EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI II

učební text

Jiří Plura

Ostrava 2012

Recenze: Ing. Dagmar Dreiseitelová, Ph.D.
RNDr. Miroslav Liška, CSc.

Název: Plánování jakosti II
Autor: Prof. Ing. Jiří Plura, CSc.
Vydání: první, 2012
Počet stran: 172
Náklad: 20

Studijní materiály pro studijní obor Management jakosti, FMMI
Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:
Operační program Vzděláváním pro konkurenceschopnost
Název: Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu
Číslo: CZ.1.07/2.2.00/07.0339
Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava
Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Jiří Plura
© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2588-5

OBSAH

Kap.		Strana
1.	PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI, PLÁN JAKOSTI, PLÁN KONTROLY A ŘÍZENÍ	7
1.1	Plánování jakosti	7
1.2	Plán jakosti	10
1.3	Plán kontroly a řízení	16
2.	PŘÍSTUPY K PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI PRODUKTŮ	22
2.1	Pokročilé plánování jakosti produktů (APQP)	22
2.2	Proces schvalování dílů do sériové výroby (PPAP)	37
3	POKROČILÉ POSTUPY APLIKACE VYBRANÝCH METOD PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI	45
3.1	Metoda QFD – Matice matic	45
3.2	Současné přístupy k metodě FMEA	53
3.3	Analýza stromu poruchových stavů (FTA)	60
4	VYPOVÍDACÍ SCHOPNOST INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU	67
4.1	Indexy způsobilosti procesu a jejich vzájemné vztahy	67
4.2	Citlivost indexů způsobilosti na změny procesu	76
4.3	Faktory ovlivňující vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu	84
5	POSTUPY ANALÝZY ZPŮSOBILOSTI PROCESŮ V NESTANDARDNÍCH SITUACÍCH	91
6	ANALÝZA ZPŮSOBILOSTI PROCESU V PŘÍPADĚ NEMĚŘITELNÝCH ZNAKŮ JAKOSTI	97
7	ANALÝZY SYSTÉMŮ MĚŘENÍ	104
7.1	Vyhodnocení stability, strannosti a linearity měření	105
7.2	Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření (GRR analýza)	119
8	ANALÝZA SYSTÉMŮ MĚŘENÍ PŘI KONTROLE SROVNÁVÁNÍM	135
9	ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ POSTUPEM GLOBAL 8D	141
10	MANAGEMENT JAKOSTI PROJEKTŮ	146
10.1	Základy managementu projektů	146
10.2	Management jakosti projektů	151
11	KLÍČOVÉ POJMY	159
12	KLÍČ K ODPOVĚDÍM NA OTÁZKY	162

POKYNY KE STUDIU

Plánování jakosti II (6390804)

Pro předmět druhého semestru navazujícího magisterského studia oboru Management jakosti jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- kontakt na studijní oddělení.

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Plánování jakosti I, Matematická statistika a Teorie pravděpodobnosti.

Cíl předmětu

Po absolvování předmětu bude student umět demonstrovat metodické postupy plánování jakosti, identifikovat vhodné pokročilé metody plánování jakosti, aplikovat vybrané metody, interpretovat výsledky aplikace metod a navrhovat vhodná opatření.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do navazujícího magisterského studia oboru Management jakosti studijního programu Ekonomika a řízení průmyslových systémů, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na kapitoly, které odpovídají logickému členění studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:

Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden **čas** potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.

Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat ...
- definovat ...
- vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování dané kapitoly nebo její určité části – konkrétní dovednosti, znalosti.

VÝKLAD

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.

Shrnutí pojmů 1.1.

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.

Otázky 1.1.

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.

Literatura k dalšímu studiu:

V této sekci pak najdete stručný seznam na doporučenou literaturu k dalšímu studiu, protože tato studijní opora nemůže vzhledem ke svému omezenému rozsahu poskytnout všechny informace a poznatky, které budete muset prokázat při zkoušce z předmětu Plánování jakosti II.

Úspěšné a příjemné studium s touto elektronickou učebnicí Vám přeje autor výukového materiálu.

Jiří Plura

1 PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI, PLÁN JAKOSTI, PLÁN KONTROLY A ŘÍZENÍ

1.1 Plánování jakosti

Čas ke studiu: 30 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat plánování jakosti a popsat jeho hlavní aktivity
- Vysvětlit význam plánování jakosti

Výklad

Plánování jakosti americký odborník J.M. Juran stručně charakterizoval jako „proces formování cílů jakosti a vývoje prostředků pro splnění těchto cílů“. S touto klasickou definicí přibližně koresponduje i definice uvedená v terminologické normě ČSN EN ISO 9000:2006, kde je plánování jakosti definováno jako „část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikování procesů nezbytných pro provoz a souvisejících zdrojů pro splnění cílů jakosti“.

Plánování jakosti zahrnuje široké spektrum aktivit, jejichž prostřednictvím se stanovují a dosahují cíle v oblasti jakosti. K hlavním aktivitám plánování jakosti lze například přiřadit:

- stanovení cílů jakosti a jejich rozpracování v organizaci;
- plánování systému managementu jakosti;
- zpracování plánů jakosti (dokumentů, které specifikují postupy a související zdroje, které se musí použít pro specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu);
- plánování znaků jakosti produktů;
- plánování jakosti procesů a ověřování jejich způsobilosti;
- plánování preventivních opatření s cílem minimalizovat riziko vzniku neshod;

- plánování kontrol jakosti;
- plánování systémů měření a ověřování jejich způsobilosti.

V současném vývoji managementu jakosti význam plánování jakosti neustále narůstá a jeho aktivity významně rozhodují o konkurenceschopnosti firem. Podstatná část aktivit plánování jakosti se realizuje v předvýrobních etapách a jejich cílem je zajistit potřebnou jakost navrhovaných produktů a procesů. Pro tyto aktivity se používá souhrnné označení „plánování jakosti produktů“. Plánování jakosti produktů zahrnuje všechny aktivity managementu jakosti v předvýrobních etapách od návrhu jakosti produktu přes návrh procesu a ověření jeho způsobilosti až po průběh ověřovací výroby.

V minulosti se za rozhodující etapu z hlediska jakosti konečného produktu považovala vlastní výroba. V současné době se již všeobecně uznává, že o výsledné jakosti produktu se až z osmdesáti procent rozhoduje již v předvýrobních etapách, tedy v průběhu plánování jakosti produktů. V jeho průběhu se vytváří koncepce budoucího produktu a přijímají se zásadní rozhodnutí, která rozhodují o tom, zda produkt splní požadavky zákazníka, bude konkurenceschopný a zajistí výrobci přiměřený zisk.

Vysoký vliv předvýrobních etap na výslednou jakost produktů souvisí se skutečností, že v těchto etapách vzniká mnohem více chyb (neshod) než ve fázích realizace. Logické by tedy bylo, věnovat v těchto etapách maximální pozornost identifikaci a eliminaci těchto neshod. Intenzita odstraňování vzniklých chyb (neshod) je ale doposud v předvýrobních etapách malá a výrazněji narůstá až ve fázi výroby a užití.

Velice důležitým argumentem na podporu aktivit plánování jakosti produktů je ekonomické hledisko. Obecně platí, že čím v ranějších fázích životního cyklu produktu se podaří vzniklé neshody odhalit, tím nižší výdaje je potřeba vynaložit na jejich odstranění. Některé praktické zkušenosti ukazují, že výdaje spojené s odstraněním neshody ve fázi návrhu mohou být až desetkrát nižší než výdaje spojené s odstraněním neshody zjištěné ve výrobě, stokrát nižší než výdaje na odstranění neshody zjištěné před expedicí vyrobené dávky výrobků a tisíckrát nižší než výdaje na odstranění neshody, která se dostane až k zákazníkovi (tzv. pravidlo deseti). Přesto je pořád ještě častým jevem, že na plánování jakosti produktu „není

dostatek peněz nebo času“, ale pak musí být dostatek peněz i času na mnohem nákladnější odstraňování problémů, které se vyskytnou ve fázi realizace.

Na základě uvedených skutečností lze význam plánování jakosti produktů shrnout do těchto základních bodů:

- Plánování jakosti produktů zásadním způsobem rozhoduje o spokojenosti zákazníků.
- Plánováním jakosti produktů se předchází vzniku neshod při realizaci produktu a jeho užívání.
- V předvýrobních etapách, ve kterých se plánování jakosti produktů realizuje, vzniká nejvíce chyb (neshod).
- Odstraňování neshod v průběhu plánování jakosti produktu vyžaduje jen zlomek nákladů nezbytných k odstraňování neshod v průběhu realizace a užívání produktu.
- Správná realizace plánování jakosti produktů je důležitým atributem konkurenceschopnosti organizace.
- Uplatňováním metod a postupů plánování jakosti organizace prokazuje, že využila všech prostředků k prevenci neshod a dosažení spokojenosti zákazníků, a tak zvyšuje důvěru zákazníků k produktům organizace.

Shrnutí pojmů z části 1.1

Plánování jakosti (plánování kvality) je část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikování procesů nezbytných pro provoz a souvisejících zdrojů pro splnění cílů jakosti

Otázky vztahující se k části 1.1

1. Jak lze charakterizovat plánování jakosti?
2. Jaké aktivity zahrnuje plánování jakosti?
3. Co se označuje jako pravidlo deseti?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1

1.2 Plán jakosti

Čas ke studiu: 60 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit co je to plán jakosti a situace pro jeho použití
- Popsat důležité vstupy pro tvorbu plánu jakosti
- Vysvětlit hlavní procesy tvorby plánu jakosti
- Popsat doporučený obsah plánu jakosti podle ČSN ISO 10005:2006

Výklad

Plán jakosti (plán kvality) je definován jako „dokument, v němž je specifikováno, které procesy, postupy a související zdroje budou použity ke splnění požadavků na specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu (tzv. specifický případ), kdo je použije a kdy se použijí“. Plán jakosti má být v souladu se všemi ostatními požadavky systému managementu jakosti organizace a má zajistit splnění specifikovaných požadavků. Plán jakosti může být součástí většího celkového plánu.

Plán jakosti v podstatě představuje „příručku jakosti“ pro konkrétní specifický případ. Potřeba zpracování plánů jakosti nastává zejména v těchto situacích:

- Při vývoji a validaci nových produktů nebo procesů
- Při Interním či externím prokazování, jak budou plněny požadavky na kvalitu
- Při organizování a řízení činností zaměřených na plnění požadavků na kvalitu
- Při optimalizaci využívání zdrojů při plnění požadavků na kvalitu
- V případě požadavku legislativy nebo zákazníků.

S požadavkem zákazníků na zpracování a předložení plánu jakosti se lze setkat zejména v případech, kdy organizace nemá zaveden systém managementu jakosti nebo v případech, kdy se požadované postupy managementu jakosti výrazně odlišují od běžně používaných postupů.. V případě organizací, které mají zavedený systém jakosti, by plány jakosti měly vytvářet mechanismus propojení specifických požadavků na daný projekt, produkt, proces nebo smlouvu s existujícími postupy generického (obecného) systému jakosti. Vypracování plánu jakosti v tomto případě tedy představuje propojení základních postupů systému managementu jakosti (formou odkazů) s postupy specifikovanými pro daný specifický případ.

Plánům jakosti je věnována samostatná mezinárodní norma ČSN EN ISO 10005:2006, která je zpracována jako směrnice pro vypracování, přezkoumávání, přijímání, uplatňování a revidování plánů kvality pro proces, produkt, projekt nebo smlouvu, která je využitelná pro všechny kategorie produktů a jakékoliv odvětví.

1.2.1 Plány jakosti podle ČSN ISO 10005:2006

Příslušná norma uvádí doporučení pro vývoj plánu jakosti, jeho obsah a jeho přezkoumání, přijetí, uplatňování a revizi.

Vývoj plánu jakosti

Důležitými vstupy pro vývoj plánu jakosti jsou:

- Požadavky spojené se specifickým případem
- Požadavky vyplývající z legislativy
- Požadavky vyplývající ze systému managementu jakosti organizace
- Posouzení rizik spojených se specifickým případem
- Požadavky na zdroje a jejich dostupnost
- Informace o potřebách zainteresovaných stran
- Ostatní související plány jakosti a jiné plány.

Plán jakosti by měl být zpracováván v týmu. Jednotlivé zásady a postupy managementu jakosti specifického případu jsou uvedeny buď přímo nebo formou odkazu na existující řízené dokumenty. Forma a a míra podrobnosti plánu jakosti

mají být v souladu s jeho předmětem a potřebami uživatelů, přičemž je potřeba zajistit kompatibilitu s jinými plány.

Plán jakosti může mít podobu textu, tabulky, vývojového diagramu apod. Může být rozdělen do několika dokumentů (např. podle dílčích procesů), ale rovněž může být zahrnut do jiného dokumentu.

Předmět a rozsah plánu jakosti bude záviset na procesech a znacích jakosti specifického případu, požadavcích na zahrnutí procesů, které se specifickým případem přímo nesouvisejí a míře opory v dokumentovaném systému managementu jakosti. Předmět by měl být vymezen tak, ať nedochází k duplicitám.

Obsah plánu jakosti

Obsah plánu jakosti může mít následující strukturu, přičemž uváděné součásti nejsou ani vyčerpávající ani omezující:

Předmět - konstatování účelu, vymezení použitelnosti, podmínky platnosti

Vstupy pro plán jakosti - uvedení odkazů na vstupní dokumenty usnadní kontrolu plánu jakosti a jeho přezkoumání při změnách vstupních dokumentů

Cíle jakosti - plán jakosti má stanovit cíle jakosti daného specifického případu a způsob jejich dosažení

Odpovědnosti managementu - mají být stanoveny odpovědnosti, např.:

- za stanovení sledu a vzájemného působení procesů daného specifického případu
- za sdělování požadavků všem dotčeným útvarům
- za schvalování žádostí o výjimku z požadavků
- za kontrolování opatření k nápravě a preventivních opatření
- za přezkoumávání a schvalování změn plánu kvality.

Řízení dokumentů a údajů – mělo by být stanoveno:

- jak budou dokumenty a údaje identifikovány

- kdo bude dokumenty a údaje přezkoumávat a schvalovat
- komu budou dokumenty rozdělovány
- jak lze k dokumentům a údajům získat přístup.

Řízení záznamů – mělo by být stanoveno:

- jak, kde a jak dlouho budou uchovávány záznamy
- na jakých nosičích budou záznamy uchovávány
- jak bude zajištěna jejich čitelnost, dostupnost, důvěrnost apod.
- které záznamy budou předávány zákazníkovi, kdy a jak
- v jakém jazyce budou záznamy pořizovány
- způsob likvidace záznamů.

Zdroje – měly by být určeny druhy a množství potřebných zdrojů, například.:

- specifikace materiálů (např. odkaz na normy)
- potřebná odborná způsobilost pracovníků
- potřeba výcviku pracovníků
- potřebná infrastruktura a pracovní prostředí.

Požadavky - měly by být uvedeny požadavky, které u daného specifického případu mají být splněny (případně odkaz) a kdo, kdy a jak bude požadavky přezkoumávat a jak budou řešeny rozpory.

Komunikace se zákazníkem – mělo by být stanoveno:

- kdo v definovaných případech odpovídá za komunikaci se zákazníkem
- jaké komunikační prostředky budou použity
- které záznamy komunikace je třeba vést
- jak se má postupovat při obdržení stížnosti zákazníka.

Návrh a vývoj – pokud je součástí specifického případu návrh a vývoj, měly by být uvedeny tyto informace:

- plán návrhu a vývoje (případně odkaz)
- kritéria pro schvalování vstupů pro návrh a vývoj

- kdy bude prováděno přezkoumání, ověřování a validace návrhu
- postup řízení změn návrhu a vývoje (kdo může iniciovat žádost o změnu, řízení žádosti, přezkoumávání, schvalování změn, ověřování zavedení změn).

Nakupování - plán jakosti by měl stanovit:

- rozhodující (kritické) znaky nakupovaných produktů
- metody hodnocení, výběru a kontroly dodavatelů
- požadavky a odkazy na plány jakosti dodavatelů
- způsoby ověřování shody nakupovaných produktů
- zařízení a služby, které budou zajištěny formou subdodávek.

Výroba a poskytování služeb – v této oblasti by plán jakosti měl například definovat:

- kroky procesů
- dokumentované postupy a instrukce
- technologie, zařízení, nástroje a metody, které mají být použity
- požadované řízené podmínky pro plnění plánovaných činností
- metody řízení procesů (např. SPC)
- údaje o potřebné kvalifikaci osob
- kritéria jakosti produktu
- požadavky legislativy
- způsob instalace nebo uvedení do provozu
- způsob zajištění služeb po dodání.

Identifikace a sledovatelnost - pokud se požaduje sledovatelnost, má být stanoven její rozsah, včetně způsobu identifikace produktů. Rovněž by mělo být uvedeno, jaké záznamy týkající se požadavků na sledovatelnost budou pořizovány a jaké metody budou použity pro identifikaci stavu kontroly a zkoušení produktů.

Majetek zákazníka – v případě, že při realizaci specifického případu je využíván majetek zákazníka, měl by plán jakosti stanovit:

- způsob identifikace a zacházení s produkty, které poskytl zákazník
- metody k ověření produktů zákazníka
- způsob řízení neshodných produktů dodaných zákazníkem atd.

Ochrana produktu - požadavky na manipulaci, skladování, balení a dodávání.

Řízení neshodných produktů - jak bude neshodný produkt identifikován a řízen.

Monitorování a měření – plán jakosti by měl definovat:

- způsoby monitorování a měření procesů a produktů
- postupy vyhodnocení a přejímací kritéria
- kontroly, které mají být prováděny orgány státní správy nebo zákazníky nebo v jejich přítomnosti
- kontroly nebo zkoušky třetí stranou apod.

Audity - v plánu jakosti by měl být stanoven rozsah auditů a způsob využití jejich výsledků. Plánované audity slouží například k těmto účelům:

- monitorování uplatňování a efektivnosti plánů jakosti
- monitorování plnění požadavků
- dohled nad dodavateli organizace.

Přezkoumání, přijetí, uplatňování a revize plánu kvality

Přezkoumání a přijetí plánu jakosti se obvykle realizuje ve dvou fázích. V první fázi probíhá interní přezkoumání plánu z hlediska přiměřenosti a efektivnosti a schválení oprávněnou osobou nebo skupinou osob, ve druhé fázi pak přezkoumání a přijetí zákazníkem dle podmínek smluvního vztahu.

Po schválení plánu jakosti by měla následovat jeho distribuce a výcvik pracovníků k jeho používání. Při realizaci specifického případu se pak monitoruje shoda prováděných činností s postupy definovaným v plánu jakosti.

Zpracovaný plán jakosti by měl zůstat „živým“ dokumentem. V případě potřeby jakýchkoliv změn, například při změně vstupů nebo při zavádění schválených zlepšení, by měl být podroben revizi a aktualizován.

Shrnutí pojmů z části 1.2

Plán jakosti (plán kvality) je dokument, v němž je specifikováno, které procesy, postupy a související zdroje budou použity ke splnění požadavků na specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu (tzv. specifický případ), kdo je použije a kdy se použijí

Otázky vztahující se k části 1.2

1. K čemu slouží plán jakosti?
2. V jakých situacích se plány jakosti nejčastěji zpracovávají?
3. Jaké vstupy se využívají při zpracování plánu jakosti?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. ČSN ISO 10005 Systémy managementu kvality. – Směrnice pro plány kvality. Praha: ČSNI, 2006

1.3 Plán kontroly a řízení

Čas ke studiu: 40 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat plán kontroly a řízení a důležité vstupy pro jeho tvorbu
- Vysvětlit obsah plánu kontroly a řízení

Výklad

Důležitou součástí plánování jakosti produktů je plánování kontroly znaků jakosti produktu nebo parametrů procesu s cílem optimálně řídit proces realizace produktu a ověřovat dosahovanou jakost produktů. Dokument, který definuje systém kontroly a řízení produktů a procesů se označuje jako plán kontroly a řízení (Control Plan).

Plán kontroly a řízení lze charakterizovat jako dokument definující systém kontroly a řízení produktů a procesů. Bývá důležitou součástí plánů jakosti, neboť stanovuje co, kdy, kde, jak a jak často se má kontrolovat a řídit. Zpracování plánů kontroly a řízení je požadováno systémovým standardem pro dodavatele automobilového průmyslu (ISO/TS 16949). Plán kontroly a řízení je jedním z důkazů o připravenosti dodavatele k zahájení sériové výroby, které jsou vyžadovány v rámci procesu schvalování dílů pro sériovou výrobu (PPAP, PPF). Metodika pro plány kontroly a řízení je součástí pokročilého plánování jakosti produktů (APQP – Advanced Product Quality Planning and Control Plan), které se uplatňuje v oblasti automobilového průmyslu v rámci standardu QS-9000.

Plán kontroly a řízení může být zpracován pro skupinu produktů vyráběných stejným procesem. Měl by být „živým“ dokumentem, který reaguje na aktuální stav vývoje jakosti produktů a měl by být aktualizován spolu s používanými systémy měření a se zlepšováním používaných kontrolních postupů

Zpracování a uplatňování plánů kontroly a řízení vede ke snížení ztrát a ke zlepšení jakosti produktů v průběhu návrhu, výroby a montáže. Příprava těchto plánů umožňuje soustředit dostupné zdroje na ty znaky produktu a procesu, které jsou pro zákazníka důležité.

Podle účelu použití se obvykle rozlišují tři typy plánů kontroly a řízení:

- prototypový
- předvýrobní
- výrobní.

Prototypový kontrolní plán definuje kontroly, zkoušky a měření, které budou prováděny v průběhu výroby a zkoušení prototypu. Předvýrobní plán kontroly a řízení

(plán kontroly a řízení pro ověřovací sérii) stanovuje kontrolní postupy, které budou aplikovány v průběhu ověřovací výroby. Výrobní plán kontroly a řízení (plán kontroly a řízení pro sériovou výrobu) pak stanovuje kontrolní postupy, které budou aplikovány v průběhu sériové výroby.

Plán kontroly a řízení by měl být zpracován týmem složeným z odborníků z různých útvarů. Důležitými vstupními podklady jsou například (viz obr. 1.1):

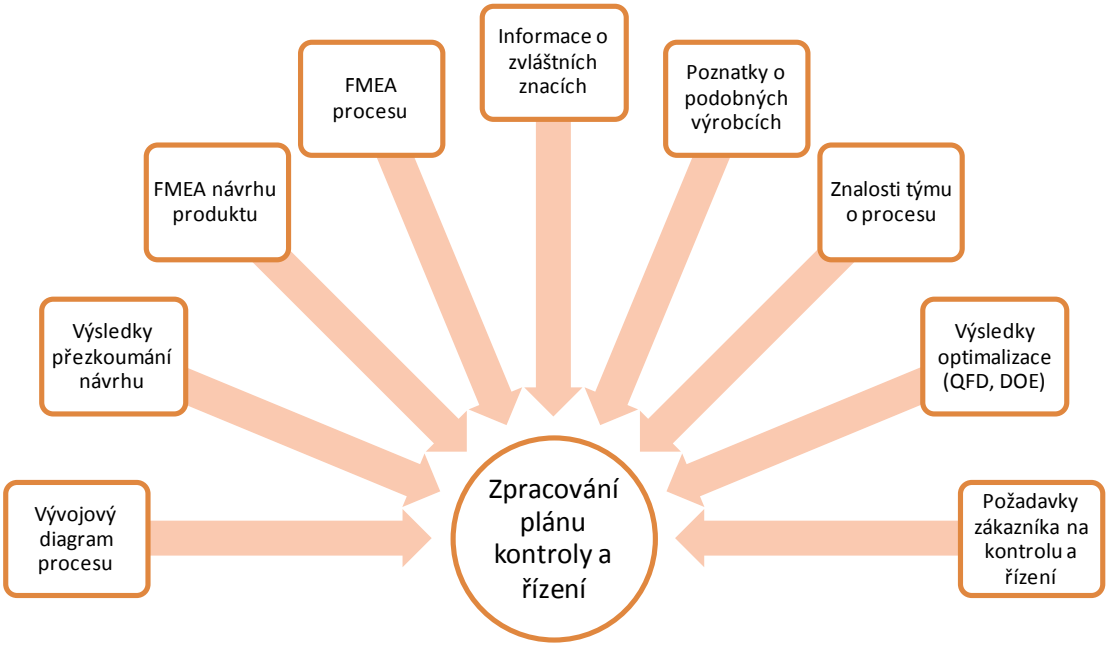
- vývojový diagram procesu
- výsledky přezkoumání návrhu
- FMEA návrhu produktu
- FMEA procesu
- zvláštní znaky
- poznatky o podobných výrobcích
- znalosti týmu o procesu
- výsledky přezkoumání návrhu
- výsledky aplikace optimalizačních metod (QFD, DOE atd.).

Struktura plánu kontroly a řízení je uvedena na obr. 1.2. Jeho jednotlivé součásti jsou vysvětleny v následujícím textu.

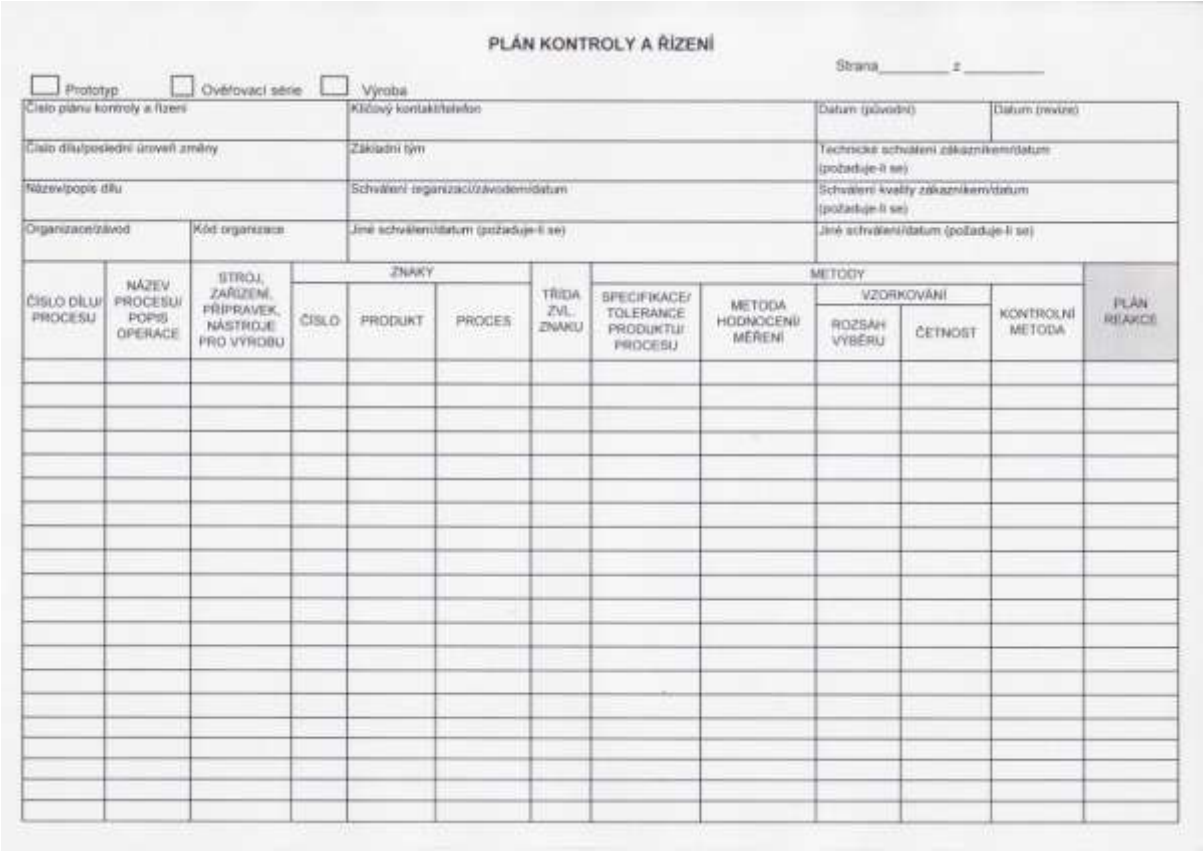
Číslo dílu/procesu – uváděné číslo obvykle odkazuje na vývojový diagram procesu nebo na označení jednotlivých dílů.

Název procesu/popis operace – uvádí se název procesu použitý ve vývojovém diagramu procesu.

Stroj, zařízení, přípravek, nástroje pro výrobu – u každé popisované operace se podle vhodnosti identifikuje používané výrobní zařízení.



Obr. 1.1: Vstupy pro zpracování plánu kontroly a řízení



PLÁN KONTROLY A ŘÍZENÍ

Strana _____ z _____

☐ Prototyp ☐ Ověřovací série ☐ Výroba

Číslo plánu kontroly a řízení	Klíčový kontakt/telefon	Datum (původní)	Datum (revize)
Číslo dílu/poslední úroveň změny	Základní tým	Technické schválení zákazníkem/datum (požaduje-li se)	
Název/popis dílu	Schválení organizací/závodem/datum	Schválení kvality zákazníkem/datum (požaduje-li se)	
Organizace/závod / Kód organizace	Jiné schválení/datum (požaduje-li se)	Jiné schválení/datum (požaduje-li se)	

ČÍSLO DÍLU/ PROCESU	NÁZEV PROCESU/ POPIS OPERACE	STROJ, ZAŘÍZENÍ, PŘÍPRAVEK, NÁSTROJE PRO VÝROBU	ZNAKY			TŘÍDA ZVL. ZNAKU	METODY					PLÁN REAKCE
			ČÍSLO	PRODUKT	PROCES		SPECIFIKACE/ TOLERANCE PRODUKTU/ PROCESU	METODA HODNOCENÍ/ MĚŘENÍ	VZORKOVÁNÍ		KONTROLNÍ METODA	
									ROZSAH VÝBĚRU	ČETNOST		

Obr. 1.2.: Struktura plánu kontroly a řízení

Znaky: číslo – uvede se číselné označení kontrolovaného znaku produktu nebo procesu.

Znaky: produkt – uvede se kontrolovaný znak produktu.

Znaky: proces – uvede se kontrolovaný znak (parametr) procesu. Mělo by se jednat zejména o ty parametry procesu, které je nutné řídit, aby se minimalizovala variabilita produktu.

Klasifikace zvláštního znaku – uvede se případné zařazení kontrolovaného znaku mezi zvláštní znaky. Jedná se obvykle o znaky, které ovlivňují bezpečnost, soulad s předpisy nebo jsou pro daný produkt nebo proces rozhodující. Zvláštní znaky obvykle definuje zákazník, výrobce může, na základě zkušeností, jejich spektrum rozšířit.

Specifikace/tolerance produktu/procesu – uvedou se toleranční meze kontrolovaného znaku .

Metoda hodnocení/měření – uvede se systém měření, který bude použit pro získání údajů o kontrolovaném znaku (např. mikrometr, vizuální kontrola, test zapojení atd.).

Vzorkování: rozsah výběru – v případě, že se provádí výběrová kontrola, uvede se rozsah výběru.

Vzorkování: četnost - v případě, že se provádí výběrová kontrola, uvede se četnost kontroly (např. co dvě hodiny, po každém stu vyrobených kusů apod.).

Kontrolní metoda - uvede se, jak se bude daná operace kontrolovat a řídit (např. SPC – regulační diagram $\bar{x}, R$, kontrolní seznam, ověření seřízení apod.)

Plán reakce – uvedou se nápravná opatření, která je potřeba realizovat v případě, že zjištěná hodnota kontrolovaného znaku neodpovídá předepsaným tolerancím. Přitom by měly být stanoveny podmínky pro dokumentování přijatých opatření. Je vhodné rovněž uvést osobu odpovědnou za plán reakce.

Tvorba a struktura plánu jakosti je prezentována v animaci 1 „Plán kontroly a řízení“. Příklad plánu kontroly a řízení je uveden na obr. 1.3.

PLÁN KONTROLY A ŘÍZENÍ

Strana _____ z _____

☐ Prototyp ☐ Ověřovací série ☑ Výroba

Číslo plánu kontroly a řízení	Klíčový kontakt/telefon	Datum (původní)	Datum (revize)
001	J. Davis/313-555-5555	2008-01-26	2008-02-02
Číslo dílu/poslední úroveň změny	Základní tým	Technické schválení zákazníkem/datum (požaduje-li se)	
2252121\G 11-2-02	Tým pro vývoj produktu E01 - viz seznam		
Název/popis dílu	Schválení organizací/závodem/datum	Schválení kvality zákazníkem/datum (požaduje-li se)	
Mřížka chladiče, lisovaná vstřikováním			
Organizace/závod / Kód organizace	Jiné schválení/datum (požaduje-li se)	Jiné schválení/datum (požaduje-li se)	
4-B Grill Co, závod č. 3 / 123			

ČÍSLO DÍLU/ PROCESU	NÁZEV PROCESU/ POPIS OPERACE	STROJ, ZAŘÍZENÍ, PŘÍPRAVEK, NÁSTROJE PRO VÝROBU	ZNAKY č.	ZNAKY PRODUKT	ZNAKY PROCES	TŘÍDA ZVL. ZNAKU	METODY SPECIFIKACE/ TOLERANCE PRODUKTU/ PROCESU	METODY METODA HODNOCENÍ/ MĚŘENÍ	METODY VZORKOVÁNÍ ROZSAH VÝBĚRU	METODY VZORKOVÁNÍ ČETNOST	METODY KONTROLNÍ METODA	PLÁN REAKCE
3	Vstřikování	Lis č. 15	18	Vzhled		*	Bez vzhledových vad	Vizuální kontrola	100%	Průběžně	100% kontrola	Uvědomit kontrolora
				Bez vzhledových vad			Stopy po vtoku	Odebrání 1. kusu			Kontrolní seznam	Nastavení/ opakovaná kontrola
							Stopy vyhazovače	Odebrání 1. kusu		Odebrání z každé operace	Kontrolní seznam	Nastavení/ opakovaná kontrola
		Lis č. 15	19	Poloha montážních otvorů		*	Umístění otvoru "X"	Přípravek č.10	1. kus		Kontrolní seznam	Nastavení/ opakovaná kontrola
							(25 ± 1) mm		6. kusů	Každou hodinu	Diagram x-R	Izolace a nastavení
		Lis č. 15	20	Rozměr		*	Mezera (3 ± 6) mm	Přípravek č. 10	1. kus	Odebrání z každé operace	Kontrolní seznam	Nastavení a opakovaná kontrola
		Přípravek č. 10	21	Obvodové lisování		*	Mezera (3 ± 6) mm	Kontrola mezery k umístění přípravku a	5 kusů	Každou hodinu	Diagram x-R	Izolace a nastavení
		Lis č. 15	22		Seřízení vstřikovacího lisu		Viz přiloženou seřizovací kartu	Přezkoumání seřizovací karty a seřízení lisu		Při každém seřízení	Odebrání 1. kusu	Nastavení a opakovaná kontrola
											Kontrolor ověřuje seřízení	

* Odkaz na specifické požadavky zákazníka

Obr. 1.3: Příklad plánu kontroly a řízení

Shrnutí pojmů z části 1.3

Plán kontroly a řízení lze charakterizovat jako dokument definující systém kontroly a řízení produktů a procesů.
Plán reakce je nápravné opatření které má být provedeno v případě, že se při kontrole zjistí hodnota mimo předepsané tolerance.

Otázky vztahující se k části 1.3

1. Charakterizujte plán kontroly a řízení.
2. Jaké informace jsou důležitými vstupy pro zpracování plánu kontroly a řízení?
3. Co se v plánu kontroly a řízení uvádí ve sloupci „Plán reakce“?.

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. APQP – Moderní plánování jakosti produktů. 2.vydání, Praha: Česká společnost pro jakost, 2008

2 PŘÍSTUPY K PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI PRODUKTŮ

2.1. Pokročilé plánování jakosti produktů (APQP)

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit metodiku pokročilého plánování jakosti produktů (APQP)
- Popsat jednotlivé vstupy a výstupy dílčích procesů APQP

Výklad

Úspěšnost plánování jakosti produktů výrazně ovlivňují používané metodické postupy. K těm nejpropracovanějším se v současné době řadí metodické postupy používané v oblasti automobilového průmyslu. Příkladem je metodika APQP (Advanced Product Quality Planning and Control Plan), jejíž název lze přeložit jako „Zdokonalené (pokročilé, moderní) plánování jakosti produktu a kontrolní plán“. Tato metodika byla společně vyvinuta firmami Chrysler, Ford a General Motors v rámci standardu QS-9000.

Plánování jakosti produktu je v této metodice charakterizováno jako „strukturovaná metoda definování a zavedení kroků nutných k zabezpečení spokojenosti zákazníka s výrobkem“. Jsou přitom zdůrazněny tyto hlavní přínosy plánování jakosti výrobku:

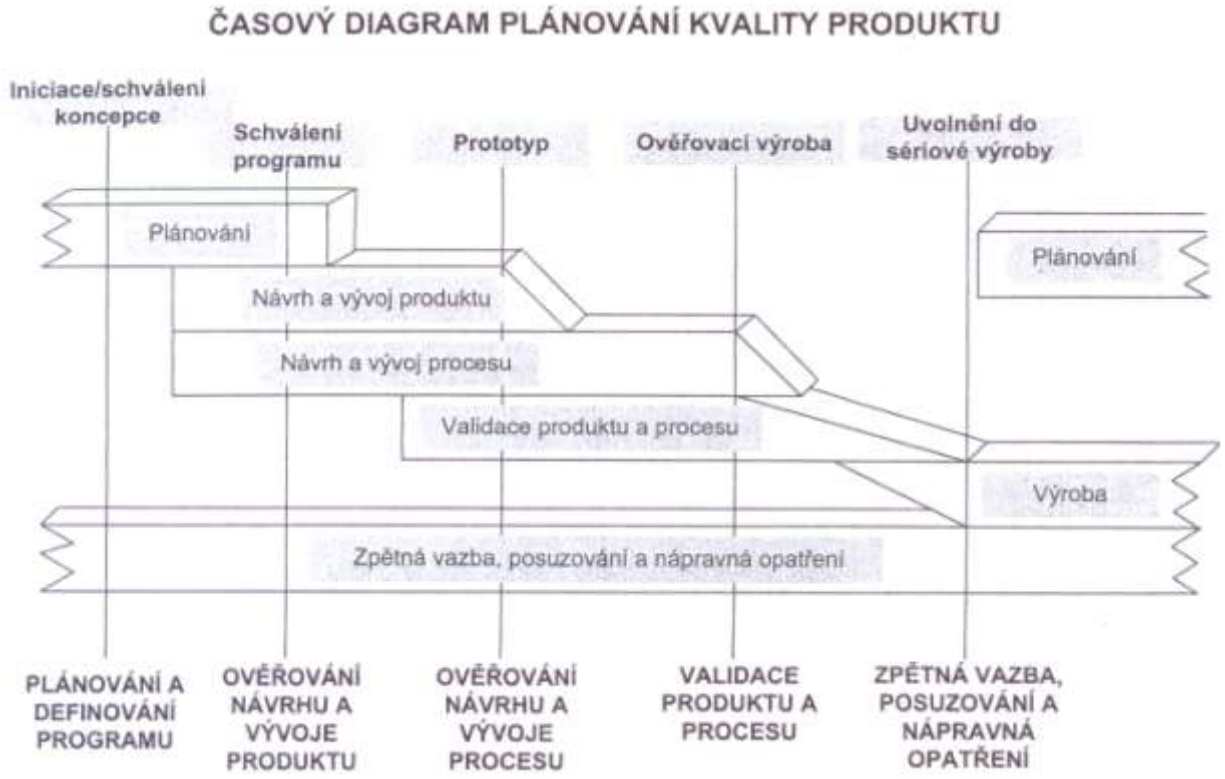
- orientuje zdroje na uspokojování zákazníka;
- podporuje včasné odhalení potřebných změn (koncepce včasné výstrahy);
- předchází pozdějším změnám;
- pomáhá vytvářet výrobky dobré jakosti včas a s nejnižšími náklady.

Používání metodiky APQP vede ke zjednodušení plánování jakosti výrobku a usnadňuje komunikaci se subdodavateli. Ověření správnosti realizace jednotlivých aktivit umožňují kontrolní seznamy otázek.

Plánování jakosti produktu je v metodice APQP rozděleno do pěti vzájemně se překrývajících fází (viz obr. 2.1):

1. Plánování a definování programu.
2. Návrh a vývoj produktu.
3. Návrh a vývoj procesu.
4. Validace produktu a procesu.
5. Vyhodnocení zpětné vazby a nápravná opatření.

Jednotlivým fázím předchází přípravná fáze, ve které je potřeba zajistit výcvik pracovníků, kteří budou zapojeni do plánování jakosti produktu, a vytvořit meziútvarový tým plánování jakosti produktu. Členy týmu by měli být kromě zástupců útvaru řízení jakosti rovněž zástupci útvaru návrhu a vývoje, konstrukce, výroby, technické kontroly, zásobování, prodeje, servisu, subdodavatelů, zákazníků apod.



Obr. 2.1: Průběh plánování jakosti produktu postupem APQP.

Důležitou součástí přípravné fáze je definování oblasti působnosti týmu, stanovení způsobu komunikace s jinými týmy zákazníka a dodavatele, stanovení harmonogramu plánování jakosti produktu a vymezení potřebných nákladů.

Náplň jednotlivých fází plánování jakosti produktu je uvedena prostřednictvím stručné charakteristiky doporučených rozhodujících vstupů a výstupů. Průběh

plánování jakosti produktu postupem APQP a příslušné vstupy a výstupy jsou prezentovány v animaci 2a Pokročilé plánování jakosti produktu (APQP).

Plánování (plánování a definování programu)

Tato počáteční fáze plánování jakosti produktu by měla zajistit plné pochopení požadavků a očekávání zákazníka. Všechny aktivity musí být prováděny s ohledem na zákazníka a s cílem poskytnout lepší produkty a služby než konkurence.

Vstupy:

- **Hlas zákazníka**

Hlas zákazníka vytvářejí informace získané od vnějších a vnitřních zákazníků. Při shromažďování těchto informací lze využít například:

  - průzkum trhu
  - historické údaje o jakosti a záručních činnostech
  - zkušenosti týmu.

- **Podnikatelský plán a marketingová strategie**

Podnikatelský plán a marketingová strategie stanovují určitá omezení, která mohou ovlivnit plánování jakosti produktu (např. náklady, harmonogram, zdroje na vědu a výzkum atd.). Marketingová strategie definuje cílového zákazníka, hlavní prodejní místa a hlavní konkurenty.

- **Benchmarkové údaje o produktu a procesu**

Aplikace benchmarkingu poskytne důležité údaje pro stanovení cílových parametrů produktu a procesu.

- **Předpoklady produktu a procesu**

Mezi vstupy je potřeba zahrnout předpokládané vlastnosti produktu či procesu (například uplatnění technických inovací, moderních materiálů, nových technologií).

- **Studie spolehlivosti produktu**

Důležitými vstupními údaji jsou výsledky zkoušek spolehlivosti a informace o potřebě oprav nebo náhrad součástí.

- **Vstupy od zákazníka**

Cenné informace o svých potřebách a očekáváních mohou poskytnout budoucí uživatelé produktu. Tyto informace by měly být využity při tvorbě kritérií hodnocení spokojenosti zákazníků.

Výstupy:

- **Cíle návrhu**

Cíle návrhu jsou překladem hlasu zákazníka do předběžných měřitelných cílů návrhu. Jejich správné stanovení zajišťuje, aby se v následujících činnostech návrhu a vývoje neztratil hlas zákazníka.

- **Cíle spolehlivosti a jakosti**

Tyto cíle vycházejí z požadavků a očekávání zákazníků a porovnání s konkurencí a měly by být orientovány na trvalé zlepšování.

- **Předběžný rozpis materiálu**

Tým by měl zpracovat předběžný rozpis materiálu. Jeho součástí by měl být i předběžný seznam subdodavatelů.

- **Předběžný vývojový diagram procesu**

Předpokládaný výrobní proces by měl být popsán pomocí vývojového diagramu.

- **Předběžná identifikace zvláštních znaků produktu a procesu**

Na základě podkladů od zákazníka a na základě znalostí dodavatele o produktu a procesu mají být stanoveny zvláštní znaky produktu a procesu, které budou vyžadovat speciální pozornost.

- **Plán zabezpečování produktu**

Tento plán překládá cíle návrhu do požadavků na návrh. Měl by obsahovat například vymezení hlavních požadavků programu, cíle v oblasti spolehlivosti, posouzení požadavků na nové technologie, materiály, prostředí, balení atd. Rozsah plánu zabezpečování produktu závisí na potřebách, očekáváních a požadavcích zákazníka.

- **Podpora vedení**

Jako jeden z výstupů této fáze a dalších fází je uvedena „Podpora vedení“ (Management Support) , kterou lze chápat jako „Informování vedení o dosažených výsledcích a získání jeho podpory“. Je to jeden z klíčových faktorů úspěšnosti práce týmu plánování jakosti produktu. Tým by měl po ukončení každé fáze plánování jakosti výrobku (dle potřeby i častěji) vedení oficiálně informovat o dosažených výsledcích. Cílem je prokázat, že všechny požadavky na plánování byly splněny a všechny zbylé problémy dokumentovány a naplánováno jejich řešení. Výsledkem by mělo být přijetí těchto výsledků vedením a získání jeho podpory (uvolnění k návrhu a vývoji produktu).

Návrh a vývoj produktu

V této fázi má proces plánování jakosti produktu zajistit podrobné a kritické přezkoumání technických požadavků. Tým plánování jakosti produktu by měl vzít v úvahu všechny faktory návrhu, a to i v případě, že se jedná o návrh zákazníka nebo o společný návrh. Vstupy do této fáze odpovídají výstupům z fáze „Plánování a definování programu“. Výstupy jsou rozděleny na výstupy návrhu a na výstupy APQP.

Výstupy:

a) výstupy návrhu

- **FMEA návrhu produktu**

Aplikací metody FMEA návrhu produktu se analyzují možné vady navrženého produktu a jejich rizika s cílem navrhnout vhodná opatření ke zlepšení jakosti návrhu.

- **Posouzení technologičnosti návrhu**

Zajištění technologičnosti návrhu (konstrukce) je procesem optimalizace vztahu mezi funkcí navrhovaného produktu a jeho vyrobitelností a snadností montáže. Při této optimalizaci by tým plánování jakosti měl zvažovat například citlivost na variabilitu výrobních podmínek, tolerance rozměrů, počet součástí, manipulaci s materiálem apod.

- **Ověřování návrhu**

Ověřováním návrhu se potvrzuje, že návrh produktu splňuje požadavky zákazníka stanovené ve fázi „Plánování a definování programu“.

- **Přezkoumání návrhu**

Přezkoumání návrhu probíhá na plánovaných schůzkách a musí se ho zúčastnit všechny dotčené útvary. Přezkoumání návrhu má preventivní charakter a mělo by vycházet například z posouzení plnění konstrukčních a funkčních požadavků, požadavků na spolehlivost, doby životnosti součástí, subsystémů a systému, počítačových simulací a výsledků srovnávacích testů, analýzy FMEA atd..

- **Výroba prototypu – prototypový kontrolní plán**

Výroba prototypu poskytuje týmu plánování jakosti produktu a zákazníkovi vynikající příležitost pro hodnocení, jak dobře navrhovaný výrobek splňuje cíle vyplývající z hlasu zákazníka. Důležitým výstupem je prototypový kontrolní plán, který představuje plán potřebných měření a kontrol prototypu a jeho součástí a procesů v průběhu výroby prototypu.

- **Technické výkresy**

Tým plánování jakosti výrobku má přezkoumat, zda výkresy obsahují dostatečné informace o rozměrech a dalších parametrech jednotlivých částí. Výkresy mohou obsahovat zvláštní (zákonem či bezpečnostními předpisy stanovené) znaky, které je nutné zařadit do kontrolního plánu. Jasně mají být stanoveny kontrolní plochy a důležité body, aby mohla být navržena vhodná měřidla a přípravky. Rozměry uváděné na výkresech by měly být posouzeny z hlediska vyrobitelnosti a kompatibility s normami pro výrobu a měření.

- **Technické specifikace**

Detailní přezkoumání a pochopení rozhodujících technických specifikací produktu pomáhá týmu plánování jakosti identifikovat požadavky na funkce, životnost a vzhled příslušné součásti nebo sestavy. Není-li uveden způsob ověřování těchto specifikací, například velikosti výběru, četnosti vzorkování a kritéria přijatelnosti, je potřeba ho stanovit a zahrnout do kontrolního plánu.

- **Materiálové specifikace**

Mají být přezkoumány specifikace materiálu s ohledem na hodnoty zvláštních znaků, týkajících se fyzikálních vlastností, provedení, prostředí, manipulace a požadavků na skladování. Tyto znaky by rovněž měly být zahrnuty do kontrolního plánu.

- **Změny výkresů a specifikací**

Jsou-li požadovány změny výkresů a specifikací musí tým bez prodlení zajistit, aby byly projednány a řádně dokumentovány ve všech oblastech, které ovlivňují.

b) výstupy APQP

- **Požadavky na nové vybavení, nástroje a zařízení**

Tým plánování jakosti produktu by do harmonogramu měl zařadit požadavky na nová vybavení, nástroje a zařízení**.** Měl by zajistit, aby nová zařízení a nástroje byly způsobilé a byly dodány včas. Postup vybavování novým zařízením by měl být monitorován, aby bylo zajištěno jeho dokončení před zahájením zkušební výroby.

- **Zvláštní znaky produktu a procesu**

V návaznosti na předběžnou identifikaci zvláštních znaků zpracovanou ve fázi „Plánování a definování programu“ má tým plánování jakosti produktu v průběhu přezkoumání a vývoje návrhu dosáhnout konsensu a dokumentovat zvláštní znaky produktu a procesu.

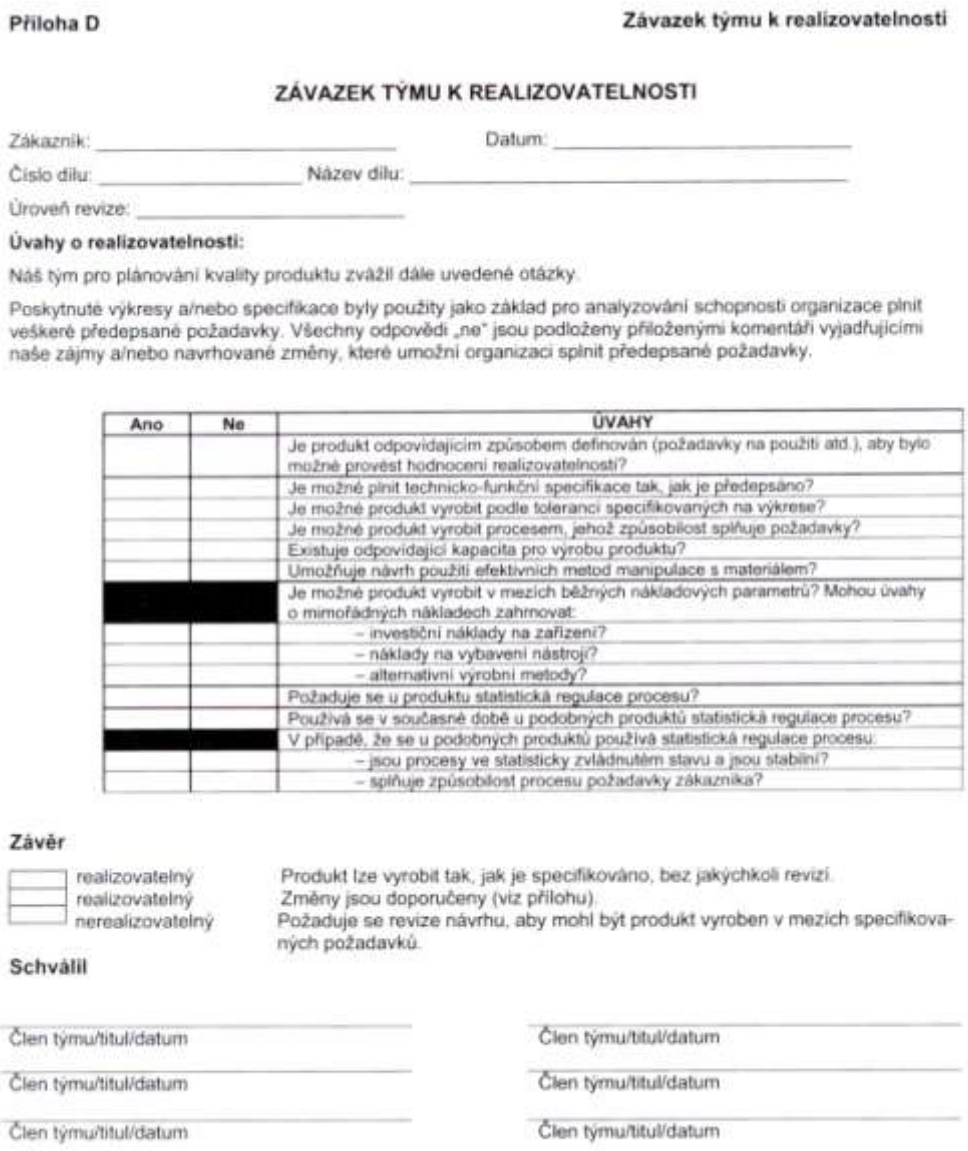
- **Požadavky na měřidla a zkušební zařízení**

Tým plánování jakosti produktu by měl stanovit požadavky na měřicí a zkušební zařízení a zahrnout jejich plnění do harmonogramu.

- **Závazné vyjádření týmu k proveditelnosti návrhu a podpora vedení**

Tým plánování jakosti produktu musí v této fázi posoudit proveditelnost návrhu a to i v případě, že návrh předložil zákazník. Musí se ujistit, že navrhovaný produkt lze vyrobit, montovat, zkoušet, balit, a v dostatečném množství, při přijatelných nákladech a v požadovaném termínu dodávat zákazníkovi. O dosaženém konsensu týmu o proveditelnosti návrhu by měl být zpracován záznam, podepsaný členy týmu, obsahující i všechny neuzavřené problémy, které je potřeba dořešit (viz obr. 2.2).

Výsledky by měly být prezentovány vedení za účelem získání jeho podpory (uvolnění k návrhu a vývoji procesu).



Příloha D **Závazek týmu k realizovatelnosti**

ZÁVAZEK TÝMU K REALIZOVATELNOSTI

Zákazník: _____ Datum: _____

Číslo dílu: _____ Název dílu: _____

Úroveň revize: _____

Úvahy o realizovatelnosti:

Náš tým pro plánování kvality produktu zvážil dále uvedené otázky.

Poskytnuté výkresy a/nebo specifikace byly použity jako základ pro analyzování schopnosti organizace plnit veškeré předepsané požadavky. Všechny odpovědi „ne" jsou podloženy přiloženými komentáři vyjadřujícími naše zájmy a/nebo navrhované změny, které umožní organizaci splnit předepsané požadavky.

Ano	Ne	ÚVAHY
		Je produkt odpovídajícím způsobem definován (požadavky na použití atd.), aby bylo možné provést hodnocení realizovatelnosti?
		Je možné plnit technicko-funkční specifikace tak, jak je předepsáno?
		Je možné produkt vyrobit podle tolerancí specifikovaných na výkrese?
		Je možné produkt vyrobit procesem, jehož způsobilost splňuje požadavky?
		Existuje odpovídající kapacita pro výrobu produktu?
		Umožňuje návrh použití efektivních metod manipulace s materiálem?
		Je možné produkt vyrobit v mezích běžných nákladových parametrů? Mohou úvahy o mimořádných nákladech zahrnovat:
		– investiční náklady na zařízení?
		– náklady na vybavení nástroji?
		– alternativní výrobní metody?
		Požaduje se u produktu statistická regulace procesu?
		Používá se v současné době u podobných produktů statistická regulace procesu?
		V případě, že se u podobných produktů používá statistická regulace procesu:
		– jsou procesy ve statisticky zvládnutém stavu a jsou stabilní?
		– splňuje způsobilost procesu požadavky zákazníka?

Závěr

☐ realizovatelný — Produkt lze vyrobit tak, jak je specifikováno, bez jakýchkoli revizí.

☐ realizovatelný — Změny jsou doporučeny (viz přílohu).

☐ nerealizovatelný — Požaduje se revize návrhu, aby mohl být produkt vyroben v mezích specifikovaných požadavků.

Schválil

Člen týmu/titul/datum — Člen týmu/titul/datum

Člen týmu/titul/datum — Člen týmu/titul/datum

Člen týmu/titul/datum — Člen týmu/titul/datum

Obr. 2.2: Vzor vyjádření týmu plánování jakosti produktu k proveditelnosti návrhu.

Návrh a vývoj procesu

Tato fáze se zabývá hlavními znaky vývoje výrobního systému, který musí zajistit splnění požadavků a očekávaní zákazníka. Vstupy do této fáze odpovídají výstupům z fáze „Návrh a vývoj produktu".

Výstupy:

- **Normy a specifikace pro balení**

Normy pro balení obvykle stanovuje zákazník, pokud ne, musí návrh balení zpracovat dodavatel. Ve všech případech musí návrh balení zajistit, že provedení produktu a jeho znaky se v průběhu balení, dopravy a rozbalování nebudou měnit. Balení by mělo vyhovovat všem zařízením pro manipulaci.

- **Přezkoumání systému managementu jakosti výrobního místa**

Tým plánování jakosti produktu by měl přezkoumat příručku jakosti místa výroby. Všechny kontroly a provedené změny postupů požadované pro realizaci produktu by měly být v příručce jakosti doplněny a rovněž by měly být zahrnuty do výrobního plánu kontroly a řízení. Je to příležitost ke zlepšení stávajícího systému managementu jakosti.

- **Vývojový diagram procesu**

Vývojový diagram procesu pomáhá týmu plánování jakosti analyzovat a optimalizovat navrhovaný proces. Je užitečný zejména při provádění FMEA procesu a při tvorbě plánu kontroly a řízení. Umožňuje analyzovat zdroje variability vyvolané výrobním zařízením, materiály, metodami a pracovníky v celém výrobním a montážním procesu.

- **Plán uspořádání výrobních prostorů**

Mělo by se zpracovat a přezkoumat uspořádání pracoviště, s cílem posoudit přijatelnost kontrolních stanovišť, vhodnost umístění regulačních diagramů, použitelnost vizuálních pomůcek, vhodnost míst pro průběžné opravy a vhodnost skladovacích prostorů pro neshodné produkty.

- **Matice znaků**

Pro analýzu vztahů mezi znaky výrobku a výrobními operacemi se doporučuje aplikovat maticový diagram, označovaný jako matice znaků. V matici znaků řádky představují jednotlivé znaky jakosti produktu (rozměry apod.) a sloupce jednotlivé výrobní operace. V buňkách matice se zvolenými symboly vyznačuje, zda se o daném znaku v dané operaci rozhoduje, případně zda je v dané operaci důležitý pro

správné upnutí nebo polohování součásti. Čím více vztahů má daný znak jakosti k výrobním operacím, tím důležitější je jeho kontrola.

- **FMEA procesu**

V rámci návrhu a vývoje procesu by měla být provedena FMEA procesu. Je to týmová analýza návrhu procesu, jež se provádí se s cílem identifikovat možné vady, které mohou vzniknout v průběhu výroby navrhovaného produktu a analyzovat a minimalizovat jejich rizika.

- **Plán kontroly a řízení pro ověřovací sérii (předvýrobní plán kontroly a řízení)**

Předvýrobní plán kontroly a řízení specifikuje kontroly, které budou prováděny po ověřování prototypu a před náběhem sériové výroby (zejména v průběhu ověřovací výroby). Účelem předvýrobního plánu kontroly a řízení je zajistit odhalení možných neshod v průběhu nebo před náběhem výroby, například pomocí rozsáhlejších mezioperačních a vstupních kontrol, vyšší četnosti kontrol, statistických hodnocení nebo zvýšeného počtu prověrek.

- **Instrukce pro proces**

Tým plánování jakosti výrobku má zajistit, aby existovaly srozumitelné a dostatečně podrobné instrukce pro pracovníky odpovědné za průběh procesu. Instrukce by měly vycházet z těchto zdrojů: výsledků analýz FMEA, kontrolních plánů, výkresů a specifikací, vývojového diagramu procesu, uspořádání pracoviště, matice znaků, norem pro balení, parametrů procesu, zkušenosti výrobce a znalosti procesu a výrobku, požadavků na manipulaci a kvalifikace operátorů procesu. Instrukce pro standardní provozní postupy by měly být přístupné operátorům a mistrům a měly by obsahovat nastavitelné parametry.

- **Plán analýzy systému měření**

Tým plánování jakosti produktu má zajistit, aby byl vypracován plán analýzy systému měření. Tento plán má například stanovit odpovědnost za zajištění vyhovující linearity, shodnosti, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systémů měření.

- **Plán studie předběžné způsobilosti procesu**

Tým plánování jakosti produktu má zajistit zpracování plánu studie předběžné způsobilosti procesu. Tento plán se zaměřuje na znaky uvedené v kontrolním plánu. Podrobněji se této problematice věnují metodiky PPAP (Proces schvalování výroby dílů) a SPC (Statistická regulace procesů).

- **Podpora vedení**

Na závěr této fáze má tým plánování jakosti produktu naplánovat oficiální přezkoumání návrhu. Účelem tohoto přezkoumání je informovat vrcholové vedení o výsledcích fáze návrhu a vývoje procesu a o stavu plánování jakosti produktu, zajistit účastí vedení při řešení neuzavřených problémů a získat jeho podporu (uvolnění k validaci produktu a procesu).

Validace produktu a procesu

Validace produktu a procesu se provádí na základě vyhodnocení ověřovací výroby. V jejím průběhu by tým plánování jakosti měl validovat, že proces probíhá v souladu s návrhem, kontroly probíhají podle kontrolního plánu a produkty splňují požadavky zákazníka. Ověřovací výroba může odhalit další problémy, které je potřeba prozkoumat a vyřešit před spuštěním sériové výroby. Vstupy do této fáze odpovídají výstupům z fáze „Návrh a vývoj procesu“.

Výstupy:

- **Významná výrobní dávka**

V průběhu ověřovací výroby by měla být vyrobena významná výrobní dávka produktů. Toto minimální množství, které má být při ověřovací výrobě vyrobeno, obvykle stanoví zákazník. Ověřovací výroba musí probíhat s využitím nářadí, zařízení, prostředí, výrobního personálu, vybavení a časového cyklu jako u sériové výroby.. Údaje z ověřovací výroby se využijí například pro:

- vyhodnocení systému měření;
- předběžnou studii způsobilosti procesu;
- schválení dílu k výrobě;
- přezkoumání procesu;
- validační zkoušky výroby;

- hodnocení balení;
- závěrečné posouzení proveditelnosti.

- **Analýza systému měření**

K ověřování znaků identifikovaných v kontrolním plánu vůči technickým specifikacím by měly být použity stanovené měřicí přístroje a metody. Ty by měly být v průběhu ověřovací výroby nebo před ní podrobeny analýze systému měření.

- **Studie předběžné způsobilosti procesu**

Pro znaky identifikované v kontrolním plánu by měla být v rámci ověřovací výroby provedena studie předběžné způsobilosti procesu.

- **Schvalování dílu do sériové výroby**

Smyslem schvalování dílu do sériové výroby je validovat, že produkt vyrobený daným procesem za použití příslušných výrobních nástrojů splňuje požadavky.

- **Zkoušení při validaci výroby**

Validační zkoušky výroby se řadí k technickým zkouškám, které validují, že produkty vyrobené daným procesem za použití příslušných výrobních nástrojů splňují technické normy.

- **Hodnocení balení**

Na základě zkušebních dodávek a pomocí zkušebních metod se musí posoudit ochrana produktu před běžným poškozením při dopravě a při působení nepříznivých vlivů prostředí. Hodnocení způsobu balení týmem plánování jakosti produktu se nevylučuje ani v případech, kdy balení je předepsáno zákazníkem.

- **Plán kontroly a řízení pro výrobu (výrobní plán kontroly a řízení)**

Výrobní plán kontroly a řízení specifikuje systém kontrol produktu a procesu při sériové výrobě. Je logickým pokračováním předvýrobního plánu kontroly a řízení. Měl by být živým dokumentem a měl by se na základě zkušeností získaných při sériové výrobě aktualizovat. Při změnách může být vyžadováno schválení odběratelem.

- **Závěrečný protokol o výsledcích plánování jakosti produktu a podpora vedení**

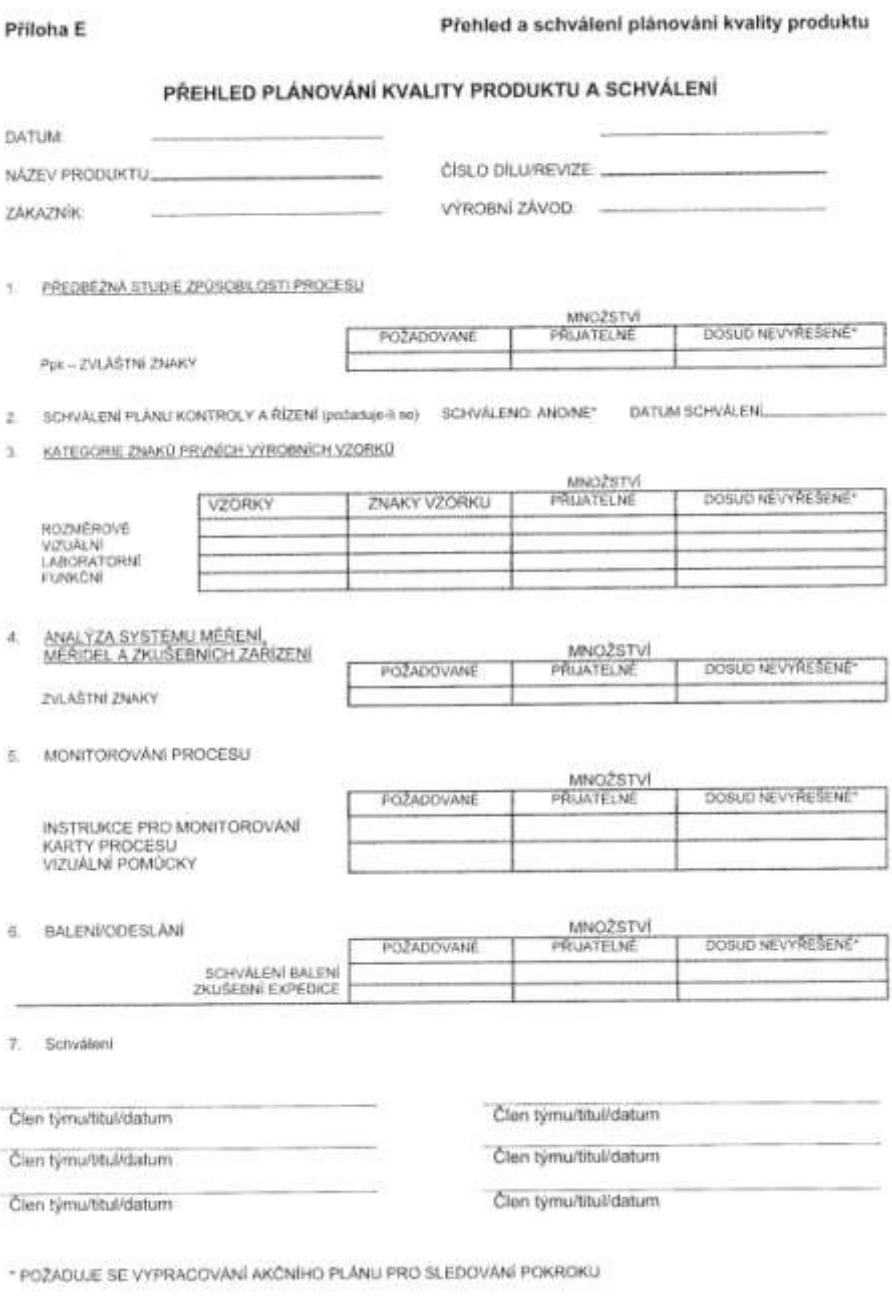
Tým plánování jakosti produktu má zajistit, aby byly dodržovány kontrolní plány a plánovaný průběh procesu. Před první výrobní dávkou se vyžaduje provedení těchto přezkoumání:

- Zda existují plány kontroly a řízení a zda jsou trvale k dispozici na všech operacích, jichž se týkají.
- Zda pracovní instrukce obsahují všechny zvláštní znaky specifikované v kontrolním plánu a zda byla vzata v úvahu všechna doporučení z analýzy FMEA.
- Tam, kde plán kontroly a řízení vyžaduje speciální měřidla, přípravky nebo zkušební zařízení, se má ověřit správné používání těchto prostředků a vyhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost měření.

Před ukončením plánování jakosti produktu je nutné získat podporu vedení (uvolnění k sériové výrobě). Na podporu efektivního ukončení (schválení) plánování jakosti by měl tým zpracovat závěrečný protokol o výsledcích plánování jakosti produktu, jež shrnuje dosažené výsledky a vyhodnocuje jejich přijatelnost (viz obr. 2.3).

Vyhodnocení zpětné vazby a nápravná opatření

Plánování jakosti produktu nekončí validací procesu. Tvoří i součást výrobní fáze, kdy mohou být hodnoceny výstupy procesu při působení všech náhodných a vymezitelných příčin variability. Rovněž může být vyhodnocena efektivnost plánování jakosti produktu.Vstupy do této fáze odpovídají výstupům z fáze „Validace produktu a procesu“.



Příloha E **Přehled a schválení plánování kvality produktu**

PŘEHLED PLÁNOVÁNÍ KVALITY PRODUKTU A SCHVÁLENÍ

DATUM: _____ _____

NÁZEV PRODUKTU: _____ ČÍSLO DÍLU/REVIZE: _____

ZÁKAZNÍK: _____ VÝROBNÍ ZÁVOD: _____

1. PŘEDBĚŽNÁ STUDIE ZPŮSOBILOSTI PROCESU

	MNOŽSTVÍ		
	POŽADOVANÉ	PŘIJATELNÉ	DOSUD NEVYŘEŠENÉ*
Ppk – ZVLÁŠTNÍ ZNAKY			

2. SCHVÁLENÍ PLÁNU KONTROLY A ŘÍZENÍ (požaduje-li se) SCHVÁLENO: ANO/NE* DATUM SCHVÁLENÍ: _____

3. KATEGORIE ZNAKŮ PRVNÍCH VÝROBNÍCH VZORKŮ

		MNOŽSTVÍ	
VZORKY	ZNAKY VZORKU	PŘIJATELNÉ	DOSUD NEVYŘEŠENÉ*
ROZMĚROVÉ			
VIZUÁLNÍ			
LABORATORNÍ			
FUNKČNÍ			

4. ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ, MĚŘIDEL A ZKUŠEBNÍCH ZAŘÍZENÍ

	MNOŽSTVÍ		
	POŽADOVANÉ	PŘIJATELNÉ	DOSUD NEVYŘEŠENÉ*
ZVLÁŠTNÍ ZNAKY			

5. MONITOROVÁNÍ PROCESU

	MNOŽSTVÍ		
	POŽADOVANÉ	PŘIJATELNÉ	DOSUD NEVYŘEŠENÉ*
INSTRUKCE PRO MONITOROVÁNÍ			
KARTY PROCESU			
VIZUÁLNÍ POMŮCKY			

6. BALENÍ/ODESLÁNÍ

	MNOŽSTVÍ		
	POŽADOVANÉ	PŘIJATELNÉ	DOSUD NEVYŘEŠENÉ*
SCHVÁLENÍ BALENÍ			
ZKUŠEBNÍ EXPEDICE			

7. Schválení

Člen týmu/titul/datum _____ Člen týmu/titul/datum _____

Člen týmu/titul/datum _____ Člen týmu/titul/datum _____

Člen týmu/titul/datum _____ Člen týmu/titul/datum _____

* POŽADUJE SE VYPRACOVÁNÍ AKČNÍHO PLÁNU PRO SLEDOVÁNÍ POKROKU

Obr. 2.3: Závěrečný protokol o výsledcích plánování jakosti produktu

Výstupy:

- **Snížená variabilita**

Pro identifikaci variability procesu se mají používat regulační diagramy a další statistické metody. Na základě analýzy mají být navrhována vhodná nápravná opatření ke snížení variability. Neustálé zlepšování se má zaměřovat nejen na odstranění vymezitelných příčin, ale i na omezení vlivu náhodných příčin. Návrhy

opatření by měly být zpracovány včetně nákladů, časového harmonogramu a předpokládaného zlepšení a měly by být předloženy zákazníkovi k přezkoumání.

- **Spokojenost zákazníka**

Aktivity plánování jakosti produktu a prokázání způsobilosti procesu vždy negarantují spokojenost zákazníka. Produkt musí zákazníkovi sloužit v jeho podmínkách. Až v etapě užití produktu lze tedy vyhodnotit efektivnost plánování jakosti. Při realizaci změn nutných k odstranění nedostatků se musí dodavatel a zákazník stát partnery.

- **Dodávání a servis**

Ve fázi dodávání a servisu pokračuje partnerství dodavatele se zákazníkem při řešení problémů a při neustálém zlepšování. Neschopnost opravit problém napoprvé vždy poškozuje dobré jméno dodavatele a jeho vztah se zákazníkem. Zkušenosti získané v této fázi poskytují zákazníkovi a dodavateli důležité informace, které mohou vést ke snížení ceny, zásob a nákladů vztahujících se k jakosti.

Shrnutí pojmů z části 2.1

APQP je metodika plánování jakosti produktů užívaná v oblasti automobilového průmyslu.
Zvláštní znak je znak produktu nebo procesu, který vyžaduje zvláštní pozornost.

Otázky vztahující se k části 2.1

1. Uveďte, kde se můžete setkat s metodikou plánování jakosti produktů APQP.
2. Uplatňuje metodika APQP prvky simultánního inženýrství? Tvrzení zdůvodněte.
3. Čím jsou vždy ukončeny jednotlivé hlavní fáze APQP?
4. Co je obsahem Závazného vyjádření týmu k proveditelnosti návrhu?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. APQP – Moderní plánování jakosti produktů. 2.vydání, Praha: Česká společnost pro jakost, 2008

2.2. Proces schvalování dílů do sériové výroby (PPAP)

Čas ke studiu: 75 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit průběh procesu schvalování dílů do sériové výroby a popsat jednotlivé požadavky

Výklad

Proces schvalování dílů do sériové výroby (Production Part Approval Process - PPAP) stanovuje generické požadavky na schvalování dílů do sériové výroby. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu QS-9000 a jeho účelem je určit, zda organizace dodavatele rozumí všem požadavkům vyplývajícím z dokumentace a specifikací zákazníka a zda proces dodavatele je způsobilý trvale vyrábět produkt splňující tyto požadavky při požadovaném kapacitním výkonu. V rámci tohoto procesu dodavatel zákazníkovi předkládá řadu důkazů o jeho připravenosti k zahájení sériové výroby

Proces schvalování dílů do sériové výroby by měl být aplikován v těchto situacích:

- nový díl nebo produkt
- oprava nedostatku dříve předloženého dílu
- produkt s technickou změnou (v konstrukci, specifikacích nebo materiálech)
- výroba novými nebo upravenými nástroji
- výroba po změně zařízení
- výroba na jiném výrobním místě
- změny u subdodavatelů
- změna subdodavatele
- změna zkušebních metod
- nástroje nebyly pro sériovou výrobu používány déle než rok.

Splnění řady požadavků procesu schvalování dílu do sériové výroby je potřeba doložit na základě údajů o produktech vyrobených v rámci ověřovací výroby. V rámci této ověřovací výroby by měla být vyrobena tzv. významná výrobní dávka.

Významná výrobní dávka musí být z výroby, která trvá 1 až 8 hodin a musí být vyrobeno nejméně 300 po sobě jdoucích dílů, pokud zplnomocněný představitel zákazníka nestanoví jinak. Významná výrobní dávka musí být vyrobena za podmínek odpovídajících sériové výrobě; na daném výrobním místě, při daném kapacitním výkonu s využitím výrobních nástrojů, materiálů, měřidel a pracovníků.

Požadavky PPAP

V rámci procesu pro schvalování dílů do sériové výroby se vyžaduje doložení splnění následujících požadavků:

1) Konstrukční dokumentace

Organizace musí mít konstrukční dokumentaci dílu a musí poskytnout důkaz o jeho materiálovém složení (může být využit IMDS= International Materials Data System).

2) Dokumenty o schválených technických změnách

V případě, že u schvalovaného dílu došlo k technickým změnám, které se ještě nepromítly v konstrukční dokumentaci, je potřeba doložit příslušné dokumenty o schválení těchto změn.

3) Technické schválení zákazníkem

Pokud je požadováno technické schválení zákazníkem, musí být doloženo doklady.

4) FMEA návrhu produktu

V případě, že je organizace dodavatele odpovědná za návrh produktu, musí aplikovat metodu FMEA návrhu produktu a doložit její výsledky. Metoda FMEA může být zpracována pro skupinu podobných dílů.

5) Vývojový diagram procesu

Organizace musí mít zpracován vývojový diagram procesu.

6) FMEA procesu

Organizace musí aplikovat metodu FMEA procesu a doložit její výsledky. Metoda FMEA může být provedena pro proces vyrábějící skupinu podobných dílů nebo materiálů.

8) Studie analýzy systému měření

Organizace musí u všech nových nebo modifikovaných systémů měření provést analýzy systému měření (např. opakovatelnost a reprodukovatelnost, strannost, linearita, stabilita).

9) Výsledky kontroly rozměrů

Organizace musí poskytnout důkaz o provedení ověření rozměrů, a o shodě výsledků s požadavky. Jeden z dílů přitom musí být identifikován jako referenční vzorek.

10) Záznamy o výsledcích zkoušek materiálů a/nebo funkčnosti

Organizace musí mít záznamy o zkouškách předepsaných v konstrukční dokumentaci nebo v plánu kontroly a řízení.

11) Počáteční studie procesu (studie předběžné způsobilosti procesu)

Pro všechny zvláštní znaky musí být stanovena přijatelná úroveň předběžné způsobilosti procesu. Pokud nebyly identifikovány žádné zvláštní znaky, zákazník si vyhrazuje právo požadovat prokázání počáteční způsobilosti na jiných znacích.

Pro vyhodnocení předběžné způsobilosti procesu má být z výroby významné výrobní dávky získáno alespoň 100 údajů v 25 podskupinách. Se souhlasem zákazníka může být studie provedena na základě dlouhodobých údajů ze stejného nebo podobného procesu.

V případě statisticky nezvládnutých procesů musí organizace identifikovat, hodnotit a, pokud je to možné, eliminovat působení zvláštních příčin. Statistická nezvládnutost procesu musí být zákazníkovi oznámena a musí být předložen plán opatření k nápravě.

Pro vyhodnocení předběžné způsobilosti procesu jsou stanovena tato kritéria:

VÝSLEDEK	INTERPRETACE
C_{pk} >1,67	Proces splňuje kritéria přijatelnosti
1,33 <= C_{pk}<=1,67	Proces může být se souhlasem zákazníka přijatelný
C_{pk} < 1,33	Proces nesplňuje kritéria přijatelnosti

V případě, že kritéria přijatelnosti nejsou dosažena, musí organizace zákazníkovi předložit plán opatření k nápravě a upravený plán kontroly a řízení zajišťující stoprocentní kontrolu

12) Dokumentace kvalifikované laboratoře

Kontrolu a zkoušení pro PPAP musí provádět laboratoř, která musí mít předmět činnosti a dokumentaci dokazující, že je kvalifikována (např. akreditována) pro daný typ měření nebo prováděné zkoušky.

13) Protokol o schválení vzhledu (AAR)

Pokud jsou v konstrukční dokumentaci uvedeny požadavky na vzhled, musí být pro každý díl (případně řadu dílů) vypracován protokol o schválení vzhledu (AAR – Appearance Approval Report) - viz obr.2.4.

14) Vzorky vyrobených dílů

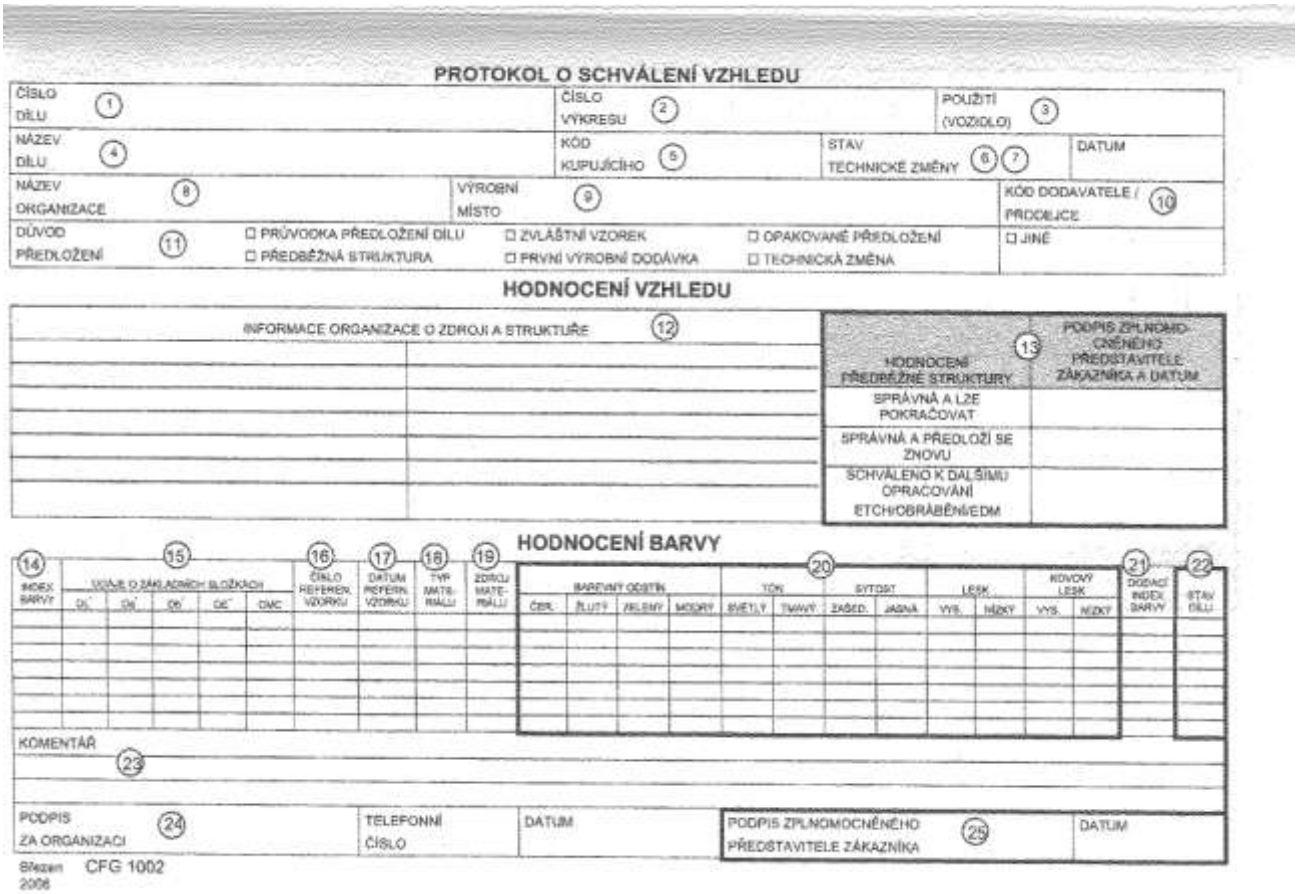
Organizace musí podle požadavků zákazníka poskytnout (vzorky) produktu.

15) Referenční vzorek

Organizace musí po stejnou dobu jako záznamy o schvalování dílu do sériové výroby uchovávat referenční vzorek dílu. Referenční vzorek musí být označen a musí být na něm uvedeno datum schválení zákazníkem.

16) Kontrolní prostředky

Pokud to zákazník požaduje, musí organizace pro každý díl předložit kontrolní prostředky (přípravky, měřidla tvarové šablony apod.). Organizace musí osvědčit, že tyto prostředky souhlasí s požadavky na rozměry dílu a zajistit jejich preventivní údržbu.



PROTOKOL O SCHVÁLENÍ VZHLEDU

ČÍSLO DÍLU ①		ČÍSLO VÝKRESU ②	POUŽITÍ (VOZIDLO) ③	
NÁZEV DÍLU ④		KÓD KUPUJÍCÍHO ⑤	STAV TECHNICKÉ ZMĚNY ⑥ ⑦	DATUM
NÁZEV ORGANIZACE ⑧		VÝROBNÍ MÍSTO ⑨		KÓD DODAVATELE / PRODEJCE ⑩
DŮVOD PŘEDLOŽENÍ ⑪	☐ PRŮVODKA PŘEDLOŽENÍ DÍLU ☐ PŘEDBĚŽNÁ STRUKTURA	☐ ZVLÁŠTNÍ VZOREK ☐ PRVNÍ VÝROBNÍ DODÁVKA	☐ OPAKOVANÉ PŘEDLOŽENÍ ☐ TECHNICKÁ ZMĚNA	☐ JINÉ

HODNOCENÍ VZHLEDU

INFORMACE ORGANIZACE O ZDROJI A STRUKTUŘE ⑫	HODNOCENÍ PŘEDBĚŽNÉ STRUKTURY ⑬	PODPIS ZPLNOMOCNĚNÉHO PŘEDSTAVITELE ZÁKAZNÍKA A DATUM
	SPRÁVNÁ A LZE POKRAČOVAT	
	SPRÁVNÁ A PŘEDLOŽÍ SE ZNOVU	
	SCHVÁLENO K DALŠÍMU OPRACOVÁNÍ ETCH/OBRÁBĚNÍ/EDM	

HODNOCENÍ BARVY

⑭ INDEX BARVY	⑮ ÚDAJE O ZÁKLADNÍCH SLOŽKÁCH					⑯ ČÍSLO REFEREN. VZORKU	⑰ DATUM REFERN. VZORKU	⑱ TYP MATE-RIÁLU	⑲ ZDROJ MATE-RIÁLU	⑳ BARVNÝ ODSTÍN				TÓN		SYTOST		LESK		KOVOVÝ LESK		21 DODACÍ INDEX BARVY	22 STAV DÍLU
	Di	Dii	Diii	Div	Dv					ČER.	ŽLUTÁ	MODRÁ	MODRÝ	SVĚTLÝ	TMAVÝ	ZASED.	JASNÁ	VYS.	NÍZKÝ	VYS.	NÍZKÝ		

KOMENTÁŘ ㉓

PODPIS ZA ORGANIZACI ㉔	TELEFONNÍ ČÍSLO	DATUM	PODPIS ZPLNOMOCNĚNÉHO PŘEDSTAVITELE ZÁKAZNÍKA ㉕	DATUM

Březen 2006 CFG 1002

Obr. 2.4: Struktura protokolu o schválení vzhledu

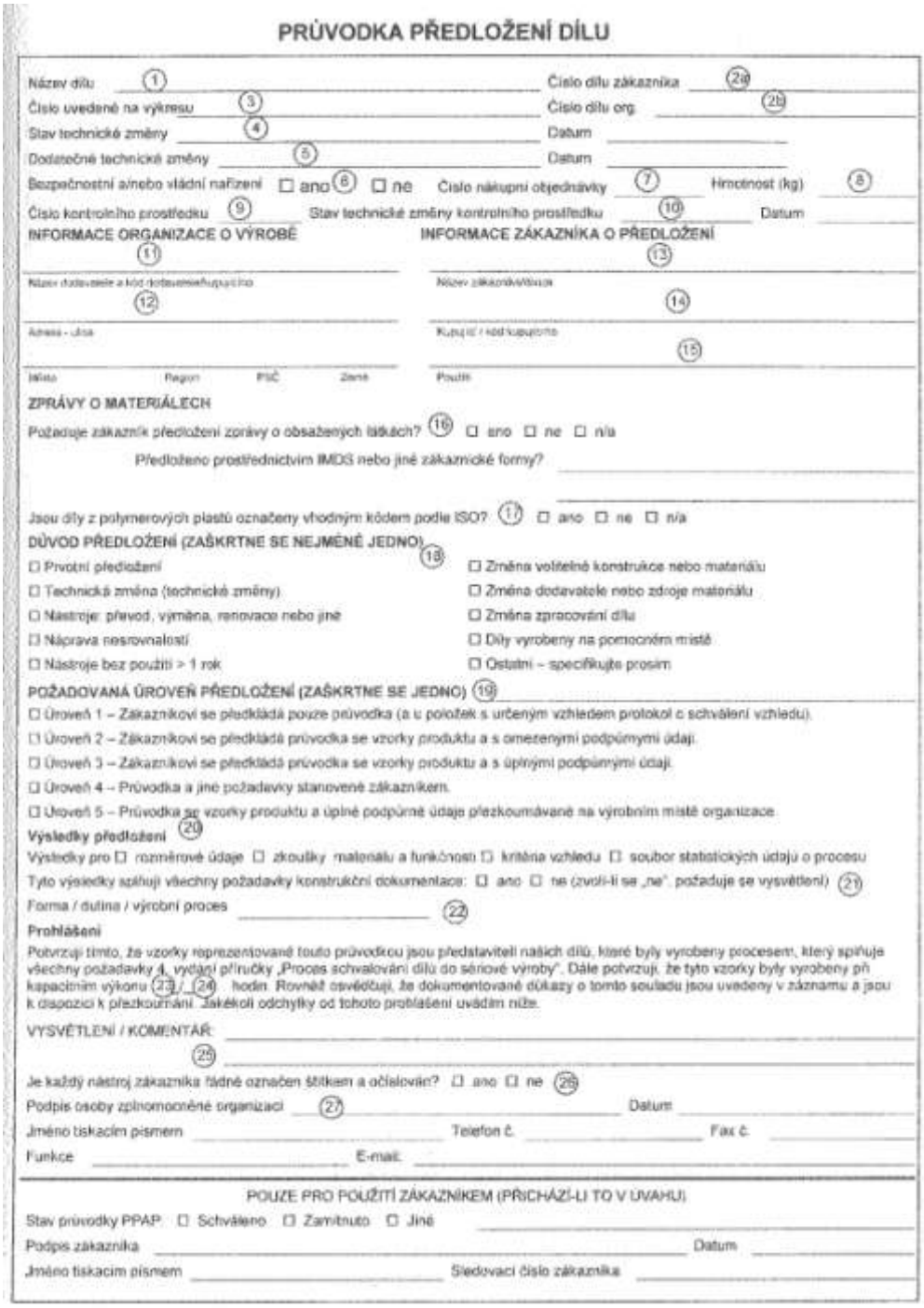
17) Specifické požadavky zákazníka

Organizace musí mít záznamy o shodě se všemi specifickými požadavky zákazníka.

18) Průvodka předložení dílu

Po splnění všech požadavků na PPAP musí organizace vyplnit průvodku předložení dílu (PSW – Part Submission Warrant). Struktura průvodky předložení dílu je uvedena na obr. 2.5.

Pro schválení dílu do sériové výroby musí organizace dodavatele všechny aplikovatelné požadavky z uvedeného výčtu splnit. Lišit se však může způsob předkládání jednotlivých důkazů, který je ovlivněn dosavadními zkušenostmi zákazníka s daným dodavatelem. V rámci PPAP se uplatňuje pět úrovní předložení důkazů o splnění požadavků PPAP zákazníkovi (viz tab. 2.1). Jako výchozí úroveň se používá úroveň 3.



PRŮVODKA PŘEDLOŽENÍ DÍLU

Název dílu (1) Číslo dílu zákazníka (2a)

Číslo uvedené na výkresu (3) Číslo dílu org. (2b)

Stav technické změny (4) Datum

Dodatečné technické změny (5) Datum

Bezpečnostní a/nebo vládní nařízení ☐ ano (6) ☐ ne Číslo nákupní objednávky (7) Hmotnost (kg) (8)

Číslo kontrolního prostředku (9) Stav technické změny kontrolního prostředku (10) Datum

INFORMACE ORGANIZACE O VÝROBĚ (11)

Název dodavatele a kód dodavatele/kupujícího (12)

Adresa - ulice

Město Region PSČ Země

INFORMACE ZÁKAZNÍKA O PŘEDLOŽENÍ (13)

Název zákazníka/divize (14)

Kupující / kód kupujícího (15)

Použití

ZPRÁVY O MATERIÁLECH

Požaduje zákazník předložení zprávy o obsažených látkách? (16) ☐ ano ☐ ne ☐ n/a

Předloženo prostřednictvím IMDS nebo jiné zákaznické formy?

Jsou díly z polymerových plastů označeny vhodným kódem podle ISO? (17) ☐ ano ☐ ne ☐ n/a

DŮVOD PŘEDLOŽENÍ (ZAŠKRTNE SE NEJMÉNĚ JEDNO) (18)

☐ Prvotní předložení
☐ Technická změna (technické změny)
☐ Nástroje: převod, výměna, renovace nebo jiné
☐ Náprava nesrovnalostí
☐ Nástroje bez použití > 1 rok
☐ Změna volitelné konstrukce nebo materiálu
☐ Změna dodavatele nebo zdroje materiálu
☐ Změna zpracování dílu
☐ Díly vyrobeny na pomocném místě
☐ Ostatní – specifikujte prosím

POŽADOVANÁ ÚROVEŇ PŘEDLOŽENÍ (ZAŠKRTNE SE JEDNO) (19)

☐ Úroveň 1 – Zákazníkovi se předkládá pouze průvodka (a u položek s určeným vzhledem protokol o schválení vzhledu).
☐ Úroveň 2 – Zákazníkovi se předkládá průvodka se vzorky produktu a s omezenými podpůrnými údaji.
☐ Úroveň 3 – Zákazníkovi se předkládá průvodka se vzorky produktu a s úplnými podpůrnými údaji.
☐ Úroveň 4 – Průvodka a jiné požadavky stanovené zákazníkem.
☐ Úroveň 5 – Průvodka se vzorky produktu a úplné podpůrné údaje přezkoumávané na výrobním místě organizace.

Výsledky předložení (20)

Výsledky pro ☐ rozměrové údaje ☐ zkoušky materiálu a funkčnosti ☐ kritéria vzhledu ☐ soubor statistických údajů o procesu

Tyto výsledky splňují všechny požadavky konstrukční dokumentace: ☐ ano ☐ ne (zvolí-li se „ne", požaduje se vysvětlení) (21)

Forma / dutina / výrobní proces (22)

Prohlášení

Potvrzuji tímto, že vzorky reprezentované touto průvodkou jsou představiteli našich dílů, které byly vyrobeny procesem, který splňuje všechny požadavky 4. vydání příručky „Proces schvalování dílů do sériové výroby". Dále potvrzuji, že tyto vzorky byly vyrobeny při kapacitním výkonu (23) / (24) hodin. Rovněž osvědčuji, že dokumentované důkazy o tomto souladu jsou uvedeny v záznamu a jsou k dispozici k přezkoumání. Jakékoli odchylky od tohoto prohlášení uvádím níže.

VYSVĚTLENÍ / KOMENTÁŘ: (25)

Je každý nástroj zákazníka řádně označen štítkem a očíslován? ☐ ano ☐ ne (26)

Podpis osoby zplnomocněné organizací (27) Datum

Jméno tiskacím písmem Telefon č. Fax č.

Funkce E-mail

POUZE PRO POUŽITÍ ZÁKAZNÍKEM (PŘICHÁZÍ-LI TO V ÚVAHU)

Stav průvodky PPAP ☐ Schváleno ☐ Zamítnuto ☐ Jiné

Podpis zákazníka Datum

Jméno tiskacím písmem Sledovací číslo zákazníka

Obr. 2.5: Struktura průvodky předložení dílu.

Na základě vyhodnocení předložených důkazů o splnění požadavků PPAP mohou nastat tři základní stavy PPAP u zákazníka:

a) Schváleno

b) Dočasně schváleno – dodávka na omezenou dobu nebo v omezeném počtu kusů

c) Zamítnuto

V případě dočasného schválení nebo zamítnutí musí organizace dodavatele odstranit nedostatky a do stanoveného termínu předložit nové důkazy o splnění požadavků.

Záznamy o PPAP musí být uchovávány po celou dobu, kdy je díl aktivní plus jeden kalendářní rok.

Přehled jednotlivých požadavků PPAP je prezentován v animaci 2b „Požadavky procesu schvalování dílů do sériové výroby (PPAP)“.

Tab. 2.1: Úrovně předložení důkazů o splnění požadavků PPAP.

Úroveň 1	Zákazníkovi se předkládá pouze průvodka a zpráva o schválení vzhledu
Úroveň 2	Zákazníkovi se předkládá průvodka se vzorky produktu a s omezenými podpůrnými údaji
Úroveň 3	Zákazníkovi se předkládá průvodka se vzorky produktu a s úplnými podpůrnými údaji
Úroveň 4	Průvodka a jiné požadavky stanovené zákazníkem
Úroveň 5	Průvodka se vzorky produktu a úplné podpůrné údaje přezkoumávané na výrobním místě organizace

Uvolnění výrobního procesu a produktu (PPF)

Obdobou procesu schvalování dílů do sériové výroby (PPAP), který je používán v rámci standardu QS-9000, je „Uvolnění výrobního procesu a produktu (PPF)“ uplatňované v rámci standardu VDA.

PPF je součástí VDA 2 „Zabezpečování jakosti dodávek“ (4. vydání 2004). Definuje celkem 12 požadavků, které zhruba korespondují s požadavky PPAP.

Shrnutí pojmů z části 2.2

PPAP - Proces schvalování dílů do sériové výroby stanovuje generické požadavky na schvalování dílů do sériové výroby. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu QS-9000.
PPF - Uvolnění výrobního procesu a produktu je obdobou PPAP. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu VDA.
IMDS (International Materials Data System) – mezinárodní databáze materiálů, která vznikla jako společný projekt velkých výrobců automobilů

Otázky vztahující se k části 2.2

1. Charakterizujte PPAP.
2. V jakých situacích se musí PPAP aplikovat?
3. Uveďte možné výsledky vyhodnocení PPAP.
4. Vysvětlete rozdíl mezi APQP a PPAP.

Literatura k dalšímu studiu:

1. PPAP – Proces schvalování dílů do sériové výroby. 4. vydání, Česká společnost pro jakost, 2006
2. VDA 2 Zabezpečování jakosti dodávek. 4. vydání, Česká společnost pro jakost, 2004

3 POKROČILÉ POSTUPY APLIKACE VYBRANÝCH METOD PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI

3.1. Metoda QFD – Matice matic

Čas ke studiu: 60 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat matici matic
- Vysvětlit podstatu vybraných maticových diagramů z Matice matic

Výklad

Metoda QFD (Quality Function Deployment) je metodou založenou na principu maticového diagramu, která umožňuje transformaci požadavků zákazníka do znaků jakosti navrhovaného produktu a procesu jeho realizace a další analýzy. Je aplikována v týmu a je důležitým nástrojem komunikace mezi pracovníky z různých odborných útvarů zapojených do vývoje produktu.

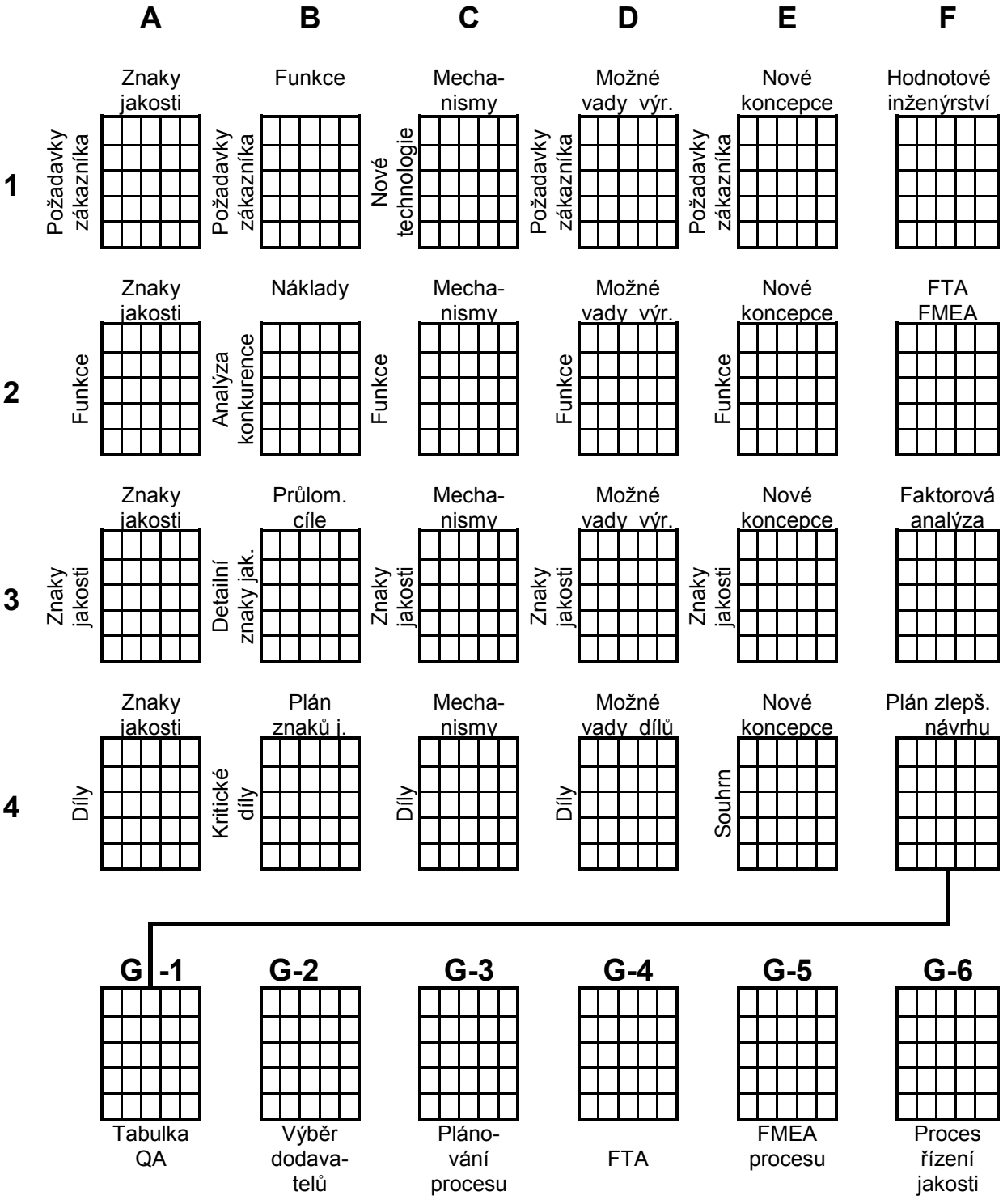
Metoda QFD se využívá v různých aplikacích. Nejznámější je tzv. Dům jakosti, který umožňuje transformovat požadavky na produkt do konkrétních cílových hodnot znaků jakosti produktu. V tzv. čtyřmaticovém přístupu na Dům jakosti navazují další tři maticové diagramy. První z nich slouží k transformaci cílových hodnot znaků jakosti produktu do cílových hodnot znaků jakosti jednotlivých dílů, druhý k transformaci cílových hodnot znaků jakosti jednotlivých dílů do konkrétních hodnot parametrů procesů, kterými budou tyto díly vyráběny a třetí k transformaci hodnot parametrů procesů do konkrétních způsobů nastavení a řízení těchto procesů.

Matice matic představuje soubor různých maticových diagramů, které nabízejí široké spektrum využití při plánování jakosti produktů.

Matice matic

Rozvoj praktického využití metody QFD v sedmdesátých a osmdesátých letech přinesl celou řadu nových aplikací. Koncem osmdesátých let se B. King [17]

pokusil tyto možnosti uspořádat a rozšířit do tzv. matice matic, která představuje ucelený soubor 30 různých diagramů (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1: Matice matic

Ve skutečnosti však název „matice matic" přesně nevyjadřuje podstatu tohoto souboru diagramů, neboť se nejedná o 30 výhradně maticových diagramů, pro které je typická analýza vzájemných vazeb mezi dvěma oblastmi řešeného problému. Některé z diagramů jsou v podstatě tabulkami, ve kterých se přehledným způsobem shromažďují informace, potřebné pro další rozhodování, nebo se jedná o jiné grafické výstupy.

Existence matice matic neznamená, že při každém uplatnění metody QFD je nezbytné využít všech 30 možných aplikací. Podle konkrétního zadání je potřeba cíleně vybrat vhodné aplikace přímo orientované na řešenou problematiku. Kombinace různých aplikací umožňuje na základě pohledu z různých hledisek získat ucelenou představu o řešeném problému a zajistit jeho komplexní řešení. Pořadí použití vybraných aplikací je v podstatě určeno jejich vzájemnou provázaností, kdy jsou využívány výsledky předchozích aplikací.

Vybrané aplikace Matice matic

V následujícím textu bude pozornost věnována vybraným aplikacím Matice matic.

A-1: Požadavky zákazníka - Znaky jakosti výrobku

Jedná se o základní matici Domu jakosti, ve kterém se na základě analýzy vztahů mezi znaky jakosti výrobku a požadavky zákazníka, hodnocení důležitosti požadavků a porovnání s konkurencí vyhodnocuje úplnost a důležitost znaků jakosti a navrhují se jejich optimální hodnoty.

A-2: Funkce výrobku - Znaky jakosti výrobku

Na rozdíl od diagramu A-1, kde požadavky jsou hlasem zákazníka, jsou zde znaky jakosti výrobku analyzovány ve vztahu k jeho funkcím, které jsou hlasem vývojového pracovníka. Diagram zejména umožňuje identifikovat funkce výrobku, pro které nejsou stanoveny žádné znaky jakosti, a znaky jakosti, které se nevztahují k žádným funkcím.

A-3: Znaky jakosti výrobku - Znaky jakosti výrobku

Diagram odpovídá střeše v „Domě jakosti" a jeho účelem je analyzovat vzájemné korelace mezi jednotlivými znaky jakosti výrobku. Znalost těchto vztahů je důležitá při optimalizaci hodnot znaků jakosti, neboť u některých může jejich změna ovlivnit

hodnoty dalších znaků jakosti. Současně se obvykle vyhodnocuje, zda se jedná o pozitivní nebo negativní korelaci.

B-2: Tabulka porovnání s konkurencí

Diagram (tabulka) slouží k porovnání produktu organizace s produkty konkurentů z hlediska různých ukazatelů jako jsou: prodejní cena, podíl na trhu, objem prodeje, zisk a cílové výrobní náklady. Provedené porovnání je podkladem pro plánování cílových hodnot posuzovaných ukazatelů, zejména cílových výrobních nákladů (viz obr.3.2).

	Organizace	Konkurent x	Konkurent y	Plán
Tržní cena	15	18	14	16
Objem prodeje	4	3	8	5
Podíl na trhu	16	12	32	20
Zisk	2	3	2	4
Náklady	13	15	12	12
				Cíl

Obr. 3.2: Příklad tabulky porovnání s konkurencí (B-2)

D-1: Možné vady produktu - Požadavky zákazníka

Diagram analyzuje, jak jednotlivé možné vady produktu ovlivňují plnění požadavků zákazníka (využívají se informace o možných vadách produktu a údaje o požadavcích zákazníka a jejich důležitosti z diagramu A-1). Na základě relativních vah požadavků a síly jejich vztahů k jednotlivým možným vadám se vyhodnocují nejdůležitější možné vady produktu z hlediska plnění požadavků zákazníka (viz obr. 3.3).

Možné vady produktu

Požadavky zákazníka			Zlomení tužky	Odkutálení tužky	Odírání povrchové vrstvy	Ulomení gumy	
	14	Dobře se drží	◎ 126	○ 42			
	23	Nerozmazává se			○ 69	△ 23	
	44	Vydrží ostrá	○ 132	△ 44			
	19	Nekutálí se	○ 57	◎ 171		△ 19	
		absolutní váha	**315**	**257**	**69**	**42**	**683**
		relativní váha, %	**46 %**	**38 %**	**10 %**	**6 %**	**100 %**

Obr. 3.3: Příklad maticového diagramu D-1 „Možné vady produktu - Požadavky zákazníka“

D-2: Možné vady produktu - Funkce

Diagram analyzuje, jak jednotlivé možné vady produktu ovlivňují plnění jeho funkcí (využívají se informace z diagramů D-1 a A-2 a informace o váze jednotlivých funkcí produktu z diagramu B-1). Na základě relativních vah funkcí a síly jejich vztahů k jednotlivým možným vadám se vyhodnocují nejdůležitější možné vady produktu z hlediska jeho funkcí.

D-3: Možné vady produktu - Znaky jakosti produktu

Diagram analyzuje, jak možné vady produktu souvisejí s jeho znaky jakosti (využívají se informace z diagramů A-1 a D-1). Na základě relativních vah znaků jakosti produktu a síly jejich vztahů k jednotlivým možným vadám se vyhodnocují nejdůležitější možné vady produktu z hlediska jeho znaků jakosti.

D-4: Možné vady dílů - Díly

Diagram analyzuje, jak možné vady dílů ovlivňují jednotlivé díly produktu. Na základě relativní důležitosti jednotlivých dílů (údaje z diagramu C-4) a síly jejich vztahů k jednotlivým možným vadám dílů se vyhodnocují díly, u nichž bude potřeba prioritně provést analýzu FMEA (viz obr. 3.4).

			Možné vady dílů						
		Relativní váha %	zlomení	rozpadne se	zašpinění	odírání	Absolutní váha	Relativní váha	Projekt FMEA
Díly	Tuha	28	◎ 252		○ 84	◎ 252	588	31 %	401
	Dřevo	32	◎ 288	◎ 288			576	31 %	402
	Guma	17	○ 153	○ 51	◎ 153	◎ 153	510	27 %	403
	Držák gumy	23		◎ 207			207	11 %	404
							1881	100 %	

Obr. 3.4: Příklad maticového diagramu D-4 „Možné vady dílů - Díly“

E-1: Výběr nové koncepce - Požadavky zákazníka

Účelem diagramu je identifikovat nové koncepce produktu, které by ve srovnání se standardním provedením lépe splňovaly požadavky zákazníka (bez vzniku jiných problémů). Při zpracování se využívají informace o požadavcích zákazníka z diagramu A-1 a návrhy nových koncepcí získané pomocí brainstormingu. V buňkách maticového diagramu se pomocí znamének + a - vyhodnocuje pozitivní nebo negativní vliv nových koncepcí na plnění jednotlivých požadavků zákazníků ve srovnání se standardním provedením. Na základě celkového vyhodnocení se pak vybírá nejvhodnější koncepce (viz obr. 3.5).

Požadavky zákazníka	Nové koncepce: Tuha zaváděna pružinou	Vysunovací tuha	Standardní provedení	Kluzné upevnění gumy	Kapesní klip	Keramická tužka
Dobře se drží			Quill		-	
Nerozmazává se		+	E.F.			-
Vydrží ostrá	+	+				-
Nekutálí se					+	-
Náklady	-	-		+	-	+
+ s	1+	2+		1+	1+	1+
- s	1-	1-			2-	3-

Obr. 3.5: Příklad maticového diagramu E-1 „Výběr nové koncepce - Požadavky zákazníka“

E-2: Výběr nové koncepce - Funkce

Účelem diagramu, který je obdobou diagramu E-1, je identifikovat nové koncepce produktu, které by ve srovnání se standardním provedením lépe splňovaly požadované funkce (bez vzniku jiných problémů). Při zpracování maticového diagramu se využívají informace o funkcích produktu z diagramu A-2 a návrhy nových koncepcí z diagramu E-1. V buňkách maticového diagramu se pomocí znamének + a - vyhodnocuje pozitivní nebo negativní vliv nových koncepcí na plnění jednotlivých funkcí produktu ve srovnání se standardním provedením. Na základě celkového vyhodnocení se pak vybírá nejvhodnější koncepce.

E-3: Výběr nové koncepce - Znaky jakosti produktu

Účelem diagramu, který je obdobou diagramů E-1 a E-2, je identifikovat nové koncepce produktu, které by ve srovnání se standardním provedením umožnily lépe dosahovat požadované znaky jakosti, a odhalit slabá místa, kde bude potřeba nové

koncepce vyvinout. Při zpracování maticového diagramu se využívají informace o znacích jakosti produktu z diagramu A-3 a návrhy nových koncepcí z diagramu E-1. V buňkách maticového diagramu se pomocí znamének + a - vyhodnocuje pozitivní nebo negativní vliv nových koncepcí na dosahování jednotlivých znaků jakosti výrobku ve srovnání se standardním provedením. Na základě celkového vyhodnocení se pak vybírá nejvhodnější koncepce.

E-4: Výběr nové koncepce – souhrn

V diagramu jsou shrnuty výsledky hodnocení jednotlivých nových koncepcí z hlediska plnění požadavků zákazníka, zajišťování funkcí produktu a dosahování znaků jakosti produktu (informace z diagramů E-1, E-2 a E-3). Na základě výsledků těchto dílčích hodnocení se provádí celkové hodnocení a vybírá se nejvhodnější koncepce produktu. Někdy se doporučuje diagramy E-1 až E-4 zpracovat ještě před diagramem A-1, aby už při návrhu cílových znaků jakosti produktu byly zvažovány různé koncepce a nebyla uplatňována pouze tradiční řešení.

		Nové koncepce					
		Tuha zaváděna pružinou	Vysunovací tuha	Standardní provedení	Kluzné upevnění gumy	Kapesní klip	Keramická tužka
Souhrn	Požadavky zákazníka	1+	2+			1+	3-
	Funkce	1+	1+		1+	1+	2-
	Znaky jakosti	2+	3+				3-
	Celkem + s - s	4+	6+		1+	2+	8-

Obr. 3.6: Příklad maticového diagramu E-4 „Výběr nové koncepce - souhrn“.

Shrnutí pojmů z části 3.1

Matice matic je soubor 30 maticových diagramů, zpracovaných v rámci metody QFD, které nabízejí široké spektrum využití při plánování jakosti produktů.

Otázky vztahující se k části 3.1

1. Co je to metoda QFD?
2. Charakterizujte Dům jakosti a hlavní výstupy jeho aplikace.
3. K čemu slouží maticový diagram D-1: Možné vady produktu - Požadavky zákazníka?
4. K čemu slouží maticový diagram E-1: Výběr nové koncepce - Požadavky zákazníka?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. KING, B.: Better Design in Half the Time. GOAL/QPC, Methuen, 1989
3. RE VELLE, J. B.- MORAN, J. W. – COX, C. A.: The QFD Handbook. New York: John Wiley&Sons, Inc., 2000, 410 pp. ISBN 0-471-17381-9

3.2. Současné přístupy k metodě FMEA

Čas ke studiu: 60 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Charakterizovat současné přístupy k metodě FMEA
- Vysvětlit odlišnosti mezi jednotlivými přístupy

Výklad

Jednou z vhodných metod, které mohou výrazně ovlivnit úspěšnost a efektivnost aktivit plánování jakosti je metoda FMEA, která umožňuje identifikovat

nedostatky navrženého produktu či procesu, vyhodnotit rizika možných vad a navrhnout vhodná opatření ke zmírnění těchto rizik.

V posledních letech proběhla aktualizace několika důležitých dokumentů věnovaných metodě FMEA. Jedná se o nové vydání metodiky FMEA z roku 2006 zpracované v rámci VDA 4, novou normu ČSN EN 60812 z roku 2007 a o nové vydání metodiky FMEA zpracované v rámci QS-9000 v roce 2008. Tyto nové dokumenty sice nemění základní principy metody FMEA, přesto však přinášejí některé nové přístupy a širší souvislosti aplikace této metody.

Metoda FMEA podle VDA 4

V rámci standardů německého automobilového průmyslu byla současná podoba metodiky FMEA vydána v roce 2006. Jedná se o zásadní přepracování dřívější metodiky známé pod názvem Systémová FMEA produktu a procesu z roku 1996, která byla nejprve vydána jako samostatná metodika pod označením VDA 4.2, později pak byla v nezměněné podobě zařazena do svazku VDA 4. V názvu metodiky se již nepoužívá označení „systémová“.

Pro aplikaci metody FMEA je v nové metodice navržen procesní model s označením „DAMUK“, který zahrnuje tyto dílčí procesy:

- Definice
- Analýza
- Rozhodnutí o opatření
- Realizace
- Komunikace

Pro každý dílčí proces jsou v metodice blíže rozpracovány podrobnější informace o cílech, časovém rámci, zadání, rozsahu prováděných činností pro jednotlivé zainteresované pracovníky, doporučené pracovní prostředky a metody, vhodné ukazatele pro měření výkonnosti, konkrétní dílčí kroky, očekávaný výsledek, existující rizika a způsob komunikace dílčích a konečných výsledků. Toto rozpracování poskytuje cenné informace pro praktickou realizaci jednotlivých dílčích procesů.

V rámci procesu „Definice“ by měly být, mimo jiné, vyjasněny a stanoveny cíle a rozsah FMEA, určena odpovědná osoba, ustanoven tým, stanoven harmonogram, zajištěny potřebné zdroje a připraveny podklady pro vlastní analýzu.

Proces „Analýza“ je strukturován do pěti kroků:

1. Analýza struktury systému
2. Analýza funkcí systému
3. Analýza vadných funkcí systému
4. Analýza opatření
5. Optimalizace.

Analyzovaný produkt či proces je při aplikaci metody FMEA považován za systém, skládající se z řady prvků, přičemž každý z nich plní v systému určité funkce. Za možné vady jednotlivých prvků systému jsou pak považovány situace, kdy tyto funkce nejsou plněny nebo jsou plněny nedostatečně. V rámci analýzy vadných funkcí jsou identifikovány jejich možné následky a příčiny. V průběhu analýzy opatření jsou identifikována používaná preventivní opatření a opatření, pomocí kterých lze vadné funkce nebo jejich příčiny odhalit, a na základě hodnocení významu, výskytu a odhalitelnosti probíhá vyhodnocení rizik. Poslední krok – optimalizace představuje návrh vhodných opatření, která zajistí dostatečné zmírnění zjištěných rizik.

V rámci procesu „Rozhodnutí o opatření“ by týmem navržená opatření ke zmírnění rizik měla být podrobena bližší analýze s cílem doplnit další potřebné podklady pro kvalifikované rozhodnutí o jejich realizaci. Důležitými podklady pro rozhodování jsou například proveditelnost, náklady na realizaci, doba realizace, hodnocení dopadu realizovaných opatření apod.

V průběhu procesu „Realizace“ se sleduje průběh realizace odsouhlasených opatření a po jejich provedení se provádí opakované hodnocení míry rizik možných vad. V případě, že realizovaná opatření nevedla k dostatečnému zmírnění rizik, je potřeba navrhnout a realizovat jiná, účinnější opatření. Po dosažení dostatečného zmírnění rizik možných vad se výsledky aplikace metody FMEA zpracovávají do závěrečné zprávy.

V rámci procesu „Komunikace“ by měly být výsledky aplikace metody FMEA prezentovány a mělo by být zajištěno šíření získaných znalostí v organizaci tak, aby se izolované znalosti jednotlivých pracovníků staly užitečnými pro celou organizaci.

Metodika upozorňuje na to, že bez komunikace poznatků z aplikace metody FMEA v organizaci nelze tuto metodu optimálně využít. S tím lze jenom souhlasit, protože znalosti, které nejsou dostupné, jakoby neexistovaly.

Jak již bylo uvedeno, cenným přínosem současné metodiky FMEA je bližší rozpracování jednotlivých dílčích procesů. Paradoxně se to příliš netýká procesu samotné analýzy, kdy postupy analýzy u FMEA produktu a FMEA procesu mohly být lépe vysvětleny.

Doporučené hodnoticí tabulky jsou zpracovány, obdobně jako v předchozím vydání, obecněji. Co se týče rozhodování o realizaci opatření, metodika upozorňuje na malou vypovídací schopnost rizikového čísla. Jako alternativu pro rozhodování o realizaci opatření navrhuje využití mezních hodnot jednotlivých kritérií nebo matice rizik, která zohledňuje význam a výskyt vady. Je přitom zdůrazněno, že hodnocení významu vady se musí odsouhlasit se zákazníkem.

Metoda FMEA podle normy ČSN EN 60812

Norma ČSN EN 60812 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) z roku 2007 po 15 letech nahradila normu ČSN IEC 812 z roku 1992, která nebyla v praxi příliš využívána, protože již existovaly lépe propracované metodiky automobilového průmyslu.

V normě jsou rozlišovány dvě metody: FMEA a FMECA.. Toto rozlišování souvisí s historickým vývojem metody, kdy jako FMECA (Failure Mode and Effect Critical Analysis) byla označována analýza, při níž se již oproti původní metodě FMEA vyhodnocovala míra rizika (tzv. kritičnost) možných vad. Vyhodnocování míry rizika je dnes již standardní součástí prakticky všech metodik, přesto se však téměř výhradně používá pouze označení FMEA.

Postup aplikace metody FMEA je v normě rozčleněn do čtyř etap:

1. Stanovení pravidel provádění analýzy a harmonogramu
2. Provedení analýzy FMEA
3. Zpracování zprávy
4. Aktualizace analýzy.

Norma uvádí řadu zásad pro provádění analýzy, avšak neposkytuje srozumitelný metodický návod.

Pro posuzování míry rizika možných vad norma uvádí možnost využití dvou hlavních přístupů: matice kritičnosti a rizikového čísla (RPN). Matice kritičnosti vychází z původní normy a představuje hodnocení míry rizika na základě významu a výskytu vady. Příklad matice kritičnosti, která využívá čtyři úrovně významu vady a pět úrovní pravděpodobnosti výskytu vady je uveden na obr. 3.7.

Četnost výskytu následku vady		**Úrovně závažnosti**			
		1	2	3	4
		Nevýznamná	Okrajová	Kritická	Katastrofická
5	Četný výskyt	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
4	Pravděpodobný výskyt	Přípustné	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné
3	Občasný výskyt	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí	Nepřípustné
2	Velice slabý výskyt	Zanedbatelné	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí
1	Nepravděpodobný výskyt	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Přípustné	Přípustné

Obr. 3.7: Matice rizika/kritičnosti podle ČSN EN 60812.

Co se týče rizikového čísla, norma prezentuje přístup a hodnoticí tabulky používaný v automobilovém průmyslu, konkrétně v metodice QS 9000 (3.vydání z roku 2001). Zároveň jsou uvedeny některé nedostatky rizikového čísla, například:

- hodnoty rizikového čísla nevyužívají celou škálu od 1 do 1000
- různé kombinace hodnocení jednotlivých kritérií mohou vést ke stejné hodnotě rizikového čísla
- vliv změny vybraného kritéria na hodnotu rizikového čísla závisí na hodnotách ostatních faktorů

Z těchto důvodů norma doporučuje, aby se spolu s hodnotou rizikového čísla posuzovaly i hodnoty dílčích kritérií, zejména významu vady.

Metoda FMEA podle metodiky QS-9000

Čtvrté vydání metodiky FMEA z roku 2008 navazuje na dobré metodické zpracování předchozích metodik v rámci standardu QS – 9000.

Oproti třetímu vydání metodiky z roku 2001 došlo k některým úpravám hodnoticích tabulek. Jsou upraveny hodnoticí tabulky pro hodnocení očekávaného výskytu vady u FMEA návrhu produktu i procesu. Nové hodnocení očekávaného výskytu vady je v oblasti málo pravděpodobného výskytu přísnější (viz tab. 3.1). Nejpříznivější hodnocení výskytu (1 bod) je pak vyhrazeno pro případy, kdy vznik možné vady je eliminován používanými nástroji prevence.

Tab. 3.1: Porovnání hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady u třetího a čtvrtého vydání metodiky QS-9000.

Hodnocení výskytu	Pravděpodobnost výskytu vady	
	3. vydání (2001)	4.vydání (2008)
10	$\geq 0,1$	$\geq 0,1$
9	0,05	0,05
8	0,02	0,02
7	0,01	0,01
6	0,005	0,002
5	0,002	0,0005
4	0,001	0,0001
3	0,0005	0,00001
2	0,0001	0,000001
1	$\leq 0,00001$	účinná prevence

Jsou rovněž upraveny hodnoticí tabulky pro hodnocení odhalitelnosti vady. V případě analýzy FMEA návrhu produktu jsou zcela obecné formulace uváděné ve třetím vydání metodiky nahrazeny konkrétně vymezenými postupy ověřování návrhu produktu před uvolněním do výroby. Rovněž v případě analýzy FMEA procesu je hodnoticí tabulka výrazně upravena.

Zřejmě nejvýznamnější změnou, kterou přináší nové vydání metodiky FMEA je přístup, který nedoporučuje rozhodovat o prioritách opatření ke zmírnění rizik pouze

na základě porovnání hodnoty rizikového čísla s kritickou hodnotou. Zdůrazňuje se potřeba provést komplexní vyhodnocení všech dílčích kritérií (význam, výskyt a odhalitelnost vady), zejména významu vady. Problém při používání rizikového čísla je spatřován v tom, že dochází ke ztrátě informace o konkrétních hodnotách jednotlivých dílčích kritérií. Dalším uváděným důvodem tohoto revidovaného pohledu na hodnotu rizikového čísla je skutečnost, že neexistuje jeho jednoznačná kritická hodnota, při jejímž překročení je nutné realizovat opatření ke zmírnění rizika.

V příloze C metodiky jsou uvedeny některé alternativní způsoby hodnocení rizik. Jedním z nich je používání součinu hodnocení významu a výskytu. Tento součin je již dnes spolu s rizikovým číslem používán v některých softwarových produktech pro podporu metody FMEA. Nově jsou zmíněny i další způsoby posuzování rizika pomocí trojciferných případně dvojciferných čísel tvořených z číslic odpovídajících hodnocení významu, výskytu a odhalitelnosti, případně pouze významu a odhalitelnosti.

Shrnutí pojmů z části 3.2

FMEA je metodou umožňující minimalizovat rizika možných vad při užívání produktu či v průběhu procesu jeho výroby.
Rizikové číslo je součin bodových hodnocení významu vady, očekávaného výskytu vady a odhalitelnosti vady.

Otázky vztahující se k části 3.2

1. Uveďte základní druhy metody FMEA a účel jejich použití.
2. Porovnejte, co se hodnotí při hodnocení výskytu u FMEA návrhu produktu a u FMEA procesu.
3. Co se označuje zkratkou DAMUK?
4. Charakterizujte současné metodiky pro aplikaci metody FMEA.

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. VDA 4.. Zajišťování kvality před sériovou výrobou. FMEA produktu, FMEA procesu. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007
3. Norma ČSN EN 60812: Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). Praha: Český normalizační institut, 2007
4. Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA). 4. vydání, Praha: Česká společnost pro jakost, 2008

3.3. Analýza stromu poruchových stavů (FTA)

Čas ke studiu: 90 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit princip analýzy stromu poruchových stavů
- Vysvětlit princip hradel A a NEBO
- Zpracovat strom poruchových stavů
- Navrhnout vhodná opatření pro snížení výskytu nežádoucí události

Výklad

Analýza stromu poruchových stavů (FTA - Fault Tree Analysis) je metodou analýzy spolehlivosti složitých systémů, která je založena na logické dekompozici určité nežádoucí (tzv. vrcholové) události (poruchy) na dílčí (mezilehlé) až elementární (základní) události. Zpracování stromu poruchových stavů umožňuje analyzovat mechanismus vzniku poruch a optimalizovat analyzovaný systém tak, aby se pravděpodobnost nežádoucí události snížila.

Současná definice charakterizuje analýzu stromu poruchových stavů jako deduktivní (probíhající shora dolů) metodu analýzy zaměřenou na přesné určení

příčin nebo kombinací příčin, které mohou vést k vymezené vrcholové události. Tato metoda může být využívána jak preventivně, tak k vyšetřování již vzniklých problémů.

Preventivní využití analýzy stromu poruchových stavů je doporučenou součástí přezkoumání návrhu. Její aplikace obvykle následuje po analýze FMEA, která je základním krokem pro analýzu chování systému.

Metoda FTA byla poprvé použita v Bellových laboratořích na počátku šedesátých let a později v polovině šedesátých let rozvinuta u společnosti Boeing. Ve svých počátcích se nejvíce uplatňovala zejména v leteckém průmyslu a v jaderné energetice.

Mezi hlavní cíle analýzy stromu poruchových stavů náleží:

- identifikace příčiny nebo kombinace příčin vedoucích k vrcholové události
- vyhodnocení příčin, které se nejvíce mohou podílet na vzniku vrcholové události
- vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu událostí
- vyhodnocení, zda bezporuchovost systému splňuje požadavky
- nalezení vhodných opatření pro snížení pravděpodobnosti výskytu vrcholové události.

Základním nástrojem metody FTA je strom poruchových stavů, který představuje grafické vyjádření vztahu mezi jednotlivými dílčími událostmi (dílčími poruchami) a konečnou nežádoucí událostí. Při konstrukci stromu poruchových stavů se používá grafická symbolika. V současné době tato symbolika není jednotná a i příslušná norma připouští použití různých symbolů v závislosti na preferencích uživatele nebo použitém software. Vybrané symboly stromu poruchových stavů jsou uvedeny na obr. 3.8, jejich úplný přehled lze nalézt v příslušné normě.

Stromy poruchových stavů se zobrazují svisle nebo vodorovně. V případě použití svislého uspořádání je vrcholová událost nahoře a elementární události dole, v případě použití vodorovného uspořádání může být vrcholová událost na levé nebo na pravé straně stránky.

Základními prvky větvení stromu poruchových stavů jsou tzv. hradla (anglicky „gate“), která vyjadřují hierarchii nežádoucích událostí a určují, zda k nežádoucí

výstupní události dojde pouze tehdy, když nastanou všechny vstupující události nebo postačí, když nastane kterákoliv ze vstupujících událostí.

Hradlo „A“

Hradlo „A“ (hradlo AND) se používá v takovém případě větvení událostí, kdy platí, že událost na výstupu nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny události na vstupu (logický součin). Výslednou pravděpodobnost výskytu události na výstupu z hradla „A“ lze pro případ nezávislosti vstupujících událostí vyjádřit vztahem:

$$P_{„A“} = P(B_1) \cdot P(B_2) \cdot P(B_3) \cdot \cdots\cdots P(B_n)$$

kde:

$P_{“A“}$ - pravděpodobnost výskytu události na výstupu z hradla „A“

B_i - události vstupující do hradla „A“

$P(B_i)$ - pravděpodobnosti výskytu událostí vstupujících do hradla „A“

Vzhledem k tomu, že pravděpodobnosti jsou vyjádřeny hodnotami v rozmezí od 0 do 1, lze z uvedeného vztahu odvodit, že v případě hradla „A“ je pravděpodobnost události na výstupu menší nebo maximálně rovna pravděpodobnosti nejméně pravděpodobné události na vstupu, tedy:

$$P_{„A“} \leq \min_i P(B_i)$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že přítomnost hradel typu „A“ ve stromu poruchových stavů systému je z hlediska pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události velice příznivá.

Hradlo „NEBO“

Hradlo „NEBO“ (hradlo OR) se používá v takovém případě větvení událostí, kdy platí, že událost na výstupu nastane tehdy, když nastane kterákoliv z událostí na vstupu (logický součet). Výslednou pravděpodobnost výskytu události na výstupu z hradla „NEBO“ lze pro případ nezávislosti vstupujících událostí vyjádřit vztahem:

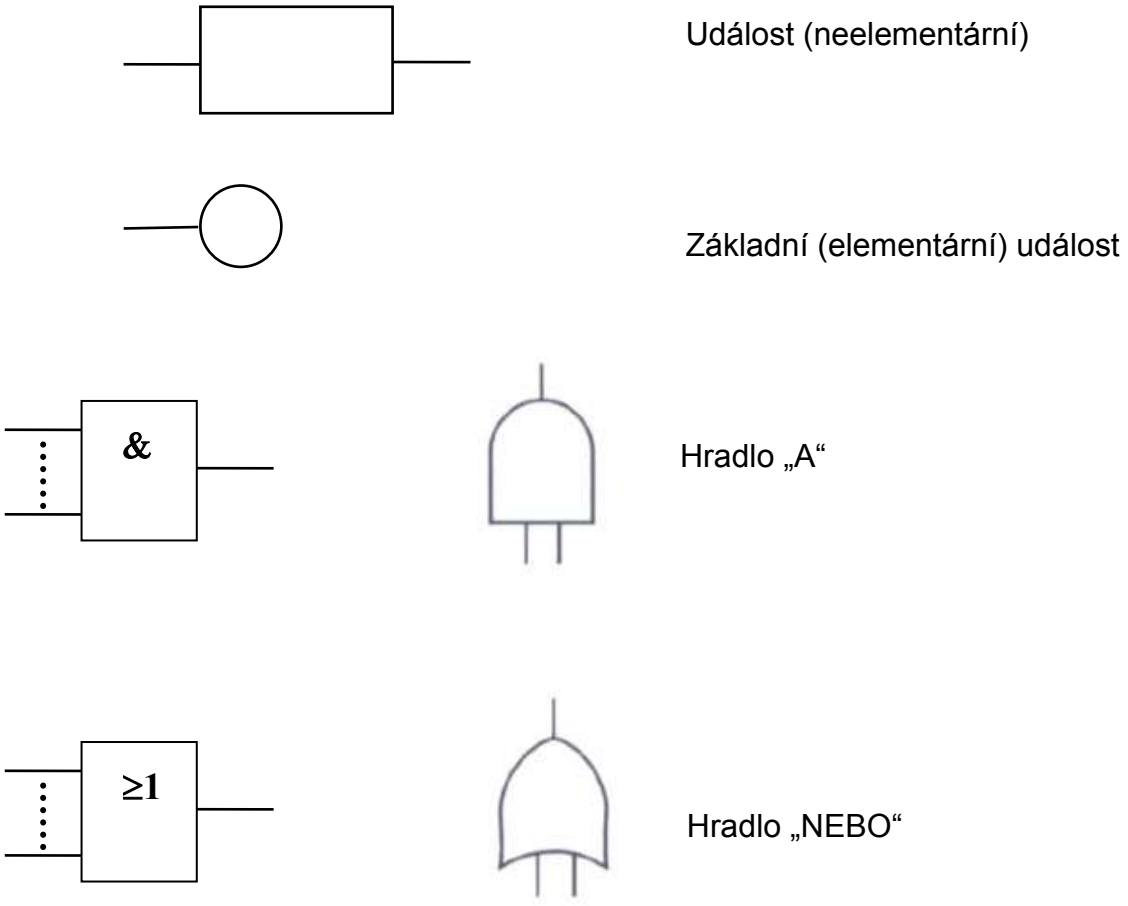
$$P_{"NEBO"} = 1 - (1 - P(C_1)) \cdot (1 - P(C_2)) \cdot (1 - P(C_3)) \cdot \cdots \cdot (1 - P(C_n))$$

kde:

$P_{"NEBO"}$ - pravděpodobnost výskytu události na výstupu z hradla „NEBO“

C_i - události vstupující do hradla „NEBO“

$P(C_i)$ - pravděpodobnosti výskytu událostí vstupujících do hradla „NEBO“



Obr. 3.8: Základní grafické symboly používané při konstrukci stromu poruchových stavů.

Z uvedeného vztahu lze odvodit, že v případě hradla „NEBO“ je pravděpodobnost události na výstupu vyšší nebo minimálně rovna pravděpodobnosti nejvíce pravděpodobné události na vstupu, tedy:

$$P_{"NEBO"} \geq \max_i P(C_i)$$

Z uvedené nerovnosti je patrné, že přítomnost hradel typu „NEBO“ ve stromu poruchových stavů systému je z hlediska pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události nepříznivá.

Výše uvedené vztahy mezi pravděpodobnostmi událostí větvících se na dílčí události přes hradla „A“ a “NEBO“ se využívají jednak k odhadu pravděpodobnosti výskytu nebezpečné události a jednak při navrhování vhodných opatření pro snížení této pravděpodobnosti.

POSTUP ANALÝZY STROMU PORUCHOVÝCH STAVŮ

Postup analýzy stromu poruchových stavů lze strukturovat do následujících kroků:

1. Definování systému, jež bude podroben analýze
2. Detailní seznámení se systémem, jeho funkcemi a faktory, jež působí na jeho chování
3. Identifikace možných poruch systému
4. Výběr nejzávažnější možné poruchy systému (využití FMEA)
5. Identifikace všech dílčích událostí, které se mohou podílet na vybrané poruchové události
6. Vytvoření skupin dílčích událostí, které pro vznik dané poruchové události musí nastat současně
7. Zakreslení stromu poruchových stavů s odpovídajícím větvením pomocí hradel „A“ a „NEBO“.
8. Doplnění případných podmínek, za kterých mohou některé dílčí události nastat
9. Další dekompozice dílčích událostí až k elementárním událostem

10. Dokončení stromu poruchových stavů
11. Analýza stromu poruchových stavů a případný návrh změn posuzovaného systému.

Výchozím krokem analýzy stromu poruchových stavů je vymezení předmětu analýzy. Je potřeba definovat analyzovaný systém, stanovit účel a rozsah analýzy a shromáždit údaje o podmínkách jeho používání.

Dalším krokem je detailní seznámení se systémem a s faktory, které na něj působí. Zpracování stromu poruchových stavů předpokládá dobrou znalost funkcí normálně fungujícího systému. Měly by být určeny všechny požadované funkce systému a identifikovány prvky systému, kterými jsou tyto funkce zajišťovány. Současně by měly být analyzovány všechny faktory, které analyzovaný systém ovlivňují (včetně působení lidského faktoru).

Na detailní seznámení se systémem navazuje identifikace důležitých poruchových událostí systému. Z identifikovaných poruchových událostí se pak pro vlastní analýzu vybírají ty nejzávažnější. V této fázi se využívají informace z analýzy FMEA.

Dalším krokem je identifikace všech dílčích událostí (dílčích poruch), které se přímo podílejí na vybrané poruchové události. Z těchto dílčích událostí se vytvářejí skupiny událostí, které musí nastat současně, aby došlo ke vzniku poruchové události. Získané informace se s využitím hradel „A“ a „NEBO“ a další grafické symboliky zobrazují do stromu poruchových stavů. Pokud se některé dílčí události dají dále větvit, pokračuje se ve tvorbě stromu poruchových stavů až do dosažení základních (elementárních) událostí, které jsou již dále nedělitelné. Příklad tvorby stromu poruchových stavů je prezentován v animaci 3 „Analýza stromu poruchových stavů (FTA)“.

Zpracovaný strom poruchových stavů je pak podroben analýze, která může být kvantitativní nebo kvalitativní. V případě, že se vyhodnocuje i pravděpodobnost výskytu analyzované nebezpečné události, je prvním krokem odhad pravděpodobnosti výskytu elementárních událostí. Zde se využívají zkušenosti s výskytem těchto událostí v jiných systémech, případně údaje deklarované výrobcem příslušných prvků systému. Na základě odhadu pravděpodobností výskytu elementárních událostí se pak vypočte pravděpodobnost vzniku analyzované

poruchové události. Pokud tato pravděpodobnost nekoresponduje s plánovanou spolehlivostí systému, hledají se vhodná opatření pro její snížení.

Účinnými způsoby pro snižování pravděpodobnosti výskytu poruchové události je zvyšování počtu hradel typu „A“ nebo snižování pravděpodobnosti výskytu elementárních událostí. Nejvýraznějšího efektu lze dosáhnout zvyšováním počtu hradel „A“. To lze zajistit zálohováním vybraných prvků systému nebo spřažením jejich funkce s jinými prvky systému.

Vhodná opatření pro snížení pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události lze na základě stromu poruchových stavů navrhovat i v případě, že se provádí pouze kvalitativní vyhodnocení.

Shrnutí pojmů z části 3.3

FTA je metoda analýzy spolehlivosti systémů umožňující analyzovat příčiny možné nežádoucí poruchové události a minimalizovat pravděpodobnost výskytu této události.
Strom poruchových stavů je grafická dekompozice nežádoucí poruchové události na dílčí a elementární události, které se na jejím vzniku podílejí
Hradlo „A“ je větvení ve stromu poruchových stavů, kdy událost na výstupu nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny události na vstupu.
Hradlo „NEBO“ je větvení ve stromu poruchových stavů, kdy událost na výstupu nastane tehdy, když nastane kterákoliv z událostí na vstupu.

Otázky vztahující se k části 3.3

1. Čím se liší metody FMEA a FTA?
2. Vysvětlete princip hradla „A“ .
3. Vysvětlete princip hradla „NEBO“.
4. Jak lze snížit pravděpodobnost nežádoucí události?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. ČSN EN 61025 Analýza stromu poruchových stavů (FTA). Praha: Český normalizační institut, 2007

4 VYPOVÍDACÍ SCHOPNOST INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU

4.1. Indexy způsobilosti procesu a jejich vzájemné vztahy

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Interpretovat jednotlivé indexy způsobilosti procesu
- Analyzovat vzájemné vztahy mezi indexy způsobilosti procesu

Výklad

Jednou z důležitých oblastí plánování jakosti produktu je ověření způsobilosti procesu navrhovaného k realizaci produktu. Způsobilost procesu (Process Capability) lze charakterizovat jako schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

Postup hodnocení způsobilosti procesu

Pro správné vyhodnocení způsobilosti procesu je potřeba dodržet správný postup, který zahrnuje ověření některých omezujících podmínek. Hodnocení způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků jakosti by mělo probíhat v těchto krocích:

1. ***Volba znaku jakosti***

Způsobilost procesu se hodnotí vzhledem k určitému znaku jakosti produktu, který je bezprostředním výsledkem posuzovaného procesu. Zvolený znak by měl odrážet úspěšnost sledovaného procesu. Nezbytným předpokladem pro hodnocení způsobilosti procesu je, aby pro daný znak byla předepsána kritéria jakosti, například toleranční meze.

2. *Analýza systému měření zvoleného znaku jakosti*

Vzhledem k tomu, že výsledky analýzy způsobilosti procesu mohou být výrazně ovlivněny jakostí naměřených údajů, je potřeba před shromažďováním údajů ověřit přijatelnost používaného systému měření.

3. *Shromáždění údajů z probíhajícího procesu*

Údaje o zvoleném znaku jakosti by měly být získávány z probíhajícího procesu v průběhu časového období, které by mělo být dostatečně dlouhé, aby se v něm projevily všechny běžné zdroje variability. V tomto období se v přibližně pravidelných časových či dávkových intervalech z procesu odebírá určitý počet po sobě vyrobených výrobků (podskupiny) a zjišťují se hodnoty sledovaného znaku jakosti. Měly by být získány údaje o cca 25 takových podskupinách.

4. *Průzkumová analýza shromážděných údajů*

Shromážděné údaje je potřeba podrobit průzkumové analýze. K tomu je vhodné využít grafické nástroje. Tak například pomocí krabicového grafu lze identifikovat případné odlehlé hodnoty a posoudit symetričnost rozdělení sledovaného znaku. Velice cenné informace poskytuje histogram, ve kterém je vhodné doplnit předepsané toleranční meze Toto zobrazení dává informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku, jeho poloze vůči tolerančním mezím, dosahované variabilitě a míře dodržování tolerančních mezí. Tyto informace jsou důležité pro další postup a jsou důležitým doplňkem vyhodnocovaných indexů způsobilosti.

5. *Posouzení statistické zvládnutosti procesu*

Aby bylo možné hodnotit způsobilost procesu, musí být proces statisticky zvládnutý, tedy variabilita sledovaného znaku jakosti musí být vyvolána pouze působením náhodných příčin. K ověření statistické zvládnutosti procesu se využívají regulační diagramy, které umožňují vyhodnotit, zda proces ovlivňují pouze náhodné příčiny variability (je statisticky zvládnutý), nebo i vymezitelné příčiny variability (není statisticky zvládnutý). Před použitím některých typů regulačních diagramů je potřeba ověřit normalitu dat.

6. *Ověření normality sledovaného znaku jakosti*

K hodnocení způsobilosti procesu se standardně používají indexy způsobilosti založené na předpokladu normálního rozdělení sledovaného znaku jakosti. Základní

informaci o podobnosti rozdělení sledovaného znaku normálnímu rozdělení poskytuje například histogram. Objektivní ověření normality je však potřeba provést pomocí vhodných testů.

7. *Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami*

K hodnocení způsobilosti procesů se běžně používají indexy způsobilosti. Nejčastěji jsou využívány indexy C_p a C_{pk}, které posuzují potenciální a skutečnou schopnost procesu trvale poskytovat produkty vyhovující tolerančním mezím. V menší míře se zatím uplatňují indexy C_{pm}, C^*_{pm}, a C_{pmk} , které navíc posuzují schopnost procesu dosahovat cílové hodnoty sledovaného znaku jakosti.

8. *Případný návrh a realizace opatření ke zlepšení procesu*

Pokud analýza způsobilosti procesu vede k závěru, že proces není způsobilý, je potřeba realizovat vhodná opatření k dosažení způsobilosti. Vhodná opatření lze odvodit ze vzájemného porovnání hodnot jednotlivých indexů způsobilosti, dobrou pomůckou je rovněž sestrojený histogram.

Indexy způsobilosti procesu

Index způsobilosti C_p

Index způsobilosti C_p je mírou potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Hodnota indexu C_p je poměrem maximálně přípustné a skutečné variability hodnot znaku jakosti bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. Index C_p tedy charakterizuje potenciální možnosti procesu dané jeho variabilitou (schopnost sledovaného znaku „vejít se“ do tolerance), ale již nic neříká o tom, jak jsou tyto možnosti ve skutečnosti využity. Lze ho stanovit pouze v případě oboustranné tolerance. Počítá se podle vztahu:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

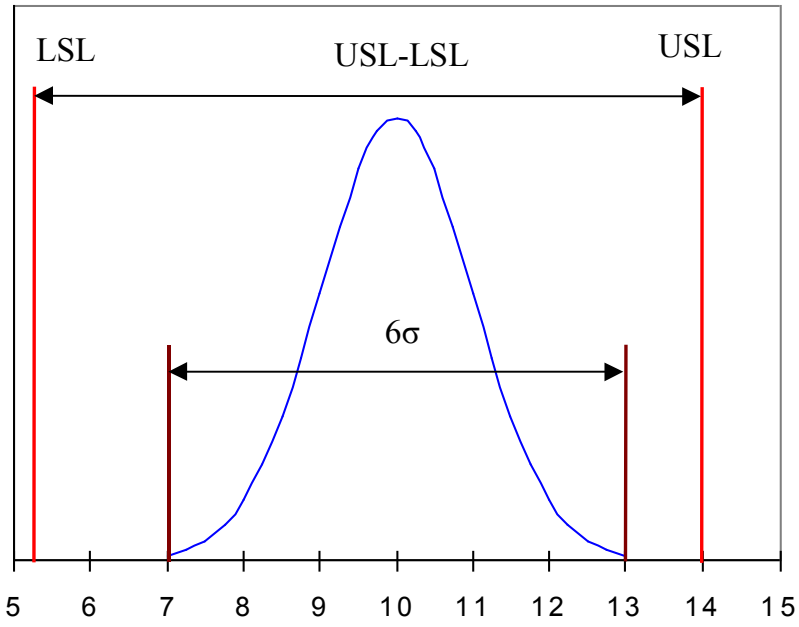
kde:

LSL - dolní toleranční mez

USL - horní toleranční mez

σ - směrodatná odchylka

Grafické znázornění charakteristik potřebných pro výpočet indexu způsobilosti C_p je uvedeno na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_p.

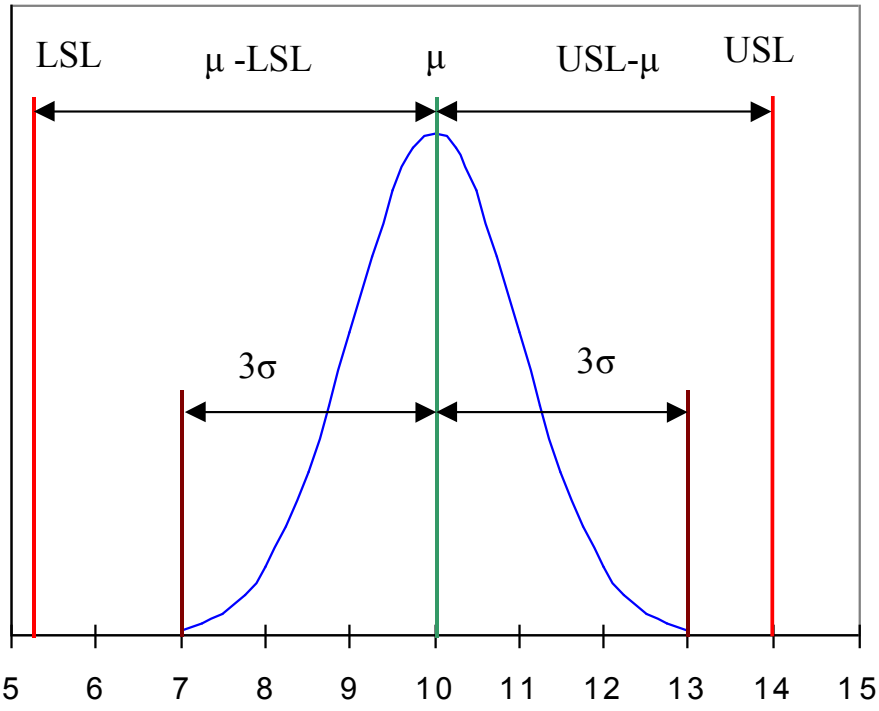
Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} zohledňuje jak variabilitu sledovaného znaku jakosti, tak jeho polohu vůči tolerančním mezím. Index C_{pk} tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Jeho hodnota vyjadřuje poměr vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku jakosti od bližší toleranční meze k polovině skutečné variability hodnot. Index C_{pk} lze počítat jak v případě oboustranné, tak jednostranné tolerance. K jeho výpočtu se používá vztah:

$$C_{pk} = min\left\{C_{pL}; C_{pU}\right\} = min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right\}$$

kde: μ - střední hodnota sledovaného znaku jakosti

Grafické znázornění charakteristik potřebných pro výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je uvedeno na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_{pk}.

V případech, kdy jsou předepsány obě toleranční meze, lze stanovit, jak index C_p, tak index C_{pk}. Mezi jejich hodnotami lze odvodit vztah:

$$C_{pk} = C_p - \frac{\left| \frac{USL + LSL}{2} - \mu \right|}{3\sigma}$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že mezi hodnotami indexů způsobilosti C_{pk} a C_p platí nerovnost:

$$C_{pk} \leq C_p$$

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je tedy obecně menší a maximálně rovna hodnotě indexu C_p. Rozdíl mezi hodnotami obou indexů je tím vyšší, čím více je střední hodnota sledovaného znaku vzdálena od středu tolerančního pole. Například při posunu střední hodnoty sledovaného znaku ze středu tolerančního pole o jednu směrodatnou odchylku bude hodnota C_{pk} o 0,33 nižší než hodnota C_p. Rovnosti obou těchto indexů způsobilosti je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti leží právě ve středu tolerančního pole. Tehdy je

potenciální způsobilost procesu daná variabilitou sledovaného znaku maximálně využita.

Pokud máme k dispozici hodnoty dílčích indexů způsobilosti C_{pL} a C_{pU}, lze k výpočtu indexů C_p a C_{pk} využít vztahy:

$$C_p = \frac{C_{pL} + C_{pU}}{2}$$

$$C_{pk} = min\{C_{pL}; C_{pU}\}$$

Index způsobilosti C_{pm}

Index způsobilosti C_{pm} porovnává maximálně přípustnou variabilitu sledovaného znaku jakosti danou šířkou tolerančního pole s jeho skutečnou variabilitou kolem cílové (optimální) hodnoty T. Tento index tedy zohledňuje jak variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti, tak míru dosažení cílové hodnoty. Lze ho stanovit pouze v případě oboustranné tolerance a měl by být používán pouze tehdy, když cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole.

Počítá se podle vztahu:

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

kde: T - cílová hodnota

Mezi hodnotami indexu C_{pm} a C_p lze odvodit vztah:

$$C_{pm} = C_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

který lze upravit na tvar:

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}$$

Z uvedených vztahů je patrné, že mezi hodnotami indexů způsobilosti C_{pm} a C_p platí nerovnost:

$$C_{pm} \leq C_p$$

Například při posunu střední hodnoty sledovaného znaku jakosti o jednu směrodatnou odchylku ze středu tolerančního pole bude hodnota indexu C_{pm} 1,41krát nižší než hodnota C_p. Rovnosti příslušných indexů je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti odpovídá cílové hodnotě.

Index způsobilosti C^*_{pm}

Pro případy, kdy cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jednostranná tolerance, je zaveden index C^*_{pm}. Tento index porovnává vzdálenost cílové hodnoty sledovaného znaku od bližší toleranční meze s polovinou skutečné variability sledovaného znaku kolem této cílové (optimální) hodnoty. Počítá se pomocí vztahu:

$$C^*_{pm} = \min\left\{\frac{T - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - T}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}$$

V případě, že cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole odpovídá hodnota indexu C^*_{pm} hodnotě indexu C_{pm}.

Index způsobilosti C_{pmk}

Index způsobilosti C_{pmk} porovnává vzdálenost střední hodnoty sledovaného znaku jakosti k bližší toleranční mezi s polovinou variability znaku kolem cílové hodnoty.

$$C_{pmk} = min\left\{\frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}$$

V případě oboustranné tolerance, kdy se dají stanovit indexy C_p a C_{pm}, lze definiční vztah převést na tvar:

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk} \cdot C_{pm}}{C_p}$$

Index způsobilosti procesu C_{pmk} je tedy v podstatě kombinací některých výše uvedených indexů. Využívá dobré vlastnosti indexu C_{pk}, zejména jeho schopnost ohodnotit, zda hodnoty sledovaného znaku jakosti skutečně leží uvnitř tolerance, které kombinuje s mírou dosažení stanovené cílové hodnoty.

Obdobně jako v případě indexů C_{pm} a C_p lze mezi hodnotami indexu C_{pmk} a C_{pk} odvodit vztah:

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}$$

Mezi hodnotami indexů způsobilosti C_{pmk} a Cpk platí nerovnost:

$$C_{pmk} \leq C_{pk}$$

Rovnosti příslušných indexů je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti odpovídá cílové hodnotě.

Z uvedených vztahů rovněž vyplývá nerovnost:

$$C_{pmk} \leq C_{pm}$$

Rovnosti těchto indexů je dosaženo v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku leží ve středu tolerančního pole.

Souhrnně lze vztahy mezi indexy způsobilosti procesu vyjádřit těmito nerovnostmi:

$$C_{pmk} \leq C_{pk} \leq C_p$$

$$C_{pmk} \leq C_{pm} \leq C_p$$

Vztahy mezi indexy nelze vyjádřit jednou nerovností, protože relace mezi indexy C_{pk} a C_{pm} závisí na pozici střední hodnoty sledovaného znaku vůči cílové hodnotě a středu tolerance.

Vyhodnocení indexů způsobilosti procesu by se mělo realizovat v tomto pořadí:

1) Stanovení indexu způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} charakterizuje reálnou způsobilost procesu dodržovat předepsané tolerance sledovaného znaku jakosti a je základním kritériem způsobilosti procesu. Jestliže je dosažena požadovaná mezní hodnota (obvykle $C_{pk} \geq 1{,}33$) je proces považován za způsobilý.

2) Stanovení indexu způsobilosti C_p

Index způsobilosti C_p charakterizuje potenciální způsobilost procesu. Posuzuje, zda se hodnoty sledovaného znaku jakosti, vzhledem k dosahované variabilitě, mohou vejít do tolerančních mezí. Porovnání hodnoty C_p s hodnotou C_{pk} poskytuje informaci o míře využití potenciální způsobilosti procesu, která souvisí se správností seřízení procesu vůči tolerančním mezím. Nejlépe je potenciální způsobilost procesu využita (hodnoty obou indexů způsobilosti procesu se rovnají) v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku je seřízena na střed tolerance. Znalost obou indexů způsobilosti rovněž umožňuje stanovit, zda ke zlepšení procesu je dostačující jeho seřízení, nebo je potřeba realizovat opatření, která zajistí snížení variability sledovaného znaku jakosti.

3) Stanovení indexu C_{pmk}

Index způsobilosti C_{pmk} je indexem, který kromě míry dodržení tolerančních mezí rovněž posuzuje míru dosažení cílové hodnoty T. Míru dosažení cílové hodnoty lze posoudit na základě porovnání tohoto indexu s indexem C_{pk}. Pokud se oba indexy rovnají, leží střední hodnota sledovaného znaku jakosti právě v cílové hodnotě, jestliže je C_{pmk} menší než C_{pk} (v oblasti kladných hodnot indexů), proces se od cílové hodnoty znaku odchyluje. Míru dosažení cílové hodnoty zohledňují rovněž další indexy způsobilosti C_{pm} a C^*_{pm}, jejich použití však má určitá omezení a obtížnější je rovněž jejich interpretace.

Shrnutí pojmů z části 4.1

Způsobilost procesu je schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

Statisticky zvládnutý proces je proces, který je ovlivňován pouze náhodnými příčinami variability.

Otázky vztahující se k části 4.1

1. Jakým způsobem se ověřuje statistická zvládnutost procesu?
2. Jakým způsobem se ověřuje normalita dat?
3. O čem vypovídá index způsobilosti C_{pk} a jaký je jeho vztah k indexu C_p?
4. O čem vypovídá index způsobilosti C_{pmk} a jaký je jeho vztah k indexu C_{pk}?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. PLURA, J.: Interpretace indexů způsobilosti procesu. Kvalita, 2002, roč. X, č. 2, s. 33-36, ISSN 1335-9231

4.2. Citlivost indexů způsobilosti na změny procesu

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit vliv změny variability procesu na indexy způsobilosti
- Vysvětlit vliv změny polohy procesu na indexy způsobilosti

Výklad

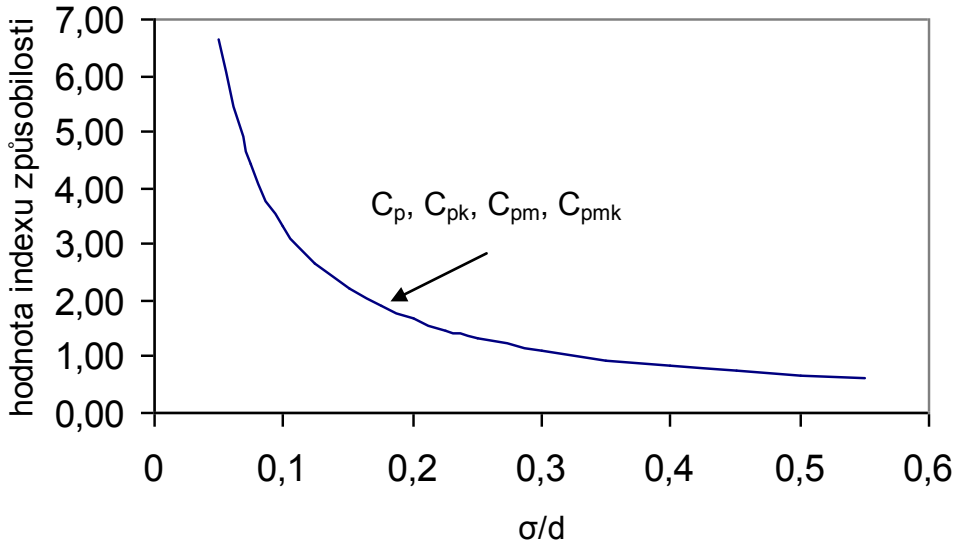
Způsobilost procesu se posuzuje pomocí různých druhů indexů způsobilosti. Velkou pozornost je potřeba věnovat jejich správné interpretaci, neboť každý z nich způsobilost procesu charakterizuje různým způsobem. Důležité je rovněž znát citlivost těchto indexů na změny variability a polohy sledovaného znaku jakosti vůči tolerančním mezím a cílové hodnotě.

Vliv změny variability sledovaného znaku jakosti na hodnoty indexů způsobilosti

Hodnoty všech uvedených indexů způsobilosti jsou funkcí směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti. Vzhledem k tomu, že v příslušných vzorcích je směrodatná odchylka ve jmenovateli, lze očekávat hyperbolický průběh závislosti.

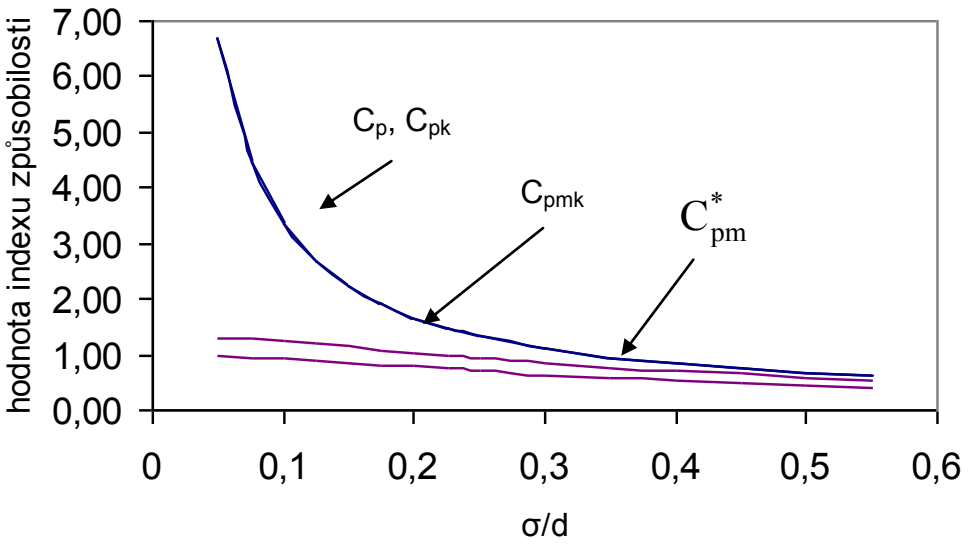
Závislost indexů způsobilosti procesu na relativní hodnotě směrodatné odchylky vztažené k polovině šířky tolerance ((d=(USL-LSL)/2)) je pro případ, kdy střední hodnota sledovaného znaku leží ve středu tolerance (M=(USL+LSL)/2) a rovněž cílová hodnota odpovídá středu tolerance, znázorněna na obr. 4.3. Z obrázku je patrné, že v tomto případě je pokles všech indexů způsobilosti s rostoucí relativní hodnotou směrodatné odchylky stejný. K nejvýraznějšímu poklesu indexů způsobilosti dochází v oblasti relativních hodnot směrodatné odchylky menších než cca 0,15 (odpovídající hodnoty indexu C_p jsou vyšší než cca 2,2), při dalším zvyšování směrodatné odchylky je již pokles hodnot indexů mnohem mírnější.

V případech, kdy cílová hodnota sledovaného znaku jakosti neodpovídá středu tolerance, lze očekávat nižší hodnoty indexů způsobilosti zohledňujících míru dosažení cílové hodnoty (C_{pm} , C^*_{pm} a C_{pmk}). Příslušné závislosti jsou pro případ, kdy cílová hodnota leží ve vzdálenosti jedné osminy šířky tolerančního pole od středu tolerance (|T-M| = 0,25d), uvedeny na obr. 4.4 (namísto indexu C_{pm}, který se nedoporučuje používat pro případy, kdy cílová hodnota neodpovídá středu tolerance, je uveden průběh indexu C^*_{pm}).



Obr. 4.3: Závislost indexů způsobilosti procesu na relativní hodnotě směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti *(μ = M = T)*

Z průběhu závislostí je patrné, že v tomto případě jsou indexy C^*_{pm} a C_{pmk} zejména v oblasti nízké variability mnohem méně citlivé na změnu variability procesu než indexy C_p a C_{pk}. Příčinou je skutečnost, že ve vztazích pro výpočet těchto indexů je ve jmenovateli jak hodnota směrodatné odchylky, tak hodnota vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku od cílové hodnoty, jejíž vliv může překrýt vliv změny směrodatné odchylky znaku.



Obr. 4.4: Závislosti indexů způsobilosti procesu na relativní hodnotě směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti *(μ = M; |T-M| = 0,25d*)

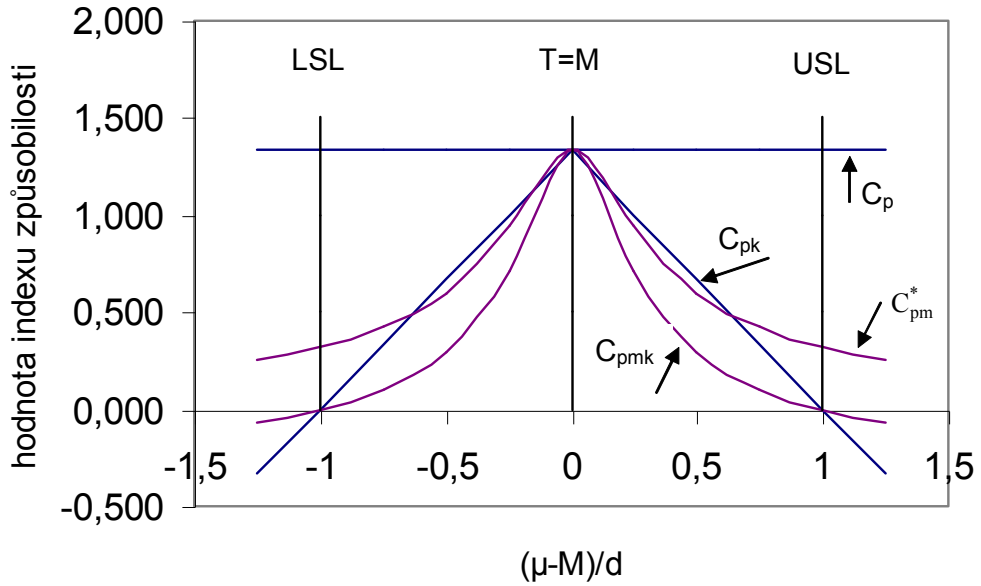
Vliv změny polohy sledovaného znaku jakosti na hodnoty indexů způsobilosti

Vzhledem k tomu, že uváděné indexy způsobilosti posuzují polohu sledovaného znaku jakosti vůči specifikacím rozdílným způsobem, lze očekávat rovněž jejich rozdílnou citlivost na změny této polohy. Závislosti hodnot jednotlivých indexů na relativní vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku jakosti od středu tolerance ((μ-M)/d) jsou pro případ konstantní variability (σ/d = 0,25, což odpovídá Cp=1,33), centrování procesu na střed tolerance a rovnosti cílové hodnoty se středem tolerance (T= M) uvedeny na obr. 4.5.

Závislost hodnoty indexu C_p na střední hodnotě sledovaného znaku jakosti odpovídá rovnoběžce s osou x. To potvrzuje skutečnost, že tento index charakterizuje pouze potenciální způsobilost procesu (schopnost „vejít se do tolerance“), a nezohledňuje polohu sledovaného znaku jakosti vůči tolerančním mezím.

Závislost indexu C_{pk} na střední hodnotě znaku jakosti je pro uváděný případ oboustranné tolerance charakteristická svým tvarem lomené křivky. Je to dáno tím, že hodnota indexu C_{pk} odpovídá menší hodnotě z dvojice indexů C_{pL} a C_{pU}. S klesající absolutní hodnotou vzdálenosti střední hodnoty od středu tolerance hodnota indexu C_{pk} lineárně narůstá a při dosažení středu tolerance nabývá maximální hodnoty (tehdy je maximálně využita potenciální způsobilost procesu (C_{pk} = C_p)). Při dosažení některé z tolerančních mezí hodnota indexu C_{pk} klesne na nulu a při jejich překročení index nabývá záporných hodnot.

Závislosti indexu C^*_{pm} resp. C_{pm} (pro T=M platí rovnost těchto indexů) na střední hodnotě znaku mají pro uváděný případ, kdy cílová hodnota leží ve středu tolerance, podobný průběh s maximem jako u indexu C_{pk}, nejedná se však o lomenou, ale o hladkou křivku s vrcholem odpovídajícím úrovni cílové hodnoty. Z obrázku je patrné, že při malém odchýlení střední hodnoty od cílové hodnoty je pokles hodnoty tohoto indexu výraznější než u indexu C_{pk}, při vyšších vzdálenostech od cílové hodnoty je však naopak tento pokles mnohem mírnější a prakticky nijak neindikuje překročení tolerančních mezí. Indexy C_{pm} a C^*_{pm} tedy citlivě reagují na odchylky střední hodnoty od cílové hodnoty, ale jsou málo citlivé na dodržování tolerančních mezí.



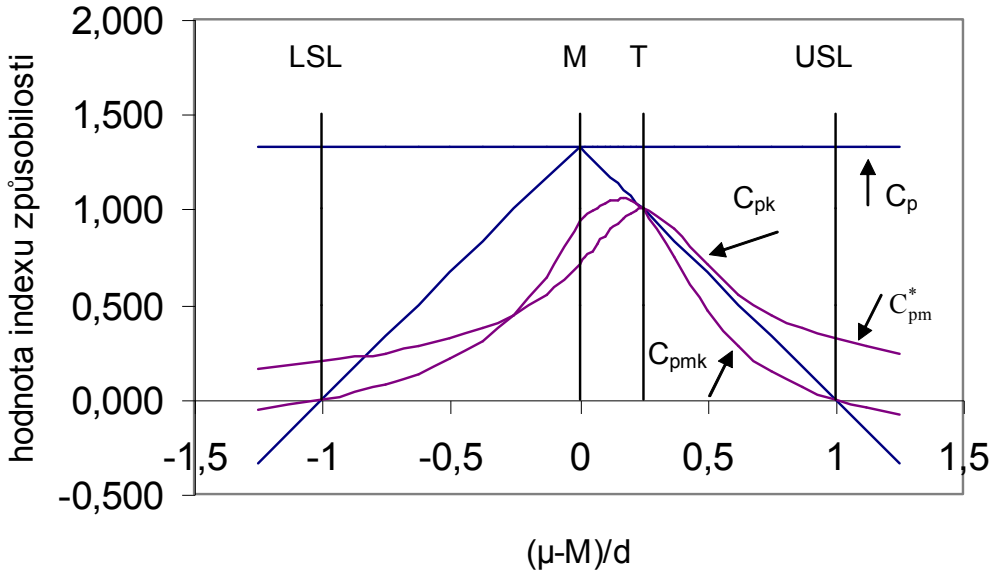
Obr. 4.5: Závislosti indexů způsobilosti procesu na relativní střední hodnotě sledovaného znaku jakosti *(σ/d = 0,25; T= M)*

Závislost indexu C_{pmk} je podobná závislosti indexů C^*_{pm} resp. C_{pm}, avšak má strmější průběh. Na rozdíl od indexů C_{pm} a C^*_{pm} index C_{pmk} jednoznačně indikuje situaci, kdy střední hodnota sledovaného znaku dosáhne úrovně některé z tolerančních mezí, neboť hodnota indexu se obdobně jako u indexu C_{pk} dostane do oblasti záporných hodnot.

V případech, kdy cílová hodnota neleží ve středu tolerance lze očekávat odlišné chování indexů zohledňujících míru dosažení cílové hodnoty. Závislosti indexů způsobilosti na relativní střední hodnotě sledovaného znaku jakosti pro případ, kdy cílová hodnota je ve vzdálenosti jedné osminy šířky tolerančního pole nad středem tolerance (T-M = 0,25d), jsou uvedeny na obr. 4.6. Charakter závislostí v podstatě zůstává zachován, v případě indexů C^*_{pm} a C_{pmk} však dochází k posunu maxima směrem k cílové hodnotě, což je doprovázeno asymetrií změny indexu při posunu střední hodnoty k horní a dolní toleranční mezi. Dochází rovněž ke snížení hodnot těchto indexů oproti předchozímu případu.

Z obrázku je rovněž patrné, že maximální hodnoty indexů C^*_{pm} a C_{pmk} nejsou dosahovány při stejné poloze znaku vůči tolerancím. Zatímco maximální hodnota indexu C^*_{pm} je dosahována v případě, kdy střední hodnota znaku dosáhne cílové hodnoty, v případě indexu C_{pmk} je maximální hodnota indexu dosažena v oblasti

mezi cílovou hodnotou a středem tolerance. Souvisí to s tím, že index C_{pmk} je v podstatě kombinací indexů C_{pk}, C_p a C_{pm} a zde se projevuje vliv vyšší hodnoty indexu C_{pk}.



Obr. 4.6: Závislosti indexů způsobilosti procesu na relativní střední hodnotě sledovaného znaku jakosti *(σ/d = 0,25; T= M+0,25d)*

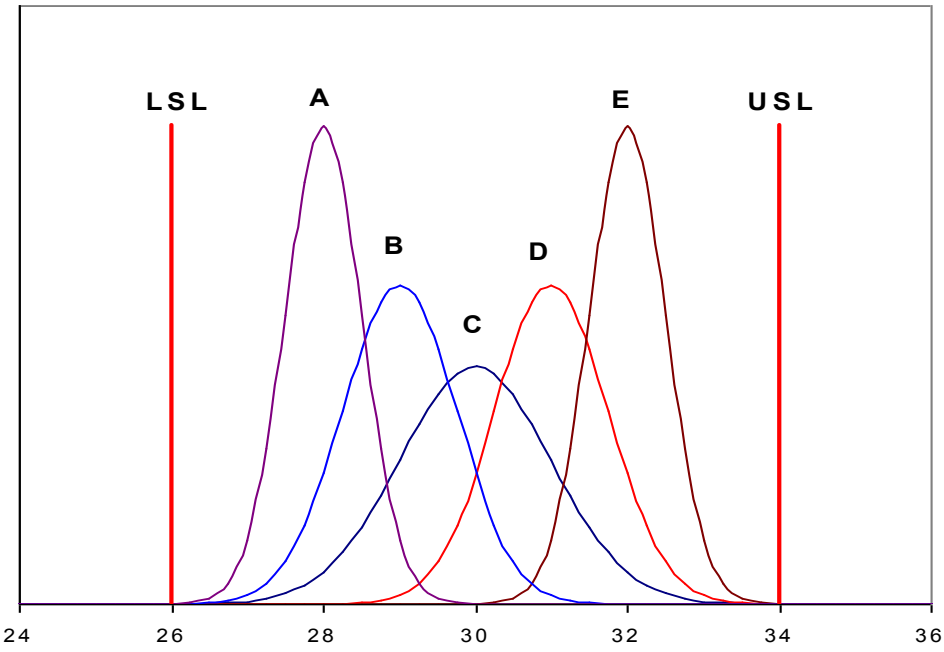
Změny indexů způsobilosti v závislosti na změně variability a polohy sledovaného znaku jakosti jsou prezentovány v animaci 4a „Citlivost indexů způsobilosti na změny procesu“.

Nejednoznačnost indexů ve vztahu k rozdělení sledovaného znaku jakosti

Bližší analýza indexů způsobilosti ukazuje, že žádný z nich jednoznačně neurčuje skutečné rozdělení sledovaného znaku jakosti (jedním číslem nelze vyjádřit dva parametry normálního rozdělení). Nejvíce patrné to je v případě indexu C_p, který nezohledňuje polohu sledovaného znaku jakosti. V případě dalších uvedených indexů je tato nejednoznačnost dána tím, že jejich hodnoty závisejí jak na poloze, tak na variabilitě sledovaného znaku jakosti. V případě oboustranné tolerance se u těchto indexů navíc projevuje další nejednoznačnost daná tím, že z jejich hodnoty nelze určit, ke které z tolerančních mezí se proces více přibližuje nebo zda střední

hodnota leží nad nebo pod cílovou hodnotou. V důsledku těchto vlastností je na základě samotných hodnot jednotlivých indexů způsobilosti obtížné posuzovat, v jaké míře dosaženou úroveň ovlivňuje variabilita a v jaké střední poloha sledovaného znaku. Příklady této nejednoznačnosti budou ilustrovány pro případ indexu C_{pk}.

Skutečnost, že hodnota C_{pk} závisí jak na střední hodnotě, tak na hodnotě směrodatné odchylky může vést k situaci, že procesy s rozdílným rozdělením sledovaného znaku jakosti mohou mít stejnou hodnotu C_{pk}. Stačí pouze, aby se při změnách střední hodnoty proporcionálně měnila i variabilita, a to tak, aby poměr vzdálenosti střední hodnoty od bližší toleranční meze k hodnotě směrodatné odchylky zůstával konstantní. Příklad procesů se stejnou hodnotou indexu C_{pk} = 1,33 je uveden na obr. 4.7.



Obr. 4.7: Různé situace rozdělení sledovaného znaku jakosti odpovídající stejné hodnotě indexu způsobilosti C_{pk} (C_{pk} = 1,33)

Případy A, B a C resp. C, D a E představují situace, v nichž se proporcionálně mění vzdálenost střední hodnoty sledovaného znaku jakosti od bližší toleranční meze a směrodatná odchylka. Případy A a E nebo B a D pak představují situace, kdy se nemění ani směrodatná odchylka ani vzdálenost střední hodnoty od bližší toleranční meze, avšak bližší toleranční mezí se stává opačná mez (viz tab. 4.1).

Tab. 4.1: Hodnoty indexů způsobilosti procesů a očekávaného výskytu neshodných výrobků (ppm) dle situací na obr. 4.7.

	A	**B**	**C**	**D**	**E**
μ	28	29	30	31	32
σ	0,5	0,75	1	0,75	0,5
C_{pk}	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
C_p	2,67	1,78	1,33	1,78	2,67
C_{pL}	1,33	1,33	1,33	2,22	4,00
C_{pU}	4,00	2,22	1,33	1,33	1,33
C_{pm} (T = 30)	0,65	1,07	1,33	1,07	0,65
C_{pmk}	0,32	0,80	1,33	0,80	0,32
ppm	33,05	33,05	66,10	33,05	33,05

Pro identifikaci změny v případech A, B a C resp. C, D a E lze v případě oboustranných tolerančních mezí doplnit hodnotu C_p, která rozliší rozdílnou variabilitu sledovaného znaku jakosti. V případech A a E nebo B a D však ani doplnění hodnoty indexu C_p uvedené změny neindikuje.

Rozlišení situací se stejnou hodnotou C_{pk}, u nichž se proporcionálně mění variabilita a vzdálenost střední hodnoty od bližší toleranční meze (A, B a C resp. C, D a E) lze zajistit i doplněním indexu C_{pm}. Ani tento index však neumožňuje rozlišit situace se stejnou vzdáleností od cílové hodnoty směrem k různým tolerančním mezím. Obdobné závěry lze učinit i pro index C_{pmk}.

Jednoznačné informace o rozdělení sledovaného znaku jakosti vzhledem k tolerančním mezím v případě oboustranných tolerančních mezí poskytuje současné uvedení indexů C_{pL} a C_{pU}. Přestože oba tyto indexy závisí jak na vzdálenosti střední hodnoty od dané toleranční meze, tak na variabilitě, jednoznačně určují, ke které toleranční mezi je proces posunut.

Obdobně jako v případě indexu C_{pk} rovněž hodnota indexu C_{pm} jednoznačně neurčuje odpovídající rozdělení sledovaného znaku jakosti. Pokud se hodnota směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti a vzdálenost jeho střední hodnoty od cílové hodnoty mění proporcionálně tak, že hodnota jmenovatele ve výpočtovém vztahu zůstává zachována, pak se hodnota C_{pm} nemění.

Shrnutí pojmů z části 4.2

Otázky vztahující se k části 4.2

1. Jakému typu závislosti odpovídá závislost indexů C_p a C_{pk} na hodnotě směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti?
2. V jakém případě mají závislosti indexů způsobilosti procesu C_p, C_{pk}, C_{pm}, C_{pmk} na hodnotě směrodatné odchylky stejný průběh?
3. Vysvětlete průběhy závislosti indexů C_p a C_{pk} na střední hodnotě sledovaného znaku jakosti.
4. Za jakých podmínek může nastat situace, kdy změna polohy sledovaného znaku vůči tolerančním mezím není doprovázena změnou indexu způsobilosti C_{pk}?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. PLURA, J.: Citlivost indexů způsobilosti procesu na změny procesu. In: sborník 13. Mezinárodní konference JAKOST 2004, ostrava: Dům Techniky Ostrava, 2004, s. D51-D56, ISBN 80-02-01645-9

4.3. Faktory ovlivňující vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit, které faktory ovlivňují vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu
- Vypočítat konfidenční intervaly odhadu indexů způsobilosti Cp a Cpk

Výklad

Při interpretaci výsledků hodnocení způsobilosti procesů je potřeba mít na paměti, že vypovídací schopnost indexů způsobilosti je ovlivněna celou řadou faktorů. K těm nejdůležitějším lze přiřadit:

Zvolený znak jakosti

Stanovené hodnoty indexů způsobilosti by měly být vždy doplněny informací o tom, podle kterého znaku jakosti byla způsobilost posuzována. Obecný termín způsobilý proces by měl být použit až tehdy, když je prokázána způsobilost vzhledem ke všem specifikovaným znakům jakosti.

Druh použitých indexů způsobilosti

Každý z používaných indexů způsobilosti posuzuje způsobilost procesu jiným způsobem a tomu by měla odpovídat i jejich interpretace. Rovněž je potřeba mít na paměti, že hodnoty jednotlivých indexů jednoznačně neurčují skutečné rozdělení sledovaného znaku jakosti. K posouzení způsobilosti procesu je vhodné použít více indexů a vždy doplnit grafické zobrazení rozdělení sledovaného znaku jakosti.

Soulad použitých kritérií jakosti s požadavky zákazníka

Praktické zkušenosti ukazují, že příčinou zjištěné nezpůsobilosti jsou v mnohých případech nesprávně definované toleranční meze. Neodmyslitelnou součástí hodnocení způsobilosti procesu by tedy mělo být ověření správnosti tolerančních mezí a jejich souladu s požadavky zákazníka. Informace o stanovených hodnotách indexů způsobilosti by měly být doplněny údaji o hodnotách tolerančních mezí, případně cílové hodnoty, pro které byly počítány.

Způsob shromáždění údajů

Způsob shromáždění údajů, tedy zejména to, zda tyto údaje zohledňují všechny běžné zdroje variability ovlivňující proces, významně ovlivňuje vypovídací schopnost stanovených indexů způsobilosti. Pokud byly údaje shromážděny za určitých vymezených podmínek, vztahuje se stanovená způsobilost k těmto podmínkám a je potřeba ji odlišit.

Způsobilost použitého systému měření

Hodnocení způsobilosti procesu je založeno na údajích získaných měřením sledovaného znaku jakosti. Vlastnosti použitého systému měření mohou významně ovlivnit vypovídací schopnost stanovených indexů způsobilosti.

Počet hodnocených údajů

Počet hodnocených údajů ovlivňuje vypovídací schopnost indexů způsobilosti dvěma způsoby. Jedním z nich je skutečnost, že při malém počtu údajů nemusí být dostatečně dobře charakterizována skutečná variabilita sledovaného znaku jakosti. Druhým je to, že při malém počtu údajů se výrazně zvětšuje šířka konfidenčního intervalu odhadu příslušných indexů (podrobněji níže).

Dodržení omezujících podmínek

Při nedodržení omezujících podmínek, jako je statistická zvládnutost procesu a při použití standardních vzorců pro výpočet indexů způsobilosti rovněž normalita dat, mohou být získané informace o způsobilosti procesu zcela bezcenné.

INTERVALOVÉ ODHADY INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI PROCESU

Ze vztahů pro výpočet indexů způsobilosti vyplývá, že k jejich výpočtu potřebujeme teoretické charakteristiky (σ, μ), které jsou prakticky nedostupné. Stanovit lze pouze jejich odhady, a tedy vypočtené hodnoty indexů způsobilosti představují rovněž odhady. Z toho vyplývá, že s vypočtenou hodnotou indexu způsobilosti nelze zacházet jako s konstantou, ale jako s odhadem.

Dvoustranné konfidenční intervaly

Šířka konfidenčního intervalu odhadu indexů způsobilosti výrazně závisí na počtu zpracovávaných údajů. Pro případ indexu způsobilosti C_p lze například dvoustranný konfidenční interval vyjádřit vztahem:

$$\sqrt{\frac{\chi^2_{\frac{\alpha}{2},\nu}}{\nu}} \cdot \hat{C}_p \le C_p \le \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},\nu}}{\nu}} \cdot \hat{C}_p$$

kde:

$\chi^2_{\frac{\alpha}{2},\nu}$; $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2},\nu}$ - kvantily rozdělení χ^2 s *v* stupni volnosti

α - hladina významnosti

v - počet stupňů volnosti

Pro případy, kdy se směrodatná odchylka odhaduje na základě průměrných charakteristik variability v podskupinách, se počet stupňů volnosti stanovuje pomocí vztahu:

$$\nu = k \cdot (n-1) \cdot f_c$$

kde:

k - počet podskupin

n – rozsah podskupiny

fc - korekční faktor závisející na rozsahu podskupiny a způsobu odhadu směrodatné odchylky

V případě odhadu směrodatné odchylky pomocí průměrného variačního rozpětí a pro rozsah podskupiny *n = 5* korekční faktor f_c nabývá hodnoty $f_c = 0{,}906$. V případech, kdy se směrodatná odchylka odhaduje pomocí výběrových rozptylů v podskupinách, se korekční faktor neuvažuje.

Pokud by se směrodatná odchylka sledovaného znaku jakosti odhadovala na základě výběrové směrodatné odchylky počítané ze všech hodnot, stanovuje se počet stupňů volnosti podle vztahu:

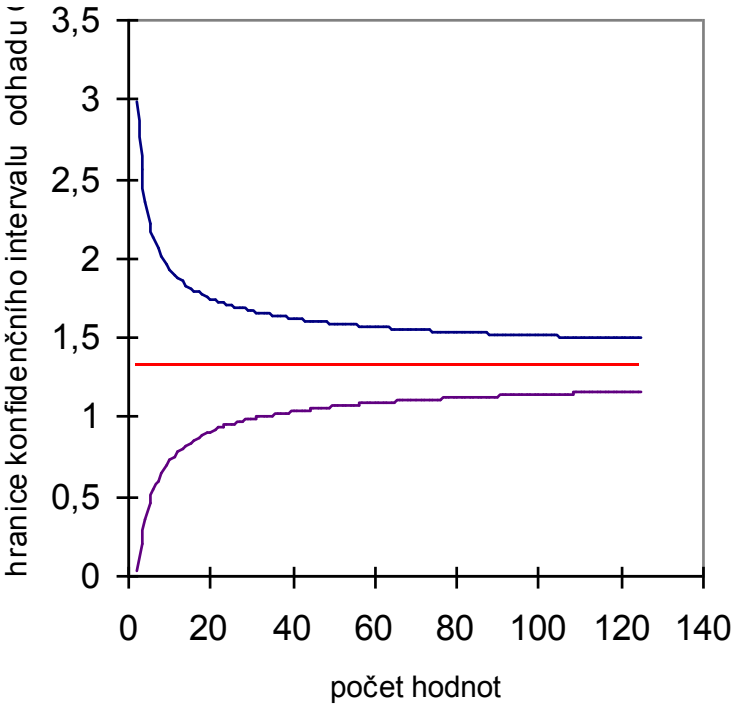
$$\nu = N - 1$$

kde:

N – počet všech hodnot

Závislost šířky konfidenčního intervalu odhadu C_p na počtu zpracovaných údajů je pro případ $\hat{C}_p = 1{,}33$ a hladinu významnosti α= 0,05 znázorněna na obr.4.8. Z průběhu závislosti je patrné, že při malém počtu hodnocených údajů je konfidenční interval odhadu dosti široký a teprve s vyšším počtem zpracovaných údajů se zužuje. Tak například při výpočtu indexu C_p z deseti hodnot leží konfidenční interval

v rozmezí ⟨0,73; 1,93⟩, v případě padesáti údajů v rozmezí ⟨1,07; 1,59⟩ a pro případ zpracování sta údajů v rozmezí ⟨1,14; 1,51⟩.



Obr. 4.8: Hranice dvoustranného konfidenčního intervalu odhadu indexu způsobilosti C_p pro $\hat{C}_p = 1{,}33$ v závislosti na počtu zpracovaných údajů (α =0,05).

Stanovení intervalového odhadu indexu C_{pk} je komplikovanější úlohou, neboť k výpočtu tohoto indexu je potřeba znát jak odhad směrodatné odchylky, tak odhad střední hodnoty sledovaného znaku jakosti. K přibližnému stanovení dvoustranného konfidenčního intervalu lze použít vztah:

$$(1-\frac{u_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{2\nu}})\cdot\hat{C}_{pk} \le C_{pk} \le (1+\frac{u_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{2\nu}})\cdot\hat{C}_{pk}$$

kde:

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - kvantil normovaného normálního rozdělení

ν - počet stupňů volnosti

Analýza konfidenčního intervalu odhadu indexu C_{pk} vede k podobným závěrům jako v případě indexu C_p. Například pro případ $\hat{C}_{pk} = 1{,}33$ a hladinu významnosti α= 0,05 leží, při výpočtu indexu způsobilosti z deseti hodnot, konfidenční interval v rozmezí ⟨0,71; 1,94⟩, v případě padesáti údajů v rozmezí ⟨1,07; 1,59⟩ a pro případ zpracování sta údajů v rozmezí ⟨1,14; 1,52⟩.

Průběh změn šířky dvoustranného konfidenčního intervalu indexu způsobilosti C_{pk} je prezentován v animaci 4b „Konfidenční interval indexu způsobilosti C_{pk}“.

Jednostranné konfidenční intervaly

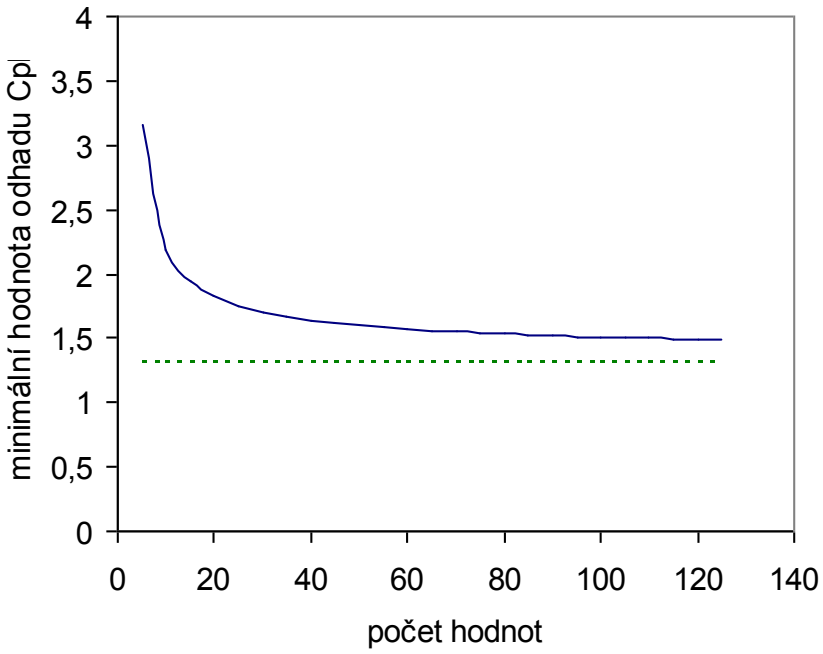
Pro praktické použití je vhodnější analyzovat jednostranné konfidenční intervaly příslušných indexů. Vzhledem k tomu, že proces lze považovat za způsobilý až při dosažení určité minimální hodnoty C_{pk}, postačuje stanovení jednostranného konfidenčního intervalu s dolní konfidenční mezí. Uvedením dolní konfidenční meze tedy poskytujeme „záruku“ (s rizikem chyby α), že index způsobilosti procesu není horší než udaná mez..

Příslušné jednostranné konfidenční intervaly pro indexy způsobilosti C_p a C_{pk} lze vyjádřit vztahy:

$$C_p \geq \sqrt{\frac{\chi^2_{\alpha,\nu}}{\nu}} \cdot \hat{C}_p$$

$$C_{pk} \geq \left(1 - \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{2 \cdot \nu}}\right) \cdot \hat{C}_p$$

Uvedené vztahy lze využít k výpočtu minimální hodnoty odhadu $\hat{C}_{pk}$, kterou je potřeba dosáhnout, aby byla potvrzena podmínka pro způsobilé procesy $C_{pk} \geq 1{,}33$. Lze stanovit, že při vyhodnocení indexu z deseti údajů by mělo pro stanovený odhad $\hat{C}_{pk}$ platit $\hat{C}_{pk} \geq 2{,}17$, v případě padesáti údajů $\hat{C}_{pk} \geq 1{,}59$, v případě sta údajů $\hat{C}_{pk} \geq 1{,}51$ a například v případě pěti set údajů $\hat{C}_{pk} \geq 1{,}40$. Závislost minimální hodnoty odhadu $\hat{C}_{pk}$ potvrzujícího způsobilost procesu na počtu zpracovaných údajů je uvedena na obr. 4.9.



Obr. 4.9: Závislost minimální hodnoty odhadu indexu způsobilosti $\hat{C}_{pk}$, při které lze proces ještě považovat za způsobilý, na počtu zpracovaných údajů

Shrnutí pojmů z části 4.3

Konfidenční interval odhadu indexu způsobilosti je interval, ve kterém se zvolenou pravděpodobností (obvykle s pravděpodobností P=0,95) leží skutečná hodnota stanoveného indexu.

Otázky vztahující se k části 4.3

1. Vysvětlete, jak počet shromážděných údajů ovlivňuje vypovídací schopnost indexů způsobilosti.
2. Může být stejný proces klasifikován v jednom případě jako nezpůsobilý a v druhém jako způsobilý?
3. Pro vyhodnocený index C_{pk} byl stanoven dvoustranný konfidenční interval. Co musí být splněno, aby bylo možné proces považovat za způsobilý?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

5 POSTUPY ANALÝZY ZPŮSOBILOSTI PROCESŮ V NESTANDARDNÍCH SITUACÍCH

Čas ke studiu: 90 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Řešit situace, kdy při analýze způsobilosti není analyzovaný proces statisticky zvládnutý
- Řešit situace, kdy při analýze způsobilosti procesu není potvrzena normalita dat

Výklad

Při analýze způsobilosti procesu je potřeba ověřit splnění nezbytných předpokladů. K těm základním náleží statistická zvládnutost analyzovaného procesu a normalita sledovaného znaku jakosti. V případě že některý z těchto předpokladů není splněn, je potřeba použít speciální postupy analýzy.

Postupy analýzy v případě statistické nezvládnutosti procesu

V případě zjištění, že proces není statisticky zvládnutý, lze využít tyto možnosti dalšího postupu:

a) Zajištění statistické zvládnutosti procesu a opakované hodnocení jeho způsobilosti

b) Vyhodnocení „výkonnosti procesu s ohledem na dosahovanou jakost“ (process performance)

V případě, že lze identifikovat vymezitelné příčiny působící na proces, je vhodné realizovat nápravná opatření k jejich odstranění. Celý postup by měl probíhat v těchto krocích:

1. Identifikace vymezitelných příčin variability
2. Trvalé odstranění vymezitelných příčin variability
3. Shromáždění nových údajů z procesu

4. Opakovaná analýza způsobilosti procesu (od ověření statistické zvládnutosti procesu)

V případech, kdy proces není statisticky zvládnutý a nejsou k dispozici informace pro analýzu a odstranění vymezitelných příčin, lze vyhodnotit tzv. „výkonnost procesu s ohledem na dosahovanou jakost“ (process performance) pomocí indexů P_p, P_{pk} atd.), která však pouze charakterizuje momentální chování procesu a nelze ji použít k predikci.

Vyhodnocení „výkonnosti procesu s ohledem na dosahovanou jakost“ se používá zejména v případech kdy:

- nelze identifikovat vymezitelné příčiny variability
- nelze odstranit vymezitelné příčiny
- nelze ověřit statistickou zvládnutost procesu.

Indexy výkonnosti procesů s ohledem na dosahovanou jakost se počítají podle stejných vztahů jako indexy způsobilosti procesu, odlišný je však způsob odhadu směrodatné odchylky:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$P_{pk} = min\left\{P_{pL}; P_{pU}\right\} = min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right\}$$

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

$$P_{pm}^{*} = min\left\{\frac{T - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - T}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}$$

$$P_{pmk} = min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\}$$

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

Důležité je si uvědomit, že i tyto indexy, stejně jako indexy způsobilosti, jsou založeny na předpokladu normality dat. Před jejich výpočtem je tedy potřeba nejprve ověřit splnění tohoto předpokladu. Vzhledem k tomu, že se jedná o procesy, kde nepůsobí pouze náhodné příčiny variability, může byt zajištění normality dat problematické.

Postupy analýzy způsobilosti procesu v případě nesplnění normality dat

K hodnocení způsobilosti procesu se standardně používají indexy způsobilosti založené na předpokladu normálního rozdělení sledovaného znaku jakosti. Základní informaci o podobnosti rozdělení sledovaného znaku normálnímu rozdělení poskytuje například histogram. Objektivní ověření normality je však potřeba provést pomocí vhodných numerických testů.

Situace, kdy rozdělení sledovaného znaku jakosti neodpovídá normálnímu rozdělení, lze v zásadě řešit těmito způsoby:

a) transformace dat na proměnnou pocházející z normálního rozdělení
b) použití jiného teoretického modelu rozdělení
c) použití ukazatelů, které nejsou založeny na konkrétním modelu rozdělení.

Před využitím některého z možných postupů řešení problému s nesplněním normality je nicméně žádoucí věnovat pozornost jejím příčinám. Příčinou nesplnění normality může být výskyt odlehlých hodnot vzniklých hrubými chybami měření, často to však bývá nehomogenita dat způsobená skokovými změnami podmínek v průběhu shromažďování údajů. V takových případech je potřeba příslušné příčiny eliminovat tříděním dat nebo shromáždit nová data.

Transformace dat

V případě transformace dat se využívá toho, že pomocí vhodné transformační funkce lze naměřené údaje přepočítat na proměnnou, která může normalitu splňovat, a další vyhodnocení pak lze provést s touto transformovanou proměnnou. K transformaci dat se používají různé transformační funkce. Tak například, často používaná Box-Coxova transformace využívá transformační funkci tvaru:

$$y = g(x) = \begin{cases} \dfrac{x^{\lambda} - 1}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \ln x & \lambda = 0 \end{cases}$$

Jinou z dalších možností je například mocninná transformace, která využívá funkci tvaru:

$$y = g(x) = \begin{cases} x^{\lambda} & \lambda > 0 \\ -x^{-\lambda} & \lambda < 0 \\ \ln x & \lambda = 0 \end{cases}$$

Vlastní výpočet transformované proměnné je vhodné provádět s využitím software, který umožňuje optimalizovat hodnoty parametrů funkce.

Analýza způsobilosti procesu s využitím transformace dat by měla probíhat v těchto krocích:

1. Výpočet transformované proměnné
2. Ověření normality transformované proměnné
3. Přepočet tolerančních mezí pomocí transformační funkce
4. Výpočet indexů způsobilosti podle standardních vztahů (k uváděným výsledkům je žádoucí uvést, že byla použita transformace dat).

Využití jiného teoretického modelu rozdělení

Jinou možností, jak řešit problém s nesplněním normality sledovaného znaku jakosti je nalezení jiného vhodného modelu pravděpodobnostního rozdělení k popisu rozdělení sledovaného znaku. Tento postup by měl být využíván zejména v těch případech, kdy přirozeným rozdělením sledovaného znaku je jiné než normální rozdělení. K ověření vhodnosti vybraného teoretického modelu je potřeba aplikovat některý z testů dobré shody a k příslušným výpočtům nejlépe využít některý ze statistických programů.

Obdobně jako v případě normálního rozdělení, kdy hodnoty $\mu - 3\sigma$ a $\mu + 3\sigma$ odpovídají kvantilům, pro něž distribuční funkce dosahuje hodnot 0,00135 a 0,99865, se v případě jiného pravděpodobnostního modelu hledají kvantily odpovídající těmto hodnotám distribuční funkce. Příslušné hodnoty indexů způsobilosti $C_p^{/}$ a $C_{pk}^{/}$ pak lze počítat podle vztahů:

$$C_p^{/} = \frac{USL - LSL}{x_{0,99865} - x_{0,00135}}$$

$$C_{pk}^{/} = \min\left\{\frac{x_{0,5} - LSL}{x_{0,5} - x_{0,00135}}; \frac{USL - x_{0,5}}{x_{0,99865} - x_{0,5}}\right\}$$

kde: $x_{0,00135}$ - 0,135 % kvantil odpovídajícího rozdělení
$x_{0,99865}$ - 99,865 % kvantil odpovídajícího rozdělení
$x_{0,5}$ - medián odpovídajícího rozdělení

Pro označení indexů jsou použity upravené symboly, neboť pro takto vypočtené indexy způsobilosti neplatí řada vztahů, které byly odvozeny na základě předpokladu normálního rozdělení (například odhad pravděpodobnosti výskytu neshodných výrobků).

Použití ukazatelů, které nejsou založeny na konkrétním modelu rozdělení

V případě neúspěšné transformace dat a nenalezení jiného vhodného modelu rozdělení sledovaného znaku jakosti lze způsobilost procesu ohodnotit pomocí ukazatelů, které se využívají při analýze způsobilosti procesu v případě neměřitelných znaků jakosti (viz kap. 6). Jedná se o ukazatele vycházející ze zjištěného podílu neshodných jednotek, jako je například ppm, Sigma úroveň, Ekvivalent C_p, Ekvivalent C_{pk} apod. Mimoto lze využít i některé speciální ukazatele způsobilosti vycházející například z popisu rozdělení sledovaného znaku pomocí empirické funkce, ty však zatím nejsou v praxi využívány.

Shrnutí pojmů z části 5

Transformace dat je přepočet dané proměnné pomocí vhodné transformační funkce na transformovanou proměnnou, jejíž rozdělení lépe odpovídá normálnímu rozdělení.
Výkonnost procesu s ohledem na dosahovanou jakost (process performance) charakterizuje jednorázovou schopnost statisticky nezvládnutého procesu dodržet toleranční meze.

Otázky vztahující se k části 5

1. Jak lze při analýze způsobilosti procesu postupovat v případě zjištění, že proces není statisticky zvládnutý?
2. Jak lze při analýze způsobilosti procesu postupovat v případě zjištění, že není splněna normalita dat?
3. K čemu slouží transformace dat?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. KOTZ, S. – LOVELACE, C.R.: Process Capability Indices in Theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1998, ISBN 0-340-69177-8

6 ANALÝZA ZPŮSOBILOSTI PROCESU V PŘÍPADĚ NEMĚŘITELNÝCH ZNAKŮ JAKOSTI

Čas ke studiu: 75 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vyhodnotit způsobilost procesu v případech, kdy jakost vyrobených produktů lze vyhodnotit pouze pomocí neměřitelných znaků jakosti

Výklad

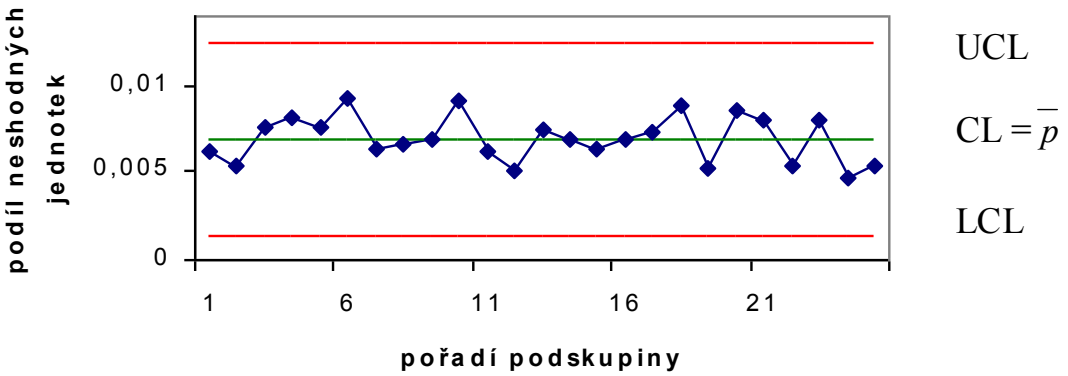
Všechny doposud uvedené postupy analýzy způsobilosti procesu vycházely z toho, že sledovaný znak jakosti produktu, na jehož základě způsobilost posuzujeme, je měřitelnou spojitou náhodnou veličinou. V řadě případů však jakost výrobků nelze charakterizovat vhodným měřitelným znakem a lze pouze rozlišit shodné a neshodné výrobky, případně stanovit výskyt neshod.

K hodnocení způsobilosti procesů v případě neměřitelných znaků se nejčastěji používají průměrné úrovně výskytu neshodných jednotek nebo neshod, méně se zatím uplatňují Ekvivalenty C_p nebo $C_{pk.}$

Průměrný podíl neshodných jednotek nebo průměrný počet neshod na jednotku

Nejčastěji používanými mírami způsobilosti (resp. nezpůsobilosti) procesů v případě neměřitelných znaků jakosti jsou průměrný podíl neshodných výrobků nebo průměrný počet neshod na jednotku. Aby však tyto průměrné míry dosahované jakosti skutečně vyjadřovaly způsobilost procesu, je potřeba zajistit, aby shromážděné údaje pocházely ze statisticky zvládnutého procesu, tedy procesu, který je ovlivňován pouze náhodnými příčinami variability.

Vzhledem k tomu, že statistická zvládnutost procesu se posuzuje pomocí regulačního diagramu, odpovídá způsobilost procesu úrovni centrální přímky v regulačním diagramu sestrojeném na základě dat odpovídajících statisticky zvládnutému procesu (viz obr. 6.1). V případě procesů, kde je výskyt neshodných výrobků nebo neshod velice nízký, se průměrné úrovně dosahované jakosti častěji vyjadřují v jednotkách ppm (parts per million) nebo dpm (defects per million), případně dpmo (defects per million oportunities).



Obr. 6.1: Příklad regulačního diagramu pro podíl neshodných jednotek v případě statisticky zvládnutého procesu, kde úroveň centrální přímky charakterizuje způsobilost procesu.

Ekvivalenty C_{pk} a C_p

Další možností hodnocení způsobilosti procesů v případě neměřitelných znaků jakosti je stanovení ekvivalentů indexů způsobilosti. Tyto ekvivalenty představují hodnoty indexů, kterým by v případě, kdyby výstupní znak jakosti byl měřitelný, odpovídal (za předpokladu normality) stanovený průměrný podíl neshodných výrobků. Jsou zavedeny dva typy těchto ekvivalentů, Ekvivalent C_{pk} a Ekvivalent C_p.

Ekvivalent C_{pk} charakterizuje situaci, při níž by pro měřitelný znak jakosti byla stanovena jednostranná toleranční mez a počítá se podle vztahu:

$$Ekv\ C_{pk} = \frac{u_{1-\bar{p}}}{3}$$

kde:

$u_{1-\bar{p}}$ - kvantil normovaného normálního rozdělení

$\bar{p}$ - průměrný podíl neshodných výrobků u statisticky zvládnutého procesu

Ekvivalent C_p naproti tomu charakterizuje případ, u něhož by pro měřitelný znak jakosti byly stanoveny oboustranné toleranční meze a střední hodnota znaku

ležela právě ve středu tolerančního pole (pravděpodobnost překročení obou mezí je stejná). Ekvivalent C_p se počítá podle vztahu:

$$Ekv\,C_p = \frac{u_{1-\frac{\bar{p}}{2}}}{3} \tag{7.51}$$

kde:

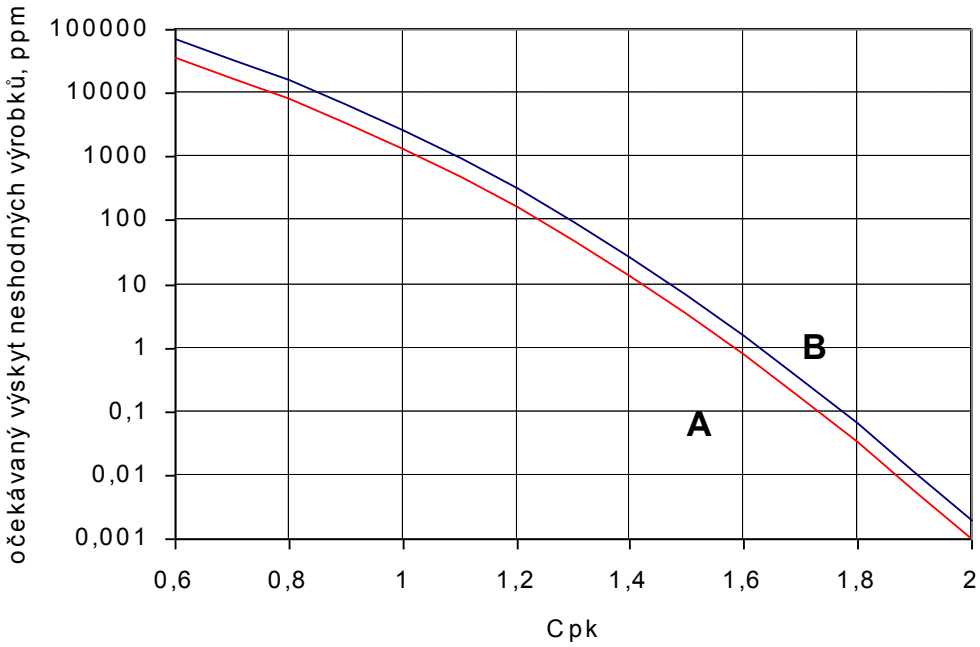
$u_{1-\frac{\bar{p}}{2}}$ - kvantil normovaného normálního rozdělení

Stanovení ekvivalentů indexů způsobilosti je v podstatě inverzní úlohou pro odhad pravděpodobnosti výskytu neshodných výrobků na základě indexů způsobilosti stanovených v případě měřitelných znaků jakosti.

K odhadu Ekvivalentů C_p a C_{pk} lze využít grafické závislosti očekávaného výskytu neshodných jednotek na hodnotě C_{pk} (viz obr.6.2). Pomocí křivky A, která odpovídá případu jednostranné tolerance nebo situaci, kdy index C_{pk} je mnohem menší než C_p, lze na základě stanoveného průměrného podílu neshodných jednotek (očekávaného výskytu neshodných jednotek) na ose x nalézt odpovídající Ekvivalent C_{pk}, pomocí křivky B, která odpovídá případu, kdy se indexy C_{pk} a C_p rovnají, lze na ose x nalézt odpovídající Ekvivalent C_p.

Použití průměrného podílu neshodných jednotek jako míry způsobilosti

Jak již bylo uvedeno, k vyjádření způsobilosti procesů se v případě neměřitelných znaků jakosti vyrobených výrobků nejčastěji používá průměrný podíl neshodných jednotek. Aby však bylo možné vyslovit verdikt o tom, zda proces je způsobilý či ne, je potřeba zjištěnou úroveň porovnat s hodnotou požadovanou zákazníkem (nejčastěji označovanou jako p_0). Zde je však potřeba si uvědomit, že na rozdíl od měřitelných znaků jakosti, nelze se specifikací porovnávat údaje naměřené u jednotlivých výrobků, ale že hodnotu podílu neshodných jednotek lze stanovit pouze u skupiny výrobků. Způsob vytvoření této skupiny (výběru) bude tedy ovlivňovat i výsledné hodnocení.



Obr. 6.2: Závislost očekávaného výskytu neshodných výrobků na hodnotě C_{pk}
(A: jednostranná tolerance nebo $C_{pk} << C_p$; B: $C_{pk} = C_p$)

Přístup k hodnocení způsobilosti závisí na přesné formulaci specifikace požadované zákazníkem. Nejčastěji je, v souladu s výše uvedeným, proces považován za způsobilý tehdy, když průměrný podíl neshodných jednotek (dlouhodoběji dosahovaný u statisticky zvládnutého procesu) nepřekračuje zákazníkem stanovenou mez p_0, tedy, když platí:

$$\overline{p} \leq p_0$$

Lze se však setkat i s přísněji formulovaným požadavkem zákazníka, kdy proces je považován za způsobilý pouze tehdy, když v žádném časovém období (u žádné podskupiny) podíl neshodných výrobků vyráběných procesem nepřekračuje hodnotu p_0:

$$p_j \leq p_0 \,, \quad j \in \langle 1; k \rangle$$

kde:

k - počet podskupin

p_j - podíly neshodných jednotek zjištěné v jednotlivých podskupinách.

Při vlastním rozhodování na základě uvedených nerovností je potřeba si uvědomit, že hodnoty podílu (resp. průměrného podílu) neshodných jednotek, určené na základě výběru, jsou náhodnými veličinami, které se řídí určitým zákonem rozdělení pravděpodobnosti a tedy neměli bychom s nimi zacházet jako s konstantami. Příslušná posuzování způsobilosti by tedy bylo žádoucí doplnit informacemi o konfidenčních intervalech stanovených podílů, případně uplatnit testování hypotéz.

Pro stanovení horní meze jednostranného konfidenčního intervalu podílu neshodných jednotek lze pro případ, že rozsah výběru n>30 použít vztah:

$$p_{U,t} = p_* + \frac{(1-2p_*)d}{n+1} + u_{1-\alpha}\sqrt{\frac{p_*(1-p_*)\cdot(1-\frac{d}{n+1})}{n+1}}$$

přičemž:

$$p_* = \frac{x+1}{n+1}$$

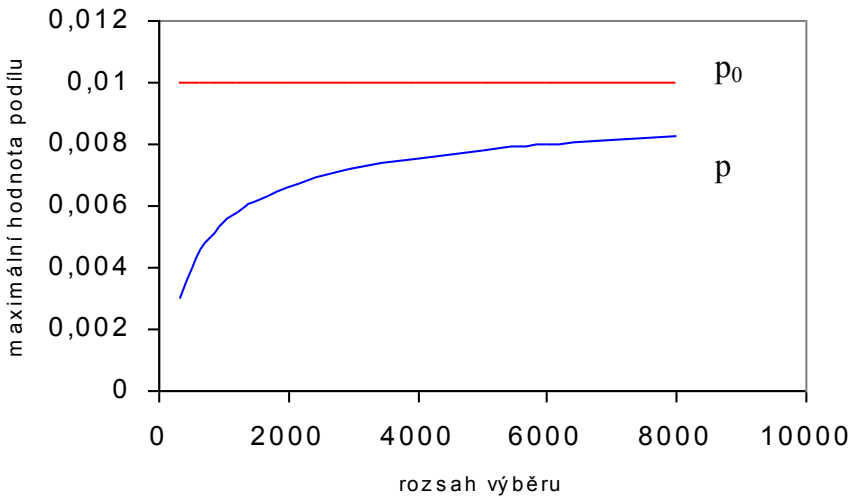
kde:

- $p_{U,t}$ - horní mez jednostranného konfidenčního intervalu odhadu podílu neshodných jednotek
- x - počet zjištěných neshodných jednotek ve výběru
- n - rozsah výběru
- $u_{1-\alpha}$ - kvantil normovaného normálního rozdělení
- α - hladina významnosti
- d - parametr, závislý na zvolené hladině významnosti (pro α=0,05 je d=0,677)

Z uvedeného vztahu je patrné, že šířka konfidenčního intervalu závisí na stanoveném odhadu podílu neshodných jednotek, zvolené hladině významnosti a rozsahu výběru, přičemž zejména závislost na rozsahu výběru je výrazná. Proces by měl být považován za způsobilý v případě, že stanovená horní mez konfidenčního intervalu nepřekročí zadanou mez p_0.

S využitím vztahu pro výpočet horní meze jednostranného konfidenčního intervalu podílu neshodných jednotek lze rovněž stanovit maximální hodnoty stanoveného odhadu podílu neshodných jednotek, při kterém lze proces ještě považovat za způsobilý. Pro případ, zadané mezní hodnoty $p_0 = 0,01$ a hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ jsou příslušné maximální hodnoty v závislosti na rozsahu výběru znázorněny na obr. 6.3. Z průběhu závislosti je patrná výrazná závislost na rozsahu výběru, na jehož základě byl odhad podílu neshodných jednotek stanoven.

Na základě průběhu stanovené závislosti lze například určit, že proces lze považovat za způsobilý, jestliže při rozsahu výběru 1200 jednotek stanovený podíl neshodných nepřekročí hodnotu 0,0058 nebo při rozsahu výběru 6000 jednotek stanovený podíl neshodných nepřekročí hodnotu 0,008. Uváděné vysoké rozsahy výběru odpovídají předpokladu, že pro rozhodování o způsobilosti procesu se využívá podíl neshodných jednotek zjištěný na základě kontroly 25 podskupin výrobků (průměrný podíl neshodných jednotek) a je respektována skutečnost, že je potřeba dodržet určitý minimální rozsah podskupiny.



Obr. 6.3: Závislost maximální hodnoty odhadu podílu neshodných jednotek, při které lze pro zadanou hodnotu $p_0 = 0,01$ proces považovat za způsobilý na rozsahu výběru ($\alpha = 0,05$)

Shrnutí pojmů z části 6

ppm (parts per million) – počet neshodných výrobků na milion vyrobených výrobků.
dpm (defects per million) – počet neshod na milion vyrobených výrobků.
dpmo (defects per million oportunities) – počet neshod na milion příležitostí k neshodám.
Ekvivalent C_{pk} – hodnota indexu C_{pk} odpovídající danému průměrnému výskytu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu (pro případ jednostranné tolerance nebo výrazně necentrovaný proces ($C_p >> C_{pk}$).
Ekvivalent C_p - hodnota indexu C_p odpovídající danému průměrnému výskytu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu za předpokladu centrování procesu na střed tolerance.

Otázky vztahující se k části 6

1. Které předpoklady musí být ověřeny při analýze způsobilosti procesu v případě neměřitelných znaků jakosti?
2. Jak se vypočte hodnota ppm z průměrného podílu neshodných jednotek?
3. Co vyjadřuje hodnota Ekvivalentu C_{pk}?
4. Kdy je při použití průměrného podílu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu proces považován za způsobilý?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. KOTZ, S. – LOVELACE, C.R.: Process Capability Indices in Theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1998, ISBN 0-340-69177-8

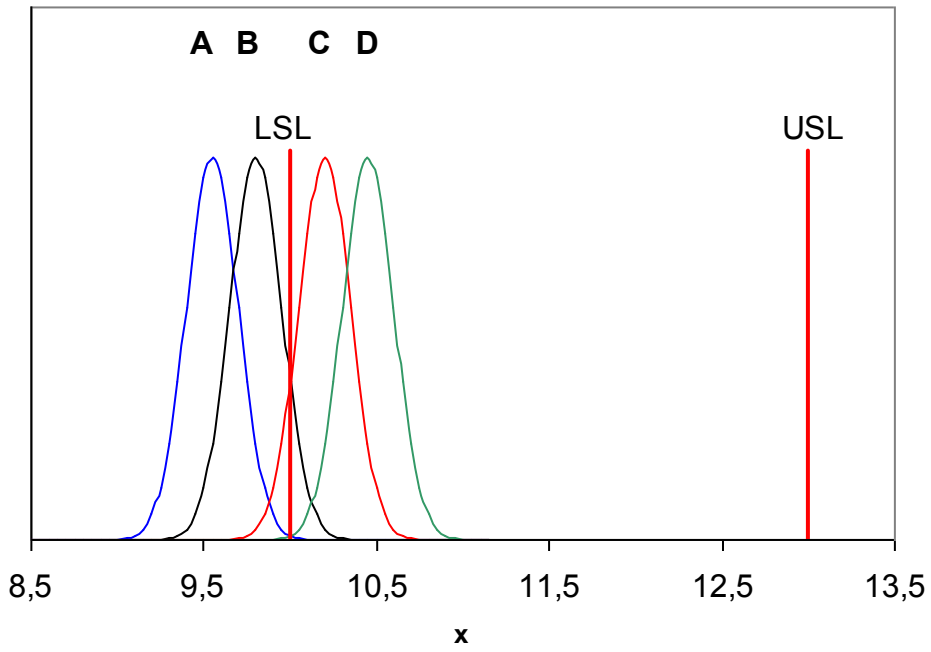
7 ANALÝZY SYSTÉMŮ MĚŘENÍ

Jedním ze základních principů současného managementu jakosti je rozhodování na základě faktů. Tato fakta jsou ve většině případů získána měřením. Naměřené údaje se tak stávají základním podkladem pro důležitá rozhodnutí, například při kontrole jakosti produktů, při regulaci procesů, při hodnocení účinnosti nápravných opatření, realizaci aktivit zlepšování apod. Navrhovanému nebo již používanému systému měření je potřeba věnovat náležitou pozornost, neboť nevyhovující systém měření může poskytnout zkreslené informace, které mohou vést k nesprávnému rozhodnutí. Ověřování přijatelnosti systému měření, který bude používán při shromažďování potřebných údajů, je tedy důležitou součástí plánování a zlepšování jakosti a například v oblasti automobilového průmyslu je striktně požadováno (MSA – Measurement System Analysis).

Znalosti vlastností systémů měření jsou velice důležité například při hodnocení shody produktů. Jednoznačně lze shodu či neshodu produktu potvrdit pouze tehdy, jestliže celý interval nejistoty měření leží uvnitř tolerance nebo vně tolerance. Pokud uvnitř či vně tolerance leží pouze část intervalu nejistoty, je výsledek testu shody neprůkazný.

Předpokládejme, že bychom u čtyř různých výrobků s hodnotami v blízkosti dolní toleranční meze provedli soubor opakovaných měření a rozdělení naměřených hodnot zobrazili pomocí Gaussových křivek (viz obr. 7.1). Jednotlivé situace by měly být interpretovány následovně:

- situace A: neshoda s požadavky je zaručena
- situace B a C: výsledek testu shody je neprůkazný
- situace D: shoda s požadavky je zaručena.



Obr.7.1: Různé situace rozdělení opakovaných měření sledovaného znaku

Z obrázku je patrné, že zvýšená variabilita systému měření výrazně zužuje interval hodnot, ve kterém je zaručena shoda výrobku s požadavky. V extrémním případě, kdy by variabilita systému měření byla vyšší než je šířka tolerance, by shoda s požadavky nemohla být zaručena u žádného výrobku.

7.1. Vyhodnocení stability, strannosti a linearity měření

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- aplikovat postupy vyhodnocení stability, strannosti a linearity měření

Výklad

Na systémy měření působí celá řada různých faktorů, které ovlivňují naměřené hodnoty. Jedná se například o příčiny související s vlastnostmi samotného měřicího prostředku, s postupem měření, s pracovníkem provádějícím měření, s měřeným objektem, vlastnostmi prostředí, ve kterém měření probíhá, a s řadou dalších faktorů. Působení těchto příčin a míru jejich vlivu lze odhalit a kvantifikovat pomocí analýzy statistických vlastností systémů měření.

Vlastnosti systému měření se v zásadě dají rozdělit na charakteristiky polohy a charakteristiky variability. K charakteristikám polohy se například řadí:

- stabilita
- strannost
- linearita

Stabilita systému měření (drift) je charakterizována jako celková variabilita výsledků měření, získaných měřením jednoho znaku v dostatečně dlouhém časovém úseku. Tato definice je dosti obecná, přesnější vymezení poskytuje až doplňující informace, která stabilitu charakterizuje jako změnu strannosti v čase.

Strannost systému měření (bias) je definována jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem opakovaných měření stejného znaku a přijatou referenční hodnotou. Jedná se v podstatě o průměrnou odchylku naměřených hodnot od referenční hodnoty.

Linearita systému měření (linearity) je charakterizována jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v pracovním rozsahu systému měření. Při jejím vyhodnocení se tedy jedná o posouzení, zda hodnota strannosti závisí na velikosti naměřené hodnoty (v rozmezí příslušného pracovního rozsahu).

K charakteristikám variability systému měření se například řadí:

- opakovatelnost
- reprodukovatelnost
- konzistence
- uniformita

Opakovatelnost systému měření (repeatability) charakterizuje variabilitu systému měření v podmínkách opakovatelnosti. Podmínky opakovatelnosti jsou

podmínky, kdy opakovaná měření stejného výrobku provádí stejný operátor, stejným systémem měření a v co nejkratším čase. Opakovatelnost tedy vyjadřuje variabilitu vyvolanou náhodnými příčinami variability, jež působí uvnitř systému měření.

Reprodukovatelnost systému měření (reproducibility) je definována jako variabilita průměrných hodnot měření stejného výrobku za různých podmínek. Těmito „různými podmínkami“ jsou obvykle rozdílní operátoři, kteří tato měření provádějí, může se však jednat i o rozdílná místa měření nebo o různé systémy měření.

Konzistence systému měření souvisí se stabilitou systému měření. Na rozdíl od stability systému měření, která posuzuje změnu strannosti v čase, konzistence posuzuje změnu opakovatelnosti v čase.

Uniformita systému měření (uniformity) posuzuje změnu opakovatelnosti v pracovním rozsahu systému měření. Vyhodnocení uniformity doplňuje analýzu linearity systému měření, podobně jako vyhodnocení konzistence doplňuje analýzu stability systému měření. Vyhodnocení uniformity tedy poskytuje informaci, zda opakovatelnost systému měření závisí na velikosti naměřené hodnoty.

Vlastnosti systému měření se vyhodnocují v samostatných studiích nebo kombinovaných studiích, které umožňují vyhodnotit několik vlastností současně. Příkladem těchto kombinovaných studií je například hodnocení systémů měření pomocí indexů způsobilosti C_g a C_{gk}, které umožňují vyhodnotit opakovatelnost a strannost měření nebo studie GRR, ve které se vyhodnocuje opakovatelnost a reprodukovatelnost měření.

POSTUPY ANALÝZY VYBRANÝCH STATISTICKÝCH VLASTNOSTÍ SYSTÉMŮ MĚŘENÍ

V následujícím textu jsou uvedeny postupy analýzy vybraných statistických vlastností systémů měření Ve všech případech se předpokládá, že měření lze opakovat a že měřený objekt se měřením nemění. Vždy by měl být zvolen systém měření s dostatečnou rozlišovací schopností a analýzám by mělo předcházet ověření, že je měřena správná veličina.

Analýza stability systému měření

Vyhodnocení stability systému měření by mělo předcházet ostatním analýzám. Stabilita systému měření je posuzována na základě vyhodnocení změny strannostii v čase. Údaje potřebné pro analýzu stability systému měření se získávají opakovaným měřením stejného vzorku ve vhodně zvolených časových intervalech.

Analýza stability systému měření by měla probíhat v těchto krocích:

1. ***Výběr vzorku***

Pro vyhodnocení stability systému měření se vybere vzorek výrobku, případně etalon, jehož hodnota přibližně odpovídá středu výrobního rozpětí sledovaného znaku jakosti. Vhodnější je provést obdobné vyhodnocení i pro vzorky přibližně odpovídající dolní a horní mezi výrobního rozpětí.

2. ***Opakovaná měření vzorku ve zvolených časových intervalech***

V pravidelných časových intervalech, jejichž volba závisí na typu systému měření a míře jeho používání, se provádějí opakovaná měření daného vzorku. Počet měření je volen v rozmezí 3 až 5.

3. ***Výpočet výběrových charakteristik opakovaných měření***

Po shromáždění dostatečného počtu údajů (cca 25 podskupin opakovaných měření) se vypočtou výběrové charakteristiky opakovaných měření v jednotlivých časech (např. aritmetický průměru a variační rozpětí nebo směrodatná odchylka).

4. ***Výpočet regulačních mezí***

Na základě průměrných hodnot výběrových charakteristik opakovaných měření se vypočtou regulační meze a centrální přímky pro příslušnou dvojicí Shewhartových regulačních diagramů ($\bar{x},R$ nebo $\bar{x},s$).

Tak například pro případ volby dvojice regulačních diagramů $\bar{x},R$ se centrální přímky a regulační meze počítají podle vztahů:

R-diagram:

$$CL = \bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^{k} R_j}{k}$$

$$LCL = D_3 \cdot \bar{R}$$

$$UCL = D_4 . \overline{R}$$

kde:

k - počet podskupin

D_3, D_4 - koeficienty závislé na rozsahu podskupiny.

$\bar{\bar{x}}$ - diagram:

$$CL = \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^{k} \bar{x}_j}{k}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 . \overline{R}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 . \overline{R}$$

kde:

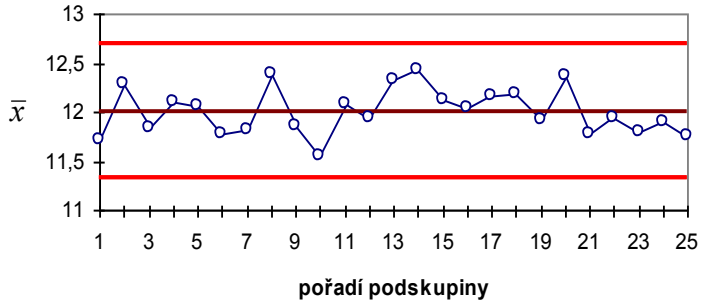
A_2 - koeficient, závislý na rozsahu podskupiny.

5. Sestrojení regulačního diagramu a jeho analýza

Po výpočtu regulačních mezí se sestrojí příslušná dvojice regulačních diagramů (viz obr. 7.2) a provede se vyhodnocení stability. S ohledem na definici stability k jejímu vyhodnocení postačuje regulační diagram pro aritmetický průměr. V případě, že všechny hodnoty vynesených aritmetických průměrů leží uvnitř regulačních mezí a nevyskytují se žádná nenáhodná seskupení bodů, lze systém měření považovat za stabilní.

Analýza regulačního diagramu pro zvolenou míru variability poskytuje informaci o konzistenci analyzovaného systému měření. V případě, že všechny hodnoty vynesených variačních rozpětí (nebo směrodatných odchylek) leží uvnitř regulačních mezí a nevyskytují se žádná nenáhodná seskupení bodů, lze systém měření považovat za konzistentní.

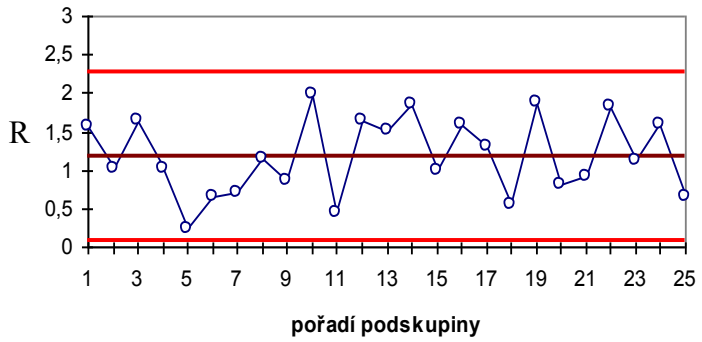
Pokud je systém měření vyhodnocen jako stabilní a konzistentní, znamená to, že variabilita výsledků opakovaných měření stejného znaku je způsobena pouze náhodnými (přirozenými) příčinami variability. Takový systém měření (proces měření) lze klasifikovat jako statisticky zvládnutý (statisticky stabilní).



UCL - HORNÍ REGULAČNÍ MEZ

CL - CENTRÁLNÍ PŘÍMKA

LCL - DOLNÍ REGULAČNÍ MEZ



UCL - HORNÍ REGULAČNÍ MEZ

CL - CENTRÁLNÍ PŘÍMKA

LCL - DOLNÍ REGULAČNÍ MEZ

Obr. 7.2: Struktura regulačního diagramu $\bar{x}, R$.

Možnými příčinami nevyhovující stability mohou být například:

- dlouhý interval mezi kalibracemi
- nesprávná kalibrace
- opotřebení měřicího zařízení
- špatná údržba měřicího zařízení
- variabilita prostředí

Analýza strannosti systému měření

Jak již bylo uvedeno, strannost systému měření představuje rozdíl mezi aritmetickým průměrem výsledků opakovaného měření stejného znaku jakosti a přijatou referenční hodnotou. K jejímu vyhodnocení je tedy potřeba mít k dispozici soubor opakovaných měření stejného vzorku.

Vyhodnocení strannosti systému měření by mělo probíhat v těchto krocích:

1. Výběr vzorku o známé přijaté referenční hodnotě

Údaje potřebné pro analýzu strannosti se získávají měřením etalonu nebo vzorku vyrobeného dílu se známou referenční hodnotou. Měřený vzorek by měl přibližně odpovídat středu výrobního rozpětí sledovaného znaku jakosti. Vhodnější je provést obdobná měření ještě na vzorcích přibližně odpovídajících dolní a horní mezi výrobního rozpětí. V tomto případě lze získat rovněž první informace o linearitě, tedy o tom, zda strannost závisí na velikosti naměřené hodnoty.

2. Provedení opakovaných měření vzorku v podmínkách opakovatelnosti

Údaje potřebné pro vyhodnocení strannosti se získají opakovaným měřením vybraného vzorku v podmínkách opakovatelnosti. Měření stejného vzorku tedy provádí jeden operátor, jedním systémem měření, za stejných podmínek a v co nejkratším čase. Mělo by být provedeno alespoň deset opakovaných měření.

3. Průzkumová analýza dat

Shromážděné údaje by měly být podrobeny průzkumové analýze dat s cílem posoudit, zda výsledky měření nesignalizují hrubé chyby či zjevné působení zvláštních příčin variability. Lze doporučit analýzu odlehlých hodnot pomocí krabicového diagramu, analýzu naměřených hodnot pomocí časové řady a, v případě dostatečného počtu měření, sestrojení histogramu.

4. Výpočet aritmetického průměru opakovaných měření

Z hodnot opakovaných měření daného vzorku se vypočte hodnota aritmetického průměru:

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

kde:

x_i - hodnoty jednotlivých opakovaných měření

n – počet opakovaných měření daného vzorku

5. Výpočet bodového odhadu strannosti

Hodnota bodového odhadu strannosti se pak vypočítá podle vztahu:

$$\hat{B}i = \bar{x} - x_r$$

kde:

$\bar{x}$ - aritmetický průměr opakovaných měření

x_r - přijatá referenční hodnota měřeného vzorku

Samotný bodový odhad strannosti, který odpovídá průměrné odchylce mezi naměřenými údaji a referenční hodnotou vzorku, ještě nevypovídá o tom, zda je hodnota strannosti statisticky významná (nenulová). Jednou z možností vyhodnocení statistické významnosti strannosti je stanovení konfidenčního intervalu odhadu strannosti. Předtím je však potřeba ještě vyhodnotit, zda analyzovaný systém měření má vyhovující opakovatelnost měření.

6. Výpočet směrodatné odchylky opakovatelnosti

Pro výpočet konfidenčního intervalu odhadu strannosti je potřeba stanovit směrodatnou odchylku opakovatelnosti podle vztahu:

$$\hat{\sigma}_e = s = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

kde:

x_i - jednotlivé naměřené hodnoty

n - počet měření vzorku

7. Vyhodnocení přijatelnosti opakovatelnosti systému měření

Při analýze strannosti systému měření se předpokládá, že opakovatelnost systému měření je vyhovující. To se ověřuje pomocí procentuálního podílu opakovatelnosti z celkové variability (%EV), který se počítá podle vztahu:

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100 = \frac{\hat{\sigma}_e}{TV} \cdot 100$$

kde:

EV – opakovatelnost (Equipment Variation)

TV - celková variabilita (Total Variation)

Hodnota celkové variability se vyjadřuje pomocí směrodatné odchylky sledovaného znaku v daném výrobním procesu (přednostně) nebo pomocí šestiny šířky tolerančního pole. Procentuální podíl opakovatelnosti by měl být nižší než hodnoty kritérií pro %GRR (viz tab. 7.2).

8. Výpočet konfidenčního intervalu odhadu strannosti:

Konfidenční interval odhadu strannosti se počítá podle vztahu:

$$\hat{B}i - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \leq Bi \leq \hat{B}i + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}}$$

kde:

ν - počet stupňů volnosti ($\nu = n-1$)

$t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}}$ - kvantil Studentova rozdělení

α - hladina významnosti (obvykle α=0,05)

Pro posouzení statistické významnosti strannosti je rozhodující zda vypočtený konfidenční interval zahrnuje či nezahrnuje nulovou hodnotu. Pokud tento konfidenční interval zahrnuje i nulovou hodnotu, je strannost systému měření považována za statisticky nevýznamnou, tedy přijatelnou. Naopak, pokud nezahrnuje nulovou hodnotu, je strannost statisticky významná a je žádoucí ji eliminovat (například rekalibrací systému měření).

Příčinami nevyhovující strannosti mohou být například:

- nesprávná kalibrace
- opotřebení měřicího zařízení
- nevhodné měřidlo pro danou aplikaci
- odlišná metoda měření.

Analýza linearity systému měření

Při analýze linearity systému měření, která vyjadřuje rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu systému měření, se postupuje podobným postupem jako při analýze strannosti systému měření. Aby bylo možné vyhodnotit, zda se hodnota strannosti mění v závislosti na velikosti naměřené hodnoty, je potřeba provést opakovaná měření u několika vzorků pokrývajících dosahované výrobní rozpětí.

Vyhodnocení linearity systému měření by mělo probíhat v těchto krocích:

1. *Výběr vzorků*

Pro analýzu linearity by mělo být k dispozici alespoň pět vzorků o známé přijaté referenční hodnotě, jež reprezentují a přibližně rovnoměrně pokrývají pracovní (provozní) rozsah systému měření.

2. *Opakovaná měření vzorků v podmínkách opakovatelnosti*

Obdobně jako u analýzy strannosti systému měření je potřeba u každého vzorku potřeba provést alespoň deset opakovaných měření. Všechna měření by měla proběhnout v podmínkách opakovatelnosti, tedy měření provádí jeden operátor stejným systémem měření na stejném místě měření. Příklad tabulky naměřených hodnot je uveden na obr. 7.3.

Měření	Díl	1	2	3	4	5
	x_{ir}	x_{1r}	x_{2r}	x_{3r}	x_{4r}	x_{5r}
1		x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{51}
2		x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}	x_{52}
3		x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{53}
4		x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}	x_{54}
5		x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}	x_{55}
6		x_{16}	x_{26}	x_{36}	x_{46}	x_{56}
7		x_{17}	x_{27}	x_{37}	x_{47}	x_{57}
8		x_{18}	x_{28}	x_{38}	x_{48}	x_{58}
9		x_{19}	x_{29}	x_{39}	x_{49}	x_{59}
10		x_{110}	x_{210}	x_{310}	x_{410}	x_{510}

Obr. 7.3: Příklad tabulky naměřených hodnot pro analýzu linearity systému měření.

3. Výpočet odchylek jednotlivých měření od referenční hodnoty

V dalším kroku se pro každou naměřenou hodnotu vypočte hodnota odchylky od referenční hodnoty podle vztahu:

$$Odch_{ij} = x_{ij} - x_{ir}$$

kde:
x_{ij} - naměřená hodnota i-tého vzorku při j-tém měření
x_{ir} - referenční hodnota i-tého vzorku

4. Výpočet strannosti systému měření pro jednotlivé vzorky

Dílčími výsledky analýzy linearity systému měření jsou hodnoty bodových odhadů strannosti pro jednotlivé vzorky, které lze stanovit pomocí vztahu:

$$\hat{B}i_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - x_{ir}}{n}$$

kde:
n- počet opakovaných měření vzorku

K výpočtu bodového odhadu strannosti pro jednotlivé vzorky lze rovněž použít definiční vztah:

$$\hat{B}i_i = \overline{x}_i - x_{ir}$$

kde:
$\overline{x}_i$ - aritmetický průměr opakovaných měření i-tého vzorku

5. Sestrojení závislosti hodnot odchylek na referenční hodnotě

Linearita systému měření se nejprve vyhodnocuje graficky. Sestrojí se graf závislosti odchylek jednotlivých měření od referenčních hodnot na referenčních hodnotách (viz obr. 7.4). Tento graf poskytuje první informace o tom, zda rozdíly mezi naměřenými a referenčními hodnotami vzorků závisí na velikosti měřené hodnoty.

6. *Proložení rovnice přímky*

V dalším kroku je aplikována regresní analýza a závislost odchylek na referenčních hodnotách vzorků je popsána rovnicí přímky (viz obr.7.4):

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_r$$

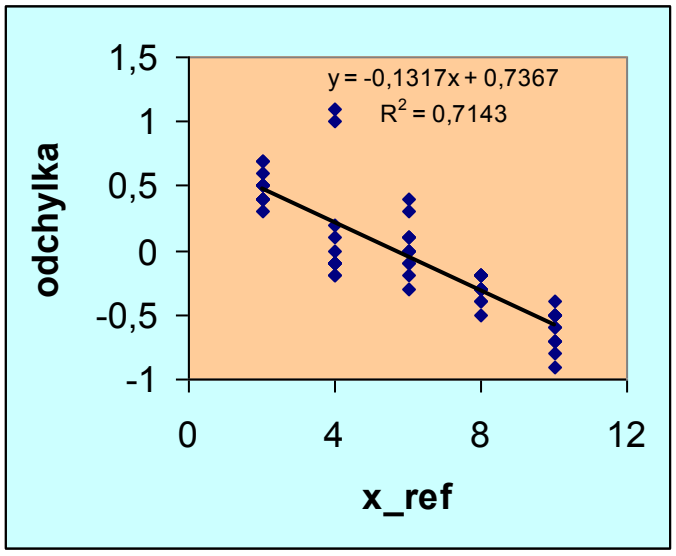
kde:

y – odchylka naměřené hodnoty od referenční hodnoty

x_r – referenční hodnota

b_0 – absolutní člen

b_1 – regresní koeficient



Obr.7.4 : Příklad závislosti odchylky naměřených hodnot od referenčních hodnot na referenčních hodnotách

7. *Testování statistické významnosti regresního koeficientu a absolutního členu*

Konečné vyhodnocení linearity systému měření je založeno na testování statistické významnosti regresního koeficientu a absolutního členu. Linearita systému měření je považována za přijatelnou v případech, kdy odhad regresního koeficientu b_1 není statisticky významný (nelze zamítnout hypotézu, že je roven nule). V podstatě se jedná o posouzení, zda proložená přímka se příliš neodlišuje od rovnoběžky s osou x. Zároveň by mělo být potvrzeno, že i odhad absolutního členu b_0 je statisticky nevýznamný Vyhodnocení statistické významnosti regresního

koeficientu a absolutního členu lze provést pomocí t- testu nebo pomocí konfidenčních intervalů.

Tak například konfidenční interval odhadu regresního koeficientu se vypočítá podle vztahu:

$$b_1 - t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \cdot s_{b_1} \le \beta_1 \le b_1 + t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \cdot s_{b_1}$$

kde:

$t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}}$ - kvantil Studentova rozdělení

ν - počet stupňů volnosti ($\nu = n-2$)

s_{b_1} - výběrová směrodatná odchylka regresního koeficientu

$$s_{b_1} = s \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}}$$

kde s je výběrová směrodatná odchylka reziduí:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$$

V případě, že konfidenční interval odhadu regresního koeficientu zahrnuje nulu, lze regresní koeficient považovat za statisticky nevýznamný.

Konfidenční interval odhadu absolutního členu se vypočítá podle vztahu:

$$b_0 - t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \cdot s_{b_0} \le \beta_0 \le b_0 + t_{\nu,1-\frac{\alpha}{2}} \cdot s_{b_0}$$

kde:

s_{b_0} - výběrová směrodatná odchylka absolutního členu

$$s_{b_0} = s \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}}$$

V případě, že konfidenční interval odhadu absolutního členu zahrnuje nulu, lze absolutní člen považovat za statisticky nevýznamný.

V případech, kdy jsou parametry regresní přímky statisticky významné je linearita systému měření nevyhovující a je potřeba ji řešit.

Nevyhovující linearita systému měření může být způsobena například těmito příčinami:

- kalibrace nezahrnuje celý pracovní rozsah systému měření
- špatná údržba měřicího zařízení.

Shrnutí pojmů z části 7.1

Stabilita měření vyjadřuje změnu strannosti měření v čase.
Strannost měření je rozdíl mezi aritmetickým průměrem opakovaných měření stejného objektu a přijatou referenční hodnotou.
Linearita měření vyjadřuje rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měření.

Otázky vztahující se k části 7.1

1. Pomocí kterého regulačního diagramu lze vyhodnotit stabilitu měření?
2. Co může být příčinou nevyhovující stability měření?
3. V jakých podmínkách by měla být provedena opakovaná měření vzorku pro vyhodnocení strannosti měření?
4. Na čem je založeno vyhodnocení linearity měření?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. Analýza systému měření (QS 9000: MSA, 3. vyd., 2002). Česká společnost pro jakost, 2003, 234 s.

7.2. Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření (GRR analýza)

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vysvětlit a aplikovat postup analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření

Výklad

Při praktické realizaci měření většinou nelze zajistit neměnné podmínky měření (podmínky opakovatelnosti). Skutečné podmínky měření se obvykle mění, přičemž nejčastěji se jedná o změnu pracovníka (operátora), který měření provádí. V této situaci se provádí analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření.

K vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti lze využít různé přístupy například metodu rozpětí, metodu průměru a rozpětí nebo analýzu rozptylu. V dalším textu je pozornost věnována metodě rozpětí, která se využívá k rychlému odhadu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření, a metodě průměru a rozpětí, která se v praxi nejčastěji využívá pro základní studii opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření.

GRR analýza - metoda rozpětí (tzv. zkrácená metoda)

Pro aproximaci variability systému měření lze použít metodu založenou na rozpětí. Hlavní výhodou této metody je rychlost provedení, nevýhodou je však skutečnost, že neumožňuje odlišit jednotlivé složky variability – samotnou opakovatelnost a reprodukovatelnost měření. Analýza by měla probíhat v těchto krocích:

1. ***Výběr vzorků***

Potřebné údaje pro provedení analýzy se získávají měřením vzorků, jež reprezentují výrobní rozpětí měřeného znaku. U této metody se obvykle měří pět vzorků.

2. *Měření jednotlivých vzorků dvěma operátory*

Počet operátorů, kteří provádějí měření se u této metody obvykle minimalizuje na dva, přičemž každý měří každý vzorek pouze jednou. Struktura naměřených hodnot je patrná z tab.7.1.

Tab.7.1: Výsledky měření při aplikaci metody rozpětí

Měřený díl	Operátor 1	Operátor 2	Rozpětí
1	X_{11}	X_{12}	$R_{1.}$
2	X_{21}	X_{22}	$R_{2.}$
3	X_{31}	X_{32}	$R_{3.}$
4	X_{41}	X_{42}	$R_{4.}$
5	X_{51}	X_{52}	$R_{5.}$

3. *Výpočet rozpětí naměřených hodnot jednotlivých vzorků*

Z hodnot naměřených u jednotlivých dílů se nejprve vyhodnotí variační rozpětí podle vztahu:

$$R_{i.} = \max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}$$

4. *Výpočet průměrného rozpětí*

Z hodnot rozpětí pro jednotlivé díly se pak stanoví průměrné rozpětí:

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{r} R_{i.}}{r}$$

kde:

r – počet měřených dílů

5. *Výpočet opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření*

Hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) se pak stanovuje pomocí vztahu:

$$GRR = \frac{\overline{R}}{d_2^*}$$

kde:

d_2^*	- koeficient závislý na počtu měření jednotlivých dílů a počtu dílů (viz obr. 7.5) ; m - počet měření jednotlivých dílů, g – počet měřených dílů).

6. Vyhodnocení %GRR

Stanovenou hodnotu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) je potřeba porovnat s hodnotou směrodatné odchylky procesu případně šestinou šířky tolerančního rozpětí sledovaného znaku jakosti. Vypočtený procentuální podíl %GRR je pak kritériem přijatelnosti systému měření (viz tab.7.2).

Tab.7.2: Kritéria přijatelnosti systému měření u metody rozpětí

%GRR < 10	systém měření je přijatelný
10 < %GRR < 30	systém měření může být přijatelný (podle důležitosti aplikace, nákladů na měřidlo, nákladů na opravy, atd.)
%GRR > 30	systém měření je nepřijatelný, je nutné ho zlepšit

Hodnoty související s rozdělením průměrného rozpětí

Počet podskupin (g)	Rozsah podskupiny (m)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.0 1.41421	2.0 1.91155	2.9 2.23887	3.8 2.48124	4.7 2.67253	5.5 2.82981	6.3 2.96288	7.0 3.07794	7.7 3.17903	8.3 3.26909	9.0 3.35016	9.6 3.42578	10.2 3.49116	10.8 3.55333	11.3 3.61071	11.9 3.66422	12.4 3.71424	12.9 3.76118	13.4 3.80537
2	1.9 1.27931	3.0 1.80328	3.7 2.15869	4.5 2.40484	5.2 2.60418	10.8 2.76779	12.3 2.90562	13.8 3.02446	15.1 3.12869	16.3 3.22134	17.8 3.30463	19.0 3.38017	20.2 3.44922	21.3 3.51287	22.4 3.57156	23.5 3.62625	24.5 3.67734	25.5 3.72524	26.5 3.77032
3	2.8 1.25105	3.7 1.76858	4.4 2.12049	5.1 2.37083	13.6 2.58127	16.0 2.74681	18.3 2.88678	20.3 3.00645	22.6 3.11175	24.4 3.20526	26.3 3.29031	28.4 3.36550	30.1 3.43312	31.9 3.49527	33.3 3.55242	35.1 3.61351	36.7 3.66485	38.2 3.71319	39.7 3.75857
4	3.7 1.20621	7.5 1.74989	10.2 2.10522	14.7 2.36571	18.1 2.56964	21.3 2.73626	24.4 2.87856	27.3 2.99737	30.1 3.10221	32.7 3.19720	35.3 3.28163	37.7 3.35815	40.1 3.42895	42.4 3.49246	44.6 3.55183	46.7 3.60712	48.8 3.65875	50.8 3.70715	52.8 3.75268
5	4.6 1.19101	9.3 1.73857	13.9 2.09601	18.6 2.35781	23.6 2.56263	26.0 2.72991	30.4 2.87071	34.0 2.99192	37.5 3.09888	40.8 3.19231	44.0 3.27701	47.1 3.35372	50.1 3.42381	52.9 3.48836	55.7 3.54787	58.4 3.60328	61.0 3.65592	63.5 3.70552	65.9 3.74914
6	5.5 1.18083	11.1 1.73099	16.7 2.08985	22.0 2.35223	27.0 2.55795	31.8 2.72367	36.4 2.86680	40.8 2.98829	45.0 3.09467	49.0 3.18911	52.8 3.27392	56.5 3.35077	60.1 3.42087	63.5 3.48563	66.8 3.54522	70.0 3.60072	73.1 3.65253	76.1 3.70109	79.1 3.74678
7	6.4 1.17348	12.9 1.72555	19.4 2.08543	25.6 2.34875	31.5 2.55466	37.1 2.72263	42.5 2.86401	47.6 2.98588	52.4 3.09222	57.1 3.18679	61.6 3.27172	65.9 3.34666	70.0 3.41894	74.0 3.48368	77.8 3.54353	81.6 3.59888	85.2 3.65075	88.8 3.69936	92.2 3.74509
8	7.2 1.16794	14.4 1.72147	22.1 2.08212	29.3 2.34561	36.0 2.55208	42.4 2.72035	48.5 2.86192	54.3 2.98373	59.8 3.09019	65.2 3.18596	70.3 3.27066	75.2 3.34708	80.0 3.41742	84.6 3.48221	89.0 3.54192	93.3 3.59751	97.4 3.64941	101.4 3.69806	105.3 3.74382
9	8.1 1.16381	16.0 1.71828	24.9 2.07953	32.8 2.34370	40.4 2.55013	47.7 2.71858	54.5 2.86028	61.1 2.98221	67.3 3.08896	73.2 3.18570	79.1 3.26878	84.6 3.34585	90.0 3.41624	95.1 3.48107	100.1 3.54081	104.9 3.59644	109.5 3.64838	114.1 3.69705	118.5 3.74284
10	9.0 1.16014	18.4 1.71573	27.6 2.07746	36.5 2.34192	44.9 2.54856	52.9 2.71717	60.6 2.85898	67.8 2.98100	74.8 3.08781	81.5 3.18262	87.9 3.26775	94.0 3.34486	99.9 3.41528	105.6 3.48016	111.2 3.53993	116.5 3.59559	121.7 3.64755	126.7 3.69625	131.6 3.74205
11	9.9 1.15729	20.2 1.71263	30.4 2.07527	40.1 2.34048	49.4 2.54728	58.2 2.71600	66.6 2.85791	74.6 2.98000	82.2 3.08688	89.6 3.18174	96.6 3.26600	103.4 3.34406	109.9 3.41452	116.2 3.47941	122.3 3.53921	128.1 3.59489	133.8 3.64687	139.4 3.69558	144.7 3.74141
12	10.7 1.15498	22.0 1.71189	33.1 2.07436	43.7 2.33927	53.8 2.54621	63.5 2.71504	72.6 2.85702	81.3 2.97917	89.7 3.08610	97.7 3.18189	105.4 3.26628	112.7 3.34339	119.9 3.41387	126.7 3.47879	133.3 3.53861	139.8 3.59430	146.0 3.64638	152.0 3.69503	157.9 3.74087
13	11.6 1.15289	23.8 1.71041	35.8 2.07316	47.3 2.33824	58.3 2.54530	68.7 2.71412	78.6 2.85627	88.1 2.97547	97.1 3.08344	105.8 3.18037	114.1 3.26563	122.1 3.34282	129.8 3.41333	137.3 3.47826	144.4 3.53809	151.4 3.59381	158.1 3.64582	164.7 3.69457	171.0 3.74041
14	12.5 1.15115	25.7 1.70914	38.6 2.07213	51.0 2.33737	62.8 2.54452	74.0 2.71351	84.7 2.85562	94.9 2.97707	104.5 3.08487	113.9 3.17984	122.9 3.26518	131.5 3.34233	139.8 3.41286	147.8 3.47781	155.5 3.53766	163.0 3.59336	170.3 3.64541	177.3 3.69417	184.2 3.74060
15	13.4 1.14965	27.5 1.70804	41.3 2.07123	54.6 2.33661	67.2 2.54385	79.3 2.71298	90.7 2.85486	101.6 2.97735	112.1 3.08458	122.1 3.17938	131.7 3.26463	140.9 3.34191	149.8 3.41243	158.3 3.47742	166.6 3.53728	174.6 3.59303	182.4 3.64505	190.0 3.69382	197.3 3.73968
16	14.3 1.14833	29.3 1.70708	44.1 2.07047	58.2 2.33594	71.7 2.54326	84.5 2.71217	96.7 2.85457	108.4 2.97688	119.5 3.08395	130.2 3.17987	140.4 3.26427	150.2 3.34154	159.7 3.41210	168.9 3.47707	177.7 3.53695	186.3 3.59270	194.6 3.64474	202.8 3.69351	210.4 3.73938
17	15.3 1.14717	31.1 1.70623	46.8 2.06978	61.8 2.33535	76.2 2.54274	89.8 2.71190	102.8 2.85413	115.1 2.97648	127.0 3.08356	138.3 3.17861	149.2 3.26393	159.6 3.34121	169.7 3.41179	179.4 3.47657	188.8 3.53668	197.9 3.59242	206.7 3.64447	215.2 3.69325	223.5 3.73913
18	16.3 1.14613	32.9 1.70547	49.5 2.06917	65.3 2.33483	80.6 2.54228	95.1 2.71148	108.8 2.85375	121.9 2.97613	134.4 3.08324	146.4 3.17929	157.9 3.26362	169.0 3.34092	179.7 3.41158	190.0 3.47659	199.9 3.53648	209.5 3.59216	218.8 3.64422	227.9 3.69301	236.7 3.73896
19	18.0 1.14520	34.7 1.70480	52.3 2.06862	69.1 2.33436	85.1 2.54187	100.3 2.71111	114.8 2.85343	128.7 2.97581	142.0 3.08294	154.5 3.17801	166.7 3.26235	178.4 3.34066	189.8 3.41125	200.8 3.47626	211.0 3.53617	221.1 3.59194	231.0 3.64400	240.3 3.69280	249.8 3.73859
20	17.8 1.14457	36.3 1.70419	55.0 2.06813	72.7 2.33394	89.6 2.54149	105.6 2.71077	120.9 2.85310	135.4 2.97552	149.3 3.08267	162.7 3.17775	175.5 3.26311	187.8 3.34042	199.6 3.41103	211.0 3.47605	222.1 3.53596	232.8 3.59174	243.1 3.64380	253.2 3.69260	263.0 3.73850
d_2^* ed	1.12838 0.976	1.69257 1.815	2.05875 2.7378	2.32593 3.623	2.52441 4.4658	2.70436 5.2673	2.8472 6.0305	2.97003 6.7582	3.07751 7.4539	3.17287 8.1287	3.25846 8.7932	3.33598 9.3751	3.40676 9.9679	3.47193 10.5396	3.53195 11.0983	3.58788 11.6229	3.64006 12.144	3.68896 12.6468	3.735 13.1382

Vstupy do tabulky: 1. řádek v každé buňce je stupeň volnosti (v) a 2. řádek v každé buňce je d_2^*; d_2 je nekonečná hodnota d_2^*: Další hodnoty v lze zjistit z konstantního rozdílu (cd).

Poznámka: Symboly použité v této tabulce odpovídají symbolům použitým v publikaci Achesona Duncana *Quality Control and Industrial Statistics*, 5. vydání, McGraw-Hill, 1986.

$v(\bar{R}/d_2^*)^2/\sigma^2$ má rozdělení blízké rozdělení χ^2 s v stupni volnosti, kde $\bar{R}$ je průměrné rozpětí z g podskupin o rozsahu m.

Obr. 7.5: Hodnoty koeficientu d_2^*.

GRR analýza - metoda průměru a rozpětí

Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření metodou průměru a rozpětí je mnohem lépe propracována a poskytuje mnohem více informací než metoda založená na rozpětí. Velice důležité je, že aplikací této metody lze samostatně odlišit variabilitu vyvolanou opakovatelností a reprodukovatelnosti měření. Aplikace metody průměru a rozpětí probíhá v následujících krocích:

1. Výběr systému měření

Prvním krokem analýzy systému měření by mělo být ověření, zda je měřena správná veličina. K měření by mělo být vybrán systém měření s dostatečnou rozlišovací schopností. Obvykle se požaduje možnost odečítání alespoň jedné desetiny z očekávané variability sledovaného znaku.

2. Stanovení základních parametrů analýzy

Dalším krokem přípravné fáze je stanovení základních parametrů analýzy systému měření. Je potřeba určit počet operátorů, kteří budou měření provádět, počet měřených vzorků a počet opakovaných měření (minimálně 10 vzorků a 2 měření každého vzorku každým operátorem).

3. Výběr měřených vzorků

Měřené vzorky výrobků, na kterých je analýza systému měření prováděna, mají být vybrány z probíhajícího procesu tak, aby reprezentovaly a rovnoměrně pokrývaly celé výrobní rozpětí. Před vlastním měřením se vybrané vzorky očíslují.

4. Vlastní měření

Vlastní měření vybraných vzorků se provádí v místě používání systému měření a všichni operátoři by měli používat stejný postup. Měření se provádí v náhodném pořadí a operátoři by neměli vědět, který vzorek měří (čísla na měřených vzorcích nesmí být viditelná), a při opakovaném měření by neměli znát předchozí výsledek. Aby bylo možné tyto podmínky zajistit, je vlastní měření

dozorováno pověřeným pracovníkem, který rovněž provádí záznam naměřených údajů.

Zaveďme označení naměřených údajů ve tvaru x_{ijk}, kde:

$i \in \langle 1; h \rangle$ - označení operátora (h –počet operátorů)

$j \in \langle 1; r \rangle$ - číslo měřeného vzorku (r – počet měřených vzorků)

$k \in \langle 1; n \rangle$ - pořadí měření (n – počet měření stejného vzorku jedním operátorem).

Struktura naměřených údajů pro případ tří operátorů, deseti měřených kusů a dvou opakovaných měření každého kusu je uvedena v tab. 7.3.

5. *Ověření statistické zvládnutosti procesu měření z hlediska variability opakovaných měření*

Prvním krokem vyhodnocení analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření je posouzení, zda je proces měření z hlediska variability opakovaných měření prováděných jednotlivými operátory statisticky zvládnutý. K tomuto vyhodnocení je potřeba sestrojit regulační diagram pro hodnoty variačního rozpětí opakovaných měření.

Z naměřených údajů se nejprve vypočtou hodnoty variačních rozpětí opakovaných měření jednotlivých vzorků provedených jednotlivými operátory, které budou vynášeny do regulačního diagramu:

$$R_{ij.} = \max_k x_{ijk} - \min_k x_{ijk}; \quad k \in \langle 1; n \rangle$$

kde:

$\max_k x_{ijk}$ - maximální hodnota z měření daného vzorku daným operátorem

$\min_k x_{ijk}$ - minimální hodnota z měření daného vzorku daným operátorem

Kromě těchto hodnot variačního rozpětí jednotlivých opakovaných měření se ještě stanovují hodnoty průměrného variačního rozpětí opakovaných měření dosahované jednotlivými operátory $\overline{R}_{i..}$, podle vztahu:

$$\overline{R}_{i..} = \frac{\sum_{j=1}^{r} R_{ij.}}{r}$$

kde:

$\overline{R}_{ij.}$ - hodnoty variačních rozpětí opakovaných měření jednotlivých kusů jednotlivými operátory

r - počet kusů

Tab. 7.3: Struktura naměřených a vyhodnocovaných údajů pro analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření v případě tří operátorů, deseti měřených vzorků a dvou opakovaných měření každého vzorku.

Operátor	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného vzorku (j)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{x}_{i.k}$	$\overline{x}_{i..}$ $\overline{R}$
1	1	x_{111}	x_{121}	x_{131}	x_{141}	x_{151}	x_{161}	x_{171}	x_{181}	x_{191}	x_{1101}	$\overline{x}_{1.1}$	
	2	x_{112}	x_{122}	x_{132}	x_{142}	x_{152}	x_{162}	x_{172}	x_{182}	x_{192}	x_{1102}	$\overline{x}_{1.2}$	
	$\overline{x}_{ij.}$	$\overline{x}_{11.}$	$\overline{x}_{12.}$	$\overline{x}_{13.}$	$\overline{x}_{14.}$	$\overline{x}_{15.}$	$\overline{x}_{16.}$	$\overline{x}_{17.}$	$\overline{x}_{18.}$	$\overline{x}_{19.}$	$\overline{x}_{110.}$		$\overline{x}_{1..}$
	$R_{ij.}$	$R_{11.}$	$R_{12.}$	$R_{13.}$	$R_{14.}$	$R_{15.}$	$R_{16.}$	$R_{17.}$	$R_{18.}$	$R_{19.}$	$R_{110.}$		$\overline{R}_{1..}$
2	1	x_{211}	x_{221}	x_{231}	x_{241}	x_{251}	x_{261}	x_{271}	x_{281}	x_{291}	x_{2101}	$\overline{x}_{2.1}$	
	2	x_{212}	x_{222}	x_{232}	x_{242}	x_{252}	x_{262}	x_{272}	x_{282}	x_{292}	x_{2102}	$\overline{x}_{2.2}$	
	$\overline{x}_{ij.}$	$\overline{x}_{21.}$	$\overline{x}_{22.}$	$\overline{x}_{23.}$	$\overline{x}_{24.}$	$\overline{x}_{25.}$	$\overline{x}_{26.}$	$\overline{x}_{27.}$	$\overline{x}_{28.}$	$\overline{x}_{29.}$	$\overline{x}_{210.}$		$\overline{x}_{2..}$
	$R_{ij.}$	$R_{21.}$	$R_{22.}$	$R_{23.}$	$R_{24.}$	$R_{25.}$	$R_{26.}$	$R_{27.}$	$R_{28.}$	$R_{29.}$	$R_{210.}$		$\overline{R}_{2..}$
3	1	x_{311}	x_{321}	x_{331}	x_{341}	x_{351}	x_{361}	x_{371}	x_{381}	x_{391}	x_{3101}	$\overline{x}_{3.1}$	
	2	x_{312}	x_{322}	x_{332}	x_{342}	x_{352}	x_{362}	x_{372}	x_{382}	x_{392}	x_{3102}	$\overline{x}_{3.2}$	
	$\overline{x}_{ij.}$	$\overline{x}_{31.}$	$\overline{x}_{32.}$	$\overline{x}_{33.}$	$\overline{x}_{34.}$	$\overline{x}_{35.}$	$\overline{x}_{36.}$	$\overline{x}_{37.}$	$\overline{x}_{38.}$	$\overline{x}_{39.}$	$\overline{x}_{310.}$		$\overline{x}_{3..}$
	$R_{ij.}$	$R_{31.}$	$R_{32.}$	$R_{33.}$	$R_{34.}$	$R_{35.}$	$R_{36.}$	$R_{37.}$	$R_{38.}$	$R_{39.}$	$R_{310.}$		$\overline{R}_{3..}$
	$\overline{x}_{.j.}$	$\overline{x}_{.1.}$	$\overline{x}_{.2.}$	$\overline{x}_{.3.}$	$\overline{x}_{.4.}$	$\overline{x}_{.5.}$	$\overline{x}_{.6.}$	$\overline{x}_{.7.}$	$\overline{x}_{.8.}$	$\overline{x}_{.9.}$	$\overline{x}_{.10.}$		

Úroveň centrální přímky regulačního diagramu odpovídá průměrnému variačnímu rozpětí opakovaných měření pro všechny operátory. Počítá se podle vztahu:

$$\overline{\overline{R}} = \frac{\sum_{i=1}^{h} \overline{R}_{i..}}{h}$$

kde:

$\overline{R}_{i..}$ - hodnoty průměrného variačního rozpětí opakovaných měření dosahované jednotlivými operátory

h - počet operátorů

Úrovně horní a dolní regulační meze regulačního diagramu pro variační rozpětí opakovaných měření se počítají podle vztahů:

$$UCL_R = D_4 \cdot \overline{\overline{R}}$$

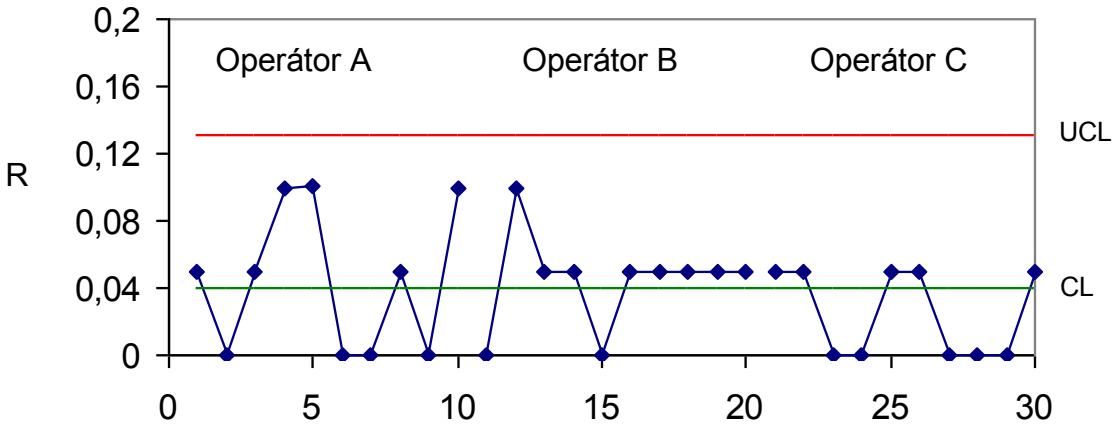
$$LCL_R = D_3 \cdot \overline{\overline{R}}$$

kde:

D_3, D_4 - koeficienty závislé na rozsahu podskupiny.

Rozsah podskupiny, pro který je potřeba nalézt hodnoty koeficientů D_3 a D_4 odpovídá počtu opakovaných měření jednotlivých vzorků jednotlivými operátory.

Příslušné regulační meze, centrální přímka a hodnoty variačních rozpětí opakovaných měření dosahovaných jednotlivými operátory se vynesou do regulačního diagramu (viz obr.7.6) a provede se jeho analýza. Aby bylo možné provádět další hodnocení, mělo by být dosaženo stavu, kdy proces měření je z z hlediska variability opakovaných měření statisticky zvládnutý, tedy všechny hodnoty variačního rozpětí musí ležet uvnitř regulačních mezí.



Obr. 7.6: Regulační diagram pro variační rozpětí k posouzení statistické zvládnutosti procesu měření z hlediska variability opakovaných měření.

V případě, že tomu tak není, je vhodné pro další postup rozlišit dvě situace. Pokud je statistická nezvládnutost (výskyt vymezitelných příčin variability) zjištěna pouze u jednoho operátora, je to obvykle způsobeno tím, že jeho metoda měření se liší od metody používané ostatními. Metoda měření by se měla sjednotit, příslušná měření zopakovat a opakovaně provést výpočet regulačních mezí a analýzu regulačního diagramu. Pokud se však statistická nezvládnutost (vymezitelné příčiny vyvolávající zvýšenou variabilitu opakovaných měření) občas vyskytuje u všech operátorů, je systém měření příliš citlivý na činnost operátora a je potřeba ho zlepšit.

6. Vyhodnocení opakovatelnosti měření

Po dosažení stavu, kdy proces měření je z hlediska dosahované variability opakovaných měření statisticky zvládnutý, lze stanovit hodnotu opakovatelnosti měření (EV – Equipment Variation) pomocí vztahu:

$$EV = \sigma_e = \frac{\overline{\overline{R}}}{d_2^*}$$

kde:

σ_e - směrodatná odchylka opakovatelnosti

d_2^* - koeficient závislý na počtu opakování měření a součinu počtu vzorků a počtu operátorů (viz. příloha 2; m – počet opakování, g – počet součástí násobený počtem operátorů)

7. Vyhodnocení reprodukovatelnosti měření

Další postup se zaměřuje na vyhodnocení reprodukovatelnosti měření, která charakterizuje variabilitu mezi operátory. Nejprve je potřeba stanovit hodnoty aritmetických průměrů opakovaných měření jednotlivých vzorků jednotlivými operátory podle vztahu:

$$\bar{x}_{ij.} = \frac{\sum_{k=1}^{n} x_{ijk}}{n}$$

kde:

x_{ijk} - hodnoty získané opakovaným měřením daného kusu daným operátorem

n - počet opakovaných měření.

Dále se stanoví hodnoty aritmetických průměrů měření všech kusů jednotlivými operátory $\bar{x}_{i..}$ podle vztahu:

$$x_{i..} = \frac{\sum_{j=1}^{r} \bar{x}_{ij.}}{r}$$

kde:

r – počet měřených vzorků

Na základě stanovených hodnot se vypočte variační rozpětí těchto průměrů R_0 :

$$R_0 = \max_i \bar{x}_{i..} - \min_i \bar{x}_{i..}; \quad i \in \langle 1; h \rangle$$

kde:

$\max_i \bar{x}_{i..}$ - maximální hodnota z aritmetických průměrů měření všech vzorků jednotlivými operátory

$\min_i \bar{x}_{i..}$ - minimální hodnota z aritmetických průměrů měření všech vzorků jednotlivými operátory

h - počet operátorů

Na základě stanovené hodnoty variačního rozpětí průměrů R_0 lze vyhodnotit reprodukovatelnost měření (AV – Appraiser Variation) podle vztahu:

$$AV = \sqrt{(\sigma_0)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} = \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}}$$

kde:

σ_0 - směrodatná odchylka reprodukovatelnosti

r - počet měřených kusů

n - počet opakovaných měření

d_2^* - koeficient závislý na počtu operátorů (m – počet operátorů, g=1)

8. Vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření

Na základě stanovené opakovatelnosti (EV) a reprodukovatelnosti (AV) měření lze vyhodnotit kombinovanou opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (GRR– Gauge Repeatability & Reproducibility (dříve byla tato hodnota označována jako R&R)).

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Samotná hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) ještě nevypovídá o vhodnosti analyzovaného systému měření, protože není vztažena k celkové variabilitě. Celková variabilita (TV – Total Variation) se obvykle počítá pomocí vyhodnocené variability mezi měřenými vzorky (PV).

9. Vyhodnocení variability mezi měřenými vzorky (PV)

Pro stanovení variability mezi měřenými vzorky se nejprve vyhodnotí aritmetické průměry měření jednotlivých vzorků všemi operátory. K příslušnému výpočtu lze využít průměrných hodnot opakovaných měření jednotlivých vzorků jednotlivými operátory:

$$\bar{x}_{.j.} = \frac{\sum_{i=1}^{h} \bar{x}_{ij.}}{h}$$

Z vypočtených hodnot se pak stanoví hodnota variačního rozpětí aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů R_p podle vztahu:

$$R_p = \max_j \bar{x}_{.j.} - \min_j \bar{x}_{.j.}; \quad j \in \langle 1; r \rangle$$

kde:

$\max_j \bar{x}_{.j.}$ - maximální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů

$\min_j \bar{x}_{.j.}$ - minimální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů

Pro stanovení variability mezi měřenými kusy (PV – Part Variation) pak lze použít vztah:

$$PV = \sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*}$$

kde:

σ_p - směrodatná odchylka znaku u měřených kusů

d_2^* - koeficient závislý na počtu měřených vzorků (m– počet měřených vzorků, g=1)

10. Vyhodnocení vhodnosti systému měření pro posouzení variability mezi vzorky

Vhodnost systému měření pro posouzení variability mezi měřenými vzorky lze vyhodnotit pomocí regulačního diagramu průměrů opakovaných měření jednotlivých vzorků jednotlivými operátory. Jedná se o zvláštní případ použití regulačního diagramu, neboť variabilita uvnitř podskupin je dána opakovatelností měření stejného vzorku a do diagramu jsou vynášeny hodnoty průměrů odpovídajících různým vzorkům reprezentujícím výrobní rozpětí. Regulační diagram takto porovnává variabilitu dosahovanou u opakovaných měření stejných kusů s očekávanou variabilitou výrobního procesu.

Pro výpočet úrovní centrální přímky a regulačních mezí se využívají vztahy:

$$CL = \overline{\overline{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{h} \overline{x}_{i..}}{h}$$

$$UCL = \overline{\overline{x}} + A_2 \cdot \overline{\overline{R}}$$

$$LCL = \overline{\overline{x}} - A_2 \cdot \overline{\overline{R}}$$

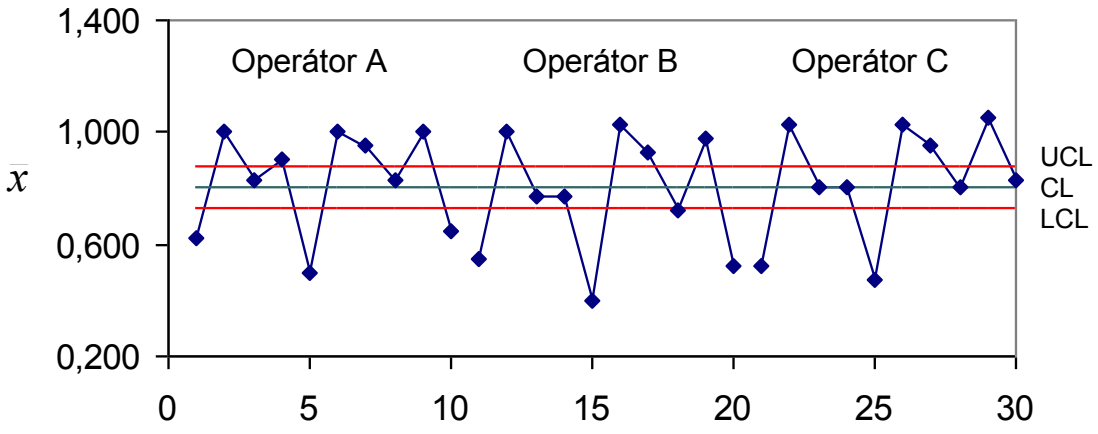
kde:

$x_{i..}$ - aritmetické průměry měření všech kusů jednotlivými operátory

A_2 - koeficient závislý na počtu opakovaných měření (rozsahu podskupiny)

$\overline{\overline{R}}$ - průměrné variační rozpětí opakovaných měření pro všechny operátory

Systém měření se považuje za vhodný pro posouzení variability mezi vzorky v případě, že více než 50% vynesených průměrů leží mimo regulační meze a operátoři se shodují v tom, o které kusy se jedná.



Obr. 7.7: Regulační diagram pro aritmetický průměr k posouzení vhodnosti systému měření pro posouzení variability mezi měřenými vzorky.

11. Vyhodnocení celkové variability

Pomocí hodnoty variability mezi měřenými vzorky a opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření pak lze stanovit celkovou variabilitu (TV – Total Variation) podle vztahu:

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$$

V případě, že vzorky nereprezentují výrobní rozpětí a je známa způsobilost procesu, lze celkovou variabilitu odhadnout pomocí směrodatné odchylky sledovaného znaku dosahované procesem:

$$TV = \sigma_{procesu}$$

Pokud není způsobilost procesu známa, lze celkovou variabilitu stanovit jako maximální hodnotu směrodatné odchylky sledovaného znaku, při které ještě proces bude klasifikován jako způsobilý:

$$\sigma_{procesu,max} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot C_{P,min}}$$

Namísto k celkové variabilitě, vyjádřené jedním z uvedených způsobů, lze opakovatelnost a reprodukovatelnost vztahovat rovněž k šestině požadovaného tolerančního rozpětí sledovaného znaku. Potom se celková variabilita vyjadřuje pomocí vztahu:

$$TV = \frac{USL - LSL}{6}$$

Vzhledem k tomu, že způsob vyjádření celkové variability výrazně ovlivňuje výsledky analýzy, je potřeba ho vždy jednoznačně specifikovat!

12. Výpočet procentuálního podílu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti z celkové variability

Dalším krokem analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření je pak vyjádření opakovatelnosti, reprodukovatelnosti, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti a variability mezi vzorky v procentech z celkové variability. Příslušné hodnoty se počítají podle vztahů:

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100$$

$$\%AV = \frac{AV}{TV} \cdot 100$$

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$$

$$\%PV = \frac{PV}{TV} \cdot 100$$

Součet stanovených podílů vyjádřených v procentech nedává dohromady 100%, neboť hodnoty směrodatných odchylek nelze sčítat, sčítají se pouze hodnoty příslušných rozptylů.

13. Stanovení počtu různých kategorií, které lze systémem měření rozlišit

Na základě stanovené variability mezi kusy (PV) a hodnoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) se vyhodnocuje počet různých kategorií *(ndc -Number of Distinct Categories),* které lze systémem měření rozlišit, který je dalším ukazatelem přijatelnosti systému měření. Počítá se podle vztahu:

$$ndc = 1{,}41 \cdot \frac{PV}{GRR}$$

Vypočtená hodnota se zaokrouhluje na celá čísla směrem dolů.

Postup numerického vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření je prezentován v animaci 7a „Numerické vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření (GRR analýza)“.

14. Vyhodnocení přijatelnosti systému měření

Pro posouzení vhodnosti systému měření je nejdůležitější procentuální vyjádření podílu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti z celkové variability (%GRR) a počet různých kategorií, které lze systémem měření rozlišit. Kritéria hodnocení jsou uvedena v tab. 7.4:

Tab. 7.4: Kritéria přijatelnosti při analýze opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření

(%GRR≤10)∩(ndc≥5)	systém měření je přijatelný
(%GRR>10)∩(%GRR≤ 30)∩(ndc≥5)	systém měření může být přijatelný (podle důležitosti aplikace, nákladů na měřidlo, nákladů na opravy, atd.)
(%GRR>30)U(ndc<5)	systém měření je nepřijatelný, je nutné ho zlepšit

Oblasti přijatelnosti systému měření jsou prezentovány v animaci 7b „Vyhodnocení přijatelnosti systému měření na základě výsledků analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti“.

Důležité informace poskytuje procentuální vyjádření samotné opakovatelnosti měření a samotné reprodukovatelnosti měření, které umožňuje rozlišit příčiny dosahované variability používaného systému měření.

V případě vysoké hodnoty podílu opakovatelnosti měření je potřeba příčiny variability hledat v používaném měřicím prostředku, používané metodě měření, případně v nestabilních podmínkách měření.

V případě vysoké hodnoty podílu reprodukovatelnosti měření je potřeba příčiny variability hledat v rozdílných přístupech jednotlivých operátorů, případně v jejich dovednostech, například jejich schopnosti správně odečítat naměřené údaje.

Velice důležitou součástí analýzy systému měření je grafické znázornění a hodnocení naměřených údajů. Kromě regulačních diagramů pro variační rozpětí a aritmetické průměry se využívá řada dalších způsobů grafického zobrazení.

Shrnutí pojmů z části 7.2

Opakovatelnost měření charakterizuje variabilitu systému měření v podmínkách opakovatelnosti.
Reprodukovatelnost měření je variabilita průměrných hodnot měření stejného výrobku za různých podmínek.

Otázky vztahující se k části 7.2

1. Čím se liší zkrácená metoda analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření od standardní analýzy GRR?
2. Jakým způsobem se shromažďují data pro analýzu GRR?
3. Jak se vyhodnocuje statistická zvládnutost procesu měření z hlediska variability opakovaných měření?
4. Jaké opatření ke zlepšení navrhnete v případě vysokého %AV?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. Analýza systému měření (QS 9000: MSA, 3. vyd., 2002). Česká společnost pro jakost, 2003, 234 s.

8 ANALÝZA SYSTÉMŮ MĚŘENÍ PŘI KONTROLE SROVNÁVÁNÍM

Čas ke studiu: 90 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vysvětlit a aplikovat analýzu systému měření při kontrole srovnáváním

Výklad

V případech diskrétních proměnných (atributivních znaků), kdy hodnota výsledku měření je jednou z konečného počtu tříd, je potřeba aplikovat specifické postupy analýzy systému měření. Nejjednodušším případem je situace, kdy se výrobky rozlišují na shodné a neshodné.

Příprava analýzy systému měření při kontrole srovnáváním a sběr potřebných údajů probíhají podobně jako v případě analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření. Jednotliví operátoři v náhodném pořadí hodnotí soubor výrobků, přičemž každý z výrobků je jedním operátorem hodnocen nejméně dvakrát.

Posuzovaný soubor výrobků by měl obsahovat nejen shodné ale i neshodné výrobky a celkový počet výrobků by měl být větší, než v případě kontroly měřením (cca 50 výrobků). U každého výrobku by mělo být rovněž stanoveno referenční hodnocení. Dosažené výsledky se zaznamenávají do přehledné tabulky. Příklad takové tabulky pro část z 50 výrobků hodnocených třemi operátory, přičemž každý operátor hodnotil každý výrobek celkem třikrát, je uveden v tab. 8.1. Rozhodnutí o přijetí výrobku je v této tabulce označeno jedničkou, hodnocení o nepřijetí nulou.

Vyhodnocení shody mezi operátory

Vyhodnocení systému měření se provádí metodou křížových tabulek, pomocí nichž se posuzuje jak shoda mezi jednotlivými operátory navzájem, tak shoda mezi jednotlivými operátory a referenční hodnotou. Příklad křížové tabulky, která shrnuje údaje pro posouzení shody mezi operátory A a B, je uveden v tab. 8.2.

Tab.8.1: Příklad části souboru údajů pro analýzu systému měření při kontrole srovnáváním.

Díl	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Reference
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tab. 8.2: Křížová tabulka shody mezi operátory A a B.

			Operátor B		Celkem
			0	1	
Operátor A	0	Výsledek	X_{00}	X_{01}	$X_{0.}$
		Očekávaný výsledek	x_{00}	x_{01}	$x_{0.}$
	1	Výsledek	X_{10}	X_{11}	$X_{1.}$
		Očekávaný výsledek	x_{10}	x_{11}	$x_{1.}$
Celkem		Výsledek	$X_{.0}$	$X_{.1}$	N
		Očekávaný výsledek	$x_{.0}$	$x_{.1}$	n

Horní hodnoty v příslušných buňkách tabulky označené jako výsledek (X_{00}, X_{01}, X_{10}, X_{11}) uvádějí kolikrát se vyskytly jednotlivé možné kombinace výsledků operátorů A a B (1- přijetí, 0- nepřijetí). Hodnoty „Celkem“ ($X_{0.}$, $X_{1.}$, $X_{.0}$, $X_{.1}$) shrnují kolikrát jednotliví operátoři při hodnocení souboru výrobků došli k rozhodnutí o přijetí a nepřijetí.

Hodnoty očekávaných výsledků se počítají podle vztahů:

$$x_{00} = \frac{X_{0.}}{N} \cdot X_{.0}$$

$$x_{01} = \frac{X_{0.}}{N} \cdot X_{.1}$$

$$x_{10} = \frac{X_{1.}}{N} \cdot X_{.0}$$

$$x_{11} = \frac{X_{1.}}{N} \cdot X_{.1}$$

Pro posouzení shody mezi jednotlivými operátory se používá ukazatel κ (kappa), který se počítá podle vztahu:

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

Hodnota p_0 představuje podíl výsledků, kdy se oba operátoři shodli v rozhodnutí o přijetí nebo nepřijetí výrobků:

$$p_0 = \frac{X_{11} + X_{00}}{N}$$

Hodnota p_e představuje podíl očekávaných výsledků, kdy se oba operátoři shodují v rozhodnutí o přijetí nebo nepřijetí výrobků:

$$p_e = \frac{x_{11} + x_{00}}{N}$$

Hodnota ukazatele kappa se pohybuje v rozmezí od -1 do 1. Pokud dosáhne hodnoty 1, odpovídá to dokonalé shodě mezi danými dvěma operátory. Hodnoty ukazatele kappa vyšší než 0,75 jsou považovány za dobrou až vynikající shodu, hodnoty nižší než 0,4 znamenají špatnou shodu.

Vyhodnocení shody operátorů s referenční hodnotou

Analýza shody mezi jednotlivými operátory poskytuje informace o tom, zda se mezi hodnocením operátorů nevyskytují významné rozdíly, ale již nic neříká o tom, jak dobře posuzovaný systém měření rozlišuje shodné výrobky od neshodných. K tomuto posouzení se zpracovávají křížové tabulky, které posuzují shodu jednotlivých operátorů s referenčním hodnocením. Příklad křížové tabulky, která posuzuje shodu operátora A s referenční hodnotou je uveden v tab. 8.3. Vyhodnocení shody daného operátora s referenčním hodnocením je prováděno opět pomocí ukazatele kappa, který se vypočte stejným postupem jako v případě analýzy shody mezi jednotlivými operátory.

Tab. 8.3: Křížová tabulka pro posouzení shody operátora A s referenční hodnotou.

			Reference		Celkem
			0	1	
Operátor A	0	Výsledek	X_{00}	X_{01}	$X_{0.}$
		Očekávaný výsledek	x_{00}	x_{01}	$x_{0.}$
	1	Výsledek	X_{10}	X_{11}	$X_{1.}$
		Očekávaný výsledek	x_{10}	x_{11}	$x_{1.}$
Celkem		Výsledek	$X_{.0}$	$X_{.1}$	N
		Očekávaný výsledek	$x_{.0}$	$x_{.1}$	n

Postup výpočtů v křížové tabulce a vyhodnocení ukazatele kappa je prezentován v animaci 9 „Vyhodnocení shody operátora s referenčním hodnocením“.

Kromě ukazatele κ se rovněž obvykle vyhodnocuje účinnost systému měření, která se vyjadřuje jako poměr počtu správných rozhodnutí k celkovému počtu rozhodnutí a vyjadřuje se v procentech. Za správná rozhodnutí jsou považovány případy, kdy všechna opakovaná hodnocení daného výrobku (daného operátora nebo všech operátorů) byla v souladu s referenční hodnotou. Na podobném principu lze rovněž vyhodnocovat míru shody jednotlivých operátorů vůči sobě či míru shody mezi všemi operátory.

K vyhodnocení účinnosti systému měření v procentuálním vyjádření lze použít obecný vztah:

$$U = \frac{A}{B} \cdot 100$$

kde:
B - celkový počet hodnocených výrobků

Podle toho, co se dosadí za hodnotu A se rozlišují různé varianty vyhodnocené účinnosti:

a) **Účinnost shody operátora vůči sobě**: A = počet výrobků, u kterých daný operátor při opakovaných hodnoceních došel ke stejnému výsledku

b) **Účinnost shody operátora vůči referenční hodnotě**: A = počet výrobků, u kterých daný operátor při opakovaných hodnoceních došel ke stejnému výsledku a tyto výsledky odpovídaly referenční hodnotě

c) **Účinnost shody operátorů mezi sebou**: A = počet výrobků, u kterých všichni operátoři při opakovaných hodnoceních došli ke stejnému výsledku

d) **Účinnost shody operátorů vůči referenční hodnotě**: A = počet výrobků, u kterých všichni operátoři při opakovaných hodnoceních došli ke stejnému výsledku a tyto výsledky odpovídaly referenční hodnotě

Systém měření je považován za přijatelný v případě, že účinnost shody dosahuje hodnoty alespoň 90%.

Shrnutí pojmů z části 8

Křížová tabulka je tabulka, do které se zaznamenávají výsledky hodnocení souboru vzorků na základě neměřitelných znaků jakosti, které slouží k vyhodnocení shody mezi dvěma operátory nebo shody mezi operátorem a referenční hodnotou.
Ukazatel kappa je vypočtený ukazatel, který umožňuje vyhodnotit, zda shoda mezi operátory či shoda mezi operátorem a referenční hodnotou je vyhovující.
.

Otázky vztahující se k části 8

1. Jak se shromažďují údaje pro analýzu systému měření při kontrole srovnáváním?
2. Co se označuje jako X_{01}?
3. Při jaké hodnotě ukazatele kappa je shoda mezi operátorem a referenčním hodnocením považována za vyhovující?

Literatura k dalšímu studiu:

1. Analýza systému měření (QS 9000: MSA, 4. vyd., 2010). Česká společnost pro jakost, 2011, 231 s.

9 ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ POSTUPEM GLOBAL 8D

Čas ke studiu: 60 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit základní kroky metodiky řešení problémů G8D

Výklad

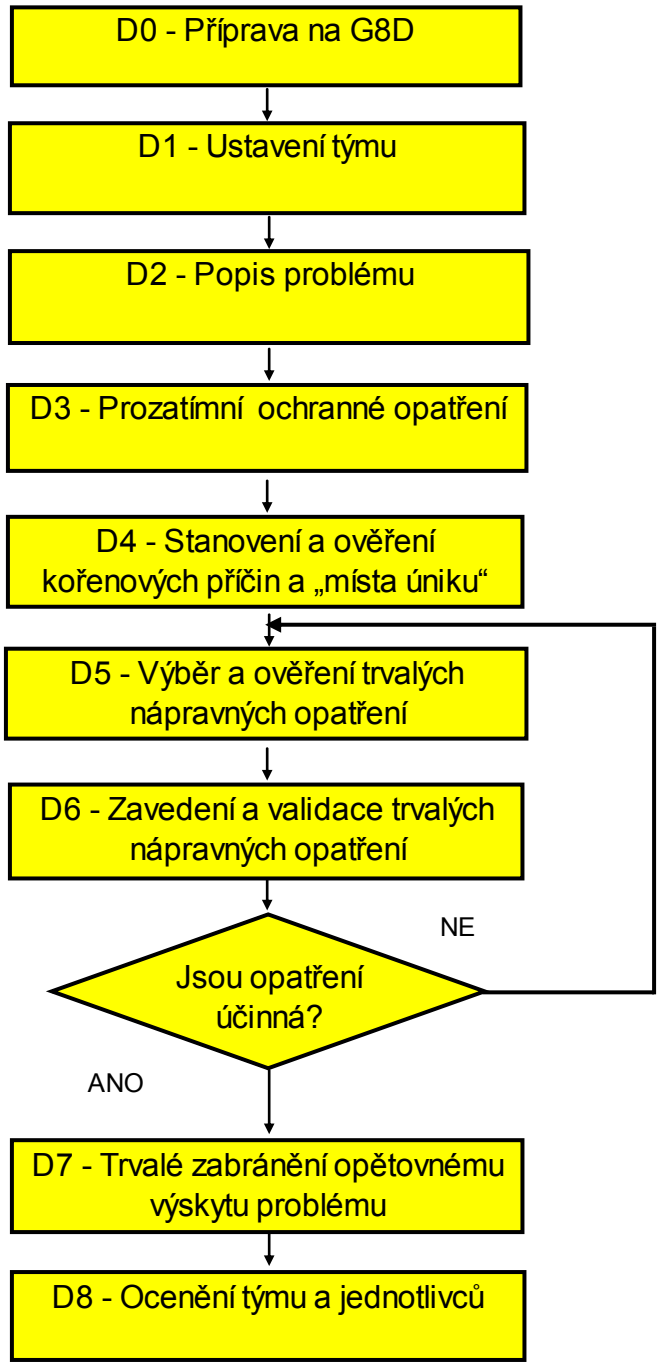
Global 8D Process (G8D) představuje standardizovaný postup řešení problémů, který byl vytvořen ve firmě Ford. G8D usiluje o definování a pochopení problému a poskytuje postup pro identifikaci kořenové příčiny problému a nalezení vhodných nápravných opatření, která předcházejí opětovnému výskytu problému.

Postup G8D (8D = osm disciplín) se skládá z těchto kroků (viz obr. 9.1):

D0) Příprava na G8D
D1) Ustavení týmu
D2) Popis problému
D3) Zavedení prozatímního ochranného opatření
D4) Stanovení a ověření kořenových příčin a „míst úniku“
D5) Výběr a ověření trvalých nápravných opatření
D6) Zavedení a validace trvalých nápravných opatření
D7) Trvalé zabránění opětovnému výskytu problému
D8) Uznání týmu a jednotlivců

D0 - Příprava na G8D

Global 8D proces se vlastně skládá z devíti kroků, neboť obsahuje nultý krok (D0), kterým je příprava na G8D proces. V tomto přípravném kroku by se zejména měla okamžitě provést vhodná nouzová opatření, potřebná pro ochranu zákazníka před příznakem problému a vyhodnotit potřeba aplikace procesu G8D.



Obr. 9.1: Průběh řešení problémů postupem G8D.

D1 - Ustavení týmu

Účelem tohoto kroku je ustavení týmu s odpovídajícími znalostmi o výrobku nebo procesu, kde vznikl problém, a dovednostmi v technických disciplínách potřebných pro řešení problému a zavedení nápravných opatření. Tým by měl být

dostatečně velký, aby byly pokryty všechny potřebné znalosti a dovednosti a dostatečně malý, aby pracoval efektivně (doporučuje se 4 až 10 členů), přičemž složení týmu se podle stadia řešení může měnit.

Měl by být jmenován garant (šampión) týmu, který je obvykle vlastníkem analyzovaného procesu, disponuje zdroji pro práci týmu a má pravomoc k provádění změn. Členům týmu by měly být přiděleny některé funkce důležité pro efektivní práci týmu, například funkce vedoucího týmu, moderátora, zapisovatele nebo organizátora harmonogramu schůzek týmu.

D2 - Popis problému

V tomto kroku se identifikuje „co je špatného s čím“ a problém se detailně specifikuje pomocí kvantifikovatelných parametrů. Minimálně by měly být shromážděny informace o tom co je problémem, kde se problém vyskytuje, kdy se vyskytuje a jaký je jeho rozsah. Detailnímu popisu problému napomáhají vhodně volené otázky, jež jsou dále rozpracovány v pracovních formulářích (tzv. analýza JE/NENÍ), například:

- Co je problémem a co není, přičemž logicky by mohlo být?
- Kde se vyskytuje problém a kde se nevyskytuje, přičemž logicky by se mohl vyskytovat?
- Kdy se vyskytuje problém a kdy ne, přičemž logicky by se mohl vyskytovat?
- Jak velký je problém a jak velký není, přičemž logicky by mohl být?

D3 - Prozatímní ochranné opatření

Účelem prozatímního ochranného opatření je zamezit vlivu problému na zákazníka (vnějšího i vnitřního), dokud nebudou realizována trvalá nápravná opatření. Toto prozatímní opatření může být odvozeno z nouzového opatření realizovaného v kroku D0, obvykle však je lépe propracováno. Zavádí se zejména v případech, kdy je potřeba získat dostatek času na nalezení kořenových příčin problému.

V případě realizace prozatímního opatření je potřeba před jeho zavedením provést ověření jeho účinnosti (nejlépe na základě ověřovacích zkoušek) a po jeho zavedení provést jeho validaci na základě porovnání dosahovaných výsledků před a po zavedení. Validace by měla být provedena před uvolněním výrobků zákazníkovi.

D4 - Stanovení a ověření kořenových příčin a „místa úniku“

Účelem tohoto kroku je izolovat a ověřit kořenovou příčinu definovaného problému a identifikovat místo úniku v procesu. Jako zdroj informací o možných příčinách slouží diagram příčin a následku a rovněž srovnávací analýza podmínek zjištěných na základě analýzy„JE/NENÍ“ v kroku D2. Stanovení kořenové příčiny problému by mělo být provedeno testováním všech možných příčin na základě shromážděných dat.

Místo úniku v procesu je chápáno jako nejdřívější místo v procesu, nejbližší kořenové příčině, kde problém měl být detekován, ale nebyl. Identifikace místa úniku poskytne informace, zda stávající kontrolní systém je schopen problém detekovat, pokud ne, je potřeba navrhnout změnu kontrolního systému.

D5 - Výběr a ověření trvalých nápravných opatření

Účelem tohoto kroku je vybrat nejlepší trvalé nápravné opatření pro odstranění kořenové příčiny a nejlepší trvalé nápravné opatření pro místo úniku. U obou těchto opatření by měla být ověřena jejich účinnost a rovněž by mělo být ověřeno, zda jejich zavedení nebude mít jakýkoliv nežádoucí doprovodný efekt.

Velice důležité je, aby trvalé opatření eliminovalo kořenovou příčinu problému a nevytvářelo žádné další problémy. Na rozhodnutí o nejlepším trvalém nápravném opatření je potřeba rezervovat dostatek času a postupovat podle předem stanovených kritérií. Důležitým podkladem pro rozhodování by měla být i analýza rizik spojených s realizací navrhovaných opatření.

D6 - Zavedení a validace trvalých nápravných opatření

Účelem tohoto kroku je naplánovat, zavést a validovat vybraná trvalá opatření. V případě, že byla realizována prozatímní ochranná opatření (viz D3), je

obvykle potřeba je před implementací trvalého nápravného opatření odstranit. Po zavedení trvalých nápravných opatření by měla být na základě monitorování dosahovaných výsledků provedena jejich validace.

D7 - Trvalé zabránění opětovnému výskytu problému

V tomto kroku se modifikují potřebné systémy, včetně politiky, provozních podmínek a postupů tak, aby se zabránilo opětovnému výskytu daného nebo podobného problému. Současně by měla být dána doporučení pro další systematické zlepšování.

D8 - Ocenění týmu a jednotlivců

Účelem tohoto kroku je shrnout zkušenosti týmu a zkompletovat zpracovanou dokumentaci ve zprávě G8D, ocenit práci týmu a jednotlivců a oslavit úspěšné řešení.

Postup řešení problémů metodikou G8D je prezentován v animaci 9 "Metodika řešení problémů G8D".

Shrnutí pojmů z části 9

Global 8D je standardizovaný metodický postup řešení problémů vyvinutý firmou Ford

Otázky vztahující se k části 9

1. Vysvětlete hlavní rozdíly mezi postupem G8D a metodou Quality Journal.
2. Na čem je založena metoda Je/Není?
3. Co se označuje jako místo úniku?

Literatura k dalšímu studiu:

1. PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1
2. Global 8D. Ford Motor Company, 1997

10 MANAGEMENT JAKOSTI PROJEKTŮ

10.1 Základy managementu projektů

Čas ke studiu: 50 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit rozdíly mezi managementem projektu a operativním managementem
- Popsat fáze životního cyklu projektu
- Charakterizovat formy organizace projektu

Výklad

Projekt lze definovat jako jedinečný proces sestávající z řady koordinovaných a řízených činností s daty zahájení a ukončení, prováděný pro dosažení cíle, který vyhovuje specifickým požadavkům, včetně omezení daných časem, náklady a zdroji.

Projekt má tyto obecné charakteristiky:

⇒ má začátek a konec

⇒ cíle projektu musí být dosaženy v požadované jakosti během limitovaného času a v rámci omezených zdrojů

⇒ je unikátním a jedinečným souborem činností, které se odlišují od činností rutinních

⇒ zahrnuje v sobě prvky neurčitosti a rizika

⇒ má dočasný charakter

⇒ prochází mnoha etapami a fázemi

⇒ vyžaduje sjednocení úsilí a dovedností odborníků z různých oblastí.

Projektem by se měl stát každý úkol, který je:

⇒ rozsáhlý (jedinečný soubor mnoha činností)

⇒ různorodý (vyžaduje sjednocení úsilí a dovedností z různých profesních oblastí)

⇒ má hodně vazeb (množství vzájemných vazeb mezi dílčími činnostmi)

⇒ má omezené zdroje (časové, lidské, finanční).

Z hlediska složitosti se obvykle rozlišují tyto kategorie projektů:

⇒ jednoduché projekty (krátkodobé, jednoduché cíle, několik činností, jeden pracovník)

⇒ speciální projekty (střednědobé, dočasné přiřazení pracovníků, dekompozice na dílčí projekty)

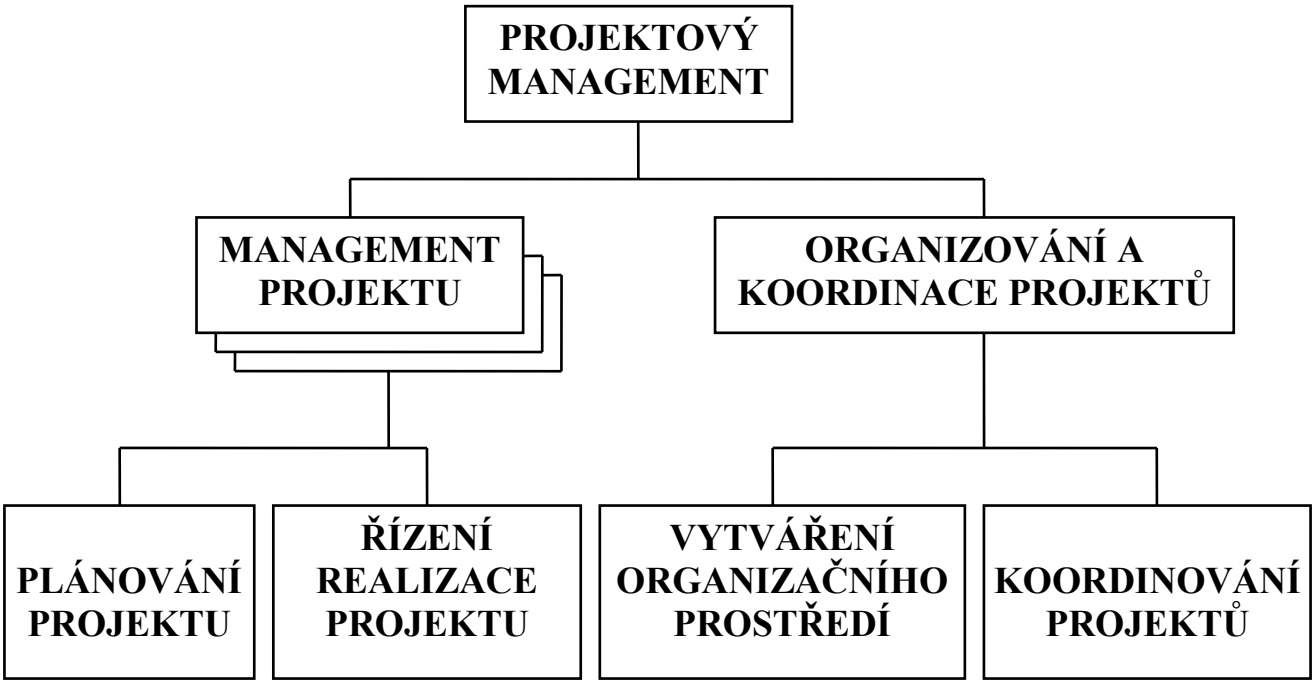
⇒ komplexní projekty (dlouhodobé, mnoho činností, speciální organizační struktura, vysoké náklady, velký počet dílčích projektů).

Nezávisle na složitosti jsou pro řízení těchto projektů používány prakticky stejné postupy. Všechny projekty vyžadují jednoznačnou podporu vrcholového vedení organizace, která je nositelem projektu. Některý z vrcholových manažerů by měl být oficiálně pověřen kompetencemi pro veškeré záležitosti týkající se projektu a stává se tak partnerem manažera projektu.

Anglický termín Project Management je chápán ve dvou významech, jako management projektu nebo jako projektový management (viz obr. 10.1).

Management projektu (řízení projektu) je v podstatě metodikou pro plánování projektu a řízení jeho realizace

Projektový management (projektové řízení) zahrnuje management jednotlivých projektů a jejich organizování a koordinování



Obr. 10.1: Aktivity projektového managementu

Z obr. 10.1 je patrné, že management projektu zahrnuje dvě základní skupiny činností:

- **plánování projektu** (popis)
- **řízení realizace projektu** (proces, kterým chceme dosáhnout, aby se plánované činnosti skutečně realizovaly)

Zatímco v průběhu plánování projektu se vytváří popis toho, co chceme, aby se stalo, řízení realizace projektu představuje proces, kterým chceme zajistit, aby se plánované činnosti skutečně realizovaly.

Úspěšnost managementu projektu se posuzuje na základě dosahování souladu mezi třemi základními parametry projektu (tzv. Barnesův trojúhelník):

- jakostí
- časem
- náklady

Základní fáze managementu projektu

V průběhu managementu projektu lze rozlišit tyto základní fáze odpovídající životnímu cyklu projektu:

1) fáze iniciace
2) fáze koncepce
3) fáze návrhu
4) fáze realizace
5) fáze kompletace a užívání
6) fáze likvidace

1) Fáze iniciace

Ve fázi iniciace probíhá analýza problému, formulují se základní cíle projektu a formují se základní představy o možných cestách jejich dosažení. Tato fáze rozhodujícím způsobem ovlivňuje jakost celého projektu.

2) Fáze koncepce

V této fázi se stanovují základní koncepce řešení projektu vedoucí k dosažení zadaných cílů.

3) Fáze návrhu

Ve fázi návrhu se zadavatelem přijatá koncepce projektu rozpracovává do detailního návrhu (v podrobnosti nezbytné pro definování úkolů pro jednotlivé účastníky realizace projektu). Součástí zpracování návrhu je uzavírání smluv s dodavateli prací a dodávek nutných k realizaci projektu. Ve fázi návrhu se rozhoduje o výši nákladů.

4)Fáze realizace

Při realizaci projektu je potřeba dbát na to, aby v požadovaném čase a definovaných nákladech byla dosažena požadovaná jakost výsledků projektu.

5) Fáze využívání

V této fázi se výsledky projektového řízení zavádějí do života a vyhodnocuje se úspěšnost projektu.

6) Fáze likvidace

V této fázi dochází k rozpuštění projektového týmu.

FORMY ORGANIZACE PROJEKTU:

Organizační stránka realizace projektu může být zajištěna různými způsoby. Podle míry zapojení jednotlivých členů projektového týmu a podle pozice manažera projektu lze rozlišit tyto formy organizace projektu:

a) funkcionální (útvarová) organizace

V tomto případě se v podstatě ještě nejedná o formu projektové organizace. Pracovníci jsou seskupeni podle odborností v útvarech vedených liniovými manažery

(manažery funkcí), na které postupně přechází zodpovědnost za projekt. Management projektu je realizován pomocí pracovních porad.

b) projektová koordinace (štábní organizace, manažer typu „lehká váha)

Při tomto uspořádání jednotlivé útvary volí svého zástupce do projektového týmu. Zavádí se funkce koordinátora (manažera projektu), který je obvykle pracovníkem na střední úrovni řízení („lehká váha“) a nemá pravomoci vůči pracovníkům v projektovém týmu.

c) maticová organizace (manažer typu „těžká váha“)

V případě maticové organizace je manažer projektu na stejné nebo vyšší úrovni než linioví manažeři, se kterými si rozděluje pravomoci vůči pracovníkům v projektovém týmu. Toto rozdělení pravomocí přináší zvýšené nároky na koordinaci a komunikaci. V praxi je maticová organizace projektu poměrně často využívána.

d) ryzí projektová organizace

V tomto případě je projektový tým vytvořen z pracovníků dočasně uvolněných z jednotlivých útvarů jako samostatná organizační jednotka a i fyzicky jsou členové týmu soustředěni na jednom místě. Manažer projektu je na úrovni liniových manažerů nebo vyšší („těžká váha“) a má rozhodující pravomoci a odpovědnosti za projekt. Tato forma organizace umožňuje maximální zapojení členů týmu do řešení projektu a je využívána u projektů, které je potřeba realizovat v co nejkratším čase.

Určitou nevýhodou je to, že je potřeba zajistit náhradu za dočasně uvolněné členy týmu. V případě delších projektů může nastat situace, že se tito uvolnění členové týmu již nemají kam vrátit. Pak se obvykle stávají členy dalších, stejně organizovaných projektových týmů.

Shrnutí pojmů z části 10.1

Projekt je jedinečný proces sestávající z řady koordinovaných a řízených činností s daty zahájení a ukončení, prováděný pro dosažení cíle, který vyhovuje specifickým požadavkům, včetně omezení daných časem, náklady a zdroji.

Otázky vztahující se k části 10.1

1. Jaké jsou charakteristické rysy projektu?
2. Jaké jsou hlavní aktivity managementu projektu?
3. Co to je ryzí projektová organizace?

Literatura k dalšímu studiu:

1. ROSENAU, M. D.: Řízení projektů. Praha: Computer Press, 2000. 344 s. ISBN 80-7226-218-1
2. DOLANSKÝ, V. - MĚKOTA, V. - NĚMEC, V.: Projektový management. Praha : Grada, 1996 - 372 s., ISBN 80-7169-287-5

10.2. Management jakosti projektů

Čas ke studiu: 120 minut

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vysvětlit zásady managementu jakosti projektů

Výklad

Velice důležitou součástí managementu projektů je management jakosti projektů, který vychází ze zásad obecného managementu jakosti, nicméně má určité specifické rysy.

Cenné informace pro aplikaci managementu jakosti v projektech lze nalézt v normě ČSN ISO 10006:2004 Systémy managementu jakosti – Směrnice pro management jakosti projektů. Tato norma není návodem pro management projektů, ale v souladu s názvem, návodem pro management jakosti projektů.

Struktura normy odpovídá struktuře ISO 9001. Jednotlivé kapitoly odpovídají čtyřem hlavním procesům managementu jakosti: Odpovědnost vedení, Management

zdrojů, Realizace produktu a Měření analýza a zlepšování. V rámci těchto hlavních procesů jsou potom zpracována doporučení pro management jakosti jednotlivých dílčích procesů projektu.

V úvodní části normy jsou připomenuty vybrané hlavní charakteristiky projektů:

- jedinečné a neopakovatelné procesy a činnosti
- určitý stupeň rizika a nejistoty
- očekávají se od nich přesně vymezené výsledky
- mají naplánované termíny začátku a konce a vymezené náklady

Norma rozlišuje dvě organizace zúčastněné na projektu: zadávající organizaci, která zadává projekt a projektovou organizaci, která uskutečňuje projekt. Základnu pro systém managementu jakosti zadávající a projektové organizace má tvořit osm zásad managementu jakosti a systém managementu jakosti projektu má být co nejvíce sladěn se systémem managementu jakosti zadávající organizace. systém managementu jakosti projektu má být dokumentován a má být zahrnut v plánu jakosti projektu.

V následujícím textu jsou uvedena hlavní doporučení pro jednotlivé hlavní a dílčí procesy projektu.

ODPOVĚDNOST MANAGEMENTU

Strategický proces

Jako strategický proces je označeno plánování, vytváření, uplatňování a udržování systému managementu jakosti založené na osmi zásadách managementu jakosti:

- **Zaměření na zákazníka** - cíle projektu mají brát v úvahu potřeby a očekávání zákazníků a jiných zainteresovaných stran

- **Vedení lidí** - vedoucí pracovníci mají vytvářet prostředí, v němž se zaměstnanci mohou plně zapojit do plnění cílů organizace

- **Zapojení zaměstnanců** - zaměstnanci projektové organizace mají mít vymezeny odpovědnosti a pravomoci

- **Procesní přístup** - procesy projektu mají být jasně identifikovány a dokumentovány

- **Systémový přístup k managementu** - procesy projektu je nezbytné vymezit a propojit do systému, který je sladěný s celkovým systémem zadávající organizace

- **Neustálé zlepšování** - zadávající a projektová organizace jsou odpovědné za neustálé hledání možností ke zlepšení efektivnosti a účinnosti procesů, za které jsou odpovědné

- **Přístup k rozhodování zakládající se na faktech** - informace o průběhu projektu mají být zaznamenávány (např. do deníku projektu), projektová organizace má informace analyzovat

- **Vzájemně prospěšné dodavatelské vztahy** - požadavky na procesy a specifikace produktu dodavatele mají být vyvíjeny společně projektovou organizací a jejími dodavateli.

Přezkoumání systému managementu a hodnocení postupu

- management projektové organizace má v plánovaných intervalech přezkoumávat systém managementu jakosti projektu

MANAGEMENT ZDROJŮ

Procesy vztahující se ke zdrojům

- v plánech zdrojů se má uvést jaké zdroje budou požadovány, kdy budou požadovány, a odkud budou přidělovány
- plány zdrojů mají být dokumentovány v plánu managementu projektu
- mají se identifikovat a analyzovat odchylky od plánů zdrojů
- změny v plánu zdrojů mají být vhodným způsobem schvalovány.

Procesy vztahující se k zaměstnancům

- organizační struktura projektu má podporovat efektivní a účinnou komunikaci a spolupráci mezi účastníky projektu
- mají se zpracovat popisy práce nebo role účastníků projektu, včetně odpovědností a pravomocí
- mají se identifikovat funkce odpovědné za systém managementu jakosti projektu
- pro zaměstnance pracující na projektu se má určit nezbytná kvalifikace
- výběr zaměstnanců se má provádět na základě odborné způsobilosti, předchozí praxe a osobních vlastností
- manažer projektu má být osobně zapojen do výběru klíčových zaměstnanců.

REALIZACE PRODUKTU

Je uvedeno sedm skupin procesů managementu projektu nezbytných k vytvoření produktu projektu.

Procesy vztahující se k vzájemné závislosti

- Zahájení projektu a vytvoření plánu managementu projektu (plán managementu projektu má integrovat plány vyplývající z jiných procesů projektu (plán jakosti, struktura činností, harmonogram, rozpočet, plán komunikace, plán managementu rizik, plán nakupování)
- Management vzájemného působení (má být zvládnuto vzájemné působení procesů projektu např. pořádání projektových porad, řešení problémů, provádění hodnocení postupu)
- Management změn (má zahrnovat identifikaci, hodnocení, schvalování, dokumentaci, uplatňování a sledování změn)
- Uzavření procesu a projektu (způsob uzavření procesů projektu má být stanoven v plánu managementu projektu).

Procesy vztahující se k předmětu

- Vývoj koncepce (potřeby a očekávání zákazníka mají být převedeny na dokumentované požadavky)

- Vytváření a řízení záměru (mají se v měřitelných ukazatelích dokumentovat charakteristiky produktu projektu)
- Vymezení činností (projekt má být systematicky strukturován do řiditelných činností (WBS – Work Breakdown Structure = struktura rozčlenění práce)
- Řízení činností (činnosti projektu se mají řídit v souladu s plánem managementu projektu).

Procesy vztahující se k času

- Plánování závislostí činností (mají být identifikovány vzájemné závislosti mezi činnostmi projektu a při vývoji plánu projektu se mají využívat síťové grafy)
- Odhad doby trvání (zaměstnanci odpovědní za příslušné činnosti mají odhadnout dobu jejich trván)
- Vývoj harmonogramu (harmonogramy mají identifikovat kritické činnosti a činnosti blízké kritickým a mají být předány zákazníkovi a dalším zainteresovaným stranám
- Řízení podle harmonogramu (mají být identifikovány a analyzovány odchylky od harmonogramu a v případě potřeby realizována vhodná opatření, změny, které ovlivňují cíle projektu, mají být před uplatněním schváleny zákazníkem a příslušnými zainteresovanými stranami).

Procesy vztahující se k nákladům

- Odhad nákladů (všechny náklady na projekt mají být jasně identifikovány, mají být sledovatelné až k jejich původu a mají být ve formě, která umožňuje sestavit rozpočet v souladu s účetními postupy)
- Sestavování rozpočtu (rozpočet má mít formu, která je vhodná pro sledování nákladů projektu)
- Řízení nákladů (má se vytvořit a dokumentovat systém řízení nákladů, provádět pravidelná přezkoumání nákladů na projekt a identifikovat příčiny odchylek od rozpočtu

Procesy vztahující se ke komunikaci

- Plánování komunikace (má být zpracován plán komunikace, který stanoví informace, které budou oficiálně sdělovány, jejich četnost a použitá média, k zajištění kompatibility se má určit formát, jazyk a struktura dokumentů)
- Management informací (mají se zavést postupy pro přípravu, shromažďování, identifikaci, třídění, aktualizaci, zařazování, skladování, ochranu a vyhledávání a uchovávání informací)
- Řízení komunikace (má být naplánován, řízen a přezkoumáván systém komunikace).

Procesy vztahující se k riziku

- Identifikace rizik (na počátku projektu, při hodnocení postupu prací a před významnými rozhodnutími se má provádět identifikace rizik, týkajících se nákladů, termínů, jakosti produktu, bezpečnosti, ochrany zdraví, životního prostředí apod.)
- Posuzování rizik (všechna identifikovaná rizika mají být posouzena - nejlépe kvantitativní vyhodnocení)
- Ošetření rizik (navrhovaná opatření mohou vést k vyloučení, zmírnění, sdílení nebo přijetí rizika).

Procesy vztahující se k nakupování

- Plánování a řízení nakupování (má se připravit harmonogram nakupování produktů)
- Dokumentace požadavků na nakupování (v dokumentech pro nakupování se mají identifikovat znaky produktu, požadavky na QMS, náklady, dodací lhůty apod.)
- Hodnocení dodavatele (dodavatelé projektu mají být hodnoceni podle všech aspektů, které mají vliv na projekt, má se udržovat seznam schválených dodavatelů)
- Uzavírání smluv (má existovat proces pro uzavírání smluv s dodavateli projektu, před uzavřením smlouvy se má hodnotit QMS dodavatele)
- Sledování smlouvy (má se monitorovat dosažená úroveň plnění smlouvy, výsledky se mají poskytnout dodavateli).

MĚŘENÍ, ANALÝZA A ZLEPŠOVÁNÍ

Procesy vztahující se ke zlepšování

- zadávající a projektová organizace mají používat výsledky měření a analýz údajů z procesů projektu, aby umožnily neustálé zlepšování jak současných, tak budoucích projektů.

Měření a analýza

- měření a analýza údajů mají být efektivní a účinné pro zlepšování výkonnosti organizace
- mají být vedeny záznamy o neshodách v procesech projektu, a mají být využívány jako podklady pro zlepšování.

Neustálé zlepšování

Neustálé zlepšování v zadávající organizaci

- zadávající organizace má zajistit, aby systém managementu informací pro její projekty byl vhodný pro zlepšování procesů managementu projektu
- zadávající organizace má udržovat seznam všech důležitých rizik zjištěných ve svých projektech
- příslušné informace mají být používány i v dalších projektech, které organizace zadává (učení se).

Neustálé zlepšování v projektové organizaci

- projektová organizace má navrhnout vhodný systém managementu informací o projektu
- projektová organizace má zajistit, aby informace, které poskytuje zadávající organizaci byly přesné a úplné.

Shrnutí pojmů z části 10.2

Zadávající organizace je organizace, která zadává projekt.
Projektová organizace je organizace, která uskutečňuje projekt.

Otázky vztahující se k části 10.2

1. Co je účelem normy ČSN ISO 10006?
2. Jaké zásady by měly být dodržovány v rámci strategického procesu?
3. Jaké zásady by měly být dodržovány v rámci procesů vztahujících se k zaměstnancům?

Literatura k dalšímu studiu:

1. ČSN ISO 10006 Systémy managementu jakosti – Směrnice pro management jakosti projektů. Praha: ČSNI, 2004

11 KLÍČOVÉ POJMY

Čas ke studiu: podle aktuální potřeby při studiu jiných kapitol

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní pojmy v oblasti pokročilého plánování jakosti
- Interpretovat tyto pojmy v souvislostech.

Slovník klíčových pojmů

A - D

APQP je metodika plánování jakosti produktů užívaná v oblasti automobilového průmyslu.

dpm (defects per million) – počet neshod na milion vyrobených výrobků.

dpmo (defects per million oportunities) – počet neshod na milion příležitostí k neshodám.

E - F

Ekvivalent C_p - hodnota indexu C_p odpovídající danému průměrnému výskytu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu za předpokladu centrování procesu na střed tolerance.

Ekvivalent C_{pk} – hodnota indexu C_{pk} odpovídající danému průměrnému výskytu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu (pro případ jednostranné tolerance nebo výrazně necentrovaný proces (C_p>>C_{pk}).

FMEA je metoda umožňující minimalizovat rizika možných vad při užívání produktu či v průběhu procesu jeho výroby**.**

FTA je metoda analýzy spolehlivosti systémů umožňující analyzovat příčiny možné nežádoucí poruchové události a minimalizovat pravděpodobnost výskytu této události.

G - I

Global 8D je standardizovaný metodický postup řešení problémů vyvinutý firmou Ford.

Hradlo „A“ je větvení ve stromu poruchových stavů, kdy událost na výstupu nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny události na vstupu.

Hradlo „NEBO“ je větvení ve stromu poruchových stavů, kdy událost na výstupu nastane tehdy, když nastane kterákoliv z událostí na vstupu.

IMDS (International Materials Data System) – mezinárodní databáze materiálů, která vznikla jako společný projekt velkých výrobců automobilů.

K - O

Konfidenční interval odhadu indexu způsobilosti je interval, ve kterém se zvolenou pravděpodobností (obvykle s pravděpodobností P=0,95) leží skutečná hodnota stanoveného indexu.

Křížová tabulka je tabulka, do které se zaznamenávají výsledky hodnocení souboru vzorků na základě neměřitelných znaků jakosti, které slouží k vyhodnocení shody mezi dvěma operátory nebo shody mezi operátorem a referenční hodnotou.

Linearita měření vyjadřuje rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měření.

Matice matic je soubor 30 maticových diagramů, zpracovaných v rámci metody QFD, které nabízejí široké spektrum využití při plánování jakosti produktů.

Opakovatelnost měření charakterizuje variabilitu systému měření v podmínkách opakovatelnosti.

P

Plán jakosti (plán kvality) je dokument, v němž je specifikováno, které procesy, postupy a související zdroje budou použity ke splnění požadavků na specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu (tzv. specifický případ), kdo je použije a kdy se použijí

Plán kontroly a řízení lze charakterizovat jako dokument definující systém kontroly a řízení produktů a procesů

Plán reakce je nápravné opatření které má být provedeno v případě, že se při kontrole zjistí hodnota mimo předepsané tolerance

Plánování jakosti (plánování kvality) je část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikování procesů nezbytných pro provoz a souvisejících zdrojů pro splnění cílů jakosti

PPAP - Proces schvalování dílů do sériové výroby stanovuje generické požadavky na schvalování dílů do sériové výroby. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu QS-9000.

PPF - Uvolnění výrobního procesu a produktu je obdobou PPAP. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu VDA.

ppm (parts per million) – počet neshodných výrobků na milion vyrobených výrobků.

Projekt je jedinečný proces sestávající z řady koordinovaných a řízených činností s daty zahájení a ukončení, prováděný pro dosažení cíle, který vyhovuje specifickým požadavkům, včetně omezení daných časem, náklady a zdroji.

Projektová organizace je organizace, která uskutečňuje projekt.

R - S

Reprodukovatelnost měření je variabilita průměrných hodnot měření stejného výrobku za různých podmínek.

Rizikové číslo je součin bodových hodnocení významu vady, očekávaného výskytu vady a odhalitelnosti vady.

Stabilita měření vyjadřuje změnu strannosti měření v čase.

Statisticky zvládnutý proces je proces, který je ovlivňován pouze náhodnými příčinami variability.

Strannost měření je rozdíl mezi aritmetickým průměrem opakovaných měření stejného objektu a přijatou referenční hodnotou.

Strom poruchových stavů je grafická dekompozice nežádoucí poruchové události na dílčí a elementární události, které se na jejím vzniku podílejí.

T - Z

Transformace dat je přepočet dané proměnné pomocí vhodné transformační funkce na transformovanou proměnnou, jejíž rozdělení lépe odpovídá normálnímu rozdělení.

Ukazatel kappa je vypočtený ukazatel, který umožňuje vyhodnotit, zda shoda mezi operátory či shoda mezi operátorem a referenční hodnotou je vyhovující.

Výkonnost procesu s ohledem na dosahovanou jakost (process performance) charakterizuje jednorázovou schopnost statisticky nezvládnutého procesu dodržet toleranční meze.

Zadávající organizace je organizace, která zadává projekt.

Způsobilost procesu je schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

Zvláštní znak je znak produktu nebo procesu, který vyžaduje zvláštní pozornost.

12 KLÍČ K ODPOVĚDÍM NA OTÁZKY

Čas ke studiu: podle aktuální potřeby při studiu

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Odpovědět na kontrolní otázky, položené vždy v závěru jednotlivých kapitol.

Kapitola 1.1

1. Jak lze charakterizovat plánování jakosti?

Plánování jakosti definováno jako část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikování procesů nezbytných pro provoz a souvisejících zdrojů pro splnění cílů jakosti.

2. Jaké aktivity zahrnuje plánování jakosti?

K hlavním aktivitám plánování jakosti náleží například: stanovení cílů jakosti, zpracování plánů jakosti, plánování znaků jakosti produktů, plánování jakosti procesů a ověřování jejich způsobilosti, plánování preventivních opatření s cílem minimalizovat riziko vzniku neshod, plánování kontrol jakosti, plánování systémů měření a ověřování jejich způsobilosti aj.

3. Co se označuje jako pravidlo deseti?

Jako pravidlo deseti se označuje skutečnost, že výdaje spojené s odstraněním neshody ve fázi návrhu mohou být až desetkrát nižší než výdaje spojené s odstraněním neshody zjištěné ve výrobě, stokrát nižší než výdaje na odstranění neshody zjištěné před expedicí vyrobené dávky výrobků a tisíckrát nižší než výdaje na odstranění neshody, která se dostane až k zákazníkovi.

Kapitola 1.2

1. K čemu slouží plán jakosti?

Plán jakosti (plán kvality) je dokument, v němž je specifikováno, které procesy, postupy a související zdroje budou použity ke splnění požadavků na specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu (tzv. specifický případ), kdo je použije a kdy se použijí.

2. V jakých situacích se plány jakosti nejčastěji zpracovávají?

Plány jakosti se nejčastěji zpracovávají v případech, kdy organizace dodavatele nemá zaveden systém managementu jakosti nebo v případech, kdy se postupy zabezpečování jakosti, které mají být uplatněny v daném specifickém případu, výrazně liší od postupů zavedených v systému managementu jakosti dodavatele.

3. Jaké vstupy se využívají při zpracování plánu jakosti?

Při zpracování plánů jakosti se využívají například tyto vstupy: požadavky spojené se specifickým případem, požadavky vyplývající z legislativy, požadavky vyplývající ze systému managementu jakosti organizace, posouzení rizik spojených se specifickým případem, požadavky na zdroje a jejich dostupnost a informace o potřebách zainteresovaných stran a ostatní související plány jakosti a jiné plány.

Kapitola 1.3

1. Charakterizujte plán kontroly a řízení.

Plán kontroly a řízení je dokument definující systém kontroly a řízení produktů a procesů.

2. Jaké informace jsou důležitými vstupy pro zpracování plánu kontroly a řízení?

Důležitými vstupy pro zparacování plánu jakosti jsou například: vývojový diagram procesu, výsledky přezkoumání návrhu, FMEA návrhu produktu, FMEA procesu, zvláštní znaky, poznatky o podobných výrobcích, znalosti týmu o procesu, výsledky přezkoumání návrhu, výsledky aplikace optimalizačních metod apod.

3. Co se v plánu kontroly a řízení uvádí ve sloupci „Plán reakce“?.

Ve sloupci „Plán reakce“ je uvedeno nápravné opatření které má být provedeno v případě, že se při kontrole zjistí hodnota mimo předepsané tolerance.

Kapitola 2.1

1. Uveďte, kde se můžete setkat s metodikou plánování jakosti produktů APQP.

Metodika APQP je používána v oblasti automobilového průmyslu. Byla společně vyvinuta firmami Chrysler, Ford a General Motors v rámci standardu QS-9000.

2. Uplatňuje metodika APQP prvky simultánního inženýrství? Tvrzení zdůvodněte.

Ano, v metodice APQP jsou uplatněny prvky simultánního inženýrství. Jednotlivé dílčí procesy (například návrh a vývoj produktu a návrh a vývoj procesu) probíhají simultánně a realizuje je multidisciplinární tým plánování jakosti.

3. Čím jsou vždy ukončeny jednotlivé hlavní fáze APQP.

Jednotlivé hlavní fáze jsou ukončeny zpracováním dosažených výsledků a jejich předložení odpovědným pracovníkům. Ti pak rozhodují o postupu do další fáze.

4. Co je obsahem Závazného vyjádření týmu k proveditelnosti návrhu?

V závazném vyjádření týmu k proveditelnosti návrhu členové týmu svými podpisy stvrzují, zda navrhovaný produkt lze vyrobit, montovat, zkoušet, balit, a v dostatečném množství, při přijatelných nákladech a v požadovaném termínu dodávat zákazníkovi.

Kapitola 2.2

1. Charakterizujte PPAP.

PPAP stanovuje generické požadavky na schvalování dílů do sériové výroby. Je uplatňován v automobilovém průmyslu v rámci standardu QS-9000

2. V jakých situacích se musí PPAP aplikovat?

Proces schvalování dílů do sériové výroby by měl být aplikován u nových produktů či produktů s technickou změnou, v případě výroby na jiném výrobním místě, na jiném výrobním zařízení nebo novými či upravenými nástroji nebo v případě kdy nástroje nebyly pro sériovou výrobu používány déle než rok. Rovněž by měl být aplikován při změnách u stávajících subdodavatelů nebo při změnách subdodavatelů a při změnách zkušebních metod.

3. Uveďte možné výsledky vyhodnocení PPAP.

Na základě vyhodnocení předložených důkazů o splnění požadavků PPAP mohou nastat tři základní stavy PPAP u zákazníka:

a) Schváleno

b) Dočasně schváleno – dodávka na omezenou dobu nebo v omezeném počtu kusů

c) Zamítnuto

V případě dočasného schválení nebo zamítnutí musí organizace dodavatele odstranit nedostatky a do stanoveného termínu předložit nové důkazy o splnění požadavků.

4. Vysvětlete rozdíl mezi APQP a PPAP.

Zatímco APQP přestavuje doporučenou metodiku pokročilého plánování jakosti produktů, PPAP je souborem požadavků, které musí dodavatel splnit, aby mohl zahájit sériovou výrobu produktu.

Kapitola 3.1

1. Co je to metoda QFD?

Metoda QFD (Quality Function Deployment) je metodou založenou na principu maticového diagramu, která umožňuje transformaci požadavků zákazníka do znaků jakosti navrhovaného produktu a procesu jeho realizace a další analýzy. Je aplikována v týmu a je důležitým nástrojem komunikace mezi pracovníky z různých odborných útvarů zapojených do vývoje produktu.

2. Charakterizujte Dům jakosti a hlavní výstupy jeho aplikace.

Hlavním výstupem aplikace Domu jakosti jsou cílové hodnoty jednotlivých znaků jakosti produktu. Vedlejšími výstupy jsou informace o důležitosti jednotlivých znaků jakosti ve vztahu k souboru požadavků na produkt, důležitosti jednotlivých požadavků a porovnání s konkurencí.

3. K čemu slouží maticový diagram D-1: Možné vady produktu - Požadavky zákazníka?

Diagram analyzuje, jak jednotlivé možné vady produktu ovlivňují plnění požadavků zákazníka. Na základě relativních vah požadavků a síly jejich vztahů k jednotlivým možným vadám se vyhodnocují nejdůležitější možné vady produktu z hlediska plnění požadavků zákazníka.

4. K čemu slouží maticový diagram E-1: Výběr nové koncepce - Požadavky zákazníka?

Účelem diagramu je identifikovat nové koncepce produktu, které by ve srovnání se standardním provedením lépe splňovaly požadavky zákazníka (bez vzniku jiných problémů). V buňkách maticového diagramu se pomocí znamének + a - vyhodnocuje pozitivní nebo negativní vliv nových koncepcí na plnění jednotlivých požadavků zákazníků ve srovnání se standardním provedením. Na základě celkového vyhodnocení se pak vybírá nejvhodnější koncepce.

Kapitola 3.2

1. Uveďte základní druhy metody FMEA a účel jejich použití.

Metoda FMEA se používá ve dvou základních aplikacích, jako FMEA návrhu produktu a FMEA procesu. Účelem FMEA návrhu produktu je minimalizovat rizika možných vad produktu, které se mohou vyskytnout v průběhu jeho užívání. Účelem FMEA procesu je minimalizovat rizika možných vad, které se mohou vyskytnout v průběhu realizace procesu (obvykle procesu výroby daného produktu).

2. Porovnejte, co se hodnotí při hodnocení výskytu u FMEA návrhu produktu a u FMEA procesu.

V případě FMEA návrhu produktu se při hodnocení výskytu hodnotí pravděpodobnost, že se u daného produktu za dobu jeho plánovaného života vlivem určité příčiny vyskytne daná možná vada.

V případě FMEA procesu se při hodnocení výskytu hodnotí pravděpodobnost, že se v průběhu daného procesu vlivem určité příčiny vyskytne daná možná vada.

3. Co se označuje zkratkou DAMUK?

Jedná se o označení procesního modelu pro aplikaci metody FMEA zavedeného v metodice VDA 4 (2006), který zahrnuje tyto dílčí procesy: Definice, Analýza, Rozhodnutí o opatření, Realizace a Komunikace.

4. Charakterizujte současné metodiky pro aplikaci metody FMEA.

Jedná se o nové vydání metodiky FMEA z roku 2006 zpracované v rámci VDA 4, novou normu ČSN EN 60812 z roku 2007 a o nové vydání metodiky FMEA zpracované v rámci QS-9000 v roce 2008.

Kapitola 3.3

1. Čím se liší metody FMEA a FTA?.

Cílem metody FMEA je minimalizovat rizika možných vad, přičemž příslušné riziko zahrnuje význam vady, pravděpodobnost jejího výskytu a její odhalitelnost. U metody FTA je cílem minimalizovat pravděpodobnost výskytu vady (poruchy). Metoda FMEA je induktivní metodou, metoda FTA deduktivní metodou. I díky tomu se obě metody vhodně doplňují.

2. Vysvětlete princip hradla „A“.

Hradlo „A“ (hradlo AND) se používá v takovém případě větvení událostí, kdy platí, že událost na výstupu nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny události na vstupu.

3. Vysvětlete princip hradla „NEBO“.

Hradlo „NEBO“ (hradlo OR) se používá v takovém případě větvení událostí, kdy platí, že událost na výstupu nastane tehdy, když nastane kterákoliv z událostí na vstupu.

4. Jak lze snížit pravděpodobnost nežádoucí události?

Účinnými způsoby pro snižování pravděpodobnosti výskytu poruchové události je zvyšování počtu hradel typu „A“ nebo snižování pravděpodobnosti výskytu elementárních událostí. Zvýšení počtu hradel „A“ lze zajistit zálohováním vybraných prvků systému nebo spřažením jejich funkce s jinými prvky systému.

Kapitola 4.1

1. Jakým způsobem se ověřuje statistická zvládnutost procesu?

Statistická zvládnutost procesu se ověřuje pomocí regulačního diagramu, který je grafickým nástrojem, který je schopen odlišit působení vymezitelných příčin variability od působení náhodných příčin variability.

2. Jakým způsobem se ověřuje normalita dat?

Ověření normality dat se provádí pomocí testů, například testu $\chi 2$ nebo Shapiro-Wilkova testu.

3. O čem vypovídá index způsobilosti C_{pk} a jaký je jeho vztah k indexu C_p?

Index způsobilosti C_{pk} zohledňuje jak variabilitu sledovaného znaku jakosti, tak jeho polohu vůči tolerančním mezím, takže charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Jeho hodnota je menší nebo rovna hodnotě C_p. Rovnost těchto indexů nastává v případě, kdy je proces centrován na střed tolerance.

4. O čem vypovídá index způsobilosti C_{pmk} a jaký je jeho vztah k indexu C_{pk}?

Index způsobilosti C_{pmk} posuzuje způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze a míru seřízení procesu na cílovou hodnotu. Jeho hodnota je menší nebo rovna hodnotě C_{pk}. Rovnost těchto indexů nastává v případě, kdy je proces seřízen na cílovou hodnotu.

Kapitola 4.2

1. Jakému typu závislosti odpovídá závislost indexů C_p a C_{pk} na hodnotě směrodatné odchylky sledovaného znaku jakosti?

Vzhledem k tomu, že hodnota směrodatné odchylky je ve výpočtových vztazích ve jmenovateli, jedná se o hyperbolickou závislost.

2. V jakém případě mají závislosti indexů způsobilosti procesu C_p, C_{pk}, C_{pm}, C_{pmk} na hodnotě směrodatné odchylky stejný průběh?

Jedná se o situaci, kdy střední hodnota sledovaného znaku odpovídá středu tolerance a ten je zároveň cílovou hodnotou.

3. Vysvětlete průběhy závislosti indexů C_p a C_{pk} na střední hodnotě sledovaného znaku jakosti.

Index způsobilosti C_p je závislý pouze na hodnotě směrodatné odchylky, takže při změně střední hodnoty zůstává stejný. Hodnota indexu C_{pk} je závislá na vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku od bližší toleranční meze. V případě, že střední hodnota leží mimo toleranční meze, je index C_{pk} záporný, pokud leží právě na jedné z mezí, je jeho hodnota nulová. Pokud se střední hodnota přibližuje středu tolerance hodnota indexu C_{pk} lineárně narůstá a při dosažení středu tolerance dosáhne úrovně C_p.

4. Za jakých podmínek může nastat situace, kdy změna polohy sledovaného znaku vůči tolerančním mezím není doprovázena změnou indexu způsobilosti C_{pk}?

Je to v případech, kdy snižování vzdálenosti střední hodnoty od bližší toleranční meze je doprovázeno proporcionálním poklesem variability.

Kapitola 4.3

1. Vysvětlete, jak počet shromážděných údajů ovlivňuje vypovídací schopnost indexů způsobilosti.

Při malém počtu údajů nemusí být dostatečně dobře charakterizována skutečná variabilita sledovaného znaku jakosti a výrazně se zvětšuje šířka konfidenčního intervalu odhadu příslušných indexů.

2. Může být stejný proces klasifikován v jednom případě jako nezpůsobilý a v druhém jako způsobilý?

Ano, může k tomu dojít v případě, že produkty jsou určeny pro různé zákazníky, kteří mají odlišné toleranční meze sledovaného znaku.

3. Pro vyhodnocený index C_{pk} byl stanoven dvoustranný konfidenční interval. Co musí být splněno, aby bylo možné proces považovat za způsobilý?

Dolní mez stanoveného konfidenčního intervalu musí být alespoň rovna nebo překračovat zadanou mezní hodnotu (obvykle 1,33).

Kapitola 5

Jak lze při analýze způsobilosti procesu postupovat v případě zjištění, že proces není statisticky zvládnutý?

V případech, kdy proces není statisticky zvládnutý, lze postupnou identifikací a eliminací vymezitelných příčin zajistit jeho statistickou zvládnutost a pak teprve analyzovat způsobilost. Jinou možností je vyhodnotit výkonnost procesu s ohledem na dosahovanou jakost (indexy P_p, P_{pk}), kterou však nelze využít k predikci.

Jak lze při analýze způsobilosti procesu postupovat v případě zjištění, že není splněna normalita dat?

V případech, kdy rozdělení sledovaného znaku jakosti neodpovídá normálnímu rozdělení, lze postupovat těmito způsoby:

- transformace dat
- použití jiného teoretického modelu rozdělení
- použití ukazatelů, které nejsou založeny na konkrétním modelu rozdělení.

K čemu slouží transformace dat?

Transformace dat je přepočet dané proměnné pomocí vhodné transformační funkce na transformovanou proměnnou, jejíž rozdělení lépe odpovídá normálnímu rozdělení.

Kapitola 6

1. Které předpoklady musí být ověřeny při analýze způsobilosti procesu v případě neměřitelných znaků jakosti?

Při analýze způsobilosti procesu v případě neměřitelných znaků jakosti je potřeba ověřit statistickou zvládnutost procesu (pomocí vhodného regulačního diagramu srovnáváním).

2. Jak se vypočte hodnota ppm z průměrného podílu neshodných jednotek?

Hodnota ppm se vypočte vynásobením průměrného podílu neshodných jednotek.

3. Co vyjadřuje hodnota Ekvivalentu C_{pk}?

Ekvivalent C_{pk} představuje hodnotu indexu C_{pk}, které by v případě, kdyby výstupní znak jakosti byl měřitelný, odpovídal stanovený průměrný podíl neshodných produktů.

4. Kdy je při použití průměrného podílu neshodných jednotek u statisticky zvládnutého procesu proces považován za způsobilý?

Při použití průměrného podílu neshodných jednotek je proces obvykle považován za způsobilý tehdy, když tato hodnota (případně horní mez jejího konfidenčního intervalu) nepřekročí zadanou maximálně přípustnou hodnotu p_0.

Kapitola 7.1

1. Pomocí kterého regulačního diagramu lze vyhodnotit stabilitu měření?

Stabilitu měření lze vyhodnotit pomocí regulačního diagramu pro aritmetický průměr.

2. Co může být příčinou nevyhovující stability měření?

Možnými příčinami nevyhovující stability může být například dlouhý interval mezi kalibracemi, nesprávná kalibrace, opotřebení měřicího zařízení, špatná údržba měřicího zařízení nebo variabilita prostředí.

3. V jakých podmínkách by měla být provedena opakovaná měření vzorku pro vyhodnocení strannosti měření?

Opakovaná měření vzorku by měla být provedena v podmínkách opakovatelnosti.

4. Na čem je založeno vyhodnocení linearity měření?

Vyhodnocení linearity je založeno na posouzení, zda velikosti odchylek mezi naměřenými a referenčními hodnotami vzorků jsou lineárně závislé na velikosti referenční hodnoty.

Kapitola 7.2

1. Čím se liší zkrácená metoda analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření od standardní analýzy GRR?

Zkrácená metoda analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření (metoda rozpětí) neumožňuje vyhodnotit samostanou opakovatelnost a reprodukovatelnost, pouze jejich kombinované působení. Proto se používá pouze k urychlenému ověření platnosti výsledků základní analýzy prováděné například metodou průměru a rozpětí.

2. Jakým způsobem se shromažďují data pro analýzu GRR?

Měření se provádí v náhodném pořadí a operátoři by neměli vědět, který kus měří (čísla na měřených kusech nesmí být viditelná), a při opakovaném měření by neměli znát předchozí výsledek. Aby bylo možné tyto podmínky zajistit, je vlastní měření dozorováno pověřeným pracovníkem, který rovněž provádí záznam naměřených údajů.

3. Jak se vyhodnocuje statistická zvládnutost procesu měření z hlediska variability opakovaných měření?

Statistická zvládnutost procesu měření z hlediska variability opakovaných měření se vyhodnocuje pomocí regulačního diagramu pro variační rozpětí opakovaných měření vzorků jednotlivými operátory.

4. Jaké opatření ke zlepšení navrhnete v případě vysokého %AV?

V případě vysokého %AV je potřeba příčiny variability hledat v rozdílných přístupech jednotlivých operátorů, případně v jejich dovednostech, například jejich schopnosti správně odečítat naměřené údaje.

Kapitola 8

1. Jak se shromažďují údaje pro analýzu systému měření při kontrole srovnáváním?

Údaje pro analýzu systému měření při kontrole srovnáváním se získávají opakovaným hodnocením souboru výrobků, který obsahuje shodné i neshodné výrobky několika operátory. U každého výrobku by mělo být rovněž stanoveno referenční hodnocení.

2. Co se v případě posuzování shody operátora s referenčním hodnocením označuje jako X_{01}?

X_{01} představuje počet případů, kdy operátor hodnotil výrobek jako neshodný a referenční hodnocení výrobku je shodný.

3. Při jaké hodnotě ukazatele kappa je shoda mezi operátorem a referenčním hodnocením považována za vyhovující?

Shoda mezi operátorem a referenčním hodnocením je považována za vyhovující v případě, že hodnota ukazatele kappa je vyšší než 0,75.

Kapitola 9

1. Vysvětlete hlavní rozdíly mezi postupem G8D a metodou Quality Journal.

Hlavní rozdíly mezi metodou „Quality Journal“ a postupem G8D spočívají zejména v třístupňové realizaci opatření (nouzové opatření, prozatímní ochranné opatření, trvalé ochranné opatření), která je nezbytná pro zabránění šíření problému. Dalším specifickým úkolem postupu G8D je stanovení „míst úniku“.

2. Na čem je založena metoda Je/Není?

Metoda Je/Není je založena na porovnávání různých situací, kdy se problém vyskytuje a kdy se nevyskytuje. Porovnání umožňuje identifikovat faktory, které se podílejí na vzniku problému.

3. Co se označuje jako místo úniku?

Místo úniku v procesu je chápáno jako nejdřívější místo v procesu, nejbližší kořenové příčině, kde problém měl být detekován, ale nebyl.

Kapitola 10.1

1. Jaké jsou charakteristické rysy projektu?

Projekt je unikátním a jedinečným souborem činností přičemž jeho cíle musí být dosaženy v požadované jakosti během limitovaného času a v rámci omezených zdrojů. Obvykle vyžaduje sjednocení úsilí a dovedností odborníků z různých oblastí a prochází mnoha etapami a fázemi a vždy zahrnuje prvky neurčitosti a rizika.

2. Jaké jsou hlavní aktivity managementu projektu?

Hlavními aktivitami managementu projektu je plánování projektu a řízení realizace projektu.

3. Co to je ryzí projektová organizace?

Ryzí projektová organizace je forma organizace projektu, kdy projektový tým je vytvořen z pracovníků dočasně uvolněných z jednotlivých útvarů jako samostatná organizační jednotka a i fyzicky jsou členové týmu soustředěni na jednom místě. Manažer projektu je na úrovni liniových manažerů nebo vyšší („těžká váha“) a má rozhodující pravomoci a odpovědnosti za projekt.

Kapitola 10.2

1. Co je účelem normy ČSN ISO 10006?

Norma ČSN ISO 10006 je návodem pro management jakosti projektů.

2. Jaké zásady by měly být dodržovány v rámci strategického procesu?

Jako strategický proces je označeno plánování, vytváření, uplatňování a udržování systému managementu jakosti založené na osmi zásadách managementu jakosti: zaměření na zákazníka, vedení lidí, zapojení zaměstnanců, procesní přístup, systémový přístup k managementu, neustálé zlepšování, přístup k rozhodování zakládající se na faktech a vzájemně prospěšné dodavatelské vztahy.

3. Jaké zásady by měly být dodržovány v rámci procesů vztahujících se k riziku?

Na počátku projektu, při hodnocení postupu prací a před významnými rozhodnutími se má provádět identifikace a vyhodnocení rizik, týkajících se nákladů, termínů, jakosti produktu, bezpečnosti, ochrany zdraví, životního prostředí apod. Na základě vyhodnocení rizik by měla být realizována opatření k vyloučení, zmírnění, sdílení nebo přijetí rizika.

Podrobnější zdůvodnění odpovědí naleznete při studiu textu příslušných kapitol!