provedeným experimentem. Je často obtížné rozhodnout, jak moc je třeba předběžné experimentování. V případě nedostatečného množství předběžného experimentování se problémy objeví později v procesu DOE.

Nadměrné předběžné experimentování může také způsobit, že se projekt DOE nezdaří. Ačkoliv se většina předběžných experimentů zdá být jednoduchá a nevinná, jsou tam často nečekaná překvapení, která spotřebovávají čas, materiály, a trpělivost manažerů čekáním na výsledky. Vždy je potřeba rozhodnout před zahájením jakýchkoliv předběžných pokusů, kolik z prostředků bude vynaloženo. Jsou-li tyto zdroje pryč, je čas, aby se zasadilo o další krok v programu.

Jaké předběžné pokusy a jak je spustit, musí být rozhodnuto vedoucím projektu DOE, provozovateli, techniky a konstrukčními a procesními inženýry. Po dokončení všech předběžných pokusů musí být všichni tito lidé přesvědčeni, že jsou produkty a procesy natolik dobře známy, aby bylo zaručeno úspěšné postavení primárního experimentu. Množství času potřebného k provedení předběžných pokusů je velmi závislé na procesu.

Krok 5: Návrh experimentu (10)

Cílem experimentu je získání vhodného modelu z experimentálního souboru dat, který může být použit pro zodpovězení otázek týkajících se studovaného procesu. Proto je nutné zodpovězení otázek k danému určitému modelu. Ten určuje data, která mají být shromažďována. Návrh experimentu definuje organizaci a strukturu data.

Existují dvě části každého experimentu designu: proměnné matice, které identifikují experimentální proměnné a jejich úrovně a matice designu, která identifikuje kombinaci různých úrovní, které budou použity pro své pokusy. Obě tyto matice musí být zcela definovány v daném kroku DOE procesu. Použijí se informace shromážděné v předchozích krocích procesu DOE k určení, které proměnné zahrnout do experimentu a jaké úrovně každá proměnná bude mít. Na základě těchto informací a počtu a povaze konstrukčních proměnných, dále zda se jedná o kvalitativní, kvantitativní, nebo směs těchto dvou typů a kolik úrovní proměnných existuje, se zvolí vhodný návrh experimentu. Například může být design experimentu: jednosměrná nebo vícecestná klasifikace designu s kvalitativními proměnnými, dvouúrovňová klasifikace designu, faktoriální design k modelování hlavních účinků a interakcí, odezva designu odpovídající za zakřivení v odpovědi, nebo hybridní design zahrnující kvalitativní i kvantitativní proměnné. Poté, co se zvolí design, by se měla vytvořit matice experimentálních běhů a fiktivních reakcí. Analyzovat se pro potvrzení, že skutečně může být požadovaný model připevněn k údajům.

Vedoucí projektu DOE by měl mít dostatek informací shromážděných v tomto bodě procesu DOE ke specifikování proměnné a experimentálního designu matice. Mohou ale ještě zjistit, že je nutná konzultace s příslušnými odborníky na proces v případě nejasností s ohledem na některé z proměnných nebo jejich úrovní. A pokud existuje příliš mnoho proměnných a/nebo různých úrovních v experimentu, může být nutné se poradit s odborníkem na statistiku a/nebo znovu svolat celý projektový tým k identifikaci více praktického designu.

Krok 6: Velikost vzorků, znáhodnění a blokování (10)

Úkoly stanovení velikosti vzorku, plánování náhodnosti a blokování experimentu jsou často považovány za součást kroku tvorby designu experimentu. Tyto úkoly jsou ale tak důležité, tak vzájemně propojené, a tak často odbyté, že si zaslouží být povýšeny do samostatného kroku procesu DOE. Tyto úkoly se také obvykle provádí poté, co se zvolí design experimentu, mohou ale vyvolat problémy, které nutí k přehodnocení této volby.

Po provedení experimentu se vybere vzorek výpočtu pro určení nezbytného počtu opakování navrhovaného designu, aby byl experiment dostatečně citlivý pro prakticky významné účinky. Pokud uvedený celkový počet běhů vyčerpává dostupný čas a zdroje, může být nutné revidovat nebo snad dokonce opustit od původního plánu. Celkový počet potřebných běhů a rychlost, s jakou mohou být vyrobeny, mohou také brát v úvahu zařazení do bloků.

Všechny experimentální proměnné jsou buď náhodné, nebo slouží k definování bloků. Pokud je pokus v blocích, pak studie proměnné musí být znáhodněna uvnitř bloků. Úloha blokování proměnných je omezena na snížení variability spojené se zdroji rušení, které by snížilo citlivost experimentu, pokud by bylo přehlédnuto. Je-li experiment postaven v blocích, náhodné pořadí bloků a náhodné běhy zahrnují studium proměnných uvnitř bloků. Je nutné se ujistit, že plán náhodnosti a blokování je účinný k analyzování zamýšleného pořadí běhu experimentů, jako by to byla odpověď experimentu. Pokud některá z těchto proměnných návrhu nebo jiné důležité pojmy v modelu mohou předvídat běh pořadí, pak randomizace nebyla účinná a musí se znovu znáhodnit běhy nebo změnit randomizace plánu.

Po potvrzení znáhodnění plánu by měly být vytvořeny záznamové listy pro všechny subjekty. Tyto listy by měly uvést nastavení běhů experimentu s prostorem pro zaznamenávání reakce a pro zvláštní poznámky. V případě, že je experiment v blocích, mohou být vytvořeny samostatné listy pro každý blok. Členové týmu, kteří se budou podílet na budování skutečného pokusu, by měli přezkoumat záznamové listy dat, aby se ujistili, že jsou správné a pochopitelné.

Vedoucí projektu DOE je odpovědný za stanovení plánu znáhodnění a blokování, může být ale nezbytné to konzultovat s odborníkem na statistiku, techniky, nebo technology a určit praktické strategie pro plán. Jednoduché experimenty potřebují jen několik minut ke znáhodnění a blokování, ale složitý experiment může trvat několik hodin.

Krok 7: Průběh experimentu (10)

Experiment by neměl být spuštěn, pokud všechny klíčové zúčastněné osoby nesouhlasí, že je vše připraveno. Je potřeba tolika příprav a investic, že nikdo nechce začít experiment předčasně. Dokonce i poté, co se spustí velký experiment, se může stát, že se některé aspekty procesu neberou v úvahu a může být nutné přerušit experiment, dokud se problém nevyřeší. Někdy to může být provedeno ihned, co se problém objevil, ale když není jasné a efektivní řešení zřejmé, je obvykle lepší odejít a vrátit se další den.

Při průběhu experimentu je potřeba velká pozornost na dodržování správných postupů procesu: na plán randomizace, zachování totožnosti dílů a ujištění se, že všechna data jsou věrně a přesně zaznamenána. Jakékoli neobvyklé události nebo podmínky by měly být jasně uvedeny. Tato pozorování budou mít zásadní význam později, kdy bude nutné vysvětlit extrémní hodnoty v datové sadě.

Všechny klíčové osoby potřebné k provozu procesu musí být k dispozici při spuštění experimentu. Pokud klíčový člověk chybí, je lepší počkat, až bude tato osoba k dispozici.

Krok 8: Analýza dat (10)

Před provedením analýzy experimentálních dat by měla být potvrzena přesnost zaznamenaných hodnot dat kontrolou každé zaznamenané hodnoty v listu proti původnímu záznamu dat. Všechny nesrovnalosti musí být vyřešeny před provedením každé analýzy.

Experimentální údaje by měly být analyzovány pomocí Minitab nebo nějakým jiným vhodným softwarovým statistickým balíkem. Pokud je to možné, měla by být surová data vynesena nějakým smysluplným způsobem. Celý model včetně všech příslušných hlavních efektů, interakcí a dalších podmínek, by měl být spuštěn a měly by být vytvořeny kompletní sady reziduí, včetně grafů residuals versus each of the design variables, residuals versus fitted values a resiaduals versus the run order. Je také třeba vytvořit graf normální pravděpodobnosti reziduí. Zvláštní pozornost by měla být věnována odlehlým a velmi vlivným pozorováním.

Pokud je úplný model příliš složitý, měl by být vytvořen zjednodušený model. Oba modely, úplný i zjednodušený, musí být zachovány ve své kompletní podobě, protože je obvykle nutné oba vyhodnotit. Úplný model je důležitý, protože pravděpodobně obsahuje termíny, které jsou testovatelné, ale ne statisticky významné, a které mohou mít stejný nebo ještě větší význam než za podmínek, které jsou statisticky významné. Statistická analýza dat by měla být provedena podle vedoucího projektu DOE s podporou specialisty na statistiku pomocí DOE. Analýza jednoduchého experimentu by měla trvat méně než hodinu. Složitější experimenty mohou vyžadovat několik různých modelů, a to může trvat několik hodin.

Krok 9: Reprezentace výsledků (10)

Před pokusem o interpretaci jakéhokoliv modelu, by měly být hodnoceny grafy reziduí na normalitu, homogenitu a nezávislosti. Teprve poté, co jsou tyto podmínky a veškeré další

požadavky zkontrolovány, měl by být interpretován statistický model. Pokud je postaven z dat jen jeden model, bude výklad modelu pravděpodobně jednoduchý. Pokud existuje několik možných modelů, bude nutné porovnat několik různých aspektů a určit, který se nejlépe hodí k datům. V případě, že nejlepší model je identifikován, musí se postavit odpovídající korespondující chyby.

Pokud jsou nalezeny přijatelné modely a jejich chybová hlášení, měl by být model vykládán ve vztahu k cíli experimentu. Pokud je experimentální proměnná kvantitativní, je nutné si dát pozor, aby se předpokládaná odpověď neextrapolovala mimo rozsah experimentování.

Výklad statistického modelu by měl být proveden podle vedoucího projektu DOE s podporou od specialisty statistiky na DOE. Výklad modelu pro jednoduchý experiment je zpravidla jednoduchý a trvá méně než hodinu, ale složitější problémy mohou trvat několik hodin.

Krok 10: Ověřovací experiment (10)

Přes nejpilnější úsilí a pozornost k detailu, se občas stane, že se nedají duplikovat výsledky úspěšného experimentu. Pro ochranu organizace z neopakovatelnosti výsledků, je vždy potřeba sledovat navržený experiment s potvrzujícím experimentem. Účelem potvrzovacího experimentu je demonstrovat platnost modelu odvozeného k navrženému. Potvrzující experiment může být docela malý, skládá se snad z pouze jedné zásadní podmínky, ta by se ale měla zabývat nejdůležitějšími pohledávkami nebo závěry z úplného experimentu. Měl by být spuštěn po úplném experimentu a za typických provozních podmínek. V případě, že závěry z původního experimentu byly robustní, pak by měl potvrzující experiment úspěšně reprodukovat požadované výsledky. Nicméně pokud se něco přehlédlo, nebo se změnilo od doby, kdy byl proveden úplný experiment, pak musí být proměnné nebo změny identifikovány a začleněny do analýzy.

Potvrzující experiment je obvykle navržen vedoucím projektu DOE a provádí se na subjekty, které provozují proces. Experiment obvykle netrvá příliš dlouho, nebo spotřebuje velké množství zdrojů, pokud však nejsou výsledky v rozporu s úplným experimentem. Pokud potvrzující experiment vyžaduje neobvyklou kombinaci různých úrovní, může být nezbytné pro proces konzultace nebo dokonce podílení se inženýra na potvrzení experimentu.

Krok 11: Zpráva z experimentu (10)

Mnoho organizací sestavuje zprávu z experimentu v podobě snímků, například ve formě prezentace PowerPoint. Tento krok poskytuje efektivní osnovy pro takové prezentace. Může také sloužit jako kontrolní seznam, díky kterému jde relativně snadno potvrdit, že všechny aspekty experimentu byly náležitě zdokumentovány.

Pokud je třeba doložit navržený experiment v písemné zprávě, většina organizací má standardní formát zprávy. Pokud nebyl stanoven standardní formát, je účinná následující organizace zprávy:

1. **Findings**. Shrnutí experimentu shrnuje návrh, analýzu a výsledky. Tato část by měla být delší než jen pár vět.
2. **Background**. Některá technická zázemí procesu: popis problému a prohlášení o účelu experimentu. Tato část by měla mít více než jednu stránku.
3. **Experiment design**. Popis použitého návrhu experimentu, náhodného výběru a plán blokování. Může být také nutné zdůvodnit velikosti vzorku.
4. **Data**. Tabulka experimentálních dat s popisem a seřazením tabulky. Zvláštní zmínka by měla být o chybějících hodnotách. Dále jakékoliv připomínky v souvislosti

se zvláštními příčinami. Měly být uvedeny umístění původních dat ve své papírové nebo elektronické podobě.

5. **Statistical analyzis**. Popis statistické analýzy s odkazy na všechny analýzy v počítači a podpůrné grafy. Diskuse analýzy lze rovněž integrovat do této sekce.
6. **Recommendations.** Část doporučení by měla být zahrnuta do zprávy v případě potřeby na navazující studie, nebo při existenci nějakých nejasností zbývajících po dokončení analýzy. Tato část může také obsahovat soustředěné interpretace analýzy k řešení konkrétního problému nebo cíle experimentu.

Formální zpráva by měla být napsána podle vedoucího projektu DOE. Měla by být také přezkoumána a schválena členy týmu s technickými dovednostmi. (10)

3 EXPERIMENTY S JEDNÍM ZKOUMANÝM FAKTOREM

Při plánovaném experimentu s jedním faktorem se měří jedna nebo více odezev při různých úrovních sledovaného faktoru. Úrovně faktorů mohou být kvalitativní i kvantitativní. Při plánovaném experimentu s jedním faktorem postačuje jedna replikace, je tedy nutné změřit alespoň jednou každou úroveň faktoru. U analytické studie pouze s jedním faktorem je také nutné uvažovat vliv proměnných v pozadí, ty jsou buď měřeny, nebo udržovány konstantní. Proměnné v pozadí jsou redukovány seskupováním experimentálních jednotek do bloků. Analýza dat z plánovaného experimentu s jedním faktorem se provádí například pomocí průběhového diagramu se stanovenými úrovněmi faktorů. Průběhový diagram tvoří datové body vykreslené v chronologickém pořadí. Průběhových digramů se běžně používá pro zjištění variability procesu a monitorování výkonnosti procesu, pomáhá také odhalit příčiny zvláštní variací. Obvyklý postup při analýze dat z plánovaného experimentu s jedním faktorem je následující (9):

1. Sestrojí se průběhový graf nebo regulační diagram se stanovenou úrovní faktorů
2. Průběhový diagram se přeuspořádá podle úrovní faktorů
3. Odstraní se efekt proměnlivosti pozadí a sestrojí se znovu průběhový diagram s upravenými daty uspořádanými podle úrovní jednotlivých faktorů

Pokud měníme pouze jednu proměnnou, můžeme hovořit o plánovaném experimentu s jednou proměnnou (9).

3.1 Dvě úrovně

V praxi je častá nutnost porovnat dvě metody, stroje, operátory atd. Cílem je zjistit, zda se liší. Pokud ano, odhaduje se rozdíl mezi nimi a vyjádří se přesnost tohoto odhadu. Testuje se zde rozdíl dvou středních hodnot pomocí t-testu. Hlavní pozornost je věnována navrhnutí experimentu, tedy znáhodnění, replikacím a uspořádáním do bloků. (7)

3.1.1 Dvouvýběrový t-test

Pokud se výsledky pokusů v obou skupinách dají považovat za nezávislé náhodné výběry z normálních rozdělení $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ a $N(\mu_2, \sigma_2^2)$, kde $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$, pak test hypotézy $H_0: \mu_1 = \mu_2$ proti alternativní hypotéze $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ se provede pomocí statistiky dle Studentova rozdělení. Tohle rozdělení má statistika, jsou-li data v obou skupinách náhodným výběrem. Pro jejich splnění jsou potřeba tyto předpoklady:

- ✓ náhodnost výběru,
- ✓ normalita rozdělení,
- ✓ rovnost rozptylů,
- ✓ nezávislost výběrů. (7)

Síla testu

Před provedením experimentu je třeba rozhodnout, kolik pokusů při každé úrovni zkoumaného faktoru provedeme. Opakování pokusů při stejné úrovni faktoru umožní jednak odhadnout experimentální chybu a jednak ovlivní sílu testu $1 - \beta$, neboli schopnost odhalit existující rozdíl mezi středními hodnotami μ_1 a μ_2. (7)

Lineární model

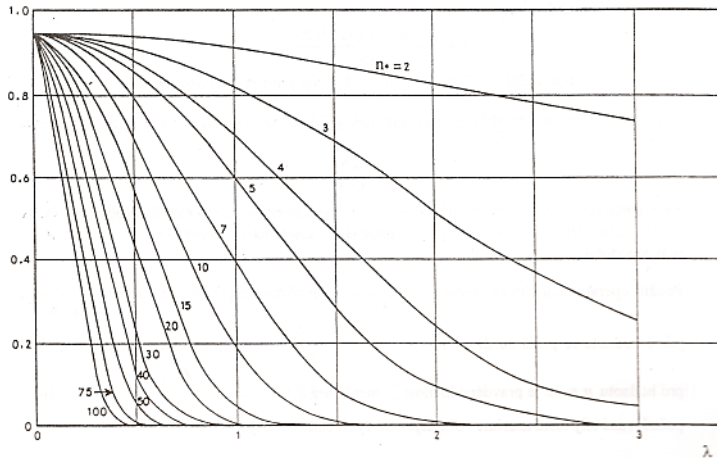
K popisu experimentu se může také použít jako matematický model rovnici:

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Rovnice 3.1 Lineární model t-testu (7)

kde:
y_{ij} – j-té pozorování při i-té úrovni faktoru,
μ_i – průměrný teoretický výsledek při úrovni i,
ε_{ij} – náhodná složka zahrnující všechny ostatní vlivy a zdroje rozptylu. (7)

Aby byly splněny předpoklady t-testu, musí být ε_{ij} nezávislé. Porušení předpokladů se dá nejrychleji posoudit pomocí grafů reziduí. Cílem je testování jednoznačnosti hypotézy. Předpokládají se zde normální modelové chyby a nezávisle rozdělené náhodné proměnné. Jedná se o jedno faktorové, protože se testuje pouze jeden faktor. Očekává se u něj kompletní znáhodnění. (7)



Obr. 3.1 Operativní charakteristiky pro t-test a hladinu významnosti α=0,05 (7)

3.2 Více úrovní

Zde se uvažuje obecně více úrovní faktoru než 2. Buď je počet předem dán, nebo se volí. Výsledky pokusů jsou roztříděny podle úrovní faktorů do skupin. Pokud je zkoumán vliv jediného faktoru na hodnotu odezvy, použije se jednofaktorová analýza rozptylu. Jelikož se jedná o výsledky pokusů podle úrovní jediného faktor, mluví se o jednoduchém třídění. (7)

3.2.1 ANOVA

Předpokladem je náhodné pořadí provádění pokusů. Úplně znáhodněný návrh má model:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$
$$(i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, r_i)$$

Rovnice 3.2 Model ANOVA pro úplné znáhodnění pro více faktorů (7)

kde:
y_{ij} – j-té pozorování při i-té úrovni faktoru,
μ - průměrný teoretický výsledek,
α_i – efekt úrovně *i*,
ε_{ij} – náhodná složka. (7)

Tento model popisuje dvě možné situace ve vztahu k efektům α_i. V první z nich jsou úrovně předem dané a testuje se hypotéza H_0: $\alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_a = 0$ neboli H_0: $\mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_a$, což znamená, že se srovnávají populace podle jejich středních hodnot. Potom se jedná o model s pevnými efekty, jinak označován jako model I. V druhém případě jsou úrovně náhodným výběrem z rozsáhlejšího souboru, α_i jsou náhodné proměnné a testuje se hypotéza o jejich variabilitě. Závěry se zobecňují na všechny úrovně v základním

souboru. Jedná se o model s náhodnými efekty (model II). Volba modelu závisí na cíli experimentu. Důležitým bodem plánování experimentu je stanovení počtu pokusů *r* při jednotlivých úrovních zkoumaného faktoru. Z hlediska síly testu je výhodnější vyvážený experiment, při kterém se provádí stejný počet pokusů při každé úrovni faktoru. (7)

Pokud existuje velký počet úrovní faktoru, zahrne se do experimentu obvykle jen několik náhodně vybraných. Tyto úrovně se považují za reprezentativní výběr z dané populace. Závěry se potom uvádějí pro celou populaci. Mluví se zde o náhodných efektech. (7)

3.2.2 Mnohonásobná porovnání

Prokáže-li se analýzou rozptylu, že střední hodnoty ve skupinách nejsou stejné, provede se hlubší analýza výsledků experimentu, to znamená porovnání středních hodnot mezi sebou. Mohou se nejen srovnávat dvě skupiny, ale také lineární kontrasty středních hodnot

$$\Psi = \sum_{i=1}^{a} h_i \mu_i$$

Vzorec 3.1 Lineární kontrasty středních hodnot (7)

s podmínkou $\sum_{i=1}^{a} h_i = 0$ pro vyvážený experiment. (7)

Při testování kontrastů je podstatné, zda byl kontrast zvolen před nebo po provedení experimentu, kdy se testuje více kontrastů, a rovněž to, zda jsou kontrasty nezávislé. Hrozí totiž zvýšení pravděpodobnosti chyby I. druhu. Bylo odvozeno mnoho metod umožňujících kontrolu chyby I. druhu. Jsou označované jako metody mnohonásobného porovnávání. (7)

Jednotlivé metody se liší jednak podmínkami použití, jednak šířkou konfidenčního intervalu. Většina se zabývá jednoduchými kontrasty (Fisher, Student-Newman-Keuls, atd.). Scheffé a Turkey odvodily vztahy použitelné pro všechny kontrasty. (7)

Fisher

Testuje se hypotéza $H_0: \mu_i - \mu_{i'} \neq 0$,. konfidenční interval pro předem zvolený rozdíl $\mu_i - \mu_{i'}$ je dán vztahem:

$$(\bar{y}_i - \bar{y}_{i'}) \pm t_{1-\alpha/2}(v) s \sqrt{\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_{i'}}}$$

Vzorec 3.2 Konfidenční interval Fisher (7)

Tento test je individuální, to znamená, že konfidence 1-α se týká jednotlivého předem stanoveného rozdílu. (7)

Turkey

Tato metoda bere v úvahu simultánní testování. Předpokládá se vyvážený návrh $r_1 = r_2 = \cdots = r_a$ a konfidenční interval pro $\mu_i - \mu_{i'}$ je

$$\widehat{\Psi} \pm q_{1-\alpha}(a, v) \frac{s}{\sqrt{r}} \frac{\sum |h_i|}{2}$$

Vzorec 3.3 Konfidenční interval Turkey (7)

kde $q_{1-\alpha}$ je kvantil studentizovaného rozpětí $\frac{\bar{y}_{max} - \bar{y}_{min}}{\frac{s}{\sqrt{r}}}$ pro *o* průměrů. Kvantily jsou tabelovány. (7)

Student-Newman-Keuls

Při aplikaci této metody se seřadí nejprve průměry podle velikosti. Použije se α-1 konfidenčních intervalů:

$$(\bar{y}_i - \bar{y}_{i'}) \pm q_{1-\alpha}(p, v)\frac{s}{\sqrt{r}}$$

Vzorec 3.4 Konfidenční interval Student-Newman-Keuls (7)

kde $p = 2,3,..,a$ a souvisí se vzdáleností průměrů. (7)

Scheffé

Simultánní interval pro kontrast $\Psi = \sum_{i=1}^{a} h_i \mu_i$

Vzorec 3.5 Lineární kontrast Scheffé (7)

je dán vztahem:

$$\widehat{\Psi} \pm \sqrt{(a-1)F_{1-\alpha}(a-1, v)}s\sqrt{\sum \frac{h_i^2}{r_i}}$$

Vzorec 3.6 Simultánní interval Scheffé (7)

Scheffého metoda je u jednoduchých kontrastů konzervativnější než metoda Turkeyova. To znamená, že má širší konfidenční interval. (7)

3.3 Experimenty s blokovými faktory

Zkoumá-li se vliv určitého faktoru na sledovanou veličinu, opakuje se celý experiment několikrát ke zvýšení spolehlivosti závěrů. Při opakování bývá obtížné udržet stejné podmínky. Vlivem kolísání hodnot proměnných (nejsou zahrnuty – vnější, rušivé proměnné) vznikne experimentální chyba. Jde zmenšit uspořádáním pokusů do homogenních skupin. Pokud vzniknou skupiny tříděním podle jednoho faktoru, jedná se o bloky. Při uvažování dvou nebo více rušivých proměnných se uspořádá návrh do čtverce. (7)

Znáhodněné bloky

Úplné znáhodněné bloky jsou návrhem, v němž každý blok obsahuje všechny úrovně zkoumaného faktoru A. Z toho vyplývá, že v rámci jednoho bloku se při každé úrovni faktoru provede právě jeden pokus. To zajistí ortogonalitu návrhu. Pořadí nastavování úrovní v rámci každého bloku je náhodné. Počet bloků je roven počtu replikací. Při analýze se s bloky zachází jako s úrovněmi dalšího faktoru. Díky ortogonalitě jak faktoru A, tak blokového faktoru lze celkovou variabilitu rozložit na část způsobenou změnami faktoru A, část způsobenou rozdíly mezi bloky a zbytek, nebo-li experimentální chybu. Vliv bloků je oddělen od vlivu ostatních rušivých proměnných. Typickými blokovými faktory jsou přístroje, stroje, dávky surovin, operátoři, čas. Někdy se blokový faktor zahrnuje pro rozšíření interpretace výsledků. (7)

ANOVA

Model analýzy rozptylu pro tento návrh je

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \rho_i + \varepsilon_{ij}$$
$$(i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, r)$$

Rovnice 3.3 Model analýzy rozptylu pro znáhodněné bloky (7)

kde
μ - obecná střední hodnota,
α_i – efekt i-té úrovně faktoru A,
ρ_i – efekt j-tého bloku,
ε_{ij} – náhodná chyba.

U modelu s pevnými efekty se ještě přidává podmínka pro bloky. (7)

3.3.1 Neúplné znáhodněné bloky

Není-li možné vystřídat v každém bloku všechny úrovně zkoumaného faktoru, utvoří se bloky s menším rozsahem, neúplné bloky. Pro pozdější vyhodnocení je potřeba, aby byly vyvážené. To znamená, že každá dvojice úrovní hlavního faktoru se vyskytne ve stejném počtu bloků a každé úrovni faktoru odpovídá stejný počet opakování. Pro vyvážení bloků musí platit:

$$bk = ar$$
$$r(k-1) = \lambda(a-1)$$

Rovnice 3.4 Vyvážení bloků pro neúplné znáhodněné bloky (7)

kde
a – počet úrovní zkoumaného faktoru,
b – počet bloků,
$k < a$ – počet úrovní zkoumaného faktoru v každém bloku,
r – počet replikací,
λ – počet bloků, v nichž se vyskytne stejná dvojice úrovní. (7)

3.3.2 Latinské čtverce

Pokud máme dva možné zdroje nežádoucí variability, tj. jsou potřeba dva blokové faktory, vede uspořádání do úplných bloků. To znamená příliš velký počet pokusů. Pak je vhodné pokusy uspořádat do latinského čtverce. (7)

Podmínkou je stejný počet úrovní hlavního i obou blokových faktorů. Blokové faktory se označují jako řádky a sloupce. Každá úroveň faktoru se vyskytuje v každém řádku i v každém sloupci jedenkrát. Latinské čtverce lze použít za předpokladu, že blokové faktory nevytvářejí interakce ani s hlavním faktorem, ani mezi sebou. (7)

	1	2	3	4
1	A	B	C	D
2	B	C	D	A
3	C	D	A	B
4	D	A	B	C

Obr. 3.2 Latinský čtverec (7)

Latinský čtverec pro zkoumaný faktor s r úrovněmi má r řádků a r sloupců, tedy r^2 polí. Každé pole obsahuje jediné písmeno značící úroveň zkoumaného faktoru a každé písmeno se vyskytuje v každém řádku i sloupci právě jednou. Při znáhodnění se vychází z tzv. standardního čtverce, v němž první řádek a první sloupec tvoří úrovně hlavního faktoru seřazené podle abecedy a ostatní řádky/sloupce vzniknou cyklickou záměnou vždy o jedno místo vůči předcházejícímu řádku/sloupci. Řádky a sloupce se potom náhodně zamění. (7)

řádky (1.blokový faktor)	sloupce (2.blokový faktor) 1	2	3	4
1	A	B	D	C
2	B	C	A	D
3	C	D	B	A
4	D	A	C	B

Obr. 3.3 Znáhodněný latinský čtverec (7)

Nevýhodou latinských čtverců je relativně malý počet volnosti. Reziduální součet čtverců má 2 stupně volnosti pro $r = 3$ a 6 stupňů volnosti pro $r = 4$ repliky. Proto je potřeba někdy celý experiment zopakovat. Při opakování přichází v úvahu možnosti:

1. při replikacích se užije stejná úroveň obou blokových faktorů.
2. Při replikacích se užije stejná úroveň jednoho blokového faktoru, úrovně druhého jsou jiné.
3. Užije se jiné úrovně u obou blokových faktorů. (7)

4 FAKTORIÁLNÍ EXPERIMENTY

U většiny experimentů lze předpokládat, že sledovaný znak, odezva, závisí na více proměnných. Tyto faktory mohou působit aditivně, účinky změn jejich úrovní na změnu odezvy se sčítají, nebo je jejich společné působení na odezvu složitější, kdy existují jejich interakce. Toto vyšetření umožňují faktoriální experimenty, pro něž je typické provádění pokusů pro různé kombinace úrovní všech faktorů. Úplný faktoriální experiment zahrnuje všechny možné kombinace úrovní zkoumaných faktorů. V dílčím faktoriálním experimentu jsou některé kombinace vynechány. Je potřeba pečlivě uvážit kolik faktorů bude sledováno a jaký počet jejich úrovní zvolit. Z označení faktoriálních experimentů lze vyčíst počet zkoumaných faktorů a počet jejich úrovní. (7)

Faktoriální experiment se používá tehdy, kdy je potřeba vyšetřit vliv více faktorů a očekává se, že by mohly působit společně prostřednictvím interakcí. Mohou se uspořádat jako úplně znáhodněný návrh nebo do bloků. Způsob uspořádání však musí být vzat v úvahu při analýze. K ověření všech možných interakcí musí být provedeny aspoň $r = 2$ replikace. Jedná se o vyvážený návrh. (7)

V případech kdy se uvažuje velký počet faktorů, s počty úrovní nevyplývajících přímo z podstaty problému, se omezuje jejich počet na minimum. Mají-li všechny faktory v experimentu dvě úrovně, mluví se o typu 2^k . Faktoriální návrh umožňuje studovat interakce mezi jednotlivými faktory. Data získaná pomocí faktoriálního návrhu je možné využít ke studiu každého ze sledovaných faktorů. Využití faktoriálního návrhu je mnohem efektivnější varianta studia faktorů v čase (9).

4.1 Dva faktory

Pokud zkoumáme dva faktory A a B s počtem úrovní a a b, jedna replikace experimentu znamená ab pokusů, r replikací abr pokusů. Při úplném znárodnění je pořadí těchto abr pokusů náhodné. Použije se zde model

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{(ij)k}$$
$$(i = 1, 2, \dots, a; j = 1,2, \dots, b; k = 1,2, \dots, r)$$

Rovnice 4.1 Model pro dva faktory experimentu (7)

kde
y_{ijk} – k-tá hodnota odezvy při i-té úrovni faktoru A a j-té úrovni faktoru B,
μ – obecná střední hodnota,
α_i – efekt i-té úrovně faktoru A,
β_j – efekt j-té úrovně faktoru B,
$(\alpha\beta)_{ij}$ – efekt interakce pro i-tou úroveň faktoru A a j-tou úroveň faktoru B,
$\varepsilon_{(ij)k}$ – náhodná chyba. (7)

K určení rozsahu výběru se užije stejných operativních charakteristik jako u jednoho faktoru. Požaduje-li se, aby byla nulová hypotéza zamítnuta s pravděpodobností $1- \beta$, je-li rozdíl mezi kterýmikoliv dvěma středními hodnotami roven D, nahradí se suma ve vzorci pro Φ^2 výrazem $\frac{D^2}{2}$ podobně jako u jednoho faktoru. . (7)

Jsou-li úrovně jednoho faktoru pevně stanoveny a úrovně druhého zvoleny náhodně, použije se některý ze smíšených modelů. Jsou definovány stejně jako v případě pevných efektů, liší se ale předpoklady o náhodných složkách. Zkoumají-i se dva faktory, každý při dvou úrovních, používá se pro označení úrovní symbolů „+“ a „-“ nebo „0“ a „1“. U kvantitativních faktorů odpovídá „-“ nebo „0“ nižší hodnotě, u kvalitativních je přiřazení libovolné. Uvedené druhy kódování umožňují formalizovat a zjednodušit výpočet hlavních

efektů a interakcí. Jejich výpočet se provádí doplněním matice návrhu o sloupec interakcí. Znaménko „+“ ve sloupci odpovídá shodným znaménkům A a B ve stejné pozici ve sloupci. Naopak znaménko „-“ opačným znamínku A a B. Při určování efektů faktorů A a B a interakce mezi nimi se postupuje podle znaménkového schématu tak, že se přičítají a odčítají hodnoty součtu v posledním sloupci podle znaménka ve sloupcích A, B, resp. AB a výsledek se dělí výrazem *2r*. Tyto efekty se pak mohou znázornit jako body podél osy se stupnicí a získat tak první představu o relativní velikosti všech efektů. O tom, zda jsou hlavní efekty nebo interakce významné se rozhodne pomocí analýzy rozptylu. . (7)

Existuje několik důvodů pro upřednostnění 2^k faktoriálního experimentu a 2^k faktoriálního návrhu, před experimentem a návrhem, který má rozdílné úrovně faktorů[4]:

- ✓ 2^k faktoriálního návrh je jednoduchý pro použití a analýzu dat a je u něj možné použít grafické metody (9).
- ✓ Pro 2^k návrh je zapotřebí relativně málo měření. Pro 2^k faktoriální experiment se čtyřmi faktory je nutné realizovat 16 měření. Pokud máme tříúrovňový experiment se stejným počtem faktorů, je nutné provést 81 měření (9).
- ✓ Bylo zjištěno, že 2^k faktoriální návrh splňuje většinu parametrů pro potřebu zlepšování kvality (9).
- ✓ 2^k faktoriální návrh je také vhodný pro postupné testování, tak mohou i komplikované systémy s mnoha proměnnými být studovány do hloubky za použití relativně jednoduchého návrhu (9).
- ✓ Pokud je studováno velké množství faktorů, umožňuje 2^k faktoriální návrh udržet plánovaný experiment v rozumném rozsahu (9).

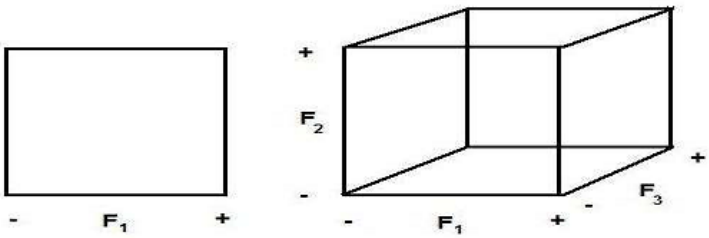
Existují různé způsoby zobrazení kombinací, které vytvářejí faktoriální design. Na obr. 4.1 jsou zobrazené některé možné cesty jak zobrazit faktoriální design. O návrhu pomocí matice můžeme říct, že se používá převážně pro dokumentaci testů provedených v rámci experimentu. Návrh pomocí matice je také využíván pro sběr dat a odhad efektů jednotlivých faktorů (9). Matice návrhu je zjednodušeně matice, jejíž řádky představují jednotlivá ošetření a která může být rozšířena odvozenými úrovněmi dalších funkcí úrovní faktorů, která však závisí na předpokládaném modelu.

	Faktor	
TEST	1	2
1.	-	-
2.	-	+
3.	+	-
4.	+	+

	Faktor		
TEST	1.	2.	3.
1.	-	-	-
2.	+	-	-
3.	-	+	-
4.	+	+	-
5.	-	-	+
6.	+	-	+
7.	-	+	+
8.	+	+	+

F_2	+ F_2 -	
+		
-		

F_2	- F_3 +			
	- F_1 +		- F_1 +	
-				
+				



Obr. 4.1 Zobrazení faktoriálního designu (10)

2^k faktoriálního návrhu zobrazeného pomocí tabulky každá z buněk koresponduje s určitou kombinací faktorů a lze tak přehledně studovat vliv jednotlivých faktorů na odezvu. U geometrického zobrazení každý roh krychle zobrazuje rozdílné nastavení faktorů. Rohy krychle korespondují s buňkami v tabulkách a je k nim tedy také připsána příslušná hodnota odezvy. Geometrické zobrazení je vhodné především pro analytické studie (9).

4.2 Více faktorů

Postup analýzy dvou faktorového experimentu lze zobecnit na případ tří a více faktorů. V experimentu a x b x c se zkoumají tři faktory s počtem úrovní a, b, c. Při jedné replikaci se provede abc pokusů, při r replikacích abcr pokusů. Používají se zde i více faktorové interakce. (7)

4.2.1 Pravidla pro určování stupňů volnosti a střední hodnoty průměrných čtverců

1. Do tabulky se zapíší pod sebe všechny hlavní efekty a dvou a více faktorové interakce. Počet stupňů volnosti je u každého člena modelu roven součinu počtu úrovní spojeného s každým indexem v závorce a počtu úrovní mínus jedna spojeného s indexem mimo závorku. (7)

Tabulka 4.1 Hlavní efekty a interakce (7)

Faktor	λ	stupně volnosti čitatel ν_1	stupně volnosti jmenovatel ν_2
A	$\sqrt{1+\frac{br\sigma_\alpha^2}{\sigma^2+r\sigma_{\alpha\beta}^2}}$	$a-1$	$(a-1)(b-1)$
B	$\sqrt{1+\frac{ar\sigma_\beta^2}{\sigma^2+r\sigma_{\alpha\beta}^2}}$	$b-1$	$(a-1)(b-1)$
AB	$\sqrt{1+\frac{r\sigma_{\alpha\beta}^2}{\sigma^2}}$	$(a-1)(b-1)$	$ab(r-1)$

Př. $(\alpha\beta)_{ij}$ má *(a-1)(b-1)* stupňů volnosti, $\varepsilon_{(ij)k}$ *ab(r-1)* stupňů volnosti.

2. Efekty jsou buď pevné, nebo náhodné. Obsahuje-li interakce aspoň jeden náhodný efekt, použije se experiment s náhodným efektem. Pevný efekt je vždy reprezentován součtem čtverců složek spojených s příslušným faktorem, děleným počtem stupňů volnosti. Náhodný naopak složkou rozptylu a příslušným označením faktoru. (7)

   Př. Pevný efekt faktoru A je $\frac{\sum_{i=1}^{a}\alpha_i^2}{a-1}$, náhodný efekt faktoru B je σ_β^2.

3. Pro každý index, který se vyskytuje v modelu, se připraví sloupec v tabulce. Nad každý index se zapíše počet úrovní faktoru, u něhož se index nachází. Dále se označí, zda se jedná o pevný (F) nebo náhodný (R) efekt. Replikace jsou vždy náhodné. (7)

Tabulka 4.2 Hlavička tabulky (7)

	F	F	R
Faktor	a	b	r
	i	j	k

4. V každém řádku se zapíše 1 nebo 0 v pozicích odpovídajících těm sloupcům, které mají v záhlaví stejný index a to podle toho, jestli se jedná o pevný nebo náhodný efekt a podle toho, jestli se index nachází v závorce nebo mimo ni. Pokud je v závorce, píše se 1, mimo závorku 0 ve sloupci F a 1 v R. (7)

Tabulka 4.3 Zápis známých hodnot do tabulky (7)

Faktor	F a i	F b j	R r k
α_i	0		
β_j		0	
$(\alpha\beta)_{ij}$	0	0	
$\varepsilon_{(ij)k}$	1	1	1

5. na zbývajících místech v řádku se doplní vždy počet úrovní uvedený v záhlaví příslušného sloupce. (7)

Tabulka 4.4 Doplnění o počet úrovní v záhlaví příslušného sloupce (7)

Faktor	F a i	F b j	R r k
α_i	0	b	r
β_j	a	0	r
$(\alpha\beta)_{ij}$	0	0	r
$\varepsilon_{(ij)k}$	1	1	1

6. pro určení střední hodnoty průměrného čtverce se zakryjí všechny sloupce odpovídající indexům mimo závorku. Potom se v každém řádku obsahujícím minimálně stejné indexy jako řádek provede součin všech viditelných čísel a násobí se jím pevný a náhodný efekt. Střední hodnota průměrného čtverce je rovna součtu všech takto získaných členů. (7)

4.3 Znáhodněné bloky

Ze stejných důvodů, jako u jednofaktorového experimentu se i ve faktoriálním používají znáhodněné bloky nebo latinské čtverce. Uspořádání se projeví přidáním dalšího členu, blokového faktoru. Pro model se dvěma faktory má tvar

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{(ij)k}$$
$$(i = 1, 2, \dots, a; j = 1,2, \dots, b; k = 1,2, \dots, r)$$

Rovnice 4.2 Model se dvěma faktory při znáhodnění bloků (7)

kde ρ_k – efekt k-tého bloku. (7)

Dále se zde dá použít návrh s dělenými oblastmi v experimentech, kde není možné zcela znáhodnit pořadí kombinaci úrovní faktorů v rámci bloků. Podstatným rysem tohoto návrhu je postupně provedené znáhodnění týkající se nejprve jednoho faktoru a potom

druhého. Faktor A je základním faktorem, přidaný faktor B je v rámci oblastí. Každá oblast přiřazená jedné z úrovní základního faktoru A hraje roli bloků pro přidaný faktor B. Návrh se používá tam, kde se jeden z faktorů snadno mění. (7)

Tabulka 4.5 Návrh s dělenými oblastmi (7)

blok 1	A_3B_4	A_3B_2	A_1 B_1	A_1B_3	A_2 B_2	A_2B_1
	A_3B_1	A_3B_3	A_1 B_2	A_1 B_4	A_2B_4	$A2B_3$
blok 2	A_1 B_1	A_1B_3	A_3 B_1	A_3 B_4	A_2 B_2	A_2 B_1
	A_1 B_4	A_1 B_2	A_3 B_2	A_3B_3	A_2B_3	A_2 B_4

Nemá-li žádný faktor vliv na odezvu, budou mít všechny odhady efektů normální rozdělení s nulovou střední hodnotou a stejným rozptylem. Vynesou-li se do normálního pravděpodobnostního grafu, budou všechny hodnoty ležet v blízkosti přímky určené zmíněnými parametry. Pokud jsou však některé efekty nenulové, pak se jim odpovídající body budou jevit jako odlehlé hodnoty, zatímco body odpovídající nulovým efektům budou v blízkosti přímky. Pokud z grafu vyplývá, že body odpovídající efektům nejvyšších interakcí nejsou mezi odlehlými hodnotami, sloučí se tyto interakce. Může se také zvolit jiný postup. Naznačuje-li graf, že ani hlavní efekt daného faktoru, ani žádná interakce tento faktor obsahující nejsou podstatné, vypustí se z experimentu. (7)

Stejně jako u jednofaktorového experimentu se u faktoriálních experimentů využívá techniky blokování. Vzhledem k vyšší kombinaci úrovní faktorů se často nemohou vytvořit úplné bloky, které by obsahovaly všechny kombinace. Návrh, v němž každý blok obsahuje pouze část kombinací, se nazývá faktoriální návrh se sloučenými efekty. Této technice se říká směšování efektů. Volba kombinací v bloku se provádí tak, aby jeden nebo více předem určených efektů byly smíšeny s blokovým efektem, zatímco ostatní efekty sloučeny nebudou. Snahou je obsadit bloky tak, aby se neztráceli informace o hlavních efektech a dvou/tří faktorových interakcích. Do kombinace se zahrnují všechny kombinace úrovní. (7)

4.4 Dílčí faktoriální návrh

Pokud se zkoumají vztahy mezi více, než čtyřmi faktory velice často není pro provedení úplného faktoriálního experimentu dostatek času, surovin a peněz. Vhodným řešením je dílčí faktoriální experiment, což je experiment, v němž se vynechá vhodně zvolená část kombinací. V důsledku toho se sice ztratí možnost získat informace o všech interakcích (nemohou se zkonstruovat jejich odhady), ale vychází se z předpokladu, že více faktorové interakce jsou málo pravděpodobné. Experimenty se dají zkrátit na polovinu, čtvrtinu atd. Podle toho, které efekty jsou v návrhu smíšeny se hovoří o různém rozlišení návrhu:

1. návrh má rozlišení III, jestliže žádné hlavní efekty nejsou sloučeny s jinými hlavními efekty, ale jsou zde sloučeny hlavní efekty s dvoufaktorovými interakcemi a tyto interakce mezi sebou,
2. návrh má rozlišení IV, jestliže žádné hlavní efekty nejsou sloučeny mezi sebou ani s dvoufaktorovými interakcemi, ale tyto interakce jsou sloučeny mezi sebou,
3. návrh má rozlišení V, jestliže hlavní efekty a dvou faktorové interakce nejsou sloučeny mezi sebou. (7)

Dílčí faktoriální návrh má tyto výhody (9):

- ✓ Umožňuje studium relativně velkého množství faktorů za předpokladu menšího množství prováděných testů oproti úplnému faktoriálnímu experimentu.
- ✓ Je možné studovat faktory v širokém okruhu podmínek
- ✓ Mohou být snadno prováděny sekvenčně
- ✓ Přebírají Paretův princip - relativně málo faktorů má zásadní vliv na odezvu

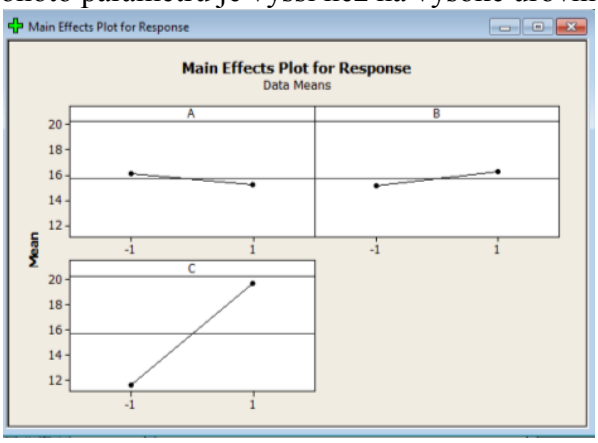
Použití dílčího faktoriálního návrhu má také své nevýhody (9):

- ✓ Dílčí faktoriální návrh je náchylný na speciální případy proměnlivosti a chybějící hodnoty
- ✓ Je těžké určit speciální případy proměnlivosti
- ✓ V teoretické rovině je dílčí faktoriální experiment složitější, než úplný faktoriální experiment

4.5 Analytické nástroje pro plánovaný experiment

4.5.1 Graf hlavních efektů

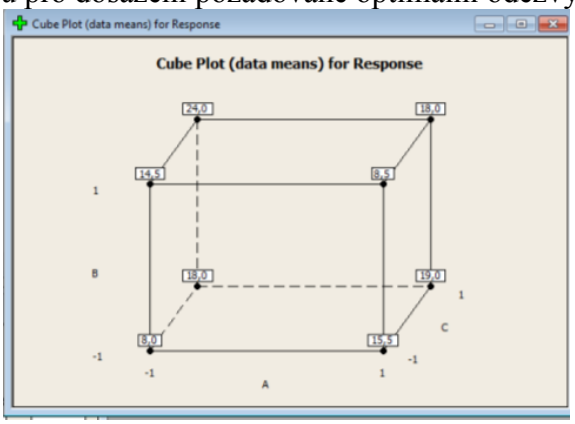
Graf hlavních efektů je graf, který zobrazuje střední hodnotu odezvy na všech úrovních zvoleného parametru nebo zvolené proměnné. Využívá se především k porovnání efektů jednotlivých faktorů na plánovaný experiment. Na základě znaménka můžeme rozpoznat směr hlavního efektu, jestli se průměrná hodnota odezvy zvyšuje nebo snižuje. Na základě velikosti zjistíme vliv jednotlivých faktorů. Je-li účinek návrhu nebo procesního parametru pozitivní, znamená to, že průměrná odezva je na vysoké úrovni vyšší než na nízké úrovni parametrů nastavení. Naopak, je-li efekt negativní, znamená to, že průměrná odezva na nízké úrovni nastavení tohoto parametru je vyšší než na vysoké úrovni (9).



Graf 4.1 Hlavní efekty (Minitab)

4.5.2 Krychlový graf

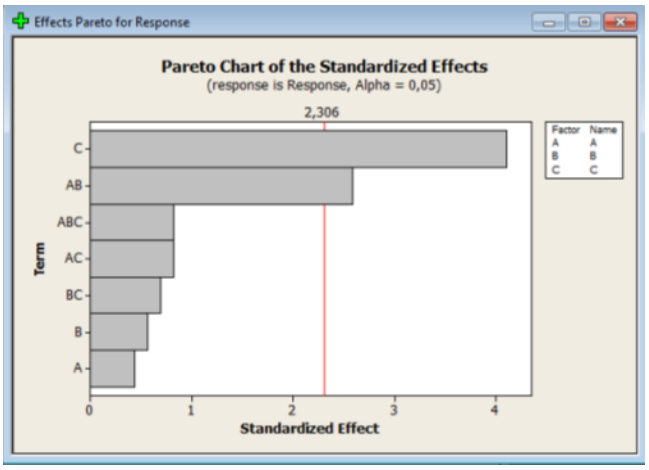
Krychlový graf zobrazuje průměrné hodnoty odezvy při všech kombinacích faktorů ovlivňujících sledovaný proces. Na základě krychlového grafu je velice snadné určit nejlepší a nejhorší kombinace faktorů pro dosažení požadované optimální odezvy (9).



Graf 4.2 Krychlový (Minitab)

4.5.3 Paretova analýza

Paretova analýza se používá při rozhodování o tom, které z mnoha příčin jsou spojeny s největšími ztrátami. Juranův princip říká: největší pozornost se má věnovat 20% životně důležitých příčin, které vyřeší 80% ztrát. Používá se ke zpracování kvalitativních dat.



Graf 4.3 Paretova analýza (Minitab)

Paretova analýza může být využita pro prosté četnosti atributů, ale může také atributům přiřadit rozdílné váhy. Vynásobením vah a četností se získají nové údaje do prvotní tabulky. Pro vyjádření příčin neshod je dobré vytvořit stupnici. (11).

4.5.4 Graf normální pravděpodobnosti vlivu faktorů

Hlavní faktory a interakce vlivu faktorů nebo procesu a jejich parametry by měly být vyneseny do grafu normální pravděpodobnosti vlivu faktorů tak, aby se zabránilo vzniku kumulativní pravděpodobnosti. Neaktivní hlavní účinky a interakce mají tendenci klesat zhruba po přímce. Aktivní účinky mají tedy podobu bodů na obou koncích přímky. Tyto aktivní účinky jsou posouzeny jako statisticky významné (11).

4.5.5 Graf normální pravděpodobnosti reziduální chyby

Používá se k ověření údajů o normalitě. Tento nástroj je vhodný pro hodnocení normality dat, i když máme k dispozici pouze malý počet pozorování. Pojem zbytkové znamená rozdíl v pozorovaných hodnotách a předpokládaných hodnotách. Pokud reziduální chyby neklesají zhruba po přímce, mají normální rozdělení. Naproti tomu, pokud zbytky neklesají poblíž přímky, nemají normální rozdělení (11)..

4.5.6 Regresní modely

Povrchové grafy odezvy se používají pro stanovení žádoucích hodnot odezev a provozních podmínek. V obrysovém grafu je odezva zobrazena ve dvojdimenzionální rovině, kde jsou všechny body, které mají stejnou hodnotu odezvy propojeny vrstevnicí. Povrchový graf obvykle zobrazuje trojrozměrný pohled, který může poskytnout jasnější představu o odezvě. Regresní model složený z hlavních efektů a neobsahující interakce bude mít odezvu ve tvaru roviny. Pokud model obsahuje interakce, odezva reprezentovaná vrstevnicí bude zakřivená a nebude v jedné rovině (11).

5 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

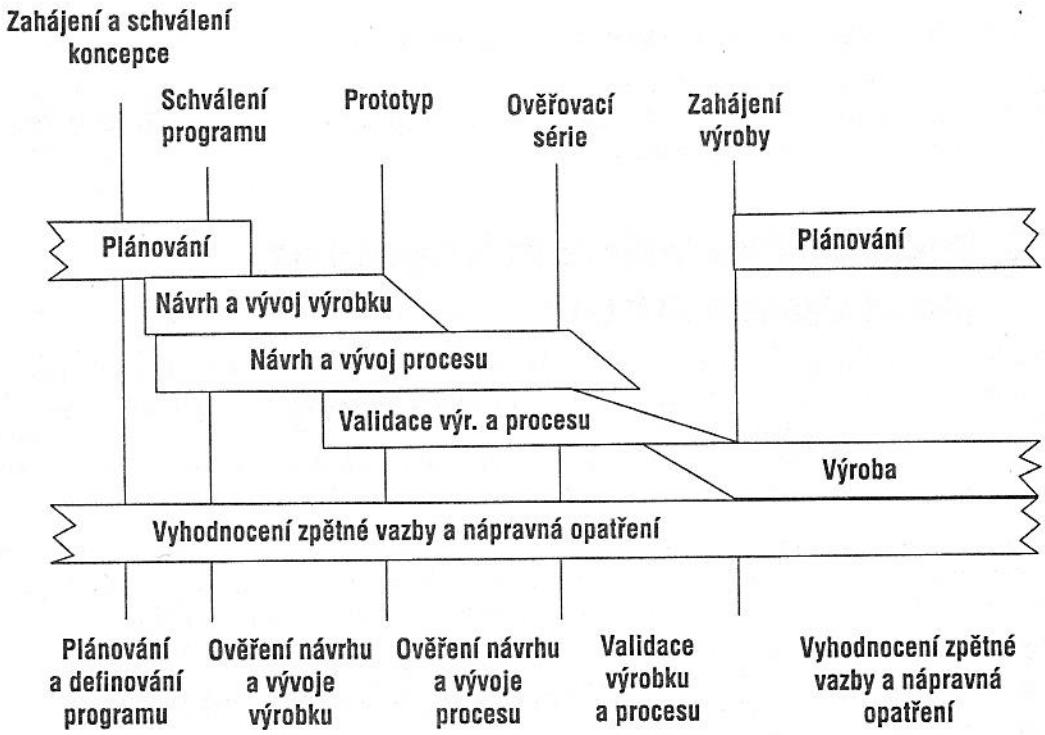
5.1 APQP

APQP byl definovaný organizací AIAG s cílem definování obecných požadavků na plány kvality, které by měly zajišťovat kvalitu očekávanou zákazníkem. Základní strategií APQP je požadavek, aby byla kvalita od začátku součástí návrhu, tj. aby se na ní myslelo již při vývoji a ne až v rámci testování hotového výrobku (12).

Plánování jakosti je v této metodice definováno jako strukturovaná metoda definování a zavedení kroků nutných k zabezpečení spokojenosti zákazníka s výrobkem. Název lze přeložit jako „Zdokonalené plánování jakosti výrobku a kontrolní plán“. Plánování výrobku je v této metodice charakterizováno jako strukturovaná metoda definování a zavedení kroků nutných k zabezpečení spokojenosti zákazníka s výrobkem. Vede ke zjednodušení plánování jakosti a usnadňuje komunikaci se zákazníky. Při plánování jakosti se uplatňují například tyto metody:

- ✓ Metoda QFD
- ✓ Přezkoumání návrhu
- ✓ Metoda FMEA návrhu výrobku
- ✓ Metoda FMEA procesu
- ✓ Analýza stavu poruchových stavů
- ✓ Hodnocení způsobilosti procesů
- ✓ Afinitní diagram
- ✓ Diagram PDPC
- ✓ Síťový diagram
- ✓ Maticový diagram

Atd. (6)



Obr. 5.1 Použití APQP v průběhu života výrobku (6)

APQP v procesu přípravy a výroby (12)

- ✓ Plánování
  Součástí plánu jsou cíle kvality finálního výrobku. Ty vytváří i cíle na všechny materiály a procesy výroby a užívání. Na jejich základě vzniká také plán ověřování.
- ✓ Návrh a vývoj výrobku
  Návrh způsobů ověřování bezpečnosti (FMEA, DFMA a dalších postupů), návrh matriálů, způsobu výroby a její kontroly, včetně kontroly prototypů.
- ✓ Návrh a příprava procesů
  Stanovení standardů balení, výroby a její externí i interní logistiky (dodávky i interní rozmístění a přesuny při výrobě), výstupní a průběžné kontroly, plán ověřování zahájení výroby včetně ověření schopností splnit kvalitativní i kvantitativní kritéria výroby.
- ✓ Ověřování produktu i procesů
  Realizace zkušební výroby, ověření procesů výroby, ověřování kvality součástek, ověření funkčnosti výstupní kontroly a celého mechanismu řízení kontroly; posouzení způsobů balení.
- ✓ Výroba
  Zajištění navržených postupů v běžném provozu ve stanovené podobě (resp. měněné pouze regulérním změnovým řízením).
- ✓ Kontrolní plán
  Definuje kroky potřebné pro průběžnou kontrolu funkce výrobních i kontrolních mechanismů, a že ve výrobě dochází k minimálním změnám - výměny strojů a nástrojů, vlivem jejich průběžného opotřebení, tolerančních odchylek apod.

5.2 Definice a cíle QFD

Metoda QFD patří do širšího kontextu plánování kvality (APQP) a využívá se k převodu požadavků zákazníka do požadavků na produkt, jako jsou technické a provozní termíny a pro zobrazování a dokumentování převedených informací. Dá se využívat i v průběhu celého plánovacího procesu. QFD poskytuje prostředky pro převádění obecných požadavků zákazníka na stanovené řídící znaky konečného produktu a procesu. Tato metoda má dvě dimenze. A to rozvíjení kvality, což je převod požadavků zákazníka na požadavky návrhu produktu a rozvíjení funkce, převod požadavků návrhu na příslušné požadavky na díly, proces a výrobu. (6)

Jedná se o cílené plánování a vývoj funkcí jakosti výrobku/služby s ohledem na vlastnosti požadované zákazníky. Volně řečeno, je to systém opatření, která zajišťují znalost požadavků a přání zákazníka, aby byly respektovány ve všech fázích procesu tvorby produktu. Znamená to vytvořit v krátkém čase integrovaný proces vývoje takových výrobků a služeb, které budou přiměřené potřebám zákazníků a zároveň z hlediska kvality vysoce hodnotné. Cílem použití je nasazení souboru nástrojů použitelných nad rámec jedné oblasti ke stanovení priorit požadavků zákazníků a k následné realizaci inovačních, spolehlivých, tedy silných a nákladově výhodných řešení. Hlavním pilířem je nový vývoj a zlepšení výrobků respektive služeb. V podstatě jde o to:

- ✓ odvodit z rozpoznaných potřeb zákazníka požadavky na řešení problémů jakosti,
- ✓ vypracovat požadovaný profil a soubor povinností,
- ✓ pomocí kritérií jej realizovat ve vývoji výrobků a
- ✓ specifikovat potřebné výrobní postupy. (13)

Metoda QFD je metodou plánování jakosti, založenou na principu maticového diagramu. Představuje strukturovaný přístup pro stanovení potřeba požadavků zákazníka a jejich transformaci do dalších stádií plánování jakosti a vývoje výrobku a procesu jeho výroby. Je to velice důležitý nástroj komunikace a její úspěšnost je založena na týmové práci. (13)

Základy položil roku 1966 Y. Akao a poprvé byla aplikována na počátku sedmdesátých let u KOBE SHIPYARD v Japonsku. V roce 1977 se začala používat u firmy Toyota a do USA pronikla v roce 1984. Ve Švédsku se objevila v létech 1987-1989 u firem Volvo a Saab. (6)

Jedná se o přístup k řízení, jehož základem je identifikace zákazníkových požadavků a poté pracovat zpětně na fázích projekce, technické realizace, výroby, prodeje a péče o zákazníky. Zavádění kvalitativních funkcí je účinný nástroj umožňující manažerům identifikovat potřeby zákazníků, převést je do řeči technických a projekčních požadavků a nakonec tyto informace využít při vývoji komponentů a výrobních procesů, stejně jako při zavádění standardů a školení personálu. (14)

Výhody spojené s používáním QFD jsou:

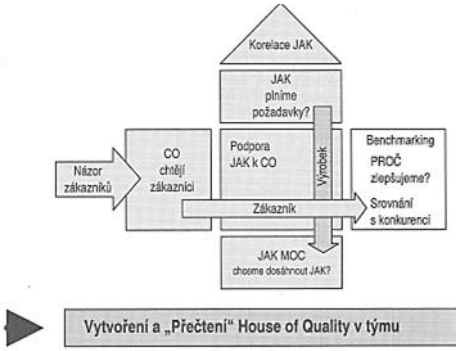
- ✓ orientace na zákazníka,
- ✓ vytváření báze informací pro zdokonalení plánování výroby,
- ✓ méně konstrukčních a technologických změn,
- ✓ zkrácení doby vývoje,
- ✓ dřívější identifikace rizikových oblastí a konfliktních znaků jakosti,
- ✓ méně problémů při rozběhu výroby,
- ✓ lepší přidělení zdrojů,
- ✓ otevřenost novým koncepcím,
- ✓ vytváření databáze znalostí. (15)

V praxi se nejčastěji uplatňují dva přístupy k metodě QFD, které se liší počtem analyzovaných maticových diagramů:

a) Přístup R. Makabeho byl zaveden ve firmě Ford a stal se základem tzv. čtyřmaticového přístupu Amerického institutu dodavatelů. Příslušné maticové diagramy se zaměřují na plánování výrobků, kdy se požadavky zákazníků převádějí do znaků jakosti výrobků, na plánování procesů, kdy se znaky jakosti dílů převádějí do parametrů procesů a na plánování výroby, kdy se parametry procesů převádějí do výrobních postupů.

b) Přístup Y. Akaa, který byl v USA rozpracován B. Kingem využívá 30 maticových diagramů. Tento přístup jde mnohem více do hloubky a je vhodný zejména u projektů, které vyžadují detailnější pochopení všech aspektů zpracovávaného návrhu. (6)

5.3 Dům kvality



Obr. 5.2 Dům kvality (13)

Nejčastěji se tato metoda používá při převodu požadavků zákazníků do základních technických parametrů výrobku. Grafickým výsledkem je kombinovaný maticový diagram „dům jakosti“. Zpracování probíhá v týmu, v němž jsou zastoupeni pracovníci z takových pozic v podniku, které souvisí s daným výrobkem. Na obr. 5.2 je znázorněn „dům kvality“, který odpovídá svou stavbou centrální myšlence QFD. Prvotní zde není vlastní matice, ale informace v ní obsažené a způsob, jakým se tyto informace získají prací týmů složených z pracovníků podniku. (6)

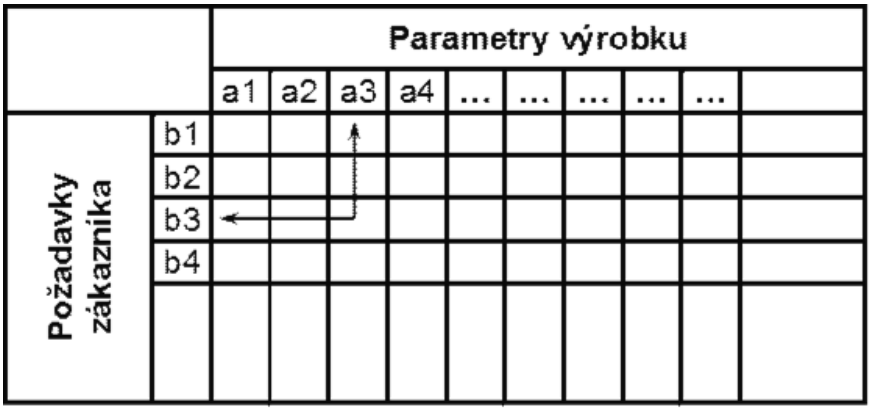
5.3.1 Koncepce „Co-Jak“ (8)

Prvním krokem je nejdříve identifikovat zákazníka, to znamená tržní segment, na který se obracíme. Následujícím úkolem je zjistit, co zákazník přesně požaduje. Důležité je znát jeho přání a pochopit ho v takové míře, abychom byli schopni ho specifikovat do konkrétních parametrů produktu. Cílem je dosažení maximálního uspokojení zákazníka. Musíme tedy optimalizovat funkci:

Uspokojení zákazníka = vlastnosti výrobku/cena výrobku

Rovnice 5.1 Uspokojení zákazníka (6)

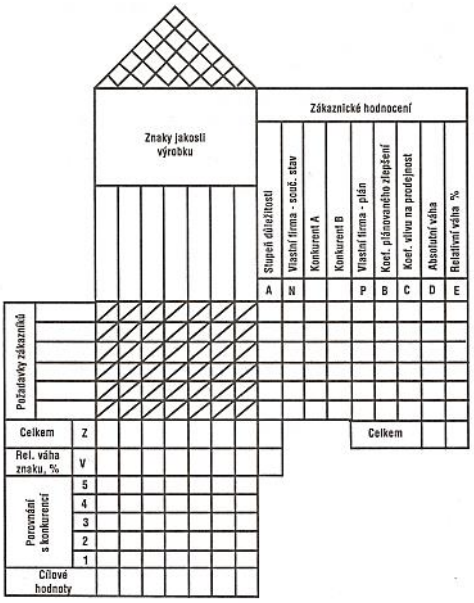
K tomu je potřeba vhodný nástroj, názorně vyjadřující vztah mezi CO a JAK. Ten se nazývá matice QFD a je znázorněn na obr. 5.3. Pro označení vztahu mezi jednotlivými komponenty se používají různé symboly. Vztah mezi jednotlivými vlastnostmi (parametry) může být pozitivní, negativní, případně neznámý. Vztahy mezi požadavky a vlastnostmi mohou být silné, slabé nebo průměrné.



Obr. 5.3 Vztah mezi „CO“ a „JAK“ (16)

Z této matice se již dají vyvodit jisté závěry: (16)

- ✓ Prázdný řádek nebo řádek s pouze slabým vztahem – tento požadavek není splněn, nebo je splněn nedostatečně,
- ✓ Prázdný sloupec nebo sloupec se slabým vztahem – tato vlastnost nehraje závažnou roli pro splnění požadavku,
- ✓ Soustředění silných vazeb převážně na diagonále – některé požadavky by mohly být jinak pojmenovanými charakteristikami produktu nebo metodami realizace,
- ✓ Opakovaně stejná struktura vztahů – problém s určením hierarchie mezi danými požadavky, (6)
- ✓ Shluk vztahů – ukazuje to na problémy buď s určením hierarchie mezi požadavky, nebo mezi charakteristikami, případně u obou, (6)
- ✓ Příliš mnoho vazeb v řádku nebo sloupci – může jít vlastně o požadavek/charakteristiku týkající se nákladů, spolehlivosti nebo bezpečnosti, (6)
- ✓ Příliš mnoho slabých vazeb – třeba nalézt zřetelnější charakteristiky produktu. (6)



Obr. 5.4 Detailní rozpis domu kvality (6)

5.3.2 Kolik (8)

Pro účinné řízení kvality je nutné znát jmenovité (cílové) hodnoty vlastností výrobku. Cílem je uspokojit požadavky zákazníka s co nejmenší možnou odchylkou vlastnosti od cílové hodnoty. Každá odchylka totiž znamená zvýšení nákladů. Cílové hodnoty se musí specifikovat na počátku zhotovování produktu. Pro stanovení se musí provést dvě důležité věci:

a) nechat zákazníka vyhodnotit náš a konkurenční výrobek (zákaznické hodnocení),
b) provést analýzu konkurenčního výrobku – pomůže odhalit slabé a silné stránky.

Kromě zákaznického hodnocení je potřeba, aby zákazník „zvážil“, ocenil požadavky. To znamená, aby dle předem stanovené stupnice (např.1-5) ohodnotil, jak přikládá jednotlivým požadavkům preference. Toto ocenění umožňuje zaměření nápravných opatření na požadavky pro zákazníka obzvláště významné.

5.3.3 Souvztažnost (8)

K určení správných cílových hodnot je třeba také posoudit vztah mezi jednotlivými vlastnostmi. Z tohoto důvodu je matice opatřena korelačním blokem, který umožňuje analyzovat vztahy mezi vlastnostmi produktu. Souvztažnost je buď pozitivní nebo negativní.

5.3.4 Kvantitativní vyhodnocení (13)

Základní postup lze dále vylepšit kvantitativním vyhodnocením důležitosti jednotlivých znaků navrhovaného výrobku. Míra závislosti mezi jednotlivými požadavky a jednotlivými znaky se vyjadřuje číselným koeficientem, který nabývá hodnoty 1 pro slabou závislost, 3 pro průměrnou a pro silnou závislost hodnoty 9. Při jednodušším přístupu ke kvantitativnímu vyhodnocení se v buňkách, v nichž byla identifikována závislost požadavku s určitým znakem kvality, počítají hodnoty součinů příslušného koeficientu, charakterizujícího sílu závislosti, s hodnotou váhy požadavku. Hodnoty těchto součinů se ve sloupcích odpovídajících jednotlivým znakům kvality sečtou a stanovené součty, respektive jejich relativní hodnoty, se použijí jako míra důležitosti jednotlivých znaků kvality.

Postup kvantitativního vyhodnocení lze dále vylepšit podrobnějším hodnocením váhy požadavků zákazníků, ve kterém lze zohlednit i potřebu aktivit zlepšování zaměřených na plnění jednotlivých požadavků. V tomto případě se kromě základní kategorizace požadavků podle stupně důležitosti navíc hodnotí plánované zlepšení plnění požadavků a vliv splnění jednotlivých požadavků na prodejnost výrobku. Míra plánovaného zlepšení v plnění určitého požadavku se vyjadřuje pomocí koeficientu plánovaného zlepšení, který se počítá jako poměr plánovaného hodnocení plnění požadavku ke stávajícímu hodnocení:

$$L_i = \frac{P_i}{N_i}$$

Vzorec 5.1 Míra plánovaného zlepšení (6)

kde:

P_i – hodnocení, které chce v plnění daného požadavku organizace dosáhnout,

N_i – stávající hodnocení plnění daného požadavku.

Podkladem pro stanovení plánovaného zlepšení je zejména porovnání stávajícího hodnocení plnění jednotlivých požadavků v organizaci a u konkurence. Pro hodnocení plnění požadavku se používá bodová stupnice v rozmezí od jednoho do pěti bodů. Vliv plnění požadavku na prodejnost výrobku se posuzuje pomocí koeficient vlivu na prodejnost. Doporučuje se používat třístupňové hodnocení. Pro silný vliv nabývá hodnot 1,5; pro střední 1,2 a u minimálního vlivu hodnoty 1.

Vynásobení výše uvedených tří kritérií, stupně důležitosti požadavku, koeficientu plánovaného zlepšení a koeficientu vlivu na prodejnost se stanoví absolutní váhy jednotlivých požadavků (D_i) podle vztahu:

$$D_i = A_i . B_i . C_i$$

Vzorec 5.2 Absolutní váhy jednotlivých požadavků (6)

kde:

A_i – stupeň důležitosti požadavku,

B_i – koeficient plánovaného zlepšení plnění požadavku,

C_i – koeficient vlivu na prodejnost.

Stanovené hodnoty absolutních vah požadavků se pak přepočtou na relativní váhy vyjádřené v procentech, které charakterizují význam jednotlivých požadavků:

$$E_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^{n} D_i} . 100$$

Vzorec 5.3 Význam jednotlivých požadavků (6)

kde:

n – celkový počet požadavků.

V další fázi zpracování se pro buňky maticového diagramu, kde byla zjištěna závislost mezi požadavkem zákazníků a znakem kvality výrobku, vypočte součin číselného koeficientu vyjadřujícího míru závislosti a relativní váhy požadavku (S_{ij}):

$$S_{ij} = k_{ij} . E_i$$

Vzorec 5.4 Důležitost jednotlivých znaků kvality (6)

kde:

k_{ij} – koeficient vyjadřující míru závislosti mezi požadavkem i a znakem kvality j

Vypočtené hodnoty součinů S_{ij}, charakterizují důležitost jednotlivých znaků kvality ve vztahu k plnění jednotlivých požadavků zákazníka. Pro jednotlivé znaky kvality se pak stanoví součty těchto součinů:

$$Z_j = \sum_{i=1}^{n} S_{ij}$$

Vzorec 5.5 Výsledné důležitosti znaků kvality (6)

Příslušné hodnoty součinů (Z_j) charakterizují důležitost jednotlivých znaků kvality z hlediska plnění všech požadavků zákazníka a obvykle se přepočítávají na procentické vyjádření relativní váhy znaku v procentech, podle vztahu:

$$V_j = \frac{Z_j}{\sum_{j=1}^{m} Z_j} . 100$$

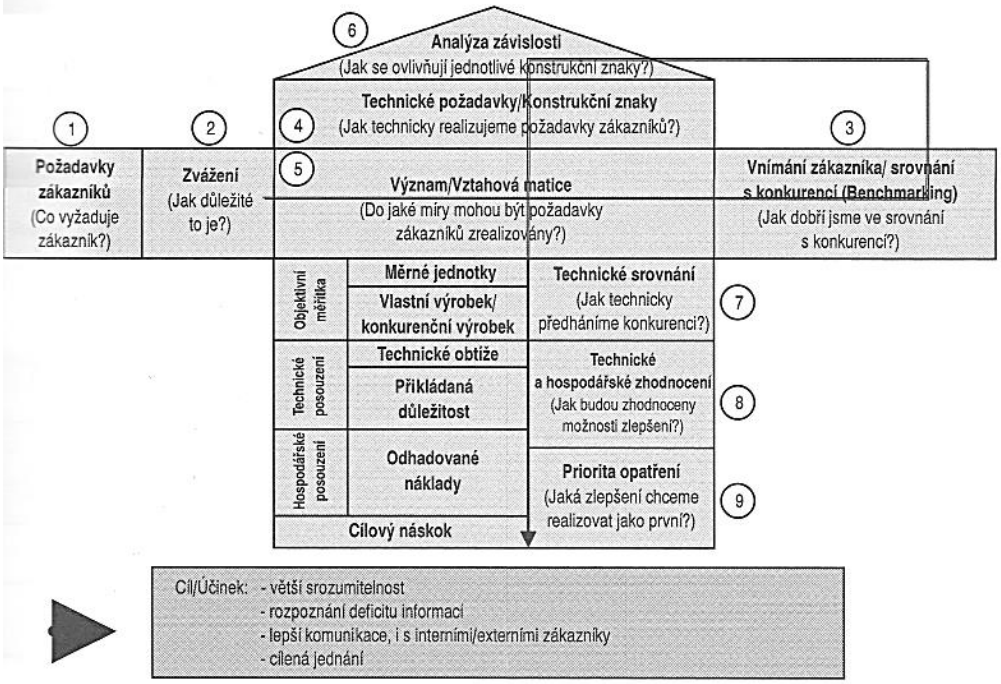
Vzorec 5.6 Procentické vyjádření výsledné důležitosti znaků kvality (6)

kde:

V_j – relativní váha znaku kvality j v procentech,

m – počet znaků kvality.

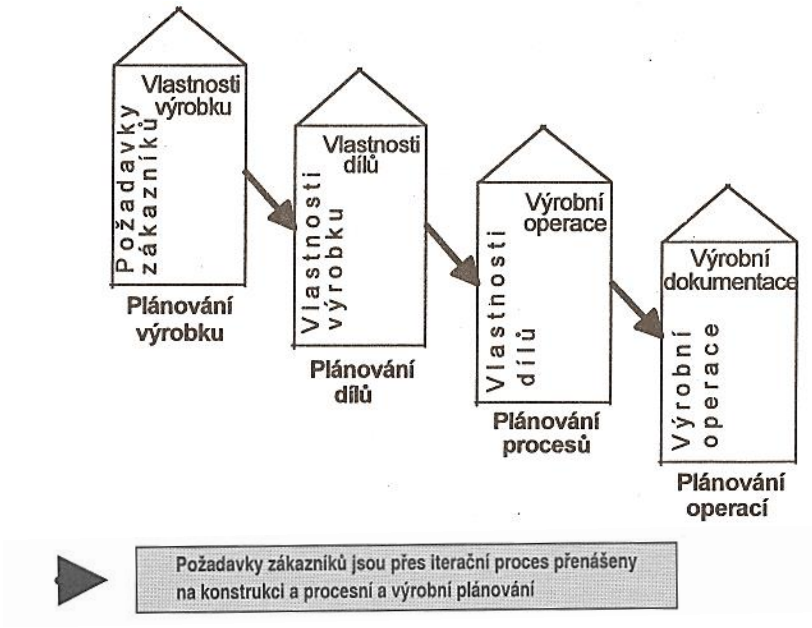
Relativní váhy znaků kvality charakterizují v procentuálním vyjádření důležitosti jednotlivých znaků kvality výrobku vzhledem k dané množině požadavků zákazníka, přičemž je zohledněna důležitost plnění jednotlivých požadavků pro zákazníka, záměry organizace orientované na zlepšení plnění některých požadavků a vliv plnění jednotlivých požadavků na prodejnost výrobku. Uvedené hodnocení umožňuje stanovit priority plánování kvality výrobku.



Obr. 5.5 Rozpis jednotlivých kroků postupu (13)

5.3.5 Čtyřmaticový přístup (8)

Jedná se o uspořádaný systém kroků v průběhu plánování kvality produktu, který má zajistit dodržování všech požadavků a zařazení příslušných opatření do všech dokumentů. Členění procesu tvorby do fází se liší v různých průmyslových odvětvích. Ve strojírenství, elektrotechnice se používají čtyři fáze. Tyto čtyři matice na sebe navazují a jsou určeny pro plánování výrobků, dílů, procesů a výroby. Následující diagram vždy využívá výsledky předcházejícího.



Obr. 5.6 Čtyři fáze průběhu plánování kvality (6)

1) Plánování výrobku – jejím účelem je identifikace zákazníkových požadavků a jejich vyhodnocení, určení, které tyto požadavky mají strategický význam, dále určení vlastností výrobku a určení jejich cílových hodnot. Sestává z následujících kroků:
   - ✓ předběžná studie a sestavení informace – identifikace všech požadavků (zákonné, priorita, konkurence). Prameny informací mohou být reklamace, zákony, výsledky průzkumu trhu atd.,
   - ✓ tlumočení a organizování zákazníkových požadavků a přání na elementární požadavky.
   - ✓ vyhodnocení požadavků a přání, hodnocení konkurentů – stanovení váhy jednotlivých požadavků,
   - ✓ identifikace dřívějších problémů,
   - ✓ určení vlastností výrobku – technické parametry určené pomocí brainstromingu,
   - ✓ tlumočení a organizování vlastnosti výrobku,
   - ✓ provedení technické analýzy konkurenčních výrobků,
   - ✓ určení vztahů mezi požadavky zákazníka a vlastnostmi výrobku,
   - ✓ zaznamenání dřívějších problémů,
   - ✓ předběžné určení cílových hodnot,
   - ✓ vyplnění korelační matice,
   - ✓ stanovení stupně obtížnosti pro dosažení vlastnosti výrobku,
   - ✓ stanovení prioritních vlastností výrobku,
   - ✓ analýza plánovací matice,
   - ✓ plánování dalších prací.
2) Plánování dílů výrobku – účelem této fáze je volba nejlepšího konstrukčního konceptu, identifikace částí a komponent, které mohou být kritické pro výrobek, určení dílčích znaků výrobku, atd. V případě, že se výrobek nečlení na díly, lze tento diagram modifikovat pro transformaci znaků jakosti do potřebných vlastností materiálů potřebných při výrobě.
   - ✓ využití informací z matice výrobku pro plánování dílů,
   - ✓ opakovaný proces,

- ✓ určení kritických dílčích znaků,
- ✓ vyplnění matice,
- ✓ analýza matice,
- ✓ metody usnadňující práci,
- ✓ využití informací pro plánování procesu.

3) Plánování procesů – v této fázi se vybírá výrobní proces, který za daných podmínek dá nejlepší výsledek pro vlastnosti dílů výrobků, vyhledávají se kritické výrobní procesy, stanovují se mezní hodnoty pro kritické výrobní parametry procesů a potřeby vývoje nových, efektivnějších výrobních procesů. Cílové hodnoty znaků jakosti dílů nebo materiálu se transformují do parametrů potřebných procesů.
4) Plánování výroby – zde se plní dokumentování výrobních procesů, získávají se podklady pro statistickou regulaci, zpracovávají se pracovní instrukce, určují se potřeby pro školení operátorů a iniciuje se údržba. Slouží k transformaci parametrů jednotlivých procesů do konkrétních výrobních instrukcí.

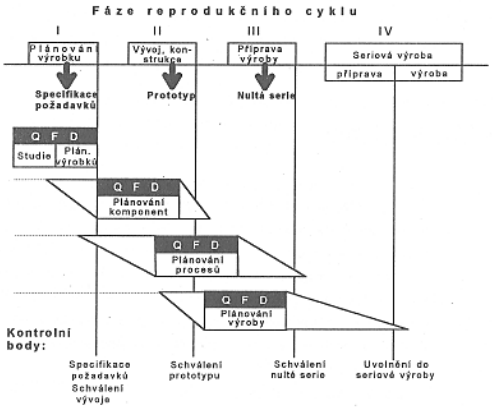
5.4 Zavádění QFD a provázanost s různými metodami (8)

Bez jednoznačné podpory vrcholového vedení projekt nemá význam zavádět, protože dříve nebo později selže. Volba prvního projektu je obvykle velmi kritická a proto musí být velmi pečlivá. Nutností je podpora od vedení společnosti a kladné přijetí všemi účastníky. Zároveň však nesmí být první výrobek výrobkem komplexním. V tomto případě volíme pouze jeden jeho díl.

Řešitelský tým má mít 5-8 členů, kteří dobře znají daný výrobek. Měly by v něm být zastoupeny útvary podniku jako vývoj, konstrukce, marketing, kvalita, výroba, nákup, plánování a příprava výroby. Složení se může na každý projekt lišit. Volí se zaměstnanci nižšího postavení a přibližně stejné úrovně. Volba se zakládá na kompetenci, nikoli na pozici ve struktuře. Další podmínkou je kladný vztah ke změnám a novinkám. Alespoň jeden člen by měl být expert v metodice QFD, obvykle bývá vedoucím týmu.

Cíl projektu musí být každému zcela jasný a jednoznačně vyjadřovat čeho se má dosáhnout. Ohraničením projektu se vymezuje prostor, ve kterém se má daný úkol plnit, jaká jsou pravidla atd. Při plánování projektu je nutné brát ohled na časové omezení, proto se vždy udává plán projektu.

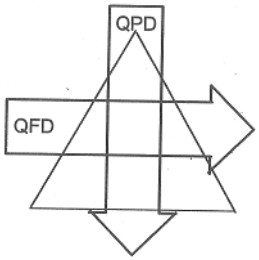
Nedílnou součástí je také školení řešitelského týmu, které obsahuje QFD, statistické metody, FMEA, metody výzkumu trhu, motivaci, atd. Dále je potřeba pravidelných porad, kde se řeší zprávy o výsledcích, postupně se vyplňuje matice a plánuje navazující činnost. Posledním krokem je neustálené převádění zjištěných informací do zhotovovacího procesu.



Obr. 5.7 Porovnání tradičního postupu výroby s postupem QFD (8)

QFD a Policy Deployment

Základem pro uskutečnění principů řízení kvality je, že vedení formuluje a řídí strategii na všech úrovních organizace. Samotná strategie však není dostatečná a proto se musí spojit přímo s programem zlepšování podniku. Toto spojení vyjadřuje Quality Policy Deployment (QPD). Úkolem je přeložení a přenesení cílů podniku, přání zákazníků do všech úrovní řízení od vedení podniku až po operativní rovinu. Vztah mezi QFD a QPD je znázorněn na obr. 5.8 Z obrázku vyplývá, že QFD se používá horizontálně, napříč strukturou podniku, za účelem přizpůsobení výrobku zákazníkovým požadavkům a přáním. QPD je v organizaci používaný vertikálně, jehož účelem je zajistit, aby celá organizace pracovala dle dané podnikové strategie ke splnění podnikových cílů. Obě strategie se zavádějí současně.



Obr. 5.8 Vztah mezi QFD a QPD (8)

QFD a FMEA

FMEA je diagnostická metoda spočívající v systematickém rozboru výrobku nebo procesu za účelem identifikace možných vad a jejich důsledků. Zvedení metody FMEA pro všechny díly složitého výrobku není obvykle možné. Je nutné vyhledat rozhodující díly. QFD zde slouží jako podklad pro tento výběr.

QFD a strategické plánování

Matici QFD lze používat i při analýzách obchodních zámyslů, hlavních cílů a strategií podniku. Pod sloupcem „CO“ se zapisují cíle a pod řádkem „JAK“ měřitelné strategie.

QFD a robustní plánování

Vztah mezi QFD a robustním konstruováním je znalost rozhodujících vlastností výrobku pro první fázi systémové konstrukce.

QFD a conjoint analyse

Používá se pro přeložení hlasu zákazníka do řeči odborníků. Následuje po QFD. Přínosem metody je to, že je výrobek rozložený podle vlastností a jejich charakteristikách znovu složen do souboru přínosů, které podle svých preferencí a připravenosti na cenu znovu ohodnotí zákazníci.

6 PRŮBĚH ZKOUŠKY

Ve firmě Mürdter Dvořák, lisovna, spol. s.r.o. provádí zkoušky na dané výrobky dle požadavků zákazníka. Provádí se většinou v předsériové části projektu. Postupují podle strategie APQP. Dále se provádí při konstrukčních změnách na formách, změnách lisovacích strojů, či jiných změnách, které mají vliv na výsledný výrobek.

Prvním krokem je určení jaký materiál se má používat pro lisování daného výrobku, to většinou stanovuje zákazník, a určení tolerancí a přesných rozměrů z výkresu zaslaného zákazníkem. Zkoušky se vždy provádí do té doby, než jsou výrobky schváleny zákazníkem do sériové výroby. Veškeré náklady s tímto spojené si hradí zákazník sám. Proto je velice důležité, aby tato část trvala co nejkratší dobu a zkoušel se co nejmenší počet dílů. Peníze totiž ztrácí jak zákazník, tak samotný výrobce, neboť zatím jenom provádí zkoušky a ne samotnou výrobu. Dalším aspektem je také dodržení dodacích termínů. Příliš dlouhé nastavování a dolaďování výrobních parametrů může způsobit pozdější neschopnost dodržení smlouvy.

V automobilovém průmyslu se používají na zkušební lisování přímo formy, které se potom používají v sériové výrobě. Je to dáno jak finanční náročností jiných možností, tak především ověřením, že v těchto konkrétních formách a při daném nastavení všech sériových parametrů, výrobky splňují požadavky zákazníků. Jiné možnosti jako Rapid prototyping, kde se vyrobí zkušební vzorek, který má veškeré funkční rysy, se v oblasti plastů příliš nepoužívá. Je jak finančně tak časově velmi náročný. Používá se především v oblasti výroby forem a nástrojů. Použití forem z hliníku (Al) také není příliš výhodné. Tyto formy totiž vydrží jen pár zdvihů a jako největší nedostatek se dá označit fakt, že každá forma je jiná. Seřízení stroje na zkušební Al formu nemusí být stejné jako později pro tu na sériovou výrobu. Výrobky, které splňovaly požadavky u této zkušební formy při daném nastavení stroje, nemusí při stejném nastavení splňovat požadavky při použití sériové formy. Navíc hliník je velmi měkký kov a nemá takovou rozměrovou stálost. Používá se jen na malé série dílů.

Cílem zkoušek je naleznutí takové kombinace faktorů, ovlivňujících konečné rozměry výrobků, která splňuje co možná nejpřesněji požadavky zákazníka. Ten vždy hodnotí první vylisované díly. Proto je velmi důležité hned na začátku zvolit co možná nejpřesnější nastavení, aby byl zákazník spokojený. Mezi nejčastější základní vady patří:

- ✓ nedolitý díl,
- ✓ spálený díl,
- ✓ deformovaný díl,
- ✓ otřepy hranách a dělících rovinách,
- ✓ mechanické vady – křehké, gumové, atd.
- ✓ pohledové vady – šmouhy, stříbření, puchýře atd.

Eliminace těchto chyb je klíčová pro úspěch u zákazníka. Ať už se jedná o vyhovující díly nebo ne, musí se zákazníkovi poslat.

Na celém projektu spolupracuje celé řada zaměstnanců. Složení týmu je:

- ✓ projektový plánovač – odpovídá za komunikaci se zákazníkem, za řízení celého procesu, vyřízení veškerých detailů a podmínek spolupráce, odpovídá za správný průběh projektu.
- ✓ technik kvality – odpovídá za proces schvalování dílů do sériové výroby, vyžaduje schvalování uvolnění vzorkování od zákazníka, informuje o provedených měřeních a kontrolách,
- ✓ procesní plánovač – odpovídá za nastavení výroby,
- ✓ disponent – odpovídá za dodávání dílů a zajišťování dopravy zákazníkovi.

Zkouška ve výrobě je velice náročná, protože se provádí pouze na jednom konkrétním lisovacím stroji. Celá výroba se řídí dle plánu výroby, který zahrnuje i zkoušky, které jsou zaplánovány projektovým plánovačem. Proto je důležité dbát zvýšené opatrnosti ve výrobní hale. Dále je potřeba, aby se testoval adekvátní počet dílů.

Důvod byl již vysvětlen výše. Dalším důležitým faktorem je zahrnutí co nejvíce lidí, kteří se podílejí na správném a rychlém průběhu zkoušky. Je potřeba, aby vše šlo podle předem stanoveného časového harmonogramu.

6.1 Metrologie

Dalším krokem po odlisování zkušebních dílů je jejich kontrola měřením. Nejčastějším způsobem je kontrola měření hmotnosti. Díky jejímu změření se odhalí odchylky jako je nedolití, protože jsou díly lehčí než by měly být. Pomocí měření hmotnosti se vyhodnocuje způsobilost celého výrobního procesu. Určuje se právě ta, protože ostatní parametry jsou vždy mezi sebou závislé. Nedají se proto vyhodnotit s adekvátním výsledkem. Hmotnost je jedním z nejvíce důležitých kontrolovaných parametrů.

Pokud se u dílů zjistí jakýkoliv problém, řeší se další postup u zákazníka. Ten se snaží co nejvíce napomoci ke zdárnému cíli. Někdy však ani to nestačí. Pokud není možné se zadanými vstupy vyrobit díl dle požadavků zákazníka, přichází v úvahu prověřit další možnosti:

- ✓ změnu parametrů,
- ✓ změnu materiálu popřípadě plnění,
- ✓ změnu v konstrukci formy,
- ✓ změnu konstrukce přípravku.

Poté, co jsou všechny problémy odstraněny, prezentuje se výsledek zákazníkovi. Ten posuzuje, zda je tento výrobek vyhovující či nikoliv. O veškerých jednáních se vždy vede zápis o jednání.

6.2 Podmíněně dobré díly

Prvotním cílem je vždy splnění požadavků zákazníka, tedy vyrábět kvalitní díly a dodávat je včas. To souvisí s kapacitním vytížením výroby a zaměstnanců, což je interním cílem každé organizace.

Pokud ovšem není možné s danými vstupy vyrábět kvalitní díly dle požadavků zákazníka, je nutné zákazníka požádat o udělení odchylky.

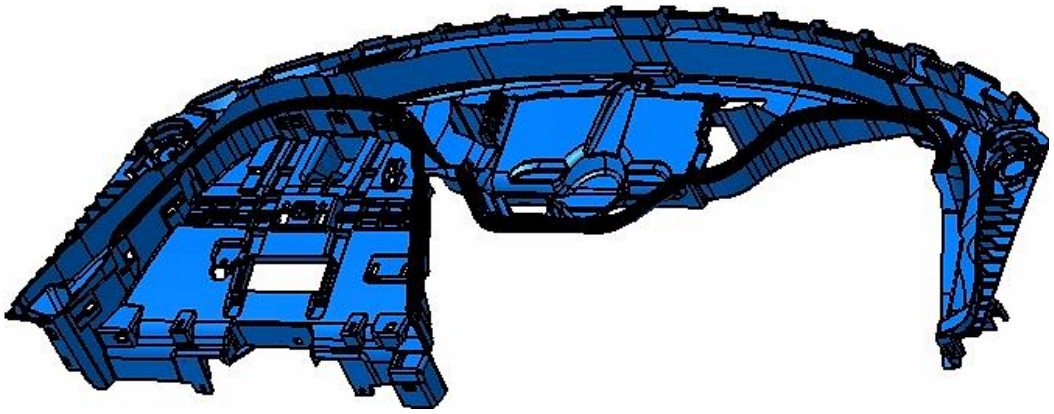
Zákazník si však dané díly nejdříve prověří. Je potřeba, aby seděl na stanoveném místě. To znamená, aby se tam vešel a nebyly ovlivněny žádné funkční parametry. Pokud je vše v pořádku, zákazník může upravit tolerance, aby už další problémy nenastaly. Veškeré tohle přezkoumávání totiž vede k navýšení nákladů.

Vždy je potřeba nalezení společné cesty výrobce s dodavateli tak i výrobce a zákazníka. Pokud je jedna ze stran nespokojena, celý systém nemůže fungovat a je nutné hledat nápravná opatření.

7 AUDI R8

Společnost Mürdter Dvořák, lisovna, spol. s.r.o. používá mnoho nástrojů managementu kvality. Pomocí programu Palstat jsou schopni propojit všechny oddělení a fungovat jako celek. Mezi velmi časté metody při plánování nových i optimalizaci zavedených výrobků patří FMEA, APQP, časový harmonogram, vývojové diagramy, SPC, plány kontroly a řízení, PPAP/EMPB, apod. Nicméně je ještě zcela nepokryta možnost použití metod jako je QFD a na něj navazující plánovaný experiment, který umožňuje odhalení interakcí mezi jednotlivými parametry zjištěnými v domě kvality. Další možností je určení takové kombinace u kvantitativních parametrů, aby výrobky splňovaly požadavky zákazníka co nejlépe.

V dalším bude rozebrána případová studie řešící problematiku plastového dílu AUDI R8, na kterém budou rozebrány jednotlivé kroky při uplatňování metody QFD. Jak už bylo zmíněno výše, následně bude popsán postup plánovaného experimentu a v jakých případech je vhodné jeho použití.



Obr. 7.1 Zkoumaný díl (17)

7.1 Metodika QFD

Plastový díl pro Audi R8 je novým produktem. Jedná se tudíž o optimalizaci výroby. Vzhledem k náročnosti celého procesu, byl zadán požadavek pouze na kontrolu ve vlastní výrobě. Tedy převážně na správnost rozměrů.

7.1.1 První a druhý krok

Prvním krokem metody QFD je určení požadavků zákazníka. V tomto případě byly všechny určeny z plánu kontroly a řízení, který vytvořil technik kvality na základě požadavků definovaných zákazníkem ve výkresové dokumentaci. Zadal tam všechno, co je důležité pro správnou funkci, tak i vzhled a především rozměrovou stálost. Tyto požadavky se píší do prvního sloupce v celém QFD.

Další postup spočívá v určení, jak významné jsou jednotlivé požadavky pro zákazníka. Díky tomu je možné později určit, jakou měrou jednotlivé parametry zasahují do splnění zadaných požadavků zákazníkem. Je velice důležité, aby zákazník důkladně pochopil, o co se jedná, a proč je velice důležité, aby přiřadil jednotlivé váhy co nejpřesněji. Obvykle se stanovuje stupnice 1-5, ale je možné si zvolit jakoukoliv jinou možnost. V tomto případě volím stupnici 1-10. Dle tohoto je možné rozdělení požadavků procentuálně od (0 – 100)%, kde 100% je největší možný význam daného požadavku pro zákazníka a naopak.

Požadavky	úplný výlisek	25
	přesné rozměry výlisku	10
	bez deformací a kroucení	10
	žádná nestabilita	25
	bez přetoků	10
	bez propadů	10
	žádné studené spoje	5
	žádné spáleniny	5

Obr. 7.2 Požadavky (EdrawMax)

7.1.2 Třetí a čtvrtý krok

Následuje fáze určení, jakými parametry je společnost schopna co nejlépe splnit požadavky stanovené zákazníkem. V tuto chvíli je dobré svolání technologických zástupců projektového týmu, tedy technika kvality a procesního plánovače, kteří také vyplňují tzv. „obývací pokoj“, kde určují právě vztah, jak moc jednotlivé parametry společnosti ovlivní jednotlivé požadavky zákazníka. Je nutné k tomu přistupovat zodpovědně, veškeré chyby v tomto určení se projeví v celkově nesprávném sestavení této části.

vliv	
7-9	vysoký
4-6	střední
1-3	malý
0	žádný

		váha požadavků	teplota formy	čas chlazení	rychlost vstřiku	vstřikovací tlak	dotlak	čas dotlaku	protitlak	otáčky šneku	dávka	bod přepnutí na dotlak	odlehčení po dávkování	uzavírací síla	vlhkost materiálu	čistota materiálu	doba pobytu ve válci	doba pobytu v sušárně	druh materiálu	separátor	průřez vtokového ústí	tryska stroje	konstrukce dílce	forma	odvzdušnění	špice šneku, šnek	válec	vyčištění	čas vstřiku	čas cyklu	čas plastifikace	teplota válce
Požadavky	úplný výlisek	25	6	0	8	7	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	4	0	0	0	0	0	9	9	9	6
	přesné rozměry výlisku	10	7	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0	4	0	0	0	0	9	9	9	6
	bez deformací a kroucení	10	7	6	4	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	9	8	0	0	0	0	9	9	9	2
	žádná nestabilita	25	2	0	0	0	0	6	9	8	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	9	9	9	4
	bez přetoků	10	2	0	9	1	5	0	0	0	8	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	9	9	9	4
	bez propadů	10	7	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	4	3	0	0	0	0	9	9	9	6
	žádné studené spoje	5	8	0	9	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	4	3	0	0	0	9	9	9	7
	žádné spáleniny	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	9	9	9	0

Obr. 7.3 Matice „CO“ a „JAK“ (EdrawMax)

Jak je vidět z prvního určení parametrů, ne všechny mají vliv na daný výrobek. Je to dáno tím, že má firma určen jeden dokument, kde má zapsány všechny možné parametry ovlivňující nastavení stroje a tím i samotný výrobek. V tomto případě však jsou parametry, které na výrobu nemají žádný vliv nebo jen malý na splnění požadavků ohledně výše definovaných požadavků zákazníka. Ostatní parametry mají vliv na jiné vlastnosti produktu, které nejsou předmětem našeho zkoumání. Vzhledem k metodice QFD se tyto parametry dají z matice vyloučit. Jedná se o odlehčení po dávkování, vlhkost materiálu, čistotu materiálu, dobu pobytu ve válci, dobu pobytu v sušárně, separátor a trysku stroje. Po úpravě získáme nový „obývací pokoj“.

vliv	
7-9	vysoký
4-6	střední
1-3	malý
0	žádný

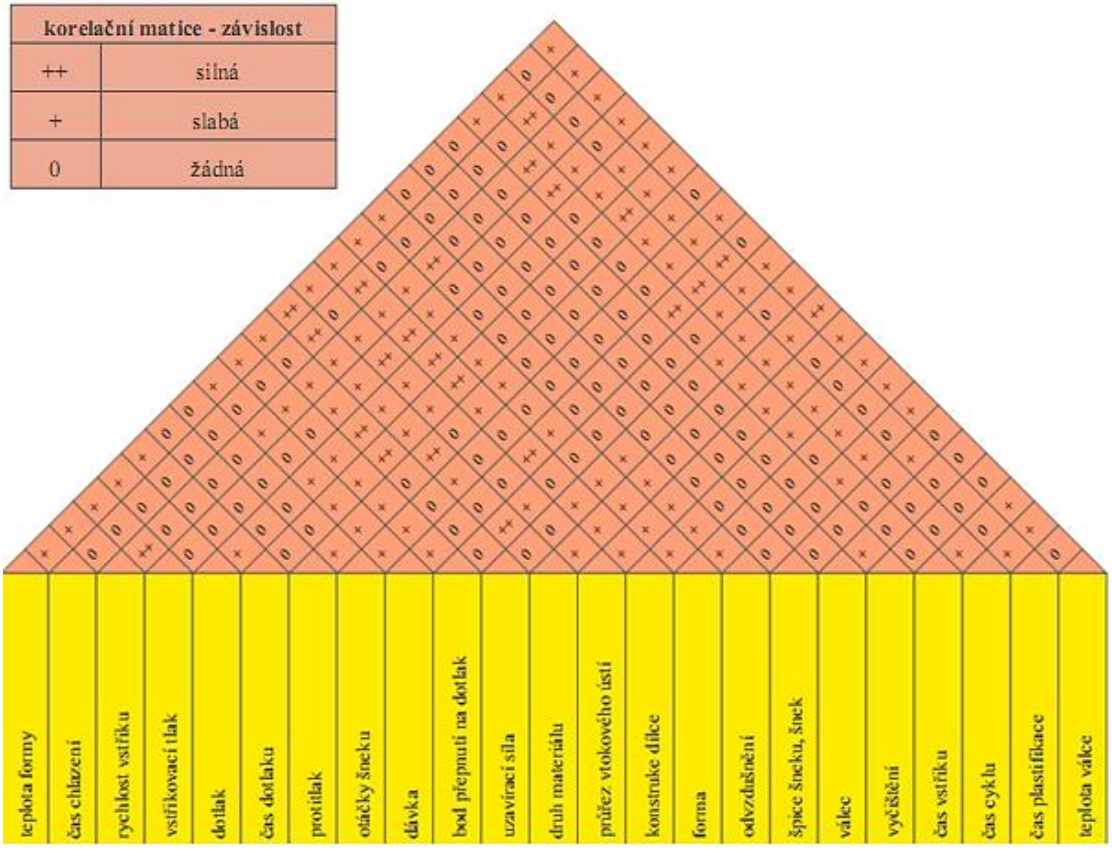
		váha požadavků	teplota formy	čas chlazení	rychlost vstřiku	vstřikovací tlak	dotlak	čas dotlaku	protitlak	otáčky šneku	dávka	bod přepnutí na dotlak	uzavírací síla	druh materiálu	průřez vtokového ústí	konstruke dílce	forma	odvzdušnění	špice šneku, šnek	válec	vyčištění	čas vstřiku	čas cyklu	čas plastifikace	teplota válce
Požadavky	úplný výlisek	25	6	0	8	7	0	0	0	0	9	5	0	2	3	4	0	0	0	0	0	9	9	9	6
	přesné rozměry výlisku	10	7	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0	3	5	0	4	0	0	0	0	9	9	9	6
	bez deformací a kroucení	10	7	6	4	0	5	0	0	0	0	2	0	3	0	9	8	0	0	0	0	9	9	9	2
	žádná nestabilita	25	2	0	0	0	0	6	9	8	3	7	0	0	0	0	0	0	5	5	5	9	9	9	4
	bez přetoků	10	2	0	9	1	5	0	0	0	8	7	3	0	0	0	6	0	0	0	0	9	9	9	4
	bez propadů	10	7	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0	0	5	4	3	0	0	0	0	9	9	9	6
	žádné studené spoje	5	8	0	9	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	3	0	0	0	9	9	9	7
	žádné spáleniny	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0	7	6	0	0	0	0	8	0	0	0	9	9	9	0

Obr. 7.4 Opravená matice „CO“ a „JAK“ (EdrawMax)

7.1.3 Pátý krok

Následujícím krokem po zvládnutí nástrah „obývacího pokoje“, kde je nutné zvážit, zda se jedná o důležité, potřebné, skutečné parametry, je korelační matice. Zde se stanovují vztahové funkce mezi jednotlivými parametry. Už v této části je možné použít později rozebraný plánovaný experiment k určení vztahů. I v této části je potřeba získat informace od procesního plánovače, který dostatečné znalosti a zkušenosti s danými procesními parametry. Jen přesné a objektivní řešení vede ke zdárnému cíli.

korelační matice - závislost	
++	silná
+	slabá
0	žádná



Obr. 7.5 Korelační matice parametrů (EdrawMax)

7.1.4 Šestý krok

V této části se určují jmenovité hodnoty vlastností výrobku. Cílem je uspokojit požadavky zákazníka s co nejmenší možnou odchylkou vlastnosti od cílové hodnoty. Každá odchylka totiž znamená zvýšení nákladů. Cílové hodnoty se musí specifikovat na počátku zhotovování produktu. V našem případě jsou směrodatné hodnoty určeny znalostmi z předchozích zakázek. Vychází se z historických dat. Další možností je určení těchto hodnot experimentálně např. pomocí plánovaného experimentu.

	váha požadavků	teplota formy	čas chlazení	rychlost vstřiku	vstřikovací tlak	dotlak	čas dotlaku	protitlak	otáčky šneku	dávka	bod přepnutí na dotlak	uzavírací síla	druh materiálu	průřez vtokového ústí	konstruke dílce	forma	odvzdušnění	špice šneku, šnek	válec	vyčištění	čas vstřiku	čas cyklu	čas plastifikace	teplota válce
Parametr - jednotka	-	°C	s	mm/s	bar	bar	s	bar	n	mm	mm	MN	-	mm^2	-	-	-	-	-	-	s	s	s	°C
Směrná hodnota	-	30	50	43 127	1684	748 808	13	48	80	336	50	16	PP GF30	•	•	•	ano/ne	•	•	ano/ne	3,35	86	28	230 250

Obr. 7.6 Směrné hodnoty parametrů (EdrawMax)

7.1.5 Sedmý krok

V tomto případě se jedná o poslední krok. Díky určeným „vahám“ jednotlivých požadavků se určí pro buňky maticového diagramu, kde byla zjištěna závislost mezi požadavkem zákazníků a znakem kvality výrobku, součin číselného koeficientu vyjadřujícího míru závislosti a váhy požadavku. Vypočtené hodnoty součinů charakterizují důležitost jednotlivých znaků kvality ve vztahu k plnění jednotlivých požadavků zákazníka.

	váha požadavků	teplota formy	čas chlazení	rychlost vstřiku	vstřikovací tlak	dotlak	čas dotlaku	protitlak	otáčky šneku	dávka	bod přepnutí na dotlak	uzavírací síla	druh materiálu	průřez vtokového ústí	konstruke dílce	forma	odvzdušnění	špice šneku, šnek	válec	vyčištění	čas vstřiku	čas cyklu	čas plastifikace	teplota válce
Váha	-	470	60	420	185	310	310	225	200	380	425	60	110	175	255	230	55	125	125	125	900	900	900	465
Relativní váha	1	0,063	0,008	0,057	0,025	0,042	0,042	0,030	0,027	0,051	0,057	0,008	0,015	0,024	0,034	0,031	0,007	0,017	0,017	0,017	0,121	0,121	0,121	0,063
Relativní váha	100 %	6,3	0,8	5,7	2,5	4,2	4,2	3	2,7	5,1	5,7	0,8	1,5	2,4	3,4	3,1	0,7	1,7	1,7	1,7	12,1	12,1	12,1	6,3
Graf váhových parametrů	100 %	52	9	47	21	34	34	25	22	42	47	9	12	19	28	26	6	14	14	14	100	100	100	52

Obr. 7.7 Váhy jednotlivých parametrů (EdrawMax)

Pro jednotlivé znaky kvality se pak stanoví součty těchto součinů. Příslušné hodnoty součinů (Z_j) charakterizují důležitost jednotlivých znaků kvality z hlediska plnění všech požadavků zákazníka a obvykle se přepočítávají na procentické vyjádření relativní váhy znaku. Odtud lez zjistit, který z parametrů má největší vliv na uspokojení potřeb zákazníka.

Tato metodika byla použita pro natavení všech důležitých parametrů, které ovlivní proces výroby plastového dílu do Audi R8. Jedná se o konkrétní nastavení parametrů stroje. Nejedná se přímo o celkové navržení parametrů, které ovlivní spokojenost zákazníka s daným produktem.

Vzhledem k požadavkům firmy není QFD kompletní. Chybí zde zpracování benchmarkingu. Společnost dané vyhodnocení v porovnání s konkurencí nepovažuje za důležité a podstatné v této oblasti. Proto je vynecháno.

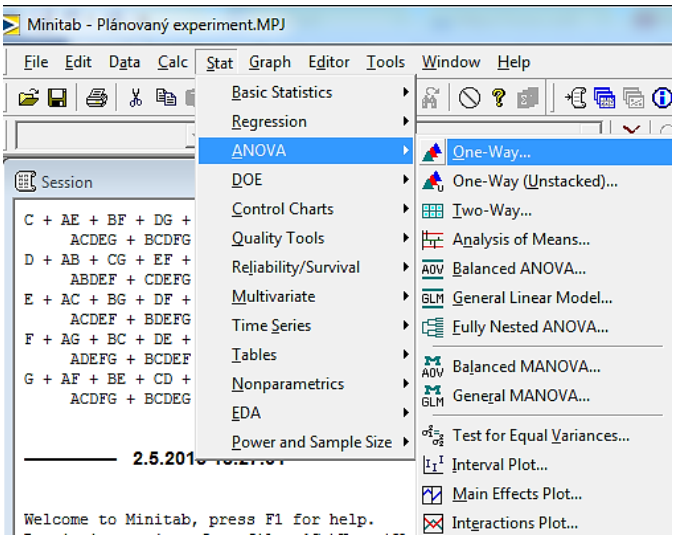
7.2 Metodika návrhu experimentu pomocí SW Minitab

7.2.1 ANOVA

Minitab může přijmout jednosměrná data ANOVA ve dvou různých formátech. První formát, který je používán

Stat> ANOVA> One Way

vyžaduje, aby všechny hodnoty odezvy byly naskládány v jednom sloupci s přidruženým sloupcem, který rozlišuje různé procedury. (10)



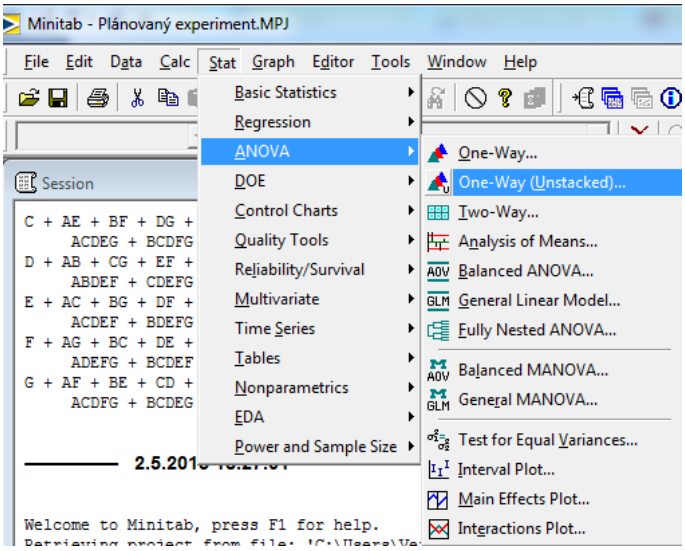
Obr. 7.8 Postup analýzy ANOVA One Way (Minitab)

Identifikátor sloupce může obsahovat číselné, textové nebo datum / čas hodnoty. Nicméně, existují některé ANOVA diagnostiky, které neakceptují jak textová data, tak číselná a hodnoty datum / čas jsou preferované. (10)

Druhý formát, který je používán v menu

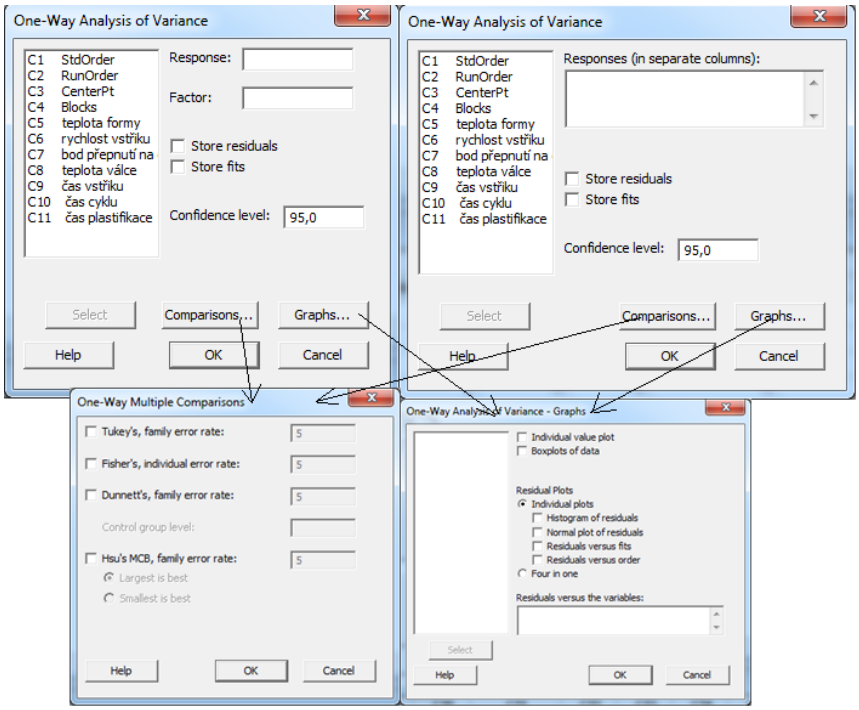
Stat> ANOVA> One Way (Unstacked)

vyžaduje, aby každý parametr byl v jeho vlastním sloupci. (10)



Obr. 7.9 Postup analýzy ANOVA One Way (Unstacked) (Minitab)

Skládaný formát je preferovaný před neskládaným formátem, protože je ho možné zobecnit na mnohocestnou klasifikaci designu a umožňuje pozorování, které se zapíše do sešitu v jejich náhodném pořadí běhu. Druhý bod je důležitý, protože umožňuje zobrazení: diagnostický graf reziduí proti běhu pořadí, mohou být použity pro hodnocení nezávislost předpokladů. (10)



Obr. 7.10 Srovnání a grafy v analýze ANOVA (Minitab)

Konfigurace Minitab pro jednosměrné ANOVA od **Stat> ANOVA> One-Way** nebo menu **Stat> ANOVA> One-Way (Unstacked)** závisí na formátu dat. Pro skládaná data je nutné zadat experimentální odpověď v **Response**: vstupní pole a identifikátor sloupce ve slouci **Factor**: vstupního pole. V neskládaném případě, je nutné zadat sloupce obsahující experimentální odezvy v **Responses** (v samostatných sloupcích): vstupní pole. Pomocí menu **Graphs** lze vybrat ANOVA grafické diagnostiky: Krabicové grafy , Histogram reziduí, normální rozdělení reziduí a zadá se proměnná do Rezidua versus proměnné : vstupní pole. (10)

Vzhledem k tomu, že ANOVA ukazuje, pouze zda existují statisticky významné rozdíly mezi proměnnými průměry, a ne které páry proměnných se liší, je nutné použít post-ANOVA vícenásobné porovnávací testy k identifikaci párů, které jsou výrazně odlišné. Minitab nabízí čtyři druhy post-ANOVA vícenásobné porovnávací testy.

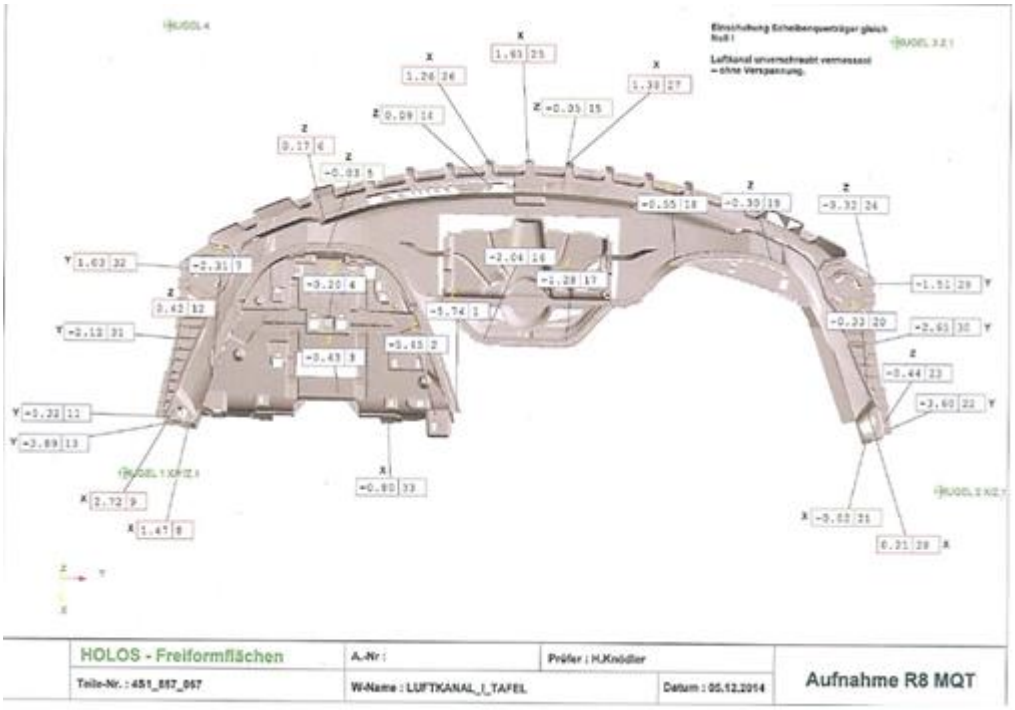
- ✓ Tukeyho metoda nebo metoda Tukey-Kramer se používá, pokud je experiment nevyvážený. Slouží k porovnání všech možných dvojic proměnných při kontrole chybovosti.
- ✓ Fisherova metoda se používá k porovnání všech možných párů proměnných s využitím určené chybovosti pro jednotlivé testy. Tato metoda se používá s vhodným Bonferroni opraveným α, jen když je zajímavá podmnožina všech možných srovnání.
- ✓ Dunnettova metoda se používá k porovnání zadaných kontrolovaných proměnných se všemi ostatními proměnnými, zatímco se kontroluje chybovost.
- ✓ Hsuova metoda srovnává nejlepší proměnné - jednu s nejnižším nebo nejvyšším průměrem a všechny ostatní proměnné, zatímco se kontroluje chybovost. (10)

Konfigurace Minitab pro post-ANOVA srovnání z nabídky **Comparisons** menu **Stat>ANOVA> One-Way** nebo menu **Stat> ANOVA> One-Way (Unstacked)**.

Pro každý z post-ANOVA srovnávacích metod Minitab udává intervaly spolehlivosti pro rozdíl mezi příslušnými dvojicemi proměnných průměrů. Pokud interval spolehlivosti pro rozdíl mezi dvěma proměnnými průměry neobsahuje nulu, pak se dá vyvodit, že jsou tyto průměry výrazně odlišné od sebe navzájem. Minitab vykazuje jak numerické hodnoty mezí spolehlivosti, tak i grafické znázornění intervalů spolehlivosti, které umožňuje snadno interpretovat kompletní sekvenci testů. (10)

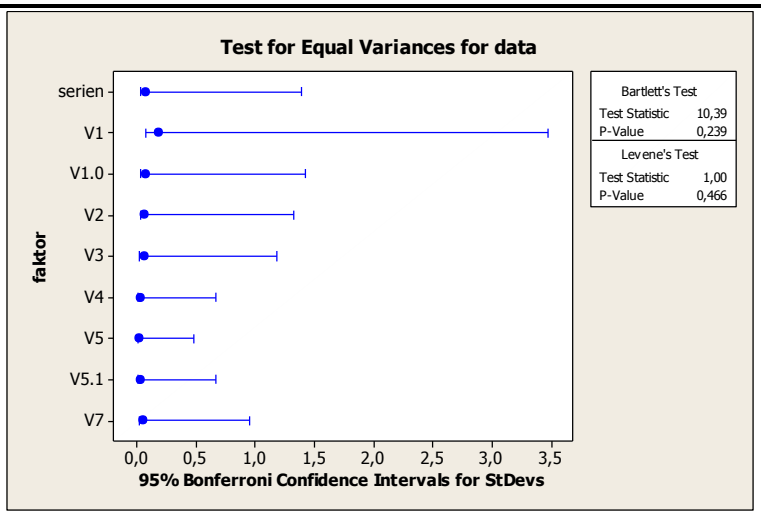
ANOVA také poskytuje další jednoduché grafické prezentace, které jsou užitečné pro rychlé post-ANOVA mnohočetné srovnávací testování. Minitab vypočítá a vykreslí 95 procentní intervaly spolehlivosti pro populace průměrů pro všechny proměnné. Vzhledem k tomu, že ANOVA vyžaduje, aby byla data homogenní, používá se ke konstrukci těchto intervalů souhrnná směrodatná odchylka s_ε, takže mají všechny stejnou šířku. Ve srovnání s jinými metodami má tato metoda tendenci být poměrně necitlivá na rozdíly mezi proměnnými, takže základní výhodou je jednoduchá prezentace. (4), (10)

Vyhodnocení pro serienparametern pro stanovené druhy materiálu.

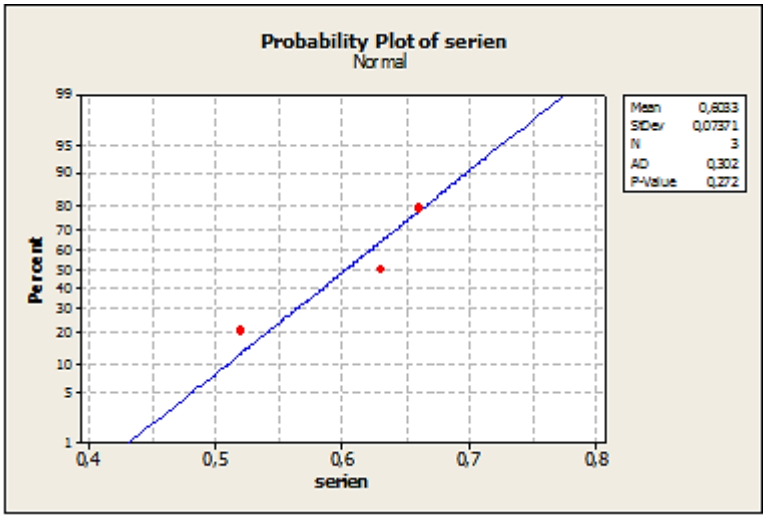


Obr. 7.11 Problémové zóny dílu (17)

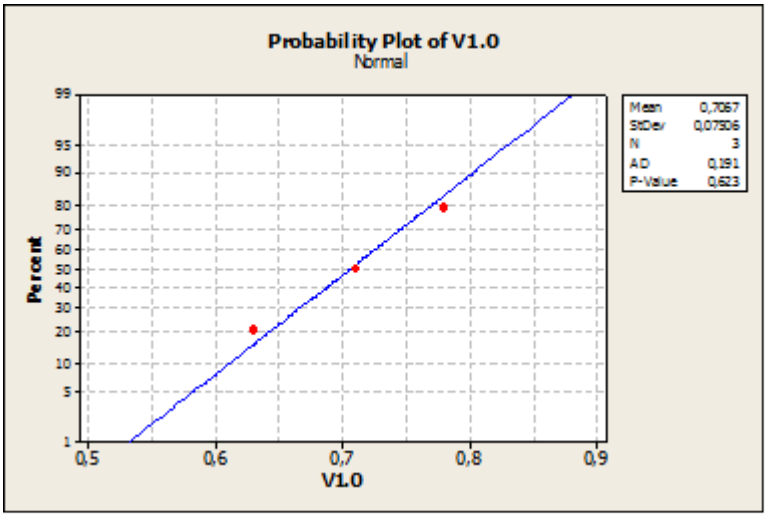
Je nutné zde podotknout, že byla analýza prováděna pouze na 3 kusech z každého materiálu. Pro přesnější a objektivnější výsledky by bylo nutné použití více kusů. Analýza byla prováděna na požadavek zákazníka, který zároveň dodal i plán postupu zkoušky. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v příloze. Analýza ANOVA je prováděna z těchto hodnot v každém měřícím bodě.



Graf 7.1 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 5_X



Graf 7.2 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 5_X



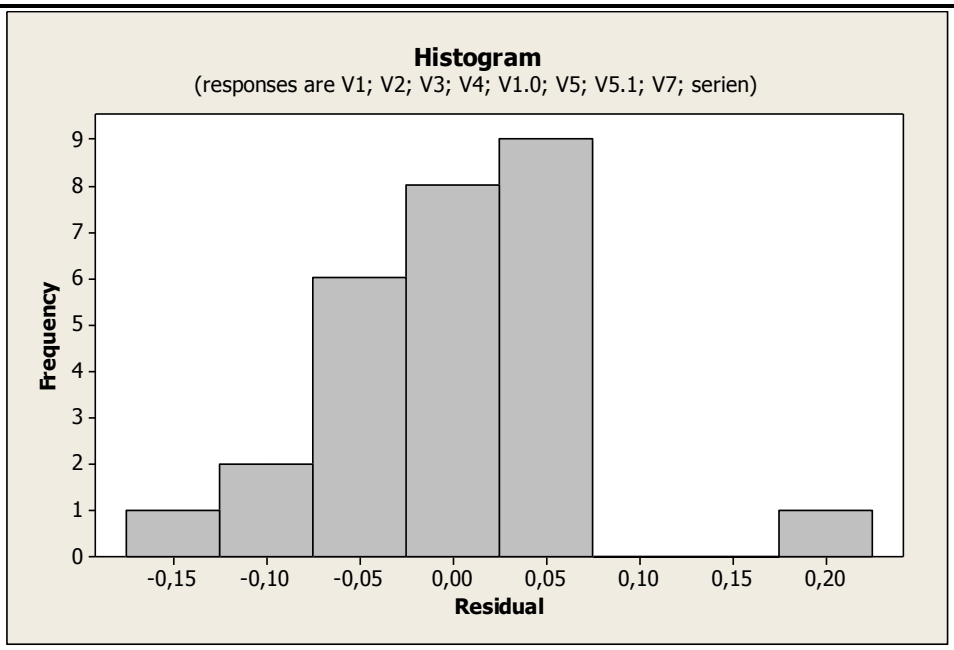
Graf 7.3 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V0.1 v měřícím bodě MP 5_X

Probability Plot of data kontroluje, zda jsou data z normálního rozdělní nebo ne. Tato podmínka musí být splněna v každé skupině porovnávaných faktorů. Směrodatnou hodnotou pro určení normality dat je P-hodnota (hladina významnosti), která musí být vyšší než 0,05. P-hodnota udává, s jakou pravděpodobností o dané problematice můžeme rozhodnout, zda danou hypotézu (jedná se o normální rozdělní) zamítneme nebo potvrdíme. V našem případě je použita 95% pravděpodobnost pro přijetí nebo zamítnutí hypotézy. Jak je z grafu vidět, hypotézu nezamítáme, protože P-hodnota > 0,05. V jednotlivých skupinách materiálů se jedná o data z normálního rozdělení. Další podmínkou je, aby byla shodnost rozptylů v jednotlivých třídách. Opět je směrodatná P-hodnota. V našem případě potvrzujeme, že jsou rozptyly shodné. Pro ilustraci jsou uvedeny pouze grafy pro dva materiály.

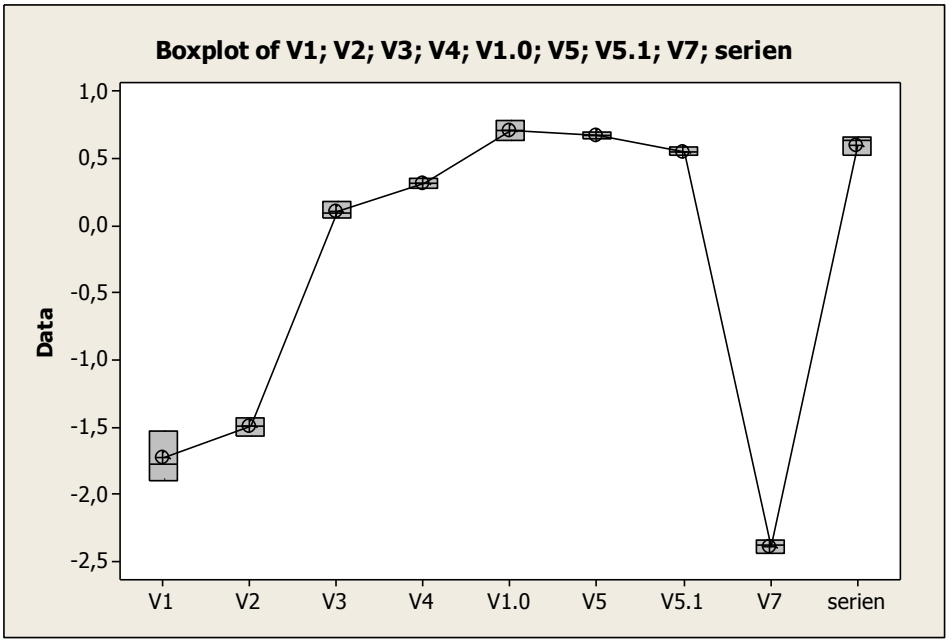
One-way ANOVA: V1; V2; V3; V4; V1.0; V5; V5.1; V7; serien v bodu měření MP 5_X
Tolerance stanovená zákazníkem ± 1,0

```
Source  DF        SS       MS       F      P

Factor   8  35,65240  4,45655  678,28  0,000

Error   18   0,11827  0,00657

Total   26  35,77067

S = 0,08106   R-Sq = 99,67%   R-Sq(adj) = 99,52%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level   N     Mean   StDev  -----+---------+---------+---------+----
V1      3  -1,7300  0,1833         (*)
V2      3  -1,4967  0,0702           (*)
V3      3   0,1100  0,0624                            (*)
V4      3   0,3167  0,0351                              (*)
V1.0    3   0,7067  0,0751                                  (*)
V5      3   0,6733  0,0252                                  (*)
V5.1    3   0,5533  0,0351                                 (*)
V7      3  -2,3867  0,0503  (*)
serien  3   0,6033  0,0737                                 (*)
                            -----+---------+---------+---------+----
                              -2,0      -1,0       0,0       1,0

Pooled StDev = 0,0811
```

Výpočet pomocí ANOVA porovnává rozptyly zadaných proměnných navzájem. Kdy je nulová hypotéza, že se tyto rozptyly rovnají a naopak alternativní hypotéza potom značí nerovnost těchto rozptylů. Z výpočtu a následného grafického znázornění vyplývá, že výrobky vyrobené z granulátu V1, V2 a V7 se výrazně liší od ostatních materiálů. Dále je také možné vypozorovat, že zbývající materiály se v průměru pohybují v rámci stanovených tolerancí v rozmezí ± 1,0. Analýza byla provedena na základě znalosti 3 hodnot odchylek od nulové hodnoty zjištěných ze zkoušky stanovené zákazníkem u každého materiálu. Zkouška byla provedena střídáním různých granulátů při konstantním nastavení stroje. I v tomto případě je nutné kontrolovat P-hodnotu. Pokud vyjde větší 0,05, jedná se o shodné rozptyly a u materiálů se dá považovat, že ovlivňují finální produkt stejně. Znamená to, že je jedno, jaký materiál bude zvolen. Pokud vyjde menší, jedná se o neshodnost rozptylů a každý materiál se od ostatních liší. V tomto případě jsou od sebe odlišné a lze pozorovat změny mezi nimi.

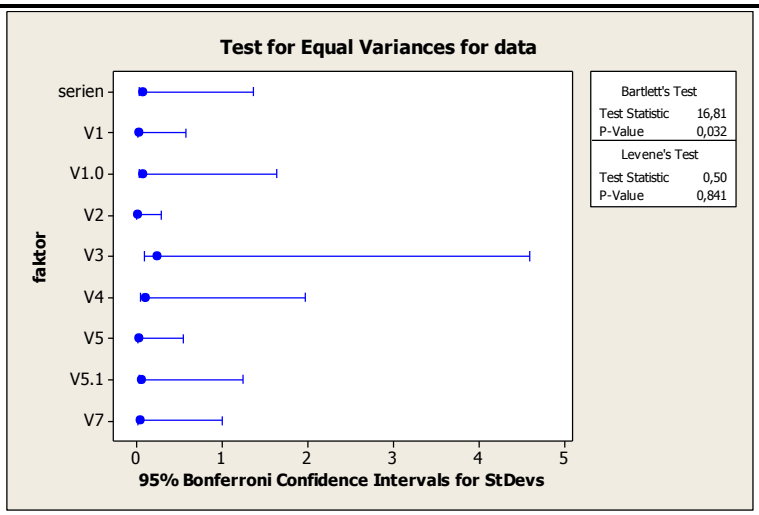


Graf 7.4 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 5_X

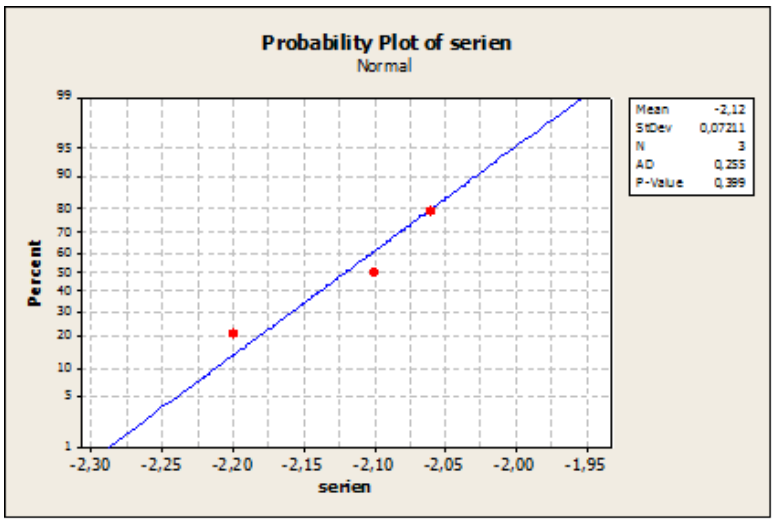


Graf 7.5 Krabicový graf v měřícím bodě MP 5_X

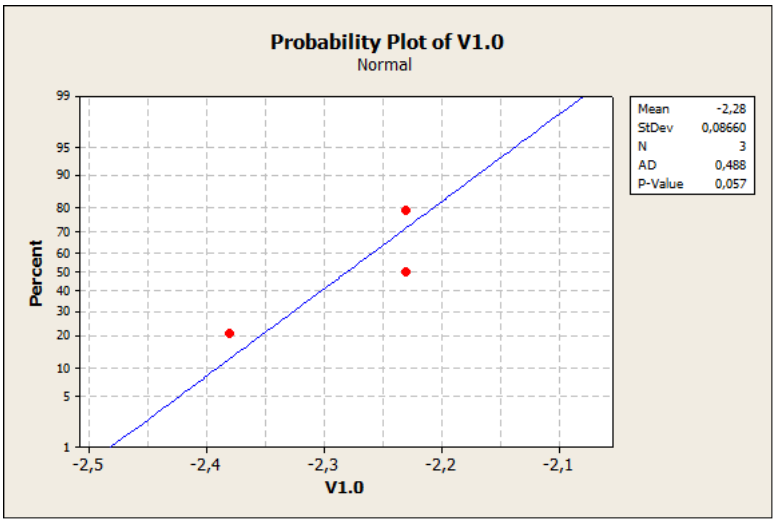
V tomto grafu je možné pozorovat, jak velká je variabilita dat u jednotlivých proměnných. Čím větší je „krabice“ kolem průměrné hodnoty, o to větší je variabilita mezi jednotlivými hodnotami. Krabicový diagram pro hodnoty materiálů naměřené v měřicím bodě MP_5X. Z grafu lze pozorovat, že materiál V1 má největší variabilitu zjištěných odchylek od nulové hodnoty, naopak V5 má tuto variabilitu nejmenší. Dále je také možné opět vidět, že materiály V1, V2 a V7 jsou za povolenou tolerancí stanovenou zákazníkem. Tento graf také ukazuje, že materiály V3 a V4 se nejvíce blíží nulové hodnotě, tedy nejpřesněji vyrobenému výrobku v daném měřicím bodu. Cílem je mít co nejmenší variabilitu a tím vyrábět rozměrově stabilní díly, ale, a to především, vyrábět ve stanovených tolerancích, pokud možno co nejblíže nulové hodnotě.



Graf 7.6 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 6_Y



Graf 7.7 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 6_Y



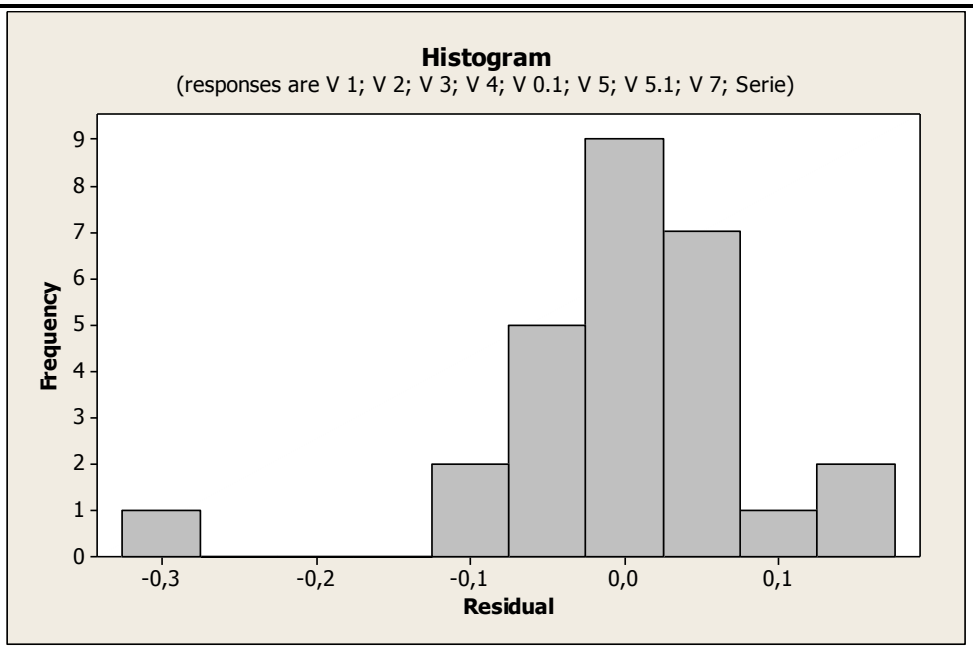
Graf 7.8 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V 0.1 v měřícím bodě MP 6_Y

V našem případě je použita 95% pravděpodobnost pro přijetí nebo zamítnutí hypotézy. Jak je z grafu vidět, hypotézu nezamítáme, protože P-hodnota je >0,05. Jedná se tedy o normální rozdělení dat. Další podmínkou je, aby byla shodnost rozptylů v jednotlivých třídách. Opět je směrodatná P-hodnota. V našem případě potvrzujeme, že jsou rozptyly shodné podle Levenova testu, Bartletův nulovou hypotézu zamítá. Pro ilustraci jsou uvedeny pouze grafy pro dva materiály. V případě, že Bartlet test zamítá (je citlivější na normalitu dat), kontrolujeme shodnost rozptylu podle Levena. Ten už však musí vyjít. Dále při vyhodnocování ANOVA se potom jedná o méně přesné výsledky. Nicméně jsou stále směrodatné.

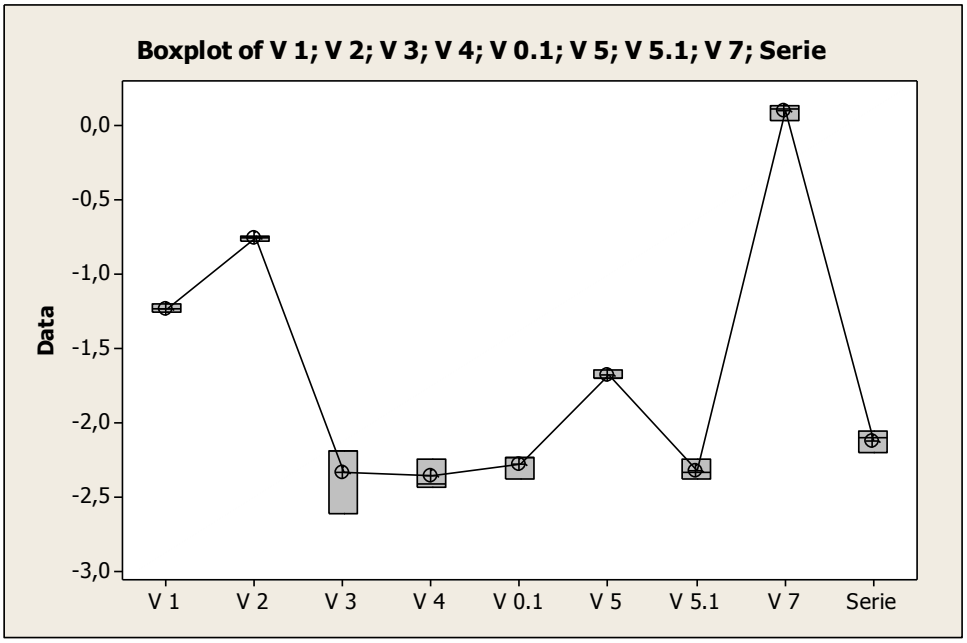
One-way ANOVA: V 1; V 2; V 3; V 4; V 0.1; V 5; V 5.1; V 7; serien v bodu měření MP 6_Y Tolerance stanovená zákazníkem ± 1,5

```
Source  DF       SS      MS       F      P

Factor   8  18,0576  2,2572  222,02  0,000

Error   18   0,1830  0,0102

Total   26  18,2406

S = 0,1008   R-Sq = 99,00%   R-Sq(adj) = 98,55%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean   StDev  -----+---------+---------+---------+----
V 1    3  -1,2333  0,0306                  (*-)
V 2    3  -0,7633  0,0153                        (-*-)
V 3    3  -2,3300  0,2425  (-*)
V 4    3  -2,3600  0,1044  (*-)
V 0.1  3  -2,2800  0,0866   (*-)
V 5    3  -1,6833  0,0289          (-*-)
V 5.1  3  -2,3200  0,0656  (-*-)
V 7    3   0,0900  0,0529                                    (*-)
Serie  3  -2,1200  0,0721     (-*)
                          -----+---------+---------+---------+----
                            -2,10     -1,40     -0,70      0,00

Pooled StDev = 0,1008
```

Z výpočtu a následného grafického znázornění vyplývá, že výrobky vyrobené z granulátu V1, V2 a V7 se výrazně liší od ostatních materiálů. Dále je také možné vypozorovat, že zbývající materiály se v průměru nepohybují v rámci stanovených tolerancí v rozmezí ± 1,5. Dále je také možné vypozorovat, že pouze granuláty V1, V2 a V7 splňují výrobu v zadaných tolerancích. Granulát V5 leží na rozmezí mezi dobrým a neshodným výrobkem. Analýza byla provedena na základě znalosti 3 hodnot odchylek od nulové hodnoty zjištěných ze zkoušky stanovené zákazníkem u každého materiálu. Zkouška byla provedena střídáním různých granulátů při konstantním nastavení stroje. I v tomto případě je nutné kontrolovat P-hodnotu. Pokud vyjde větší než 0,05, jedná se o shodné rozptyly a u materiálů se dá považovat, že ovlivňují finální produkt stejně. Znamená to, že je jedno, jaký materiál bude zvolen. Pokud vyjde menší, jedná se o neshodnost rozptylů a každý materiál se od ostatních liší. V tomto případě jsou od sebe odlišné a lze pozorovat změny mezi nimi.

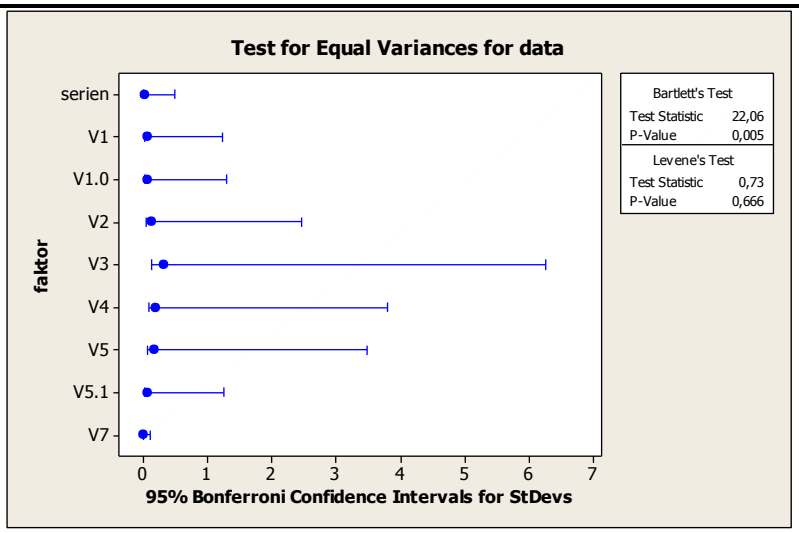


Graf 7.9 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 6_Y

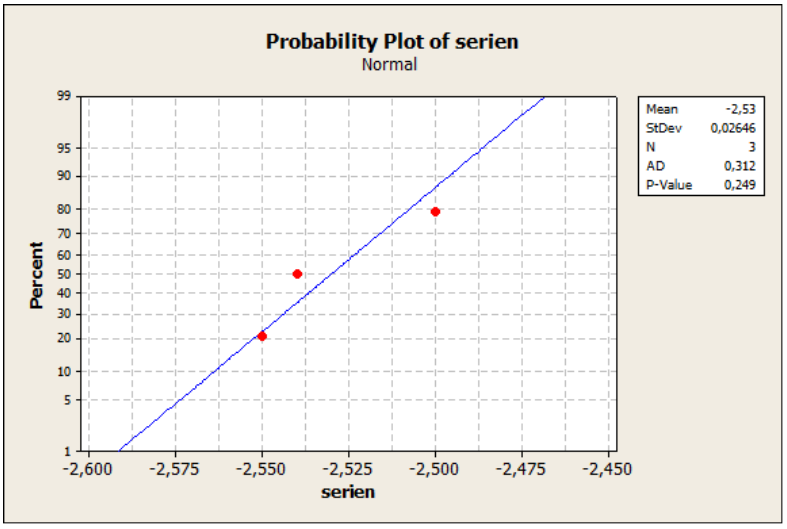


Graf 7.10 Krabicový graf v měřícím bodě MP 6_Y

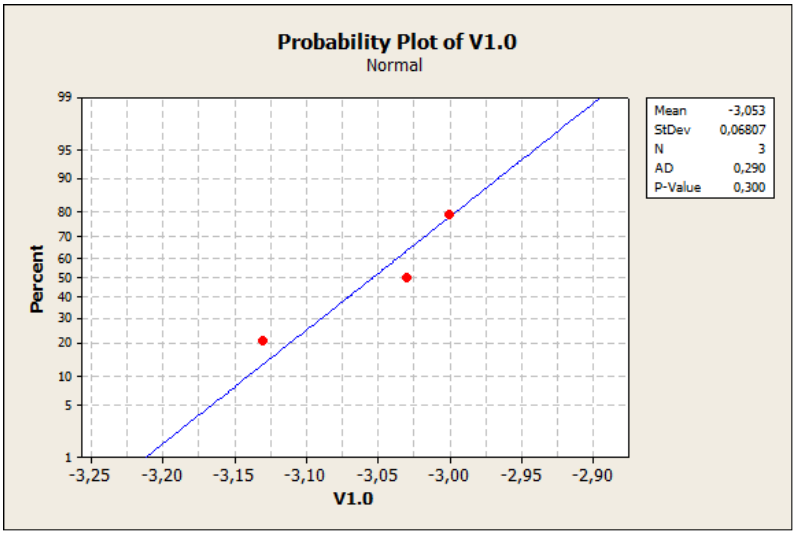
Krabicový diagram pro hodnoty materiálů naměřené v měřicím bodě MP_6Y. Z grafu lze pozorovat, že materiál V3 má největší variabilitu zjištěných odchylek od nulové hodnoty, naopak V2 má tuto variabilitu nejmenší. Dále je také možné opět vidět, že materiály V1, V2 a V7 jsou v povolené toleranci stanovené zákazníkem. Tento graf také ukazuje, že materiály V2 a V7 se nejvíce blíží nulové hodnotě, tedy nejpřesněji vyrobenému výrobku v daném měřicím bodu. Jak lze vidět, v tomto měřicím bodu většina materiálů zcela nevyhověla. Cílem je mít co nejmenší variabilitu a tím vyrábět rozměrově stabilní díly, ale, a to především, vyrábět ve stanovených tolerancích, pokud možno co nejblíže nulové hodnotě.



Graf 7.11 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 23_X



Graf 7.12 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 23_X



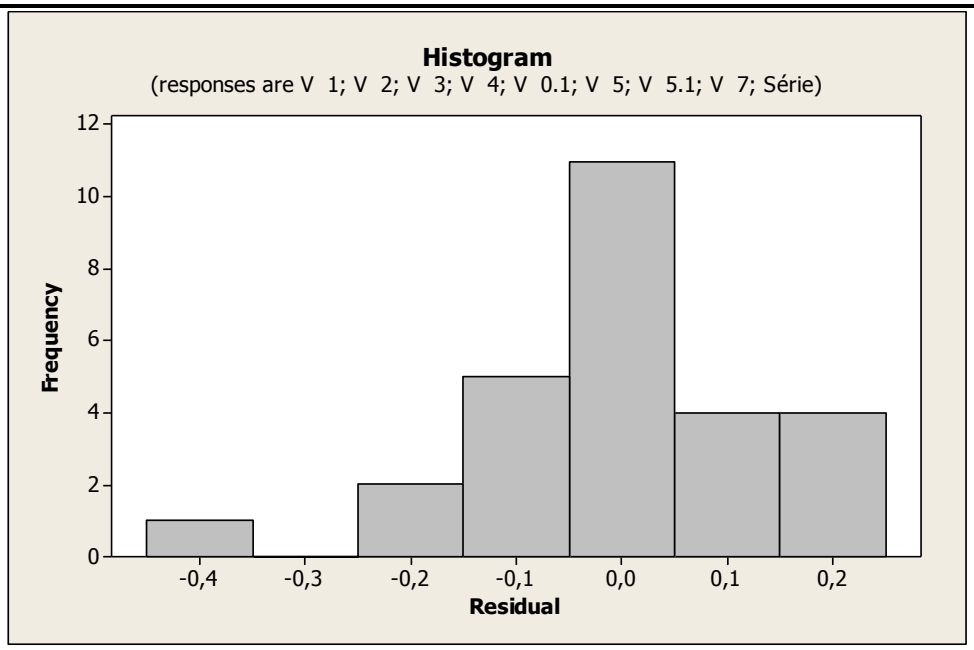
Graf 7.13 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V 0.1 v měřícím bodě MP 23_X

V našem případě je použita 95% pravděpodobnost pro přijetí nebo zamítnutí hypotézy. Jak je z grafu vidět, hypotézu nezamítáme, protože P-hodnota je >0,05. Jedná se tedy o normální rozdělení dat. Další podmínkou je, aby byla shodnost rozptylů v jednotlivých třídách. Opět je směrodatná P-hodnota. V našem případě potvrzujeme, že jsou rozptyly shodné podle Levenova testu, Bartletův nulovou hypotézu zamítá. Pro ilustraci jsou uvedeny pouze grafy pro dva materiály.

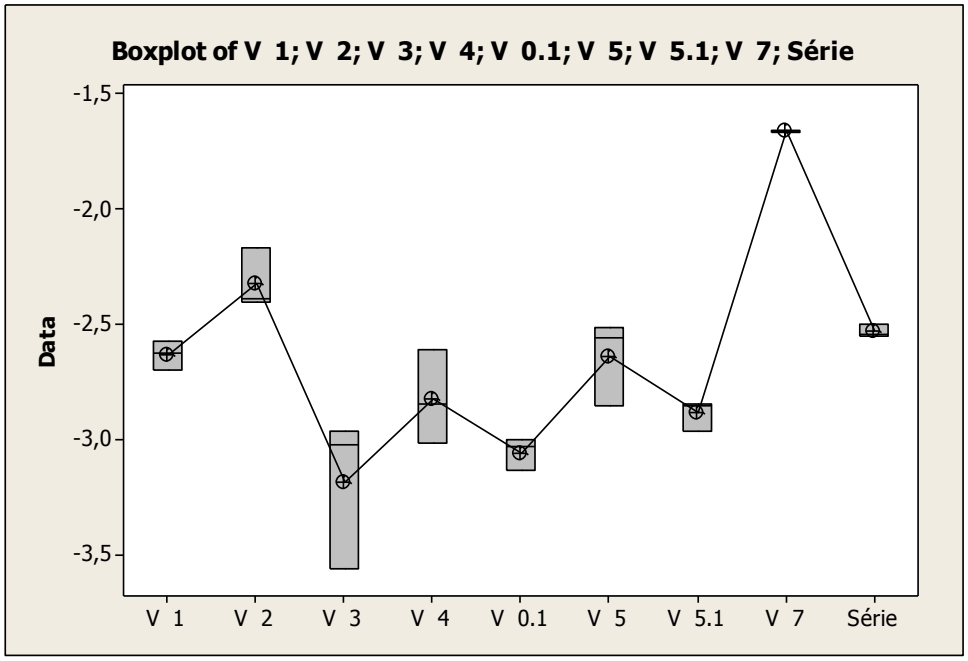
One-way ANOVA: V 1; V 2; V 3; V 4; V 0.1; V 5; V 5.1; V 7; serien v bodu měření MP 23_X
Tolerance stanovená zákazníkem není stanovena

```
Source  DF      SS      MS      F      P

Factor   8  4,8671  0,6084  25,56  0,000

Error   18  0,4284  0,0238

Total   26  5,2955

S = 0,1543   R-Sq = 91,91%   R-Sq(adj) = 88,31%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level   N     Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
V  1    3  -2,6300  0,0656            (--*---)
V  2    3  -2,3200  0,1300                  (---*--)
V  3    3  -3,1800  0,3305  (--*---)
V  4    3  -2,8200  0,2007        (---*--)
V  0.1  3  -3,0533  0,0681    (---*---)
V  5    3  -2,6400  0,1836            (---*---)
V  5.1  3  -2,8833  0,0666        (--*---)
V  7    3  -1,6633  0,0058                                (---*--)
Série   3  -2,5300  0,0265               (--*---)
                            -------+---------+---------+---------+--
                                -3,00     -2,50     -2,00     -1,50

Pooled StDev = 0,1543
```

Z výpočtu a následného grafického znázornění vyplývá, že výrobky vyrobené z granulátu. V7 se výrazně liší od ostatních materiálů. Dále je také možné vypozorovat, že zbývající materiály se pohybují kolem hodnoty -2,5. Pro tento měřicí bod zákazník nestanovil toleranci. Proto zde nelze určit, který materiál vyhovuje, a který nikoliv. Je možné pouze říci, že je vždy cílem se co nejvíce přiblížit nulové hodnotě. Z tohoto pohledu se jako nejlepší jeví V7. Zbylé materiály jsou na tom stejně, nelze přesně říci, který z nich je lepší. Analýza byla provedena na základě znalosti 3 hodnot odchylek od nulové hodnoty zjištěných ze zkoušky stanovené zákazníkem u každého materiálu. Zkouška byla provedena střídáním různých granulátů při konstantním nastavení stroje. I v tomto případě je nutné kontrolovat P-hodnotu. Pokud vyjde větší 0,05, jedná se o shodné rozptyly a u materiálů se dá považovat, že ovlivňují finální produkt stejně. Znamená to, že je jedno, jaký materiál bude zvolen. Pokud vyjde menší, jedná se o neshodnost rozptylů a každý materiál se od ostatních liší. V tomto případě jsou od sebe odlišné a lze pozorovat změny mezi nimi.

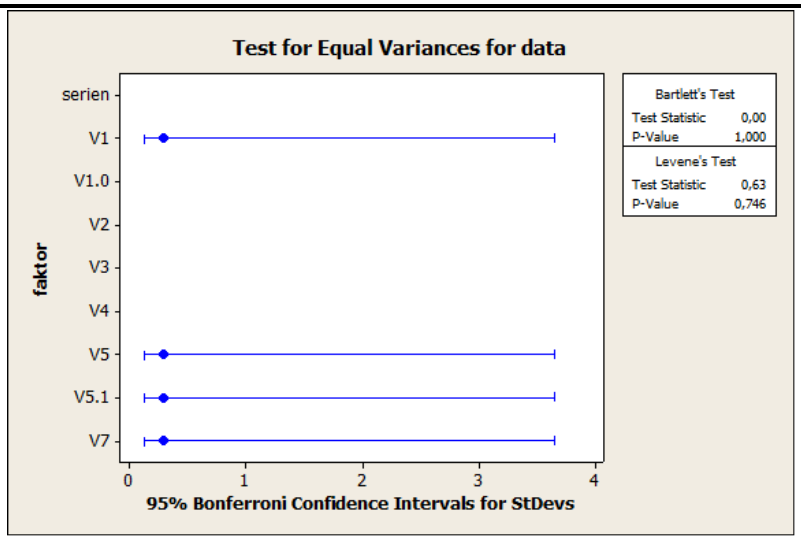


Graf 7.14 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 23_X

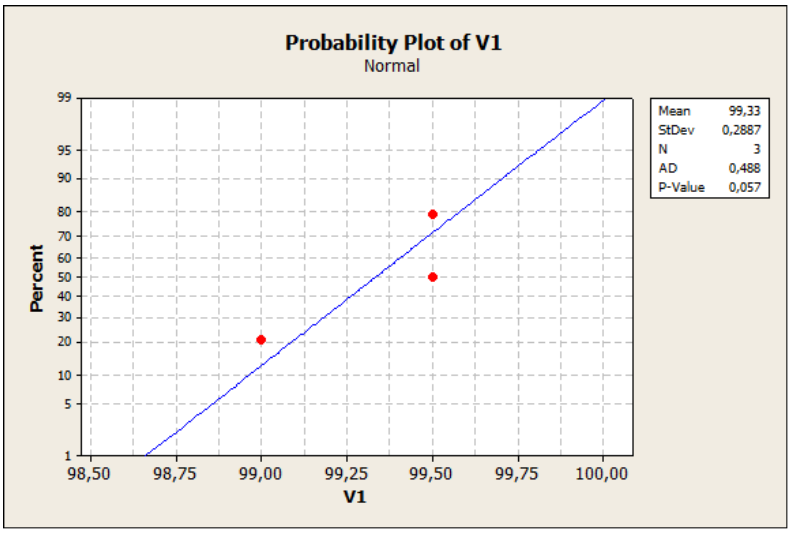


Graf 7.15 Krabicový graf v měřícím bodě MP 23_X

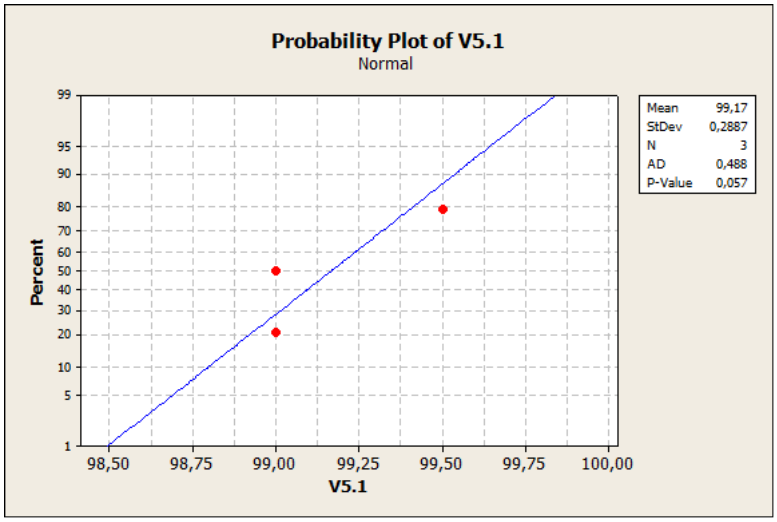
Krabicový diagram pro hodnoty materiálů naměřené v měřicím bodě MP_23X. Z grafu lze pozorovat, že materiál V3 má největší variabilitu zjištěných odchylek od nulové hodnoty, naopak V7 má tuto variabilitu nejmenší. Dále je také možné opět vidět, že všechny materiály kromě V7 jsou výrazně odlišné. Tento graf také ukazuje, že materiál V7 se nejvíce blíží nulové hodnotě, tedy nejpřesněji vyrobenému výrobku v daném měřicím bodu. Jak lze vidět, v tomto měřicím bodu většina materiálů zcela nevyhověla. Cílem je mít co nejmenší variabilitu a tím vyrábět rozměrově stabilní díly, ale, a to především, vyrábět ve stanovených tolerancích, pokud možno co nejblíže nulové hodnoty.



Graf 7.16 Test shodnosti variability v měřícím bodě Abstand



Graf 7.17 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení materiálu V1 v měřícím bodě Abstand

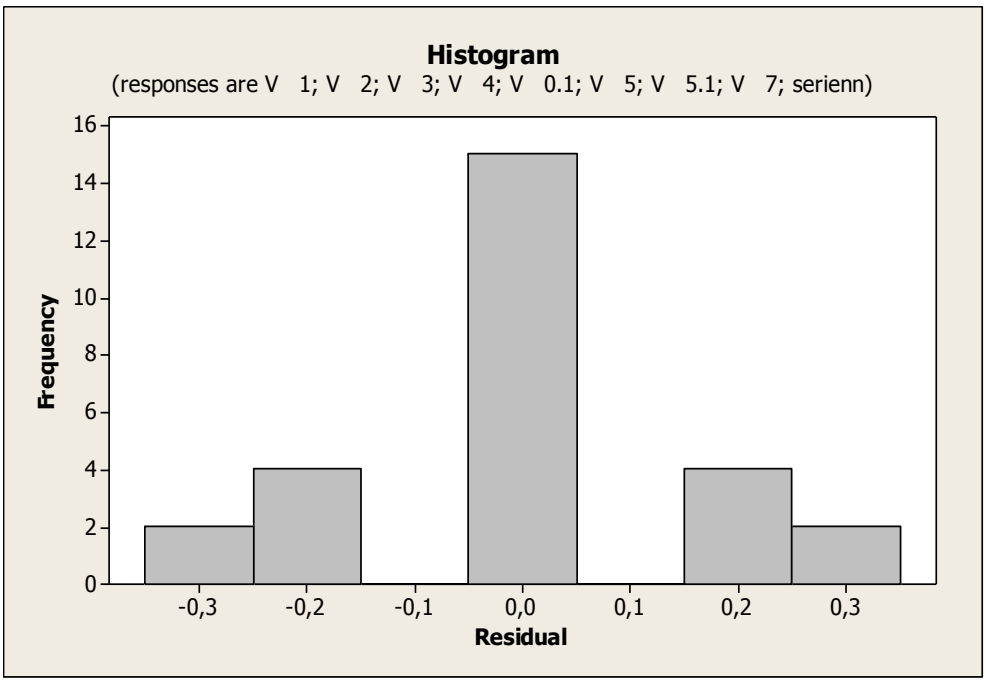


Graf 7.18 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení materiálu V5.1 v měřícím bodě Abstand

V našem případě je použita 95% pravděpodobnost pro přijetí nebo zamítnutí hypotézy. Jak je z grafu vidět, hypotézu nezamítáme, protože P-hodnota je >0,05. Jedná se tedy o normální rozdělení dat. Další podmínkou je, aby byla shodnost rozptylů v jednotlivých třídách. Opět je směrodatná P-hodnota. V našem případě potvrzujeme, že jsou rozptyly shodné. Pro ilustraci jsou uvedeny pouze grafy pro dva materiály.

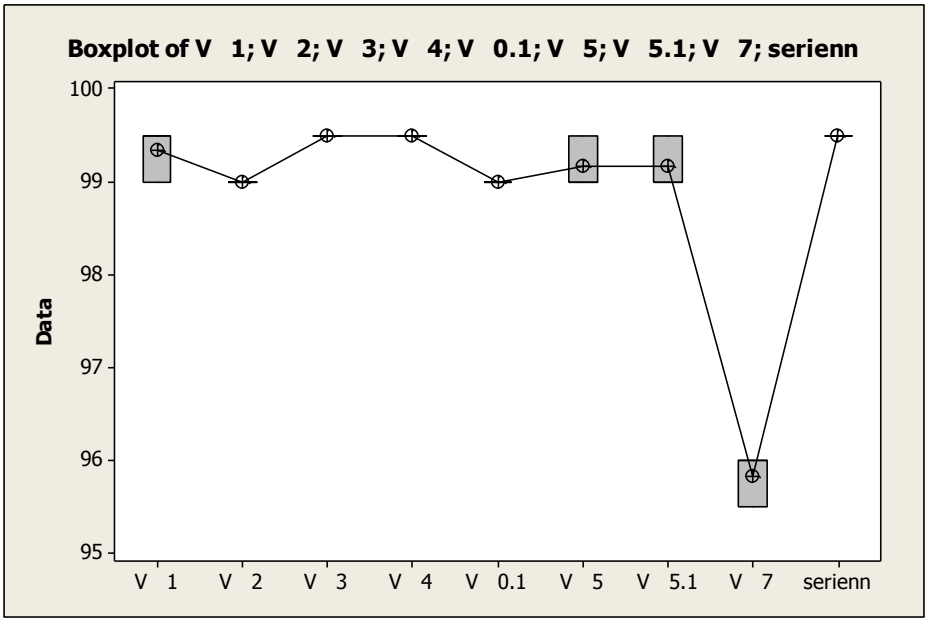
One-way ANOVA: V 1; V 2; V 3; V 4; V 0.1; V 5; V 5.1; V 7; serien v bodu měření Abstand (in Z) von der Grundplatte
Tolerance stanovená zákazníkem není stanovena

```
Source  DF       SS      MS       F      P

Factor   8  32,5000  4,0625  109,69  0,000

Error   18   0,6667  0,0370

Total   26  33,1667

S = 0,1925   R-Sq = 97,99%   R-Sq(adj) = 97,10%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level     N    Mean  StDev ---+---------+---------+---------+------
V   1     3  99,333  0,289                              (-*-)
V   2     3  99,000  0,000                           (-*-)
V   3     3  99,500  0,000                               (-*-)
V   4     3  99,500  0,000                               (-*-)
V   0.1   3  99,000  0,000                           (-*-)
V   5     3  99,167  0,289                            (-*-)
V   5.1   3  99,167  0,289                            (-*-)
V   7     3  95,833  0,289  (-*-)
serienn   3  99,500  0,000                               (-*-)
                           ---+---------+---------+---------+------
                           96,0      97,2      98,4      99,6

Pooled StDev = 0,192
```



Graf 7.19 Histogram reziduí v měřícím bodě Abstand

Z výpočtu a následného grafického znázornění vyplývá, že výrobky vyrobené z granulátu V7 se výrazně liší od ostatních materiálů. Dále je také možné vypozorovat, že zbývající materiály se v průměru pohybují v rámci zadané vzdálenosti dílu od měřicího stolu. Dále je také možné vypozorovat, že pouze granulát V7 nesplňuje výrobu v zadané vzdálenosti. Analýza byla provedena na základě znalosti 3 hodnot odchylek od nulové hodnoty zjištěných ze zkoušky stanovené zákazníkem u každého materiálu. Zkouška byla provedena střídáním různých granulátů při konstantním nastavení stroje. I v tomto případě je nutné kontrolovat P-hodnotu. Pokud vyjde větší než 0,05, jedná se o shodné rozptyly a u materiálů se dá považovat, že ovlivňují finální produkt stejně. Znamená to, že je jedno, jaký materiál bude zvolen. Pokud vyjde menší, jedná se o neshodnost rozptylů a každý materiál se od ostatních liší. V tomto případě jsou od sebe odlišné a lze pozorovat změny mezi nimi.



Graf 7.20 Krabicový graf v měřícím bodě Abstand

Krabicový diagram pro hodnoty materiálů naměřené v Abstand (in Z). Z grafu nelze pozorovat, který materiál má největší variabilitu hodnoty. Dále je také možné opět vidět, že všechny materiály kromě V7 jsou výrazně odlišné. Tento graf také ukazuje, že materiál V7 se nejvíce oddaluje dané vzdálenosti od měřicí desky, tedy nejpřesněji vyrobenému výrobku. Jak lze vidět, v tomto měřicím bodu většina materiálů vyhověla. Jediným nevyhovujícím materiálem je V7. Cílem je mít co nejmenší variabilitu a tím vyrábět rozměrově stabilní díly, ale, a to především, vyrábět ve stanovených tolerancích, pokud možno co nejblíže nulové hodnotě.

Zhodnocení

Z hlediska dodržení povolených tolerancí se nejlépe jeví varianty materiálu V1 a V2. U materiálu V7 je možné říci, že se jeví jako nejhorší varianta. Jak už bylo zmíněno na začátku, jedná se pouze o vyhodnocení 3 kusů. Proto se nedá hovořit o příliš objektivním hodnocení. Bylo by nutné provést opakované měření pro potvrzení daných výsledků. Avšak dle zadaných požadavků zákazníka ani jeden ze stanovených materiálů nesplňuje všechny stanovené tolerance. Proto zde doporučuji provést plánovaný experiment, kde je možné odhalit, jaký mají vliv jednotlivé parametry stroje na finální výrobek. Je jím také možné najít takovou kombinaci parametrů, aby se zlepšily výsledné hodnoty odchylek a splnily tak zákazníkem stanovené požadavky. Návrh plánovaného experimentu je uveden níže.

7.2.2 DOE

2 x 2 faktoriální experimenty jsou jedny z nejjednodušších a přesto velmi důležité experimenty. Navzdory své jednoduchosti jsou jedním z nejběžněji prováděných experimentů všech typů. Jejich analýza ztělesňuje všechny klíčové pojmy, matematiku, a otázky výklad složitějších designů, které jsou na nich založeny.

2 × 2 nebo 2^2 faktoriální experiment má dvě proměnné, x_1 a x_2, každá ve dvou úrovních. Kódované úrovně jsou označeny -1 a +1, nebo jen - a +, a jednoduché transformace se používají pro převod tam a zpět mezi těmito úrovněmi a pro reálné měřitelné hladiny proměnné. Čtyři unikátní běhy na 2^2 experimentálním uspořádání mohou být vyjádřeny ve formě tabulky. (10)

Tabulka 7.1 Experimentální uspořádání běhů (10)

běh	x_1	x_2
1	-	-
2	-	+
3	+	-
4	+	+

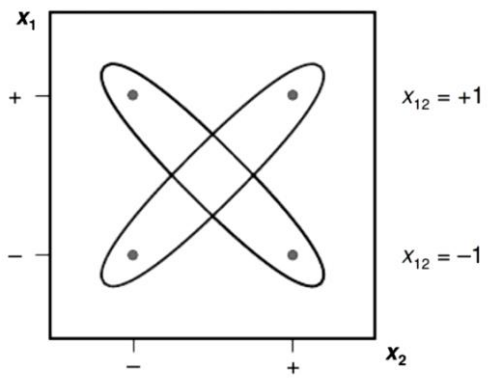
Je možné a velmi žádoucí přidat ještě jeden termín na modelu. Ve skutečnosti, tento termín a další podmínky, jako je tento, jsou jednou z hlavních silných stránek faktoriálových designů. Termín se nazývá interakce a je přidán pomocí dvou faktorů. Měří sílu interakce mezi x_1 a x_2. Interakce se píše jako x_{12} a její regresní koeficient jako b_{12} . Z hlediska čtyř buněk 2 x 2 experimentu, je termín interakce určen párovým pozorováním. Hladiny x_{12} jsou určeny součinem x_1 a x_2. (10)

$$y(x_1, x_2) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12}$$

Rovnice 7.1 Model dvou faktorového experimentu s interakcí (10)

$$x_{12} = x_1 . x_2$$

Rovnice 7.2 Interakce (10)



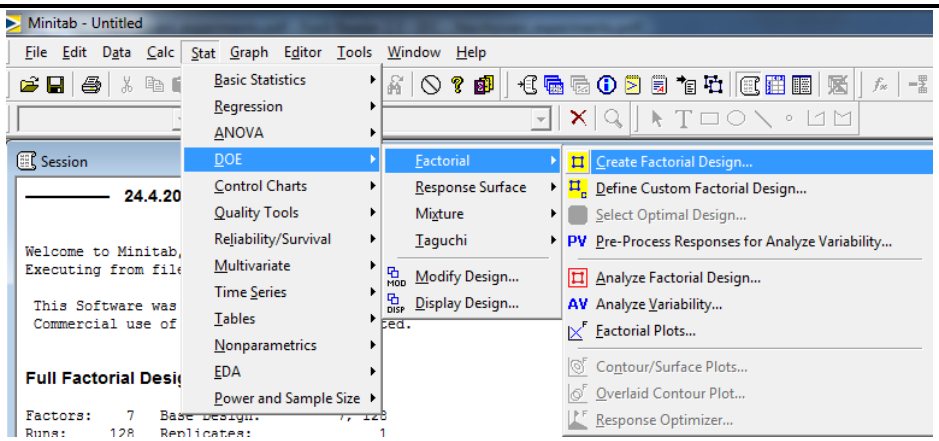
Obr. 7.12 Rozložení faktorů včetně interakcí (10)

Obecný postup pro analýzu 2^k experimentů

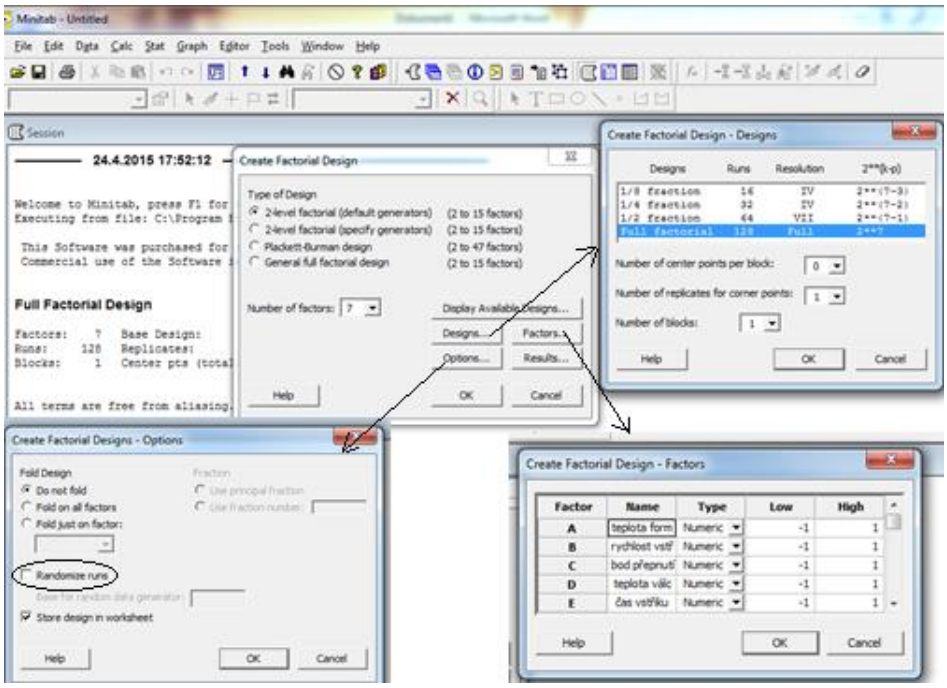
Vytvoření návrhu pomocí

Stat> DOE> Factorial> Create Factorial Design

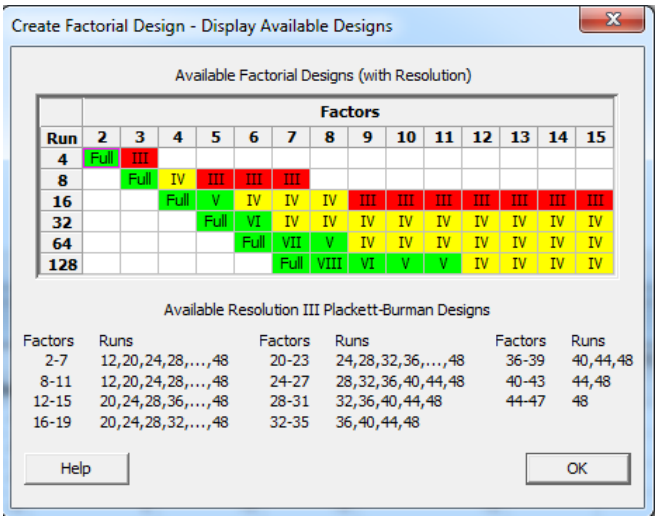
je rychlé, bezpečné a snadné. (10)



Obr. 7.13 Postup tvorby faktoriálního experimentu 1 (Minitab)

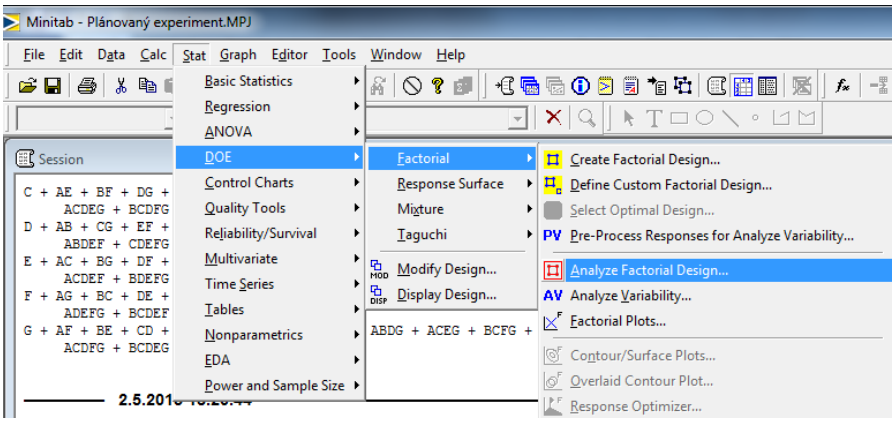


Obr. 7.14 Postup tvorby faktoriálního experimentu 2 (Minitab)



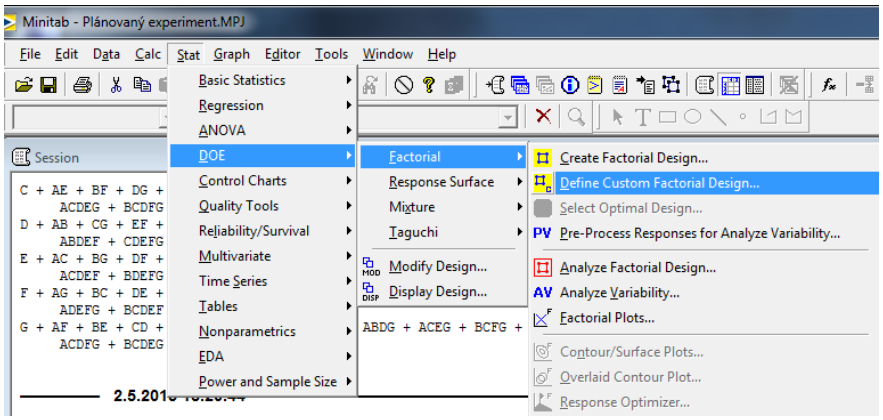
Obr. 7.15 Přípustné modely experimentu (Minitab)

Návrhy vytvořené tímto způsobem jsou připraveny k analýze ze
Stat> DOE> Factorial> Analyze Factorial Design



Obr. 7.16 Postup analýzy faktoriálního experimentu (Minitab)

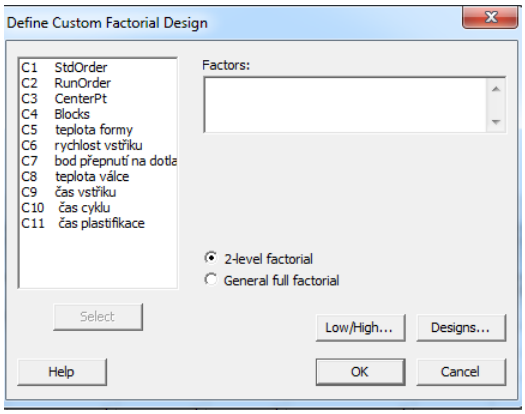
Minitab se stará o všechny randomizace a blokování. Designy vytvořené jinými prostředky mohou být také analyzovány **Stat> DOE> Factorial> Analyze Factorial Design** v případě, že jsou nejprve definovány v programu Minitab pomocí **Stat> DOE> Factorial> Define Factorial Design.** Tento krok vytvoří potřebné skryté vazby mezi pracovním listem a Minitab, takže **Stat> DOE> Factorial> Analyze Factorial Design** může najít potřebné informace k dokončení analýzy. (10)



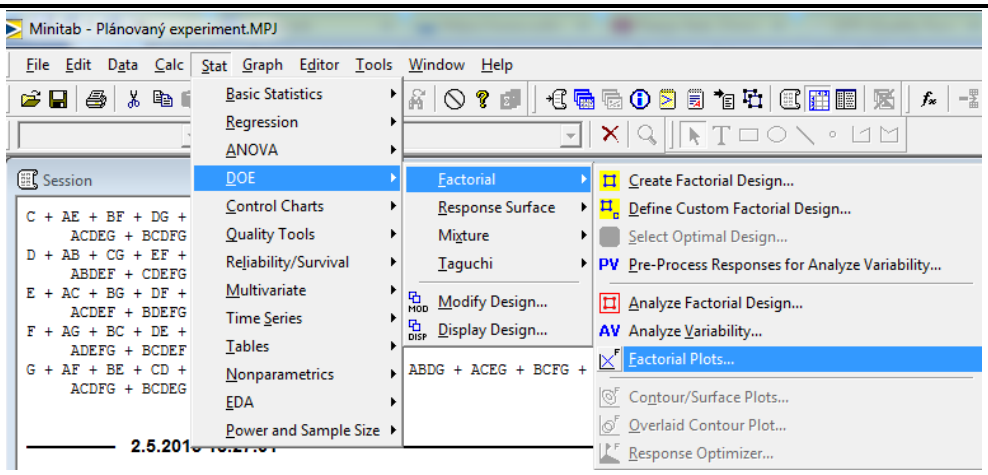
Obr. 7.17 Postup definování faktoriálního experimentu (Minitab)

Potom se vytvoří design a je zadán sloupec *odpověď*. Ale dříve, než se zahájí jakákoliv kvantitativní analýza dat, je užitečné prezentovat data graficky. Získat náhled, jaké proměnné a vzorové podmínky mohou být velmi důležité. Použije se

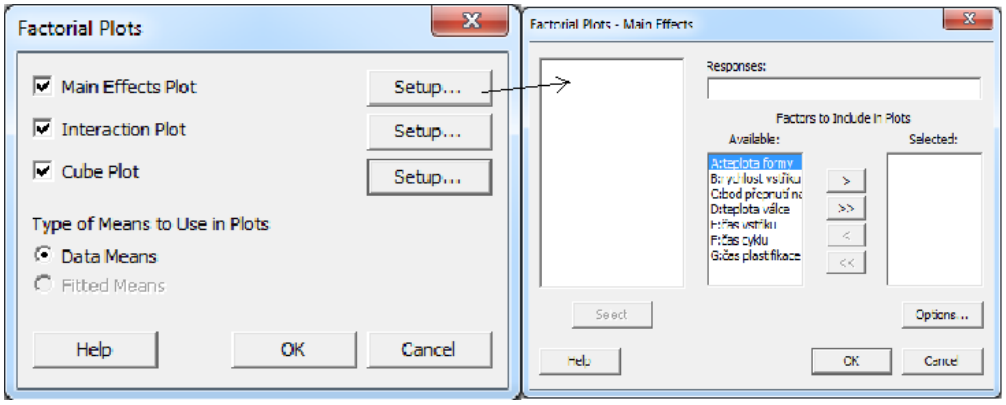
Stat> DOE> Factorial> Factorial Plots k vytvoření grafu hlavních účinků a interakcí. (10)



Obr. 7.18 Výběr faktorů do experimentu (Minitab)

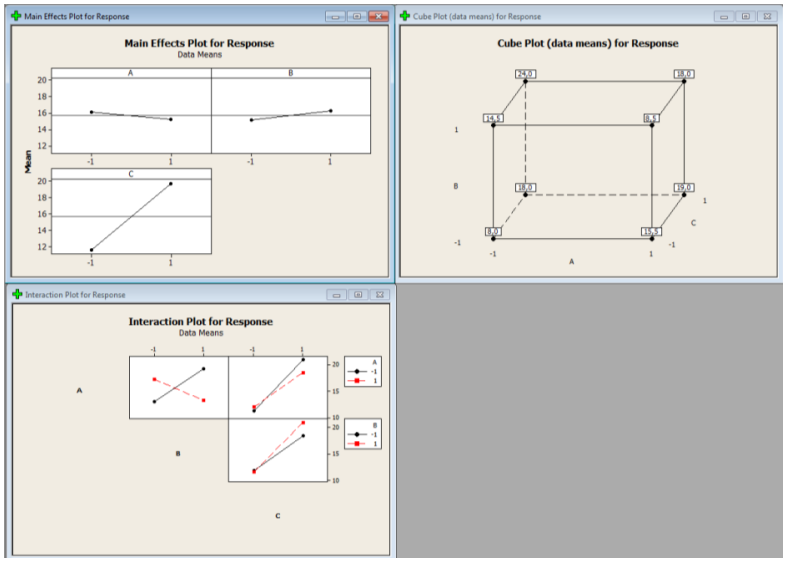


Obr. 7.19 Postup výběru grafů k faktoriálnímu experimentu (Minitab)



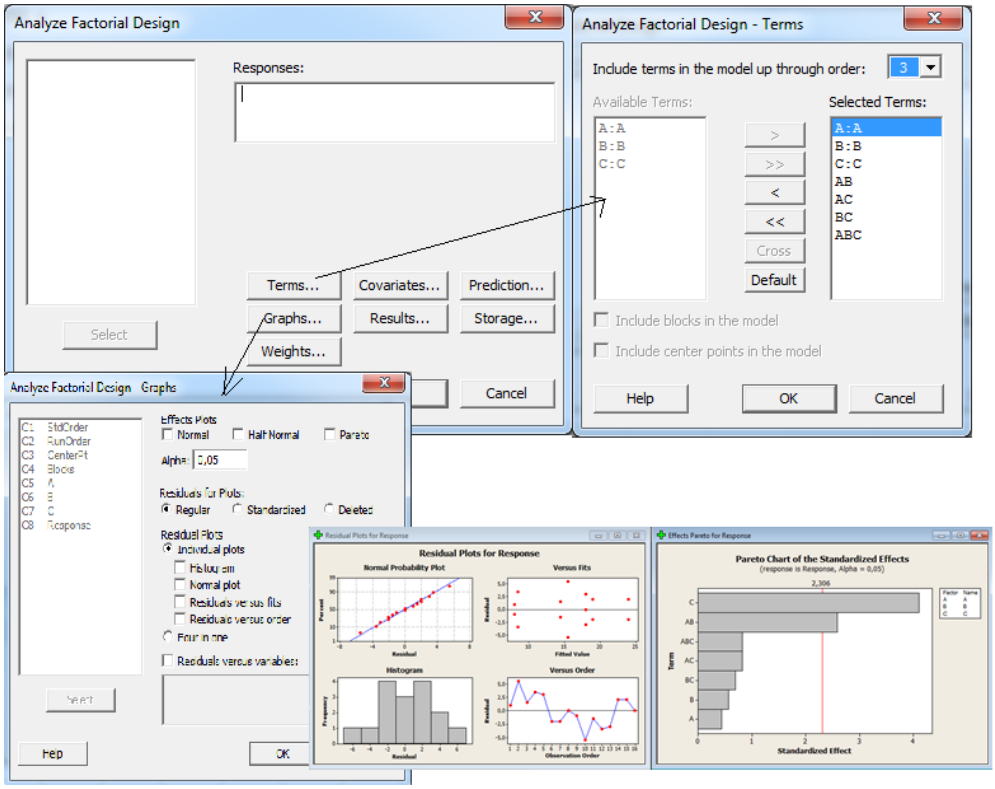
Obr. 7.20 Výběr možných grafů (Minitab)

Je nutné zadat odpověď, která má být analyzována, a podmínky v **Setup** menu. Graf hlavních efektů s šikmými liniemi naznačuje případné významné hlavní efekty. Grafy interakcí, které ukazují lišící se úsečky znázorňují možné významné dvoufaktorové interakce. (10)



Graf 7.21 Dostupné grafy (Minitab)

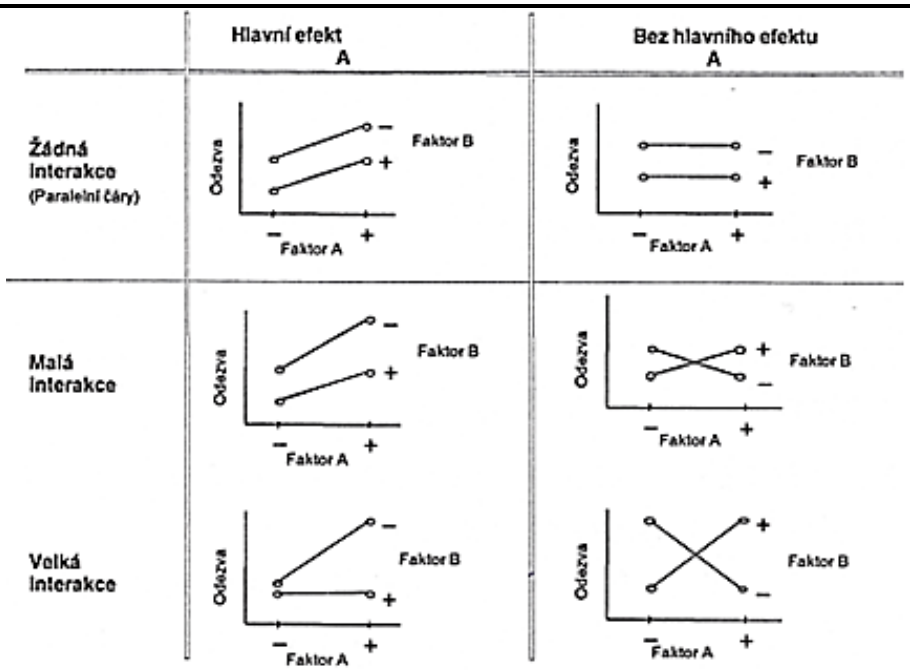
Po navržení designu a vložení požadovaných odpovědí do pracovního listů, se může analyzovat design s **Stat> DOE> Factorial> Analyse Factorial Desgin**. Funkce poskytované v rámci programu Minitab by měly být uživatelsky velmi přijatelné. Vybere se experimentální sloupec odezvy ve sloupci **Responses** a pak **Terms** pro výběr podmínek, které mají být zahrnuty do modelu. Pomocí šipek se pohybují vybrané termíny tam a zpět mezi **Avaliable Terms**: a **Selected Terms** nebo označení nejvyššího řádu podmínky mají být zahrnuty do modelu v **Include terms in the model up through order**. V případě, že experiment byl spuštěn v blocích, pak je nutné zkontrolovat **Include blocks in the model** k účtu pro případné block-to-blok rozdíly. (10)



Obr. 7.21 Možnosti určení důležitosti faktorů u analýzy faktoriálního experimentu (Minitab)

V nabídce **Graphs** se vyberou obvyklá rezidua diagnostických polí, včetně polí z reziduí oproti všem nezávislým proměnným. Mělo by se také zvážit zapnutí normální a / nebo Paretova grafu reziduí. Tyto grafy jsou velmi užitečné pro rozlišení mezi významnými a nevýznamnými modelovými podmínkami, kdy je potřeba vylepšit model. Významné termíny budou odlehlé hodnoty na normálním grafu efektů a budou mít dlouhé pruhy na Paretově grafu. Nevýznamné podmínky budou klesat přibližně na přímce blízko nuly na normální grafu a budou mít krátké pruhy na Paretově grafu. Po zjištění, které modelové podmínky mohou být bezpečně vypuštěny z modelu, následuje návrat do **Terms** okna a spustí se analýza. (10)

Do sloupce Odezva (Response) se musí zapsat všechny výsledky experimentů provedených za podmínek určených experimentálním plánem. V každém řádku musí být vždy pouze jedna hodnota odezvy. Odezvou musí být číselná hodnota, hodnoty kvalitativní jsou nepřípustné. Výsledky analýzy umožňují posoudit vliv některých faktorů nebo jejich interakce na pozorovanou odezvu. (10)



Obr. 7.22 Určování síly interakcí (10)

7.2.3 Výběr faktorů a jejich úrovní

V předchozím textu je uveden postup, jak v SW Minitab vytvořit a také vyhodnotit plánovaný experiment. Jak již bylo zjištěno pomocí ANOVA. Žádný z materiálu nesplňuje všechny zákazníkem stanovené podmínky. Proto je jednou z možností provedení plánovaného experimentu. Za účelem určení významných faktorů, které mohou mít vliv na konečné rozměry výrobku v plánovaném experimentu, byla provedena analýza důležitosti jednotlivých faktorů pomocí metodiky QFD. Faktory použité v QFD byly získány od technika kvality. Ten z předchozích zkušeností určil faktory, které ovlivňují vstřikování plastu do formy. Navržené faktory byly:

1. teplota válce,
2. teplota formy,
3. čas chlazení,
4. rychlost vstřiku,
5. vstřikovací tlak,
6. dotlak,
7. čas dotlaku,
8. protitlak,
9. otáčky šneku,
10. dávka,
11. bod přepnutí na dotlak,
12. odlehčení po dávkování,
13. uzavírací síla,
14. vlhkost materiálu,
15. čistota materiálu,
16. doba pobytu ve válci/sušárně,
17. druh materiálu,
18. separátor,
19. průřez vtokového ústí,
20. tryska stroje,
21. konstrukce dílce,
22. forma,
23. odvzdušnění,
24. špice šneku, šnek, válec, vyčištění,
25. čas cyklu,
26. čas plastifikace,
27. čas vstřiku.

V případě plánovaného experimentu s 27 faktory vzniká obrovské množství kombinací. S ohledem na náročnost měření, zpracování návrhu a cenu by realizace nebyla možná. Vzhledem k vyhodnocení důležitosti jednotlivých faktorů byly vybrány jen ty faktory, které měly v konečném součtu hodnotu větší než 400 získaných bodů. Do plánovaného experimentu navrhuji tyto faktory:

1. teplota formy,
2. rychlost vstřiku,
3. bod přepnutí na dotlak,
4. teplota válce,
5. čas vstřiku,
6. čas cyklu,
7. čas plastifikace.

Tabulka 7.2 Zredukované faktory plánovaného experimentu

Faktor	**Úrovně**
teplota formy	
rychlost vstřiku	48-127 mm/s
bod přepnutí na dotlak	
teplota válce	230-250 °C
čas vstřiku	
čas cyklu	
čas plastifikace	

I těchto 7 faktorů představuje velkou náročnost, jak finanční, tak i časovou a nákladovou. Plný experiment zahrnuje 128 běhů. Proto je zde dobré volit krácený experiment. Všechny možnosti zkrácení experimentu jsou uvedeny níže.

Dílčí faktoriální experimenty

A	B	C	AB	AC	BC	ABC	y
+	−	−	−	−	+	+	y_1
−	+	−	−	+	−	+	y_2
−	−	+	+	−	−	+	y_3
+	+	+	+	+	+	+	y_4

Stejná znaménka v některých sloupcích

A + BC

B + AC

C + AB

Nemůžeme oddělit hlavní efekt A od interakce BC atd.

Obr. 7.23 Směšování efektů (7)

Nízká znalost procesu

Návrh	Počet faktorů	Počet zkoušek	Rozlišení
2^{3-1}	3	4	III
2^{7-4}	5, 6, 7	8	III
2^{15-11}	8 – 15	16	III

Mírná znalost procesu

Návrh	Počet faktorů	Počet zkoušek	Rozlišení
2^{4-1}	4	8	IV
2^{5-1}	5	16	V
2^{8-4}	6, 7, 8	16	IV
2^{16-11}	9 – 16	32	IV

Obr. 7.24 Volba návrhu dílčího experiementu (7)

Pro použití plánu i pro více faktorů, je žádoucí výrazně zredukovat počet experimentů. To umožňují dílčí/frakcionální/krácené faktoriální plány, kdy se vybírají jen některé řádky z původního plného plánu. Pro zachování optimální vlastnosti plánu (například ortogonalita a vyváženost), je nutné vybrat vždy jen určité řádky. Minitab vytvoří matici plánu pro zadaný zlomek všech kombinací z původního počtu faktorů n. Tento zlomek je definovaný číslem k a má tvar 2–k, takže u k=1 se vybere polovina řádků původního plného plánu, při k=2 čtvrtina, při k=3 osmina, atd. Výsledný počet kombinací se tedy rovná 2^{n-k}. Tento typ plánu se dá použít až do počtu n=15 faktorů. Výběr řádků jde určit buď ručně pomocí definujících vztahů, nebo se vybere vhodný plán z 29 předdefinovaných doporučených plánů v Minitab. U doporučených plánů bude zajištěné maximální možné rozlišení. Alias struktura je vždy cenou za snížení počtu řádků v plánu, to znamená snížení počtu experimentů. Ve frakcionálních plánech není možné určit všechny koeficienty regresního modelu, dají se vypočítat pouze společné koeficienty, které jsou součtem dvojice, čtveřice, osmice, atd. původních koeficientů plánu. Tomuto zkracování neboli sdružování koeficientů se říka aliasing. Protože při analýze jde vždy především o určení hlavních efektů samotných faktorů, dále interakcí prvního řádu, je obecně snahou sdružovat hlavní efekty s co nejvyššími interakcemi. Navíc se obvykle předpokládá, že interakce vyšších řádů jsou malé. Tuto podmínku splňují právě předdefinované doporučené plány. Pokud je známa požadovaná alias struktura, pak je možné uživatelské zadání plánu pomocí definujícího vztahu ve tvaru ABC = XYZ. Písmena znamenají součiny faktorů. Řádky, ve kterých jsou všechny rovnosti splněny, se vybírají do zkráceného plánu. Počet zapsaných vztahů v řádku je roven k. Použitá písmena musí odpovídat faktorům. V tabulce 7.3 je uveden typ plánu, rozlišení a počet experimentů. Postup zadání plánu je se provádí obdobně jako v případě plného faktoriálního plánu.

Tabulka 7.3 Doporučené dílčí faktoriální designy (10)

Pořadové číslo	Typ plánu	Frakce	Rozlišení	Počet experimentů
1	2^{3-1}	3-1	III	4
2	2^{4-1}	4-1	IV	8
3	2^{5-1}	5-1	V	16
4	2^{5-2}	5-2	III	8
5	2^{6-1}	6-1	VI	32
6	2^{6-2}	6-2	IV	16
7	2^{6-3}	6-3	III	8
8	2^{7-1}	7-1	VII	64
9	2^{7-2}	7-2	IV	32
10	2^{7-3}	7-3	IV	16
11	2^{7-4}	7-4	III	8
12	2^{8-2}	8-2	V	64
13	2^{8-3}	8-3	IV	32
14	2^{8-4}	8-4	IV	16
15	2^{9-2}	9-2	VI	128
16	2^{9-3}	9-3	IV	64
17	2^{9-4}	9-4	IV	32
18	2^{9-5}	9-5	III	16

Postup experimentu

1. **Cíl:** nalezení nejvhodnější kombinace parametrů vstřikování z hlediska hmotnosti dílů.
2. **Popis problému:** vysoká nebo naopak nízká hmotnost dílů značí přelití nebo naopak nedolití formy a s tím spojené vady a nestálost rozměrů.
3. **Proměnné zahrnuté do experimentu:**
   a. Odezva: hmotnost jednotlivých dílů
   b. Faktory: viz. tabulka 7.2. jednotlivé kombinace jsou uvedeny v přílohách.
4. **Replikace:** vzhledem k náročnosti měření je zahrnuta pouze jedna replikace. Z finančního hlediska ani není možné použití více replikací.
5. **Znáhodnění:** provádí SW Minitab
6. **Forma sběru dat:** během zkoušky určeného typu dílů. Podmínkou je, že se první díl vždy nezahrnuje. Měření hmotnosti se provádí po zchladnutí dílu.
7. **Plánované metody statistické analýzy:** Paretova analýza, Graf hlavních efektů, atd.

Full Factorial Design

```
Factors:     7   Base Design:          7; 128
Runs:      128   Replicates:                1
Blocks:      1   Center pts (total):        0


All terms are free from aliasing.
```

V případě plného faktoriálního desginu je potřeba nejméně 128 běhů při pouze jednom opakování. Je jasné, že tento návrh by byl velice nákladný. Proto je dobré volit dílčí faktoriální experimenty. V našem případě je možné použít poloviční, čtvrtinový, osminový a šestnáctinový. Ještě je nutné dodat, že tento experiment je vytvořen pouze pro 7 faktorů, které dle QFD nejvíce ovlivňují konečné požadavky zákazníka. Návrhy experimentů jsou pro svůj rozsah uvedeny v přílohách.

Fractional Factorial Design poloviční

```
Factors:    7   Base Design:          7; 64   Resolution:  VII

Runs:      64   Replicates:               1   Fraction:    1/2

Blocks:     1   Center pts (total):       0

Design Generators: G = ABCDEF
```

V případě polovičního faktoriálního experimentu počítáme se součty dvojic. Kompletní výpis všech aliasů, tedy shodných kombinací faktorů, jejichž vliv se nebude dát rozlišit je uveden v tabulce 7.4. Shodné aliasy budou vždy na jednom řádku. Takže když je v řádku například: „B AD CDE ABCE“, znamená to, že efekt faktoru „B“ v sobě zahrnuje také efekty interakcí AD, CDE a ABCE. Mezi těmito aliasy musí být použité definující vztahy, ale také všechny ostatní vyplývající z těchto vztahů. Ekvivalence mezi samotnými faktory, jako A = C, jsou nevhodné.

Jedná se zde o návrh VII. Počítáme se šesti stupni volnosti. Počet běhů se krátí na polovinu, tedy na 64.

```
Alias Structure
I + ABCDEFG
```

Tabulka 7.4 Kompletní výpis všech aliasů u polovičního experimentu (Minitab)

A + BCDEFG	EFG + ABCD	AEG + BCDF
B + ACDEFG	CG + ABDEF	AFG + BCDE
C + ABDEFG	DE + ABCFG	BCD + AEFG
D + ABCEFG	DF + ABCEG	BCE + ADFG
E + ABCDFG	DG + ABCEF	BCF + ADEG
F + ABCDEG	EF + ABCDG	BCG + ADEF
G + ABCDEF	EG + ABCDF	BDE + ACFG
AB + CDEFG	FG + ABCDE	BDF + ACEG
AC + BDEFG	ABC + DEFG	BDG + ACEF
AD + BCEFG	ABD + CEFG	BEF + ACDG
AE + BCDFG	ABE + CDFG	BEG + ACDF
AF + BCDEG	ABF + CDEG	BFG + ACDE
AG + BCDEF	ABG + CDEF	CDE + ABFG
BC + ADEFG	ACD + BEFG	CDF + ABEG
BD + ACEFG	ACE + BDFG	CDG + ABEF
BE + ACDFG	ACF + BDEG	CEF + ABDG
BF + ACDEG	ACG + BDEF	CEG + ABDF
BG + ACDEF	ADE + BCFG	CFG + ABDE
CD + ABEFG	ADF + BCEG	DEF + ABCG
CE + ABDFG	ADG + BCEF	DEG + ABCF
CF + ABDEG	AEF + BCDG	DFG + ABCE

Fractional Factorial Design čtvrtinový

```
Factors:    7   Base Design:          7; 32   Resolution:   IV

Runs:      32   Replicates:               1   Fraction:    1/4

Blocks:     1   Center pts (total):       0

Design Generators: F = ABCD; G = ABDE
```

V případě čtvrtinového faktoriálního experimentu počítáme se součty čtveřic. Kompletní výpis všech aliasů, tedy shodných kombinací faktorů, jejichž vliv se nebude dát rozlišit je uveden v tabulce 7.5. Shodné aliasy budou vždy na jednom řádku.

Jedná se zde o návrh IV. Počítáme s pěti stupni volnosti. Počet běhů se krátí na čtvrtinu, tedy na 32.

```
Alias Structure
I + CEFG + ABCDF + ABDEG
```

Tabulka 7.5 Kompletní výpis všech aliasů u čtvrtinového experimentu (Minitab)

A + BCDF + BDEG + ACEFG	BE + ADG + BCFG + ACDEF
B + ACDF + ADEG + BCEFG	BF + ACD + BCEG + ADEFG
C + EFG + ABDF + ABCDEG	BG + ADE + BCEF + ACDFG
D + ABCF + ABEG + CDEFG	CD + ABF + DEFG + ABCEG
E + CFG + ABDG + ABCDEF	CE + FG + ABCDG + ABDEF
F + CEG + ABCD + ABDEFG	CF + EG + ABD + ABCDEFG
G + CEF + ABDE + ABCDFG	CG + EF + ABCDE + ABDFG
AB + CDF + DEG + ABCEFG	DE + ABG + CDFG + ABCEF
AC + BDF + AEFG + BCDEG	DF + ABC + CDEG + ABEFG
AD + BCF + BEG + ACDEFG	DG + ABE + CDEF + ABCFG
AE + BDG + ACFG + BCDEF	ACE + AFG + BCDG + BDEF
AF + BCD + ACEG + BDEFG	ACG + AEF + BCDE + BDFG
AG + BDE + ACEF + BCDFG	BCE + BFG + ACDG + ADEF
BC + ADF + BEFG + ACDEG	BCG + BEF + ACDE + ADFG
BD + ACF + AEG + BCDEFG	CDE + DFG + ABCG + ABEF
	CDG + DEF + ABCE + ABFG

Fractional Factorial Design osminový

```
Factors:    7   Base Design:          7; 16   Resolution:   IV

Runs:      16   Replicates:               1   Fraction:    1/8

Blocks:     1   Center pts (total):       0

Design Generators: E = ABC; F = BCD; G = ACD
```

V případě osminového faktoriálního experimentu počítáme se součty osmi faktorů/interakcí. Kompletní výpis všech aliasů, tedy shodných kombinací faktorů, jejichž vliv se nebude dát rozlišit je uveden v tabulce 7.6. Shodné aliasy budou vždy na jednom řádku.

Jedná se zde o návrh IV. Počítáme s čtyřmi stupni volnosti. Počet běhů se krátí na osminu, tedy na 16.

```
Alias Structure
I + ABCE + ABFG + ACDG + ADEF + BCDF + BDEG + CEFG
```

Tabulka 7.6 Kompletní výpis všech aliasů u osminového experimentu (Minitab)

A + BCE + BFG + CDG + DEF + ABCDF + ABDEG + ACEFG
B + ACE + AFG + CDF + DEG + ABCDG + ABDEF + BCEFG
C + ABE + ADG + BDF + EFG + ABCFG + ACDEF + BCDEG
D + ACG + AEF + BCF + BEG + ABCDE + ABDFG + CDEFG
E + ABC + ADF + BDG + CFG + ABEFG + ACDEG + BCDEF
F + ABG + ADE + BCD + CEG + ABCEF + ACDFG + BDEFG
G + ABF + ACD + BDE + CEF + ABCEG + ADEFG + BCDFG
AB + CE + FG + ACDF + ADEG + BCDG + BDEF + ABCEFG

AC + BE + DG + ABDF + AEFG + BCFG + CDEF + ABCDEG
AD + CG + EF + ABCF + ABEG + BCDE + BDFG + ACDEFG
AE + BC + DF + ABDG + ACFG + BEFG + CDEG + ABCDEF
AF + BG + DE + ABCD + ACEG + BCEF + CDFG + ABDEFG
AG + BF + CD + ABDE + ACEF + BCEG + DEFG + ABCDFG
BD + CF + EG + ABCG + ABEF + ACDE + ADFG + BCDEFG
ABD + ACF + AEG + BCG + BEF + CDE + DFG + ABCDEFG

Fractional Factorial Design šestnáctinový

```
Factors:   7   Base Design:          7; 8   Resolution:   III

Runs:      8   Replicates:              1   Fraction:    1/16

Blocks:    1   Center pts (total):      0

* NOTE * Some main effects are confounded with two-way
interactions.

Design Generators: D = AB; E = AC; F = BC; G = ABC
```

V případě šestnáctinového faktoriálního experimentu počítáme se součty šestnácti faktorů/interakcí. Kompletní výpis všech aliasů, tedy shodných kombinací faktorů, jejichž vliv se nebude dát rozlišit je uveden v tabulce 7.7. Shodné aliasy jsou vždy na jednom řádku.

Jedná se zde o návrh III. Počítáme s třemi stupni volnosti. Počet běhů se krátí na šestnáctinu, tedy na 8. Tento dílčí faktoriální experiment použijeme jen při velmi nízké znalosti celého procesu vstřikování.

```
Alias Structure
I + ABD + ACE + AFG + BCF + BEG + CDG + DEF + ABCG + ABEF +
ACDF + ADEG + BCDE+ BDFG + CEFG + ABCDEFG
```

Tabulka 7.7 Kompletní výpis všech aliasů u šestnáctinového experiemntu (Minitab)

A + BD + CE + FG + BCG + BEF + CDF + DEG + ABCF + ABEG + ACDG + ADEF + ABCDE + ABDFG + ACEFG + BCDEFG
B + AD + CF + EG + ACG + AEF + CDE + DFG + ABCE + ABFG + BCDG + BDEF + ABCDF + ABDEG + BCEFG + ACDEFG
C + AE + BF + DG + ABG + ADF + BDE + EFG + ABCD + ACFG + BCEG + CDEF + ABCEF + ACDEG + BCDFG + ABDEFG
D + AB + CG + EF + ACF + AEG + BCE + BFG + ACDE + ADFG + BCDF + BDEG + ABCDG + ABDEF + CDEFG + ABCEFG
E + AC + BG + DF + ABF + ADG + BCD + CFG + ABDE + AEFG + BCEF + CDEG + ABCEG + ACDEF + BDEFG + ABCDFG
F + AG + BC + DE + ABE + ACD + BDG + CEG + ABDF + ACEF + BEFG + CDFG + ABCFG + ADEFG + BCDEF + ABCDEG
G + AF + BE + CD + ABC + ADE + BDF + CEF + ABDG + ACEG + BCFG + DEFG + ABEFG + ACDFG + BCDEG + ABCDEF

Zhodnocení

Použití zkráceného/dílčího experimentu vždy přináší určité riziko. Předpokládáme u něj, že v procesu neexistují interakce příliš vysokých řádů. Ty se tam však vyskytovat mohou, i když je tato pravděpodobnost velice nízká. Vzhledem k tomuto tvrzení a možnosti velké úspory na ceně i času se k těmto faktoriálním experimentům přistupuje velice často. Výstupy z nich poskytují dostatečné informace pro výhodnější seřízení stroje. Při analýze jde vždy především o určení hlavních efektů samotných faktorů, případně jejich interakcí prvního řádu.

Jsou uvedeny pouze návrhy faktoriálních experimentů. Je jen na zvážení firmy, zda tento faktoriální experiment dokončí či nikoliv. Čím více je experiment krácen, tím menší je rozlišitelnost reziduí.

8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení současného stavu ve společnosti. V dnešní době používají software PALSTAT, který představuje komplexní možnost kontroly, organizování i plánování vyráběných dílů. Dále je propojením mezi všemi odděleními ve firmě, takže umožňuje lepší komunikaci a přehlednost při řešení problémů. Úskalím tohoto programu je ovšem nedostatečná podpora statistického vyhodnocování dat. Je zde možné pouze analyzovat současný stav pomocí regulačních diagramů. Rozsáhlejší možnost kontroly nabízí také 3D měřicí stroj. Měření je ovšem velice náročné na čas.

Kontrola dílů je navíc obtížná vzhledem k rozměrové nestálosti dílů. Ideálním kritériem pro posuzování způsobilosti procesu je měření hmotnosti. Zákazník při zkouškách ovšem požaduje, aby byl díl rozměrově stálý a splňoval zadané tolerance ve funkčních plochách. Z tohoto důvodu je nutné díl a měřící přípravek před samotným měřením temperovat (v našem případě cca 2 hodiny). Měření se provádí na měřících přípravcích pomocí úchylkoměru na kontrolu tolerancí. Ke zjištění vzdálenosti dílu od lavice se používá ocelové pravítko.

V této diplomové práci rozebírám další možné metodiky na zlepšení kvality procesů. Na požadavek společnosti se jedná o metody QFD a plánovaný experiment. Tyto jsou podrobně rozebrány v úvodní části. Popisuji zde, o jaké metody se jedná, jak správně postupovat, aby se dospělo ke zdárnému cíli. Protože bez přesného dodržování postupu není možné dojít ke zdárnému cíli, který je nezbytný pro zlepšení procesu.

Dále uvádím studii QFD na plastovém dílu do Audi R8. Jsou zde uvedeny požadavky zákazníka stanovené z výkresové dokumentace a přenesené do plánu kontroly a řízení, kterým jsou stanoveny nejdůležitější parametry, které musí být splněny. Dále jsou nastíněny možné parametry nastavení stroje, které ovlivňují fázi vstřikování. S pomocí technika kvality jsou určeny jednotlivé váhy parametrů na splnění požadavků zákazníka. Metoda QFD umožňuje díky kvantitativnímu posouzení určit parametry nejvíce ovlivňující požadavky. V tomto případě jsem zjistila 7 nejdůležitějších. Doporučením pro zlepšení výrobního procesu vstřikování doporučuji zaměřit se na tyto parametry. Jednou z možností ověření jejich správného nastavení je právě plánovaný experiment.

Další návazností na metodu QFD může být kombinace s FMEA, kde QFD slouží k vyhledání důležitých parametrů, které se později vyhodnotí pomocí FMEA např. na vyhodnocování rizik s nimi spojenými. Matici QFD lze používat i při analýzách obchodních zámyslů, hlavních cílů a strategií podniku. Pod sloupcem „CO“ se zapisují cíle a pod řádkem „JAK“ měřitelné strategie. Vztah mezi QFD a robustním konstruováním je znalost rozhodujících vlastností výrobku pro první fázi systémové konstrukce. Základem pro uskutečnění principů řízení kvality je, že vedení formuluje a řídí strategii na všech úrovních organizace. Samotná strategie však není dostatečná a proto se musí spojit přímo s programem zlepšování podniku. Toto spojení vyjadřuje Quality Policy Deployment (QPD). Úkolem je přeložení a přenesení cílů podniku, přání zákazníků do všech úrovní řízení od vedení podniku až po operativní rovinu. Spojení s conjoint analyse přináší rozložení výrobku podle vlastností a opětovném složení do souboru přínosů, které podle svých preferencí ohodnotí zákazníci.

Následujícím bodem bylo vypracování studie určení výběru nejlepšího druhu materiálu v daném procesu vstřikování plastového dílu do Audi R8. Získaná data byla vyhodnocena pomocí metody ANOVA, která porovnává variabilitu zadaných dat. Vzhledem k malému množství vzorků (pouze 3 díly od každého materiálu) není možné uvádět průkazné závěry. Nicméně, se dá hovořit o předběžné určení stavu. Výsledné hodnoty ukazují, že žádný ze stanovených druhů materiálu nesplňuje všechny zákazníkem stanovené toleranční meze. Nejlépe splňovaly materiály tolerance v měřícím bodě MP 5_X, kdy kromě materiálů

V1, V2 a V7 ostatní materiály podmínku splnily. Nejhůře naopak vychází měřící bod MP 23_X. Zde nelze považovat za vyhovující ani jeden z materiálů.

V posledním bodu jsou navrženy nejdůležitější parametry z metodiky QFD k dalšímu analyzování pomocí plánovaného experimentu DOE. Vzhledem k finanční náročnosti jsou uvedeny pouze návrhy těchto experimentů. Možnost vyhodnocení těchto návrhů je v rozpracování v budoucích pracích. V mém případě je plánovaný experiment pouze nastíněn a rozebrán postup, jak správně dojít ke zdárnému cíli. Dokončení experimentu je jen na zvážení společnosti.

V návaznosti na tuhle zkoušku doporučuji zaměřit se na celý proces vstřikování. Krok po kroku projít jednotlivé činnosti a zaměřit se na odstranění příliš velké variability výroby z hlediska kontroly měřících bodů. Možnou odpovědí na daný problém může být právě provedení navržených plánovaných experimentů.

Plný plánovaný experiment je v tomto případě příliš náročný. Doporučuji začít s šestnáctinovým faktoriální experiment, který ukáže základní vztahy mezi jednotlivými parametry a nastíní možné řešení. Ukáže také, jaké jsou vztahy mezi nimi a zda některý z hlavních faktorů nemá vliv na celý proces. Následně je jen na uvážení, zda pokračovat v plánovaných experimentech, nebo hledat jinou cestu nastavení parametrů stroje tak, aby stanovené materiály splnily požadavky zákazníka ve všech stanovených měřících bodech.

9 BIBLIOGRAFIE

(1.) Firmenpraesentation Mürdter: CUSTOMER DRIVEN EXCELLENCE. Olšany u Prostějova : autor neznámý, 2014. str. 41.

(2.) HISTORIE FIRMY OD ROKU 1965. *Mürdter Dvořák.* [Online] 2011. http://www.muerdter.cz/historie/1-historie-firmy-od-roku-1965.

(3.) PALSTAT. [Online] 1992-2015. http://www.palstat.cz/kvalita/planovani/.

(4.) George, Michael L. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity.* 1. vyd. Brno : SC, 2010. stránky vi, 280 s. ISBN 978-80-904099-2-7.

(5.) PAPPOVÁ, Barbora. Plánování projektu: 7100_1S. Olšany u Prostějova : MÜRDTER DVOŘÁK, LISOVNA, S.R.O., 2014. str. 8. revize 03.

(6.) Plura, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti.* Vyd. 1. Praha : Computer Press, 2001. str. 244 s. ISBN 80-722-6543-1.

(7.) Jarošová, Eva. *Navrhování experimentů: základ inovací a neustálého zlepšování.* Praha : Česká společnost pro jakost, 1997. str. 105 s. ISBN 80-020-1154-6.

(8.) Václavek, Jaroslav. *Quality function deployment.* 1.vyd. Praha : ČSJ, 1993. str. 59. ISBN 80-02-00970-3.

(9.) Moen, Ronald D. *Improving Qualita Trough Planned Experimentation.* New York : McGraw-Hill, c1988. str. 414 s. ISBN 00-704-2673-2.

(10.) Mathews, Paul G. *Design of experiments with MINITAB.* 1st ed. Milwaukee : ASQ Quality Press, 2004. str. 499 s. ISBN 08-738-9637-8.

(11.) Fiala, Alois. *Statistické řízení jakosti: prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů.* 1. vyd. Brno : VUT v Brně, 1997. str. 92 s. ISBN 80-214-0895-2.

(12.) PDQM: Řízení organizace. [Online] 1997-2015. http://www.pdqm.cz/Standards/APQP.html.

(13.) Töpfer, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb.* 1. vyd. Brno : Computer Press, 2008. stránky x, 508 s. ISBN 978-80-251-1766-8.

(14.) Imai, Masaaki. *Gemba Kaizen: [řízení a zlepšování kvality na pracovišti].* Vyd. 1. Brno : Computer Press, 2005. stránky viii, 314 s. ISBN 80-251-0850-3.

(15.) *Moderní plánování kvality produktu (APQP) a plán kontroly a řízení: referenční příručka /.* 2. vyd. Praha : Česká společnost pro jakost, 2008. str. 107 s. ISBN 978-80-02-02142-1.

(16.) Fiala, Alois. Integrovaný systém managementu: Rozvoj funkcí kvality - QFD. Brno : autor neznámý, 2013.

(17.) POPELÁŘ, Jiří. Verzungsoptimierung. Olšany u Prostějova : MÜRDTER DVOŘÁK, LISOVNA, S.R.O., 2015. str. 12. revize 00.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Logo společnosti (1) 13
Obr. 2.1 Rozložení týmu a povinností v jednotlivých krocích (10) 20
Obr. 3.1 Operativní charakteristiky pro t-test a hladinu významnosti α=0,05 (7) 28
Obr. 3.2 Latinský čtverec (7) 31
Obr. 3.3 Znáhodněný latinský čtverec (7) 32
Obr. 4.1 Zobrazení faktoriálního designu (10) 34
Obr. 5.1 Použití APQP v průběhu života výrobku (6) 40
Obr. 5.2 Dům kvality (13) 42
Obr. 5.3 Vztah mezi „CO“ a „JAK“ (16) 43
Obr. 5.4 Detailní rozpis domu kvality (6) 44
Obr. 5.5 Rozpis jednotlivých kroků postupu (13) 46
Obr. 5.6 Čtyři fáze průběhu plánování kvality (6) 47
Obr. 5.7 Porovnání tradičního postupu výroby s postupem QFD (8) 48
Obr. 5.8 Vztah mezi QFD a QPD (8) 49
Obr. 7.1 Zkoumaný díl (17) 52
Obr. 7.2 Požadavky (EdrawMax) 53
Obr. 7.3 Matice „CO“ a „JAK“ (EdrawMax) 53
Obr. 7.4 Opravená matice „CO“ a „JAK“ (EdrawMax) 54
Obr. 7.5 Korelační matice parametrů (EdrawMax) 54
Obr. 7.6 Směrné hodnoty parametrů (EdrawMax) 55
Obr. 7.7 Váhy jednotlivých parametrů (EdrawMax) 55
Obr. 7.8 Postup analýzy ANOVA One Way (Minitab) 56
Obr. 7.9 Postup analýzy ANOVA One Way (Unstacked) (Minitab) 56
Obr. 7.10 Srovnání a grafy v analýze ANOVA (Minitab) 57
Obr. 7.11 Problémové zóny dílu (17) 58
Obr. 7.12 Rozložení faktorů včetně interakcí (10) 71
Obr. 7.13 Postup tvorby faktoriálního experimentu 1 (Minitab) 72
Obr. 7.14 Postup tvorby faktoriálního experimentu 2 (Minitab) 72
Obr. 7.15 Přípustné modely experimentu (Minitab) 72
Obr. 7.16 Postup analýzy faktoriálního experimentu (Minitab) 73
Obr. 7.17 Postup definování faktoriálního experimentu (Minitab) 73
Obr. 7.18 Výběr faktorů do experimentu (Minitab) 73
Obr. 7.19 Postup výběru grafů k faktoriálnímu experimentu (Minitab) 74
Obr. 7.20 Výběr možných grafů (Minitab) 74
Obr. 7.21 Možnosti určení důležitosti faktorů u analýzy faktoriálního experimentu (Minitab) 75
Obr. 7.22 Určování síly interakcí (10) 76
Obr. 7.23 Směšování efektů (7) 77
Obr. 7.24 Volba návrhu dílčího experiementu (7) 77

11 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 4.1 Hlavní efekty (Minitab) 38
Graf 4.2 Krychlový (Minitab) 38
Graf 4.3 Paretova analýza (Minitab) 39
Graf 7.1 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 5_X 59
Graf 7.2 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 5_X 59
Graf 7.3 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V0.1 v měřícím bodě MP 5_X 59
Graf 7.4 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 5_X 61
Graf 7.5 Krabicový graf v měřícím bodě MP 5_X 61
Graf 7.6 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 6_Y 62
Graf 7.7 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 6_Y 62
Graf 7.8 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V 0.1 v měřícím bodě MP 6_Y 62
Graf 7.9 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 6_Y 64
Graf 7.10 Krabicový graf v měřícím bodě MP 6_Y 64
Graf 7.11 Test shodnosti variability v měřícím bodě MP 23_X 65
Graf 7.12 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál serien v měřícím bodě MP 23_X 65
Graf 7.13 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení pro materiál V 0.1 v měřícím bodě MP 23_X 65
Graf 7.14 Histogram reziduí v měřícím bodě MP 23_X 67
Graf 7.15 Krabicový graf v měřícím bodě MP 23_X 67
Graf 7.16 Test shodnosti variability v měřícím bodě Abstand 68
Graf 7.17 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení materiálu V1 v měřícím bodě Abstand 68
Graf 7.18 Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení materiálu V5.1 v měřícím bodě Abstand 68
Graf 7.19 Histogram reziduí v měřícím bodě Abstand 69
Graf 7.20 Krabicový graf v měřícím bodě Abstand 70
Graf 7.21 Dostupné grafy (Minitab) 74

12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 4.1 Hlavní efekty a interakce (7) 35
Tabulka 4.2 Hlavička tabulky (7) 35
Tabulka 4.3 Zápis známých hodnot do tabulky (7) 36
Tabulka 4.4 Doplnění o počet úrovní v záhlaví příslušného sloupce (7) 36
Tabulka 4.5 Návrh s dělenými oblastmi (7) 37
Tabulka 7.1 Experimentální uspořádání běhů (10) 71
Tabulka 7.2 Zredukované faktory plánovaného experimentu 77
Tabulka 7.3 Doporučené dílčí faktoriální designy (10) 78
Tabulka 7.4 Kompletní výpis všech aliasů u polovičního experimentu (Minitab) 80
Tabulka 7.5 Kompletní výpis všech aliasů u čtvrtinového experimentu (Minitab) 81
Tabulka 7.6 Kompletní výpis všech aliasů u osminového experimentu (Minitab) 81
Tabulka 7.7 Kompletní výpis všech aliasů u šestnáctinového experiemntu (Minitab) 82

13 SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ A ROVNIC

Vzorec 3.1 Lineární kontrasty středních hodnot (7) 29
Vzorec 3.2 Konfidenční interval Fisher (7) 29
Vzorec 3.3 Konfidenční interval Turkey (7) 29
Vzorec 3.4 Konfidenční interval Student-Newman-Keuls (7) 30
Vzorec 3.5 Lineární kontrast Scheffé (7) 30
Vzorec 3.6 Simultánní interval Scheffé (7) 30
Vzorec 5.1 Míra plánovaného zlepšení (6) 45
Vzorec 5.2 Absolutní váhy jednotlivých požadavků (6) 45
Vzorec 5.3 Význam jednotlivých požadavků (6) 45
Vzorec 5.4 Důležitost jednotlivých znaků kvality (6) 45
Vzorec 5.5 Výsledné důležitosti znaků kvality (6) 46
Vzorec 5.6 Procentické vyjádření výsledné důležitosti znaků kvality (6) 46

Rovnice 3.1 Lineární model t-testu (7) 27
Rovnice 3.2 Model ANOVA pro úplné znáhodnění pro více faktorů (7) 28
Rovnice 3.3 Model analýzy rozptylu pro znáhodněné bloky (7) 30
Rovnice 3.4 Vyvážení bloků pro neúplné znáhodněné bloky (7) 31
Rovnice 4.1 Model pro dva faktory experimentu (7) 33
Rovnice 4.2 Model se dvěma faktory při znáhodnění bloků (7) 36
Rovnice 5.1 Uspokojení zákazníka (6) 43
Rovnice 7.1 Model dvou faktorového experimentu s interakcí (10) 71
Rovnice 7.2 Interakce (10) 71

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
SW		Software
DOE		Plánovaný experiment
QFD		Quality function deployment, dům kvality
c_p		Způsobilost procesu
c_{pk}		Kritická způsobilost procesu
N		Hodnoty z normálního rozdělení
μ		Střední hodnota
σ		Směrodatná odchylka základního souboru
H_0		Nulová hypotéza
H_1		Alternativní hypotéza
β		Chyba II. Druhu
y_{ij}		J-té pozorování při i-té úrovni faktoru
μ_i		Průměrný teoretický výsledek při úrovni i
ε_{ij}		Náhodná složka zahrnující všechny ostatní vlivy a zdroje rozptylu
α		Hladina významnosti
Ψ		Lineární kontrast středních hodnot
r_i		Pokus/pozorování i
$t_{1-\alpha}$		Kvantil t-rozdělení
$q_{1-\alpha}$		Kvantil studentova rozdělení
o		Průměr
$F_{1-\alpha}$		Kvantil F rozdělení
v		Stupeň volnosti
s		Reziduální rozptyl
ρ_i		Efekt j-tého bloku
a		Počet úrovní zkoumaného faktoru
b		Počet bloků
$k < a$		Počet úrovní zkoumaného faktoru v každém bloku
r		Počet replikací
λ		Počet bloků, v nichž se vyskytne stejná dvojice úrovní
y_{ijk}		K-tá hodnota odezvy při i-té úrovni faktoru A a j-té úrovni faktoru B
α_i		Efekt i-té úrovně faktoru A
β_j		Efekt j-té úrovně faktoru B
$(\alpha\beta)_{ij}$		Efekt interakce pro i-tou úroveň faktoru A a j-tou úroveň faktoru B
P-hodnota		Hladina významnosti

Zkratka	Jednotka	Popis
F		Pevný efekt
R		Náhodný efekt
ρ_k		Efekt k-tého bloku
APQP		Zdokonalené plánování jakosti výrobku a kontrolní plán
FMEA		Analýza příčin a jejich důsledků
L_i		Míra plánovaného zlepšení
P_i		Hodnocení, které chce v plnění daného požadavku organizace dosáhnout
N_i		Stávající hodnocení plnění daného požadavku
A_i		Stupeň důležitosti požadavku
B_i		Koeficient plánovaného zlepšení plnění požadavku
C_i		Koeficient vlivu na prodejnost
D_i		Absolutní váhy jednotlivých požadavků
E_i		Význam jednotlivých požadavků
n		Celkový počet požadavků
S_{ij}		Relativní váhy požadavku
k_{ij}		Koeficient vyjadřující míru závislosti mezi požadavkem i a znakem kvality j
Z_j		Důležitost jednotlivých znaků kvality
V_j		Relativní váha znaku kvality j v procentech
m		Počet znaků kvality
QPD		Quality function deployment
PPAP		Proces schvalování dílů do sériové výroby
x_1 a x_2		Proměnné
2^k		Faktoriální experiment
b		Regresní koeficient

15 SEZNAM PŘÍLOH

1. Popis kontrolního měřicího přípravku
2. Plán kontroly a řízení
3. Měřicí body
4. Plný faktoriální experiment – návrh
5. Poloviční faktoriální experiment – návrh
6. Čtvrtinový faktoriální experiment – návrh
7. Osminový faktoriální experiment – návrh
8. Šestnáctinový faktoriální experiment – návrh
9. Dům kvality