

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Porovnání vybraných statistických metod pro hodnocení jakosti

Autor: **Jan NOVOHRADSKÝ**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jana KLEINOVÁ, CSc.**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan NOVOHRADSKÝ**
Osobní číslo: **S11B0041P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**
Název tématu: **Porovnání vybraných statistických metod pro hodnocení
jakosti**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Charakteristika metod
2. Výběr statistických metod
3. Porovnání na zvoleném příkladu
4. Zhodnocení

Rozsah grafických prací: 2 - 5 výkresů

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Montanex, a. s. 2000. ISBN 80-7225-440-X
2. ROY, R. A *Primer on the Taguchi Method*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, Dearborn. 1990. ISBN 0-87263-468-X

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Jana Kleinová, CSc.

Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce:

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.


Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: 19. září 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2012


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. listopadu 2011

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Novohradský	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016/12		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kleinová,CSc.	Jméno Jana	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Porovnání vybraných statistických metod pro hodnocení jakosti		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	40	TEXTOVÁ ČÁST	23	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá charakteristikou vybraných metod pro hodnocení jakosti, popisem jejích jednotlivých částí a postupů. V práci je uveden také konkrétní experiment prováděný v praxi, z něho vyplývající výsledky a závěry srovnávané vybranými metodami.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>TQM, Taguchi, Full-factorial, Experimenty, Zvyšování jakosti, Statistické metody zlepšování jakosti, DOE</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Novohradský	Name Jan	
FIELD OF STUDY	2301R016/12		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kleinová,CSc.	Name Jana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Comparison of selected statistical methods for quality improvement		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2012
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	40	TEXT PART	23	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis is a characteristic of selected statistical methods for quality assesment. It describes the mechanism of the approach, used methods and processes. It also contains a concrete design of experiments applicated in practice, its outcome and results compared.</p>
KEY WORDS	<p>TQM, Taguchi, Full-factorial, Experiments, Quality improvement, Statistical methods of quality improvement, DOE</p>

Poděkování

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce paní doc. Ing. Janě KLEINOVÉ, CSc. a konzultantovi mé BP panu doc. Ing Milanu EDLOVI, Ph.D. za pomoc v průběhu zpracování mé práce v podobě konzultací, studijních materiálů a hodnotných rad při mé práci.

Obsah

ZKRATKY	9
ÚVOD	10
1 JAKOST A KONVENČNÍ METODY JEJÍHO ZLEPŠOVÁNÍ	11
2 VÝBĚR METOD A JEJICH POPIS	14
2.1 PLNĚ FAKTOROVÉ METODY [5]	14
2.1.1 <i>Plně faktorový experiment o dvou úrovních</i>	14
2.1.2 <i>Výpočet efektu faktorů</i>	17
2.2 TAGUCHIHO METODY	20
2.2.1 <i>Charakteristika Taguchiho metod</i>	20
2.2.2 <i>Popis Taguchiho metod</i>	22
3 PRAKTICKÁ APLIKACE METOD	28
3.1 CHARAKTERISTIKA METODY PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ [4]	28
3.2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	30
3.2.1 <i>Analýza situace: Nástřik práškovou barvou (RAL 9010) – lesklá hladká</i>	30
3.2.2 <i>Výběr OA</i>	31
3.2.3 <i>Provádění experimentů</i>	32
3.2.4 <i>Analýza výsledků</i>	35
4 VÝHODY A NEVÝHODY FAKTOROVÉHO PŘÍSTUPU	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
SEZNAM OBRÁZKŮ	40
SEZNAM TABULEK	41
EVIDENČNÍ LIST	42

Zkratky

Zkratka	Celý název	Vysvětlivka
DOE	Design of Experiments	návrh experimentů
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	analýza zjišťující pravděpodobnost výskytu vad a jejich vlivů
TQM	Total Quality Management	metoda zabývající se zlepšováním jakosti
OA	Orthogonal Array	ortogonální pole definováno pro provádění experimentů
ANOVA	ANalysis of VAriation	matematický aparát používaný pro analýzu odchylek
FF	Full Factorial	plně faktorový postup experimentů

ÚVOD

Od doby, kdy člověk poprvé zhotovil svůj první „produkt“, musel se začít zabývat také mnoha faktory ovlivňujícími jeho výtvar. Byly to faktory, které se postupně vyvíjely do formy, kterou známe dnes a charakterizují vlastnosti produktu jak z hlediska jeho využití, tak nákladů na výrobu, účelu, prodeje atp. Časem začalo být stále více zřejmé, že tyto faktory ovlivňují produkty ve větší míře, než si člověk dovedl představit, proto si uvědomil, že je nezbytné tyto faktory pečlivě sledovat, studovat a tím zlepšovat „kvalitu“ svého produktu. Dnes jsou tyto faktory pečlivě sledovány, zkoumány a analyzovány nejrůznějšími statistickými, experimentálními nebo dokonce intuitivními metodami za účelem vyrábění co nejkvalitnějšího výrobku za samozřejmě co nejnižší cenu a tím zajištění pevného postavení na trhu, na kterém je stále obtížnější proniknout. Taguchiho metoda návrhu experimentů patří mezi statistické metody a v dnešní době je stále ve větší míře využívána v globálním měřítku. Stojí například za úspěchem řady japonských automobilek, které známe všichni a kterým se povedlo takřka dobyt svět. Tato metoda se ukázala tak efektivní, že je dnes hodně diskutována a zaváděna například nejen v Americe, ale dokonce i v některých Německých automobilkách a jiných odvětvích, nejen v odvětví automobilového průmyslu.

1 Jakost a konvenční metody jejího zlepšování

Jakost dnes známější jako „kvalita“ je charakteristickou vlastností téměř všeho, co nás obklopuje a je nutné se zabývat jejím zlepšováním ať už jde o zvyšování efektivity např. produkce, výkonnosti atp. Současné trendy směřují ke stále větší pozornosti vůči kvalitě a jejímu vyhodnocování a zlepšování nejen z důvodu samotného zlepšování kvality, ale také samozřejmě z důvodu neustálého konkurenčního boje, nutnosti prorazit na trhu a udržet si zákazníky.

Jednou z metod zabývajících se jakostí je metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). V překladu jde o analýzu možného výskytu a vlivu vad. Tato metoda se snaží odhalit chyby a jejich vliv na výrobu v co nejranějším stádiu a odstranit je. Tuto metodu je možné nasadit v jakémkoli kroku výroby od počáteční fáze vyvíjení produktu přes rozdílné změny ve výrobě až po chyby nahlášené zákazníkem – uživatelem. V případě nalezení chyby v systému v této poslední fázi ovšem značně rostou náklady související s napravením. Například pokud automobilka vyvine automobil a vada se zjistí až v průběhu produkce, jsou náklady mnohonásobně vyšší, než když je chyba odhalena ve fázi vývoje produktu (levnější je překreslit výkres než stahovat 1000000 automobilů do servisů a opravovat vadu). Výhody metody FMEA, kromě zlepšování jednotlivých procesů a kvality celkové, je hlavně názornost, jak důležité je hledat a odstraňovat problémy v jejich počáteční fázi, což je samozřejmě nutné si uvědomit při aplikování i jakékoliv jiné metody. Nevýhody této metody jsou hlavně: relativně vysoké požadavky na komisi provádějící analýzu (zkušenosti, znalost v oboru), nutnost co nejpřesněji definovat problém (pokud problém nedovedu identifikovat, nemohu jej odstranit), nutnost sběru relevantních dat (rozsáhlost potřebných dat). Stroze by se metoda FMEA dala shrnout následujícím postupem. Nejprve je potřeba najít poruchy, určit důsledky těchto poruch a ohodnotit je podle závažnosti. Dále je potřeba určit příčiny těchto poruch a také je ohodnotit číselně, tentokrát podle četnosti výskytu. Nakonec se zajistí kontrolní mechanismy, které by měly zabránit těmto poruchám. Tyto kontrolní mechanismy číselně ohodnotíme podle pravděpodobnosti úspěšného vyřešení problému. Tyto tři výsledné koeficienty pronásobíme a tím získáme takzvaný koeficient rizika, který nám určí ty poruchy, na které je potřeba se soustředit. V další fázi jsou provedeny kroky k předcházení poruch a celý proces se opakuje, tenkrát ve snaze analyzovat úspěšnost řešení a nalézt další poruchy.

Další metodou je takzvaná Six Sigma (reg. ochr. známka spol. Motorola). Je to metoda vyvinutá společností Motorola roku 1981 snažící se o neustále zlepšování procesů. Používá některé postupy metody TQM, avšak vylepšené. Snaží se hledat problémy v jejich nejranějším stádiu a odstraňovat je, avšak přidává, že je nutné nejen vyrábět kvalitně, ale minimalizovat odchylky od ideálních hodnot, ať už jde o tolerance při výrobě nebo splnění požadavku zákazníka. Ideální hodnota odpovídá středu tzv. Gaussovy křivky. Výroba je posuzována podle vadných produktů na milion (DPMO – Defect Per Million Opportunities). Produkce je hodnocena od One Sigma až do Six Sigma. One Sigma odpovídá efektivitě 31%

(690 000 vadných kusů z milionu). Two Sigma již udává efektivitu 69% (308 000 DPMO). A tak dále až po Six Sigma, které odpovídá efektivitě 99,99% (přibližně 3,5 DPMO). Odtud tedy celý název metody. Jde tedy o metodu zaváděnou v několika přesně daných krocích a ze získaných dat se snažíme definovat problémy a předcházet jim. Metodu je možné aplikovat na jakoukoli výrobu za účelem například snižování nákladů, zvýšení zisků atp. Jako ostatní metody i tato metoda předpokládá, že úspěch lze zaručit pouze zainteresováním celého podniku do zlepšování jakosti. Data jsou také převáděna na čísla, neboť pouze s čísly lze pracovat (statistická metoda). Tato metoda klade největší důraz na kvalitní vedení (management) a propracovanost organizace zajišťující zavádění metody Six Sigma. Mezi podpůrné metody patří:

DMAIC

Definice problému – cíle

Měření klíčových faktorů ovlivňujících výsledek a sběr dat

Analýza dat

Improve(vylepšení) daných procesů podle nasbíraných dat

Control(kontrola) výsledků

DMADV

Definice požadavků zákazníka na produkt

Měření kritických faktorů ovlivňujících produkci, výkonnosti systému, možných rizik

Analýza nasbíraných dat, vytvoření několika možných scénářů postupu a vybrání nejlepšího

Designově doladit systém, zoptimalizovat

Verification (ověření) funkčnosti systému

Metoda Six Sigma se snaží minimalizovat odchylky od ideálu.

Mezi další základní pojmy spojené s kontrolou jakosti patří tzv. TQM (Total Quality Management), čili totální řízení jakosti. Je to pojem naznačující snahu o zakomponování kvality do všech oborů průmyslové výroby počínaje marketingem přes technologii, výrobu až po prodej, servis atp. Jde o celkové řízení jakosti za účelem dosažení jejího nejvyššího možného zlepšení ve všech odvětvích, kde se kvalita a její řízení projevuje. Jde o to se co nejvíce přiblížit požadavkům zákazníka na výše zmíněné parametry a pokud možno uspokojit přání zákazníka nejen v těchto ohledech, ale také v ohledech na požadovanou funkci výrobku, výdrž, náklady na údržbu atp. Systém TQM se snaží dosahovat co nejlepších výsledků pomocí zkoumání příčin nekvality a jejich odstraňování. Systém TQM požaduje naprostou spokojenost zákazníka, naprostou zakomponovanost pracovníka do procesu, sladění celého systému, komunikaci mezi pracovišti a kontinuální přístup ke kvalitě. Taguchi tento postoj zdokonalil v několika ohledech, které jsou probírány v následujících kapitolách. Většinou se

hovoří o Taguchiho přístupu jako o „robustnějším“ přístupu ke kvalitě, k návrhům experimentů a k jejich vyhodnocování.

Existuje mnoho dalších metod zabývajících se zlepšováním jakosti, ať už více či méně účinných nebo známých. Mezi jedny z velice efektivních metod se řadí metody statistické. Takovéto metody jsou známé od počátku 20. století, kdy Walter A. Stewhart začal studovat kvalitu ze statistického hlediska a v jeho práci po konci druhé světové války pokračoval W. E. Deming v Americe, kde úspěšně aplikoval statistické metody zlepšování jakosti. Statistické metody pracují většinou na základě více či méně složitě matematického modelování různých situací, řešení vlivů různých faktorů, využívají různých matematických aparátů pro analyzování výsledků a následně se pokoušejí tyto výsledky aplikovat v praxi.

Mezi tyto metody můžeme zařadit například částečně a plně faktorovou metodu (Full-factorial), které spočívají v tom, že je prováděna řada pokusů, kterými je zjišťována důležitost jednotlivých faktorů a případně jejich hodnot na kvalitu výroby, teda i výrobku vlastního. Vlastní rozdíl mezi plně a částečně faktorovým přístupem spočívá v počtu provedených pokusů a jejich vyhodnocení. U plně faktorového přístupu jsou prováděny pokusy za účelem zhodnotit všechny existující kombinace jednotlivých faktorů a jejich nastavení. U částečně faktorového experimentu je pracováno pouze s přesně definovanou podmnožinou všech pokusů.

V době největšího rozmachu statistického zlepšování jakosti, kolem roku 1950 se začaly projevat výhody japonského přístupu k jakosti, především díky práci několika vědců včetně Dr. Genichi Taguchiho. V prvních dekádách 20. století byly japonské produkty většinou známy svojí nízkou cenou, ale tomu i odpovídající kvalitou. Aplikováním metod zlepšování jakosti se ale podařilo vymanit se z těchto tendencí a když západ zaznamenal, jakých úspěchů bylo Japonsko schopné dosáhnout, začal podrobněji studovat a aplikovat statistické metody zlepšování jakosti, vyvinuté především japonskými mysliteli.

2 Výběr metod a jejich popis

Pro provádění experimentu byly vybrány dvě metody, podle kterých budou experimenty prováděny. Tím budou metody samotné porovnávány na jednom konkrétním případě a vyhodnocovány jejich klady a zápory, nedostatky a bude určována vhodnost jejich použití. Vzhledem k řešené problematice v navazující experimentální části byly vybrány metody plně faktorové a částečně faktorové.

2.1 Plně faktorové metody

Tato kapitola byla zpracována na základě [5]. Plně faktorové metody jsou charakteristické hlavním určujícím rysem, který byl zmíněn již dříve, a to, že podstata plně faktorového přístupu spočívá ve vyhodnocování všech existujících kombinací působících faktorů a jejich nastavení. Vliv nastavení těchto faktorů a jejich hodnot je pak nadále zpracováván matematickým aparátem, za účelem získání dat potřebných k určení důležitosti jednotlivých faktorů a jejich hodnot na výslednou kvalitu produktu.

2.1.1 Plně faktorový experiment o dvou úrovních

Jak již bylo uvedeno, plně faktorové metody nám pomáhají zjistit dvě podstatné věci:

- vliv jednotlivých faktorů na výsledek
- nastavení hodnot daných faktorů na výslednou kvalitu produktu.

Tyto dvě hlavní informace jsou získávány pomocí kombinací nastavení jednotlivých faktorů. Je tedy zřejmé, že s přibývajícemi faktory a jejich úrovněmi razantně roste počet nutných pokusů. Stanovený matematický vzorec určující počet nutných pokusů je velice jednoduchý:

$$n = j^k, \quad (1)$$

kde k je počet působících faktorů a j je počet jejich úrovní.

Je tedy zřejmé, že při dvou faktorech o dvou úrovních je počet potřebných pokusů 4, při třech faktorech je to ale již 8. Proto je důležité zvážit, které faktory mohou mít na výsledek vliv.

Pro ilustraci uveďme jednoduchý příklad:

Je zjišťováno, kolik stlačení (Y) vydrží pružina až do zničení v závislosti na těchto faktorech:

L = délka pružiny

G = tloušťka drátu

T = typ materiálu.

Je zjišťován klíčový faktor (faktory) pro životnost pružiny.

Nejprve je sestavena tabulka znázorňující jednotlivé faktory a jejich nastavení:

Faktor	Označení	Spodní úroveň	Horní úroveň
		-	+
Délka pružiny	L	10 cm	15 cm
Tloušťka drátu	G	5 mm	7 mm
Materiál	T	A	B

Tab. 2-1 Tabulka znázorňující jednotlivé faktory a jejich nastavení [5]

Existuje více způsobů na sestavení plánu provádění experimentu. Mezi nejpoužívanější patří úplný faktorový plán, který je znázorněn v tabulce **Tab. 2-2**.

Pokus	L	G	T	Y
1	10	5	A	
2	15	5	A	
3	10	7	A	
4	15	7	A	
5	10	5	B	
6	15	5	B	
7	10	7	B	
8	15	7	B	

Tab. 2-2 Znázornění plně faktorového experimentu [5]

Plán experimentu bývá jednodušeji označován pouze pomocí symboliky:

Je-li každý z faktorů uvažován na dvou úrovních, pak spodní bude značena – a horní +. Pak bude tabulka vypadat následovně:

Pokus	L	G	T	Y
1	-	-	-	
2	+	-	-	
3	-	+	-	
4	+	+	-	
5	-	-	+	
6	+	-	+	
7	-	+	+	
8	+	+	+	

Tab. 2-3 Znárodnění nastavení jednotlivých faktorů při provádění experimentu [5]

Alternativní možností je sestavení plánu pomocí jednofaktorového plánu, při kterém se u jednoho faktoru mění úrovně ze spodní na horní a u ostatních se drží na střední, která je průměrem spodní a horní úrovně a značí se symbolem „0“. V našem případě by jednofaktorový plán vypadal následovně:

Pokus	L	G	T
1	+	0	0
2	-	0	0
3	0	+	0
4	0	-	0
5	0	0	+
6	0	0	-

Tab. 2-4 Znárodnění postupu pomocí jednofaktorového plánu [5]

Počet pokusů je u tohoto typu plánu $n = 2 \cdot k$, v tomto případě tedy $n = 2 \cdot 3 = 6$ pokusů. Výsledky celého experimentu jsou znázorněny v tabulce.

Pokus	L	G	T	Y
1	-	-	-	79
2	+	-	-	97
3	-	+	-	75
4	+	+	-	92
5	-	-	+	64
6	+	-	+	84
7	-	+	+	73
8	+	+	+	90

Tab. 2-5 Výsledky provedeného experimentu [5]

Tabulkou **Tab. 2-5** skončila experimentální fáze. Dále bude navazovat matematický aparát sloužící ke stanovení námi požadovaných dat, jako jsou vlivy jednotlivých faktorů a jejich úrovní, případně také interakce jednotlivých faktorů.

2.1.2 Výpočet efektu faktorů

Pro výpočet efektu jednotlivých faktorů existuje několik různých metod. V podstatě jde o aritmetické, geometrické a vážené průměry a jejich varianty.

Znaménková metoda

První variantou je sečtení hodnot ve sloupci Y, přičemž každá hodnota má znaménko odpovídající znaménku příslušného faktoru v odpovídajícím řádku. Součet se vydělí polovinou počtů pokusů, čili $n/2$. Například pro faktor L bude:

$$L = 1/4(-79+97-75+92-64+84-73+90) = 18. \quad (2)$$

Následující tabulka znázorňuje interakci faktorů.

Pokus	L	G	T	LG	LT	GT	LGT	Y
1	-	-	-	+	+	+	-	79
2	+	-	-	-	-	+	+	97
3	-	+	-	-	+	-	+	75
4	+	+	-	+	-	-	-	92
5	-	-	+	+	-	-	+	64
6	+	-	+	-	+	-	-	84
7	-	+	+	-	-	+	-	73
8	+	+	+	+	+	+	+	90

Tab. 2-6 Znázornění interakcí jednotlivých faktorů [5]

Podle výše uvedeného výpočtu můžeme ukázat interakci jednotlivých faktorů s tím, že znaménko mínus před výsledkem napovídá, že jde o nepřímou úměru mezi faktory a efektem, zatímco znaménko plus říká, že jde o přímou. Je-li efekt pro L například +1, znamená to, že se zvětšujícím se L se zvětšuje Y. Například pro interakci LG bude hodnota:

$$LG = \frac{1}{4}(79-97-75+92+64-84-73+90) = -1 \quad (3)$$

Hodnota -1 nám tedy říká, že s rostoucím LG se nám zmenšuje Y. Vliv jednotlivých faktorů a jejich interakcí je doplněn do tabulky:

Pokus	L	G	T	LG	LT	GT	LGT	Y	Efekt	Faktor
1	-	-	-	+	+	+	-	79	81,75	Průměr
2	+	-	-	-	-	+	+	97	18,00	L
3	-	+	-	-	+	-	+	75	1,50	G
4	+	+	-	+	-	-	-	92	-1,00	LG
5	-	-	+	+	-	-	+	64	-8,00	T
6	+	-	+	-	+	-	-	84	0,50	LT
7	-	+	+	-	-	+	-	73	6,00	GT
8	+	+	+	+	+	+	+	90	-0,50	LGT

Tab. 2-7 Znázornění vlivu jednotlivých faktorů a jejich interakcí [5]

Yatesův algoritmus

Dalším způsobem určení efektu faktoru je tzv. Yatesův algoritmus. U toho se postupuje následovně:

Ve sloupci (1) je součet 1. a 2. řádku, potom součet 3. a 4. řádku, 5. a 6. řádku, 7. a 8. řádku, rozdíl 2. a 1. řádku, 4. a 3. řádku, 6. a 5. řádku a nakonec rozdíl 8. a 7. řádku. Stejným postupem stanovíme hodnoty ve sloupci (2) a (3) přičemž bereme hodnoty ze sloupce předešlého. Ve sloupci dělitel je na prvním řádku počet pokusů, v dalších řádcích je počet pokusů /2. Vydělením hodnot z posledního řádku dělitelem získáváme hodnoty vlivu jednotlivých faktorů. V následující tabulce je znázorněn celý postup a výsledné hodnoty.

Y	(1)	(2)	(3)	Dělitel	Efekt	Faktor
79	176	343	654	8	81,75	Průměr
97	167	311	72	4	18	L
75	148	35	6	4	1,5	G
92	163	37	-4	4	-1	LG
64	18	-9	-32	4	-8	T
84	17	15	2	4	0,5	LT
73	20	-1	24	4	6	LG
90	17	-3	-2	4	-0,5	LGT

Tab. 2-8 Určení interakcí jednotlivých faktorů pomocí Yatesova algoritmu [5]

Rozptyl odhadu efektu faktoru

Jelikož jsou efekty faktorů odhadovány, je důležité stanovit velikost rozptylu těchto odhadů. Rozptyl odhadu je pro všechny faktory roven:

$$s^2 = 4 \cdot \delta^2 / n \quad (4)$$

kde δ je rozptyl Y a n je celkový počet pokusů. Při opakovaných pokusech se δ^2 odhadne pomocí veličiny s^2 , která se stanoví:

$$s^2 = (v_1 \cdot s_1^2 + \dots + v_k \cdot s_k^2) / v_1 + \dots + v_k \quad (5)$$

kde $v_i = n_i - 1$, n_i je počet opakování i-tého pokusu, s_i^2 je rozptyl v i-tém pokusu. V případě, že se jednotlivé pokusy neopakují, je stanovení δ^2 komplikovanější.

Částečně faktorový experiment o dvou úrovních

Při plně faktorovém postupu jsou procházeny všechny kombinace jednotlivých faktorů. Při částečném postupu je redukován celkový počet potřebných pokusů tak, že zbylé faktory jsou vyjádřeny jako kombinace předchozích. Označíme-li úplný experiment 2^k , kde 2 = počet úrovní faktoru a k = počet faktorů, pak 2^{k-p} je částečně faktorový experiment, kde p = stupeň snížení.

Například pro plán 2^7 , který by zahrnoval 128 pokusů, zredukujeme počet pokusů na polovinu, tedy $2^7/2=2^{7-1}=64$. Jde tedy o první stupeň snížení, čili nejmenší. Plány s polovičním snížením pokusů se nazývají poloviční plány.

Stupeň snížení může nabývat vyšších hodnot než 1. Například $2^{7-4}=8$ bude pouze 8 pokusů. Při 7 faktorech je to nejvyšší možné snížení, protože počet pokusů nesmí být nižší než počet faktorů.

Kromě plánů s největším a nejmenším snížením existují tzv. plány středové. Ty by pro náš případ představovalo například $2^{7-2}=32$ a $2^{7-3}=16$ pokusů.

2.2 Taguchiho metody

Tato kapitola se bude zabývat podstatou Taguchiho rozdílného přístupu ke kvalitě a k řízení kvality z hlediska „vnášení kvality do designu výrobku“.

Dr. Genichi Taguchi, narozen 1.1.1924, byl významný inženýr a statistik, který ve druhé polovině 20. století přinesl nový pohled na statistické metody výzkumu jakosti, na které bylo a stále bývá pohlíženo poněkud skepticky, ale které jsou mnohými uznávány jako velice efektivní.

2.2.1 Charakteristika Taguchiho metod

Při zlepšování jakosti je jedním z klíčových slov „experiment“. Aby bylo možno aplikovat matematické aparáty a posuzovat vliv jednotlivých faktorů na kvalitu výroby, je nutné provádět experimenty, které toto umožní. Designem experimentů se zabýval už R. Fisher, který zaváděl plně faktorový rozsah experimentů (full-factorial), které měly určit optimální nastavení a důležitost jednotlivých faktorů na kvalitu. Dr. Taguchi tyto myšlenky vylepšil v tom ohledu, že nebylo již nutno provádět tolik experimentů, ale přesto bylo možno definovat důsledky jednotlivých faktorů na konečný produkt.

Taguchiho metody patří mezi statistické metody zlepšování jakosti, které se s ohledem na ostatní známé metody liší především tím, že nehledí na posuzování kvality z hlediska konečné

kontroly kvality, ale hledí na kvalitu z „preventivního“ hlediska a v průběhu celého designu produktu. Jsou také známé jako off-line kontrola jakosti. Jinými slovy Taguchi prohlašuje, že kvalitu nelze posuzovat pouze jako logickou hodnotu toho, zda je daný výrobek kvalitní či ne až na konci produkce, ale je nutné už v prvopočáteční fázi výrobek koncipovat kvalitně. Jedním z principů, které v tomto ohledu Taguchi vyzdvihoval, je tzv. Parettův princip, který je v dalších kapitolách zmíněn. V podstatě hlásá pouze to, že 80% kvality závisí na technologii výroby a 20% na dělníkovi či stroji. V případě, že si toto uvědomíme, jde o zcela jiný přístup ke kvalitě než konvenční. Ten se řídí především tím, zda je daný výrobek v tolerančním poli. Taguchi řeší i kvalitu výrobku v šířce tolerančního pole samotného, čili 100% kvalitní výrobek je pouze výrobek, který přesně splňuje všechny požadavky. Z výrobku, který není 100% kvalitní vyplývají podle Taguchiho náklady na nejakost a to jak pro prodávajícího, tak pro kupujícího.

Podstata Taguchiho přístupu

Podstata Taguchiho přístupu k řízení kvality by se dala podle [1] charakterizovat třemi základními principy:

1. Kvalita by měla být designově vnášena do produktu, nikoliv vměšována zvenčí.
2. Kvality je nejlépe dosaženo pouze pokud je výsledný produkt co nejbližší k původnímu záměru. Produkt by měl být konstruován tak, aby na něj okolí mělo minimální vliv.
3. Cena kvality by měla být měřena jako funkce odchylky od standardu a ztráty by měly být měřeny v měřítku celého systému.

Taguchi předpokládal, že za 80% kvality výrobku je zodpovědná technologie výroby a za 20% dělník. Na tomto základě se snažil postavit odolné výrobní procesy, které byly minimálně ovlivněny změnami prostředí, opotřebením strojů atp. Tyto tři výše zmíněné hlavní zásady byly jeho hlavní oporou.

Jedna z Taguchiho hlavních myšlenek prosazuje takzvaný „design pro kvalitu“. To znamená, že kvalita by měla být zajištěna designem výrobku spíše než jejím vměšováním zvenčí či kontrolou konečné výroby. Jinými slovy, když je výrobek vymyšlen nekvalitně, žádné množství kontroly ani inspekce mu kvalitu nevrátí. Je tedy nutné, aby byla kvalita vnášena do produktu odpočátku a v průběhu celé výroby v každé z jejích fází. Toho se dle Taguchiho dá dosáhnout preventivním přístupem ke kvalitě. Design produktu musí být tak bytelný, aby odolával všem nepříznivým vlivům prostředí i výroby.

Další z jeho konceptů pohlíží na kvalitu jako na vlastnost projevující se v celé době životnosti produktu. Započítává do ní tedy i náklady na provoz produktu, jeho servis, garanci atp.

(náklady vznikající uživateli). Z toho důvodu viděl Taguchi zlepšování jakosti jako nikdy nekončící cyklus.

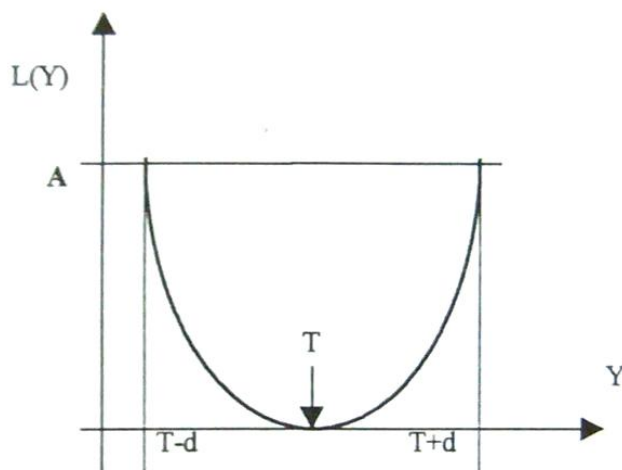
2.2.2 Popis Taguchiho metod

Tato kapitola je věnována základnímu popisu tří hlavních Taguchiho metod a postupů:

- Ztrátová funkce
- Off-line kontrola
- Pojetí návrhu experimentů.

Ztrátová funkce

Taguchi bral kvalitu jako funkci odchýlení se od cíle ať už o sebemenší hodnotu. I tato sebemenší hodnota znamená pro společnost náklady plynoucí z nekvality produktu, i když je výrobek vyroben v požadovaných tolerancích, ale je odchýlen pouze o minimum. Už i to má vliv na kvalitu a tedy funkčnost výrobku a tedy na ztráty plynoucí z jeho provozu. Představme si například výrobu automobilu, přičemž velký důraz klademe na spotřebu paliva. Pomineme-li vliv váhy automobilu, hlavní vliv bude mít samozřejmě motor. Hlavní částí motoru jsou válce a písty. Pokud jsou válce i písty vyrobeny dokonale, potom dokonale těsní a ztráty plynoucí z netěsností jsou tedy minimální. Tím pádem je motor efektivnější a spotřebovává tedy méně paliva. Pokud by byly písty vyrobeny méně dokonale, ale válce dokonale, pak už motor ztrácí na kvalitě a provozovateli z toho plynou větší náklady na provoz. Pokud jsou ovšem písty i válce vyrobeny nedokonale, dochází k vzájemnému sčítání tolerancí – vůlí a motor ztratí ještě více svého potenciálu a tím pádem dochází opět ke zvýšení spotřeby paliva. Taguchiho ztrátová funkce dává kvalitě jako funkci odchylky od ideálu velkou váhu, a proto je tvar základní ztrátové funkce kvadratický. Pokud je však výrobek tak nekvalitní, že jeho výsledná kvalita se nenachází v tolerančním poli, je na takovýto výrobek pohlíženo jako na zcela nekvalitní a jeho ztráta se rovná celkovým výrobním nákladům. Matematické vyjádření by vypadalo následovně:



Obr. 2-1 Graf ztrátové funkce [1]

Obecně můžeme zapsat kvadratickou rovnici ve tvaru:

$$y = ax^2 + b \quad (1)$$

pro naše potřeby si vzoreček trochu upravíme:

$$L(Y) = k (Y - T)^2 \quad (2)$$

L(Y) ... ztráta způsobená odchylkou od T

k ... konstanta

Y ... skutečně dosažená úroveň ukazatele kvality

T ... cílová (ideální) hodnota ukazatele kvality

Ze zápisu je vidět, že nám zmizel člen označený obecně jako „b“, který vyjadřuje posunutí funkce ve směru osy y. Je to logické, protože chceme, aby minimum funkce leželo přímo na ose x (hodnota na ose y rovna nule), protože náklady na nekvalitu při přesném dodržení požadované hodnoty parametru jsou nulové. Člen „x“ vyjadřujeme pomocí rozdílu (Y – T), který představuje odchylku skutečně dosažené hodnoty „Y“ od cílové ideální hodnoty „T“. Zároveň je nutné si uvědomit, že pokud se dostaneme ven z tolerančního pole ($Y \leq T-d$ nebo $Y \geq T+d$), nabývá ztráta L(Y) hodnoty rovné nákladům „A“. Od tohoto bodu je již průběh nákladů konstantní. Pro tento krajní bod tedy můžeme psát:

$$A = kd^2 \quad (3)$$

Užitečnější tvar však získáme vyjádřením konstanty „k“, kterou neznáme, ale podle této rovnice ji můžeme určit:

$$k = A / d^2 \quad (4)$$

Hodnoty proměnných „A“ i „d“ jsou většinou známé, takže nám umožňují dopočítat až dosud neznámou hodnotu konstanty „k“.

Často je však pro nás důležitější průměrná odchylka od „T“ než konkrétní ztráta pro jeden případ, proto se rovnice ztrátové funkce upravuje do tvaru:

$$E(L) = E [k(Y - T)^2] = kE(Y - T)^2 = ks^2 \quad (5)$$

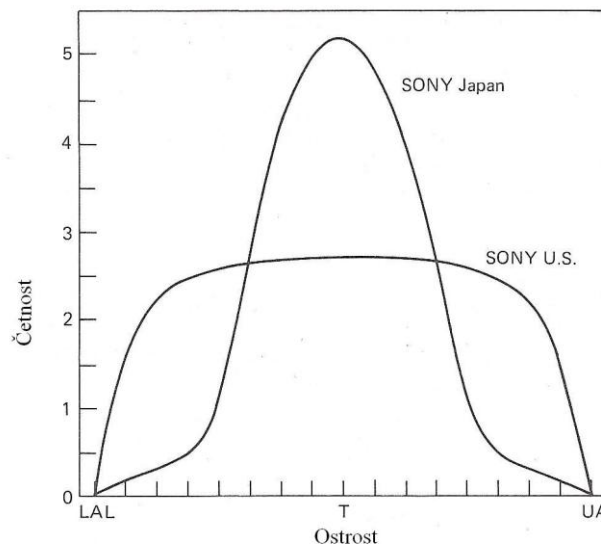
Pokud se však průměr ze skutečně dosažených hodnot ukazatele Y nerovná hodnotě „T“, je nutno rovnici ještě upravit:

$$E(L) = ks^2 + k(Y_{\text{prům.}} - T)^2 \quad (6)$$

Ztrátovou funkci lze dále zdokonalit uvažováním ztrát souvisejících se zajišťováním kvality, kde je zahrnuta cena za opravy, náklady na kontrolu, ztráty za zmetky, za nepřesnosti měření

a nepřesnosti ve výrobě. Výhodou ztrátové funkce je možnost její aplikace na problémy, kde je ukazatel jakosti závislý na více parametrech, nebo dokonce není měřitelný.

Podle Taguchiho je nutné na kvalitu pohlížet ze strany spokojenosti zákazníka a ten je spokojený pouze tehdy, je-li výrobek vyráběn kvalitně dlouhodobě spojitě. Z průzkumu společnosti SONY, který byl prováděn v Americe, bylo zjištěno, že zákazníci dávali dlouhodobě přednost televizorům vyráběným v Japonsku před televizory vyráběnými ve Spojených státech. Ačkoli byly televizory zcela shodné jak designově, tak hardwarově a se stejnými tolerancemi, zákazníci si z většiny vybrali televizor pocházející z Japonska. To přimělo vedení, aby zanalyzovalo daný jev s výsledkem, který zcela potvrzuje Taguchiho pojetí jakosti. Ačkoli byly televizory vyráběny se stejnými tolerancemi, výrobky z Japonska se mnohem méně odchylovaly od cílové hodnoty, kdežto produkty vyráběné v Americe sice splňovaly dané tolerance, ale s výrazně vyšším rozptylem okolo dané cílené hodnoty. Pro lepší názornost znázorněno na obrázku **Obr. 2-2**.



Obr. 2-2 Graf závislosti ostrosti na četnosti vyráběných TV [1]

Další důležitý rozdíl v Taguchiho pojetí je, že Taguchi umožňuje výrobku dosáhnout větší než 100% nekvality. V případech, kdy nekvalitní podsystém způsobí kolaps celého systému nebo když celý systém katastroficky selže. Představme si například průmyslovou kameru upevněnou na stěně budovy. Pokud bude připevněna nekvalitním šroubem a šroub povolí, způsobí to škodu mnohonásobně vyšší, než která nám vznikne pouhým selháním šroubu.

Off-line kontrola

Off-line kontrola je příprava výrobku v počáteční fázi, tedy ještě před uvedením do výroby. Zahrnuje celkem tři kroky:

1. Systémový návrh
2. Návrh parametrů
3. Návrh tolerancí

Protože Taguchiho hlavní myšlenka spočívá v tom, zabudovat kvalitu do výrobku designem, nikoliv inspekci na výstupu, je důležité, aby byl produkt koncipován kvalitně od samého začátku.

První ze tří fází je jakýsi hrubý nástin výrobku, jeho účelu, jeho funkčnosti, rozměrů atp. Zde Taguchi doporučuje využívání intuitivního myšlení, především tzv. brainstormingu, kde dochází k diskusi mnoha profesionálů ohledně určitého problému a k jeho řešení pomocí pokud možno novými metodami, nápady atp.

Ve druhé fázi detailněji zpracováváme jednotlivé aspekty výrobku, jako jsou přesné rozměry, tvary vzhledem k funkčnosti celé součásti příp. celku.

V poslední fázi je klíčové vhodné zvolení tolerancí pro dané rozměry, tvary a funkční prvky, přičemž je nutné brát v úvahu vlivy prostředí, výroby atp, kde se Taguchi řídí tzv. Paretovým principem, kde 80% kvality je v technologii výroby a 20% závisí na dělníkovi, případně stroji.

Pojetí návrhu experimentů

Taguchi věděl, jak důležité jsou okolní vlivy na výslednou výrobu, a proto se snažil i tyto vlivy zahrnout do experimentů a podrobně je zkoumat. Důležité při zkoumání jsou přitom i interakce mezi jednotlivými faktory, které mohou jak zhoršit kvalitu výstupu, tak zlepšit. Taguchiho pojetí návrhu experimentů se proto skládá ze 4 základních kroků:

1) Analýza situace

Nejprve je potřeba přesně definovat problém. Je velice důležité slovo „přesně“ neboť když nedovedeme přesně definovat problém, nedovedeme ho efektivně ani řešit. Následně je nutné stanovit faktory, které budou náš problém ovlivňovat. V tomto kroku Taguchi silně doporučuje metodu Brainstormingu. Jde o týmovou diskusní metodu, kde se skupina lidí vzdělaných v dané problematice sejde, zvolí moderátora diskuse a pokouší se stanovit co nejvíce možných faktorů, které by mohly problém ovlivňovat, přičemž je vhodné vše zapisovat a kombinovat jednotlivé myšlenky. Je přitom nutné přistupovat pouze pozitivní cestou. To znamená, že je zakázána jakákoli kritika. K eliminaci čili vyřídění faktorů důležitých a méně důležitých dochází až na konci diskuse.

2) Výběr OA

Když máme stanovené faktory ovlivňující náš problém a úrovně, ve kterých se náš problém vyskytuje, můžeme stanovit velikost tzv. OA. Ortogonal Arrays neboli ortogonální pole jsou definována Taguchim a jde o tabulku vyznačující provádění experimentů kombinační metodou. Narozdíl od plně faktorového experimentu, kde bychom jednoduše udělali experimenty podle toho, kolik bychom měli faktorů a v kolika úrovních, při Taguchiho metodě provádíme jen část těchto experimentů. To je ve většině případů jak časově, tak nákladově velice prospěšné. Rozdíl mezi prováděním plně faktorových experimentů a Taguchiho postupem je uveden i s vysvětlením na praktickém příkladu v kapitole 3.

V následující tabulce **Tab. 2-9** je možno vidět, jak s rostoucím počtem faktorů roste počet experimentů nutných k zjištění nejlepšího nebo optimálního nastavení výroby.

Počet parametrů (m)	Počet úrovní (L)	Počet experimentů (N)	Graf
1	1	1	
2	2	4	
4	2	16	
3	4	64	
7	2	128	

Tab.2-9 Znárodnění počtu nutných experimentů v závislosti na počtu faktorů a jejich úrovních

Z obrázku je zřejmé, že snížení počtu nutných experimentů vede k výraznému snížení jak časové, tak finanční náročnosti. Na obrázcích **Tab.2-10** a **Tab.2-11** je znázorněn rozdíl v provádění experimentů v plném rozsahu oproti Taguchimu.

V jednotlivých řádcích jsou uvedena čísla experimentů, neboli kolik experimentů budeme provádět. Ve sloupcích jsou pak uvedena čísla faktorů, které budeme zkoumat a zda bude faktor nastaven na hodnotu 1 či 2, což pro nás představuje úroveň faktoru. Například při experimentu 1 budeme zkoumat vliv faktoru 1 na úrovni 1, zároveň faktoru 2 na úrovni 1 a zároveň faktoru 3 na úrovni 1. Z tabulky je tedy zřejmé, že budeme provádět 4 experimenty.

Naproti tomu při plně faktorovém experimentu, jehož tabulka je umístěna na obrázku Tab.2-11 bychom zkoumali také pouze 3 faktory na 2 úrovních, ale kombinovali bychom „každý s každým“. A jak je z tabulky patrné, provádění 8 experimentů je dvakrát náročnější, než provádění experimentů 4.

	faktor 1	faktor 2	faktor 3
experiment 1	1	1	1
experiment 2	1	2	2
experiment 3	2	1	2
experiment 4	2	2	1

Tab.2-10 Znárodnění Taguchiho pole pro 3 faktory ve 2 úrovních

	faktor 1	faktor 2	faktor 3
experiment 1	1	1	1
experiment 2	1	2	2
experiment 3	1	2	1
experiment 4	1	1	2
experiment 5	2	1	1
experiment 6	2	1	2
experiment 7	2	2	1
experiment 8	2	2	2

Tab.2-11 Znárodnění plně faktorového pole pro 3 faktory ve 2 úrovních

Obrázky tedy jasně dokazují, že použití Taguchiho metody „redukce“ experimentů vede k rychlejšímu, snadnějšímu a efektivnějšímu získání výsledku při návrhu experimentů, přičemž hlavní myšlenka spočívá v tom, že Taguchi některé experimenty úplně vynechává, čili z plně faktorového postupu vybírá pouze určité (jasně dané) experimenty.

3) Provedení experimentů

Po stanovení potřebného OA můžeme přistoupit k experimentům, protože už víme, které faktory budeme zkoumat, v kolika úrovních je budeme zkoumat i kolik experimentů budeme celkem provádět.

4) Analýza výsledků

Provedením experimentů jsme dostali data, která je nyní nutno vyhodnotit. Jde nám tedy o to ze získaných dat vyextrahovat potřebné charakteristiky. K tomu slouží jeden z dalších nástrojů, nazývaný se ANOVA. ANOVA (ANalysis Of VARIation) je analytická metoda zkoumající získaná data z experimentů zjišťující „variance“ neboli rozdíly, tím pádem i jednotlivé interakce a vlivy jednotlivých faktorů. Použitím této metody získáme námi žádané výsledky, které pak můžeme aplikovat za účelem odstranění problému, který jsme si nazačátku definovali.

3 Praktická aplikace metod

V této části jsme prakticky aplikovali Taguchiho metody provádění experimentů v kontrastu s plně faktorovou metodou provádění experimentů. Experimenty jsme prováděli za účelem zjištění nejvhodnější kombinace nastavení konkrétních faktorů ve výrobě. Konkrétně se jednalo o lakování rozvaděčových skříní, kde byl řešen problém estetického hlediska nástřiku a kvality nástřiku (koroziivzdornost, ochrana povrchu). Obecný princip práškového lakování je popsán níže.

3.1 Charakteristika metody práškového lakování [4]

Tato část práce se zabývá obecným popisem metody práškového lakování. Tato charakteristika bude sloužit teoretický úvod do problematiky řešené v následující kapitole.

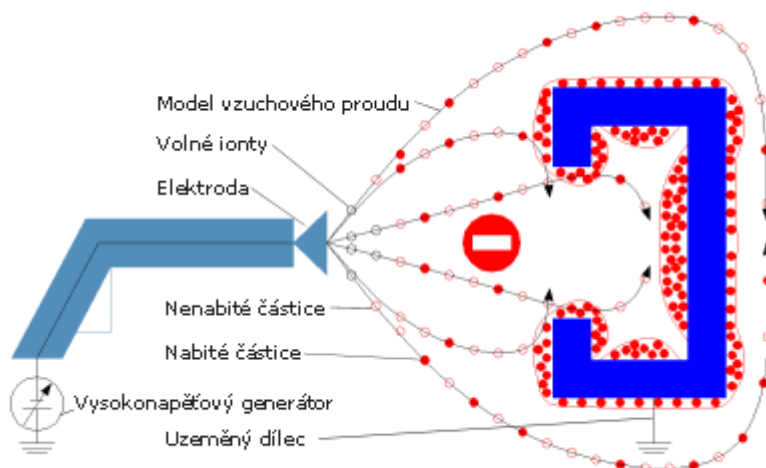
Principem práškového lakování je nanesení prášku na povrch dílce a následné vytvrzení v peci. Prášek obsahuje pryskyřice, pigment, případně tvrdidla, aditiva a vytváří tak suchou práškovou konzistenci.

Pro aplikaci prášku na dílec se využívá stlačeného vzduchu, který po smísení s tímto práškem vytváří “tekutou směs”. Aby prášek na kovovém dílci ulpěl (a nespádl dříve než dojde k vytvrzení v peci), je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie (je “nabíjen”). Elektrostatická energie využívá fyzikálního jevu a to, že se opačně nabitě částice přitahují. To způsobuje přitahování práškových částic ke stříkanému dílci a následné jeho ulpění na povrchu dílce.

K “nabíjení” prášku jsou využívány dva základní způsoby:

a) elektrostatické nabíjení, tzv. STATIKA (KORONA)

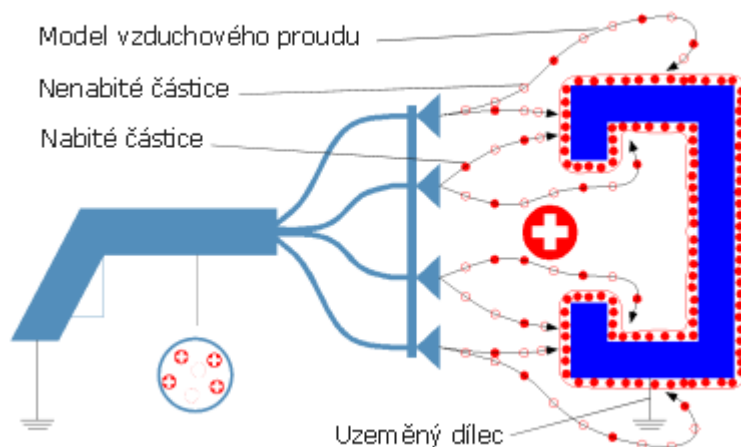
Práškové částice jsou “nabity” pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné u ústí aplikační pistole. Tento způsob nabíjení je velmi rychlý a účinný, avšak není vhodný pro dílce s hlubokými záhlubněmi.



Obr. 3-1 Princip elektrostatische metody [4]

b) elektrokinetické nabíjení, tzv. TRIBO

Práškové částice jsou “nabity” třením v aplikační pistolí a hadicích, vyrobených např. z teflonu. Tento způsob nabíjení není tak efektivní jako “KORONA”, ale je vhodnější pro dílce se záhlubněmi.



Obr. 3-2 Princip metody TRIBO [4]

Rozsah a nevýhody práškového lakování

Metoda práškového lakování je v současnosti hojně využívanou metodou povrchové úpravy kovů v nejrůznějších oblastech využití. Práškuje se výrobky tzv. bílého programu (pračky, ledničky, sporáky, mikrovlnné trouby), kovový nábytek a bytové doplňky, trezory, zámky, věšáky, kryty spotřební elektroniky a výpočetní techniky, díly pro automobilový průmysl (brzdové destičky, disky kol, kovové části interiéru, řada komponentů na motocyklech),

dopisní schránky, osvětlovací tělesa a lampy, elektrorozvodné skříně, kovové podhledy, armatury a mnoho dalších. V oblastech, kde není možno využívat metody práškového lakování (nekovové předměty), je využívána metoda tzv. „mokrého“ lakování.

Výhody práškového lakování:

- lakovaná vrstva je odolná vůči nárazům např. štěrku, kamení apod.
- dobrá odolnost proti poškrábání
- vynikající vnější trvanlivost
- vysoká chemická odolnost
- šetrnost vůči životnímu prostředí

3.2 Experimentální část

V této části se budeme věnovat aplikaci a porovnání obou metod na praktickém případě. Experiment bude znázorněn na metodě práškového lakování, kterou jsme si popsali v kapitole výše. Pokusy jsou rozčleněny do 4 fází, které jsou popsány v kapitole **2.2.2 Pojetí návrhu experimentů**:

- 1) Analýza situace
- 2) Výběr OA
- 3) Provádění experimentů
- 4) Analýza výsledků.

3.2.1 Analýza situace: Nástřik práškovou barvou (RAL 9010) – lesklá hladká

Cílem provádění experimentů bylo nalezení takové kombinace nastavení hlavních faktorů působících na proces práškového lakování, aby bylo dosaženo povrchové úpravy dílce, která by se co nejvíce blížila etalonu dodanému zákazníkem (především barevný odstín). Zároveň měly být splněny i kvalitativní požadavky na jakost lakované vrstvy (přilnavost, stékání, nedostříkaný povrch, ...). Kovový dílec měl být lakován lesklou hladkou barvou odstínu RAL 9010. Vzhledem k výrobním možnostem společnosti byla použita elektrostatická metoda.

Na základě rozboru dané situace, obecných poznatků a informací udávaných výrobcí barev byly stanoveny tři hlavní ovlivňující faktory pro kvalitu daného procesu lakování, a to:

- a) dodavatel barvy
 - výrobci vyrábějí víceméně ve srovnatelné kvalitě, ale drobně se liší odstíny, i když jde o stejný typ (odstín) barvy

b) tloušťka nanášené vrstvy barvy

- pokud je barvy málo (cca 40 μm) vzniká „pomerančová“ struktura – povrch není dokonale hladký
- obvyklé optimum je 60 – 80 μm
- pokud je barvy příliš (zhruba 80 – 100 μm) – barva stéká, což je opět nežádoucí

c) doba vypalování v kombinaci s vypalovací teplotou

- kratší doba vypalování + vyšší teplota = kvalitnější výsledek
- delší doba vypalování + nižší teplota = horší výsledek, dochází ke změně odstínu (hnědnutí povrchu) a zhoršuje se přilnavost povlaku

Situace bude modelována tak, že budou uvažovány tři výše zmiňované působící faktory (pro zjednodušení budou dále označeny písmeny A, B, C), kdy se každý z nich bude moci nacházet na dvou možných úrovních:

Faktor A (dodavatel barvy):

- úroveň 1 ... dodavatel barvy 1
- úroveň 2 ... dodavatel barvy 2

Faktor B (tloušťka vrstvy):

- úroveň 1 ... menší tloušťka vrstvy max. 70 μm
- úroveň 2 ... větší tloušťka vrstvy min. 80 μm

Faktor C (doba vypalování a vypalovací teplota):

- úroveň 1 ... kratší doba vypalování + vyšší teplota
- úroveň 2 ... delší doba vypalování + nižší teplota

3.2.2 Výběr OA

Všechny faktory působí samozřejmě současně, pouze se mění nastavení jejich úrovní během jednotlivých experimentů. Provádění experimentů je jednoznačně dáno předpisem (tabulkou, polem) určujícím pořadí jednotlivých experimentů. V případě plně faktorového postupu tabulka jednoduše udává všechny možné kombinace nastavení jednotlivých faktorů a určuje pořadí experimentů tak, aby došlo ke všem možným kombinacím a tedy k nalezení nejlepšího nastavení. V případě Taguchiho postupu tabulka udává, které experimenty jsou „vynechány“ a v jakém pořadí budou experimenty prováděny. V našem případě, kdy při plně faktorovém postupu potřebujeme 8 experimentů (2^3 - 3 faktory na 2 úrovních), Taguchiho postup si vystačí se 4 experimenty, čili 4 vynechává oproti plně faktorovému postupu. Konkrétní nastavení experimentů jsou dána tabulkovými předpisy pro plně faktorový a částečně

faktorový návrh. Aby bylo možné porovnat výsledky částečně faktorového návrhu (Taguchi) s plně faktorovým, je nutno provést všechny experimenty plně faktorového návrhu, tzn. realizovat pokusy pokrývající všechny možné kombinace nastavení parametrů a jejich úrovní.

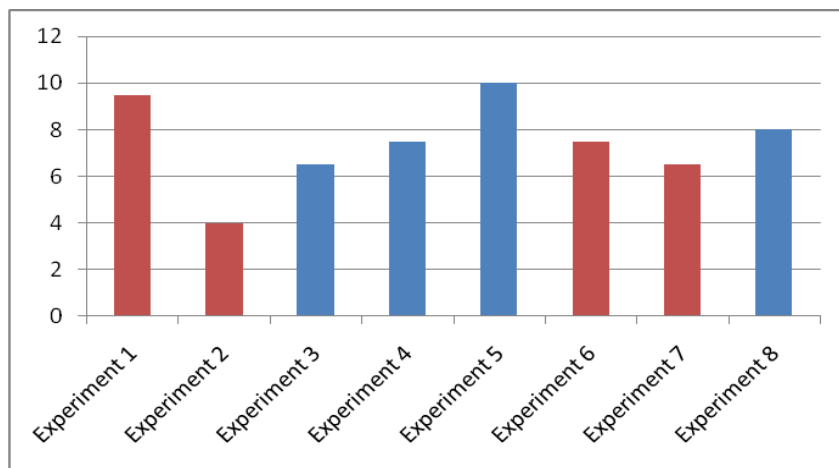
3.2.3 Provádění experimentů

V tabulce **Tab. 3-1** je znázorněno pořadí prováděných experimentů, nastavované hodnoty jednotlivých faktorů a výsledná data PLNĚ FAKTOROVÉHO (full-factorial) experimentu. Například Experiment 1 spočívá v nastavení Faktoru A na hodnotu 1 (dodavatel barvy 1), Faktor B nabývá hodnoty 1 (tloušťka barvy max. 70 μm) a Faktor C nabývá také hodnoty 1 (delší doba vypalování + nižší teplota). Při Experimentu 2 je Faktor B nastaven na hodnotu 2 a Faktor C na hodnotu 2. Takto se postupuje při provádění jednotlivých experimentů a zaznamenávají se výsledná data. Ta jsou hodnocena jako komplexní ukazatel, který v sobě zahrnuje všechny zjišťované parametry viz. výše. Konečné vyjádření je pomocí čísel od 1 do 10 (1 – nejhorší výsledek, 10 – nejlepší výsledek). Červeně jsou vyznačovány experimenty shodné s Taguchiho postupem.

Plně faktorový (FF)				
	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Výsledek
Experiment 1	1	1	1	9,5
Experiment 2	1	2	2	4
Experiment 3	1	2	1	6,5
Experiment 4	1	1	2	7,5
Experiment 5	2	1	1	10
Experiment 6	2	1	2	7,5
Experiment 7	2	2	1	6,5
Experiment 8	2	2	2	8

Tab. 3-1 Plně faktorový návrh (červeně jsou znázorněny experimenty shodné s Taguchiho postupem)

Z tabulky **Tab. 3-1** jsou patrné výsledky jednotlivých experimentů. Je zřejmé, že se podařilo dosáhnout nejlepšího výsledku (10 bodů) při Experimentu 5 a druhého nejlepšího výsledku při Experimentu 1 (9,5 bodu). U ostatních experimentů bylo bodové ohodnocení nižší, což indikuje horší výsledek při daném nastavení výroby. Pro lepší ilustraci jsou jednotlivé experimenty i s výsledky znázorněny v **Grafu 3-1**. Červeně jsou opět znázorněny experimenty shodné s Taguchiho postupem.

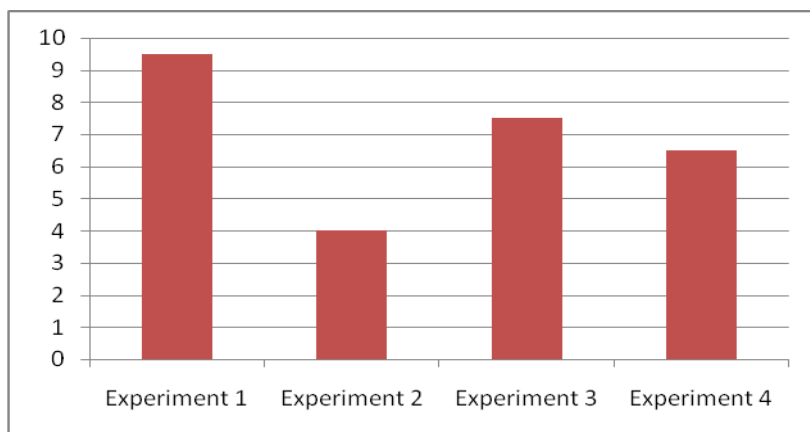


Graf 3-1 Porovnání výsledků experimentů plně faktorového návrhu (červeně jsou znázorněny experimenty shodné s Taguchiho postupem)

V tabulce **Tab. 3-2** je znázorněn návrh experimentů podle Taguchiho. Oproti plně faktorovému postupu je potřeba provést pouze polovinu experimentů. Porovnáním s tabulkou **Tab. 3-1** je možné vidět, které experimenty byly “vynechány”. Ve sloupci **Full factorial** je naznačeno, jakým experimentům při plně faktorovém postupu odpovídají Taguchiho experimenty při částečně faktorovém postupu.

Taguchi					
	Plně faktorový	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Výsledek
Experiment 1	Experiment 1	1	1	1	9,5
Experiment 2	Experiment 2	1	2	2	4
Experiment 3	Experiment 6	2	1	2	7,5
Experiment 4	Experiment 7	2	2	1	6,5

Tab. 3-2 Částečně faktorový návrh



Graf 3-2 Porovnání výsledků experimentů částečně faktorového návrhu

Stanovení vlivu působících faktorů

Cílem výpočtu je získat přehled o tom, jaký je průměrný vliv jednotlivých faktorů na výslednou hodnotu. Průměrný vliv se zjišťuje pro každý faktor na příslušných úrovních. Například můžeme zjišťovat jaký je vliv faktoru A při nastavení na úroveň 1 (u nás to konkrétně znamená, že zjišťujeme jaký vliv má dodavatel barvy na výslednou kvalitu povrchové úpravy). Průměrnou hodnotu A_1 zjistíme vypočítáním průměrné výsledné hodnoty z experimentů, ve kterých se vyskytuje parametr A nastavený na úroveň 1. V případě pole L_4 jsou to experimenty 1 a 2 .

Pozn.: Výsledky experimentů jsou značeny proměnnou Y

$$A_{1,\text{prům.}} = (Y_1 + Y_2) / 2 = (9,5 + 4) / 2 = \mathbf{6,75}$$

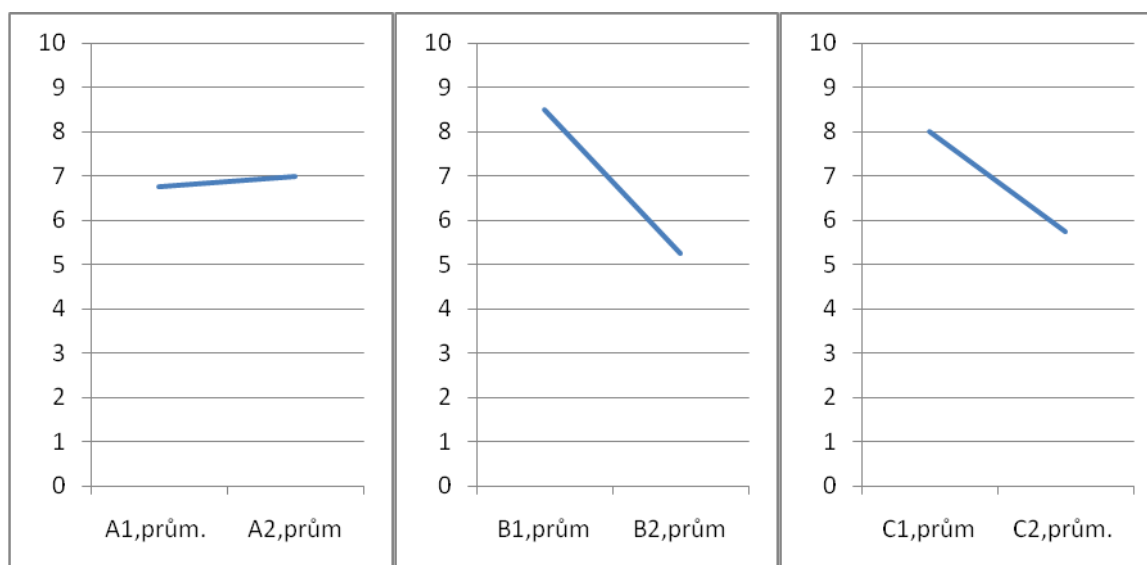
$$A_{2,\text{prům.}} = (Y_3 + Y_4) / 2 = (7,5 + 6,5) / 2 = \mathbf{7}$$

$$B_{1,\text{prům.}} = (Y_1 + Y_3) / 2 = (9,5 + 7,5) / 2 = \mathbf{8,5}$$

$$B_{2,\text{prům.}} = (Y_2 + Y_4) / 2 = (4 + 6,5) / 2 = \mathbf{5,25}$$

$$C_{1,\text{prům.}} = (Y_1 + Y_4) / 2 = (9,5 + 6,5) / 2 = \mathbf{8}$$

$$C_{2,\text{prům.}} = (Y_2 + Y_3) / 2 = (4 + 7,5) / 2 = \mathbf{5,75}$$



Graf 3-3 Grafické porovnání průměrného vlivu působících faktorů

Z hlediska názornosti provedme také znaménkovou metodu, kde bude platit:

$$A = 1/2(-9,5 - 4 + 7,5 + 6,5) = \mathbf{0,25}$$

$$B = 1/2(-9,5 + 4 - 7,5 + 6,5) = \mathbf{-3,25}$$

$$C = 1/2(-9,5 + 4 + 7,5 - 6,5) = \mathbf{-2,25}$$

Z analýzy výsledků experimentů oběma metodami je patrné, že největší vliv má Faktor B (tloušťka nanášené vrstvy barvy) – nejdelší a nejstrmější úsečka v **Grafu 3-3**, o něco menší je vliv Faktoru C (doby vypalování v kombinaci s vypalovací teplotou) a Faktor A (dodavatel barvy) má vliv téměř zanedbatelný.

3.2.4 Analýza výsledků

Z tabulky je vidět, že nejlepšího výsledku bylo podle Taguchiho dosaženo při prvním experimentu (nastavení 1-1-1, čili dodavatel barvy 1 - tloušťka barvy na úrovni 1 - doba vypalování na úrovni 1), kdy byla výsledná hodnota komplexního kritéria 9,5. Porovnáním s plně faktorovým návrhem však zjistíme, že skutečně nejlepšího výsledku je dosaženo při experimentu 5 (nastavení 2-1-1, čili dodavatel barvy 2 – tloušťka barvy na úrovni 1 – doba vypalování na úrovni 1). Výsledná hodnota hodnotícího kritéria pak vychází maximální – číselně tedy 10. Rozdíl nejlepších výsledků z obou návrhů však není výrazný (o 5% lepší výsledek) a s přihlédnutím k dvojnásobným nákladům na experimenty prováděné plně faktorovou metodou (o 50% větší náklady na experimenty), je pro nás jednoznačně výhodnější Taguchiho přístup.

Taguchiho přístup nám navíc umožňuje zjistit, jaký vliv na výsledky experimentů mají jednotlivé faktory (případně i jejich vzájemné interakce).

4 Výhody a nevýhody faktorového přístupu

Produkce je vždy ovlivňována celou řadou vlivů působících na její kvalitu. Nástroje pro zlepšování jakosti se zaměřují na odstraňování nekvality v produkci. Statistické metody do těchto nástrojů vnášejí matematické aparáty pro jasnější definování výsledků. Je zřejmé, že pokud má být výroba kvalitní, je nutno vnášet kvalitu do výrobních procesů již od počátku. Je tedy nutné třídit a řídit všechny procesy – ovládním parametrů procesů. Tam, kde není možné jednoduchým způsobem určit nastavení parametrů, je nutné provádět experimenty za účelem zjištění nejvhodnějšího nastavení. V takových případech je nutné zvolit i vhodnou metodu provádění experimentů. V této práci byly srovnávány metody částečně a plně faktorového postupu. Bylo dokázáno, že za pomoci částečně faktorového postupu bylo dosaženo optimálního zlepšení s ohledem na náklady vynaložené na realizaci experimentů. Navíc obě statistické metody nabízejí aparáty umožňující stanovit vliv jednotlivých faktorů na výsledek. To je velice důležité, neboť jedním z hlavních argumentů zlepšování jakosti je samozřejmě finanční stránka. Máme-li tedy k dispozici omezenou finanční částku určenou ke zlepšení výroby, je vhodné vědět, kam ji vložit tak, aby měla co největší výsledný efekt.

Obě metody mají samozřejmě také své nevýhody a úskalí. Protože Taguchiho metody vycházejí z myšlenky, že kvalita musí být vnášena do produktu designem od počáteční fáze, je velice nevýhodné zavádět jeho metody v pozdějších fázích životního cyklu. V takových případech mohou být metody dokonce méně efektivní než konvenční metody řízení jakosti, jako jsou kontrola atp. Jednoduše řečeno, pokud zvažujeme aplikování Taguchiho metod ve výrobě, je nutno tak činit od začátku.

Mezi jednoznačné výhody Taguchiho přístupu patří tedy značně redukováné náklady na provádění experimentů. Proti tomuto faktu hovoří pouze skutečnosti, že Taguchiho přístup nemusí vždy identifikovat nejlepší možné řešení jako plně faktorový přístup, který kombinuje „každý s každým“ a prověřuje tak všechny kombinace. Ovšem jak bylo při experimentu dokázáno, 5% odchylka od nejlepšího výsledku hodnocení ve prospěch plně faktorového postupu oproti 50% úsporám na nákladech při provádění experimentů ve prospěch Taguchiho přístupu, je hodnota, která hovoří sama za sebe. Čím větší je počet faktorů a úrovní, tím více prostředků nám Taguchiho přístup ušetří.

Další nespornou výhodou statistických metod obecně je možnost zjišťování vlivů jednotlivých faktorů na výsledek. Nejen, že nám umožňuje identifikovat, které vlivy jsou pro nás klíčové, ale v určitých případech je možné zjistit dokonce interakce jednotlivých faktorů. To nám potom dává informaci o tom, zda například zlepšením jednoho faktoru nezhoršíme faktor druhý či naopak.

Jednou z klíčových nevýhod Taguchiho návrhu experimentů je značná nevhodnost pro experimentování s faktory plynule se měnícími. Jinými slovy, pokud mají jednotlivé faktory hodnoty buď ano/ne, je Taguchiho přístup přínosný, pokud však faktory nabývají hodnot např. od 1 do 2 s krokem 0,01, nejsou Taguchiho metody vhodné.

„Hrozbu“ při Taguchiho přístupu může znamenat nevhodně prováděná metoda zvaná „brainstorming“, která je Taguchim prosazována. U takovéto intuitivní metody řešení problémů je důležitých několik faktorů, které ovlivňují celý průběh tohoto procesu a hlavně jeho výsledky. Zaprvé je nezbytné, aby moderátor takovéto schůze byl člověk schopný, s určitou autoritou vzhledem ke skupině, kterou vede. Je totiž nutné danou skupinu lidí vést směrem k nalezení řešení problému. Ve chvíli, kdy si jednotliví členové sdělují názory jeden přes druhého, dochází k nepříznivému vývoji. Další zásady brainstormingu, které musí být vždy dodrženy jsou například:

- 1) Lidé řešící problém by měli být v oboru náležitě vzděláni či proškoleni
- 2) Je vhodné každý nápad zapisovat a systematicky členit
- 3) Hodnocení každého nápadu by mělo být prováděno pouze pozitivní formou
- 4) Hovoří vždy pouze jeden člověk. Diskuse je vhodná, ale pouze systematická a konstruktivní

V případě hledání řešení pomocí brainstormingu bývá užitečné kombinování jednotlivých vypsaných nápadů. Jednotlivé alternativy člověka nenapadnou, ale když jsou správně vypsané vedle sebe, mnohdy skrývají spásné řešení.

V případě nesplnění některých nebo všech výše zmíněných důležitých faktorů funkčního brainstormingu se však velice obtížně nachází požadované řešení.

Závěr

Taguchiho metody jsou známy, jak již bylo výše zmíněno, od konce druhé světové války. Mnoha odborníky bývají Taguchiho metody zatracovány z rozličných důvodů. Někteří Taguchimu vytykají, že některé faktory a souvislosti vynechává, jiní Taguchiho metodám nepřikládají velkou důležitost, ale fakt zůstává ten, že Taguchiho metody se jeví a jeví jako velice efektivní v mnoha zemích světa, v současné době bývají také často diskutovanými v evropských zemích a v neposlední řadě také v Americe. Narozdíl od konvenčních metod zlepšování jakosti zachází Taguchiho metody v mnoha ohledech dál a poskytují tak lepší a komplexnější pohled na jakost a její zlepšování navíc s ohledem na náklady nutné pro realizaci. To jsou faktory, které jsou v dnešním světě naprosto nezanedbatelné. Naopak, jde o faktory vesměs klíčové a jejich vliv na kvalitu je zásadní. Není obtížné si představit, že Taguchiho metody se budou v brzké době zavádět i na pracovištích u nás, a proto určitě stojí za to se o nich dozvědět více.

Seznam použité literatury

- [1] Roy, R.: *A Primer on the Taguchi Method*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 1990. ISBN 0-87263-468-X
- [2] Peace, G. S.: *Taguchi methods : a hands-on approach*, Addison-Wesley, 1993. ISBN 0-201-56311-8
- [3] www.wikipedia.com 25.04.2012
- [4] <http://www.technolak.cz/technologie.html> 10.10.2011
- [5] Tošenovský, J., Naskievičová, D.: *Statistické metody pro zlepšování jakosti*, Montanex, Ostrava, 2000. ISBN 80-7225-040-X

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Graf ztrátové funkce

Obr. 2-2 Graf závislosti ostrosti na četnosti vyráběných TV

Obr. 3-1 Princip elektrostatické metody [4]

Obr. 3-2 Princip metody TRIBO [4]

Graf 3-1 Porovnání výsledků experimentů plně faktorového návrhu (červeně jsou znázorněny experimenty shodné s Taguchiho postupem)

Graf 3-2 Porovnání výsledků experimentů částečně faktorového návrhu

Graf 3-3 Grafické porovnání průměrného vlivu působících faktorů

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Tabulka znázorňující jednotlivé faktory a jejich nastavení.

Tab. 2-2 Znázornění plně faktorového experimentu

Tab. 2-3 Znázornění nastavení jednotlivých faktorů při provádění experimentu

Tab. 2-4 Znázornění postupu pomocí jednofaktorového plánu

Tab. 2-5 Výsledky provedeného experimentu

Tab. 2-6 Znázornění interakcí jednotlivých faktorů

Tab. 2-7 Znázornění vlivu jednotlivých faktorů a jejich interakcí

Tab. 2-8 Určení interakcí jednotlivých faktorů pomocí Yatesova algoritmu

Tab.2-9 Znázornění počtu nutných experimentů v závislosti na počtu faktorů a jejich úrovních

Tab.2-10 Znázornění Taguchiho pole pro 3 faktory ve 2 úrovních

Tab.2-11 Znázornění plně faktorového pole pro 3 faktory ve 2 úrovních

Tab. 3-1 Plně faktorový návrh (červeně jsou znázorněny experimenty shodné s Taguchiho postupem)

Tab. 3-2 Částečně faktorový návrh

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová (bakalářská) práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum:

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým podpisem, že tuto diplomovou (bakalářskou) práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta/katedra	Datum	Podpis