



FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Příspěvek k hodnocení efektivity procesů z hlediska zabezpečování jakosti

Doktorská disertační práce
v oboru
Strojírenská technologie - technologie obrábění

Vypracovala: Ing. Věra Bielková

Školitel: Doc. Ing. František Zvoneček, Ph.D.

Plzeň 2011

Obsah

1	Úvod	6
2	Přehled současného stavu problematiky	8
2.1	Význam systému managementu kvality v průmyslové praxi	8
2.1.1	Hlavní požadavky na systémy managementu kvality	12
2.1.2	Systémová měření a analýza požadavků na systémová měření.....	13
2.1.3	Dokumentace systému kvality	14
2.1.4	Řízení neshod	15
2.1.5	Analýza údajů.....	16
2.1.6	Identifikace klíčových procesů, jejich výstupů a zákazníků	17
2.2	Koncept filozofie Six Sigma	17
2.3	Účinky a výsledky Six Sigma.....	19
2.4	Projekt zlepšování	20
2.4.1	Fáze Definice“ (Define)	21
2.4.1.1	Definice klíčových procesů.....	21
2.4.1.2	Definice klíčových požadavků zákazníka	22
2.4.1.3	Vymezení vzájemných vazeb mezi klíčovými procesy - „Model SIPOC“	22
2.4.2	Fáze „Měření“ (Measure)	24
2.4.2.1	Měření výkonnosti sledovaných procesů	24
2.4.3	Fáze „Analýza“ (Analyze) – vyšetření příčin ztrát v důsledku neshod	31
2.4.3.1	Korelační diagramy pro ověření skutečného působení příčin neshod.....	32
2.4.3.2	Pearsonův koeficient korelace	34
2.4.3.3	Aplikace matematicko-statistických metod pro analýzu příčin neshod	34
2.4.3.4	Regulační diagramy současného stavu procesu.....	35
2.4.3.5	Regulační diagramy pro procesy s vysokou mírou způsobilosti $c_p \geq 2$	40
2.4.3.6	Určení způsobilosti procesu	45
I.	Ukazatel způsobilosti c_{pk}	49
II.	Ukazatel způsobilosti σ (Sigma).....	50
2.4.4	Fáze „Zlepšování“ (Improve)	56
2.4.4.1	Metoda FMEA	56
2.4.4.2	Stanovení ukazatele míry a priority rizika RPN	57
2.4.4.3	Návrh opatření k nápravě a provedení optimalizace průběhu procesu realizace s ohledem na vznik kolizí zařízení	58
2.4.5	Fáze „Řízení“ (Control)	59
2.5	Skladba a výše nákladů na nízkou kvalitu	60
3	Cíl disertační práce	61
3.1	Stanovení cíle.....	61
3.2	Formulace pracovní hypotézy	62
4	Metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu v energetice	64
4.1	Formulace předmětu zkoumané problematiky.....	64
4.1.1	Definice klíčových procesů.....	67
4.1.2	Definice klíčových požadavků zákazníka	67
4.1.3	Vymezení vzájemných vazeb mezi klíčovými procesy - „Model SIPOC“	67
4.2	Měření výkonnosti sledovaných procesů.....	70
4.2.1	Identifikace parametrů sledovaných procesů	70
4.2.2	Hodnocení efektivnosti hlavních kroků procesu, stanovení výnosu	71

4.2.3	Sběr dat	73
4.2.3.1	Přehled získaných dat	73
4.2.3.2	Stratifikace získaných dat	75
5	Vyšetření příčin ztrát	77
5.1	Diagram příčin a následků nastalých neshod a vad	77
5.2	Korelační diagramy pro ověření skutečného působení příčin	79
5.2.1	Vyhodnocení korelačního diagramu	80
5.3	Paretova analýza	80
5.3.1	Určení kritéria hodnocení	81
5.3.2	Výpočet kumulované četnosti všech příčin	81
5.3.3	Sestrojení Paretova diagramu a Lorenzovy součtové křivky	83
5.3.4	Vyhodnocení Paretovy analýzy	85
5.4	Aplikace regulačních diagramů pro počet neshod na identifikované nejslabší dílní kroky procesu	85
5.4.1	Závěr z aplikace regulačních diagramů na identifikované nejslabší dílní kroky procesu	88
5.5	Určení způsobilosti procesu	88
5.5.1	Stanovení ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma)	88
5.5.2	Vyhodnocení ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma)	91
6	Formulace projektu zlepšování	91
6.1	Zužování hledání hlavních příčin problému – procesní FMEA	91
6.1.1	Analýza současného stavu	91
6.1.2	Hodnocení současného stavu	92
6.1.2.1	Ohodnocení závažnosti důsledků (významu) problému - Vz	92
6.1.2.2	Ohodnocení pravděpodobnosti výskytu - Vy	93
6.1.2.3	Ohodnocení odhalitelnosti - Od	94
6.1.2.4	Stanovení ukazatele míry a priority rizika RPN	95
6.2	Návrh opatření k nápravě a provedení optimalizace průběhu procesu realizace s ohledem na vznik kolizí zařízení	95
6.2.1	Hodnocení stavu po provedení nápravných opatření	96
6.3	Návrh opatření k nápravě pro eliminaci nákladů na nízkou kvalitu z hlediska subdodávek a ostatních zjištěných nedostatků	104
6.3.1	Analýza stávajícího procesu řízení kvality	104
6.3.2	Návrh opatření k nápravě problémů nekompletních, zpožděných a vadných subdodávek - vada č. 2, č. 3 a č. 4	106
6.3.3	Návrh opatření k nápravě ostatních zjištěných nedostatků	108
7	Vyhodnocení účinnosti navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu .	110
7.1	Definice stavu problematiky po aplikaci navržené metodiky	110
7.2	Hodnocení efektivnosti dílčích kroků procesu realizace projektu	113
7.3	Stanovení ukazatele způsobilosti procesu Sigma	115
7.3.1	Výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení	115
7.3.2	Výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění bezchybných dodávek	116
7.4	Ověření účinnosti navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu .	117
8	Zhodnocení dosažených výsledků disertační práce	119
9	Závěr	123
10	Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru	124

Seznam nejčastěji používaných označení a zkratk

$c [-]$	počet neshod ve skupině
$C_{pk} [-]$	ukazatel způsobilosti
$D [-]$	rozptyl
$E [-]$	střední hodnota daného rozdělení
$k [-]$	počet podskupin
p	podíl výskytu jednotek
$P [-]$	pravděpodobnost výskytu jednotek
$r [-]$	Pearsonův koeficient korelace
$t [^{\circ}\text{C}]$	teplota
$Y [-]$	výnos procesu (Yield)
$\Delta_{ax} [\text{mm}]$	axiální dilatace
$\Phi [-]$	normovaná distribuční funkce
$\mu [-]$	střední hodnota
$\sigma [-]$	směrodatná odchylka
BO	Běžná oprava
CTC	Klíčové požadavky zákazníka (Critical To Customer)
DPMO	Počet neshod na milion příležitostí (Defects Per Million Opportunities)
DPO	Kvocient počtu neshod a chybných možností (Defects Per Opportunities)
EMS	Systém environmentálního managementu (Environmental Management System)
FMEA	Analýza vzniku vad a následků (Failure Mode and Effects Analysis)
I&T	Kontrola a zkoušky (Inspection and Tests)
LCL	Dolní regulační mez (Lower Control Limit)
LSL	Dolní specifikační mez (Lower Specification Limit)
NF	Neshodný produkt (Nonconformity)
NT	Nízkotlaký díl turbíny
NCR	Záznam o neshodě (Nonconformity Record)
Od	Kritérium odhalitelnosti problému
PI	Pracovní instrukce

ppm	Počet neshod na milion případů (Parts Per Million)
RPN	Ukazatel míry a priority rizika (Risk Priority Number)
QMS	Systém managementu kvality (Quality Management System)
RV	Regulační ventily turbíny
SPC	Statistické řízení procesu (Statistic Process Control)
TQM	Systém absolutního zabezpečení kvality (Total Quality Management)
UCL	Horní regulační mez (Upper Control Limit)
USL	Horní specifikační mez (Upper Specification Limit)
VT	Vysokotlaký díl turbíny
VTH	Vysokotlaká hydraulika
Vy	Kritérium pravděpodobnosti výskytu problému
Vz	Kritérium závažnosti důsledků (významu) problému

1 Úvod

Problematika kvality je dnes nezbytnou součástí většiny manažerských aktivit ve všech dlouhodobě úspěšných organizacích, poskytujících svým zákazníkům dodávky strojírenských zařízení a komplexní služby ve všech oblastech strojírenského odvětví. Záměrem každé takovéto organizace, která se úspěšně prosazuje na současných vysoce konkurenčních trzích ve všech oblastech strojírenského odvětví, je bezesporu snižování nákladů, snižování ztrát a zvyšování efektivnosti, výkonnosti a hospodárnosti podnikových procesů. Cílem těchto záměrů je zvyšování konkurenceschopnosti organizace, dosažení vyšší rentability a lepší využívání zdrojů. Těchto cílů lze dosáhnout jen tehdy, když se součástí strategie a kultury organizace stane neustálé prosazování a zlepšování kvality, kdy zákazník stojí ve středu zájmů organizace a zisk je důsledkem statisticky zvládnutých bezchybných procesů probíhajících v rámci celé organizace.

Proto je nutno si v každé organizaci při snaze o dokonalé uspokojování zákazníků plně uvědomovat opodstatněnost dobrého základu opatření v oblasti kvality, vedoucích k neustálému zlepšování oblasti řízení procesů, kvality svých produktů a zajištění provozní spolehlivosti dodávaných strojů a strojních zařízení.

Dlouhodobé zkušenosti ukazují, že zlepšení kvality sníží náklady, což ve výsledku vyrovnává vynaložené výdaje do kvality. Je zřejmé, že je třeba co nejpřesněji stanovit náklady vztahující se ke kvalitě, jako jsou náklady na prevenci, náklady na kontrolu, či náklady na odstranění vad. Sledování počtu neshod a vad v procesu dokáže citlivě reflektovat ekonomické aspekty. Vznik, detekce i odstraňování neshod a vad včetně jejich následků představuje vždy dodatečné náklady (vícenáklady), které v důsledku způsobují zmenšení dosaženého zisku. Odlišnost nákladů na nízkou kvalitu u jednotlivých projektů závisí nejen na složitosti projektů, a tím složitosti použitých komponent a specializovaných služeb, ale i na použité technologii vlastní montážní činnosti.

Obecně řečeno, kvalita produktu se ověřuje teprve v průběhu jeho používání a mění se tak, jak se mění požadavky zákazníků. Z hlediska dlouhodobé péče o kvalitu a hospodárnost podnikových procesů obecně platí, že investice do zlepšení procesů se mnohonásobně vyplatí, neboť mnohem hospodárnější je se chybám vyhýbat, než je v budoucnu odstraňovat. Přičemž je prokázáno, že objem ušetřených

nákladů na neshody vysoce překračuje objem potřebných výdajů na aplikaci zlepšování. Vyhnutí se nákladům na neshody vede k dodatečné úspoře celkových nákladů organizace vzhledem k obratu, neboť všechny úspory zbytečných výdajů vyvolaných výskytem neshod přecházejí do objemu zisku organizace. A to při současné jistotě, že požadavky zákazníka budou splněny. Kvalita v širším slova smyslu však neznamená pouze uspokojování požadavků zákazníka, ale také snahu tyto požadavky zákazníka překročit. Pro organizaci to znamená zvýšení konkurenceschopnosti a získání dalších obchodních příležitostí v současném vysoce soutěživém prostředí trhu ve všech oblastech strojírenského odvětví.

2 Přehled současného stavu problematiky

V současné době je jedním z hlavních podnikatelských záměrů každé organizace, pohybující se na vysoce konkurenčním trhu ve všech oblastech strojírenského odvětví, v první řadě pružné zpracování a následné splnění požadavků zákazníka a všech dalších zainteresovaných stran. Ale dále i vývoj nových produktů za neustálé optimalizace nákladů na kvalitu a vlastní zlepšování při současném snižování nákladů na nízkou kvalitu. Management kvality je proto nutno chápat nejen jako prostředek pro udržování kvality na požadované a stabilní úrovni, ale i jako podporu inovací a trvalého zlepšování podnikových procesů.

Účinnou pomůckou pro vyhovění požadavkům zákazníka je norma ISO 9001:2008, jejichž požadavky směřují zásluhou formulací svých článků organizaci k tomu, aby definovala procesy potřebné pro fungování systému managementu kvality a jejich vazby, a dále aby, se rovněž zabývala měřením výkonnosti a zlepšováním procesů. Při popisu procesů a jejich vazeb je vždy nutno postihnout jednak jejich jedinečnost a také jejich logickou souvztažnost. Neboť právě takto procesně orientovaný systém managementu kvality, neboli řízení prostřednictvím procesů organizaci, vytváří velmi dobrou výchozí platformu v první řadě k dosažení uspokojení požadavků svých zákazníků a k neméně důležitému dosažení lepšího ekonomickému zhodnocení vložených zdrojů.

2.1 Význam systému managementu kvality v průmyslové praxi

Systém managementu kvality je považován za součást systému managementu organizace, která má garantovat maximální míru spokojenosti při minimálních nákladech.

Pro vytváření systémů managementu kvality se ve světě vyvinuly v posledních desetiletích nejrozličnější koncepce, z nichž dnes převažují především:

- a) koncepce ISO
- b) koncepce TQM, přičemž tato koncepce je spíše filozofie managementu, v praxi je realizována podle různých modelů, v Evropě hlavně podle tzv. EFQM Modelu Excellence.

Základní potřebou managementu kvality, kterou v průmyslové praxi představuje především plnění požadavků zákazníků a všech zainteresovaných stran na špičkovou kvalitu dodávaných zařízení a služeb ve všech oblastech strojírenského

odvětví, je dosaženo tehdy, je-li dodržováno následujících osm principů (zásad) managementu, na nichž jsou shodně postaveny i obě zmíněné koncepce [14]:

1. Zaměření na zákazníka, přičemž pojmem „zákazník“ je myšlen kdokoliv, komu odevzdáváme výsledky vlastních aktivit. Lze vymezit čtyři základní skupiny:

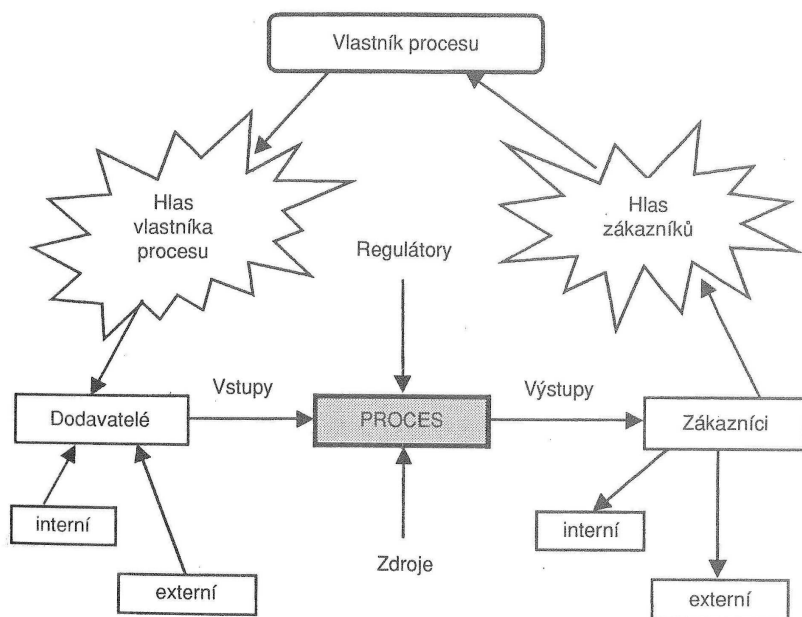
- interní zákazníci, tj. vlastník procesu, dále kolegové na pracovišti, resp. kolegové na následujícím pracovišti, využívající naše výsledky jako vstupy do svých procesů apod.
- zprostředkovatelé, tj. sklad, velkoobchodní organizace apod.
- externí zákazníci, tj. jiné organizace nebo fyzické osoby využívající dodané výstupy, ne vždy jsou konečnými uživateli výstupů
- koneční uživatelé, tj. finální spotřebitelé našich produktů.

2. Vedení a řízení zaměstnanců, kdy manažeři musí v organizaci vytvořit takové prostředí, ve kterém všechny skupiny zaměstnanců budou podávat maximální výkony v zájmu naplňování cílů organizace. Tento princip zahrnuje i etické aspekty a vztahuje se k postojům a chování manažerů.

3. Zapojení zaměstnanců, princip úzce se dotýkající personálního managementu. Tento princip před kvalitou hmotného majetku preferuje kvalitu lidí. Zaměstnanci jsou vtahováni do všech důležitých aktivit a jsou odpovědnými nejenom za výsledky vlastní práce, ale i za výsledky celé organizace.

4. Procesní přístup. Ze zkušeností vyplývá, že efektivnějších výsledků se dosahuje tehdy, když jsou zdroje a činnosti řízeny jako proces. Dle původního Marshova modelu, který může být ve smyslu moderního managementu kvality rozšířen do schématu viz obr. 1: Základní model procesu [22], je za proces považován soubor dílčích činností měnících vstupy na výstupy za spotřeby určitých zdrojů v regulovaných podmínkách.

- Vstupy dodávané interními nebo externími dodavateli jsou zcela v daném procesu spotřebovány na výstupy a mají obvykle podobu hmotných vstupů nebo informací.
- Zdroje se v průběhu daného procesu úplně nespotřebují, jsou pouze podmínkou k jeho vykonání, tj. lidé, technika apod.
- Regulátory jsou všechny faktory, které určitým způsobem limitují průběh procesu, např. normy, zákony apod.



Obr. 1: Základní model procesu [22]

V systémech managementu kvality musí mít každý proces svého vlastníka s jasně definovanými pravomocemi, tj. osobu zodpovědnou za kvalitu výstupů a za efektivní průběh vlastního procesu.

K naplnění tohoto principu je třeba:

- systematicky definovat procesy organizace, které jsou nutné pro dosažení plánovaných výsledků
- definovat vlastníky procesů, jejich odpovědnosti a pravomoci
- vymezit klíčové procesy organizace
- systematicky měřit způsobilost a výkonnost procesů v organizaci a analyzovat výsledky těchto měření pro účely objektivního rozhodování atd.

Efektem aplikace tohoto principu je zvýšená efektivnost činností organizace, nižší náklady na procesy, schopnost soustředit se na klíčové procesy apod.

5. Systémový přístup k managementu. Systém managementu je chápán jako soubor na sebe navazujících procesů, což má přinést organizaci zvýšenou efektivnost a účinnost při dosahování cílů. Musí být dosaženo zřetězení procesů, tedy stavu, kdy výstupy z určitého procesu budou tvořit logický vstup alespoň do jednoho procesu následujícího. Tím je dosaženo eliminace procesů, které nebudou mít zákazníky. Projekty zlepšování jsou nasměřovány právě do oblasti zlepšování výkonnosti procesů apod.

6. Neustálé zlepšování. Aplikací tohoto principu má být zabezpečeno dosahování nové úrovně v takových oblastech, jako jsou razantní snižování rozsahu neshod v dodávkách, rozšiřování spektra funkcí u existujících produktů a redukce vnitřní neefektivnosti organizace.

7. Přístup k rozhodování zakládající se na faktech. V normě ISO 9000:2008 je podstatou tohoto principu tvrzení, že objektivní a účinná rozhodnutí mohou být učiněna pouze na základě využití vhodně analyzovaných dat a informací, tj. na základě procesů měření výsledků. Díky tomu se dosáhne objektivizace rozhodovacích procesů, zvýšení schopnosti prokázat efektivnost a správnost dřívějších rozhodnutí managementu atd.

8. Vzájemně prospěšné dodavatelské vztahy. Je nutné, aby mezi dodavateli a odběrateli bylo dosaženo oboustranně vyvážených a prospěšných vztahů, postavených na důvěře obchodních partnerů. Dosáhne se tím schopnosti vytvářet vyšší hodnoty pro oba partnery, schopnost dodavatele pružně reagovat na změněné požadavky odběratele, optimalizace výdajů a materiálových toků apod.

System managementu kvality ovlivňuje činnost téměř každé funkce v organizaci. Úlohou systému managementu kvality, který je chápán jako souřadný pojem ostatních systémů managementu a který tyto systémy zohledňuje a respektuje, je přispívat k zajištění požadované úrovně kvality vytvořením formálních pravidel. Působí jako nástroj pro usnadnění práce a vnitřní poradce všech funkcí organizace v oblasti kvality, např. pro:

- zaměření na spokojenost zákazníka
- tvorbu prostředí a programů kontinuálního zlepšování
- angažovanost vrcholového vedení a řídicích pracovníků
- zapojování a poskytnutí pravomocí pracovníkům
- management založený na faktech
- činnosti založené na prevenci
- dlouhodobý výhled rozvoje organizace a mnoho dalších.

Mezi mnohé důvody, pro které se v organizaci zavádí systém podle norem ISO 9000 patří:

- zmapování, optimalizace a zlepšování všech podnikových procesů
- snižování nákladů, odstraňování plýtvání
- pořádek, systematičnost, disciplína
- zpřehlednění informací o kvalitě, vedení záznamů kvality
- využití certifikace jako marketingové výhody.

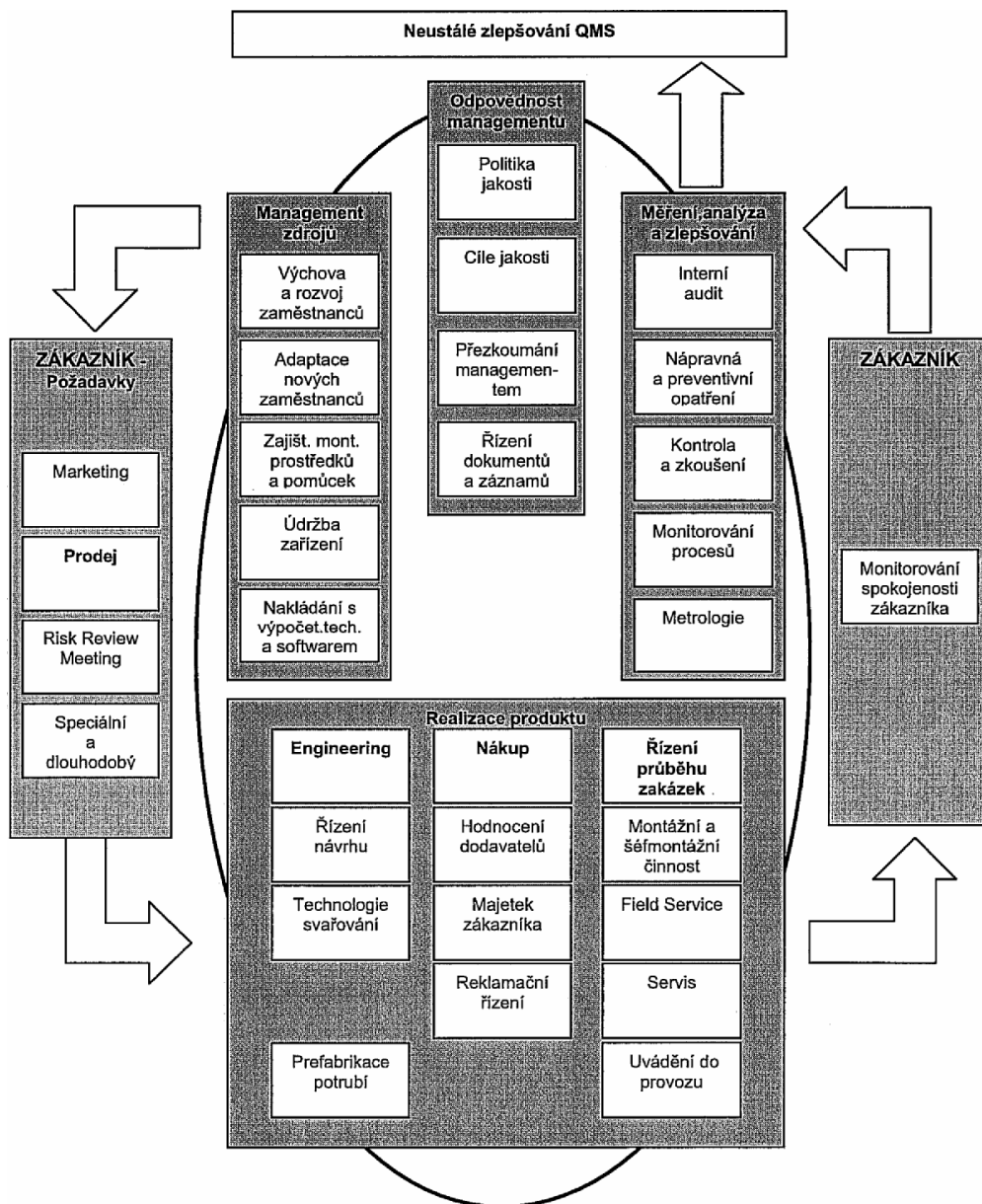
2.1.1 Hlavní požadavky na systémy managementu kvality

Požadavky na systémy managementu kvality (QMS) jsou uvedeny v normě ISO 9001:2008. Hlavní požadavky na všechny podstatné procesy realizace produktu jsou definovány v normě ISO 9000:2008, kapitole 7. Organizace, které se snaží být úspěšné v současném tržním prostředí ve všech oblastech strojírenského odvětví, jsou si vědomy, že šířka aplikace různých metod měření a vyhodnocování dat v podnikovém prostředí rozhodne o tom, zda bude jejich systém managementu kvality skutečně garantovat plnění základních funkcí, kterými jsou především:

- maximalizace spokojenosti zákazníků,
- minimalizace výdajů s tím spojených a
- tvorba prostředí pro neustálé zlepšování.

Všechny tyto funkce jsou v podstatě garancí ekonomické prosperity všech organizací.

Ve všech organizacích je nezbytné v souladu s filozofií normy ISO 9001:2008 stále hledat nové podněty pro zlepšování a kontinuálně systém managementu kvality zlepšovat tak, aby byla zajištěna neustále se zvyšující efektivnost a pružnost systému, jak je znázorněno na obrázku č. 2: Procesní schéma pro neustálé zlepšování QMS.



Obr. 2: Procesní schéma pro neustálé zlepšování QMS [28]

2.1.2 Systémová měření a analýza požadavků na systémová měření

Termín proces měření je definován čl. 3.10.2 normy ISO 9000:2008 a je vymezen jako soubor operací ke stanovení hodnoty určité veličiny v daných jednotkách. Dvě základní skupiny měření jsou:

- a) Měření technická, kdy jde o stanovení hodnoty veličiny, která se vztahuje zejména ke hmotným výstupům procesů, tj. k produktům.
- b) Měření systémová, pro které je společným znakem to, že umožňují poznat a definovat chování organizačního systému. Výsledky těchto měření jsou klíčovými vstupy pro rozhodování na nejrozličnějších úrovních řízení.

Další důležitým aspektem, nejzásadnějším pro funkčnost a výkonnost systému managementu kvality, vedoucím k prosperitě organizace, je vhodná interpretace požadavků. Tyto požadavky podrobně uvádí kapitola 8, norma ISO 9000:2008, kde jsou kromě klasických procesů měření kladeny požadavky na celou řadu systémových měření jako jsou např.:

- a) Měření spokojenosti zákazníků
- b) Měření nákladů vztahujících se ke kvalitě
- c) Zlepšování
- d) Benchmarking
- e) Měření výkonnosti procesů QMS, organizace apod.

Norma ISO 9000:2008 rovněž uvádí strukturu a rozsah následujících základních systémových měření:

- Měření spokojenosti zákazníků, zaměstnanců a jiných zainteresovaných stran
- Finanční měření nákladů vztahujících se ke kvalitě
- Měření výkonnosti procesů, systému managementu kvality, organizace, dodavatelů
- Audity kvality
- Sebehodnocení apod.

Praxí je ověřeno, že výsledky těchto systémových měření budou objektivními, vyčerpávajícími a především strategickými informacemi pro vrcholové vedení organizace a že pozitivně ovlivní další vývoj organizace a její budoucí dosahované ekonomické výsledky.

2.1.3 Dokumentace systému kvality

Dokumentace systému kvality slouží pro podporu funkce systému managementu kvality a jeho efektivního využívání, tedy uplatňování, udržování a zlepšování. Potřebné dokumenty, jejich rozsah a struktura jsou definovány vedením tak, aby dokumentace podpořila potřeby organizace. Především podporuje záměry organizace a stanovenou politiku kvality. Dokumentace QMS se vytváří za přímé spolupráce všech uživatelů.

Dokumentace systému managementu kvality podle ISO 9001:2008 zahrnuje [13]:

1. Dokumentovaná prohlášení o politice kvality a o cílech kvality, politika je uvedena v „Příručce kvality“, cíle kvality jsou uvedeny v „Plánech kvality“
2. Příručku kvality
3. Normou vyžadované následující dokumentované postupy:
 - Řízení dokumentů
 - Řízení záznamů o kvalitě
 - Interní audity
 - **Řízení neshody**
 - Nápravná a preventivní opatření
4. Dokumenty, které organizace potřebuje pro zajištění efektivního plánování, fungování a řízení svých procesů, organizační směrnice, podnikové organizační směrnice, pracovní instrukce
5. záznamy požadované normou a další záznamy vytvářené v QMS podle potřeb organizace.

2.1.4 Řízení neshod

Pojmem „neshoda“ se v normách souboru ISO 9000 rozumí rozpor mezi požadovaným a skutečným stavem, nebo nesplnění specifikovaného požadavku v jakékoliv fázi procesu a během jakékoliv činnosti, např. :

- rozpor mezi dokumentací a skutečností
- nedodržení předepsaných postupů či směrnic
- nepřijatelná nebo nezaručená požadovaná kvalita produktu
- rozpor se zavedeným systémem environmentálního managementu apod.

Neshoda, kterou způsobila organizace vlastní činností a v jejímž rámci jsou pak hrazeny náklady na její odstranění, je pak nazývána vlastní (interní) neshodou. Ostatní vyvstalé neshody, které způsobila externí organizace (subdodavatel, zákazník), jako jsou například vadné nakupované subdodávky či služby od subdodavatelů, jsou označovány jako nevlastní (externí) neshody.

Produkt, který nesplňuje specifikované požadavky, je identifikovaný a řízený tak, aby se zabránilo jeho nezamýšlenému použití nebo dodání. S neshodným produktem se manipuluje následujícím způsobem [28]:

1. Oprava nebo přepracování - přepracování neshodného produktu je provedeno takovým způsobem, že na konci procesu je produkt odpovídající požadavkům dokumentace, tj. shodný.
2. Uvolnění produktu na základě výjimky udělené zákazníkem - u produktu je zjištěna neshoda, která nemá vliv na vlastnosti produktu, tzv. použití s vadou, kdy neshodný produkt je možno použít bez opravy
3. Přeřazení k jinému použití,
4. Likvidace produktu.

Charakter neshody a jakékoliv uskutečněné následné opatření, včetně získaných výjimek, musí být zaznamenáno. Po opravě musí být produkt předmětem opakovaného ověření, aby se prokázala shoda s požadavky. Jestliže je neshodný produkt zjištěn až po jeho dodání nebo při použití, přijímá organizace vhodná opatření s ohledem na následky neshody.

Cílem řízení neshod je:

1. minimalizace ztrát a škod způsobených neshodou a zmírnění environmentálních dopadů
2. zajištění a zabránění použití neshodného produktu
3. zabránění opakovanému výskytu neshody
4. statistické vyhodnocení, čili sběr a analýza dat.

2.1.5 Analýza údajů

Pro prokázání vhodnosti a efektivnosti QMS a pro prokázání trendů neustálého zlepšování se provádí shromažďování a analýza údajů. Analýza údajů musí poskytovat informace týkající se:

- spokojenosti zákazníka, event. objemu stížností ze strany zákazníka, přičemž „stížností“ se rozumí jakýkoliv písemný nebo ústní podnět, zjištění nebo poznatek, který kriticky poukazuje na nedostatky v procesu nebo nedostatky související se systémem environmentálního managementu a může mít vliv na zlepšení kvality produktu, systému kvality, environmentálního managementu a uspokojování potřeb zákazníka. Zásadní rozdíl při řízení stížnosti oproti řízení neshody je ten, že stížnost se nezabývá otázkami finančního vyrovnání.
- shody s požadavky na produkt,
- znaků a trendů procesů a produktů,
- subdodavatelů.

2.1.6 Identifikace klíčových procesů, jejich výstupů a zákazníků

Procesně orientovaný management napomáhá chápat a řídit procesy efektivně a logicky tak, aby byla celkově zvýšena výkonnost organizace.

Základními kameny účinné aplikace procesního přístupu v průmyslové praxi jsou:

1. přesná definice vlastního procesu a činností procesu
2. přesná definice potřebných zdrojů k realizaci procesu
3. popis klíčových informací o vstupech a výstupech procesu, zákaznících apod.
4. přesné nastavení cílové (plánované) hodnoty výkonnosti procesu
5. jasná definice ukazatelů pro monitorování a měření výkonnosti procesu, které podávají objektivní informace o reálném chování procesu
6. čitelný popis rozhraní mezi procesy pro eliminaci možných nastalých ztrát zdrojů (zdržení, výpadky)
7. popis důležitých informací o omezeních (regulátorech), včetně platné legislativy, pracovním prostředím, atd.

2.2 Koncept filozofie Six Sigma

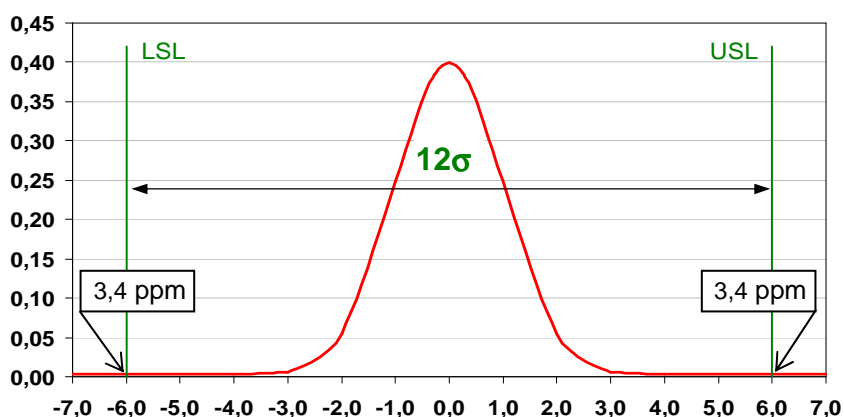
Six Sigma je velmi efektivní filozofií managementu kvality pro neustálé zlepšování procesů v rámci celopodnikového řízení kvality a v odborné praxi patří spolu s filozofií Total Quality Management (TQM) k celosvětově nejuznávanějším formám managementu kvality. Slovo kvalita lze interpretovat v nejširším smyslu jako cokoli, co lze zlepšit či zdokonalit. V tomto kontextu je kvalita spojována nejenom s produkty, ale rovněž se způsobem, jakým pracují lidé, způsobem, jakým jsou řízeny stroje, a dále tím, jak se využívají různé systémy a postupy. Pak tedy počátečním bodem pro zvýšení produktivity a efektivnosti jednotlivých procesů je schopnost vidět potřebu zdokonalení, tedy schopnost uvědomit si problémy a slabá místa.

Koncept filozofie Six Sigma lze obecně označit jako systematickou metodiku pro zlepšování opakovaných procesů, zvyšování organizační dokonalosti, dosažení většího uspokojení zákazníků a redukce nákladů, přičemž se filozofie Six Sigma orientuje zejména na prevenci neshod.

Filozofie Six Sigma je založena na kombinaci ustálených technik statistického řízení kvality, jednoduchých i pokročilých metod analýzy dat a systematického tréninku všech osob v organizaci, kteří se zabývají aktivitami a cíli určenými Six Sigma. Filozofie Six Sigma pracuje na principu „Demingova cyklu“, rovněž

nazývaného „Cyklus PDCA“, tedy na principu jednoho z klíčových nástrojů kontroly kvality pro zajištění neustálého zdokonalování. Tento cyklus zdůrazňuje důležitost neustálé interakce mezi výzkumem, projekcí, výrobou a prodejem, aby bylo dosaženo vyšší kvality a spokojenosti zákazníků [8].

Pokud použijeme Gaussovu křivku, jak je vidět na obr. 3: Gaussovo rozdělení pravděpodobnosti u procesu s dosaženou úrovní způsobilosti Six Sigma, filozofie Six Sigma se snaží vytlačit počty defektů a problémy kvality na úplné konce tohoto rozdělení. Konkrétním cílem filozofie Six Sigma je dosáhnout takové způsobilosti procesů, při níž je střední hodnota sledovaného znaku kvality od bližší toleranční meze vzdálena alespoň šest směrodatných odchylek, tedy rozpětí mezi dolním (LSL) a horním (USL) specifikačním limitem je pak $\pm 6\sigma$. Přičemž veličina σ představuje průměrnou směrodatnou odchylku, charakterizující variabilitu procesu.



Obr. 3: Gaussovo rozdělení pravděpodobnosti u procesu s dosaženou úrovní způsobilosti Six Sigma [27]

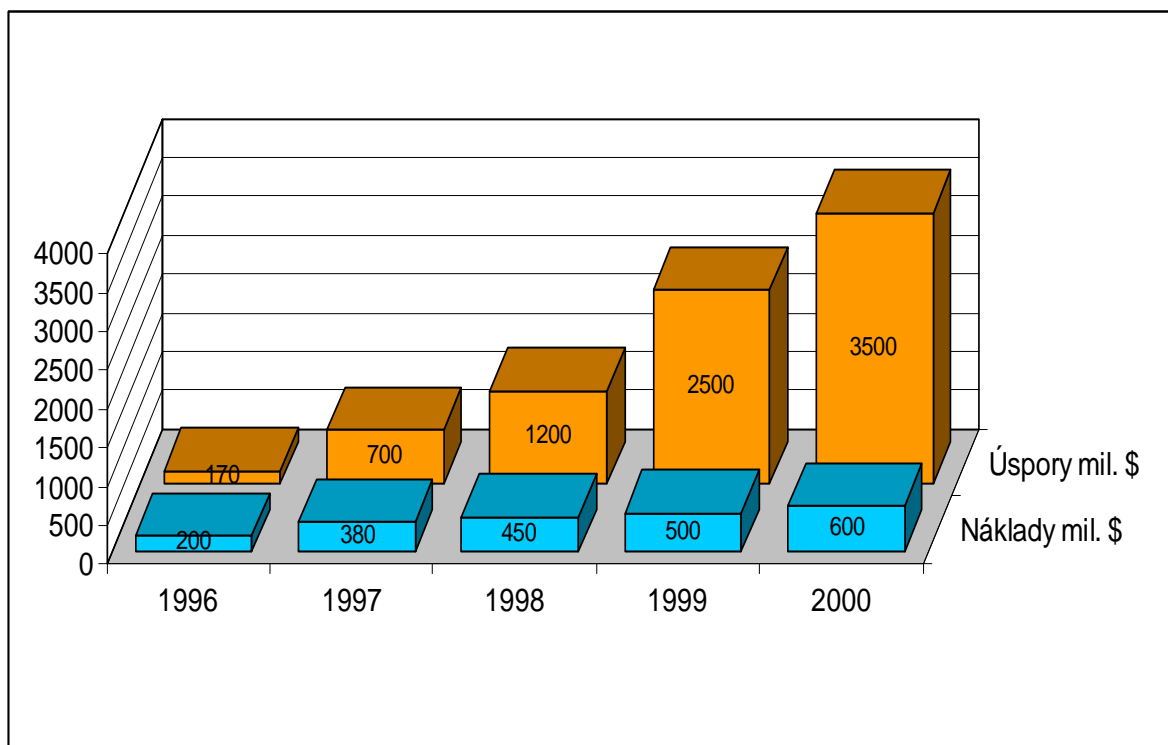
Takový stav by odpovídal očekávanému výskytu neshodných jednotek 0,002 ppm (počet neshod na milión případů). Ve skutečnosti se však připouští určité kolísání střední hodnoty sledovaného znaku kvality o $\pm 1,5$ směrodatné odchylky a minimální vzdálenost k bližší toleranční mezi se tak snižuje ze 6σ na $4,5\sigma$. Tedy dosáhnout v praxi „cíle Six Sigma“ u klíčových procesů znamená, že podnikový proces nesmí produkovat více jak 3,4 ppm neshodných jednotek, jinými slovy dosáhnout zhruba 99,9997% bezchybných realizací. Tato úroveň bývá označována v podmínkách reálného světa jako „nulový počet defektů“. Úroveň šesti Sigma ovšem není zapotřebí dosáhnout pro každý aspekt procesu, ale stává se cílem pouze tam, kde má významný dopad na uspokojení zákazníka a ziskovost [20].

2.3 Účinky a výsledky Six Sigma

Zlepšením v projektu Six Sigma lze prokázat jednak tzv. přímé účinky a dále tzv. nepřímé účinky a tudíž čtyři druhy úspor a přílivu prostředků do organizace [30].

- Přímé účinky na straně výnosů, které jsou především navýšení příjmů a tím obratu pomocí předcházení nákladům na neshody. K operativnímu přílivu peněz dojde díky podanému bezchybnému tržnímu výkonu.
- Přímé úspory na straně nákladů jsou především operativní náklady na neshody, kterým se předem zamezilo. Díky nevzniklým neshodám se lze vyhnout bezprostředním účinkům ovlivňujícím výstupy, které znehodnocují provozní výsledek.
- Nepřímé účinky na straně výnosů odpovídají zamezeným nákladům na neshody. Znamená to, že bylo zamezeno nespokojenosti zákazníků a vzniku negativních referencí, ale naopak bylo dosaženo vysoké spokojenosti zákazníků a pozitivního účinku jejich doporučení.
- Nepřímé úspory na straně nákladů vznikají tím, že díky vyhnutí se operativním nákladům na neshody, které zároveň snižují vázání kapitálu, jsou značně sníženy výdaje např. na technický servis.

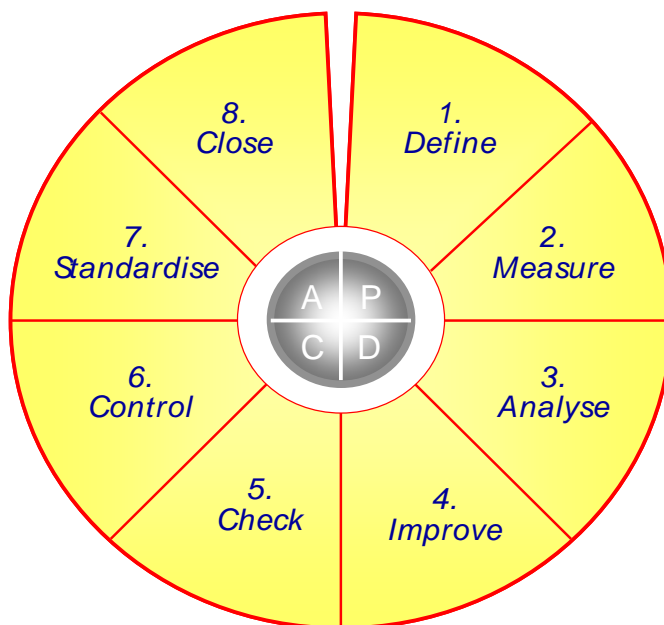
Filozofie Six Sigma byla přijata jako filozofie v mnoha organizacích patřících ke světovým špičkám na vysoce konkurenčním trhu v oblasti energetiky, jako například ve společnosti GE, ABB a dalších. Hospodářské účinky spojené s činnostmi Six Sigma na zvyšování efektivnosti procesů v oblasti řízení kvality ve společnosti General Electric ilustruje obr. 4. Je zde znázorněno výrazné zvýšení návratnosti investic po zavedení filozofie Six Sigma, přičemž bylo provedeno celkem 100 000 Sigma projektů v různých částech podniku. Od počátečního roku 1996, v němž se hospodařilo bez zisku a náklady byly vyšší než dosažené úspory, se už na konci roku 1998 výnosy pohybovaly na hodnotě okolo 750 miliónů dolarů a dále se ročně zvyšovaly. V roce 1999 bylo dosaženo čistého zisku cca. 2 mld. EUR a v roce 2000 zisku 2,9 mld. EUR. Přičemž od roku 1997 stoupal poměr úspor vůči nákladům nejprve o dvojnásobek v letech 1997/1998, v roce 1999 už to bylo v poměru 5:1 a v roce 2000 téměř v poměru 6:1 [11] a [31].



Obr. 4: Hospodářské účinky spojené s aplikací Six Sigma ve společnosti General Electric [11]

2.4 Projekt zlepšování

Síla metody Six Sigma (6σ) leží v přístupu založeném na systematickém shromažďování a detailní analýze přesných empirických dat popisujících skutečný stav procesu, směřujícímu k přesnému stanovení zdrojů neshod a vad a způsobu k jejich minimalizaci, či úplnému odstranění. Tento přístup efektivně směřuje ke zlepšení kvality a redukci variability podnikových procesů a rovněž k předcházení opakovaného výskytu těchto neshod a vad u budoucích realizovaných projektů. Toho je dosaženo pomocí „Projektu zlepšování“, který je založen na sekvenci kroků „DMAIC“, tedy kroků Definice-Měření-Analýza-Zlepšování-Kontrola, jak je znázorněno na obr. 5. Výběru a definici „Projektu zlepšování“ je třeba věnovat velkou pečlivost, neboť jedině tak se lze vyvarovat zklamání ze špatných či opožděných výsledků. „Projekty zlepšování“ jsou vybírány na základě zpětné vazby od zákazníka a očekávaných možných úspor podnikových nákladů.



Obr. 5: Projekt zlepšování [11]

2.4.1 Fáze Definice“ (Define)

V rámci počáteční fáze je třeba s uvedením naléhavosti důvodu nalézt hlavní cíle aktivit ke zlepšování, definovat klíčové oblasti a stanovit, jakým směrem se zaměřit na dosažení vyšší úrovně Sigma. Smyslem této fáze je:

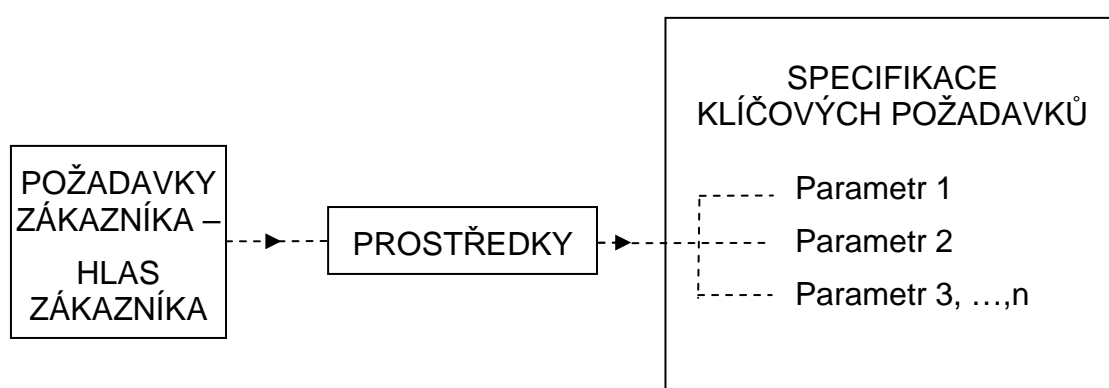
- dobré porozumění problému
- definování zákazníků a jejich potřeb
- rozdělení úloh a odpovědností v organizaci
- stanovení cílů, oblastí a milníků

2.4.1.1 Definice klíčových procesů

Je zřejmé, že ne všechny procesy během realizace projektu mají stejnou důležitost. Proto je třeba definovat tzv. „klíčové procesy“, na které je nutno orientovat prvořadou pozornost z hlediska jejich řízení, saturace zdrojů a v neposlední řadě neustálého zlepšování jejich výkonnosti. Obecným pravidlem je, aby počet klíčových procesů nepřesáhl počet šest až osm. V praxi je přístup k určování klíčových procesů spojen s aplikací tzv. „klíčových faktorů úspěšnosti“ [7]. Jde o faktory, které mají zásadní význam pro plnění vytyčených strategických cílů. Každá organizace si ve svých podmínkách identifikuje své vlastní konkrétní klíčové faktory, nicméně základní všeobecně uznávané platné kritické faktory úspěšnosti jsou kvalita, náklady a čas.

2.4.1.2 Definice klíčových požadavků zákazníka

Požadavky zákazníka vytvářejí především informace od vnějších zákazníků (hlas zákazníka) ale i vnitřních zákazníků. Pro shromáždění informací je možno využít několik různých zdrojů. Zpravidla nejčennější informace pocházejí z osobních jednání se zákazníky a analýzy jejich připomínek a očekávání, dále ze studií archivovaných záznamů o kvalitě, způsobu řešení problémů a záručních činnostech již realizovaných projektů, například protokoly o neshodách, zprávy o záručních opravách apod., a v neposlední řadě i ze zkušeností vlastních zaměstnanců organizace. Pro převedení klíčových požadavků zákazníka do technické specifikace se využívá tzv. princip „CTC (Critical to Customer) Strom“ viz obr. 6.

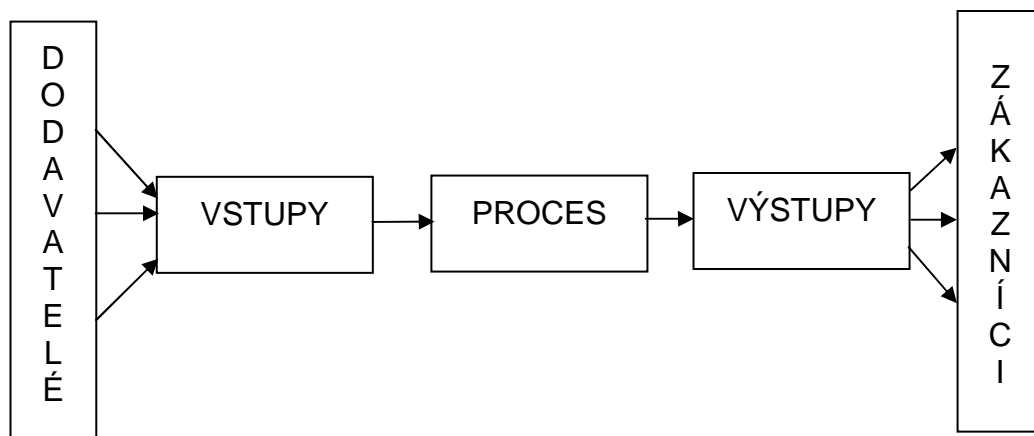


Obr. 6: Princip „CTC stromu“ [7]

Prostřednictvím principu „CTC stromu“ se pro danou problematiku požadavky zákazníka transformují do detailních technických specifikací obsahujících měřitelné a kontrolovatelné parametry, pomocí nichž se organizace může rovněž sebehodnotit a porovnávat s konkurencí.

2.4.1.3 Vymezení vzájemných vazeb mezi klíčovými procesy - „Model SIPOC“

Jakmile jsou definovány klíčové procesy, je nutné hledat a vymezit vzájemné vazby mezi jednotlivými procesy. K tomuto účelu může být využit některý z tzv. „Sedmi nových nástrojů managementu kvality“, např. speciální matice vazeb procesů, či je-li celkový počet procesů menší než deset, nabízí se také aplikovat tzv. relační diagram, někdy také nazývaný diagram vzájemných vztahů. Výsledkem by měla být tzv. „mapa procesu“ viz obr. 7.



Obr. 7: Mapa procesu [7]

Mapa procesu je v terminologii Six Sigma nazývána jako „model SIPOC“. Termín „SIPOC“ je ve skutečnosti zkratka, která je složena z počátečních písmen pěti složek „modelu SIPOC“:

Suppliers = Dodavatelé – osoby dodávající klíčové informace, materiály nebo jiné zdroje,

Inputs = Vstupy – dodávané zdroje,

Process = Proces – řada kroků, které transformují vstup a zvyšují jeho hodnotu

Outputs = Výstupy – konečné výsledky procesu

Customer = Zákazník – osoba nebo proces, který je příjemcem výstupu procesu

Mapa procesu slouží k detailnímu zmapování současného procesu a získání dat o současném procesu SIGMA. Mapa procesu graficky prezentuje definované procesy a jejich vzájemné informační a hmotné vazby. Této mapě pak odpovídá veškerá dokumentace a popisy procesů.

Před započítím vytvoření mapy SIPOC je tedy třeba:

- Identifikovat procesy, které se budou hodnotit a definovat zákazníky
- Definovat požadavky zákazníků, přičemž požadavky zákazníka jsou kombinací jeho vlastních potřeb a očekávání
- Vybrat vhodnou metodu sběru dat, definovat formulář dotazníku
- Vytvořit postup vyhodnocování dat
- Využít výsledků měření pro proces zlepšování

2.4.2 Fáze „Měření“ (Measure)

Fáze měření zahrnuje získání informací o současné situaci, o současné produkci a její kvalitě. V praxi to znamená přezkoumání druhů měření, druhů shromažďovaných dat a způsobu jejich vyhodnocování. Výstupem fáze měření je:

- plán sběru dat - jak a kde je získat
- předběžná analýza výsledků

Při objektivním posuzování situace, ve které se organizace v daném časovém období nachází, se zjišťuje, jaká je reálná úroveň kvality podnikových procesů. Tedy kolik neshod na milion příležitostí (ppm) v těchto procesech vzniká a kolik nákladů jde na vrub nízké kvalitě. Dosahovaná kvalita podnikových procesů je ve své podstatě určující pro výslednou spolehlivost poskytovaných produktů.

2.4.2.1 Měření výkonnosti sledovaných procesů

Pojem výkonnost není normami řady ISO 9000 definován (ačkoliv jej tyto normy používají), ale s tímto pojmem pracuje a vysvětluje ho model „EFQM Model Excellence (vyvinutý Evropskou nadací pro management kvality – EFQM), který hraje v současnosti v Evropě dominantní roli při realizaci koncepce TQM.

Výkonnost je definována jako míra dosažených výsledků jednotlivci, týmy, organizací a procesy. Praxí je ověřeno tvrzení, že výkonnost procesů i organizace je bezprostředně a významně ovlivňováno dvěma faktory, tj. je funkcí kvality a produktivity. Podle normy ISO 9000:2008 je kvalita míra, kterou soubor inherentních znaků splňuje požadavky. Jak již bylo v této práci uvedeno dříve, kvalita určitého produktu vyjadřuje úroveň jeho schopnosti plnit požadavky zákazníků i požadavky dané nadřazenou legislativou. Pojem produktivity je definován nejčastěji jako poměr vstupů a výstupů. Produktivita je vázána na nutnost efektivního využití zdrojů a vstupů, které jsou nutné k vykonání procesů. Obecně platí, čím lepší je využití nehmotných informačních vstupů, jakož i hmotných a lidských zdrojů, tím vyšší je i produktivita. Přičemž je nutno si uvědomit, že právě produktivita podmiňuje i míru dosahovaných výsledků zejména vzhledem k cílům, které byly pro určitý proces stanoveny.

Pročež veškeré snahy o zvyšování výkonnosti jsou zároveň snahami řešit otázku zvyšování produktivity a potažmo i zlepšování kvality. Lze bezesporu tvrdit, že naprostá většina problémů produktivity je spojena s nedostatečnou kvalitou a snaha

zvyšovat produktivitu musí tedy v první řadě vést k řešení problémů v oblasti neshod vznikajících v procesech.

V součinnosti s normou ISO 9001:2008 je vyžadováno, aby všechny procesy zařazené do systému managementu kvality byly podrobeny měření výkonnosti procesu. Měření výkonnosti procesu je nutno realizovat nejen v procesech výroby, ale i v procesech nevýrobní povahy, tj. procesech návrhu, nákupu apod. Pod **měřením výkonnosti procesů** jsou přitom chápány aktivity, které mají poskytovat objektivní a přesné informace o průběhu jednotlivých procesů tak, aby tyto procesy mohly být jejich vlastníky průběžně (operativně) řízeny za účelem plnění všech požadavků na procesy kladených. Přičemž pod pojmem proces se myslí soubor činností, které mění hmotné a informační vstupy na hmotné a informační výstupy za spotřeby zdrojů a v regulovaných podmínkách. Jestliže chceme výkonnost měřit, musíme tak činit v porovnání s definovanou, tzv. cílovou hodnotou výsledku.

Klíčové ukazatele výkonnosti slouží pro sledování, pochopení, předvídání a zlepšování klíčových výsledků organizace, které byly definovány a schváleny v rámci politiky a strategie organizace. Tyto klíčové výsledky mohou s ohledem na charakter organizace zahrnovat jednak finanční výsledky, jako např. výška obrátu, objem prodeje apod., a jednak mimofinanční výsledky, jako např. výkonnost procesů, úspěšnost prodeje apod.

Klíčové ukazatele výkonnosti jsou operativní povahy a mohou s ohledem na charakter organizace zahrnovat např.:

- Finanční ukazatele – náklady na projekty, cash flow apod.
- Mimofinanční ukazatele s ohledem na procesy – výkonnost, rozsah neshodnosti, produktivita, způsobilost apod. [2].

V praxi lze využít k měření výkonnosti procesů výrobních i nevýrobních několik odlišných postupů, např. měření výkonnosti podle odchylek, dále stanovení indexu výkonnosti procesu, či měření výkonnosti pomocí tzv. Sigma způsobilosti.

Měření výkonnosti v rámci aplikace metody Six Sigma se orientuje na vyhledávání neshod a vad u definovaných klíčových procesů a následné snížení četnosti těchto neshod a vad. Cílem měření je tedy získání kvalitních dat, na jejichž základě lze posoudit stávající výkonnosti procesů vzhledem k výstupním požadavkům zákazníků. Vypovídající hodnotící měření odvozená z těchto dat

umožňují relativní srovnání předností a slabin uvnitř jednotlivých procesů a mezi těmito procesy navzájem.

Hlavním smyslem měření při implementaci metody Six Sigma je pochopení vztahu mezi změnami vstupních faktorů X a jejich dopad na faktory Y neboli spokojenost zákazníků. Aby bylo možno porozumět variacím výstupní proměnné Y , je nutno získat data o proměnných X_n [7].

$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, přičemž

Y ... proměnná závislá na výstupech procesu

X ...proměnná závislá na různých vstupech a proměnných procesu.

V praxi veličiny X představují nezbytné akce pro dosažení strategických cílů, proměnné procesů, kvalitu vstupů do procesů od zákazníka a subdodavatelů (suroviny, procedury atd.) a důležité vlivy na spokojenost zákazníka.

Veličiny Y mohou například představovat strategický cíl, očekávání zákazníka (včasná dodávka zařízení, služeb atd.), zisk či efektivnost procesu.

Měřením hospodárnosti (efficiency) se sledují objemy zdrojů, spotřebovaných při tvorbě produktu (zařízení, komponent nebo dodání služeb), přičemž hospodárnější procesy spotřebovávají méně peněz, času, materiálu apod. Hospodárnost má značný vliv na výkonnost organizace a v konečném důsledku na její ziskovost. Zlepšení hospodárnosti mohou zákazníci pocítit díky přijatelné ceně produktu, ale v zásadě se jedná především o interní pozorování v rámci organizace [26].

Naproti tomu měřením účinnosti (effectiveness) se hodnotí výsledky činností pohledem zákazníka, neboli do jaké míry při stávající výkonnosti se organizaci daří splnit požadavky zákazníků a docílit zachování jejich věrnosti [26].

Velmi důležitou činností ve fázi měření je sestavení efektivního a účinného plánu měření, jehož cílem je postupně ve třech etapách, viz obr 8:

- I. Identifikovat parametry (proměnné), neboli stanovit, co bude sledováno. Vhodným východiskem měření jsou „slabá“ místa procesu, kde může docházet k rozporu mezi výkonností procesu a požadavky.
- II. Určit klíčové parametry, což znamená provést hodnocení efektivnosti jednotlivých dílčích kroků procesu a odhalit nejslabší dílčí proces.

III. Provést vlastní sběr dat. Norma ČSN EN ISO 9000:2008 ve svém článku 0.2 g) vyžaduje, aby se přístup k rozhodování vždy zakládal na faktech. Tedy

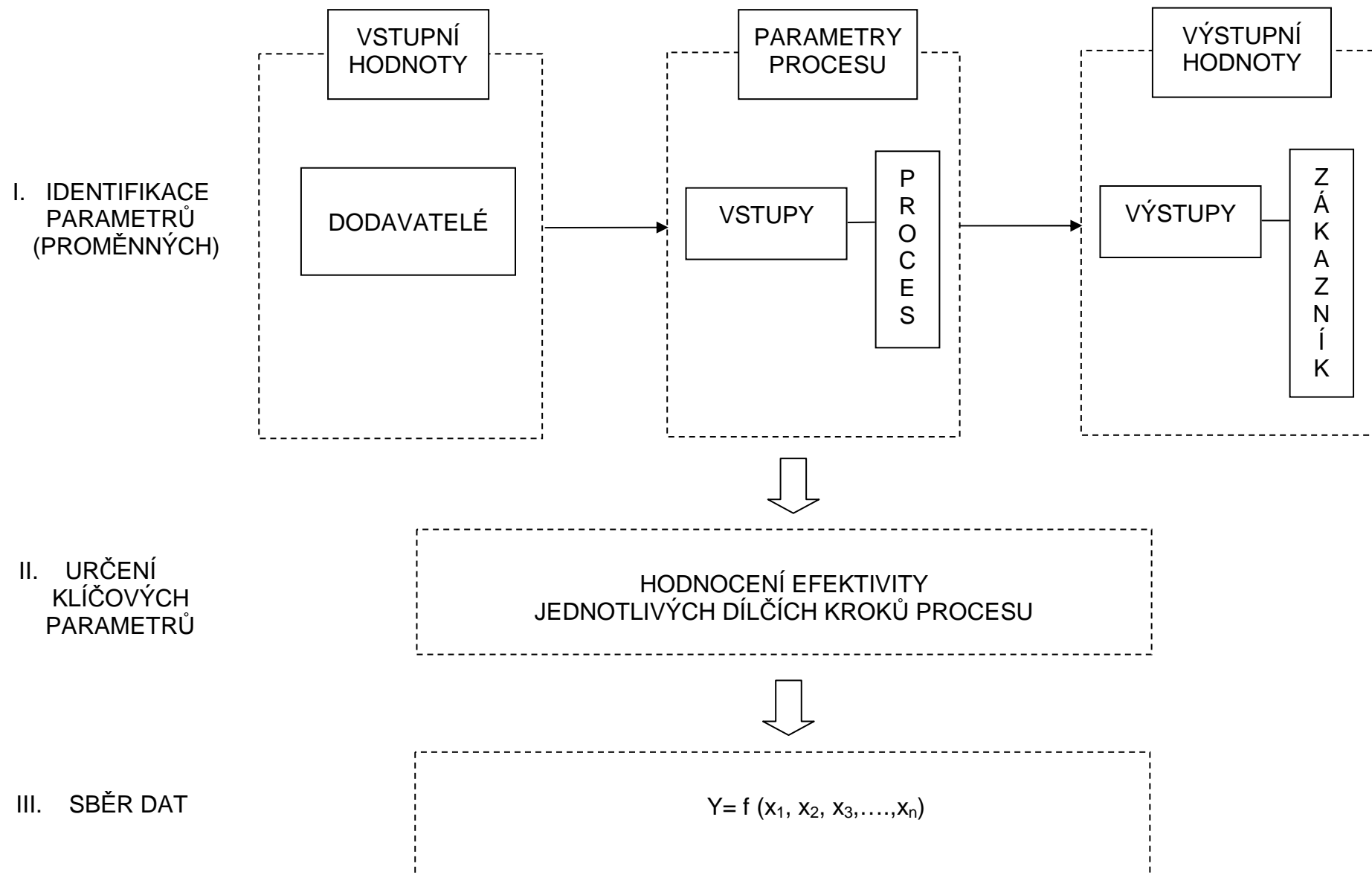
- data a informace musí být pravdivé a získány co nejhospodárněji
- závěry ze zpracovaných údajů a informací mají být objektivní a co nejobsažnější

Obě tato hlediska mohou být splněna v podstatě za těchto podmínek:

- sběru dat by měly předcházet informace získané činností kolektivního charakteru, jako jsou tvorba vývojových diagramů, brainstorming, analýza příčin a následků a Paretova analýza
- data mají mít srovnatelné vlastnosti: mají být pravdivá, být zaznamenána na stejný počet desetinných míst, získána za stejných (srovnatelných) výrobních podmínek a stejných podmínek okolního prostředí a se známými a uvedenými nejistotami měření
- analýza takových dat je proveditelná pomocí statistických metod, které lze nalézt v normách ČSN, ČSN ISO z oblasti aplikované statistiky a spolehlivosti.

Data pomáhají:

- popsat skutečný stav problému
- vytvořit si obraz o výkonu procesu
- podávat informace během průběhu celého procesu
- měřit vliv změn na proces
- identifikovat a porozumět vzbábám, které mohou vysvětlovat vznik variability
- řídit proces (monitorovat výkon procesu)



Obr. 8: Hlavní etapy fáze měření [7]

2.4.2.1.1 Hodnocení efektivnosti hlavních kroků procesu, stanovení výnosu

Filozofie Six Sigma poskytuje soubor několika hodnotících měření, pomocí nichž lze efektivně a účinně hodnotit dokonalost a efektivnost jednotlivých procesů, přičemž každé má svůj specifický účel. Pro každý proces je nutno vybrat takové měření, které nejlépe vystihuje příslušný zkoumaný proces.

Filozofie Six Sigma využívá k hodnocení efektivnosti procesu termín „Yield“ neboli hodnocení „výnosu“ (někdy překládaný do češtiny také jako „výtěžnost“). Hodnocení výnosu patří mezi základní přístupy posuzování výsledků dosahovaných sledovaným procesem. Přístupy k hodnocení kvality a výkonnosti procesů jsou v dnešní době charakterizovány respektováním požadavků vytvoření dokonalých procesů vyznačujících se vysokým výnosem. Čím vyšší je tedy výnos, tím vyšší je výkonnost a efektivnost procesů a vyšší předpoklad dosažení konkurenceschopné ceny a větší uspokojení zákazníka.

Výnos v podstatě stanovuje u každého procesu podíl jednotek bez neshod. Vzniká z počtu neshod odečtených od hodnoty 1. Počet neshod je znázorněn kvocientem počtu neshod a chybných možností. Výnos se vypočte podle následujícího vztahu [7]:

$$Y = (1 - DPO) \cdot 100 [\%], \text{ kde}$$

DPO [-]... kvocient počtu neshod a chybných možností

Kvocient počtu neshod a chybných možností DPO (Defects per Opportunities) vypovídá o tom, jak dobře či špatně probíhá sledovaný proces. Vyjadřuje počet neshod všech druhů vztažený k celkovému počtu jednotek v souboru. V praxi to znamená, že bude-li se hodnota DPO např. rovnat jedné, může se v každé jednotce průměrně očekávat výskyt jedné vady, za podmínky $O = 1 [-]$, tedy že každá jednotka je popsána právě jednou vlastností. Kvocient DPO bývá také uváděn jako kvocient DPMO (Defects per Million Opportunities), tedy počet neshod na jeden milion příležitostí ve smyslu chybných možností.

Hodnotu ukazatele DPO určuje následující vztah [7]:

$$DPO = \frac{D}{N \cdot O} [-], \text{ kde}$$

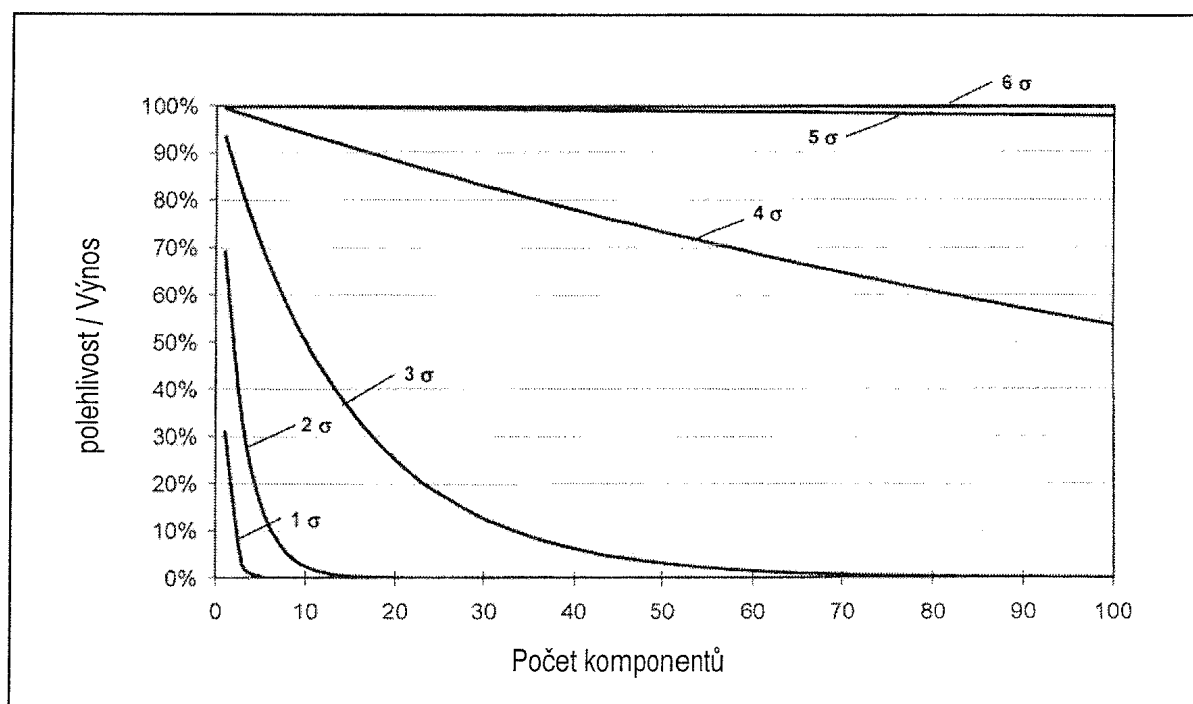
D [-].....počet zjištěných neshod na výstupu z procesu

N [-]... celkový počet vstupních jednotek do příslušného procesu

O [-]...počet možných příležitostí vzniku neshod jedné jednotky v příslušném procesu.

Ze vzorce pro výpočet ukazatele DPO je zřejmé, že u složitých procesů s rostoucím počtem operací se podstatně zvyšují možnosti chybovat, zvyšuje se tím tedy počet příležitostí vzniku neshod O [-]. To znamená, že i když jsou jednotlivé části vyrobeny a použity se shodně vysokou úrovní kvality, např. 99% (úroveň Sigma rovna 3,8 [-]), tedy s počtem neshod ve výši 1%, je kvůli montážním činnostem v procesu výnos nižší.

Různá míra výnosu je znázorněna na obr 9. Obrázek ukazuje, že s rostoucím počtem komponentů je nezbytná vysoká úroveň Sigma všech částí a montážních kroků, aby se zajistila vysoká úroveň spolehlivosti a výnosu. Podle Booleovy systémové teorie zajišťuje při velkém počtu komponentů dostatečně vysokou úroveň celkové spolehlivosti a výnosu teprve až průměrná úroveň 5 Sigma nebo 6 Sigma.



Obr. 9: Systém spolehlivosti / výnosu [27]

2.4.3 Fáze „Analýza“ (Analyze) – vyšetření příčin ztrát v důsledku neshod

Ve fázi analýzy se převádějí problémy praktické na statistické. Fáze analýzy má přinést poznatky o hlavních zdrojích problémů, jež způsobují nejvážnější či největší počet "chyb" a za pomoci nejrůznějších statistických či jiných metod identifikovat zdroje ztrát. Smyslem analýzy dat, získaných sledováním a zaznamenáváním výdajů vztahujících se ke kvalitě, je:

- Poznání trendů vývoje jednotlivých položek výdajů vztahujících se ke kvalitě
- Odhalení příležitosti ke zlepšování, což znamená zejména oblast snižování všech druhů ekonomických ztrát vykazovaných mezi těmito výdaji

Fáze analýzy má tedy odpovědět především na otázky:

- jaké jsou příležitosti pro zlepšování
- jaké jsou kořenové příčiny
- jak byla data analyzována

Procesy sběru dat a analýzy dat o různých druzích výdajů, které jsou vykonávány s cílem přetlumočit všechna technická a organizační opatření v oblasti kvality do řeči peněz, se nazývají finanční měření. Výše výdajů vztahujících se ke kvalitě, konkrétně ztráty vyvolané neshodami při plnění požadavků na kvalitu, je ve většině organizací opravdu tak vysoká, že zanedbávání jejich sledování může být z ekonomického hlediska velmi nebezpečné. Přínos realizovaných finančních měření lze shrnout do několika následujících bodů [17]:

- Ukazatele o výši a struktuře výdajů vztahujících se ke kvalitě jsou všeobecně srozumitelné
- Poskytnutí identifikace příležitostí ke zlepšování, přičemž analýza dat o výdajích vztahujících se ke kvalitě je také výstižným nástrojem analýzy dat o výkonnosti procesů
- Poskytnutí velmi důležitých zjištění o ekonomických důsledcích nespokojenosti zákazníků, neschopnosti dodavatelů plnit požadavky na kvalitu apod.
- Přispění k redukci celkových nákladů organizace, neboť všechny úspory zbytečných výdajů vyvolaných výskytem neshod přecházejí do objemu zisku organizace.

Podstatou nákladů na kvalitu nejsou ani tak náklady, čili efektivně vynaložené prostředky, ale spíše ztráty způsobené nedokonalými procesy managementu kvality, čili výdaje vztahující se ke kvalitě. Pro měření těchto výdajů lze použít některé základní modely:

- Model PAF (Prevention – Appraisal - Failure)
- Model COPQ (Cost of Poor Quality)
- Model procesních nákladů
- Model nákladů na životní cyklus

Snaha po kontinuálním zlepšování vyžaduje, aby si byla organizace vždy vědoma toho, co vyplývá z předchozích procesů, což v praxi znamená vedle provádění hodnocení a důkladné analýzy stavu výkonnosti těchto procesů rovněž i hledání příčin nastalých problémů pro konečné určení směrů dalšího zlepšování těchto procesů. Pro identifikaci a vyhodnocování příčin nastalých problémů, které ovlivňují výsledek, tj. kvalitu určitého procesu a tím i konečný produkt, se využívají různé nástroje řízení kvality.

2.4.3.1 Korelační diagramy pro ověření skutečného působení příčin neshod

Pro ověření skutečného působení příčin a stanovení míry jejich vlivu se uplatňují tzv. korelační diagramy. Korelační diagramy vypovídají o tom, zda existuje mezi proměnnými vzájemný vztah, ať už se jedná o proměnné spojité či diskrétní (např. vztah mezi domnělou hlavní příčinou a závažností problému). A dále korelační diagramy vypovídají o tom, jak jsou proměnné navzájem závislé, popisují povahu této závislosti a vyjadřují, jak silná je závislost mezi proměnnými. V praxi mohou korelační diagramy pomoci např.

- Testovat hypotézu hlavní příčiny, neboli ověřit, zda existuje vazba mezi předpokládanou příčinou x a následkem y .
- Zjišťovat míru závislosti následku y na různých vstupech či příčinách x
- Prognózovat výkonnosti procesu a produktu za daných podmínek

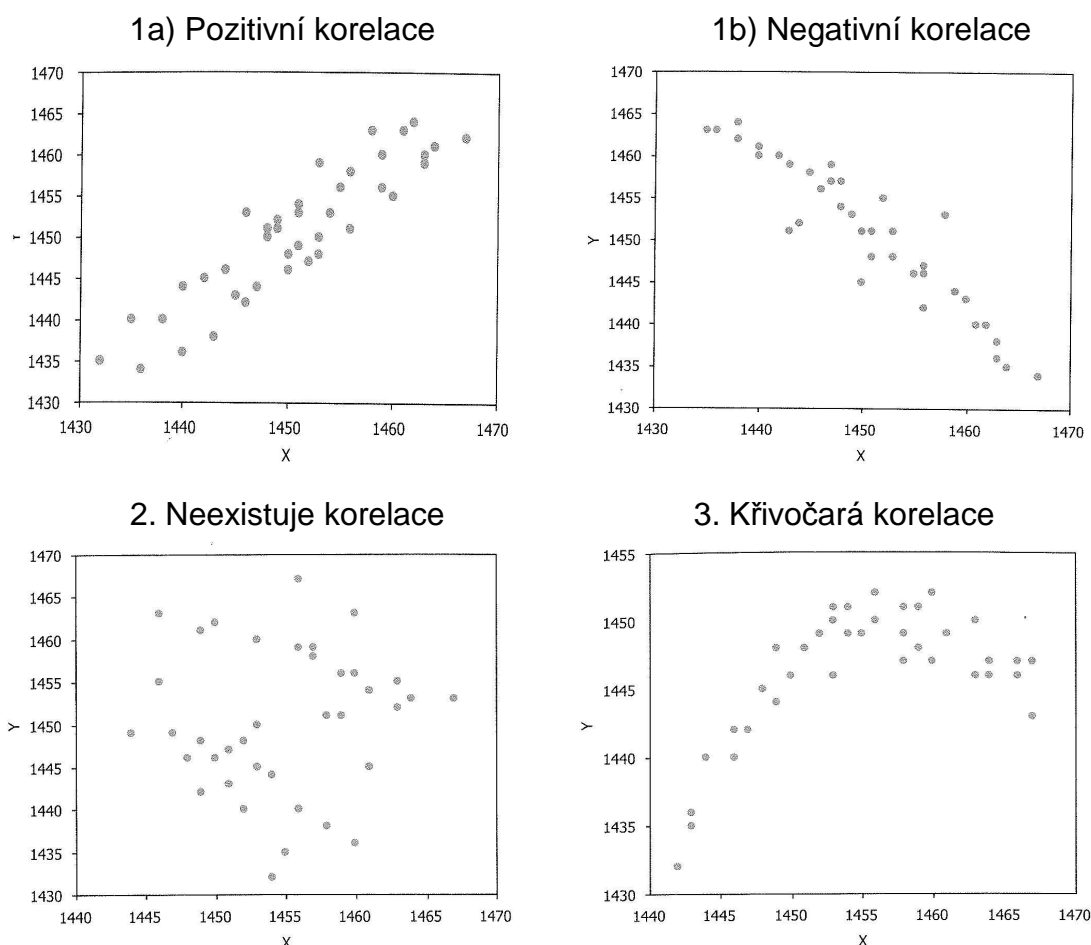
Ve své podstatě se nejedná o funkční závislost danou pevným matematickým vzorcem, ale o stochastickou neboli pravděpodobnostní závislost. Rozmístění jednotlivých bodů v korelačním diagramu, které odpovídají jednotlivým dvojicím hodnot příslušných proměnných, charakterizuje směr, tvar a míru těsnosti závislosti

mezi sledovanými proměnnými. Přičemž na osu x se vynášejí hodnoty nezávislé proměnné a na osu y hodnoty domněle závislé proměnné.

2.4.3.1.1 Typy korelačních diagramů

Při zjišťování závislosti mezi sledovanými proměnnými mohou nastat tři případy viz obr. 10, a to:

- 1) lineární stochastická závislost (body jsou soustředěny kolem regresní přímky),
 - a) pozitivní (kladná) korelace, kdy změna jedné proměnné x_i souvisí se změnou druhé proměnné y_i , resp.
 - b) negativní (záporná) korelace, je v podstatě navýšení nebo snížení jedné proměnné x_i , které se shoduje s opačným efektem u druhé proměnné y_i
- 2) neexistuje žádná stochastická závislost, tedy korelace neexistuje
- 3) nelineární (křivočará) stochastická závislost, kdy např. pro některé hodnoty dané proměnné x_i může existovat vztah pozitivní korelace až do určité hodnoty, od které dále je pak korelace negativní a naopak.



Obr. 10: Případy stochastických závislostí [19]

2.4.3.2 Pearsonův koeficient korelace

Nejužívanější mírou lineární závislosti mezi dvěma proměnnými x, y je Pearsonův koeficient korelace, tzv. r - koeficient, který má tvar [34]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right]} \cdot \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right]}} \quad [-], \text{ kde}$$

hodnoty \bar{x} a \bar{y} jsou průměrné hodnoty hodnot x_i , y_i .

Vlastní korelace může nabývat hodnot v intervalu $\langle -1, 1 \rangle$, přičemž stabilita Pearsonova koeficientu korelace r se zvyšuje s rostoucím rozsahem n .

Případ $r = 0$ signalizuje, že mezi proměnnými není lineární vztah, nicméně to však neznamená, že jejich vzájemná závislost neexistuje

V případě $r = 1$, resp. $r = -1$ přechází stochastická závislost do funkční závislosti $Y = a + bX$; a, b jsou reálné konstanty. Ve většině případů se hodnoty r pohybují v otevřeném intervalu $(-1, 1)$, přičemž hodnota r pod $-0,7$ nebo nad $0,7$ obvykle stojí za další vážné šetření.

Korelaci lze vyjádřit také číslem r^2 nazývaným „procento korelace“, které odráží množství neboli procento odchylky závislé proměnné y , které se zdá být způsobeno proměnnou x . Je-li tedy např. $r = 0,72$ [-], pak $r^2 = 0,52$ [-], což znamená, že přibližně 50% proměnné y koreluje s proměnnou x [27]. Rozhodnutí, zda pro konkrétní případ použít koeficient r nebo r^2 do jisté míry závisí na účelu analýzy a typu proměnných.

2.4.3.3 Aplikace matematicko-statistických metod pro analýzu příčin neshod

Pro odstranění či minimalizování nejzávažnějších faktorů negativně ovlivňujících průběh procesu je třeba provést pomocí matematicko - statistických metod jejich podrobnou analýzu.

Matematicko-statistické metody se uplatňují:

- při zpracování a analýze časově uspořádaných údajů, kde závěr zhodnocení má zpětnovazební charakter;
- při ověřování účinnosti navržených opatření před tím, než jsou tato opatření začleněna do dokumentace;

- při řešení problémů, jejich výstup je ovlivňován celou řadou faktorů a zjištění výstupu vyžaduje určitý pokus;
- při analýze výrobního procesu, odhalování zvláštních příčin variability a jejich odstraňování, při postupném dosahování stabilizovaného a statisticky zvládnutého procesu, který pracuje na požadované úrovni kvality;
- ve vstupní kontrole při ověřování kvality dávek produktů a surovin;
- v oblasti činností technologů, konstruktérů, projektantů, pracovníků zkušeben a laboratoří [16] a [23].

2.4.3.4 Regulační diagramy současného stavu procesu

Regulační diagramy, které jsou považovány jako základní nástroj statistické regulace procesu, lze efektivně uplatňovat v rámci procesu DMAIC. Regulační diagramy zachycují chování procesu v určitém spojitém časové období, které se chápe jako reprezentativní pro sledovaný proces. Stanovení konečných regulačních mezí vyžaduje dokonalou analýzu prvotních regulačních diagramů, přičemž během této analýzy musí být navržena příslušná nápravná opatření, prověřena jejich účinnost a poté opětovně zachyceno chování daného procesu. Výchozí normou je norma ISO 8258:1994 - „Shewhartovy regulační diagramy“ [25] a [32].

Všechny rozborů mají směřovat k tomu, aby se:

- prokázalo, jak proces vlastně pracuje
- odhalily příčiny a nedostatky, zjistilo se proč vznikají, zda se opakují, zda a v jakém rozsahu vyvolávají nové následné nedostatky
- lépe pochopila účinnost stávajícího systému a vlastní proces mohl být zlepšován.

Stanovení konečných regulačních mezí vyžaduje dokonalou analýzu pokusných regulačních diagramů, zachycujících chování procesu v určitém spojitém časovém období, které se chápe jako reprezentativní pro sledovaný proces. Během této analýzy musí být navržena příslušná nápravná opatření, prověřena jejich účinnost a poté opětovně zachytit chování procesu.

2.4.3.4.1 Princip regulačních diagramů

Teorie regulačních diagramů přihlíží ke dvěma typům proměnlivosti. První je náhodná proměnlivost způsobená „náhodnými příčinami“. Tato proměnlivost je

vyvolána širokou škálou neidentifikovatelných příčin, z nichž každá se na celkové proměnlivosti podílí velmi malou složkou, ale žádná z nich nepřispívá převažující měrou.

Druhý typ proměnlivosti představuje reálnou změnu v procesu, která může být přisouzena určitým identifikovatelným příčinám a které, alespoň teoreticky, mohou být odstraněny. Tyto příčiny se nazývají „vymežitelné nebo zvláštní příčiny“.

Shewhartův regulační diagram je graf, v němž vodorovná osa je definována časem nebo množstvím a na svislou osu se v bodech příslušejících výběrům zakreslují hodnoty odpovídající výběrové charakteristiky. Diagram obsahuje střední (centrální) přímkou umístěnou v referenčním bodě sledovaného znaku kvality a dále má dvě statisticky určené regulační meze:

- horní regulační mez UCL a
- dolní regulační mez LCL.

V okamžiku překročení těchto mezí se vyžaduje určitý zásah, a proto se též regulační meze nazývají „akčními mezemi“.

Vzdálenost obou těchto mezí od střední přímkou je rovna trojnásobku směrodatné odchylky příslušné výběrové statistiky. Pro normálně rozdělený znak kvality vyjadřují uvedené meze skutečnost, že za předpokladu, že je proces statisticky zvládnutý a řádně centrován, přibližně 99,7% hodnot výběrové charakteristiky bude ležet uvnitř pásma ohraničeného regulačními mezemi. Tedy v průměru jen třikrát z tisíce může nastat situace, že bod na diagramu bude zaznamenán mimo dolní nebo horní regulační mez [32].

2.4.3.4.2 Typy chyb při aplikaci regulačních mezí

Při aplikaci regulačních mezí jsou možné dva typy chyb [32]:

- A) Chyba prvního druhu – velikost této chyby je označována jako riziko zbytečného signálu, kdy proces zůstává ve statisticky zvládnutém stavu, variabilita je vyvolána pouze náhodnými příčinami a nedochází ke změně rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny, ale zjištěná číselná hodnota sledované výběrové charakteristiky padne náhodně mimo regulační meze. Vznikají tak náklady na odhalení příčiny neexistujícího problému.
- B) Chyba druhého druhu – velikost této chyby je označována jako riziko chybějícího signálu, kdy proces není v požadovaném stavu a probíhá

působení zvláštních příčin, ale zjištěná číselná hodnota sledované výběrové charakteristiky leží náhodou uvnitř regulačních mezí. Proces je považován za statisticky zvládnutý, přestože tomu tak není a vznikají náklady spojené se selháním schopnosti odhalit vzniku zvýšeného počtu neshodných jednotek na konci procesu.

Shewhartovy regulační diagramy přihlížejí pouze k chybě prvního duhu. Ta je při regulačních mezích, charakterizovaných trojnásobkem směrodatné odchylky příslušné výběrové charakteristiky, rovna 0,27%.

2.4.3.4.3 Typy regulačních diagramů

1. Regulační diagramy při kontrole měřením

Záměrem je odhalit, zda pozorované hodnoty sledované výběrové charakteristiky kolísají pouze v rozmezí, které je možno přisoudit jen působení náhodných příčin.

2. Regulační diagramy při kontrole srovnáváním

Záměrem je identifikovat, zda pozorované hodnoty výběrové charakteristiky se liší od hodnot daných přepisem více než lze očekávat při působení pouze náhodných příčin. Hodnoty dané předpisem mohou být založeny na zkušenosti nebo na předcházející informaci, mohou to být ekonomicky stanovené hodnoty přihlížející k výrobním nákladům nebo i nominální hodnoty uvedené ve specifikaci pro produkt.

2.4.3.4.4 Regulační diagramy srovnáváním

Při kontrole srovnáváním se pracuje s údaji, které představují pozorování získaná přítomností nebo nepřítomností určitého znaku na každé jednotce v uvažované podskupině, a dále tyto údaje můžeme načítat a zjišťovat, kolik jednotek v podskupině vykazuje nebo nevykazuje tento znak. Tyto informace se získávají většinou mnohem levněji než údaje při kontrole měřením.

U regulačních diagramů srovnáváním se vystačí pouze s jediným diagramem, neboť předpokládané rozdělení jsou určena vždy pouze jediným parametrem.

Regulační diagramy srovnáváním se uvažují pro následující charakteristiky:

- p – podíl neshodných jednotek v podskupině,
- np – počet neshodných jednotek v podskupině rozsahu n,
- c – počet neshod v podskupině,

u – počet neshod na jednotku v podskupině.

Diagramy pro p a np jsou založeny na binomickém rozdělení a diagramy pro c a u jsou založeny na Poissonově rozdělení, nazývaného též „rozdělením řídkých jevů“. Poissonovo rozdělení je podrobně tabelováno, protože má jen jeden parametr $\mu = E(x)$, kde $E(x)$ je střední hodnota daného rozdělení, a jeho charakteristickou vlastností je rovnost střední hodnoty a rozptylu, tedy $E(x) = D(x) = \mu$. Poissonovo rozdělení je určeno pravděpodobnostní funkcí [32]:

$$P(x) = e^{-\mu} \cdot \frac{\mu^x}{x!} \quad [-], \quad \text{kde}$$

μ [-]... je střední hodnota, která je současně rovna rozptylu σ^2 [-] Poissonova rozdělení.

Platí, že binomické rozdělení pro danou hodnotu parametru p a rostoucí hodnoty n konverguje k normálnímu rozdělení s parametry $\mu = np$ a $\sigma^2 = np(1-p)$ a že může být ukázáno, že normální rozdělení lze použít jako aproximaci binomického rozdělení, když $np(1-p) > 9$. Z toho pak přímo vyplývá, že pro velké hodnoty np může být Poissonovo rozdělení aproximováno normálním rozdělením se střední hodnotou $\mu = np$ a rozptylem $\sigma^2 = np$. Tedy je-li rozptyl $D(x) = \sigma^2$ binomického nebo Poissonova rozdělení dostatečně velký, když $D(x) \geq 9$, je možno jeho zákon rozdělení v mezích $\mu \pm 2\sigma$ uspokojivě aproximovat normálním rozdělením. Platí vztah [29]:

$$P\{a \leq x \leq b\} \approx \Phi\left(\frac{b + \frac{1}{2} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \frac{1}{2} - \mu}{\sigma}\right) \quad [-], \quad \text{kde je}$$

Φ [-] normovaná normální distribuční funkce,

$\mu = E(x)$ [-] střední hodnota,

$\sigma^2 = D(x)$ [-] rozptyl

$\sigma = \sqrt{D(x)}$ [-] ... směrodatná odchylka

a, b [-] celá čísla.

2.4.3.4.5 Regulační diagram pro počet neshod (c-diagram)

Tento typ regulačního diagramu se používá v případě, kdy sledujeme počet neshod, které nastanou během daného procesu. Do regulačního diagramu viz diagram 1 se vynášejí přímo počty neshod v jednotlivých podskupinách a úroveň centrální přímky a regulačních mezí UCL a LCL se počítají podle následujících vztahů:

Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách \bar{c} [32]:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{k} \quad [-], \text{ kde}$$

c_j [-]... počet neshod v podskupině,

k [-]... počet podskupin;

Horní regulační mez UCL:

$$UCL = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \quad [-];$$

Dolní regulační mez LCL:

$$LCL = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \quad [-].$$

Pozn.: Z praktického hlediska ve všech případech musí být hodnota $LCL > 0$, pakliže není tato podmínka splněna, hodnota LCL se nahrazuje nulou.

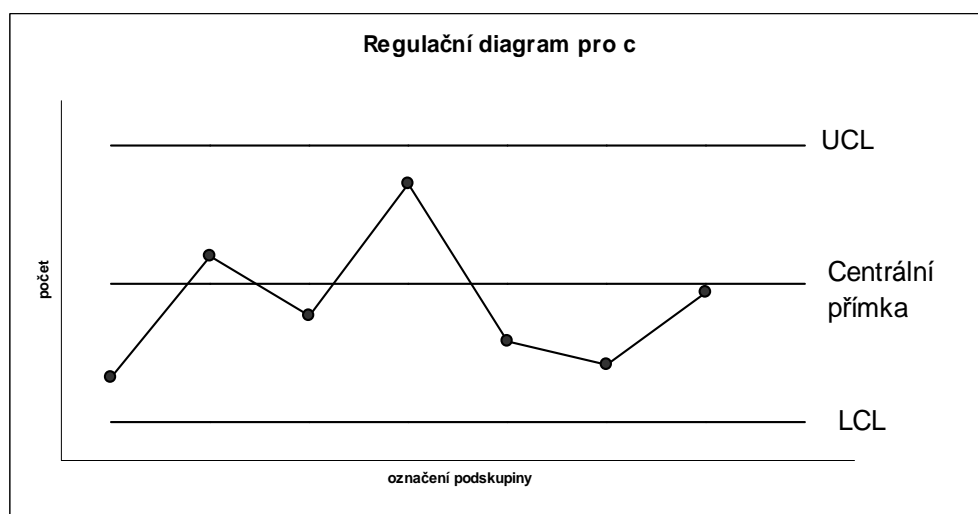
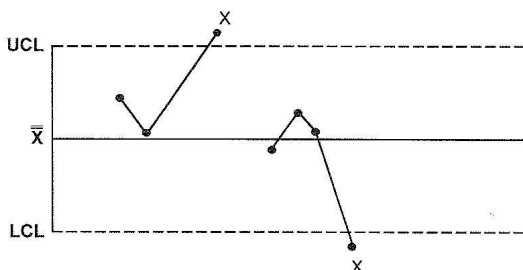


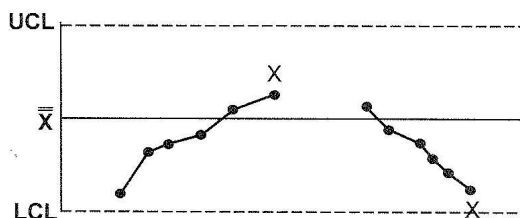
Diagram 1: Regulační diagram pro počet neshod – c diagram [32]

Proces je hodnocen jako statisticky zvládnutý, leží-li všechny výběrové body uvnitř regulačních mezí a nevytvářejí žádná nenáhodná seskupení nebo trendy, příklady viz obr 11.

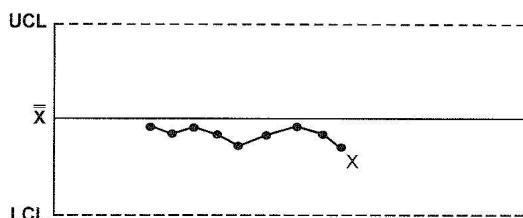
Test 1 : Jeden bod leží vně regulačních mezí



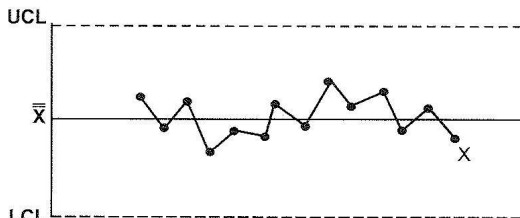
Test 2 : Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících



Test 3 : Devět bodů za sebou leží buď v jedné nebo druhé polovině regulačního pásu



Test 4 : Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů



Obr. 11: Příklady testů seskupení v regulačních diagramech [19]

2.4.3.5 Regulační diagramy pro procesy s vysokou mírou způsobilosti $c_p \geq 2$

Cílem zlepšování v rámci přístupu Six Sigma je neustálé zlepšování. Toto zlepšování povede k vysoké míře způsobilosti procesů, kdy při úrovni 6σ je ukazatel c_p roven 2. V takovém případě již klasické Shewartovy diagramy nesplňují požadavky pro monitorování a regulování těchto procesů s vysokou mírou způsobilosti. To znamená, že je třeba používat takové regulační diagramy, které umožní takovéto procesy monitorovat a regulovat.

V praxi to znamená, že je nutno pracovat s regulačními diagramy pro SPC, které umožní nejen předcházet zhoršováním, ale jsou také schopny detekovat zlepšení procesu. Je tedy třeba pracovat s regulačními diagramy měřením, které jsou dostatečně citlivé na velmi malé odchylky hodnot parametrů procesů či znaků kvality. A s regulačními diagramy srovnáváním, které vyhovují procesům produkujícím malý podíl neshodných jednotek na úrovni ppm ($1 \cdot 10^{-6}$).

2.4.3.5.1 Regulační diagramy měřením pro procesy s $c_p \geq 2$

A) Regulační diagramy měřením s využitím průměrů pro neautomatizované procesy s $c_p \geq 2$

V případech, kdy se kontrolní činnosti uskutečňují mimo výrobní zařízení a nejsou automatizované, je vhodné provádět výběry a pracovat s regulačními diagramy pro detekci malých odchylek hodnot parametrů procesu či znaků kvality založenými na výběrech.

Tyto požadavky splňují regulační diagramy CUSUM (Cumulative Sums = Kumulované součty) a klasické regulační diagramy EWMA (Exponential Weighted Moving Average = Exponenciálně vážený klouzavý průměr).

Tyto dva typy regulačních diagramů jsou vhodné pro situace, kdy v procesu dochází k náhlým malým, ale přetrvávajícím změnám procesu a hodnoty sledovaného znaku kvality jsou nezávislé.

Při použití metody SUSUM se konstruuje diagram, do kterého se na ose x zaznamenává pořadí výběru k a na ose y se vynášejí hodnoty testového kritéria C_k . Tedy do diagramu se chronologicky zaznamenávají body o souřadnicích $[k, C_k]$. Regulace při použití diagramu CUSUM může mít podobu jednostranné či oboustranné regulace.

Jestliže je proces udržován na cílové hodnotě požadované střední hodnoty regulované veličiny, body v diagramu zachovávají směr přibližně rovnoběžný s osou x.

V případě, že nastala náhlá změna střední hodnoty regulované veličiny přibližně v době, kdy byl odebrán q -tý výběr (a tato změna přetrvává), body v diagramu počínaje bodem $[q, C_q]$ náhodně oscilují okolo přímky, která není rovnoběžná s osou x.

Pakliže střední hodnota procesu roste, resp. klesá a ještě se nestabilizovala, body v diagramu tvoří křivku viditelně se zakřivující směrem nahoru, resp. dolů.

Příčemž diagram CUSUM je nutno doplnit o rozhodovací kritéria, aby bylo možno zjistit, zda změna průběhu diagramu signalizuje působení vymezitelného vlivu na proces (již významná odchylka), či se jedná o odchylku náhodnou.

Pro určení, zda je proces statisticky stabilní, se používají dva druhy kritérií, a to rozhodovací interval $\pm H$, jak je vidět v diagramu 2, nebo rozhodovací maska viz diagram 3.

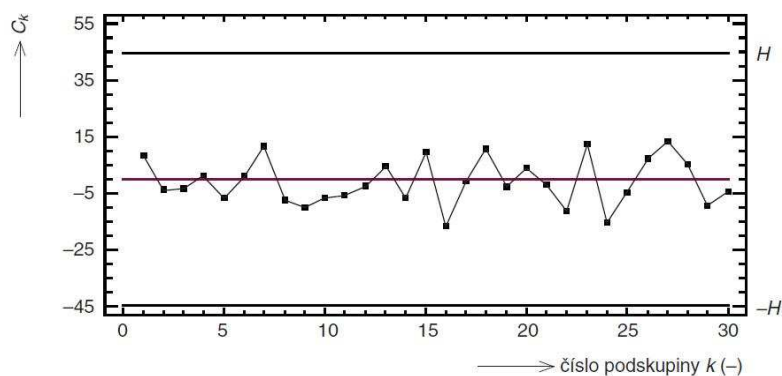


Diagram 2: Regulační diagram měřením CUSUM s rozhodovacím intervalem $\pm H$ [24]

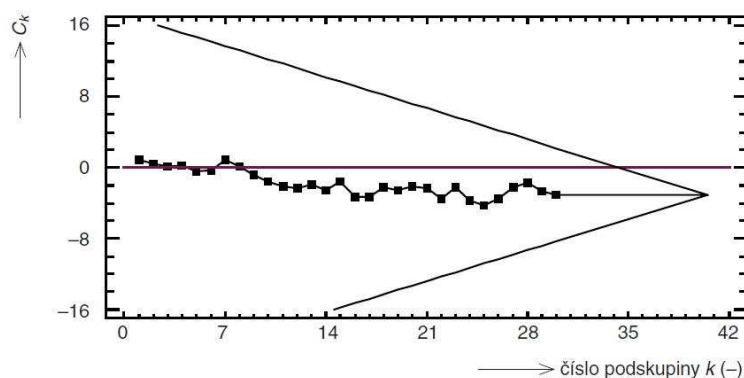


Diagram 3: Regulační diagram měřením CUSUM s oboustrannou rozhodovací maskou [24]

Klasické regulační diagramy EWMA jsou určeny rozsahem n a parametry λ a K (konstantou pro stanovení regulačních mezí). Klasické regulační diagramy EWMA patří k diagramům s neomezenou nerovnoměrností paměti. Vlastnosti paměti určuje parametr $\lambda \in (0,1)$. Při $\lambda = 1$ je testové kritérium EWMA identické s testovým kritériem v klasickém Shewhartově diagramu. Naopak čím více se λ blíží nule, tím více se vlastnosti paměti klasického diagramu EWMA blíží vlastnostem paměti diagramu CUSUM. Na rozdíl od klasických Shewhartových regulačních diagramů regulační meze v diagramu EWMA závisejí na pořadí výběrů, avšak relativně rychle přecházejí do asymptotického tvaru, jak je vidět v diagramu 4.

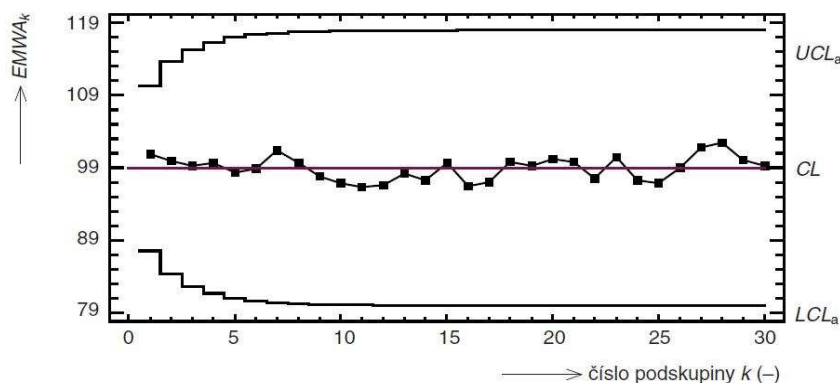


Diagram 4: Klasický regulační diagram měřením EWMA [24]

B) Regulační diagramy měření pro automatizované procesy s $c_p \geq 2$

Automatizované procesy, které dosahují míru způsobilosti c_p rovno 2 a vyšší, mají svůj vlastní systém automatizovaného sledování procesu včetně sběru a zpracování dat. Vyznačují se tím, že sledovaný znak kvality se zjišťuje na každé vyrobené jednotce, přičemž často je na jedné jednotce sledován více než jeden znak kvality. Výrobní cykly těchto procesů jsou velmi krátké a náklady na měření a kontrolu jsou malé. Tyto skutečnosti vedou k autokorelaci dat.

Pro tyto automatizované procesy jsou vhodné regulační diagramy ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Averages = Autoregresivní integrované klouzavé průměry) nebo dynamické diagramy EWMA (Exponentially Weighted Moving Averages = Exponenciálně vážené klouzavé průměry).

Regulační diagramy ARIMA jsou založeny na principu nalezení vhodného modelu časové řady a použití regulačního diagramu na rezidua modelu, tj. odchylky skutečně naměřené hodnoty od hodnoty vypočtené s použitím modelu. Nejčastěji používané jsou Boxovy-Jenkinsovy stochastické modely ARIMA. Tyto modely představují moderní koncepci analýzy stacionárních a nestacionárních časových řad založené na teorii pravděpodobnosti. Sleduje-li se na jednom produktu více znaků kvality, tj. n znaků kvality, je možné aplikovat na rezidua z n modelů ARIMA Hotellingův diagram T^2 nebo diagramy CUSUM či EWMA pro vícerozměrné proměnné.

Dynamické regulační diagramy EWMA je vhodné použít pro automatizované procesy tehdy, když hodnoty sledované veličiny vykazují pozitivní autokorelaci a proces má nekonstantní střední hodnotu s pomalými změnami. Překročení regulačních mezí v tomto diagramu způsobí jen náhlá změna střední hodnoty. Diagram EWMA poskytuje informaci o stabilitě procesu i jeho dynamice viz diagram 5.

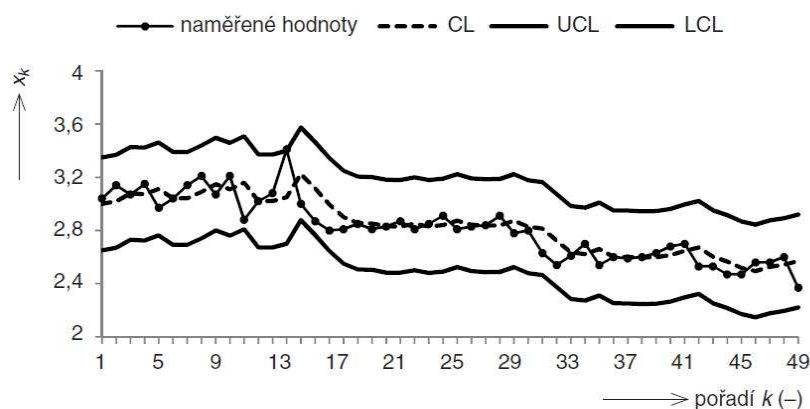


Diagram 5: Dynamický regulační diagram měření EWMA [24]

2.4.3.5.2 Regulační diagramy srovnáváním pro procesy s $c_p \geq 2$

V podmínkách procesů dosahujících míru způsobilosti $c_p \geq 2$ je velmi malý podíl neshodných jednotek. Při malých hodnotách podílu neshodných jednotek již nelze použít Shewhartovy regulační diagramy. Koncept Shewhartových diagramů pro podíl neshodných jednotek ve výběru (p) a pro počet neshodných jednotek ve výběru (np) vyžaduje velké rozsahy výběrů. To je v praxi neekonomické. Dále při malých podílech neshodných jednotek a nedostatečně rozsáhlých výběrech může být hodnota LCL záporná, což znemožňuje detekci významných zlepšení procesu. Dále hodnota UCL může vyjít menší než jedna neshodná jednotka, což znamená, že jedna neshodná jednotka ve výběru vede k signálu o nestabilitě procesu. Proces je pak považován za stabilní tehdy, když nejsou ve výběrech žádné neshodné jednotky. V tradičních diagramech (p) a (np) je statická stabilita posuzována až po kontrole celého výběru, což může u procesů s malým podílem neshodných jednotek způsobit to, že není včas odhalena náhlá změna procesu. Obdobně je tomu tak i při použití Shewhartových regulačních diagramů pro počet neshod ve výběru (c) a pro průměrný počet neshod na jednotku (u).

Pro procesy dosahující míru způsobilosti $c_p \geq 2$ s velmi malým podílem neshodných jednotek se používají regulační diagramy pracující s počtem shodných jednotek, regulační diagramy CCC, CCC-r, CUSUM-CCC a EWMA-CCC.

A) Regulační diagramy srovnáváním CCC pro procesy s $c_p \geq 2$

Regulační diagramy CCC (Cumulative Count of Conforming Items Chart = Diagram pro kumulativní počet shodných jednotek) pracuje s celkovým počtem shodných jednotek vyskytujících se mezi dvěma po sobě jdoucími jednotkami. Jde o náhodnou proměnnou řídící se geometrickým rozdělením a její střední hodnota odpovídá centrální přímce diagramu CCC.

Logika posouzení stability procesu je opačná než u Shewhartových regulačních diagramů. Jestliže jsou sledovány počty shodných jednotek a z diagramu se získá signál v podobě bodu ležícího nad horní regulační mezí UCL, předpokládá se zlepšení procesu. Bod ležící pod dolní regulační mezí LCL signalizuje pravděpodobné zhoršení procesu. Do diagramu CCC se vždy, když se zjistí neshodná jednotka, vynese aktuální hodnota kumulovaného počtu shodných jednotek a současně se vynuluje čítač shodných jednotek. Pro konstrukci

regulačního diagramu CCC je vhodné zvolit logaritmické měřítko, jak je vidět v diagramu 6.

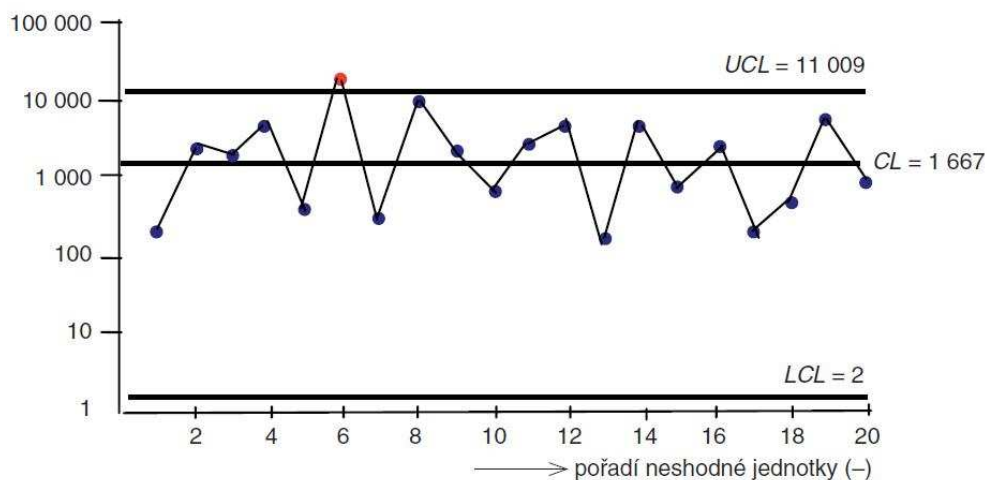


Diagram 6: Regulační diagram srovnáváním CCC [24]

B) Regulační diagramy srovnáváním CCC-r, CUSUM-CCC a EWMA-CCC pro procesy s $c_p \geq 2$

Regulační diagramy CCC-r (Cumulative Count of Conforming Items to r^{th} Nonconforming Item = Diagram pro kumulativní počet shodných jednotek do výskytu r -té neshodné jednotky) jsou zobecněním diagramu CCC. Regulační diagramy CCC-r pracují s kumulovaným počtem shodných jednotek zjištěných do výskytu r -té neshodné jednotky. Volbou parametru r se řídí účinnost a hospodárnost diagramu, přičemž doporučeny jsou hodnoty r od 2 do 5.

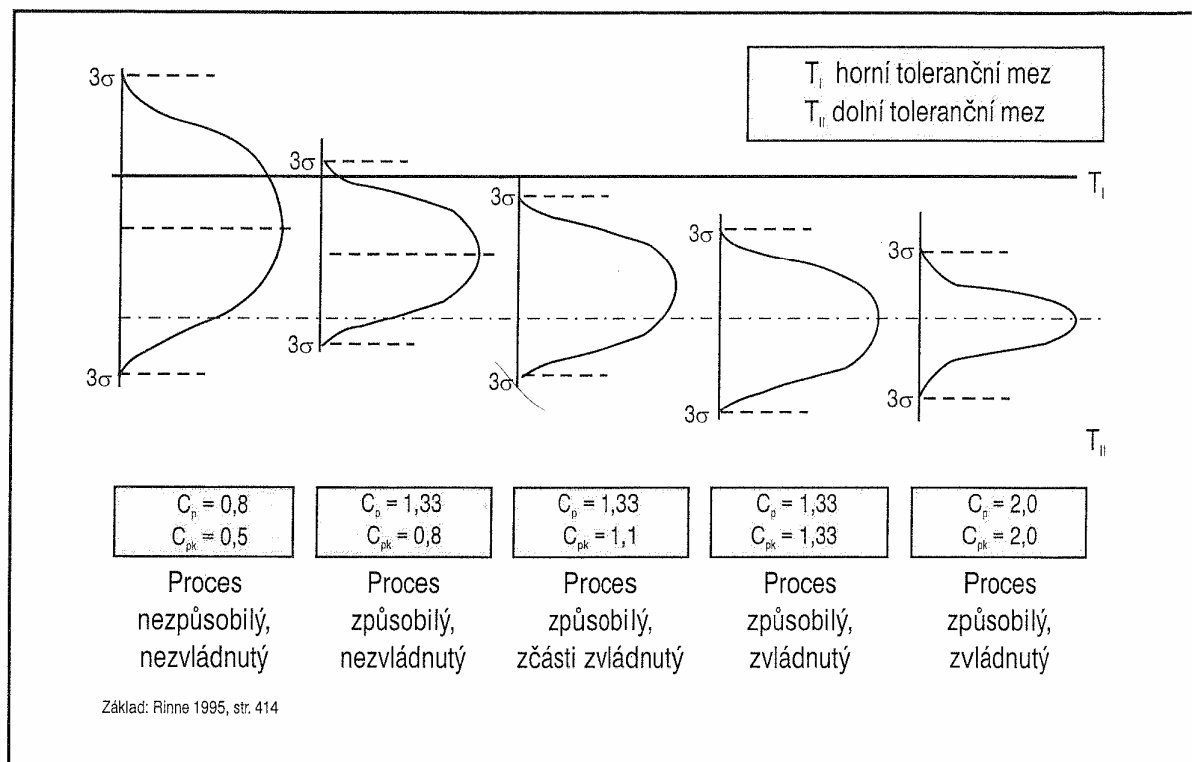
Myšlenka kumulovaných počtů shodných jednotek může být efektivně integrována do procedury CUSUM a EWMA. Diagramy CUSUM-CCC a EWMA-CCC jsou citlivější na změny procesu než původní diagramy CCC.

2.4.3.6 Určení způsobilosti procesu

2.4.3.6.1 Význam stanovování ukazatelů způsobilosti procesů

Pro každý podnikový proces je charakteristická určitá míra variability. Na každý proces působí řada rušivých vlivů, jejichž vlivem se hodnoty zvoleného znaku kvality odchylují od žádoucí jmenovité hodnoty. Způsobilost procesu lze hodnotit od okamžiku, kdy je proces statisticky zvládnutý a výkon procesu je tím předvídatelný. Proces je statisticky zvládnutý poté, co byly odstraněny tzv. zvláštní (vymezitelné) příčiny variability, které v procesu nepůsobí trvale a vyvolávají nečekané změny. Na rozdíl od náhodných příčin variability, jejichž vliv je zahrnut v procesu a má stabilní a

opakující se rozdělení v průběhu času [33]. Procesy různé úrovně statistického zvládnutí procesu a jeho způsobilosti viz obr. 12.



Obr.12: Toleranční oblast a ukazatel c_{pk} pro různé úrovně statistického zvládnutí procesu [27]

Způsobilost procesu v podstatě udává vztah mezi přirozeným kolísáním, které pramení z náhodných příčin variability a technickým zadáním. Hodnotí se podle ukazatelů způsobilosti procesu. Hodnoty ukazatelů způsobilosti procesu prakticky porovnávají předepsanou přípustnou variabilitu hodnot danou mezními hodnotami a skutečně dosahovanou variabilitou viz tabulka 1.

Ukazatelé způsobilosti v podstatě představují nejlepší výkon daného procesu pracujícího ve statisticky zvládnutém stavu. Ukazatele způsobilosti udávají jednotné, obecně srozumitelné měřítko, podle kterého může být porovnáván výkon jednotlivých procesů. Toto srovnání pak napomáhá v rozhodování o prioritách zvyšování efektivnosti nejslabších procesů. Dalším neméně důležitým významem ukazatelů způsobilosti je skutečnost, že během průběhu celého procesu je jednoznačně známa jeho způsobilost, tedy v jaké míře je schopen splňovat stanovené požadavky. Uvažuje-li se více kritických parametrů, způsobilost se hodnotí pro každý parametr samostatně.

Tabulka 1: Přehled dosahovaných ukazatelů způsobilosti v závislosti na variabilitě procesu [7]

Variabilita procesu	Charakteristika procesu	Hodnoty ukazatele způsobilosti c_{pk} [-] a σ [-]
Příliš velká	Obtížné dosáhnout splnění požadavků zákazníka	Nízké hodnoty $c_{pk} < 0,5$; $\sigma = \{0 \div 2,0\}$
Středně velká	Většina výstupů z procesu splňuje požadavky zákazníka	Střední hodnoty $c_{pk} = \{0,5 \div 1,2\}$; $\sigma = \{3,0 \div 5,0\}$
Velmi malá	Prakticky všechny výstupy z procesu splňují požadavky zákazníka	Vysoké hodnoty $c_{pk} > 1,5$; $\sigma \geq 6,0$

2.4.3.6.2 Vliv variability na kvalitu

Je zřejmé, že zvýšení kvality lze docílit snížením variability daného procesu, což v praxi znamená redukovat variabilitu okolo cílové ideální hodnoty odvozené od požadavků zákazníka. Při jakékoli odchylce kvality od požadované cílové hodnoty, tedy nikoliv až při překročení specifikovaných mezí, vznikají ztráty. Ať už se jedná o ztráty vzniklé vyššími náklady na opravy, či náklady na reklamace a ztrátu důvěry ze strany zákazníka. Naproti tomu i výrazně vyšší kvalita parametrů než je požadována zákazníkem, jež je zpravidla provázena vyššími výrobními náklady, s sebou přináší ztrátu. Přímá ztráta se ve výsledku může projevit nižším ziskem nebo vyšší finální cenou, která ve svém důsledku povede ke snížení tržní konkurenceschopnosti organizace [31].

Taguchiho ztrátová funkce je nástrojem pro stanovení optimálního poměru mezi náklady a mírou kvality s největším prospěchem pro organizaci. Bývá prezentována jako kvadratická závislost, kde s posunem parametrů od požadované hodnoty spojitě stoupá nespokojenost zákazníka. Vliv malých odchylek kvality není zásadní, nicméně následkem větších odchylek mohou být významné ztráty. Cílem zlepšování kvality procesů v rámci organizace je tyto ztráty minimalizovat.

Podle konkrétní situace se používá řada tvarů ztrátové funkce. K matematickému vyjádření kvadratické ztrátové funkce L se obvykle používá střední kvadratická

odchylka MSD, pomocí níž je vyjádřena variabilita okolo cílové hodnoty, a proporcionální konstanta k , která slouží ke konverzi MSD do peněžních jednotek.

Výpočet kvadratické ztrátové funkce L je dán vztahem [20]:

$$L = k \cdot \text{MSD} \text{ [€];}$$

střední kvadratická odchylka MSD je určena vztahem:

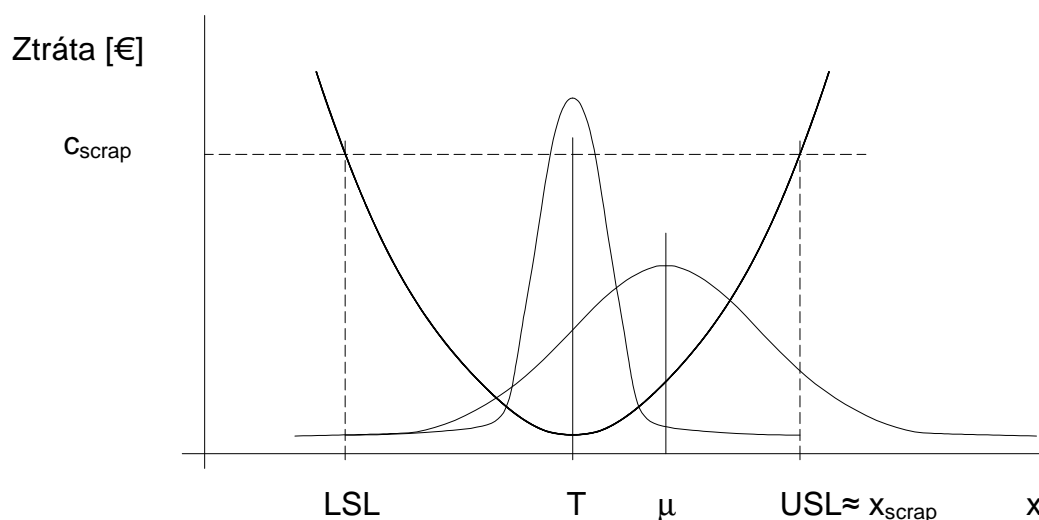
$$\text{MSD} = \sigma^2 + (\mu - T)^2 = \frac{\sum (x_i - T)^2}{n} \text{ [-]}, \text{ kde}$$

parametry σ a μ popisují skutečné chování procesu a T je cílová hodnota a x_i je charakteristická veličina sledovaného znaku procesu.

Konstanta k [€] se určuje podle konkrétního případu, kdy je možno vyjít např. z dřívějších dat o procesu nebo event. pokud jsou známy náklady spojené s vyřazením dané jednotky c_{scrap} a specifikační mez x_{scrap} , se počítá ze vztahu [20]:

$$k = \frac{c_{\text{scrap}}}{(x_{\text{scrap}} - T)^2} \text{ [€]}.$$

Na obr. 13 je znázorněno rozdělení ztrát plynoucích z nespokojenosti zákazníka, kdy osa y reprezentuje stupeň nespokojenosti zákazníka s parametry produktu vyjádřené v peněžních jednotkách a osa x představuje specifikační parametry produktu. Plná spokojenost se předpokládá, pokud parametry leží mezi specifikovanými limity. Pro srovnání, bylo-li by u daného procesu dosaženo zlepšení jeho úrovně na Six Sigma (s parametry procesu $\mu = T$; σ), poklesly by tyto ztráty znázorněné na obrázku přibližně desetinásobně.

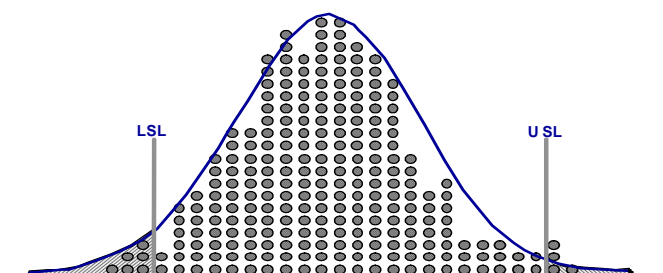


Obr. 13: Rozdělení ztrát plynoucích z nespokojenosti zákazníka [20]

2.4.3.6.3 Ukazatele způsobilosti procesů

Při výpočtu ukazatele způsobilosti se předpokládá normální rozdělení sledovaného znaku kvality. Tedy takové rozdělení, kde hodnoty, které se mohou vyskytovat nejčastěji, se nacházejí okolo střední hodnoty procesu a ostatní možné hodnoty jsou rozloženy symetricky v obou směrech od střední hodnoty. Plocha pod křivkou normálního rozdělení pak ve skutečnosti představuje 100% všech výstupů, které je proces schopen vyprodukovat. V případě normálního rozdělení pak výpočet ukazatelů způsobilosti představuje stanovení plochy pod křivkou normálního rozdělení, která je vně specifikačních mezí, viz obr.14.

Podle charakteru analyzovaného procesu je pro hodnocení jeho způsobilosti provedena volba vhodného ukazatele způsobilosti procesu. Pro výrobní procesy s pásovou výrobou rozlišované podle průběžného času a zohledněné průměrnou hodnotou a rozptylem je vhodné stanovit ukazatel způsobilosti c_{pk} . Oproti tomu pro diskrétní znaky kvality, jako je například počet neshod, je vhodné stanovovat ukazatel způsobilosti Sigma.



Obr. 14: Výskyt sledovaného znaku kvality u normálního rozdělení [7]

I. Ukazatel způsobilosti c_{pk}

Ukazatel způsobilosti c_{pk} lze počítat v případě, kdy jsou specifikovány obě mezní hodnoty, či jenom jedna ze specifikačních hodnot. Jeho hodnota zohledňuje umístění hodnot v tolerančním poli. Hodnota ukazatele způsobilosti c_{pk} tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané meze.

A) Kalkulace ukazatele způsobilosti c_{pk} při předepsané dolní mezní hodnotě LSL

$$c_{pkL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot s_{st}} [-]; \quad \bar{X} [-] \dots \text{střední hodnota};$$

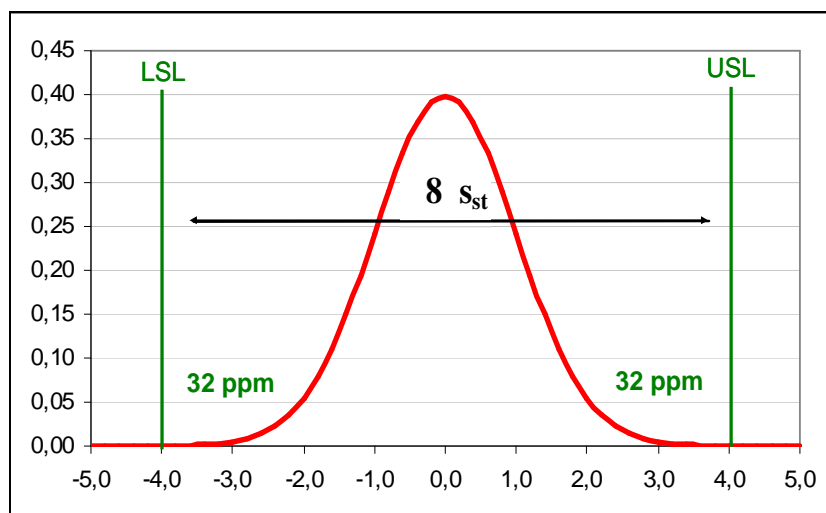
$s_{st} [-] \dots$ směrodatná odchylka charakterizující variabilitu

B) Kalkulace ukazatele způsobilosti c_{pk} při předepsané horní mezní hodnotě USL

$$c_{pkU} = \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot s_{st}} [-]; \quad \bar{X} [-] \dots \text{střední hodnota};$$

$s_{st} [-] \dots$ směrodatná odchylka charakterizující variabilitu

C) Kalkulace ukazatele způsobilosti c_{pk} při předepsaných obou mezních hodnotách USL a LSL



Obr. 15: Normální rozdělení pro způsobilý proces [33]

$$c_{pk} = \min \{ c_{pkL}, c_{pkU} \} [-] [33]$$

Pro způsobilý proces se vyžaduje, aby hodnoty ukazatele způsobilosti dosahovaly minimálně $c_{pk} \geq 1,33$, kdy rozdíl horních a dolních mezních hodnot UCL a LCL je:

$$USL - LSL = 8s_{st} (\cong \pm 4\sigma) - \text{viz obr.15.}$$

II. Ukazatel způsobilosti σ (Sigma)

Úroveň způsobilosti Sigma porovnává specifikované toleranční pásmo vymezené horním a dolním limitem s rozdělením hodnot parametru dosahovaného hodnoceným procesem. Úroveň způsobilosti Sigma je dána počtem směrodatných odchylek od cílové hodnoty ke specifikovaným limitům. U procesu s úrovní způsobilosti 6σ je dosaženo toho, že toleranční pole obsáhne dvanáct směrodatných odchylek kritického parametru dosahovaných procesem.

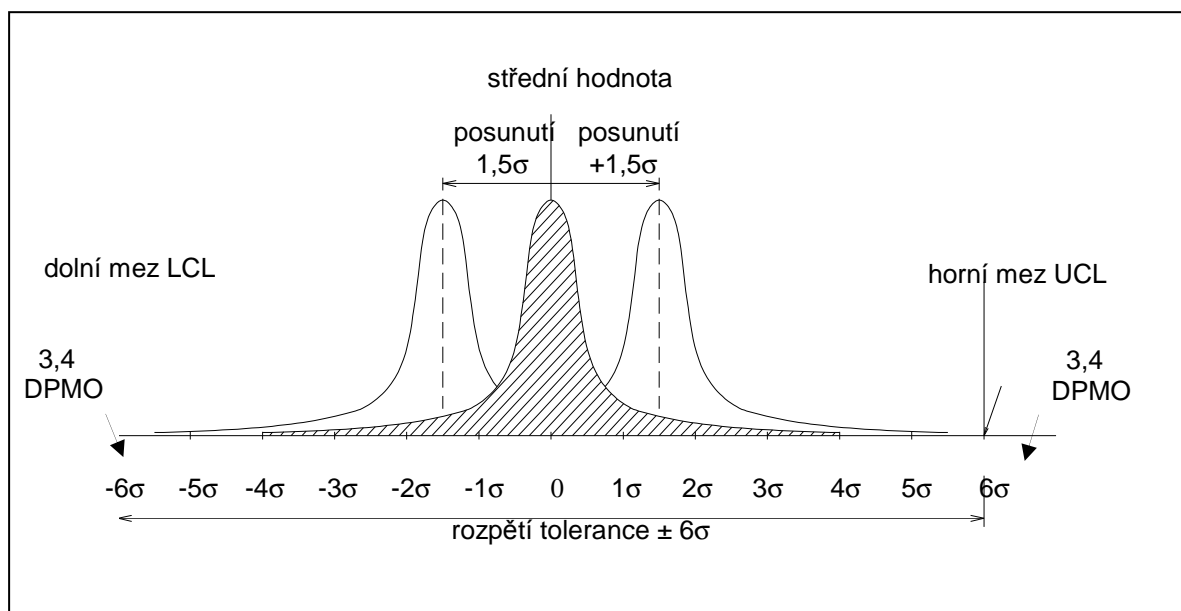
Výhodnou vlastností ukazatele způsobilosti procesu σ je zaměření především na defekty vyskytující se v procesu, konkrétně na jejich možné snížení. Což významně

podporuje úspěšnou realizaci strategie každé organizace, jejímž cílem je splnění požadavků zákazníka.

Stanovení ukazatele σ staví na základních informacích o procesu a specifikačních mezích. Vyžaduje-li proces zvýšit hodnotu ukazatele σ , je potřeba exponenciální snížení počtu vyskytujících se defektů. Vyjádření způsobilosti procesu pomocí ukazatele σ je mnohem citlivější a jednoznačnější než procentuální vyjádření počtu defektů.

Ukazatel σ vyjadřuje způsobilost procesu vzhledem ke specifikačním mezím. V praxi je proces rozdělen do dílčích kroků a vypočítává se výkonnost každého kroku. Z dílčích výsledků lze pak určit celkovou hodnotu ukazatele způsobilosti σ .

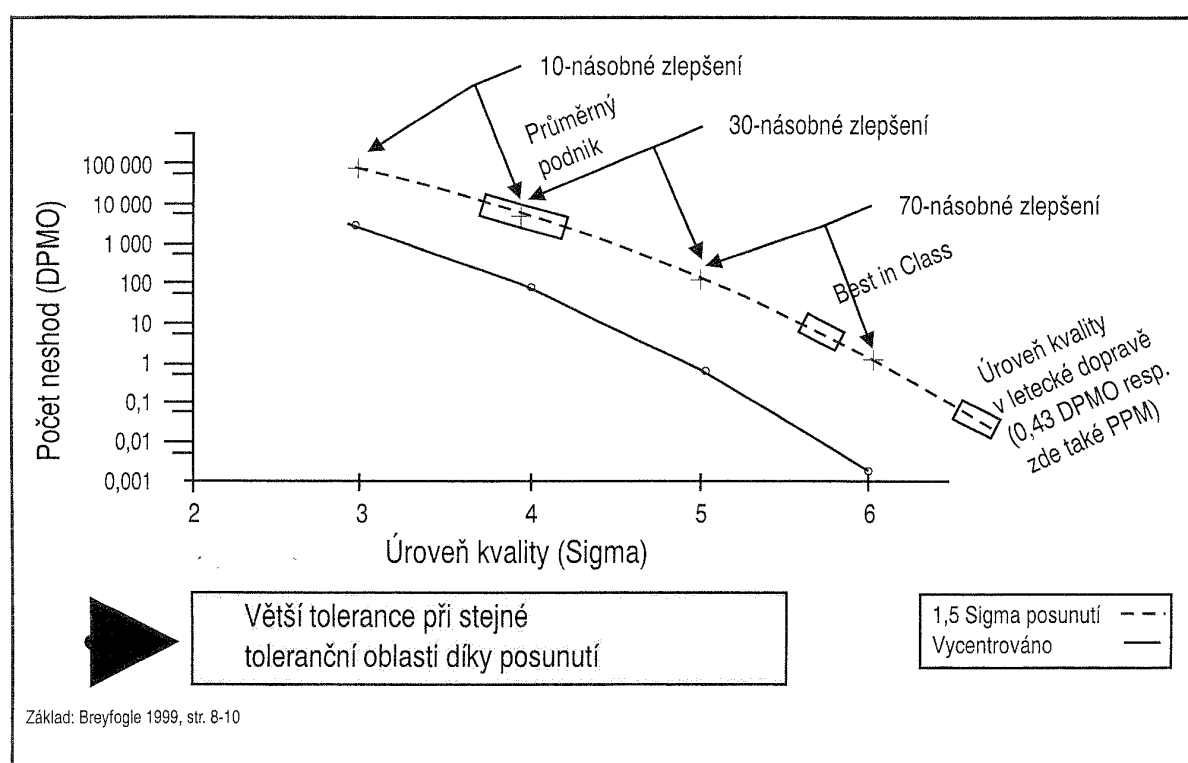
Data pocházející z dlouhodobé analýzy způsobilosti vykazují skutečnost, že jejich variabilita je větší než u dat získaných z krátkodobé analýzy dat. Jinými slovy, krátkodobá hodnota způsobilosti procesu bude vyšší, než u hodnoty dlouhodobé. Koncept 6σ z hlediska dlouhodobé dynamické variability uvažuje možné posunutí střední hodnoty dosahované procesem až o $\pm 1,5\sigma$ oproti cílové hodnotě. Je-li střední hodnota kritického parametru posunuta o $1,5\sigma$ od cílové hodnoty, zůstává určitá bezpečnostní zóna široká $4,5\sigma$, což zaručuje, že může vzniknout maximálně 3,4 ppm defektů viz obr. 16 [6].



Obr. 16: Koncept způsobilosti Six Sigma [6]

Je-li prokazována způsobilost procesu za využití ukazatelů σ , je zpravidla stanovena hodnota tzv. procesního σ . Při stanovování hodnoty procesního σ pocházejí zdrojová data z dlouhodobé dynamické variability a k vypočtené hodnotě ukazatele způsobilosti σ je připočtena hodnota posunu 1,5 [6].

Procesy vyznačující se hodnotou ukazatele způsobilosti procesu menší než 3 Sigma jsou provázeny nejen nižšími výnosy, ale zpravidla i nižší statistickou analytickou úrovní. Pomocí kontrolní statistiky ve smyslu SPC stupnic a s analytickými nástroji lze cíleně dosáhnout až úrovně kvality 5 Sigma a více, viz obr. 17 [7].



Obr. 17: Počet neshod vztažený k úrovni kvality Sigma

Z obrázku je patrné, jak významně se každé zvýšení úrovně Sigma, byť jen o jednu úroveň, odrazí na snížení počtu neshod (vyjádřených v obrázku počet neshod na milion příležitostí DPMO ve smyslu chybných možností), které analyzovaný proces produkuje. Zlepšení úrovně způsobilosti procesu Sigma je na obrázku 17 znázorněno jak z hlediska krátkodobé dynamické variability, kdy je proces vycentrován a vykazuje vyšší hodnoty úrovně způsobilosti Sigma, tak z hlediska dlouhodobé dynamické variability uvažující možné posunutí střední hodnoty dosahované procesem až o $\pm 1,5\sigma$ oproti cílové hodnotě, kdy zůstává určitá bezpečnostní zóna (tolerance) široká $4,5\sigma$.

2.4.3.6.4 Vyšetřování ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma)

Pro vyšetřování ukazatelů způsobilosti procesu lze prakticky využívat dva přístupy [3].

A) Příklad, kdy jsou již známy první výstupy o výkonu procesu

Tedy je třeba si položit otázku, do jaké míry výkon procesu splnil požadavky dané specifikací. Při využití tohoto přístupu je kladen důraz na kvalitní a spolehlivý systém měření a získávání dat o procesu. Smyslem využití tohoto přístupu je skutečnost, že lze takto určit, zda daný proces splňuje či nesplňuje kladené požadavky.

B) Příklad, kdy je potřeba určit, zda proces v budoucnu splní stanovené požadavky

Při využití druhého přístupu je kladen důraz na co nejpřesnější posouzení výkonu procesu v budoucnu a zpravidla nezbytnou součástí jsou záznamy o stabilitě daného procesu. Nicméně u obou výše zmíněných přístupů je vždy porovnáván výkon procesu se specifikačními mezními hodnotami, ať už pro současný stav procesu či pro výkon procesu v budoucnu.

Pro výpočet procesního σ lze obecně využít dvou zavedených metod.

A) Vyhledání procesního σ v tabulce procesního Sigma

Při stanovení ukazatele způsobilosti σ se využívá tzv. tabulka procesního Sigma, kde se podle velikosti pravděpodobnosti výskytu sledovaného znaku kvality (uvažováno normální rozdělení pravděpodobnosti) vyhledá hodnota procesního σ , viz tabulka 2.

Pravděpodobnost výskytu P se vypočte dle následujícího vzorce [7]:

$$P = \left(1 - \frac{D}{N} \cdot O\right) [\%] \rightarrow P [\%] \approx \text{procesní } \sigma [-]$$

D [-]... počet zjištěných defektů

N [-]... počet zkoumaných jednotek

O [-]... počet příležitostí defektu na jednotku

Tabulka 2: Úryvek z tabulky procesního Sigma [7]

Variabilita procesu	Pravděpodobnost výskytu znaku kvality P [%]	ppm [-] (počet neshod na 1 milion příležitostí)	Hodnota procesního σ (Sigma) [-]	Způsobilost procesu
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">snižuje se</div> <div style="margin-left: 10px;"> </div> </div>	.	.	.	Proces není způsobilý
	98	22 750	3,5	
	99	6 210	4	
	99,87	1 350	4,5	Proces blízky způsobilosti
	99,977	233	5	
	99,9968	32	5,5	Proces je způsobilý
	99,9997	3,4	6	

Tato metoda se využívá pro nespojitá data a je spolehlivá pouze tehdy, je-li zajištěno dostatečně velké množství jednotek, jak bezchybných, tak jednotek obsahující defekty (min.5). Není-li tato podmínka splněna, je nutno použít druhou metodu, ev. zajistit větší počet zkoumaných jednotek.

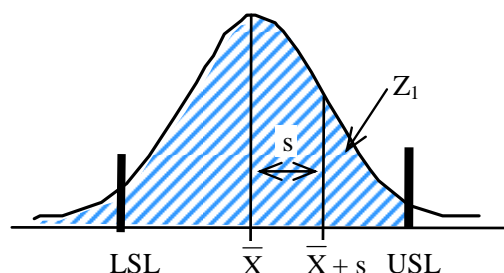
B) Vyhledání v normované tabulce normálního rozdělení

Tato metoda je spolehlivá především pro spojitá (kontinuální) data s normálním rozdělením. Hodnota procesního σ není vztažena k aktuální pravděpodobnosti výskytu sledovaného jevu, ale na odhadované pravděpodobnosti pod křivkou normálního rozdělení.

Postup při vyšetřování procesního σ je shrnut do následujících 3 kroků:

1. Výpočet střední hodnoty \bar{X} a směrodatné odchylky s a zanesení hodnoty USL na křivku normálního rozdělení, ev. hodnotu LSL, je-li předepsána [7] a [15], viz obr. 18.

\bar{X} [-] střední hodnota;
 s [-] směrodatná odchylka;
 USL [-] ... horní specifikační mez;
 LSL [-] ... dolní specifikační mez



Obr.18: Umístění referenčních hodnot normálního rozdělení [7]

2. Výpočet plochy Z_1 pod mezí USL, event. plochy Z_2 pod mezí LSL, je-li předepsána mezní hodnota LSL [7]

$$Z_1 = \frac{USL - \bar{X}}{s} \quad [-] \rightarrow \text{v tabulkách distribuční funkce normálního rozdělení se}$$

vyhledá odpovídající podíl výskytu jednotek p [-]. Tabulky distribuční funkce normálního rozdělení viz Příloha 1

$$Z_2 = \frac{LSL - \bar{X}}{s} \quad [-] \rightarrow \text{v tabulkách distribuční funkce normálního rozdělení se}$$

vyhledá odpovídající podíl výskytu jednotek p [-]. Tabulky distribuční funkce normálního rozdělení viz Příloha 1.

3. Výpočet pravděpodobnosti výskytu P a vyhledání hodnoty procesního σ v tabulce procesního Sigma viz Příloha 2.

$$P = (p_1 - p_2) \cdot 100 [\%] \rightarrow P [\%] \approx \text{procesní } \sigma [-]$$

Hodnoty ukazatelů způsobilosti se dají mezi sebou vzájemně převádět, viz tabulka 3.

Tabulka 3: Vztah mezi ukazateli způsobilosti σ a c_{pk} , tzv. „převodní tabulka Six Sigma“ [7]

Ukazatel dlouhodobé způsobilosti σ [-]	Ukazatel způsobilosti procesního σ [-]	Ukazatel způsobilosti c_{pk} [-]	Způsobilost procesu
0	1,5	0	Proces není způsobilý
0,5	2,0	0,17	
1,0	2,5	0,33	
1,5	3,0	0,50	
2,0	3,5	0,67	
2,5	4,0	0,83	
3,0	4,5	1,00	Proces blízký způsobilosti
3,5	5,0	1,17	
4,0	5,5	1,33	Proces je způsobilý
4,5	6,0	1,5	

2.4.4 Fáze „Zlepšování“ (Improve)

Fáze zlepšování zahrnuje postup známý jako „Návrh pro Six Sigma“, při kterém je analyzovaný proces upraven tak, aby byl schopen dosahovat kvalitu na úrovni Six Sigma. Podstatou fáze zlepšování je tedy prosadit a uskutečnit změny, které povedou ke zlepšení kvality ve směrech získaných v předešlé fázi analýzy. Cílem fáze zlepšování je:

- generování myšlenek, jak zlepšit proces
- návrh pilotního zlepšení

Při formulaci projektu zlepšování je hlavní úsilí napřeno na hledání nejvýhodnějších řešení k implementaci zlepšení. Stěžejní snahou je nalézt vhodnou metodu, či způsob, jak dosáhnout vytyčeného cíle snížení nákladů na nízkou kvalitu během realizace projektu za co nejnižších nezbytně nutně vynaložených nákladů a za co nejmenších operačních zásahů do průběhu konkrétního procesu. A dále naleznout způsob, kterým vybrané řešení předem otestovat, než bude plně implementováno.

Vypracovaný plán k dosažení vytyčených cílů musí obsahovat jasný popis navrhovaného zlepšení a vhodné odůvodnění doporučeného řešení. Po vypracování plánu je důležitou etapou jeho otestování v praxi, neboli získat data dosažených výsledků z nově realizovaného projektu (zakázky) po implementaci nového zlepšení. Z následného vyhodnocení výsledků po uvedení plánu zlepšení do praxe pak vyplývá, jaký byl dopad uskutečněných změn poté, co začaly změny působit.

2.4.4.1 Metoda FMEA

Metoda FMEA, neboli „Analýza vzniku možných vad a následků“ (Failure Mode and Effects Analysis), je vhodný nástroj pro zabránění, případně zmírnění rizik, která mohou vzniknout ve všech fázích realizace projektu a její použití je rovněž doporučováno souborem norem ISO 9000. Smyslem metody je optimalizovat průběh procesů v průběhu realizace projektu. Metoda FMEA je tedy vlastně přístup, jak velmi rychle identifikovat místa, kde se v procesu může vyskytnout, resp. vyskytla, neshoda (vada), dále metoda FMEA umožňuje odhadnout, priorizovat a ohodnotit rizika těchto neshod (vad). Metoda FMEA je cílena na prevenci vzniku neshody, či umožňuje zacílit sběr dat na takové vstupní proměnné a proměnné procesu, které jsou pro proces klíčové a umožňuje tím žádané zlepšení výkonnosti procesu [9].

Metoda FMEA je použita především pro následující činnosti:

- Optimalizaci konkrétního průběhu procesu realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení vedoucí ke zlepšení výkonnosti, kvality, návratnosti a bezpečnosti
- Analýzu možných nastalých lidských chyb

Hlavní přínosy metody FMEA pro snížení nákladů na nízkou kvalitu během procesu realizace projektů jsou:

- Představuje systémový přístup k prevenci vzniku nízké kvality
- Snižuje ztráty vyvolané nízkou kvalitou produktu, přičemž náklady vynaložené na provedení metody FMEA jsou jen zlomkem nákladů, které by mohly vzniknout při výskytu neshod
- Podporuje účelné využívání zdrojů
- Umožňuje identifikovat klíčové vstupy a proměnné procesu, které mají vliv na kvalitu výstupních hodnot a formulovat vazby mezi proměnnými procesu
- Umožňuje ohodnotit riziko možných neshod a na jeho základě stanovit priority opatření vedoucí ke zlepšení kvality
- Vytváří cennou informační databázi o procesu, event. o vlastním produktu, využitelnou pro podobné projekty a je vodítkem ve sběru dat
- Napomáhá zvýšit spokojenost zákazníka

Každá analýza FMEA probíhá ve čtyřech etapách:

1. analýza současného stavu
2. hodnocení současného stavu
3. návrh preventivních opatření
4. hodnocení stavu po provedení preventivních opatření

2.4.4.2 Stanovení ukazatele míry a priority rizika RPN

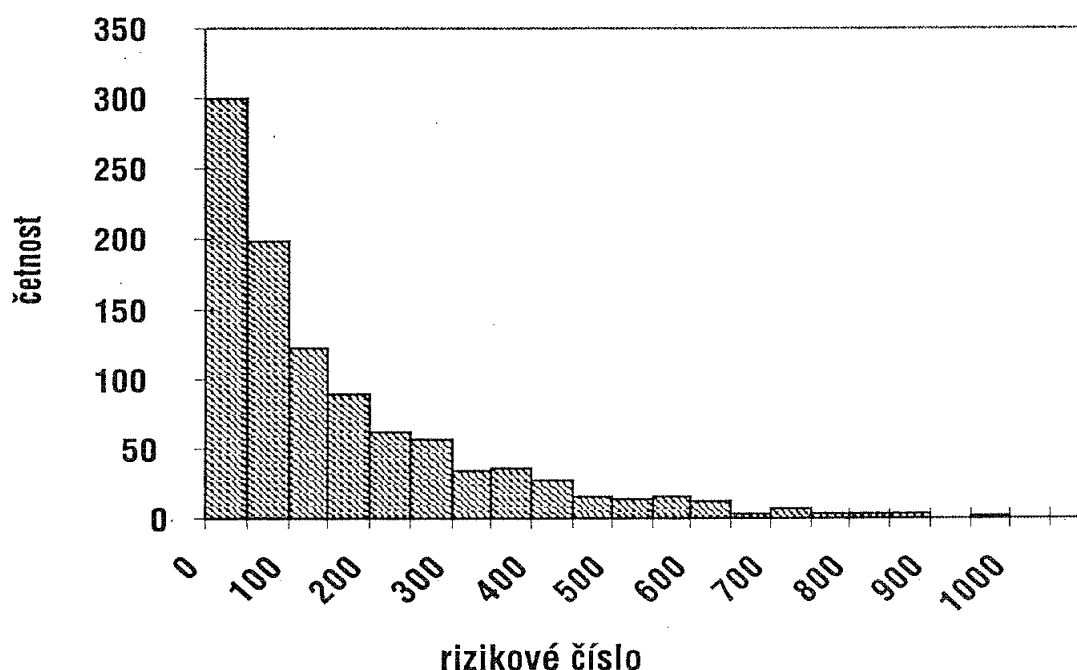
Ukazatel míry a priority rizika RPN (Risk Priority Number) je mírou celkového rizika u každé možné vady a je funkcí všech tří kritérií Vz, Vy a Od a vypočte se podle následujícího vzorce [9]:

$$RPN = V_z \cdot V_y \cdot O_d \quad [-]$$

Pomocí ukazatele RPN lze porovnávat různé vady. Platí, čím vyšší je hodnota ukazatele RPN, tím naléhavější je potřeba nápravy. Obvykle se v odborné literatuře udávají hodnoty míry naléhavosti [9]:

- Vysoká priorita, RPN = 501 – 1000 [-]
- Střední priorita, RPN = 100 – 500 [-]
- Nízká priorita, RPN = 1 – 99 [-]

Charakter rozdělení hodnot rizikových čísel RPN získaných ze všech možných kombinací hodnocení viz Obr. 19. Často používaná hodnota RPN je hodnota RPN = 125 [-], která odpovídá průměrnému hodnocení všech dílčích kritérií. Kritickou hodnotu je třeba stanovovat po racionálním zvážení všech okolností každého konkrétního procesu, především možných vlivů na spolehlivost a bezpečnost a na náklady na neshodu.



Obr. 19: Charakter rozdělení hodnot rizikových čísel získaných ze všech možných kombinací hodnocení

2.4.4.3 Návrh opatření k nápravě a provedení optimalizace průběhu procesu realizace s ohledem na vznik kolizí zařízení

Opatření k nápravě představuje opatření realizované k odstranění příčiny zjištěných neshod. Návrh opatření zahrnuje hodnocení závažnosti problémů a provádí se z hlediska možného vlivu především na náklady na neshodu, spolehlivost, bezpečnost a v neposlední řadě na spokojenost zákazníků a jiných zainteresovaných stran.

K tomu, aby bylo možno provést optimalizaci, je nutno zhodnotit přijatelnost rizika a stanovit hranice přijatelnosti rizika. Při tom jsou brány v úvahu nejen faktory sociálně-ekonomické, ale i případné vlivy na životní prostředí a další.

Poté jsou všechna rizika rozdělena na přijatelná a nepřijatelná. Při optimalizaci se rozhoduje, zda dojde ke:

- Změně koncepce pro vyloučení příčiny problému, popř. redukci významu problému
- Zvýšení spolehlivosti koncepce pro minimalizace pravděpodobnosti výskytu příčiny problému
- Účinnému odhalení příčiny vady

V této fázi analýzy FMEA se posuzuje každý ukazatel RPN a pro nejvyšší hodnoty ukazatele RPN jsou navržena odpovídající přiměřená nápravná opatření, naopak pro hodnoty ukazatele menší než 50 se zpravidla nápravná opatření nepřijímají. Přičemž přednost je většinou dávána nápravným opatřením, která snižují pravděpodobnost výskytu vad.

Posouzení důležitosti navrhovaných nápravných opatření zpravidla probíhá v pořadí:

1. Odstranění příčiny vady
2. Omezení výskytu vady
3. Snížení důsledků vady
4. Usnadnění odstranění vady

Při provádění optimalizace dle výše uvedených kroků se hledá optimum mezi výdaji na krytí ztrát a náklady na opatření ke snížení rizika.

2.4.5 Fáze „Řízení“ (Control)

Ve fázi řízení (etapa 5 – 8 v procesu zlepšování viz obr. 5) se neustálým monitorováním procesu prokazuje, že detekované problémy z předešlých fází se již nevyskytují. Účelem této fáze je ve skutečnosti získávání a sledování výsledků předešlé fáze zlepšování. Výstupem z fáze řízení je:

- očekávání zákazníka ohledně produktu
- ustanovení, jaké provést nápravné akce

2.5 Skladba a výše nákladů na nízkou kvalitu

Skladba a výše nákladů na nízkou kvalitu se především sleduje u nákladů na prevenci neboli zamezení chyb vznikajících během procesu, dále u nákladů na kontrolu a hodnocení, rovněž i u nákladů na externí a interní neshody, tedy na neshody a vady způsobené jednak realizací vlastních činností v rámci organizace, tak činnostmi jednotlivých subdodavatelů a v neposlední řadě i u nákladů na ztrátu příležitosti (ztráta zákazníků) vlivem nízké kvality. U organizace s průměrnou úrovní Sigma od 3,8 - 4 [-] činí náklady na nízkou kvalitu zhruba 15-25% obratu a náklady na nápravu defektů tvoří až 30% celkových nákladů na nízkou kvalitu.

Systematicky provedené analýzy těchto nákladů ukazují, že zhruba 90% těchto celkových nákladů na nízkou kvalitu tvoří zkoušení, kontroly, porovnávání a chyby. Pouze 10% se vynakládá na prevenci a předcházení chybám. Náklady tak často představují až 10% celkové ceny zakázky. Vztah mezi počtem neshod na milion příležitostí (ppm) a náklady na nízkou kvalitu je uveden v tabulce 4 [10].

Tabulka 4: Vztah mezi úrovní neshod a náklady na nízkou kvalitu [10]

Výše nákladů na nízkou kvalitu		
Úroveň Sigma	Počet neshod na milion příležitostí ve smyslu chybných možností (DPMO)	Náklady na nízkou kvalitu
2	308 537 (konkurence neschopná organizace)	Nepříjemné
3	66 807	25-40% z prodejní ceny
4	6 210 (průměrná organizace)	15-25% z prodejní ceny
5	233	5-10% z prodejní ceny
6	3,4 (světová špička)	<1% z prodejní ceny
Každý posun o úroveň Sigma znamená zvýšení čistého příjmu cca o 10%		

3 Cíl disertační práce

3.1 Stanovení cíle

Cílem disertační práce je navrhnout obecně platnou metodiku snížení nákladů na nízkou kvalitu vznikajících během procesu realizace projektů, kterou bude možno s úspěchem aplikovat v širokém rozsahu oblastí strojírenského odvětví.

Při vypracování této metodiky využiji vhodné metody vědeckého zkoumání, a to jak k metody empirické, tak i metody logické, přičemž tyto metody se budou vzájemně doplňovat. Metody empirické budou realizovány vhodnými formami pozorování a měření. U metod logických se jedná především o využití trojice tzv. párových metod abstrakce/konkretizace, analýza/syntéza a indukce/dedukce.

Obecně platná metodika snížení nákladů na nízkou kvalitu v rámci této disertační práce bude vypracována prostřednictvím aplikace "Projektu Zlepšování" progresivní filozofie Six Sigma na konkrétní procesy realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení. Vypracování této metodiky bylo vyvoláno konkrétními potřebami řešení problematiky nákladů na nízkou kvalitu vznikajících během procesu realizace projektů ve strojírenském podniku Alstom Power, s.r.o.

V rámci vytvoření metodiky budu z mnoha matematicko-statistických metod využívaných v oblasti řízení kvality vybírat pro problematiku snížení nákladů na nízkou kvalitu takové metody a postupy, které se prokáží jako nejvhodnější pro charakter dané problematiky. Při vypracovávání metodiky využiji nejen poznatky z odborné literatury, ale rovněž poznatky získané z vlastní odborné praxe ve strojírenském podniku Alstom Power, s.r.o.

V rámci metodiky budou podrobně definovány jednotlivé klíčové dílčí procesy a provedeno ohodnocení jejich efektivnosti a výkonnosti. Pro „nejslabší“ identifikované procesy bude provedena detailní analýza příčin a důsledků působení negativních faktorů vyvolávajících množství neshod a vad během realizace projektu a způsobujících značný objem ztrát materiálních a lidských zdrojů. Poznatky získané analytickým přístupem budou syntézou spojeny tak, aby vznikl ucelený model stavu zkoumané problematiky, který je základem k přijímání opatření zlepšování.

Dále budou navržena vhodná nezbytná opatření k nápravě a opatření k předcházení opakovaného vzniku detekovaných neshod a vad. Následně bude pomocí kontrolního měření na realizovaném projektu zjišťována účinnost navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu a ohodnocen její dopad na efektivnost a výkonnost klíčových procesů.

To vše s cílem co nejvíce eliminovat množství vlastních i nevlastních nákladů na nízkou kvalitu, které projekty nákladově nejvíce zatěžují, a v neposlední řadě s cílem dosáhnout vyšší spokojenosti zákazníka s kvalitou dodávek a služeb u budoucích realizovaných projektů z rozsáhlé oblasti strojírenského průmyslu. Očekávané cílové zlepšení oproti současnému stavu jsou uvedeny v tabulce 5.

Závěrem bude proveden návrh, kterým směrem by bylo vhodné upřít další pozornost a úsilí, aby bylo prostřednictvím neustálého kontinuálního zlepšování procesů realizovaných nejen v energetických oborech, ale v mnoha dalších oblastech strojírenského odvětví, dosaženo maximálního uspokojení požadavků zákazníků a posílena konkurenceschopnost organizace.

3.2 Formulace pracovní hypotézy

Ze současného stavu poznání při řešení dané problematiky snižování nákladů na nízkou kvalitu vyvolanými nastalými neshodami během realizace projektů ve strojírenských oborech jsem metodou indukce vyvodila svoji pracovní hypotézu. Tato hypotéza bude sloužit pro zodpovězení otázek, proč k těmto neshodám dochází, jaké jsou nejzávažnější příčiny jejich vzniku. Metodou dedukce budu testovat platnost této hypotézy za pomoci dalších vhodných metod vědeckého zkoumání. Přičemž hypotéza bude formulována tak, aby byla obecně platná i při libovolné změně parametrů vstupujících do zkoumaného problému.

Formulace pracovní hypotézy zní, že zvýšením úrovně sigma procesů v rámci organizace eliminací vzniku neshod v průběhu procesu realizace projektů se dosáhne razantních úspor finančních nákladů na nízkou kvalitu a tyto uspořené výdaje přejdou do zisku organizace. Přičemž za nejzávažnější z nastalých neshod během realizace projektu, které s sebou přinášejí nemalá rizika a které mohou ohrozit vlastní realizaci projektu s ohledem na dokončení díla a jeho předání finálnímu zákazníkovi, považuji neshody týkající se kvality hmotných dodávek a termínů plnění časových milníků stanovených smlouvami.

Tabulka 5: Očekávané cílové výsledky

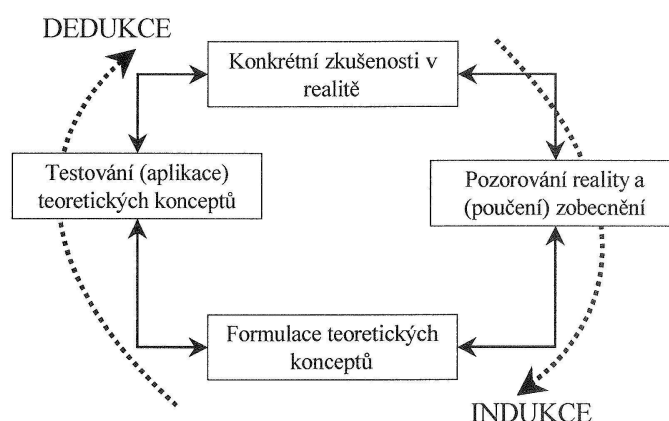
Definice cílů	Očekávané dosažené cílové hodnoty zlepšení
Zvýšení dílčího výnosu, neboli efektivnosti a produktivity u identifikovaných „nejslabších“ klíčových podnikových procesů během realizace zakázky:	$\geq 93,3\%$ (Tato hodnota \approx úrovni způsobilosti procesu 3 Sigma)
Zvýšení ukazatelů způsobilosti Sigma u identifikovaných „nejslabších“ klíčových dílčích podnikových procesů:	min. o jednu úroveň Sigma oproti současnému stavu
Snížení nákladů na nízkou kvalitu vzhledem k celkové kontraktační ceně projektu	$\leq 3\%$
Úspora zdrojů, čili zvýšení hospodárnosti podnikových procesů (projevující se především zvýšením návratnosti investic) vzhledem k celkové kontraktační ceně projektu	$(10\div 20)\%$ oproti současnému stavu
Zvýšení spokojenosti zákazníka vzhledem k počtu obdržených stížností a reklamací	$\geq 98\%$

4 Metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu v energetice

4.1 Formulace předmětu zkoumané problematiky

Přes všechnu snahu o provedení díla v požadované kvalitě a čase se v každé organizaci při pravidelném vyhodnocování již realizovaných projektů a zvláště pak při provádění jejich ekonomického rozboru zjišťuje, že během realizace projektů dochází k neustálému výskytu vlastních neshod (interních vad) a nevlastních neshod (vadných nakupovaných dodávek a služeb od subdodavatelů), které následně vyvolávají poměrně vysoké finanční náklady a mnohdy vedou i k celkovému finančnímu propadu zakázky. Výdaje na interní vady jsou výdaje vznikající uvnitř organizace (neshody způsobené vlastní činností) v důsledku vad při plnění požadavků na kvalitu a požadavků stanovených legislativou. Je zřejmé, že jakákoli výše uvedená neshoda s sebou přináší nemalá rizika, která mohou ohrozit vlastní realizaci projektu z pohledu kvality a termínů dokončení díla. Tato rizika mohou vyvolat negativní reakci finálního zákazníka ve formě stížností a penále, v krajním případě mohou vést ke ztrátě důvěry zákazníka a oslabení pozice organizace na trhu.

Prvním krokem v rámci vytvoření metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu, které vznikají během procesu realizace projektů ve strojírenském odvětví, je objektivní zhodnocení situace. Pomocí vhodných metod vědeckého zkoumání je třeba zjistit, jaká je úroveň kvality podnikových procesů, tedy kolik neshod na milion příležitostí (ppm) a v jaké skladbě v těchto procesech vzniká a kolik nákladů jde na vrub nízké kvality viz schematické znázornění postupu na obr. 20: Kolbův diagram [22].



Obr.20: Kolbův diagram [21]

Na základě výsledků provedené analýzy skladby a výše těchto neshod, které vznikly během realizace projektů v oblasti energetiky, budou v rámci vytvoření metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu, navržena a u dalších projektů aplikována opatření k nápravě. Ze závěru z následně vyhotovené analýzy účinnosti a efektivnosti výsledků opatření k nápravě by pak mělo jednoznačně vyplynout potvrzení méj pracovní hypotézy formulované v kapitole 3.2, s pozitivním dopadem na finálního zákazníka. Hlavním přínosem eliminace vlastních a nevlastních neshod během realizace projektu v rámci organizace je pro finálního zákazníka obdržení zrealizovaného díla v požadovaném čase a kvalitě, včetně včasného odstranění všech vad a nedodělků.

V rámci vytvoření metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektů v oblasti energetiky jsou analýze podrobeny celkem čtyři klíčové projekty, které společnost ALSTOM realizovala ve letech 2000 – 2004. Přehled realizovaných projektů viz tabulka 6 a diagram 7. Předmětem těchto projektů byla především realizace rekonstrukcí, oprav a modernizací parních turbín, kotlů, tlakových systémů a příslušenství pro energetiku a teplárenství, zahrnující:

- vypracování kompletní nabídkové, projektové, konstrukční, výrobní a realizační technické dokumentace, řízení projektů
- nákup subdodávek – komponent a materiálů
- výrobu komponent a dílů
- najíždění soustrojí včetně příslušenství
- montážní a ostatní realizační činnosti u zákazníka v místě stavby
- technická měření, diagnostika, garanční a ověřovací zkoušky
- školení zákazníků a technická pomoc
- dodávky náhradních dílů, údržba a pozáruční servis

Tabulka 6: Přehled realizovaných projektů v letech 2000 - 2004

Projekt	A	B	C	D	Σ [Kč]
Kontraktační cena [Kč]	1 500 000	5 500 000	12 000 000	21 000 000	40 000 000
Náklady na nízkou kvalitu (NCR) [Kč]	30 300	221 200	498 000	1 018 500	1 768 000
Náklady na nízkou kvalitu (NCR) [%]	2,02	4,02	4,15	4,85	4,42

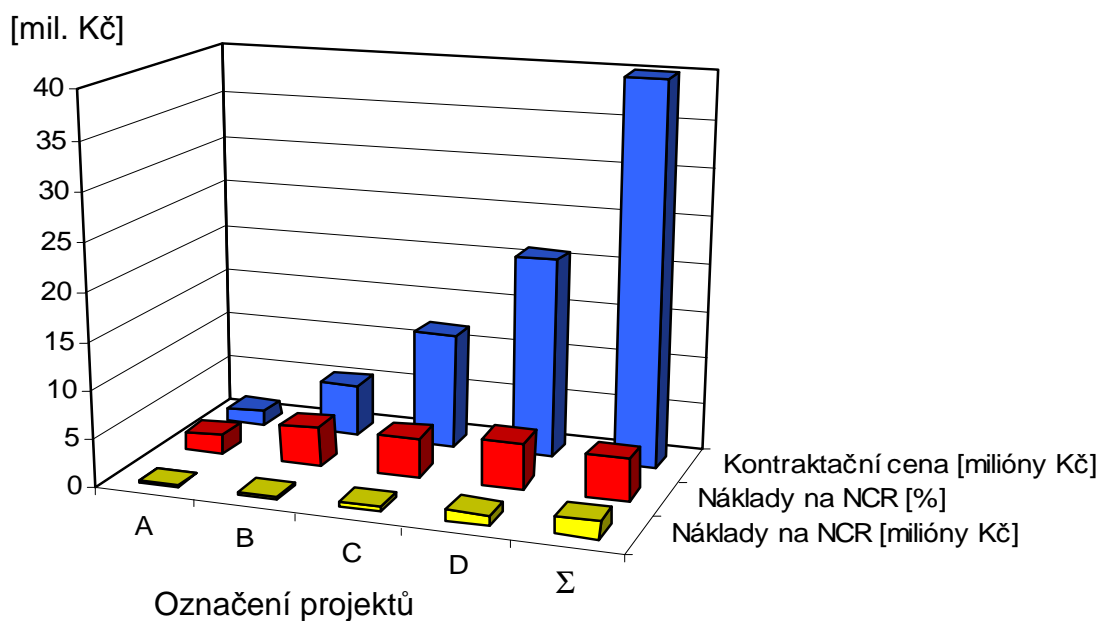
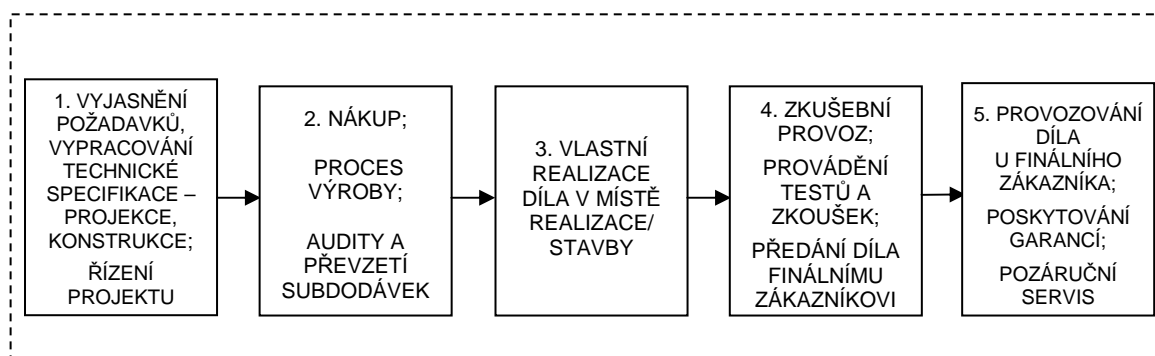


Diagram 7: Statistika projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení realizovaných 2000 – 2004

4.1.1 Definice klíčových procesů

Pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení bylo v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu definováno pět klíčových dílčích procesů viz obr. 21, na které bude orientována prvořadá pozornost z hlediska jejich řízení a zlepšování výkonnosti.



Obr. 21: Definice klíčových procesů hlavního procesu realizace projektu

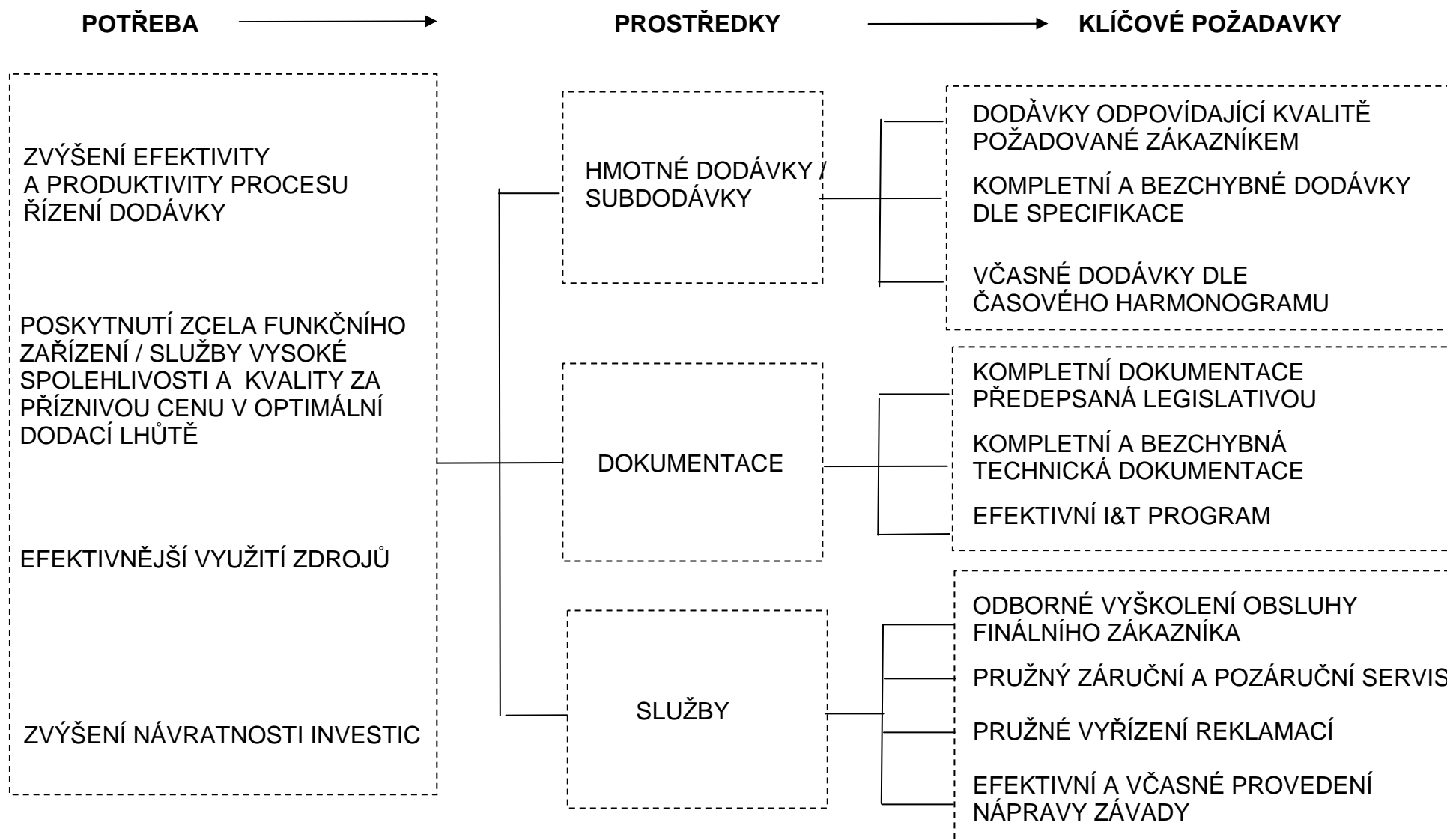
4.1.2 Definice klíčových požadavků zákazníka

Detailní technická specifikace postavená na klíčových požadavcích zákazníka a vytvořená tzv. principem “CTC stromu” v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení pro danou problematiku je prezentována na obr. 22.

Tato specifikace již obsahuje měřitelné a kontrolovatelné parametry, podle nichž lze hodnotit procesy realizace projektů v energetice v rámci organizace. Přičemž při vypracování této specifikace se vycházelo z nejdůležitějšího požadavku z pohledu zákazníka, a to z požadavku obdržení dodávky zařízení a služeb špičkové kvality v požadovaném čase.

4.1.3 Vymezení vzájemných vazeb mezi klíčovými procesy - „Model SIPOC“

Pro definované klíčové procesy jsou v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení nalezeny a vymezeny jejich vzájemné informační a hmotné vazby viz obr. 23.



Obr. 22: Detailní specifikace klíčových požadavků vytvořená principem “CTC stromu” pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení

SUPPLIERS (DODAVATELÉ)	INPUTS (VSTUPY)	PROCESS (PROCES)	OUTPUTS (VÝSTUPY)	CUSTOMER (ZÁKAZNÍK)
NÁKUP	POPTÁVKA, TENDR, SMLOUVA S FINÁLNÍM ZÁKAZNÍKEM	ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ SPECIFIKACE	SUBDODÁVKY	SNADNÁ DOSTUPNOST SERVISNÍCH SLUŽEB
ENGINEERING / KONSTRUKCE	LEGISLATIVA, NORMY	VYPRACOVÁNÍ DETAILNÍHO PROJEKTU, REALIZACE DÍLA	DODÁVKA PRODUKTŮ NA MÍSTO REALIZACE/STAVBU	PRUŽNÁ REAKCE NA REKLAMACE
VÝROBA, REALIZACE	SMLOUVA SE SUBDODAVATELEM	POSKYTOVÁNÍ ZÁRUČNÍHO SERVISU	PROVOZNÍ A MONTÁŽNÍ DOKUMENTACE	SPOKOJENOST S FUNČNOSTÍ A SPOLEHLIVOSTÍ ZAŘÍZENÍ
ODD. ŘÍZENÍ STAVBY	GARANTOVANÉ PARAMETRY PRO GARANČNÍ A OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ	POSYTOVÁNÍ POZÁRUČNÍHO SERVISU	AUDITY A INSPEKCE U SUBDODAVATELŮ	SPOKOJENOST S KVALITOU SLUŽEB
ODD. ŘÍZENÍ KVALITY		ŘÍZENÍ DOKUMENTŮ A ZÁZNAMŮ	ATESTY, CERTIFIKÁTY	PŘEDÁNÍ DÍLA DLE DOHODNUTÉHO HARMONOGRAMU
FINÁLNÍ ZÁKAZNÍK			PLÁNY KVALITY, PROGRAMY I&T	KOMPLETNÍ DODÁVKY V DOHODNUTÉM ROZSAHU
SUBDODAVATELÉ			ZAŠKOLENÝ PERSONÁL	ZAŘÍZENÍ SPLŇUJE LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY/NORMY
				ROZSAH VÝDAJŮ DLE SCHVÁLENÉHO ROZPOČTU
				KOMPLETNÍ A VČASNÉ SUBDODÁVKY PŘEDEPSANÉ KVALITY

Obr. 23: Detailní mapa procesu, „Model SIPOC“, pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení

4.2 Měření výkonnosti sledovaných procesů

Měření výkonnosti sledovaných klíčových procesů v rámci aplikace metody Six Sigma se orientuje na vyhledávání vad procesů a následné snížení jejich četnosti. Cílem měření v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektů v energetice je tedy prostřednictvím efektivního a účinného plánu měření získat kvalitní data, na jejichž základě lze posoudit stávající výkonnosti procesu vzhledem k výstupním požadavkům zákazníků.

4.2.1 Identifikace parametrů sledovaných procesů

Kvalita projektů a dodávaných zařízení v oblasti energetiky měřená znaky kvality má v podstatě definované vlastnosti (parametry). Vhodnými měřitelnými znaky z hlediska kvality procesu, ekonomických ukazatelů a spokojenosti finálního zákazníka jsou:

- počet změn provedených v projekční, konstrukční a montážní dokumentaci
- počet změn v dokumentaci skutečného provedení (dokumentaci asbuilt), které bylo nutno provést v realizační dokumentaci
- délka trvání realizace projektu ve srovnání se schváleným časovým harmonogramem
- objem skutečných nákladů na realizaci projektu ve srovnání se schválenými kalkulovanými náklady v rozpočtu zakázky
- úspěšnost nabídek při výběrových řízeních zákazníka.

V rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení se pro vlastní identifikaci proměnných využije obr. 23, tzv. Detailní mapa procesu, „Model SIPOC“, viz kapitola 4.1.3 – Vymezení vzájemných vazeb mezi klíčovými procesy – „Model SIPOC“.

4.2.2 Hodnocení efektivnosti hlavních kroků procesu, stanovení výnosu

Filozofie Six Sigma poskytuje soubor několika hodnotících měření, pomocí nichž lze efektivně a účinně hodnotit dokonalost a efektivnost jednotlivých kroků procesu, přičemž každé má svůj specifický účel. Pro daný problém procesu realizace projektů v energetice se jeví jako velmi efektivní měření založené na výstupní výkonnosti [7] a [18].

Efektivnost a produktivita jednotlivých hlavních dílčí kroků procesu realizace projektu je v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení posouzena pomocí tzv. „dílčích výnosů“ Y_{FP} (First Pass Yield) viz tabulka 7 a obr. 24. Dílčí výnos stanovuje podíl jednotek bez neshod v dílčích procesech. Vzniká z počtu neshod odečtených v dílčích procesech od hodnoty 1. Počet neshod je znázorněn kvocientem počtu neshod a chybných možností. Dílčí výnos se vypočte podle následujícího vztahu [7]:

$$Y_{FP} = (1 - DPO) \cdot 100 [\%], \text{ kde}$$

DPO [-]... kvocient počtu neshod a chybných možností

Kvocient počtu neshod a chybných možností DPO (Defects per Opportunities) vypovídá o tom, jak dobře či špatně probíhá sledovaný proces. Vyjadřuje počet neshod všech druhů vztažený k celkovému počtu jednotek v souboru. V praxi to znamená, že bude-li se hodnota DPO např. rovnat jedné, může se v každé jednotce průměrně očekávat výskyt jedné vady, za podmínky $O = 1[-]$, tedy že každá jednotka je popsána právě jednou vlastností.

Hodnotu ukazatele DPO určuje následující vztah [7]:

$$DPO = \frac{D}{N \cdot O} = \frac{17}{141 \cdot 1} = 0,12 [-], \text{ kde}$$

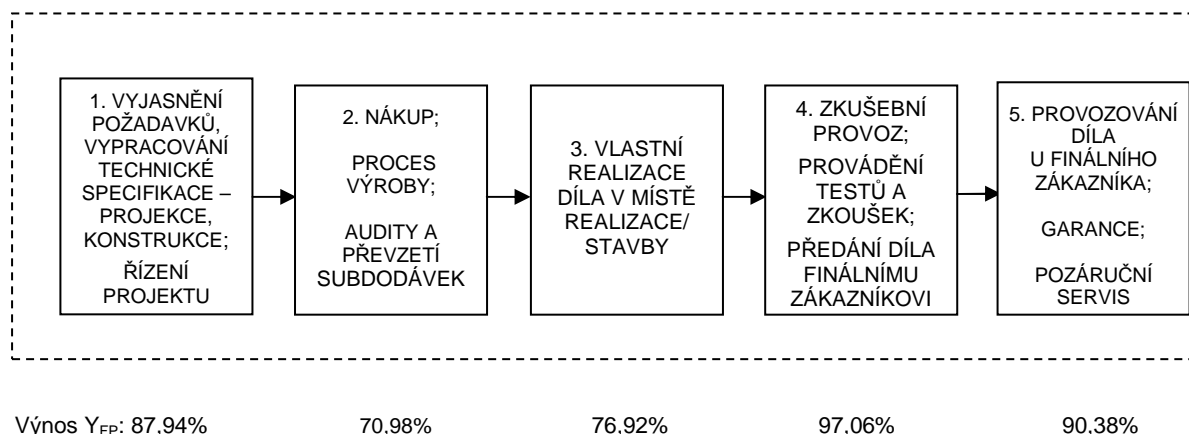
D [-].....počet zjištěných neshod na výstupu z dílčího kroku procesu

N [-]... celkový počet vstupních jednotek do příslušného dílčího kroku procesu

O [-]... počet možných příležitostí vzniku neshod jedné jednotky v příslušném dílčím kroku procesu. V tomto případě je každá jednotka popsána jednou vlastností, a proto je $O = 1[-]$.

Tabulka 7: Hodnocení efektivnosti hlavních dílčích kroků procesu

Dílčí kroky procesu	Počet neshod na výstupu z dílčího kroku procesu D [-]	Celkový počet vstupních jednotek do dílčího kroku procesu N [-]	Kvocient počtu neshod a chybných možností DPO [-]	Dílčí výnos Y_{FP} [%]
1	17	141	0,12	87,94
2	92	317	0,29	70,98
3	18	78	0,23	76,92
4	2	68	0,03	97,06
5	5	52	0,10	90,38



Obr. 24: Dílčí výnos hlavních kroků procesu realizace projektů

Pohledem na obr. 24 se dá očekávat, že nejzávažnější problémy se budou vyskytovat především v hlavních dílčích krocích, které vykazují výrazně nižší výnos a vyšší hodnotu ukazatele DPO oproti ostatním krokům. Jedná se především o dílčí kroky číslo 1, 2 a 3, tedy o činnosti spojené s:

1. vyjasněním požadavků zákazníka, vypracování technické specifikace a řízením projektu;
2. nákupem, procesem výroby a převzetím subdodávek;
3. vlastní realizací zakázky (díla) u zákazníka, v místě stavby

Dále je tedy třeba provést vhodný sběr dat, aby bylo možno provést následnou detailní analýzu činností v těchto hlavních dílčích krocích a prošetřit příčiny vyskytujících se problémů a jejich eliminací zvýšit výnos a snížit ekonomické ztráty.

4.2.3 Sběr dat

Základním východiskem pro získání dat o neshodách z jednotlivých dílčích kroků procesu se v rámci metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení staly záznamy uvedené v záznamnících, tzv. „Záznamech o neshodě“ viz Příloha 5. Záznamy o neshodě jsou rovněž podkladem pro „Registr neshod na projektu“, což je přehled vlastních neshod na projektu.

Záznamy o neshodě jsou v podstatě vhodně navržené tabulky, které jsou přizpůsobeny na míru shromažďovaným údajům a současně jsou jednoduché a srozumitelné. Do záznamníků o neshodě jsou systematicky uváděna a shromažďována data s popisem jednotlivých jak vlastních, tak nevlastních neshod (z důvodu základní evidence a finančního vyrovnání) a jsou výchozími podklady pro následnou analýzu vzniklých časových a finančních ztrát během procesu. Záznamy o neshodě jsou vystavovány pracovníky organizace zodpovědnými za správný průběh procesu a je nutné je pro každý proces archivovat.

Pro jednotlivé vyskytnuvší se neshody byla zjišťována jejich četnost v průběhu realizace každého ze čtyř projektů a objem nákladů na nízkou kvalitu vyčíslených při konečném uzavírání projektů, kterými tyto neshody zatížily každý konkrétní projekt.

4.2.3.1 Přehled získaných dat

Působení negativních faktorů zatížilo všechny čtyři realizované projekty, viz kapitola 4.1, tabulka 6, nejen nutností přímo vynaložit finanční prostředky na nápravu neshod, ale přineslo s sebou i prostoje montážních činností a v neposlední řadě vícenáklady na nízkou kvalitu vzniklé vícepracemi zaměstnanců podpůrných útvarů, tedy útvaru engineeringu, nákupu a realizace, kteří se přímo podíleli na odstranění neshod. Přehled nastalých neshod a vad a jím příslušných objemů nákladů na nízkou kvalitu viz tabulka 8.

Příčemž produkt je dle zákona 59/1998, §4 považován za vadný, jestliže z hlediska bezpečnosti jeho užití nezaručuje vlastnosti, které lze od něj oprávněně očekávat zejména s ohledem na informace o produktu, které byly výrobcem poskytnuty, nebo předpokládaný účel, ke kterému má produkt sloužit, nebo dobu, kdy byl produkt uveden na trh. Pojmem „neshoda“ se pak v normách ISO 9000 rozumí rozpor mezi požadovaným a skutečným stavem, nebo nesplnění

specifikovaného požadavku v jakékoliv fázi procesu a během jakékoliv činnosti. Neshodný produkt není ve shodě se specifikovanými požadavky a nesmí být předán zákazníkovi a musí se zabránit jeho neúmyslnému použití [12].

Tabulka 8: Přehled vad u realizovaných projektů [1]

Název neshody, vady			Realizované projekty				Σ celkem
			A	B	C	D	
1	Kolize zařízení	počet [mj]	7	8	2	17	34
		vícepráce [hod]	16	30	7	58	111
		cena [Kč]	900	25 100	87 200	151 200	264 400
2	Nekompletní subdodávky	počet [mj]	2	2	4	4	12
		vícepráce [hod]	0	8	14	8	30
		cena [Kč]	10 000	91 500	122 700	400 700	624 900
3	Zpožděné subdodávky	počet [mj]	4	6	2	5	17
		vícepráce [hod]	0	18	6	0	24
		cena [Kč]	1 100	39 200	82 600	200 300	323 200
4	Vadné (poškozené) subdodávky	počet [mj]	7	11	12	29	59
		vícepráce [hod]	4	12	8	16	40
		cena [Kč]	12 000	41 800	38 100	107 300	199 200
5	Chyby v technické dokumentaci (montážní apod.)	počet [mj]	1	3	1	1	6
		vícepráce [hod]	1	8	0	0	9
		cena [Kč]	4 500	16 300	40 000	58 000	118 800
6	Subdodávky v rozporu technickou specifikací	počet [mj]	1	1	1	1	4
		vícepráce [hod]	2	12	0	4	18
		cena [Kč]	800	7 300	124 400	101 000	233 500
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	počet [mj]	1	0	0	0	1
		vícepráce [hod]	0	0	0	0	0
		cena [Kč]	1 000	0	0	0	1 000
8	Chybně formulované požadavky na subdodavatele (nákup)	počet [mj]	0	0	1	0	1
		vícepráce [hod]	0	0	0	0	0
		cena [Kč]	0	0	3 000	0	3 000
Σ vícenákladů na nízkou kvalitu na jednotlivý projekt		počet [mj]	23	31	23	57	134
		vícepráce [hod]	23	88	35	86	232
		cena [Kč]	30 300	221 200	498 000	1 018 500	1 768 000

4.2.3.2 Stratifikace získaných dat

Stratifikace získaných dat dokáže zodpovědět a osvětlit, kde neshoda či vada nastala, jaké situace se týká apod. Stratifikovaný výběr prostřednictvím stratifikačních faktorů (kdo?, co?, kdy?, jak?) pak umožňuje zajistit, aby byly v datech zastoupeny všechny klíčové skupiny. Měření ojedinělých jevů s malou četností, jako je tomu v tomto konkrétním případě, nabízejí méně příležitostí k číselnému vyjádření, než je tomu například u dat získaných z klasického výrobního procesu, kde objem dat je nesrovnatelně větší, nicméně za určitý čas mohou i osamocené údaje vytvořit soubor pozorování, který je možno statisticky vyhodnotit [19]. Stratifikovaná data podle původce neshody, vady a hlediska vícenákladů na nízkou kvalitu, které byly vadou vyvolány viz tabulka 9.

Tabulka 9: Stratifikovaná data dle původce neshody, vady [1]

Název neshody, vady			Původce neshody, vady			
			ALSTOM	Sub-dodavatel	Zákazník	Σ nákladů na vadu
1	Kolize zařízení	počet [mj] cena [Kč]	17 86 900	9 177 500	8 0	34 264 400
2	Nekompletní subdodávky	počet [mj] cena [Kč]	5 320 500	7 209 400	0 95 000	12 624 900
3	Zpožděné subdodávky	počet [mj] cena [Kč]	6 86 400	10 216 500	1 20 300	17 323 200
4	Vadné subdodávky	počet [mj] cena [Kč]	21 47 200	38 152 000	0 0	59 199 200
5	Chyby v montážní dokumentaci	počet [mj] cena [Kč]	6 118 800	0 0	0 0	6 118 800
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	počet [mj] cena [Kč]	0 0	4 233 500	0 0	4 233 500
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	počet [mj] cena [Kč]	1 1 000	0 0	0 0	1 1 000
8	Chybně formulované požadavky	počet [mj] cena [Kč]	0 0	0 0	1 3 000	1 3 000
Σ vícenákladů na nízkou kvalitu dle původce vady		počet [mj] cena [Kč]	56 660 800	68 988 900	10 118 300	134 1 768 000

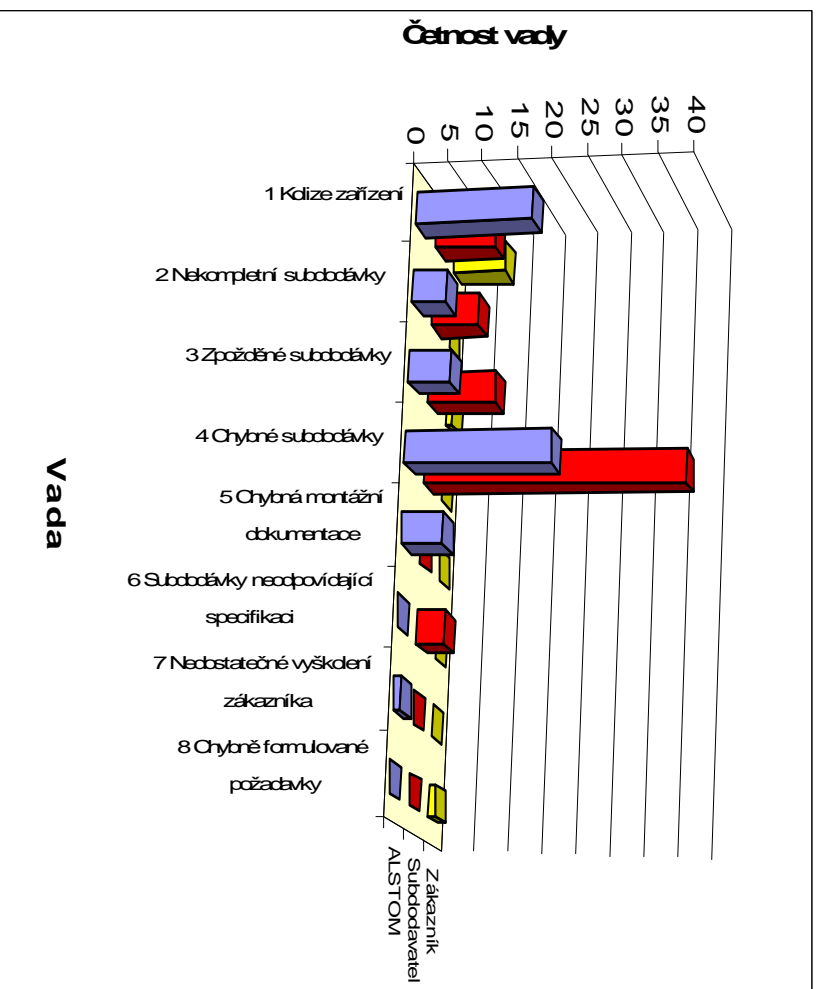


Diagram 8: Přehled vad z hlediska četnosti a původu vady [1]

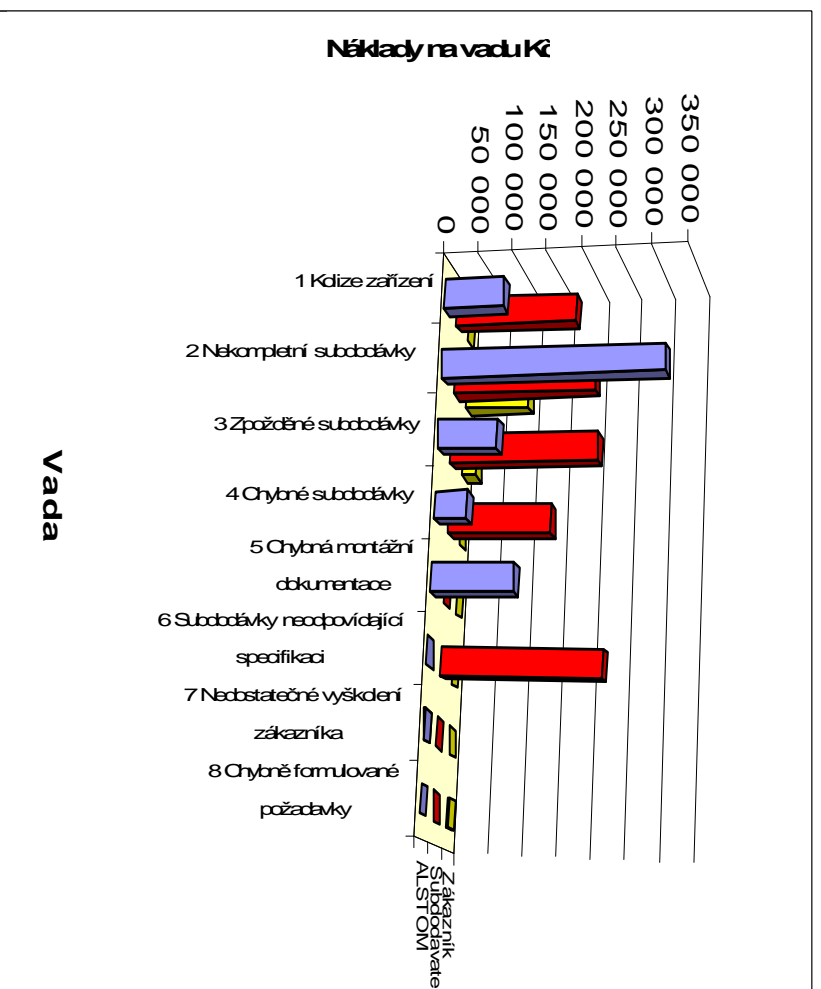


Diagram 9: Přehled vad z hlediska vícenáskladů na nízkou kvalitu [1]

Grafické znázornění dat viz diagram 8, resp. 9 názorně vypovídá o tom, s jakou četností byla konkrétní vada zapříčiněna vlastní chybou ze strany organizace ALSTOM (zhotovitele díla), ze strany jednotlivých subdodavatelů a ze strany zákazníka, resp. jak velký objem vícenákladů na nízkou kvalitu jednotlivé vady vyvolaly u jednotlivých zúčastněných stran.

5 Vyšetření příčin ztrát

Snaha po kontinuálním zlepšování vyžaduje, aby si vždy byla organizace vědoma toho, co vyplývá z předchozích procesů. To znamená, že po provedení hodnocení výkonnosti jednotlivých dílčích procesů je nutno v rámci metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektu hledat příčiny nastalých problémů pro konečné určení směrů dalšího zlepšování jednotlivých procesů.

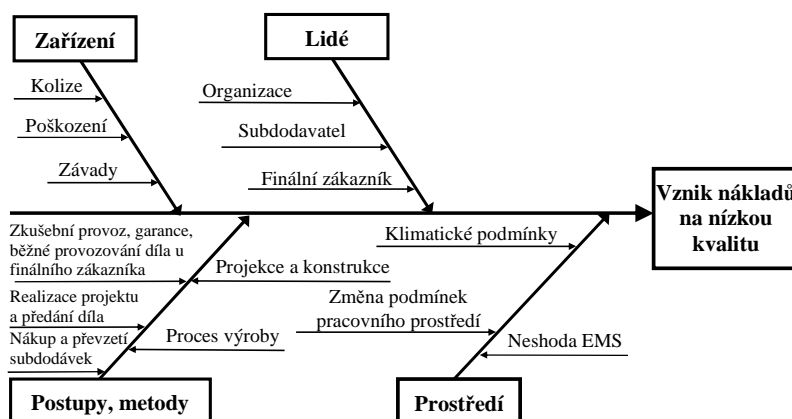
Pro vyhodnocování příčin nastalých problémů jsou využity různé nástroje řízení kvality. Vybrané nástroje řízení kvality aplikované dále v této kapitole se počítají mezi nejznámější a nejužitečnější metody v péči o kvalitu pro použití v praxi a patří do skupiny s názvem Sedm jednoduchých nástrojů řízení kvality. Ve snaze vyšetřit všechny důvody problémů, které způsobují tak velké množství neshod oproti naprojektovanému a schválenému stavu, je nutno v prvním kroku identifikovat jednotlivé negativní faktory vedoucí k výskytu těchto problémů během realizace projektu. Tyto faktory pak ovlivňují výsledek, tj. kvalitu určitého procesu a tím i konečný produkt procesu.

5.1 Diagram příčin a následků nastalých neshod a vad

Poté, co jsou již jednotlivé vzniklé neshody z protokolů o neshodách identifikovány a následně stratifikovány, je nutno je dále detailně roztřídit podle tříd, resp. podtříd a poté je uspořádat a graficky znázornit v diagramu příčin a následků, tzv. Ishikawově diagramu [32] a [34]. Každá z hlavních tříd obsahuje několik podtříd, přičemž složitost struktury diagramu závisí na složitosti procesu. Kvalitu procesu a konečného produktu ovlivňují následující hlavní třídy (kategorie) příčin, viz obr. 25.

Hlavní třídy příčin:

- Zařízení
- Lidé
- Metody, postupy
- Prostředí



Obr. 25: Diagram příčin a následků pro proces realizace projektů v energetice

Detailní diagram příčin a následků pro jednotlivé dílčí kroky procesu realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení je znázorněn v Příloze 3.

Výstupem z diagramu je v podstatě přehledné znázornění závažných negativních faktorů neboli příčin jednotlivých problémů, které ve svém důsledku vyvolávají náklady na nízkou kvalitu a zatěžují tak značně rozpočet realizovaného projektu. Přičemž vlastní diagram byl sestaven na základě reálných podkladů, jednak z dat získaných z Protokolů o neshodě během vlastního procesu realizace díla a montážních činností, ale i ze zkušeností zaměstnanců podpůrných útvarů projekce, konstrukce a nákupu, kteří se v jednotlivých oblastech přímo zabývali vyskytujícími se problémy .

5.2 Korelační diagramy pro ověření skutečného působení příčin

Pro ověření skutečného působení příčin a stanovení míry jejich vlivu se v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení využijí korelační diagramy. Korelační diagramy podají informaci o tom, zda existuje mezi proměnnými vzájemný vztah, a o tom, jak jsou proměnné navzájem závislé. Neboli popíší povahu této závislosti a vyjádří, jak silná je závislost mezi proměnnými.

Prostřednictvím Pearsonova koeficientu se vyjádří míra závislosti mezi počtem hodin víceprací, které bylo nutno vykonat na nápravu vzniklých neshod během realizace projektu (proměnná x), a objemem nákladů na nízkou kvalitu, které tyto vícepráce vyvolaly (proměnná y), viz Příloha 4 a diagram 10.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right]} \cdot \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right]}} = \frac{3061922,22}{54,51 \cdot 387403,80} = 0,14 \text{ [-]}$$

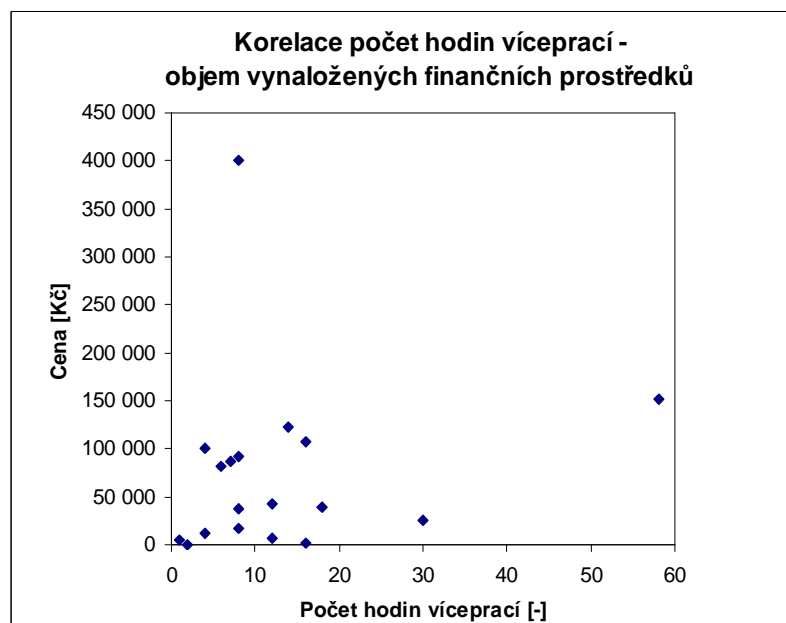


Diagram 10: Korelační diagram závislosti počtu hodin víceprací a objemu vynaložených finančních prostředků na neshody

5.2.1 Vyhodnocení korelačního diagramu

Při sestavování korelačního diagramu se na osu x vynášejí hodnoty nezávislé proměnné, neboli „počtu hodin víceprací“ a na osu y hodnoty domněle závislé proměnné „cena nákladů na nízkou kvalitu vyvolaná těmito vícepracemi“. Z rozmístění jednotlivých bodů v korelačním diagramu, které odpovídají jednotlivým dvojicím hodnot příslušných proměnných a charakterizují směr, tvar a míru těsnosti závislosti mezi sledovanými proměnnými, a s přihlédnutím k velmi nízké hodnotě Pearsonovo koeficientu korelace $r = 0,14$ lze vyvodit závěr, že počet hodin víceprací, které bylo nutno vykonat na nápravu vzniklých neshod, není v přímém vzájemném vztahu s objemem vynaložených finančních nákladů. Tedy jinými slovy, že počet hodin víceprací nemá přímý vliv na nárůst finančních prostředků na nízkou kvalitu a je tedy nutno dále řešit problém z hlediska obsahové závažnosti jednotlivých nastalých neshod.

5.3 Paretova analýza

Americký odborník na kvalitu J. M. Juran zformuloval závěr, že, většina (80-95%) následků – problémů s kvalitou - je způsobena pouze malým podílem (5-20%) příčin z jejich celkového počtu. Tyto příčiny nazval životně důležitou menšinou. Na příčiny tvořící tuto menšinu je v další analýze třeba zaměřit pozornost přednostně.

Juran rovněž poprvé použil aplikaci známého Paretova principu. Paretův princip je vhodné použít právě pro analýzu vzniklých časových a finančních ztrát při realizaci projektů. Je jedním z nejefektivnějších a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů umožňující oddělit podstatné faktory od méně podstatných. Ukazuje, kam zaměřit úsilí při odstraňování nedostatků v procesu zabezpečování kvality. Paretova analýza umožňuje určit právě tzv. životně důležitou menšinu a vlastně určuje pořadí důležitosti pro odstraňování jednotlivých příčin problémů [34].

5.3.1 Určení kritéria hodnocení

V rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení lze každý problém hodnotit podle hodnot zvoleného ukazatele, a to buď z hlediska nákladového, či z hlediska počtu vad. V tabulce 8 uvedené v kapitole 4.2.3.1 jsou pro každý projekt uvedeny nejen počty výskytu jednotlivých defektů, ale i finanční částka, kterou bylo nutno vynaložit na odstranění těchto problémů a počet hodin, které musely být vykonány oproti plánovanému průběhu prací. Údaje z tabulky 8 se tedy seřídí sestupně jednak podle počtu vad a jednak podle nákladů na nízkou kvalitu, které vady vyvolaly viz tabulka 10 a tabulka 11.

5.3.2 Výpočet kumulované četnosti všech příčin

Pro každý zvolený ukazatel se provede výpočet kumulovaných součtů hodnot a dále se tyto součty vyjádří v procentech viz tabulka 10 a tabulka 11. Poté se data zapíší do tabulky 12 a tabulky 13.

Tabulka 10: Tabulka četnosti jednotlivých vad

č. vady	Příčina vady	Počet [mj]	Podíl vady [%]	Kumulovaný podíl vady [%]
4	Vadné subdodávky	59	44,03	44,03
1	Kolize technologie	34	25,37	69,40
3	Zpožděné subdodávky	17	12,69	82,09
2	Nekompletní subdodávky	12	8,96	91,04
5	Chyby v montážní dokumentaci	6	4,48	95,52
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	4	2,99	98,51
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	1	0,75	99,25
8	Chybně formulované požadavky	1	0,75	100
	Celkem	134		

Tabulka 11: Tabulka nákladů na nízkou kvalitu na jednotlivé vady

č. vady	Příčina vady	Počet [mj]	Podíl vady [%]	Náklad na vadu [Kč]
2	Nekompletní subdodávky	12	8,96	624 900
3	Zpožděné subdodávky	17	12,69	323 200
1	Kolize technologie	34	25,37	264 400
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	4	2,99	233 500
4	Vadné subdodávky	59	44,03	199 200
5	Chyby v montážní dokumentaci	6	4,48	118 800
8	Chybně formulované požadavky	1	0,75	3 000
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	1	0,75	1 000
	Celkem	134		1 768 000

Tabulka 12: Analýza četnosti vad a relativní četnosti vad

č. vady	Příčina vady	Analýza četnosti [mj]	Analýza relativní četnosti [%]
4	Vadné subdodávky	59	44,03
1	Kolize technologie	34	25,37
3	Zpožděné subdodávky	17	12,69
2	Nekompletní subdodávky	12	8,96
5	Chyby v montážní dokumentaci	6	4,48
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	4	2,99
8	Chybně formulované požadavky	1	0,75
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	1	0,75

Tabulka 13: Analýza nákladů na vady a analýza relativních nákladů na vadu

Č. vady	Příčina vady	Analýza nákladů na závadu [Kč]	Analýza relativních nákladů na vadu [%]
2	Nekompletní subdodávky	624 900	35,35
3	Zpožděné subdodávky	323 200	18,28
1	Kolize technologie	264 400	14,95
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	233 500	13,21
4	Vadné subdodávky	199 200	11,27
5	Chyby v montážní dokumentaci	118 800	6,72
8	Chybně formulované požadavky	3 000	0,17
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	1 000	0,06

5.3.3 Sestrojení Paretova diagramu a Lorenzovy součtové křivky

Data z tabulek 10 - 13 se zpracují standardním Paretovým diagramem dle četností a nákladů na závadu z hlediska hlavních příčin. Protože jsou k dispozici i finanční náklady na závadu, zkonstruují se celkem dva diagramy, včetně nákladové analýzy viz diagram 11 a diagram 12.

Před vyhodnocením Paretovy analýzy je třeba přesně formulovat vlastní cíle, v tomto případě tedy finanční úsporu až 20% z celkové kontraktační ceny a snížení nákladů na nízkou kvalitu k hranici 3%. K tomu je nutno zvolit kritérium pro vyhodnocení tzv. Lorenzovy křivky. Často používané kritérium pro výběr tzv. životně důležitých položek je kritérium 80:20. Podle tohoto kritéria se za tzv. „životně důležitou menšinu“ pokládá tato malá 20-ti procentní skupina příčin, zbylá část se označuje jako „zanedbatelná většina“ [32] a [34].

Pro určení hranice 80% je třeba sestavit tzv. Lorenzovu součtovou křivku. Je to křivka kumulovaných četností v procentním vyjádření. Lorenzova křivka je tedy vlastně spojnicí bodů s kumulovanou četností.

Poté se vypočítá mez 80% četnosti z hlediska hlavních příčin, která je kritériem pro určení priority příčin pro řešení. Z diagramu je poté patrné, které příčiny se nacházejí pod mezí 80% a tvoří tedy tzv. „životně důležitou menšinu“, a které příčiny tvoří tzv. „zanedbatelnou většinu“ [32] a [34].

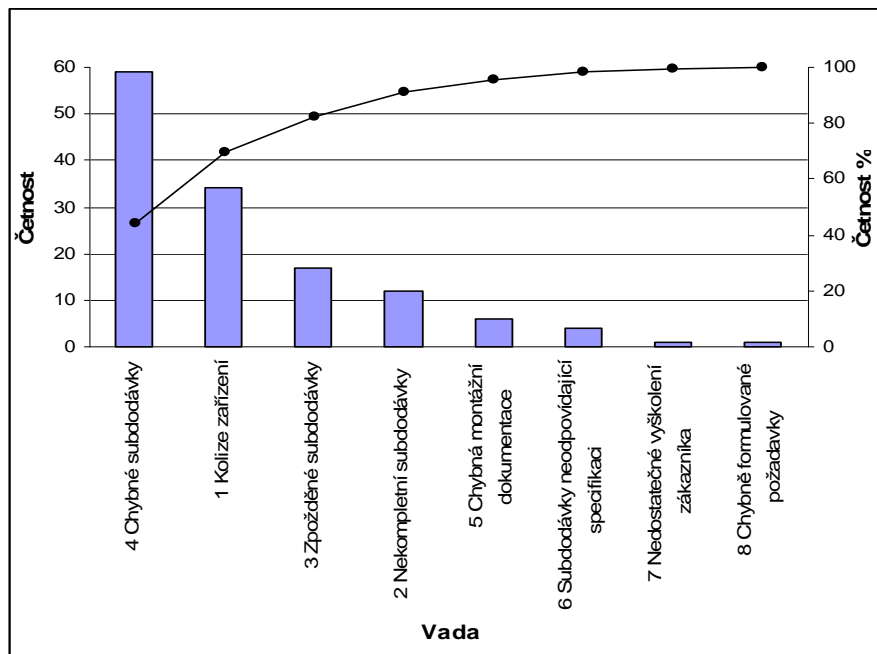


Diagram 11: Analýza četnosti z hlediska hlavních příčin vad [1]

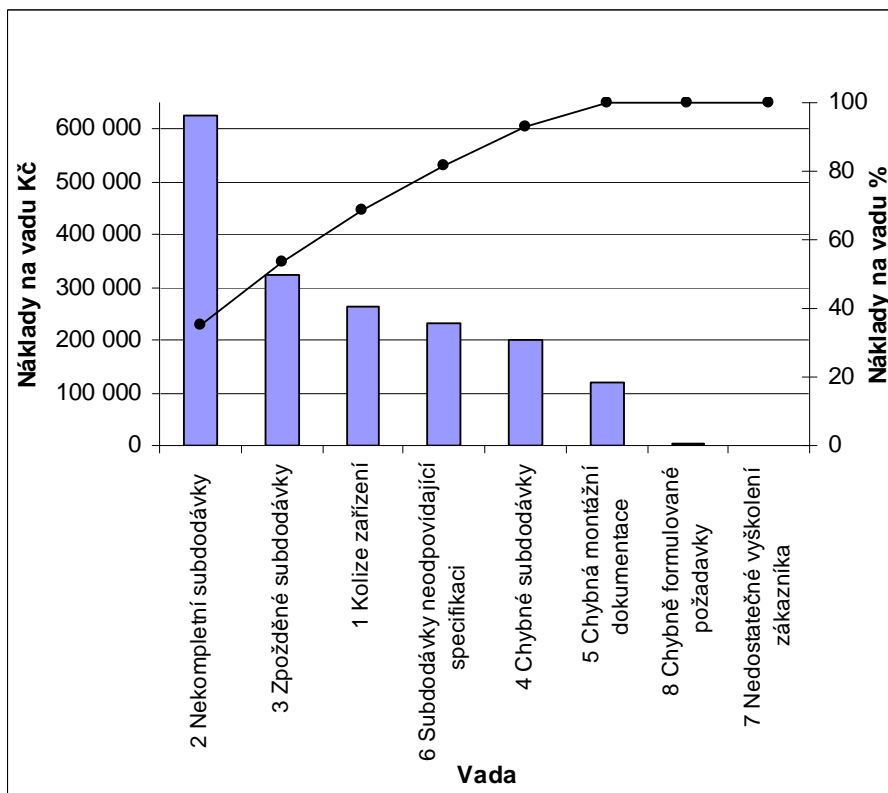


Diagram 12: Analýza nákladů na vadu [1]

5.3.4 Vyhodnocení Paretovy analýzy

Ze závěrů Paretovy analýzy četnosti jednotlivých vad se jako nejnepříznivější jeví vady 1 a 4, tedy vznik kolize zařízení a chybné subdodávky, a to jak od interních dodavatelů, tak od externích subdodavatelů.

Dále z Paretovy analýzy nákladů na vady vyplývá, že největší množství vícenákladů na nízkou kvalitu oproti plánovanému stavu je způsobeno vadou 2 a 3, tzn., že vícenáklady jsou tedy především vyvolány negativními vlivy nekompletních a zpožděných subdodávek.

V další etapě je tedy třeba podrobně vyšetřit chování procesu realizace v těchto klíčových oblastech a stanovit rozhodující příčiny, které ve svém důsledku způsobují zjištěné nejzávažnější vady.

5.4 Aplikace regulačních diagramů pro počet neshod na identifikované nejslabší dílčí kroky procesu

Ze závěrů Paretovy analýzy četnosti jednotlivých vad se jako nejnepříznivější jeví vady 1 a 4, proto regulační digramy srovnáváním jsou aplikovány na proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení a proces zajištění bezchybných dodávek vycházejí z dat získaných měřením počtu vyskytnuvších se kolizí zařízení a vadných subdodávek, a to jak u interních dodavatelů, tak u externích subdodavatelů.

a) Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení - vada č. 1: Kolize zařízení, viz tabulka 14 a diagram 13

Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách \bar{c} :

$$\bar{c}_1 = \frac{\sum_{j=1}^k c_{1j}}{k} = \frac{\sum_{j=1}^4 (7 + 8 + 2 + 17)}{4} = 8,50 [-]$$

Horní regulační mez UCL:

$$UCL_1 = \bar{c}_1 + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}_1} = 8,50 + 3 \cdot \sqrt{8,50} = 17,26 [-]$$

Dolní regulační mez LCL:

$$LCL_1 = \bar{c}_1 - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}_1} = 8,50 - 3 \cdot \sqrt{8,50} = -0,26 [-],$$

Záporná hodnota dolní regulační meze LCL se nahrazuje nulou.

Tabulka 14: Parametry procesu zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení

Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení – vada č. 1: Kolize zařízení				
Označení podskupiny (projektu)	A	B	C	D
Počet neshod c_{j1} [-]	7	8	2	17
\bar{c}_1 [-]	8,50			
UCL_1 [-]	17,26			
LCL_1 [-]	Záporná hodnota nahrazena nulou			

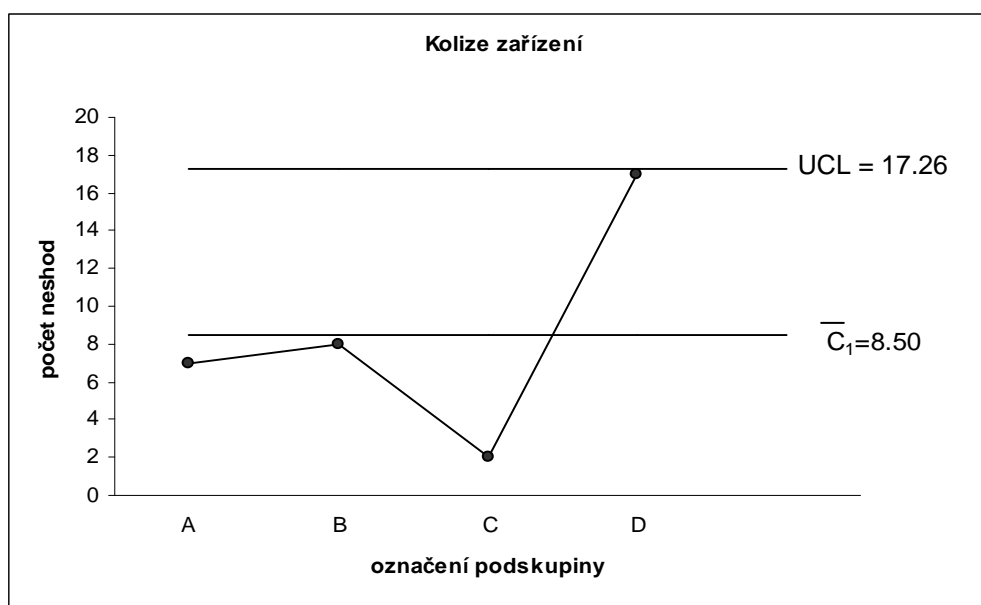


Diagram 13: Regulační diagram pro počet neshod pro údaje v tabulce 14

b) Proces zajištění bezchybných dodávek - vada č. 4: Vadné subdodávky, viz tabulka 15 a diagram 14

Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách \bar{c} :

$$\bar{c}_4 = \frac{\sum_{j=1}^k c_{4j}}{k} = \frac{\sum_{j=1}^4 (7 + 11 + 12 + 29)}{4} = 14,75 [-]$$

Horní regulační mez UCL:

$$UCL_4 = \bar{c}_4 + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}_4} = 14,75 + 3 \cdot \sqrt{14,75} = 26,27 [-]$$

Záporná hodnota dolní regulační meze LCL se nahrazuje nulou.

Tabulka 15: Parametry procesu zajištění bezchybných dodávek

Proces zajištění bezchybných dodávek – vada č. 4: Vadné subdodávky				
Označení podskupiny (projektu)	A	B	C	D
Počet neshod c_{j4} [-]	7	11	12	29
\bar{c}_4 [-]	14,75			
UCL_4 [-]	26,27			
LCL_4 [-]	Záporná hodnota nahrazena nulou			

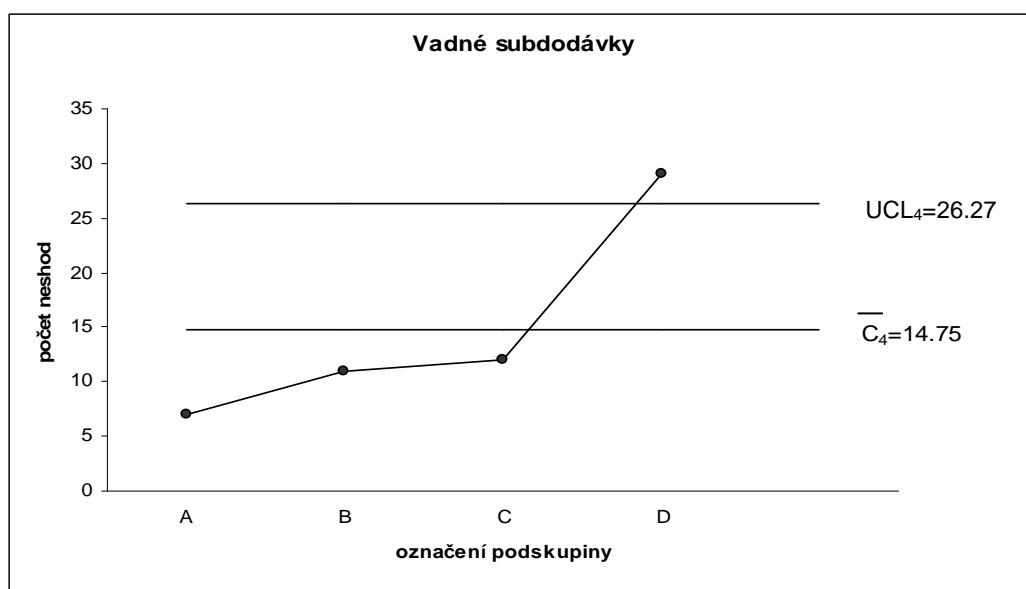


Diagram 14: Regulační diagram pro počet neshod pro údaje v tabulce 15

5.4.1 Závěr z aplikace regulačních diagramů na identifikované nejslabší dílčí kroky procesu

Regulační diagramy srovnáváním pro počet neshod byly v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení vyhotoveny pro identifikované nejslabší dílčí kroky procesu, tedy pro proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení a proces zajištění bezchybných subdodávek. Vyhotovené regulační diagramy zachycují chování těchto dílčích kroků procesu v čase, jak byly jednotlivé projekty realizovány, a poskytují hodnoty příslušných parametrů \bar{c} a UCL pro následný výpočet způsobilosti procesu.

V případě procesu zajištění realizace díla bez kolize se pohybují všechny hodnoty počtu neshod pod horní regulační hranicí UCL. Nicméně z diagramu 13 vyplývá varování, že tato mez byla v případě jedné z hodnot téměř překročena. V případě procesu zajištění bezchybných subdodávek došlo dle diagramu 14 v případě jedné ze sledovaných hodnot k překročení horní regulační hranice UCL. Z důvodu toho, že se všechny hodnoty sledované veličiny nenacházejí pod horní regulační mezí UCL, nelze považovat proces za statisticky zvládnutý. Dále je tedy nutno určit způsobilost obou sledovaných procesů a identifikovat vymezenou příčinu, která tuto odchylku, resp. přiblížení se na horní hranici UCL, způsobila a přijmout opatření k jejímu odstranění.

5.5 Určení způsobilosti procesu

5.5.1 Stanovení ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma)

Ukazatel způsobilosti procesního σ ukáže, do jaké míry byly realizační procesy způsobilé plnit kladené požadavky. Výpočet ukazatele způsobilosti procesního σ je stanoven pro proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení a pro proces zajištění bezchybných dodávek.

1a) výpočet střední hodnoty $\bar{x} \equiv \bar{c}$ viz kapitola 5.4 - výpočet střední hodnoty \bar{c} [-]

1b) výpočet směrodatné odchylky s:

$$s = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{c}\right)^2}{n-1}} \quad [-]; \quad \text{viz tabulka 16, 17}$$

1c) výpočet horní specifikační meze UCL a dolní specifikační meze LCL viz kapitola 5.4

Tabulka 16: Výpočet směrodatné odchylky – neshoda č. 1

Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení - neshoda č. 1: Kolize zařízení;	n	x_i	$x_i - \bar{c}$	$(x_i - \bar{c})^2$
	[-]	[-]	[-]	[-]
	A	7	-1,5	2,25
	B	8	-0,5	0,25
	C	2	-6,5	42,25
	D	17	8,5	72,25
	Σ [-]	117		
$\bar{c} = \bar{x} = 8,5$ [-] UCL= 17,26 [-] LCL není předepsána	$s = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{c}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{117}{3}} = \mathbf{6,24} [-]$			

Tabulka 17: Výpočet směrodatné odchylky – neshoda č. 4

Proces zajištění bezchybných dodávek - neshoda č. 4: Vadné subdodávky;	n	x_i	$x_i - \bar{c}$	$(x_i - \bar{c})^2$
	[-]	[-]	[-]	[-]
	A	7	-7,75	60,0625
	B	11	-3,75	14,0625
	C	12	-2,75	7,5625
	D	29	14,25	203,0625
	Σ [-]	284,75		
$\bar{c} = \bar{x} = 14,75$ [-] UCL= 26,27 [-] LCL není předepsána	$s = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{c}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{284,75}{3}} = \mathbf{9,74} \text{ [-]}$			

2. Výpočet Z_1

a) Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení - neshoda č. 1: Kolize zařízení

$$Z_1 = \frac{UCL - \bar{x}}{s} = \frac{17,26 - 8,5}{6,24} = 1,40 \text{ [-]} \rightarrow \text{v tabulkách distribuční funkce normálního}$$

rozdělení viz Příloha 1 se vyhledá odpovídající podíl výskytu jednotek p.

$$p = 0,919243 \text{ [-]}$$

$$Z_2 = 0 \text{ [-]} \rightarrow p_2 = 0 \text{ [-]}$$

b) Proces zajištění bezchybných dodávek - neshoda č. 4: Vadné subdodávky

$$Z_1 = \frac{UCL - \bar{x}}{s} = \frac{26,27 - 14,75}{9,74} = 1,18 \text{ [-]} \rightarrow \text{v tabulkách distribuční funkce normálního}$$

rozdělení viz Příloha 1 se vyhledá odpovídající podíl výskytu jednotek p.

$$p_1 = 0,884930 \text{ [-]}$$

$$Z_2 = 0 \text{ [-]} \rightarrow p_2 = 0 \text{ [-]}$$

3. Výpočet pravděpodobnosti výskytu P a vyhledání hodnoty procesního σ v tabulce procesního Sigma, viz Příloha 2

a) Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení - neshoda č. 1: Kolize zařízení

$$P = (p_1 - p_2) \cdot 100 = (0,919243 - 0) \cdot 100 = 91,92 \text{ [%]} \rightarrow P = 91,92 \text{ [%]} \approx \text{procesní } \sigma = 2,9 \text{ [-]}$$

Informační výpočet ukazatele způsobilosti c_{pk} při předepsané horní mezi:

$$c_{pkU} = \frac{UCL - \bar{X}}{3 \cdot s_{st}} = \frac{17,26 - 8,5}{3 \cdot 6,24} = 0,47 \text{ [-]}$$

Odpovídající hodnotu ukazatele způsobilosti $c_{pk} = 0,47 \text{ [-]}$ lze pro hodnotu procesního $\sigma = 2,9 \text{ [-]}$ rovněž vyhledat v tzv. „Převodní tabulce Six Sigma“, viz tabulka 3.

b) Proces zajištění bezchybných dodávek - neshoda č. 4: Vadné subdodávky

$$P = (p_1 - p_2) \cdot 100 = (0,884930 - 0) \cdot 100 = 88,50 \text{ [%]} \rightarrow P = 88,50 \text{ [%]} \approx \text{procesní } \sigma = 2,7 \text{ [-]}$$

Informační výpočet ukazatele způsobilosti c_{pk} při předepsané horní mezi:

$$c_{pkU} = \frac{UCL - \bar{X}}{3 \cdot s_{st}} = \frac{26,27 - 14,75}{3 \cdot 9,74} = 0,39 \text{ [-]}$$

Odpovídající hodnotu ukazatele způsobilosti $c_{pk} = 0,39 \text{ [-]}$ lze pro hodnotu procesního $\sigma = 2,3 \text{ [-]}$ rovněž vyhledat v tzv. „Převodní tabulce Six Sigma“, viz tabulka 3.

5.5.2 Vyhodnocení ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma)

Z výpočtu ukazatele způsobilosti procesního σ (Sigma) vyplývá, že oba výše analyzované dílčí procesy realizace nebyly způsobilé, a proto je nutno za pomoci dalších statistických metod dále podrobně analyzovat detekované defekty a jejich příčiny a proces realizace rozdělit vhodně do dílčích kroků, aby se zjistila nejslabší místa každého dílčího procesu a prioritně se na ně zaměřila opatření k nápravě.

6 Formulace projektu zlepšování

Z Paretovy analýzy viz kapitola 5.3. jednoznačně vyplývá, že největší množství vícenákladů na nízkou kvalitu oproti plánovanému stavu je způsobeno vadami 1, 2, 3 a 4, tzn., že vícenáklady na nízkou kvalitu jsou tedy přednostně vyvolány negativními dopady jednak vady označované jako kolize zařízení a dále vlivy nekompletních, zpožděných a chybných dodávek a subdodávek. Vady 1 a 4, neboli kolize zařízení a chybné dodávky a subdodávky vedoucí k následným možným kolizím zařízení, event. k nespokojenosti ze strany zákazníka, jsou řešeny z hlediska nejčtetněji se vyskytujících vad a od hledaného řešení se očekává minimalizace četnosti těchto vad, dále pak zmírnění důsledků závažnosti těchto vad a v neposlední řadě také zvýšení odhalitelnosti těchto vad pomocí vhodného zlepšení. Detailní analýza příčiny vzniku vady 1 a 4 je provedena metodou FMEA, prostřednictvím které je nalezeno vhodné řešení vedoucí k očekávanému zlepšení.

Na vady 2 a 3, představující nekompletní a zpožděné dodávky, je pohlíženo z hlediska vyvstalých nákladů na nízkou kvalitu. Jedná se tedy o vady, které největší měrou zatěžují rozpočet projektu a pro ně je třeba zformulovat doporučení, jak postupovat, aby byla zajištěna kompletní a včasná subdodávka.

6.1 Zužování hledání hlavních příčin problému – procesní FMEA

Během aplikace metody FMEA jsou analyzovány příčiny a důsledky neshod (vad), které vedly ke vzniku závažné kolize zařízení během realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení. Průběh analýzy FMEA je průběžně zaznamenáván do formuláře viz tabulka 21.

6.1.1 Analýza současného stavu

Pro analýzu rizik procesu realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení se provede identifikace

nebezpečí a počáteční hodnocení následků nastalých neshod vycházející z Paretovy analýzy, kdy bylo vyhodnoceno 20% tzv. nejvýznamnějších problémů, které se během realizace projektů vyskytly a na které je nutno zaměřit přednostně pozornost a péči. Jedná se tedy o analýzu kolizí zařízení, které nastaly během realizace projektu (vada č. 1 - „Kolize zařízení“) či byly následně zapříčiněny v důsledku vady č. 4 („Chybné subdodávky“).

6.1.2 Hodnocení současného stavu

Problematika kolizí zařízení se hodnotí podle následujících třech kritérií:

- Kritérium závažnosti důsledků (významu) problému – Vz
- Kritérium pravděpodobnosti výskytu problému - Vy
- Kritérium odhalitelnosti problému - Od

6.1.2.1 Ohodnocení závažnosti důsledků (významu) problému - Vz

Stanoví se důsledky každého problému a jejich význam. Hodnocení se provádí podle stupnice 1-10 viz tabulka 18. Hodnoty velikosti kritéria závažnosti důsledků jednotlivých nastalých vad viz diagram 15.

Tabulka 18: Ohodnocení závažnosti možných důsledků vady

Závažnost dopadu neshody	Stupnice	Definice navržených kritérií pro vyhodnocení závažnosti neshody - neshoda by mohla způsobit:
Mimořádně těžká neshoda	10	Ohrozit zdraví zákazníka, ev. zaměstnanců nebo mít nepřipustný environmentální dopad – produkt je neshodný, velmi nebezpečný, nutná jeho likvidace
	9	Nesplnit požadavky kladené legislativou – produkt je neshodný, nebezpečný, nutná jeho likvidace
Těžká neshoda	8	Poškodit další zařízení či způsobit těžkou kolizi zařízení, ztráta základních funkcí – produkt je neshodný, zákazník je velmi nespokojený
	7	Způsobit ztrátu v důsledku nedodržení požadavků zákazníka – produkt je neshodný, základní funkce jsou omezeny, zákazník je velmi nespokojen
Středně těžká neshoda	6	Způsobit ztrátu vlivem přepracování produktu

v důsledku komplexní nespokojenosti zákazníka

		s vlastnostmi produktu
	5	Způsobit ztrátu vlivem opravy produktu zpět u dodavatele, aby byl produkt uznán shodným, neshoda způsobuje zákazníkovi problémy, zákazník vyjadřuje zklamání
	4	Způsobit ztrátu vlivem odstranění defektu přímo u zákazníka, málo významná neshoda, zákazník cítí nespokojenost
Bezvýznamná neshoda	3	Způsobit ztrátu vlivem uvolnění neshodného produktu na základě výjimky udělené zákazníkem, použití s neshodou bez nutnosti opravy či přepracování, neshoda nemá přímý vliv na vlastnost produktu, velmi málo významná vada, ale zákazník ji zaznamená
	2	Neshoda může být nezaznamenána během doby používání, s minimálním dopadem na vlastnosti či výkon produktu a procesu, zákazník ji zpravidla vůbec nezaznamená
Sotva postřehnutelná neshoda	1	Neshoda může být nezaznamenána během doby používání, bez jakéhokoli dopadu na vlastnosti či výkon produktu a procesu, zákazník ji vůbec nezaznamená

6.1.2.2 Ohodnocení pravděpodobnosti výskytu - Vy

Každému problému se přiřadí příčiny vad a pravděpodobnost jejich výskytu. Hodnocení se provádí podle stupnice 1-10 viz tabulka 19. Hodnoty velikosti kritéria pravděpodobnosti výskytu jednotlivých nastalých vad viz diagram 15.

Tabulka 19: Ohodnocení pravděpodobnosti výskytu vady

Pravděpodobnost výskytu neshody	Stupnice	Pravděpodobnost
Vysoká pravděpodobnost výskytu	10	$\leq 50\%$
	9	$\leq 30\%$
Mírná pravděpodobnost výskytu	8	$\leq 25\%$
	7	$\leq 15\%$
Malá pravděpodobnost výskytu	6	$\leq 10\%$
	5	$\leq 5\%$

	4	$\leq 1\%$
Velmi malá pravděpodobnost výskytu	3	$\leq 0,1\%$
	2	$\leq 0,03\%$
Nepravděpodobný výskyt	1	1 z 10 000

6.1.2.3 Ohodnocení odhalitelnosti - Od

Na základě stávajících preventivních opatření pro odhalení problému se stanoví pravděpodobnost odhalení problému. Hodnocení se provádí podle stupnice 1-10 viz tabulka 20. Hodnoty velikosti kritéria odhalitelnosti jednotlivých nastalých vad viz diagram 15.

Tabulka 20: Ohodnocení pravděpodobnosti odhalení vady

Pravděpodobnost odhalení neshody	Stupnice	Definice navržených kritérií hodnocení schopnosti detekovat neshodu
Nepravděpodobnost odhalení neshody	10	Neshodu není možné detekovat
Velmi malá pravděpodobnost odhalení neshody	9	Příležitostná detekce neshody
Malá pravděpodobnost odhalení neshody	8	Neshoda je předvídatelná na základě očekávaných vlastností procesu a produktu
	7	Neshoda je předvídatelná na základě zkušeností s obdobnými případy
	6	Neshoda je předvídatelná dle konkrétních experimentů
Mírná pravděpodobnost odhalení neshody	5	Neshoda je předvídatelná na základě zkušeností ze stejných případů
	4	Produkty jsou systematicky kontrolovány v dávkách
	3	Všechny procesy a produkty jsou systematicky kontrolovány
	2	Všechny procesy a produkty jsou individuálně kontrolovány
Vysoká pravděpodobnost odhalení neshody	1	Neshoda je zřejmá a je vždy zabráněno dopadu na zákazníka

6.1.2.4 Stanovení ukazatele míry a priority rizika RPN

Ukazatel míry a priority rizika RPN (Risk Priority Number) je mírou celkového rizika u každé možné vady a je funkcí všech tří kritérií Vz, Vy a Od a vypočte se podle následujícího vzorce [9]:

$$RPN = V_z \cdot V_y \cdot O_d \quad [-]$$

Hodnoty ukazatel míry a priority rizika RPN pro kolize zařízení, které nastaly během realizace projektu, tedy vlivem vady č. 1 - „Kolize zařízení“) či byly následně zapříčiněny v důsledku vady č. 4 („Chybné subdodávky“) jsou uvedeny v tabulce 21.

Platí, čím vyšší je hodnota ukazatele RPN, tím naléhavější je potřeba nápravy. Obvykle se v odborné literatuře udávají hodnoty míry naléhavosti [9]:

- Vysoká priorita, RPN = 501 – 1000 [-]
- Střední priorita, RPN = 100 – 500 [-]
- Nízká priorita, RPN = 1 – 99 [-]

6.2 Návrh opatření k nápravě a provedení optimalizace průběhu procesu realizace s ohledem na vznik kolizí zařízení

Pro danou problematiku byla v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení po odborném posouzení přijatelnosti rizika a ve spolupráci s vedoucími oddělení projekce, konstrukce a montáže jako kritická hranice závažnosti vad zvolena hodnota ukazatele míry a priority rizika RPN = 200 [-]. Závažnost vad větší než je hodnota kritické hranici závažnosti vad byla identifikována u následujících vad [4], [5]:

- Nemožnost provozování turbíny v důsledku špatného určení axiálních vůlí mezi rotorem a statorem, RPN = 320 [-]
- Vysoké vibrace předního ložiskového stojanu v důsledku špatné montáže potrubí VT páry, RPN = 480 [-]
- Špatná izolace spodku tělesa turbíny, RPN = 200 [-]
- Nefunkční snímač tlaku oleje v důsledku nesprávného namontování do potrubí, RPN = 490 [-]
- Vysoké vibrace vlivem malé radiální vůle mezi rotorem a statorem, RPN = 400 [-]
- Vibrace turbíny v důsledku nedostatečné tuhosti rotoru, RPN = 480 [-]

- Provozování čerpadla v kavitačním režimu v důsledku nevhodného zapojení potrubí pro topný kondenzát, RPN = 400 [-]
- Vysoké vibrace potrubí oleje vlivem zapomenutého odblokování potrubí mazacího oleje (svar), RPN = 400 [-]
- Poškození ozubení převodovky bludnými proudy z buzení generátoru v důsledku chybějícího kvalitního uzemnění rotoru mezi generátorem a převodovkou, RPN = 380 [-]

Pro uvedené vady vykazující hodnotu ukazatele $RPN \geq 200$ [-] je proto naléhavé navrhnout a přijmout opatření vedoucí k nápravě, a tím odstranit příčiny neshod (vad), event. snížit kritéria závažnosti a výskytu vady a zvýšit kritérium odhalitelnosti vady viz tabulka 21 a diagram 16.

6.2.1 Hodnocení stavu po provedení nápravných opatření

Po provedení nápravných opatření byla ověřena jejich účinnost, tedy efektivita jejich vlivu na nápravu neshod a proto byla opětovně hodnocena rizikovost těch neshod, na které byla nápravná opatření zaměřena. Hodnocení účinnosti provedených opatření je založeno na porovnání výsledků dosahovaných před realizací opatření a po jejich realizaci. Přičemž bylo nezbytnou podmínkou dodržet stejný způsob zpracování získaných dat, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Kromě posouzení změny výskytu konkrétní neshody byl posouzen vliv všech změn, které nastaly ve spojitosti s danou neshodou, tedy zda realizace nápravného opatření nebyla doprovázena nežádoucími průvodními jevy, které by mohly mít další negativní dopad.

Prostřednictvím nápravných opatření snižujících výskyt vady a význam důsledků vady a naopak zvyšujících odhalitelnost vady byla závažnost vad, u kterých byla identifikována větší závažnost vad než je hodnota kritické hranice závažnosti vad, snížena následovně:

- Nemožnost provozování turbíny v důsledku špatného určení axiálních vůlí mezi rotorem a statorem, RPN = 60 [-] (původně RPN = 320 [-])
- Vysoké vibrace předního ložiskového stojanu v důsledku špatné montáže potrubí VT páry, RPN = 160 [-] (původně RPN = 480 [-])
- Špatná izolace spodku tělesa turbíny, RPN = 140 [-] (původně RPN = 200 [-])

- Nefunkční snímač tlaku oleje v důsledku nesprávného namontování do potrubí, RPN = 50 [-] (původně RPN = 490 [-])
- Vysoké vibrace vlivem malé radiální vůle mezi rotorem a statorem, RPN = 160 [-] (původně RPN = 400 [-])
- Vibrace turbíny v důsledku nedostatečné tuhosti rotoru, RPN = 160 [-] (původně RPN = 480 [-])
- Provozování čerpadla v kavitačním režimu v důsledku nevhodného zapojení potrubí pro topný kondenzát, RPN = 64 [-] (původně RPN = 400 [-])
- Vysoké vibrace potrubí oleje vlivem zapomenutého odblokování potrubí mazacího oleje (svar), RPN = 140 [-] (původně RPN = 400 [-])
- Poškození ozubení převodovky bludnými proudy z buzení generátoru v důsledku chybějícího kvalitního uzemnění rotoru mezi generátorem a převodovkou, RPN = 105 [-] (původně RPN = 320 [-])

Hlavním přínosem aplikace metody FMEA je dosažení úspory nákladů na nízkou kvalitu v celkovém objemu téměř 250 000 Kč, a to především snížením objemu vícenákladů přímo vynaložených na nápravu vzniklých vad přímo v místě realizace zakázky u zákazníka (v místě stavby). Prezentované dosažené uspokojivé výsledky po realizaci opatření k nápravě dokazují vysokou účinnost jednotlivých nápravných opatření viz tabulka 21 a diagram 16. Opakované vysoké hodnoty ukazatele míry a priority rizika RPN již nebyly identifikovány, tzn. nepřesáhly hodnotu zvoleného hraničního kritéria $RPN \geq 200$ [-], a proto již není nutné hledat jiná vhodnější nápravná opatření pro analyzované neshody (vady). Tímto je rovněž potvrzena skutečnost, že zákazníkovi jsou dodávána energetická zařízení o vysoké kvalitě, bezpečnosti a spolehlivosti.

Tabulka 21: Formulář o průběhu metody FMEA pro analýzu rizik kolizí zařízení procesu realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení

ANALÝZA MOŽNOSTÍ VZNIKU NESHOD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA PROCESU)														
FMEA ČÍSLO :		EE067-08	ZPRACOVAL : Bielková a kol.											
DATUM ZPRACOVÁNÍ :		07/08	DATUM PŘEPRACOVÁNÍ :		STRANA							1	z	4
č.	MÍSTO/POPIS NESHODY	DŮSLEDEK NESHODY	PŘÍČINA NESHODY	SOUČASNÝ STAV				DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	ODPOVĚDNOST ZA OPATŘENÍ (TERMÍN)	VÝSLEDKY OPATŘENÍ				
				KONTROLNÍ OPATŘENÍ	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ			OPATŘENÍ SPLNĚNO	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ	RPN
1	Přehřívání krytu spojky a odlupování barvy krytu způsobené nevhodnou délkou šroubů na spoje na rotoru mezi turbínou a převodovkou	Vícenáklady na opravu spojky	Konstrukční chyba	Kontrola na stavbě	5	6	6	180						
2	Ukmitávání nevhodně použitých termočlánků na měření teploty axiálního ložiska vlivem vibrace kamenů ložiska	Vícenáklady na nákup nových komponent a na opravu	Konstrukční chyba	Kontrola projekční dokumentace	6	4	4	96						
3	Nemožnost provozování turbíny v důsledku špatného určení axiálních vůlí mezi rotorem a statorem	Vícenáklady na úpravy traverzy mezi ložiskovým stojanem a VT dílem	Konstrukční chyba	Kontrola výpočtové dokumentace	4	8	10	320	Upravit model pro výpočet posuvů turbíny	Vedoucí konstrukce	ANO	3	8	4 96
4	Netěsnost spoje potrubí vlivem nevhodného připojení potrubí do natáčedla	Vícenáklady na opravu spoje potrubí	Konstrukční chyba	Kontrola na stavbě	3	7	3	63						

ANALÝZA MOŽNOSTÍ VZNIKU NESHOD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA PROCESU)														
FMEA ČÍSLO :		EE067-08	ZPRACOVAL : Bielková a kol											
DATUM ZPRACOVÁNÍ :		07/08	DATUM PŘEPRACOVÁNÍ :		STRANA							2	z	4
č.	MÍSTO/POPIS NESHODY	DŮSLEDEK NESHODY	PŘÍČINA NESHODY	SOUČASNÝ STAV				DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	ODPOVĚDNOST ZA OPATŘENÍ (TERMÍN)	VÝSLEDKY OPATŘENÍ				
				KONTROLNÍ OPATŘENÍ	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ			OPATŘENÍ SPLNĚNO	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ	RPN
5	Chybné vyvrtání děr pro kotvici šrouby	Vícenáklady na opravu	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	6	4	4	96						
6	Vysoké vibrace předního ložiskového stojanu v důsledku špatné montáže potrubí VT páry	Vícenáklady na opravu potrubí	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	6	8	10	480	Zaškolení potrubářů a montérů	Vedoucí montáže	ANO	5	8	4 160
7	Špatná izolace spodku tělesa turbíny	Vícenáklady na opravu izolace	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	4	5	10	200	Poučit zkušebního technika a montéra	Vedoucí montáže	ANO	4	5	7 140
8	Přehřívání VTH agregátu vlivem jeho nevhodného umístění pod krytem turbíny	Vícenáklady na přepracování umístění	Projekční chyba	Kontrola projekční dokumentace	4	6	7	168						
9	Chvění chladicích čerpadel - provozní rozsah otáček obsahoval i otáčky kritické	Vícenáklady na odstranění chvění	Konstrukční chyba	Kontrola konstrukční dokumentace	3	6	3	54						

ANALÝZA MOŽNOSTÍ VZNIKU NESHOD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA PROCESU)														
FMEA ČÍSLO :		EE067-08	ZPRACOVAL : Bielková a kol.											
DATUM ZPRACOVÁNÍ :		07/08	DATUM PŘEPRACOVÁNÍ :		STRANA							3	z	4
č.	MÍSTO/POPIS NESHODY	DŮSLEDEK NESHODY	PŘÍČINA NESHODY	SOUČASNÝ STAV				DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	ODPOVĚDNOST ZA OPATŘENÍ (TERMÍN)	VÝSLEDKY OPATŘENÍ				
				KONTROLNÍ OPATŘENÍ	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ			OPATŘENÍ SPLNĚNO	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ	RPN
10	Nefunkční snímač tlaku oleje v důsledku nesprávného namontování do potrubí	Vícenáklady na přemontování	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	7	7	10	490	Zaškolení potrubářů a montérů	Vedoucí montáže	ANO	5	7	2 70
11	Vysoké vibrace vlivem malé radiální vůle mezi rotorem a statorem	Vícenáklady na opravu rotoru	Konstrukční chyba	Kontrola výpočtové dokumentace	5	8	10	400	Zpřesnit výpočtový model pro radiální vůle	Vedoucí konstrukce	ANO	4	8	5 160
12	Vibrace turbíny v důsledku nedostatečné tuhosti rotoru	Vícenáklady na zvýšení tuhosti	Konstrukční chyba	Kontrola konstrukční dokumentace	6	8	10	480	Vytvořit model pro zjišťování tuhosti rotoru, přednostně používat ověřená řešení	Vedoucí konstrukce	ANO	5	8	4 160
13	Provozování čerpadla v kavitačním režimu v důsledku nevhodného zapojení potrubí pro topný kondenzát	Vícenáklady na opravu zapojení potrubí	Projekční chyba	Kontrola na stavbě	5	8	10	400	Vytvoření standardizovaného řešení	Vedoucí projekce	ANO	4	8	2 64

ANALÝZA MOŽNOSTÍ VZNIKU NESHOD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA PROCESU)														
FMEA ČÍSLO :		EE067-08	ZPRACOVAL : Biolková a kol											
DATUM ZPRACOVÁNÍ :		07/08	DATUM PŘEPRACOVÁNÍ :									4	z	4
č.	MÍSTO/POPIS NESHODY	DŮSLEDEK NESHODY	PŘÍČINA NESHODY	SOUČASNÝ STAV				DOPORUČENÁ OPATŘENÍ	ODPOVĚDNOST ZA OPATŘENÍ (TERMÍN)	VÝSLEDKY OPATŘENÍ				
				KONTROLNÍ OPATŘENÍ	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ	RPN		OPATŘENÍ SPLNĚNO	VÝSKYT	VÝZNAM	ODHALENÍ	RPN
14	Nevhodně dimenzované závěsy potrubí	Vícenáklady na opravu potrubí	Projekční chyba	Kontrola projekční dokumentace	5	5	3	75						
15	Vysoké vibrace potrubí oleje vlivem zapomenutého odblokování potrubí mazacího oleje (svar)	Vícenáklady na opravu potrubí	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	5	8	10	400	Zpřísnění dohledu při provádění prací	Vedoucí montáže	ANO	5	8	4 160
16	Poškození ozubení převodovky bludnými proudy z buzení generátoru v důsledku chybějícího kvalitního uzemnění rotoru mezi generátorem a převodovkou	Vícenáklady na opravu komponentů	Montážní chyba	Kontrola na stavbě	4	8	10	320	Vytvoření standardizovaného postupu při uvádění do provozu	Vedoucí montáže	ANO	3	8	5 120
17	Omezený počet startů z důvodu vysokých proudů při startech v důsledku nevhodného natáčedla se slabým motorem	Vícenáklady na reklamace zákazníka	Konstrukční chyba	Kontrola konstrukční dokumentace	3	7	5	105						

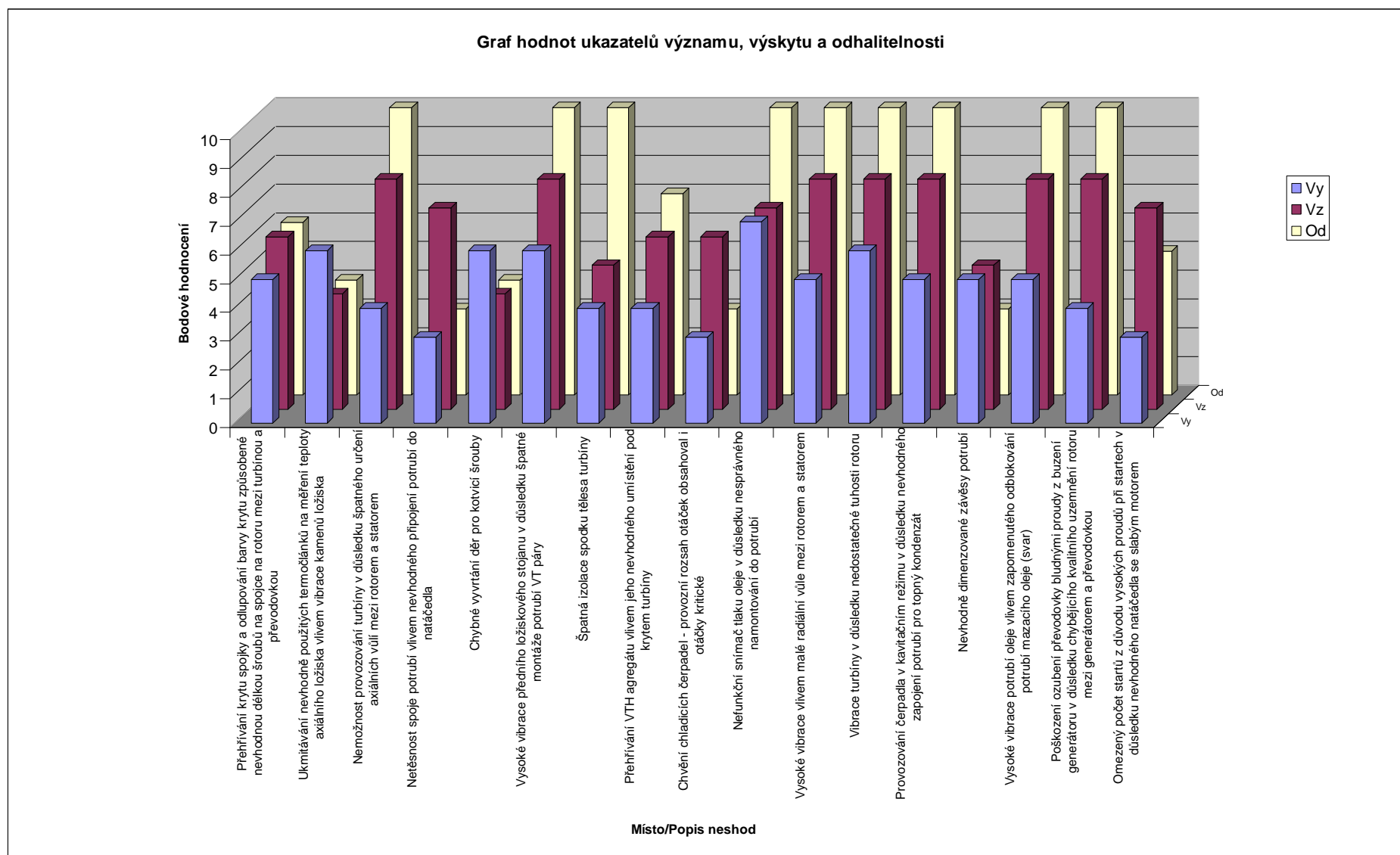


Diagram 15: Popis vad (neshod) a velikost hodnot ukazatelů významu, výskytu a odhalitelnosti vad

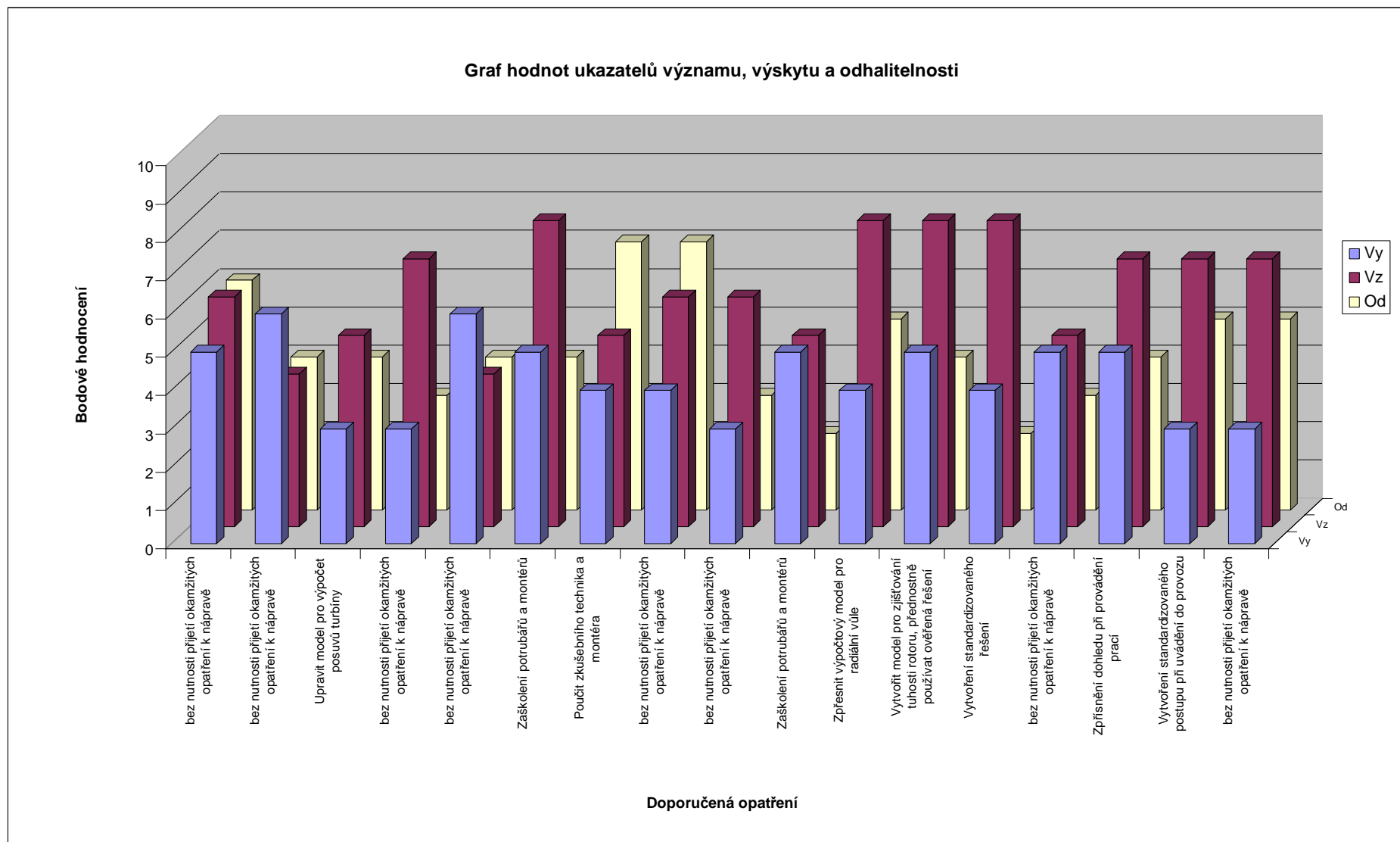


Diagram 16: Změna hodnot ukazatelů významu, výskytu a odhalitelnosti vad po aplikaci doporučených opatření k nápravě

6.3 Návrh opatření k nápravě pro eliminaci nákladů na nízkou kvalitu z hlediska subdodávek a ostatních zjištěných nedostatků

Při realizování projektu v praxi nelze nikdy zajistit naprostou „bezvadnost“ subdodávek a vždy se nějaké méně či více závažné nedostatky určené k nápravě objeví a od určitého procenta se již nedají efektivně omezit i kdyby se neustále zvyšovaly náklady na jejich kontrolu. Je třeba dbát na to, aby náklady na kontrolu subdodávek nedosáhly výše, kdy by náklady na nápravu byly levnější. Jde v podstatě o to, že i přes opětovné zvyšování nákladů na kontrolu subdodávek se náklady na nápravu už nesníží. Jedná se o jistou mezní hranici nákladů na kontrolu subdodávek. Tato hranice je pro každý realizovaný projekt specifická a reflektuje podmínky dané konkrétní realizace. Tudíž je nutno zvolit optimální počet, pořadí a obsah kontrolních opatření, aby byla jejich efektivita co nejvyšší.

Přijímání efektivních opatření k nápravě slouží pro vyloučení příčin neshod odhalených u minulých projektů a zabránění jejich opakovaného výskytu a dále k eliminaci či minimalizování celkových vícenákladů na nízkou kvalitu vyvstalých z těchto neshod s cílem dosažení co největší finanční úspory na budoucích projektech. Přičemž tato opatření musí být vždy úměrná důsledkům zjištěných neshod.

Skutečností je, že okamžitá opatření k nápravě, kterými se odstraňují vzniklé neshody, obvykle nezabrání jejich opakovanému výskytu. Z toho důvodu je třeba věnovat pozornost rovněž preventivním opatřením k nápravě. Tato preventivní opatření k nápravě představují opatření realizované pro vyloučení příčin možných neshod, aby se zabránilo jejich opakovanému výskytu. V případě, že realizace opatření k nápravě vedla ke zlepšení, je potřeba v rámci organizace zajistit trvalé zakotvení provedených změn neboli provést standardizaci nového řešení.

6.3.1 Analýza stávajícího procesu řízení kvality

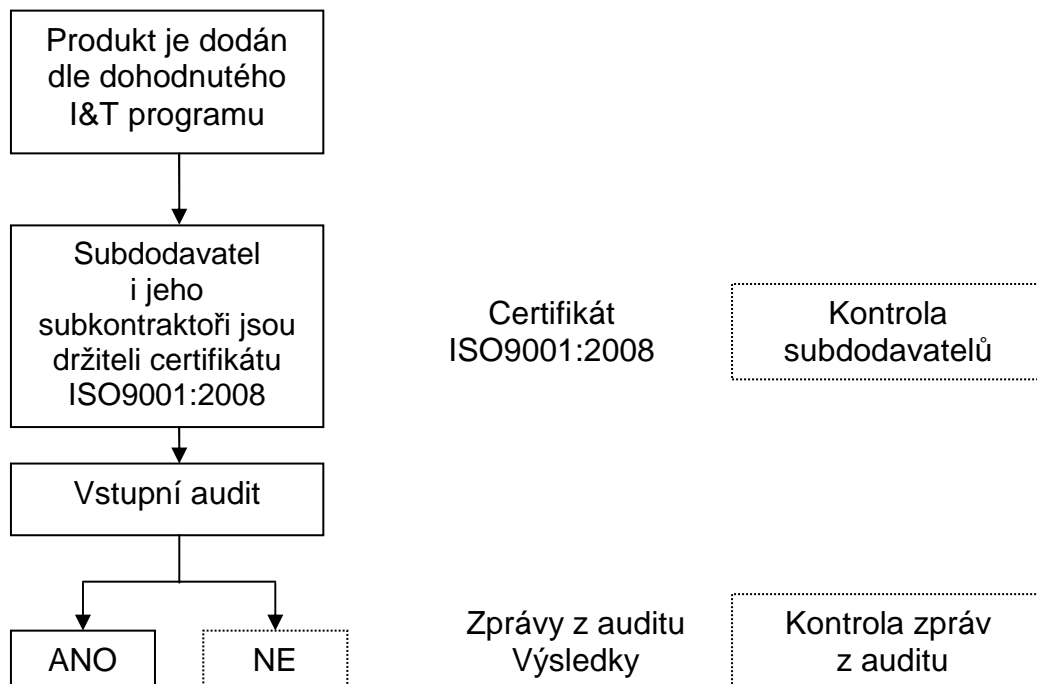
K tomu, aby bylo možno provést návrh efektivních opatření k nápravě, je nejprve nutno analyzovat stávající proces řízení kvality viz digram 17. Opatření k nápravě se pak v rámci vytvoření metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení navrhne pro všechna slabá místa, která budou odhalena v celém procesu řízení kvality a která způsobují jak ztrátu času, tak ztrátu finančních prostředků.

Proces řízení kvality dle oboustranně schválených I&T programů

Standardizace a dokumentace

Sledování, kontrolování

Nápravná opatření



Dle zprávy z výsledku auditu (ANO) je proveden výběr dodavatele, který je potom zařazen do databáze dodavatelů.

Situace, kdy I&T program není zpracován a vznikají dodatečné požadavky stavby na chybějící materiál či zařízení

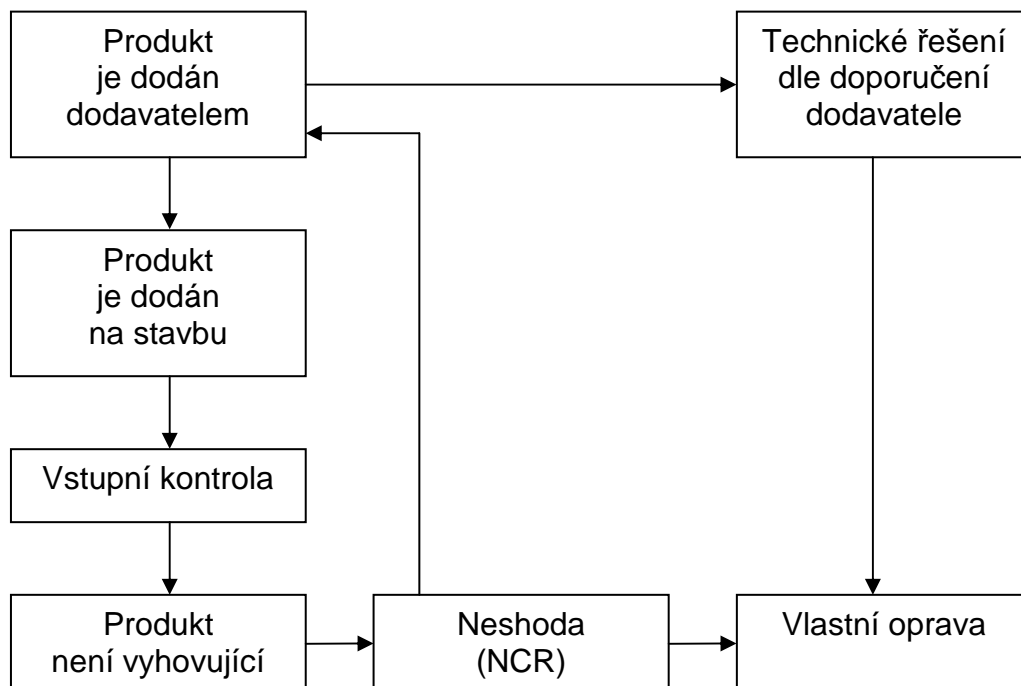


Diagram 17: Stávající proces řízení kvality

6.3.2 Návrh opatření k nápravě problémů nekompletních, zpožděných a vadných subdodávek - vada č. 2, č. 3 a č. 4

Zajišťování kvality subdodávek v současné době představuje pro každou organizaci jeden z klíčových procesů. Mezi hlavní faktory, které k tomuto velkému významu velkou měrou přispívají patří:

- Značný podíl subdodávek vzhledem k celkovému objemu nákladů na realizaci projektu (zakázky)
- Značný podíl nákladů na nízkou kvalitu spojený s nízkou kvalitou subdodávek
- Značný podíl nákladů na nízkou kvalitu spojený s nedodržením termínů dodání subdodávek dle předepsaného schváleného harmonogramu

Hlavním cílem posuzování shody s požadavky na kvalitu subdodávek je vytřídění neshodných subdodávek od subdodavatele. Při posuzování shody s požadavky na kvalitu dodávek organizace využívá buď statistickou přejímku nebo akceptuje tzv. prohlášení shody produktu se specifikacemi v souladu s normou ČSN EN 45014, která uvádí formu tohoto prohlášení.

Pro organizaci je ve spolupráci se subdodavateli nezbytné optimalizovat a neustále zlepšovat následující aktivity, vedoucí ke zvyšování kvality subdodávek:

- a) zajištění splnění všech požadavků na finální kvalitu subdodávek s minimem výdajů na kontrolu a výdajů na nutné nápravy spojené s nízkou kvalitou subdodávek
- b) průběžného prověřování kvality subdodávek přímo u subdodavatele
- c) uplatňování statistických metod v programu dosavadního vývoje při provádění rozboru ztrát jednotlivých subdodávek nebo jejich částí podle druhu či místa, dále rozboru podílu účasti na vadných subdodávkách a v neposlední řadě rozboru vyvstalých nákladů na nízkou kvalitu podle příčin nebo místa vzniku
- d) vzájemné spolupráce v průběhu smluvního plnění subdodávek, včetně oboustranné komunikace a vzájemné informovanosti o všech skutečnostech, které by mohly ovlivnit kvalitu subdodávek, event. poskytování různých forem technické pomoci subdodavatelům ze strany vlastní organizace

Subdodávka musí splňovat několik zásadních kritérií viz tabulka 22. Není-li splněno některé z těchto kritérií, vznikne vada.

Tabulka 22: Kritéria pro uznání kompletních a bezchybných subdodávek

Kritéria pro uznání kompletních, včasných a bezchybných subdodávek	
1	Dodání kompletní dokumentace kvality spolu se subdodávkou
2	Dodání kompletní průvodní technické dokumentace k produktům
3	Dodání certifikátů materiálů, svářečů, NDT personálu.
4	Správné a úplné označení materiálů, polotovarů a finálních produktů
5	Správně vydané výstupní protokoly expedice ze závodu
6	Vzájemné uznání programů testů a zkoušek – dodavatel/zákazník
7	Průběh přejímky proběhl dle schváleného programu testů a zkoušek
8	Převzetí subdodávky až po řádném skončení všech testů a zkoušek

Skutečností je, že okamžitá opatření k nápravě, kterými se odstraňují vzniklé neshody, obvykle nezabrání jejich opakovanému výskytu. Z tohoto důvodu je třeba věnovat pozornost rovněž i efektivním a přiměřeným preventivním opatřením k nápravě. Tato preventivní opatření k nápravě představují opatření realizované pro vyloučení příčin možných neshod, aby se zabránilo jejich opakovanému výskytu.

Aby byly eliminovány či minimalizovány celkové vícenáklady na nízkou kvalitu vyvolané problémy nekompletních, zpožděných a vadných subdodávek, je pro organizaci nezbytné provádět následující přiměřená a efektivní preventivní opatření a postupy k nápravě s cílem dosažení co největší finanční úspory na budoucích projektech:

- Přesně stanovit konečné termíny všech subdodávek a zakotvit je do kontraktačních podmínek pro subdodavatele
- Požadovat na subdodavateli podrobné zpracování časového harmonogramu výroby a jeho včasné předání organizaci
- Jasně stanovit, jak průběžně kontrolovat a vyhodnocovat plnění harmonogramu subdodávek
- Včas stanovit důležité milníky pro subdodávky a důsledně kontrolovat jejich dodržování

- Předem odsouhlasit Plán kontrol a zkoušek podrobně vypracovaný subdodavatelí před uzavření SoD
- Včas reálně posoudit schopnosti zajištění subdodávek, nákupu komponent a specializovaných služeb u jednotlivých subdodavatelů
- Zajistit vhodný výběr typu pracovníků pro provádění přejímky u subdodavatele a jejich výcvik
- Důsledně kontrolovat zadávací dokumentaci před předáním subdodavatelí
- Provádět případný reaudit u subdodavatele
- Požadovat na subdodavatelí písemnou výzvu k účasti organizace na dohodnutých zkouškách zařízení (konečné zkoušky, tlakové zkoušky atd.) dle dohodnutého I&T programu
- Důsledně provádět finální kontrolu produktů (kompletnost subdodávky, dokumentace kvality atd.) před každou expedicí hotové subdodávky
- Shromažďovat a analyzovat data z průběhu subdodávek, jejich včasnosti a bezchybnosti a zajistit odpovídající vyhodnocení schopností subdodavatelů pro následující projekty, provést závěrečné ekonomické posouzení

Pro tato navrhnutá opatření k nápravě, jejichž realizace vede ke zlepšení, je v rámci organizace zajištěno trvalé zakotvení provedených změn neboli provedení standardizace nového řešení.

6.3.3 Návrh opatření k nápravě ostatních zjištěných nedostatků

K tomu, aby byly eliminovány či minimalizovány celkové vícenáklady na nízkou kvalitu vyvstalé ze všech nastalých vad během realizace projektů zakázek v oblasti energetiky, je nutno se vypořádat především s nejzávažnějšími problémy pomocí přiměřených a efektivních opatření k nápravě. Nicméně opatření k nápravě je vhodné navrhnout i pro ostatní nastalé vady s cílem dosažení co největší finanční úspory na budoucích projektech.

Skutečností je, že okamžitá opatření k nápravě, kterými se odstraňují vzniklé neshody, obvykle nezabrání jejich opakovanému výskytu. Z toho důvodu je třeba věnovat pozornost rovněž i preventivním opatřením k nápravě. Tato preventivní opatření k nápravě představují opatření realizovaná pro vyloučení příčin možných neshod, aby se zabránilo jejich opakovanému výskytu.

Ostatní zjištěné nedostatky představují následující nastalé vady:

- Chyby v montážní dokumentaci – vada č. 5
- Subdodávky neodpovídající specifikaci – vada č. 6
- Chybně formulované požadavky – vada č. 7

Vícenáklady na nízkou kvalitu vzniklé z výše uvedených vad lze eliminovat či minimalizovat pomocí následujících preventivních opatření k nápravě:

- Včas identifikovat překážky a rizika vedoucí k chybám v dokumentaci a navrhnout postupy, jak je zvládat
- Na základě provedené analýzy nastalých problémů u předchozích realizovaných projektů zefektivnit současný systém kontroly před předáním dokumentace
- Předejít subdodávkám neodpovídajících specifikaci provedením reauditů u subdodavatele dle dohodnutého I&T programu
- Zajistit správné pochopení všech požadavků zákazníka v zadání projektu u všech osob zodpovědných za zpracování projektu

Při technicko ekonomickém zhodnocení účinnosti všech navržených opatření k nápravě byla vyčíslena úspora nákladů na nízkou jakost z důvodu nízké kvality subdodávek a ostatních nedostatků v objemu téměř 180 000 Kč. Pro tato navržená opatření k nápravě, jejichž realizace vede ke zlepšení, je v rámci organizace zajištěno trvalé zakotvení provedených změn neboli provedení standardizace nového řešení.

7 Vyhodnocení účinnosti navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu

7.1 Definice stavu problematiky po aplikaci navržené metodiky

Projekt, na který byla aplikována navržená metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení a na kterém byla vyhodnocována účinnost této navržené metodiky, byl ve společnosti Alstom Power realizován v období 2007-2008, tedy v letech, kdy se společnost Alstom Power již výhradně specializovala pouze na servis kotlů a teplárenských zařízení. Předmětem tohoto projektu byla oprava tlakového systému při běžné opravě teplárenského bloku. Při závěrečném zhodnocení byly vyčísleny celkové náklady na nízkou kvalitu, které projekt zatížily, tabulka 23.

Tabulka 23: Hodnocení projektu po aplikaci metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu

Realizovaný projekt	E
Kontraktační cena [Kč]	13 500 000
Náklady na NCR [Kč]	423 900
Náklady na nízkou kvalitu [%]	3,14

Náklady na nízkou kvalitu představovaly jednak přímo vynaložené finanční prostředky na nápravu neshod a vad, ale rovněž vícenáklady vzniklé prostoji montážních činností a v neposlední řadě vícenáklady vzniklé vícepracemi zaměstnanců podpůrných útvarů (engineeringu, nákupu a realizace), kteří se přímo podíleli na odstranění neshod. Přehled nastalých neshod a vad a jím příslušných objemů nákladů na nízkou kvalitu viz tabulka 24, a diagram 18 a 19. Grafické znázornění statistik projektů realizovaných v období 2000 – 2004 (před aplikací navržené metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu) a projektu po aplikaci navržené metodiky viz diagram 20.

Tabulka 24: Přehled vad u realizovaného projektu po aplikaci navržené metodiky
snižování nákladů na nízkou kvalitu

Název vady		Realizovaný projekt E období realizace 2007 - 2008	
1	Kolize zařízení	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	3 7 119 600
2	Nekompletní subdodávky	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	1 3 50 700
3	Zpožděné subdodávky	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	2 0 84 100
4	Vadné subdodávky	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	1 6 112 700
5	Chyby v montážní dokumentaci	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	1 1 38 500
6	Subdodávky neodpovídající specifikaci	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	1 3 18 300
7	Nedostatečné vyškolení zákazníka	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	0 0 0
8	Chybně formulované požadavky	počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	0 0 0
Σ vícenákladů na nízkou kvalitu na projekt		počet [mj] vícepráce [hod] cena [Kč]	9 20 423 900

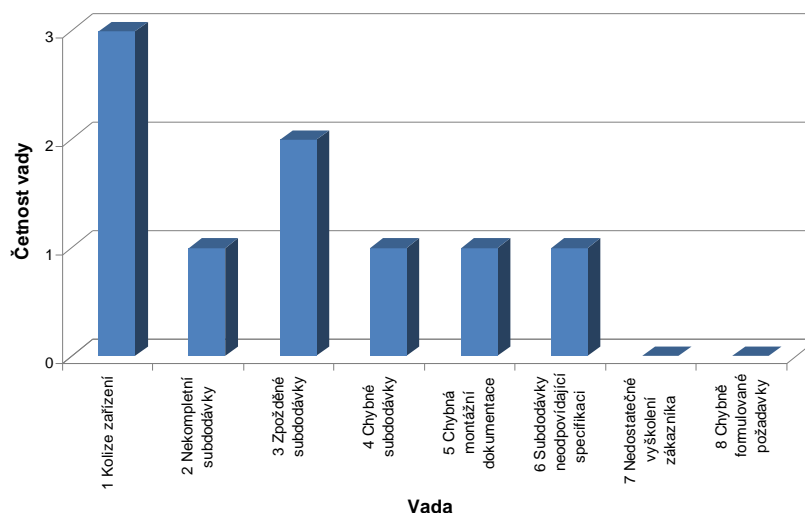


Diagram 18: Přehled vad z hlediska četnosti vady u projektu po aplikaci navržené metodiky

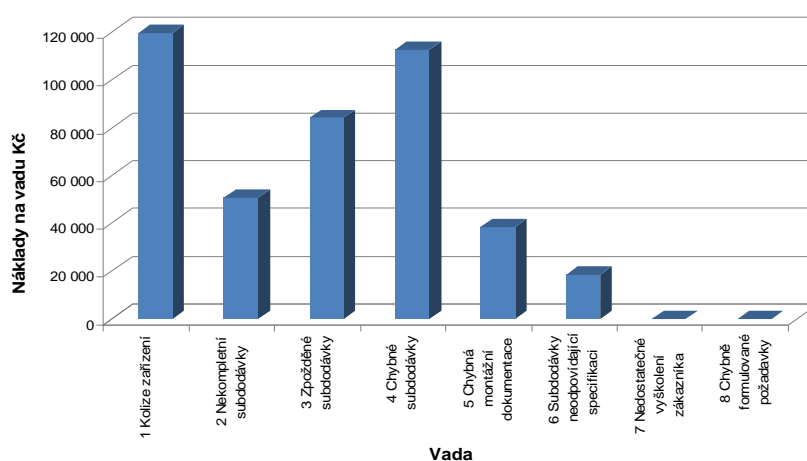


Diagram 19: Přehled vad z hlediska objemu nákladů na nízkou kvalitu u projektu po aplikaci navržené metodiky

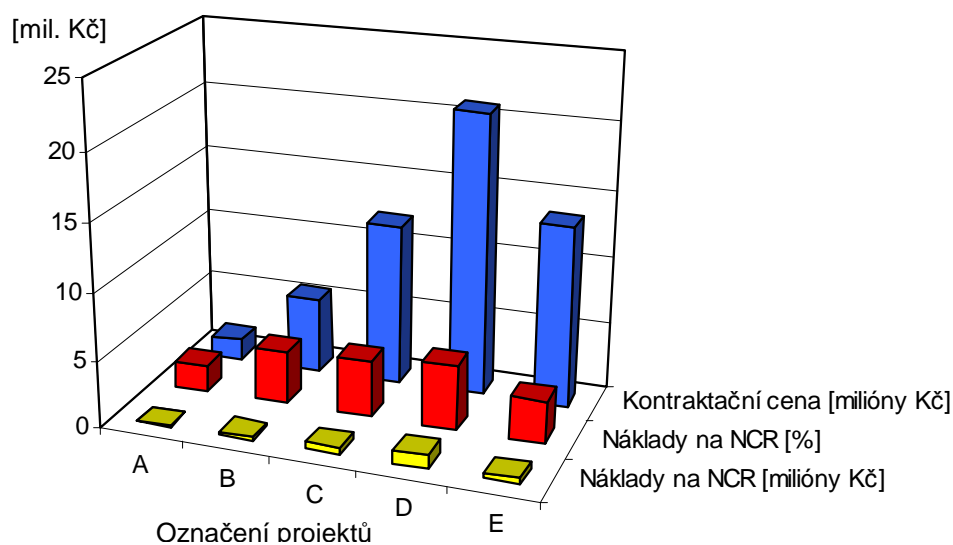


Diagram 20: Porovnání statistik projektů před a po aplikaci navržené metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu

7.2 Hodnocení efektivnosti dílčích kroků procesu realizace projektu

Dokonalost a efektivnost výstupní výkonnosti jednotlivých kroků procesu dané problematiky procesu realizace projektu je efektivně a účinně posuzována pomocí hodnocení „výnosu“ (Yield). Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, dokonalé procesy se vyznačují vysokým výnosem. Čím vyšší je tedy výnos, tím vyšší je výkonnost a efektivnost procesů a vyšší předpoklad dosažení konkurenceschopné ceny a většího uspokojení zákazníka.

Efektivnost a produktivitu jednotlivých hlavních dílčí kroků procesu realizace projektu lze posoudit pomocí tzv. „dílčích výnosů“ Y_{FP} (First Pass Yield) viz tabulka 25 a obr. 26. Dílčí výnos stanovuje podíl jednotek bez neshod. Vzniká z počtu neshod odečtených od hodnoty 1. Počet neshod je znázorněn kvocientem počtu neshod a chybných možností. Dílčí výnos se vypočte podle následujícího vztahu:

$$Y_{FP} = (1 - DPO) \cdot 100 [\%], \text{ kde}$$

DPO [-]... kvocient počtu neshod a chybných možností

Kvocient počtu neshod a chybných možností DPO (Defects per Opportunities) vypovídá o tom, jak dobře či špatně probíhá sledovaný proces. Vyjadřuje počet neshod všech druhů vztažený k celkovému počtu jednotek v souboru. Hodnotu ukazatele DPO určuje následující vztah [7]:

$$DPO = \frac{D}{N \cdot O} [-], \text{ kde}$$

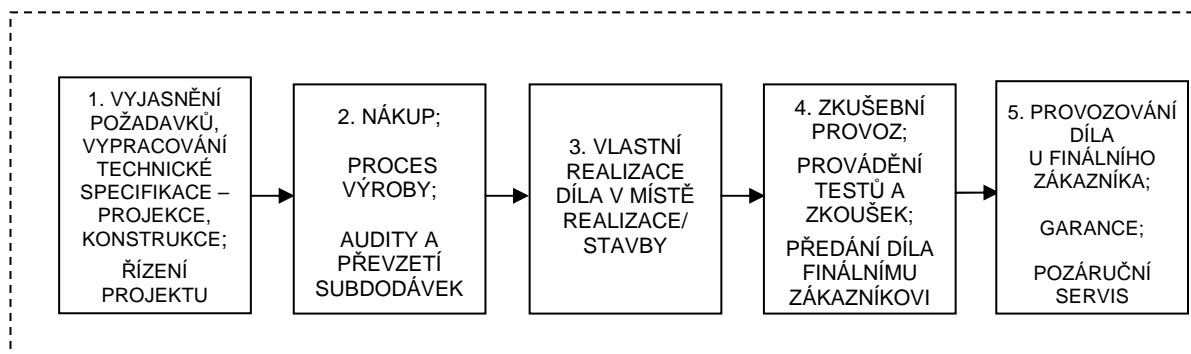
D [-].....počet zjištěných neshod na výstupu z dílčího kroku procesu

N [-]... celkový počet vstupních jednotek do příslušného dílčího kroku procesu

O [-]... počet možných příležitostí vzniku neshod jedné jednotky v příslušném dílčím kroku procesu. V tomto případě je každá jednotka popsána jednou vlastností, a proto je $O = 1$ [-].

Tabulka 25: Hodnocení efektivnosti hlavních dílčích kroků procesu realizace projektu po aplikaci metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu

Dílčí kroky procesu	Počet neshod na výstupu z dílčího kroku procesu D [-]	Celkový počet vstupních jednotek do dílčího kroku procesu N [-]	Kvocient počtu neshod a chybných možností DPO [-]	Dílčí výnos Y_{FP} [%]
1	1	36	0,03	97,22
2	5	71	0,07	92,95
3	2	32	0,06	93,75
4	0	7	0	100
5	1	43	0,02	97,67



Výchozí stav Y_{FP} : 87,94%	70,98%	76,92%	97,06%	90,38%
Cílový stav Y_{FP} : 97,22%	92,95%	93,75%	100%	97,67%

Obr. 26: Dílčí výnosy hlavních kroků procesu realizace projektu po aplikaci metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu

Z obrázku 26 je zřejmé, že došlo k pozitivnímu nárůstu všech dílčích výnosů jednotlivých dílčích kroků procesu realizace projektu (zakázky), neboli nastalo zvýšení efektivnosti každého dílčího kroku procesu, čímž bylo dosaženo splnění vytyčených cílů.

7.3 Stanovení ukazatele způsobilosti procesu Sigma

Ukazatel způsobilosti procesního σ udává, do jaké míry byly realizační procesy způsobilé plnit kladené požadavky. Výpočet ukazatele způsobilosti procesního σ je stanoven pro dva procesy, které se při vypracovávání metodiky prokázaly jako „nejslabší“ procesy v průběhu realizace projektu (zakázky):

1. Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení
2. Proces zajištění bezchybných dodávek

Pro stanovení velikosti hodnoty ukazatele způsobilosti σ je aplikována výpočetní metoda s využitím tzv. „Tabulky procesního Sigma“, viz Příloha 2, kdy se podle velikosti pravděpodobnosti výskytu sledovaného znaku kvality P (ang. Yield) vyhledá hodnota procesního σ , přičemž je uvažováno normální rozdělení pravděpodobnosti.

Pravděpodobnost výskytu sledovaného znaku kvality P se vypočte dle následujícího vzorce [7]:

$$P = \left(1 - \frac{D}{N \cdot O}\right) [\%] \rightarrow P [\%] \approx \text{procesní } \sigma [-]$$

D [-]... počet zjištěných vad

N [-]... počet vstupních jednotek

O [-]...počet možných příležitostí vzniku vad jedné jednotky

7.3.1 Výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení

Podkladem pro výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení je celkový počet kolizí zařízení, které nastaly během souvisejících činností během dílčích kroků realizace projektu, na který byla aplikována metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu, viz Tabulka 25.

Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize zařízení	D [-]	N [-]	O [-]	P [%]
	4	111	1	96,40

Pravděpodobnost výskytu bezchybných činností (bez vzniku kolize zařízení) P se vypočte dle následujícího vzorce [7]:

$$P = \left(1 - \frac{D}{N \cdot O}\right) \cdot 100 = \left[1 - \frac{4}{(36 + 32 + 43) \cdot 1}\right] \cdot 100 = \left(1 - \frac{4}{111 \cdot 1}\right) \cdot 100 = 96,40 [\%]$$

D [-]... počet zjištěných vad (kolizí)

N [-]... počet realizovaných činností přímo souvisejících se vznikem kolize

O [-]...počet možných příležitostí vzniku vady (kolize) při jedné činnosti, v tomto případě je každá činnost popsána jednou vlastností, a proto je $O = 1[-]$

Pro vyhledání hodnoty procesního σ poslouží tzv. Tabulka procesního Sigma“, viz Příloha 2.

Pro hodnotu pravděpodobnosti výskytu bezchybných činností (bez vzniku kolize zařízení) $P = 96,40 [\%] \approx$ ukazatel procesního $\sigma = 3,3 [-]$.

7.3.2 Výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění bezchybných dodávek

Podkladem pro výpočet ukazatele procesního Sigma pro proces zajištění bezchybných dodávek je celkový počet chybných dodávek, které nastaly během souvisejících činností během dílčích kroků realizace projektu, na který byla aplikována metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu, viz Tabulka 25.

Proces zajištění bezchybných dodávek	D [-]	N [-]	O [-]	P [%]
	5	71	1	92,95

Pravděpodobnost výskytu bezchybné dodávky P se vypočte dle následujícího vzorce [7]:

$$P = \left(1 - \frac{D}{N \cdot O}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{5}{71 \cdot 1}\right) \cdot 100 = 92,95 [\%]$$

D [-]... počet zjištěných vad (chybných dodávek)

N [-]...počet realizovaných činností přímo souvisejících se vznikem chybných dodávek

O [-]...počet možných příležitostí vzniku vady (chybné dodávky) při jedné činnosti, v tomto případě je každá činnost popsána jednou vlastností, a proto je $O = 1[-]$

Pro vyhledání hodnoty procesního σ poslouží tzv. „Tabulka procesního Sigma“, viz Příloha 2.

Pro hodnotu pravděpodobnosti výskytu bezchybné dodávky $P = 92,95 [\%] \approx$ ukazatel procesního $\sigma = 3,0 [-]$.

7.4 Ověření účinnosti navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu

Ověření účinnosti navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu je provedeno srovnáním skutečně dosahovaných výsledků po aplikaci metodiky s vytyčenými cíli a s výsledky dosahovanými u předchozích realizovaných projektů, viz tabulka 26.

Jak je z tabulky 26 zřejmé, navržená metodika snížení nákladů na nízkou kvalitu se prokázala být natolik účinná, že v zásadě došlo ke splnění všech vytyčených cílů, neboli efektivnost, způsobilost a hospodárnost podnikových procesů byla zvýšena. Především úsporou nákladů na nízkou kvalitu se objem vynaložených nákladů na nízkou kvalitu zredukoval až na hranici 3%. Což spolu s vyšší dosaženou spokojeností zákazníka mělo pozitivní dopad na dosahované hospodářské výsledky a konkurenceschopnost organizace.

Tabulka 26: Ověření účinnosti navržené metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu procesů realizace projektů

Definice cílů	Stav před aplikací metodiky	Vytyčené cílové hodnoty	Dosažené hodnoty zlepšení
<p>Vyšší výnos Y_{FP}, neboli efektivnost a výkonnost klíčových dílčích podnikových procesů realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Proces vyjasnění požadavků zákazníka, vypracování technické specifikace – projekce a konstrukce, řízení projektu 2. Proces nákupu, výroby a převzetí subdodávek 3. Proces vlastní realizace díla v místě realizace/stavby 4. Proces průběhu zkušebního provozu, provádění testů a zkoušek a předání díla finálnímu zákazníkovi 5. Proces záručního a pozáručního provozování díla u zákazníka a poskytování garancí a pozáručního servisu 	<p>87,94%</p> <p>70,98%</p> <p>76,92%</p> <p>97,06%</p> <p>90,38%</p>	<p>$\geq 93,3\%$</p>	<p>97,22%</p> <p>92,95%</p> <p>93,75%</p> <p>100%</p> <p>97,67%</p>
<p>Zvýšení ukazatele způsobilosti SIGMA u identifikovaných „nejslabších“ klíčových dílčích podnikových procesů:</p> <p>Proces zajištění realizace díla bez vzniku kolize</p> <p>Proces zajištění bezchybných dodávek</p>	<p>$\sigma = 2,9 [-]$</p> <p>$\sigma = 2,7 [-]$</p>	<p>min. o jednu úroveň Sigma oproti současnému stavu</p>	<p>$\sigma = 3,3 [-]$</p> <p>$\sigma = 3,0 [-]$</p>
Redukce nákladů na nízkou kvalitu vzhledem k celkové kontraktační ceně zakázky	4,82%	$\leq 3\%$	3,14%
Zvýšení hospodárnosti podnikových procesů - zvýšení návratnosti investic vzhledem k celkové kontraktační ceně zakázky	70,5%	(10÷20)% Nárůst oproti současnému stavu	87,5% (abs. nárůst o 17,5%)
Zvýšení spokojenosti zákazníka vzhledem k počtu obdržených stížností a reklamací	96,0%	$\geq 98\%$	98,0%

8 Zhodnocení dosažených výsledků disertační práce

V úvodní části disertační práce je objasněn význam nutnosti zabývat se problematikou kvality za účelem dokonalého uspokojování zákazníků dodávkami zařízení a komplexních služeb špičkové kvality a spolehlivosti. Přičemž zdůrazněna je skutečnost, že úspěšné prosazování organizací, podnikajících ve strojírenských oborech a pohybujících se na současném vysoce konkurenčním trhu, je důsledkem vhodných opatření v oblasti kvality a bezchybného zvládnutí procesů v rámci celé organizace. Vysvětlena je dále nutnost neustálého sledování chyb, které v průběhu procesu vznikají, dále nutnost co nejpřesnějšího stanovení nákladů vztahující se k nízké kvalitě a v neposlední řadě i nutnost vynakládání investic do neustálého zlepšování procesů. Neboť je prokázáno, že detekce a odstraňování chyb v procesu vždy představuje dodatečné náklady na nízkou kvalitu, které ve svém důsledku způsobují značné snížení dosahovaného zisku. Oproti tomu při snaze předcházet chybám pak objem ušetřených nákladů na nízkou kvalitu vysoce převyšuje objem potřebných výdajů na aplikaci zlepšování.

Ve druhé kapitole je objasněn význam systému procesního managementu kvality v průmyslové praxi, jehož úlohou je přispívat k zajištění požadované úrovně kvality. Na principu velmi efektivní a celosvětově uznávané filozofie managementu kvality Six Sigma je vysvětlen koncept systematického zlepšování procesů v rámci celopodnikového řízení kvality a koncept neustálého snižování nákladů na nízkou kvalitu, především prostřednictvím prevence neshod a vad. Přiblížen je „Projekt zlepšování“, směřující k přesnému stanovení zdrojů neshod a vad a způsobu jejich eliminace či minimalizace u budoucích projektů. V této kapitole je shrnut současný stav zkoumané problematiky v praxi a zdůrazněny jsou konkrétní zkušenosti organizací podnikajících ve strojírenském průmyslu v celosvětovém měřítku. Prezentovány jsou zde rovněž účinky a výsledky filozofie Six Sigma, které jsou demonstrovány na hospodářských výsledcích renomovaných organizací dlouhodobě a úspěšně se pohybujících na současných trzích.

Dále je v této kapitole vytvořen přehled současného stavu problematiky. Řeší se především otázka, jaká je současná výše a skladba nákladů na nízkou kvalitu, tedy nákladů na zamezení neshod, kontrolu a nápravu neshod, a dále jaká je současná úroveň kvality podnikových procesů během realizace projektů. Na základě těchto

úvah je formulována pracovní hypotéza, jejíž správnost je dále ověřována prostřednictvím vhodných metod vědeckého zkoumání.

Ve třetí kapitole disertační práce je formulována pracovní hypotéza a jsou vytyčeny konkrétní cíle disertační práce a objasněn význam těchto cílů pro dosažení lepšího uspokojování zákazníků a zachování jejich věrnosti a rovněž pro dosažení příznivějších hospodářských výsledků. Hlavním cílem disertační práce je pro danou problematiku vhodně zvolit matematicko-statistické metody a nástroje řízení kvality a jejich prostřednictvím navrhnout metodiku snižování nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektů vedoucí ke zvýšení efektivnosti, produktivity a hospodárnosti podnikových procesů, dále k efektivnějšímu využívání zdrojů a v neposlední řadě k dosažení vyšší spokojenosti zákazníka s kvalitou dodávek a služeb u budoucích realizovaných projektů z rozsáhlé oblasti strojírenského odvětví.

Čtvrtá kapitola disertační práce obsahuje vlastní návrh obecně platné metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu procesů. V této kapitole jsou představeny čtyři klíčové projekty, které byly realizovány v organizaci Alstom v mezidobí let 2000 – 2004 a které byly v rámci vytvoření metodiky podrobeny detailní analýze. Rovněž jsou zde v rámci metodiky identifikovány klíčové procesy těchto projektů a vytvořena je detailní specifikace klíčových požadavků zákazníka. Nalezeny a vymezeny jsou vzájemné vazby mezi jednotlivými definovanými klíčovými procesy a identifikovány jsou vstupní parametry těchto procesů, jejichž změnou lze navrženou metodiku aplikovat na široké spektrum procesů realizovaných v mnoha různých oblastech strojírenského odvětví.

V rámci vytvoření metodiky snižování nákladů je u dílčích kroků procesu provedeno hodnocení založené na výstupní výkonnosti a důkladná analýza stavu. Dílčí kroky procesu realizace projektů jsou posuzovány pomocí dílčích výnosů stanovujících podíl jednotek bez neshod. Pro dílčí kroky procesu vykazující výrazně nižší výnos, neboli efektivnost, je proveden vhodný sběr dat, aby bylo možno provést následnou detailní analýzu těchto kroků, prošetřit příčiny vyskytujících se problémů a stanovit směr jejich dalšího zlepšování s cílem co nejvíce snížit vyvolané ekonomické ztráty.

V páté kapitole disertační práce jsou provedeny kroky pro odstranění či minimalizování nejzávažnějších příčin negativně ovlivňujících realizaci projektu.

Pomocí vhodně zvolených matematicko statistických metod je provedena jejich detailní analýza. Ze závěrů Paretovy analýzy četnosti jednotlivých vad se jako nejnepříznivější jeví vada č. 1 „Kolize zařízení“ a vada č. 4 „Vadné subdodávky“. Největší množství vícenákladů na nízkou kvalitu bylo oproti tomu způsobeno vlivy vady č. 2 „Nekompletní subdodávky“ a vady č. 3 „Zpožděné subdodávky“. Platnost vyslovené hypotézy tím byla ověřena. Prostřednictvím regulačních diagramů srovnáváním bylo z hlediska četnosti nastalých vad vyšetřeno chování procesu v čase, a to procesu „Zajištění realizace díla bez vzniku kolize“ a procesu „Zajištění bezchybných subdodávek“. Dále regulační diagramy poskytují data pro následný výpočet způsobilosti procesu. Z výpočtu ukazatele způsobilosti procesního Sigma vyplývá, že oba analyzované procesy nejsou způsobilé. V rámci vytvoření metodiky snížení nákladů na nízkou kvalitu jsou pomocí dalších vhodně vybraných statistických metod dále podrobně analyzovány detekované defekty a jejich příčiny. Tím jsou zjištěna kritická místa každého z obou nejslabších dílčích kroků procesu a prioritně jsou na ně zaměřena opatření k nápravě.

V šesté kapitole disertační práce je hlavní úsilí zaměřeno na hledání nejvýhodnějšího řešení k implementaci zlepšení, neboli na nalezení způsobu, jak dosáhnout vytyčeného cíle snížení nákladů na nízkou kvalitu během realizace projektů za co nejnižších vynaložených nákladů, aby již nedocházelo k opakování neshod z minulých projektů. Pro analýzu rizik procesu realizace projektů rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení, tedy příčin a důsledků vad, které vedly ke vzniku závažných kolizí zařízení během realizace projektu, je jako vhodný nástroj vybrána a aplikována metoda procesní FMEA.

Pro danou problematiku je po zvážení všech možných vlivů důsledků vad, především na spolehlivost zařízení a nákladů na nízkou kvalitu, stanovena jako kritická hranice závažnosti vad hodnota ukazatele míry a priority rizika $RPN = 200$ [-]. Hlavním přínosem aplikace metody FMEA je dosažení úspory nákladů na nízkou kvalitu, a to především snížením objemu vícenákladů přímo vynaložených na nápravu vzniklých vad přímo v místě stavby u zákazníka. Realizovaná navržená opatření k nápravě dokazují vysokou účinnost, a proto již není nutné hledat jiná vhodnější opatření k nápravě pro analyzované vady.

V kapitole sedm disertační práce je pomocí kontrolního měření posuzována účinnost a efektivnost navržené metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektů, která byla aplikována na projekt opravy tlakového systému při BO teplárenského bloku, realizovaného v letech 2007 - 2008. Ověření účinnosti metodiky snižování nákladů na nízkou kvalitu a pravdivost formulované pracovní hypotézy je provedeno srovnáním skutečně dosahovaných výsledků po aplikaci metodiky s vytyčenými cíli a s výsledky dosahovanými u předchozích realizovaných projektů.

Z dosažených výsledků je zřejmé, že vytvořená metodika je natolik účinná, že v zásadě došlo k potvrzení pracovní hypotézy a ke splnění všech vytyčených cílů. Navržená metodika má pozitivní dopad na efektivnost a výkonnost klíčových procesů (všechny hodnoty dosažených zlepšení jsou větší než vytyčená hodnota zlepšení 93,3%), rovněž vyšší je i dosahovaná hospodárnost klíčových procesů (abs. nárůst o 17,5%), docíleno bylo i plánovaného zvýšení hodnoty ukazatele procesního Sigma až na hodnotu Sigma rovno 3,3 [-], dále bylo zaznamenáno zvýšení spokojenosti zákazníka s kvalitou dodávaných zařízení a služeb a v neposlední řadě bylo dosaženo snížení nákladů na nízkou kvalitu až na hodnotu 3%. Předností navržené metodiky je, že splňuje požadavky na možnost změn vstupních podmínek jednotlivých procesů realizace, což umožňuje využití metodiky pro rozsáhlou oblast procesů realizovaných v mnoha oblastech strojírenského odvětví.

V osmé kapitole disertační práce je provedeno závěrečné hodnocení a rekapitulace dosažených výsledků.

9 Závěr

V disertační práci byla představena problematika procesů realizace projektů rekonstrukce, oprav a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení, s důrazem především na hodnocení efektivnosti jednotlivých klíčových procesů z hlediska zabezpečování kvality.

Pro tuto problematiku byla vytvořena obecně platná metodika snižování nákladů na nízkou kvalitu procesů realizace projektů v oblasti strojírenství. Účinnost této metodiky byla kontrolním měřením ověřena v praxi, kdy byl nesporně prokázán pozitivní dopad na efektivnost a výkonnost klíčových procesů projevující se minimalizací vzniklého objemu ztrát materiálních i lidských zdrojů.

Významný přínos metodiky, kterou jsem v této práci představila, spočívá v tom, že metodiku je vhodné aplikovat na široké spektrum procesů realizovaných v mnoha oborech strojírenského odvětví, a to při minimálním nutném množství přímo vynaložených nákladů na aplikaci metodiky v příslušné organizaci. Přičemž snížení nákladů na neshody, dosažené prostřednictvím navržené metodiky, vede k razantní úspoře celkových nákladů organizace vzhledem k obratu. Pro organizaci aplikující navrženou metodiku z toho vyplývá obrovský přínos v tom, že všechny úspory nežádoucích výdajů vyvolaných výskytem neshod přecházejí do objemu zisku organizace.

10 Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru

Neustálý vývoj vědy a techniky přináší celou řadu nových příležitostí ke zlepšování efektivnosti managementu kvality a je důležitou součástí dosažení a udržení konkurenceschopnosti organizace na současném trhu.

Další aktivity zlepšování by měly být dále plánovány jako součást rozsáhlého programu tzv. „managementu rizik“, který by měl být v budoucnu nadřazen současnému programu managementu kvality. To znamená, pohlížet na danou problematiku nejen z pohledu řešení problémů, které jsou bezprostřední, ale rovněž hlubším rozbořem nebezpečných událostí, které by mohly nastat.

Při takovém přístupu by se vycházelo z problémů, které již v průběhu realizace projektu nastaly a jejich příčiny a následky byly detailně analyzovány a byla rovněž přijata opatření eliminující jejich dopady na efektivnost a hospodárnost podnikových procesů. Na základě takto získaných zkušeností pak prostřednictvím programu managementu rizik predikovat další nebezpečné události, které by mohly v budoucnu v průběhu jednotlivých dílčích etap realizace projektu nastat a přijetím vhodných opatření zabránit výskytu těchto nebezpečných událostí.

Přičemž při tomto pojetí neustálého zlepšování podnikových procesů realizace projektů ve strojírenské průmyslu by se na problematiku v rámci organizace pohlíželo ještě více komplexněji. Což by v praxi znamenalo, že vedle trvalého cíle organizace dosáhnout příznivých hospodářských výsledků a maximálního uspokojení požadavků svých zákazníků by v rámci programu péče o kvalitu byl brán zvýšený ohled na aspekty bezpečnosti práce a péče o životní prostředí.

Seznam použité literatury a publikace autorky:

- [1] BIELKOVÁ Věra. Řízení způsobilosti energetických zařízení. Rigorózní práce. ZČU FST. Plzeň, 2007.
- [2] BIELKOVÁ Věra. Efektivita procesů v energetice s ohledem na řízení jakosti. In Power system engineering, thermodynamics & fluid flow: 7th conference with international participation: June 26-27, 2008, Pilsen, Czech Republic. ZČU FST. Plzeň, 2008
- [3] BIELKOVÁ Věra. Význam kalkulace procesního Sigma při určování způsobilosti procesů v energetických oborech. In Power system engineering, thermodynamics & fluid flow: 8th conference with international participation: June 18, 2009, Pilsen, Czech Republic. ZČU FST. Plzeň, 2009
- [4] BIELKOVÁ Věra; KLEMSA Josef. Turbine Hydraulic Control System Manual, Turbine PR55-33-130/7,5/1,2, B0003-PP. Alstom. Plzeň, 2003
- [5] BIELKOVÁ Věra; KLEMSA Josef; LEŠEK Petr. Rekonstrukce regulačního systému ENO B TG1 a TG2, B0005-PP/2. Alstom. Plzeň, 2003
- [6] BOTHE Davis. Measuring Process Capability. Mc.Graw-Hill, 1997
- [7] BREYFOGLE, Forrest. Implementing Six Sigma, John Wiley & Son, New York, 1999
- [8] DEMING Edwards. The new economics for industry, government, education. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 1993
- [9] FRANK Jindřich. Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA). ČSJ. Praha, 2001
- [10] GRABOV Pavel; BLUVBAND Zikmund. New Approach to Quality Costing. Jakost 2002 - Sborník přednášek. Dům techniky Ostrava, s.r.o. Ostrava, 2002
- [11] HARRY Mikel; SCHROEDER Richard. Six Sigma, The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. Currency. New York, 2000
- [12] KOŽÍŠEK Jan. Management jakosti II. Vydavatelství ČVUT, 2005
- [13] Komplexní soubor mezinárodních norem ISO – pracovní pomůcka. ČSJ. Praha, 1993

- [14] KRÁL Otakar, et al. Procesy zlepšování v systémech řízení podniků, přístupy, metody a nástroje, Soudobé trendy v jakosti řízení. ISQ Praha, s.r.o. Praha, 2009
- [15] KŘEPELA Josef. Sbírka úloh ze statistiky, 2. upravené vydání. ČSJ. Praha, 2001
- [16] KUPKA, Karel. Statistické řízení jakosti. Trilobite. Pardubice, 1997
- [17] MASAACKI Imai. KAIZEN Metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku. Computer Press, a.s. Brno, 2004
- [18] MASAACKI Imai. GEMBA KAIZEN Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Computer Press, a.s. Brno, 2005
- [19] MILLER Ivan. Kapesní příručka Six Sigma. Interquality, s.r.o. Praha, 2008
- [20] MITRA Amitava. Fundamentals of Quality Control and Improvement. Prentice-Hall. New Jersey, 1998
- [21] MOLNÁR Zdeněk. Úvod do základů vědecké práce, Syllabus pro potřeby semináře doktorandů. people.fsv.cvut.cz
- [22] NENADÁL Jaroslav. Měření v systémech managementu jakosti, 2. vydání. Management Press. Praha, 2004
- [23] NENADÁL Jaroslav. Moderní systémy řízení jakosti, 2. vydání. Management Press. Praha, 2002
- [24] Noskievičková Darja; Brodecká Kateřina.; Statistická regulace procesu pro Lean Six Sigma. Časopis AUTOMA 06/2011. Vydavatelství odborných časopisů a technické literatury FCC PUBLIC s.r.o. Praha, 2011
- [25] NOVOTNÝ Radovan; BRADÍK Josef. Technické aspekty zabezpečování jakosti. Vysoké učení technické v Brně. Brno 2002
- [26] PANDE Pete; NEUMAN Robert; CAVANAGH Roland. The Six Sigma Way. The Mc. Graw-Hill Companies, Inc. New York, 2000
- [27] PLURA Jiří. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Computer Press. Praha, 2001
- [28] Pracovní směrnice PI SQ/005 – Operativní řízení neshodného výrobku, a Příručka jakosti servis QMS/01. Alstom. Brno, 2003
- [29] REKTORYS Karel et al. Přehled užití matematiky. SNTL. Praha, 1988
- [30] FIALA Alois et al. Six Sigma – Přínosy a předpoklady. Jakost 2002 -Sborník přednášek. Dům techniky Ostrava, s.r.o. Ostrava, 2002

- [31] TÖPFER Armin et al. Six Sigma – Koncepce a příklady pro řízení bez chyb. Computer Press a.s. Brno, 2008
- [32] Využití sedmi jednoduchých nástrojů při realizaci norem ISO řady 9000 v praxi, I. díl – použití statistické regulace v systému zabezpečování jakosti dle norem ISO řady 9000. ČSJ. Praha, 1991
- [33] ZÍDKOVÁ Helena. Způsobilost procesu – přednáška na FST na ZČU v Plzni. Plzeň, 2007
- [34] ZVONEČEK František; ZÍDKOVÁ Helena. Jakost - styl života pro třetí tisíciletí. ZČU. Plzeň, 2003

Seznam příloh:

Příloha 1: Tabulka distribuční funkce normálního rozdělení

Příloha 2: Tabulka procesního Sigma

Příloha 3: Detailní diagram příčin a následků pro proces realizace projektu
rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů
a příslušenství teplárenských zařízení

Příloha 4: Data pro zjištění korelace mezi počtem hodin víceprací na neshodách
a objemem nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektu
rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a
příslušenství teplárenských zařízení

Příloha 5: Záznam o neshodě

Příloha 1: Tabulka distribuční funkce normálního rozdělení

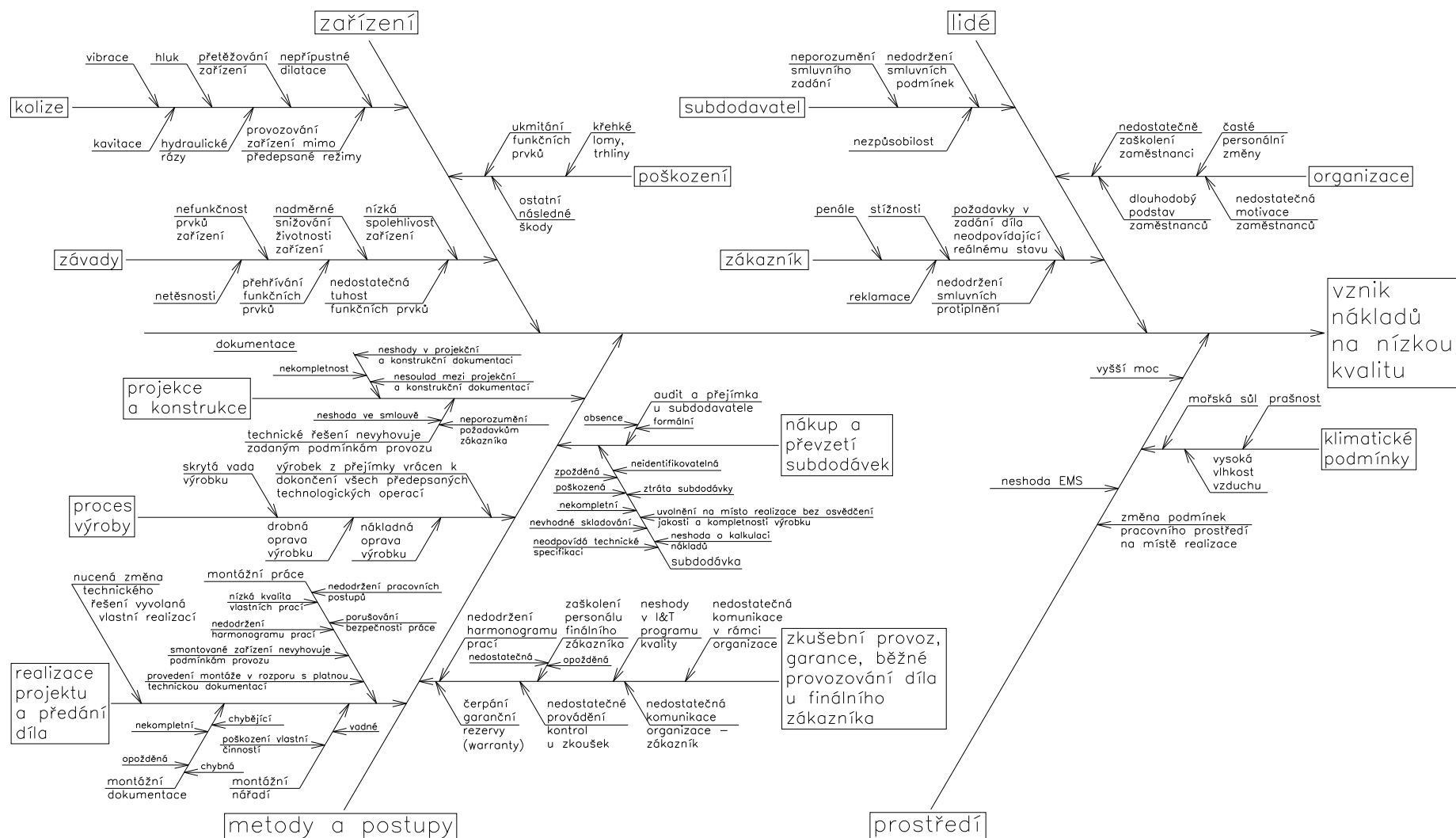
Z Decimal

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-4	0.000032	0.000021	0.000013	0.000009	0.000005	0.000003	0.000002	0.000001	0.000001	0.000000
-3	0.001350	0.000968	0.000687	0.000483	0.000337	0.000233	0.000159	0.000108	0.000072	0.000048
-2	0.022750	0.017864	0.013903	0.010724	0.008198	0.006210	0.004661	0.003467	0.002555	0.001866
-1	0.158655	0.135666	0.115070	0.096801	0.080757	0.066807	0.054799	0.044565	0.035930	0.028716
-0	0.500000	0.460172	0.420740	0.382019	0.344578	0.308538	0.274253	0.241964	0.211855	0.184060
0	0.500000	0.539828	0.579260	0.617911	0.655422	0.691462	0.725747	0.758036	0.788145	0.815940
1	0.841345	0.864334	0.884930	0.903199	0.919243	0.933193	0.945201	0.955435	0.964070	0.971284
2	0.977250	0.982136	0.986097	0.989276	0.991802	0.993790	0.995339	0.996533	0.997445	0.998134
3	0.998650	0.999032	0.999313	0.999517	0.999663	0.999767	0.999841	0.999892	0.999928	0.999952
4	0.999968	0.999979	0.999987	0.999991	0.999995	0.999997	0.999998	0.999999	0.999999	1.000000

Příloha 2: Tabulka procesního Sigma

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

Příloha 3: Detailní diagram příčin a následků pro proces realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení



Příloha 4: Data pro zjištění korelace mezi počtem hodin víceprací na neshodách a objemem nákladů na nízkou kvalitu procesu realizace projektu rekonstrukce, opravy a modernizace parních turbín, kotlů a příslušenství teplárenských zařízení

x_i [-]	\bar{x} [-]	$x_i - \bar{x}$ [-]	$(x_i - \bar{x})^2$ [-]	$\sum (x_i - \bar{x})^2$ [-]	$\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}$ [-]	y_i [-]	\bar{y} [-]	$y_i - \bar{y}$ [-]	$(y_i - \bar{y})^2$ [-]	$\sum (y_i - \bar{y})^2$ [-]	$\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}$ [-]	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$ [-]	$\sum [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]$ [-]	r [-]
16	12,89	3,11	9,67	2 971,78	54,51	900	73 861,11	-72 961	5 323 307 521	$150,081 \cdot 10^9$	387403,80	-226 908,71	3 061 922,22	0,14
30		17,11	292,75			25 100		-48 761	2 377 635 121			-834 300,71		
7		-5,89	34,69			87 200		13 339	177 928 921			-78 566,71		
58		45,11	2 034,91			151 200		77 339	5 981 320 921			3 488 762,29		
8		-4,89	23,91			91 500		17 639	311 134 321			-86 254,71		
14		1,11	1,23			122 700		48 839	2 385 247 921			54 211,29		
8		-4,89	23,91			400 000		326 139	106 366 647 321			-1 594 819,71		
18		5,11	26,11			39 200		-34 661	1 201 384 921			-177 117,71		
6		-6,89	47,47			82 600		8 739	76 370 121			-60 211,71		
4		-8,89	79,03			12 000		-61 861	3 826 783 321			549 944,29		
12		-0,89	0,79			41 800		-32 061	1 027 907 721			28 534,29		
8		-4,89	23,91			38 100		-35 761	1 278 849 121			174 871,29		
16		3,11	9,67			107 300		33 439	1 118 166 721			103 995,29		
1		-11,89	141,37			4 500		-69 361	4 810 948 321			824 702,29		
8		-4,89	23,91			16 300		-57 561	3 313 268 721			281 473,29		
2		-10,89	118,59			800		-73 061	5 337 909 721			795 634,29		
12		-0,89	0,79			7 300		-66 561	4 430 366 721			59 239,29		
4		-8,89	79,03			101 000		27 139	736 525 321			-241 265,71		

Následující stránka **Příloha 5:** Záznam o neshodě

Záznam o neshodě			Datum vzniku neshody		Číslo záznamu
vlastní n. <input checked="" type="checkbox"/> nevlastní n. <input type="checkbox"/> stížnost <input type="checkbox"/>			16/2/2003		SPM 029
Název zakázky		Ev. číslo		Zak. číslo / lomek	
MONTÁŽ KOTLE HRSG				CES 20.1628/385	
Popis neshody					
ROZDÍL DÉLKY 50 MM U 2 KS ZÁVĚSŮ KP 300, 301 OPROTI PŘEDEPSANÉ DÉLCE V REALIZAČNÍ DOKUMENTACI					
Způsob odstranění neshody					
VÝROBA, DOPRAVA A MONTÁŽ 2 KS ZÁVĚSŮ					
Datum odstranění neshody		Prac. a útvar odpovědný za odstr. neshody		Neshodu vystavil (jméno, datum, podpis)	
21/2/2003		SPM			
Analýza neshody		n. při realizaci <input checked="" type="checkbox"/>	garanční n. <input type="checkbox"/>	Druh neshody (text)	Třídící znak (číslo)
				CHYBY PRAC. PODPŮR. ÚTVARŮ	2.1.8
Kalkulace nákladů					
Útvar	Čas [Hod.]	Materiál [Kč]	Práce [Kč]	Ostatní nákl. [Kč]	Celkem [Kč]
Výroba / Production					0
Konstrukce / Engineering					0
Technologie / Technology					0
Zásobování / Purchasing					0
Řízení projektů / Project Manager					0
Kontrola jakosti / Quality Control					0
Prodej / Sales					0
Ostatní / Others	6	5 100	3700		8 800
Celkové náklady [Kč]		Vystavení neshody a kalkulaci schválil (jméno, datum, podpis)			
8 800					
Rozhodnutí Project Managera (u sporných případů Rady jakosti)					Skutečné náklady [Kč]
Středisko, které nesh. způsobilo	Střediska, která nesh. hradí [podíl v %]	Opatření k nápravě požadováno		*) U závažné neshody nebo při jejím možném opakovaném výskytu	
		ANO*) <input type="checkbox"/> NE <input checked="" type="checkbox"/>			
Opatření k nápravě u vlastní neshody (vyplňuje středisko, které neshodu způsobilo)					
Útvar odpovědný za zprac. opatření k nápravě		Vedoucí útvaru		Datum zavedení opatření k nápravě	
Příčina neshody					
Popis opatření k nápravě					
Uzavření neshody PM (jméno, datum, podpis)					