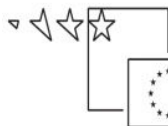




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

KAKOVOST IN ZANESLJIVOST PROIZVODNJE

SLAVKO BOŽIČ

Višješolski strokovni program: Strojništvo
Učbenik: Kakovost in zanesljivost proizvodnje
Gradivo za 2. letnik

Avtorica:

Mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž.
ŠOLSKI CENTER POSTOJNA
Višja strokovna šola



Strokovna recenzenta:

Anton Drobnič, univ. dipl. inž.
mag. Silvo Lah, univ. dipl. inž.

Lektorica:

Vlasta Milavec, prof. slovenščine

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

658.562:005.336.3(075.8)

BOŽIČ, Slavko, 1951-

Kakovost in zanesljivost proizvodnje [Elektronski vir] : gradivo
za 2. letnik / Slavko Božič. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod IRC,
2009. - (Višješolski strokovni program Strojništvo / Zavod IRC)

Način dostopa (URL): [http://www.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/
Kakovost_in_zanesljivost_proizvodnje-Bozic.pdf](http://www.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Kakovost_in_zanesljivost_proizvodnje-Bozic.pdf). - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6820-60-8
249481728

Izdajatelj: Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM
Založnik: Zavod IRC, Ljubljana.
Ljubljana, 2009

Strokovni svet RS za poklicno in strokovno izobraževanje je na svoji 120. seji dne 10. 12. 2009 na podlagi 26. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Ur. l. RS, št. 16/07-ZOFVI-UPB5, 36/08 in 58/09) sprejel sklep št. 01301-6/2009 / 11-3 o potrditvi tega učbenika za uporabo v višješolskem izobraževanju.

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum 'Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008-11'.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007-2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE

PREDGOVOR	3
1 POJEM KAKOVOSTI	5
1.1 RAZVOJNE STOPNJE KAKOVOSTI	5
1.1.1 Neindustrijski način proizvodnje	5
1.1.2 Industrijski način proizvodnje	6
1.1.3 Ustreznost za kupca	8
1.1.4 Nižji stroški nekakovosti	8
1.2 OPREDELITEV KAKOVOSTI	9
1.3 Zanesljivost in celovito obvladovanje kakovosti TQM	9
1.4 RAZVOJ CELOVITEGA OBVLADOVANJA KAKOVOSTI	13
1.4.1 Prispevki gurujev kakovosti	13
1.5 ISO 9001 Sistem vodenja kakovosti – zahteve	15
1.6 VKLJUČEVANJE KAKOVOSTI V PROIZVODNE SISTEME	16
1.7 Učinkovitost proizvodnega sistema	17
1.8 Stroški kakovosti	20
1.8.1 Vrste stroškov kakovosti	20
2 MERILNE NAPAKE IN MERILNA NEGOTOVOST	23
2.1 Osnovni pojmi	23
2.1.1 Pojmi na področju merilne opreme	24
2.1.2 Natančnost merjenja	24
2.1.3 Kontroliranje	26
2.2 Napake izmerjenih količin	26
2.3 Absolutna in relativna napaka	28
2.4 MERILNA NEGOTOVOST	34
2.4.1 Merilna negotovost in osnove statistike	37
2.4.2 Oblike porazdeljenih merjenih veličin	39
2.4.3 Faktor razširitve k	39
3 METODE ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI	43
3.1 Statistične metode	43
3.1.1 Pareto diagram	43
3.1.2 Diagram vzrokov in posledic	45
3.1.3 Statistična distribucija in kontrolne karte	46
3.1.4 Histogram	47
3.1.5 Diagram raztrosa	48
3.2 Metode za reševanje problemov v skupini	48
3.2.1 Možganska nevihta (Brainstorming)	49
3.2.2 Zapisovanje idej (Brainwriting)	53
3.3 Metode preventivnega zagotavljanja kakovosti	54
3.3.1 Metoda QFD	55
3.3.2 Metoda analize možnih napak in posledic (FMEA)	59
3.3.3 Metode načrtovanja poskusov (DOE)	60
3.3.4 Metoda Poka – Yoke	62
3.3.5 Metoda statističnega nadzora procesa (SPC)	63
3.3.6 Presoja (audit) kakovosti	63
4 SPOSOBNOST IN ZANESLJIVOST PROCESOV	66
4.1 Določanje statističnih velikosti procesa	67
4.1.1 Sposobnost procesa	68
4.1.2 Sposobnost stroja	69
4.2 Statistično obvladovanje procesa	70
4.2.1 Neprekinjeno izboljšanje procesa	71
4.2.2 Vpeljevanje metode SPC	72
4.3 Orodja za nadzor in preverjanje skladnosti kakovosti	72
4.3.1 Kontrolne karte	73
4.3.2 Šest sigma	85
5 Poslovna odličnost za dosego ustrezne kakovosti	87
5.1 Primerjava zahodnega in japonskega koncepta TQM	87
5.2 Ocenjevanje uspešnosti podjetij	87
5.2.1 Demingova nagrada – Japonska	88
5.2.2 The Malcolm Baldrige National Quality Award – ZDA	88
5.2.3 European Quality Award – Evropa	88

5.2.4 Priznanje Republike Slovenije za poslovno odličnost – Slovenija	88
5.3 Prednosti in slabosti standardov ISO 9000	89
5.4 PREDNOSTI IN SLABOSTI CELOVITEGA OBVLADOVANJA KAKOVOSTI	90
5.5 PREDNOSTI IN SLABOSTI MODELOV POSLOVNE ODLIČNOSTI	90
6 LITERATURA	92

PREDGOVOR

Poslovno okolje se nenehno spreminja in postavlja nove izzive podjetjem, ki želijo uspeti tako na domačem kot tujem trgu. Proces globalizacije in podiranje mej med državami sta zaostriła konkurenco, ki od podjetij zahteva stalni napredek in boj za vsakega kupca.

Če je bila nekoč cena tisti odločilni dejavnik, ki je ločeval uspešna podjetja od neuspešnih, danes temu ni več tako. Konkurenčno prednost predstavljajo predvsem necenovni dejavniki, med njimi najpogosteje kakovost. To dokazuje tudi slovenski rek: »Nisem tako bogat, da bi kupoval poceni!« Potrošniki so spoznali, da je cena nekakovostnih proizvodov previsoka glede na ponujene koristi. Zaradi pogostih okvar proizvoda ne morejo uporabljati takrat, ko bi želeli, stroški popravil so visoki, pa tudi rezultati uporabe proizvodov ponavadi niso taki, kot bi morali biti, kar povzroča precej nejevolje pri potrošnikih. Slaba kakovost proizvodov škodi tudi ugledu podjetja, stroški odprave napak so previsoki in izguba strank nenadomestljiva.

Podjetja so se začela zavedati, da so potrošniki tisti, ki opredeljujejo kakovost. Čeprav potrošniki postavljajo vse višje zahteve, so pripravljeni za visokokakovostne proizvode seči globlje v žep. Gorje pa podjetju, ki ne bo izpolnilo njihovih pričakovanj. Znano je namreč, da se nam razočaranje zaradi slabe kakovosti vtisne globlje v spomin kot občutek zadovoljstva zaradi nizke cene. V upravljanje kakovosti je potrebno vložiti veliko truda, predvsem mora večjo zavzetost in predanost pokazati najvišje vodstvo. Končni cilj podjetja mora biti osvojitve koncepta celovitega obvladovanja kakovosti in uporaba njegovih vrednot pri vsakodnevem poslovanju. Podjetja imajo za obvladovanje kakovosti na voljo mnogo pristopov in konceptov, ki pa jih morajo prilagoditi svojim potrebam.

Stalno izboljševanje kakovosti procesov in proizvodov, povečevanje produktivnosti in zmanjševanje stroškov so tri najbolj pomembna zagotovila za dolgoročen obstoj in rast organizacije na konkurenčnem svetovnem trgu. Konkurenca slej ko prej izloči tiste organizacije, ki se niso sposobne prilagoditi in ponuditi kupcem kakovostnih izdelkov in storitev, ki bi ustrezali njihovim zahtevam ali željam ter imeli primerno ceno. Kakovost je pravzaprav eno od glavnih meril, po katerem ljudje ocenjujejo organizacije.

Vodenje kakovosti obsega koordinirane aktivnosti, ki so povezane s planiranjem, nadzorom, zagotavljanjem ter izboljševanjem kakovosti procesov in proizvodov, ter ima glavno odgovornost, da so cilji kakovosti, ki si jih organizacija postavi, doseženi na čim bolj učinkovit način. Praviloma je kakovost končnega proizvoda organizacije skupni rezultat dela zaposlenih, timov in oddelkov ter je zanjo odgovoren vsak, vsaj za tisti del procesa, v katerega je vključen. Vsaka organizacija naj bi upoštevala tri ključna načela: doseči čim večje zadovoljstvo svojih kupcev, stalno izboljševati svoje procese in doseči čim boljše sodelovanje zaposlenih pri realizaciji ciljev kakovosti, ki si jih je postavila.

Izredno hiter razvoj znanosti in tehnike je povzročil številne spremembe na vseh področjih človekovega delovanja. Posebno očitne so te spremembe pri proizvodnji in porabi dobrin. Pojavljajo se kakovostno in strukturno nove oblike potreb, ki se od zamisli naglo spreminjajo v izdelke. Dinamični razvoj v industrijski proizvodnji je povezan z vedno bolj zapletenimi tehnološkimi procesi in raznovrstnim poslovanjem, poudarjeno soodvisnostjo organizacije in okolja ter rastočo koncentracijo proizvodnih sredstev. V takšnih pogojih postaja problematika organizacije proizvodnje vse bolj zapletena. Delitev dela in specializacija kot prevladujoči prvini pri reševanju organizacijskih problemov postajata omejitvena dejavnika pri obvladovanju sodobnih proizvodnih procesov, hkrati pa se zaradi naglih količinskih in kakovostnih sprememb merila tehnološko-ekonomske optimizacije zelo zaostrejejo. Usmeritev k ozki specializaciji, kot racionalnemu izhodu iz vedno večje zapletenosti vseh človekovih dejavnosti, je v vsebinskem nasprotju s kompleksnim značajem človekovega bitja. To povzroča vrsto konfliktnih situacij, ki se pojavljajo tudi pri organiziranju proizvodnih procesov.

Vsebinsko je knjiga razdeljena na dva tematska sklopa. V prvem delu so predstavljena načela, aktivnosti in organizacijski pristopi, povezani z doseganjem celovite kakovosti. Posebna pozornost je posvečena TQM-u in njegovim glavnim elementom: zadovoljstvu kupca, procesnemu pristopu, stalnemu izboljševanju procesov, timski organiziranosti, sodelovanju zaposlenih in vodstva ter sistemom kakovosti, izraženim s standardi ISO 9000, ki predstavljajo glavne pristope k sodobnemu vodenju kakovosti.

V drugem sklopu so obravnavana orodja in tehnike, ki se uporabljajo kot pomoč pri izvajanju kakovosti in zanesljivosti proizvodnje. Orodja in tehnike so razdeljene na statistične in nestatistične. Pri statističnih orodjih in tehnikah so podane tudi statistične osnove, na katerih so zasnovane.

Pretekla projektna in tehnološka dela v podjetjih sem želel opraviti tehnično dovršeno; dokaj hitro pa sem spoznal, da to ni vedno tudi ekonomsko upravičeno. Kasneje, s prevzemom vodenja projektov v podjetju, sem bolj ali manj spoznal, da vplivajo na poslovne rezultate tudi številni drugi dejavniki. Pri tem sem se spraševal, kakšno znanje iz kakovosti morajo obvladovati tehnično izobraženi strokovnjaki pa tudi, kakšno znanje s tega področja jim dajejo tehniške fakultete. Spoznanja, kako tehnično izobraženi strokovnjaki obravnavajo kakovost pri svojem delu, me je vzpodbudilo k razmišljanju o "kakovosti za inženirje", kar poskušam predavati tudi svojim študentom. Rezultat tega pa je to delo. Delo je zato, tako kot je, za povsem tehniško izobraženega strokovnjaka lahko tudi premalo temeljito v ekonomskem izrazoslovju, za mladega inženirja pa, upam, koristen učbenik in priročnik pri reševanju tehničnih problemov z daljnosežnimi ekonomskimi posledicami.

Knjiga je namenjena predvsem študentom, ki se s področjem kakovosti srečujejo prvič, kot avtor pa sem prepričan, da bo koristila tudi ljudem iz prakse. Gotovo se bo bralcu ob branju knjige porodila ideja, kakšen pristop, katero orodje ali metodo bi bilo koristno uporabiti ali katere organizacijske spremembe bi bile lahko koristne ali kako pristopiti k izboljševanju procesov v proizvodnji. Z uspešnim razumevanjem posameznih poglavij in implementacijo znanja v prakso se bo povečala učinkovitost in uspešnost proizvodnih procesov in s tem zmanjšali stroški, povezani s kakovostjo vaših proizvodov. Nenazadnje se bo povečalo tudi zadovoljstvo kupcev, kar vse prispeva k bolj uspešnemu poslovanju organizacije.

Na začetku vsakega posameznega poglavja je predstavljena vsebina, temu sledi razlaga vsebine, na koncu poglavja pa so pripravljena vprašanja za utrjevanje in posamezne dodatne vaje.

V učbeniku boste srečali naslednje oznake:

Osnovne enačbe in definicije, ki si jih je vredno zapomniti:



Praktične naloge s postopkom reševanja:



Praktične naloge, ki jih reši študent sam ali v skupini:



Vprašanja in naloge:



1 POJEM KAKOVOSTI

Prvo poglavje je namenjeno opredelitvi pojma kakovosti. Z gospodarskim razvojem podjetja vse več pozornosti namenjajo zagotavljanju kakovosti. Spoznali bomo, kaj pomeni oznaka TQM, kaj je to produktivnost in kakšen vpliv imajo stroški kakovosti na rezultate proizvodnega sistema.

V literaturi najdemo veliko definicij, ki opredeljujejo pojem kakovosti. Težko pa je najti splošno veljavno definicijo, saj se dojemanje kakovosti spreminja s časom in družbenimi spremembami. Standardi ISO opredeljujejo kakovost takole: »Kakovost je doseganje vseh lastnosti izdelka ali storitve, ki jih kupec pričakuje« (Potočnik et al., 1996, 15).

Nekateri avtorji ločujejo zunanji vidik kakovosti ali glas kupca in notranji vidik kakovosti ali glas procesa. Zunanji vidik poudarja, da je kupec tisti, ki določa, kaj je kakovostno, in sicer na podlagi mišljenja glede vrednosti, koristnosti, ki mu jih prinašajo posamezne lastnosti proizvoda. Z vidika podjetja pa je kakovost povezana z doseganjem take konstrukcije proizvoda in njegove izdelave, da bo proizvod zadovoljil opredeljena pričakovanja kupcev. Z notranjega vidika je kakovosten izdelek torej tak izdelek, ki se ujema z zahtevami, ter standardi, ki jih postavijo projektanti izdelka na osnovi tržnih zahtev. Pomembno pa je, da sta zunanji in notranji vidik kakovosti usklajena. To zahteva dobro povezavo med posameznimi poslovnimi funkcijami, ki sodelujejo pri zagotavljanju kakovosti (Rusjan, 1999, 268).

Kač ločuje ekonomsko optimalno kakovost, ciljno ali projektno kakovost in primerjalno kakovost. Ekonomsko optimalna kakovost je kakovost, pri kateri je razlika med prihodki in stroški izdelka čim večja. Nemogoče je namreč prodajati izdelke zelo slabe kakovosti, čeprav po nizki ceni, ker jih nihče ne bo hotel. Prav tako pa ni mogoče prodajati izdelkov superiorne kakovosti, ki presegajo neko mejno ceno, ki so jo kupci še pripravljene plačati. Ciljna ali projektna kakovost je kakovost, ki se ustvarja v razvoju izdelka. Primerjalno kakovost ali kakovost izdelave pa dobimo s primerjanjem realnega izdelka in zahtev, ki so bile postavljene v razvoju (Kač, 2004, 88).

Čeprav je definicij pojma kakovosti veliko, je vsem skupno spoznanje, da kakovost določa kupec. Kakovosten proizvod naj bi zadovoljil ali celo presegel pričakovanja kupcev. Ker pa je zadovoljstvo kupca precej subjektivna kategorija, je tudi opredelitev kakovosti subjektivna.

Jocou pravi, da kupci za ocenjevanje celotne vrednosti proizvoda uporabljajo tri merila: obseg vseh proizvodov in njihovo zanesljivost, stroške nakupa in uporabe ter rok, v katerem so bile zadovoljene kupčeve potrebe. Podjetja si morajo torej prizadevati, da proizvedejo proizvod bolje, ceneje in hitreje kot njihovi konkurenti (Peljhan, 2003, 5).

1.1 RAZVOJNE STOPNJE KAKOVOSTI

Skladno z razvojem tehnologije, proizvodnih sredstev, delitve dela, organizacijskih znanj, družbenih odnosov, ekonomskih načel, znanja delovne sile in drugih faktorjev, so se spreminjali tudi pristopi in načini doseganja kakovosti. Vsaka razvojna stopnja je specifična, prilagojena vsakokratnim okoliščinam in razmeram s svojimi načeli ter tehnikami in orodji. Časovno so razvojne stopnje doseganja kakovosti ločene glede na dva glavna načina proizvodnje. To sta neindustrijski in industrijski način proizvodnje (Marolt in Gomišček, 2005, 11–13).

1.1.1 Neindustrijski način proizvodnje

V to obdobje (do okoli leta 1900) spadata *obrtniški* in *manufakturni* način proizvodnje.

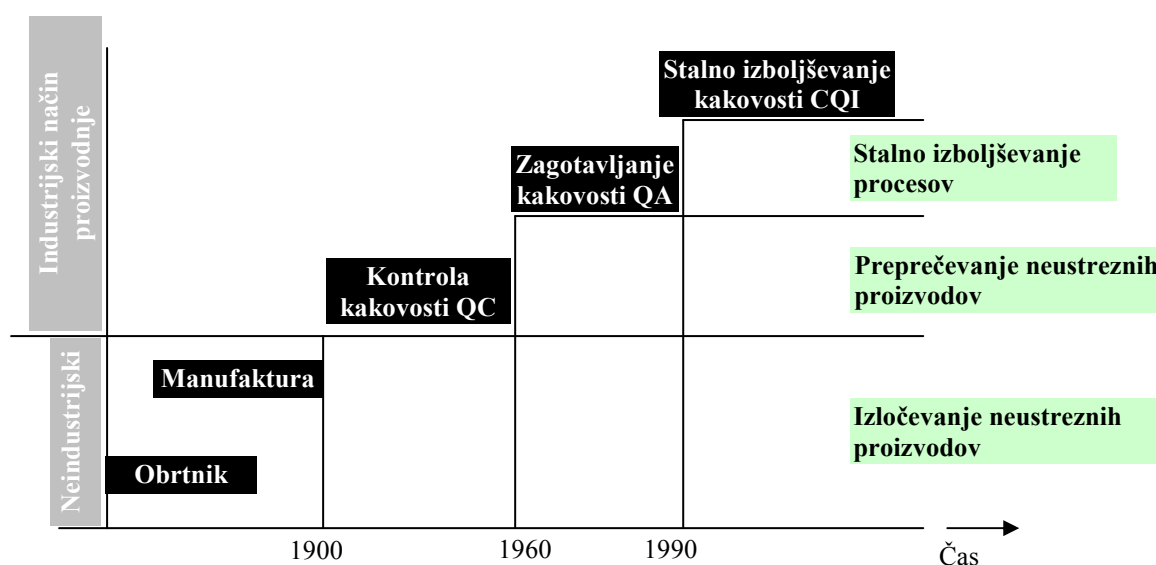
Obrtnik je sam ali z majhnim številom pomočnikov opravljal vse funkcije od nabave surovin, načrtovanja izdelka do njegove izdelave in istočasno tudi odgovarjal za kakovost izdelka ali storitve ter sam tudi nosil posledice neustrezne kakovosti svojih izdelkov ali storitev. Časovno ta

način proizvodnje prevladuje do 18. stoletja. Dobra stran takega načina proizvodnje je dobro medsebojno sodelovanje majhne skupine ljudi, ki imajo skupen cilj; vsak pozna celoten proces izdelave, stopnja medsebojne odvisnosti pa je velika. Slaba stran obrtniške proizvodnje je bila nizka produktivnost.

Sledil je *manufakturni* način proizvodnje, za katero je značilna delitev dela in proizvodnja v posebnih stavbah – delavnicah. Formirane so bile skupine ljudi, ki so delale vsaka svoje specifično delo, bolj ali manj neodvisno druga od druge. Vsako delavnico oz. skupino je vodil *mojster*, ki je odgovarjal tako za količino kot za kakovost izdelkov, ki jih je ta skupina ljudi proizvajala. Dobra stran je bila specializacija dela in proizvodne opreme ter s tem večja produktivnost, slaba stran pa je bila, da je delavec postal vedno bolj pasiven izvrševalec ukazov svojega mojstra in ni več poznal celotnega procesa proizvodnje.

1.1.2 Industrijski način proizvodnje

Industrijski način proizvodnje vključuje tri pomembne razvojne stopnje pristopa h kakovosti, od katerih ima vsaka svojo ciljno usmeritev, svoja načela, specifična orodja in specifično povezanost s strukturo celotne organizacije, in sicer: kontrola kakovosti – QC, zagotavljanje kakovosti QA in stopnja stalnega izboljševanja kakovosti CQI, ki so predstavljene v nadaljevanju. Iz pregleda razvojnih stopenj kakovosti, ki je predstavljen na sliki 1, opazimo spremembo glavne dejavnosti doseganja kakovosti. Od ugotavljanja napak in izločanja neustreznih proizvodov (stopnja kontrole kakovosti) so v industrijskem načinu proizvodnje prešli na preprečevanje izdelave neustreznih izdelkov ali storitev (stopnja zagotavljanja kakovosti) do zadnjega obdobja, ko je v ospredju zadovoljitev kupca s stalnim izboljševanjem procesov (stopnja stalnega izboljševanja procesa).



Slika 1: Razvojne stopnje doseganja kakovosti

Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 3

- *Kontrola kakovosti – QC (Quality Control)*

Kontrola kakovosti se prične v začetku 20. stoletja in traja približno do leta 1960. Za industrijski način proizvodnje (kot začetnika viri navajajo tovarno avtomobilov Ford v ZDA), je značilna velika delitev dela in proizvodnja identičnih proizvodov v velikih količinah. Industrijski način proizvodnje temelji na specifikaciji oziroma standardih kakovosti.

Specifikacija oz. standard predstavlja osnovo za izvajanje kontrole kakovosti. Šele na osnovi izdelanih in sprejetih standardov je možno izvajati kontrolo kakovosti, ker je kontrola v bistvu preverjanje, ali so izdelani proizvodi v skladu s predpisanimi standardi.

V organizaciji se pojavi nova funkcija oz. služba, imenovana kontrola kakovosti, ki je ločena od proizvodnje. Na osnovi ugotovljenega stanja ločujejo proizvode na ustrezne – kakovostne (ki so v skladu s standardi oz. specifikacijami) in neustrezne – nekakovostne (ki niso v skladu s standardi).

Slabost kontrole kakovosti, ki opravlja le ločevanje neustreznih proizvodov od ustreznih, je v tem, da se malo ali nič ne ukvarja z ugotavljanjem vzrokov nekakovosti in s preprečevanjem nastanka neustreznih proizvodov. Zaradi visokih stroškov, povezanih s kontrolo kakovosti proizvodov, so iskali metode, ki bi omogočale hitrejšo in cenejšo, a istočasno še vedno dovolj natančno ugotovitev primernosti kakovosti proizvodov. Ugotovili so, da določene statistične metode omogočajo dovolj točno sliko o kakovosti proizvodov ob nižjih stroških kontroliranja. Tako v 40-ih letih dvajsetega stoletja pričnejo za kontrolne namene uporabljati statistične metode, ki predstavljajo vpeljavo načel variabilnosti procesa in teorijo vzorčenja. Uporaba statističnih metod je omogočila hitrejše in cenejše odločitve glede ustreznosti izdelanih proizvodov in sprejetih materialov ter boljši nadzor procesov.

- *Zagotavljanje kakovosti – QA (Quality Assurance)*

V začetku 60-ih let so spoznali, da problematike kakovosti v podjetju ni mogoče zadovoljivo reševati samo s kontrolo že izdelanih proizvodov, temveč je potrebno h kakovosti pristopiti na nov način. To še posebno velja za visokoproduktivno proizvodnjo in kompleksne posamezne proizvode, kjer lahko pride do velikih stroškov zaradi neustrezne kakovosti.

Staro načelo je zamenjal nov, aktivni pristop, ki glavno skrb v zvezi s kakovostjo posveti preprečevanju, torej da ne pride do neustreznih proizvodov. To pomeni, da je potrebno v čim večji meri zmanjšati možnosti realizacije neustreznega proizvoda.

Nov pristop, ki temelji na preprečevanju neustrezne kakovosti, je strokovno bolj zahteven kot zgolj kontrola kakovosti in je povezan z novim organizacijskim načelom, ki pravi, da mora vsak oddelek, funkcija oz. zaposleni v organizaciji nositi svoj delež odgovornosti za kakovost proizvoda.

To je tako imenovano načelo celovitosti oz. totalnosti – vključitev vsakogar v organizaciji za doseganje celovite kakovosti. Ker je kakovost industrijsko izdelanega proizvoda rezultat dela mnogih ljudi, ki delajo v različnih oddelkih in na različnih delovnih mestih, je zagotavljanje kakovosti nujno postala dolžnost vseh zaposlenih. Kakovost ni več skrb le službe kontrole kakovosti, ampak vseh, ki sodelujejo pri načrtovanju in izdelavi proizvoda.

Integracijsko vlogo za kakovost znotraj organizacije zagotavlja sistem zagotavljanja kakovosti, ki določa za posamezne službe oz. zaposlene njihove naloge oz. obveznosti, povezane s kakovostjo.

Sistem kakovosti naj bi poskrbel, da so vse aktivnosti, ki so povezane s kakovostjo proizvoda, dokumentirane, sistematično načrtovane, planirane, izvajane in nadzorovane. Zagotavljanje kakovosti zajema vse faze industrijskega ciklusa, od tržnih raziskav do servisa proizvoda v uporabi. Za poenotenje pristopa h kakovosti in boljše definiranje parcialnih odgovornosti do kakovosti v organizaciji so bili v tej stopnji izdelani posebni nacionalni in mednarodni standardi. Najbolj so poznani standardi ISO 9000, ki sistematično določajo odgovornosti posameznih služb in funkcij v zvezi s kakovostjo.

- *Stalno izboljševanje kakovosti – CQI (Continuous Quality Improvement)*

Obe predhodni stopnji sta bili osredotočeni predvsem na kakovost proizvoda, tj. izdelka ali storitve. V 90-ih letih se je pričelo gledati na problematiko kakovosti skozi procese, ki potekajo v podjetju ali ustanovi, kajti procesi so tisti, ki dajejo proizvod. Ta stopnja zagovarja osredotočenje na izboljševanje vseh procesov, ki se izvajajo v organizaciji. To je tako imenovani procesni pristop h kakovosti. Procesni pristop je nastal zaradi novih zahtev globalizacije trga. Ta stopnja vključuje vrsto načel, ki so poznana iz t. i. managementa celovite kakovosti, poznanega pod kratico TQM (*Total Quality Management* ali *celovito obvladovanje kakovosti*) in predstavlja nov izziv, pred katerega je v sedanjem času postavljena uprava vsakega podjetja in ustanove, če želi izboljšati učinkovitost in uspešnost poslovanja organizacije.

Danes je potrebno za doseganje in vzdrževanje kakovosti v organizaciji izvajati vse tri zgoraj omenjene dejavnosti, predstavljene v vseh treh razvojnih stopnjah. Lahko rečemo, da je kakovost in zanesljivost proizvodnje predvsem rezultat vsote dejavnosti, povezanih s kontrolo, zagotavljanjem in izboljševanjem kakovosti.

1.1.3 Ustreznost za kupca

Ustreznost za kupca zagovarja načelo, da je potrebno zadovoljiti potrebe, zahteve in želje kupca oz. trga. "Ustreznost za kupca" pomeni proizvodnjo takih proizvodov, ki ustrezajo dejanskim potrebam oz. željam kupca in ne samo zadovoljitev tehničnim standardom, ki jih je postavil proizvajalec. V bistvu gre tu za zahtevo, da je potrebno spreminjati obstoječe standarde oz. specifikacije, da bodo izdelki ali storitve odgovarjali novim zahtevam kupca in tehnično-tehnološkemu razvoju v svetu.

Zadovoljitev nepoznanih, še neizraženih potreb in želja kupca pomeni proizvesti inovativen ali izboljšan proizvod, ki bo imel take lastnosti, da bodo pritegnile kupca in ga bo pripravljen kupiti. Cilje kakovosti bi tako lahko gledali z dveh strani, to je s strani skladnosti in s strani načrtovanja. S strani skladnosti je cilj kakovosti stalno dosegati postavljene standarde in imeti čim nižje stroške zaradi nekakovosti. S strani načrtovanja je potrebno določiti take standarde proizvodov, ki bodo ustrezali zahtevam in željam kupca, ter stalno izboljševati in inovirati proizvode, da bi zadovoljili še neizražene želje kupcev. Na sliki 2 so predstavljeni cilji, povezani s kakovostjo, in pripadajoče skupine orodij.



Slika 2: Cilji, povezani s kakovostjo, in pripadajoča orodja
 Vir: Prirejeno po: Marolt in Gomišček, 2005, 21

1.1.4 Nižji stroški nekakovosti

Zakaj bi zapravljali denar in čas za odkrivanje napak, pomanjkljivosti in njihovo popravljanje ter se o njih prepirali, če lahko že vnaprej, v veliki meri, preprečimo izdelavo neustreznih proizvodov? Stalno doseganje zaželene kakovosti, brez neustreznih proizvodov, pomeni nižje stroške. Da bi dosegli zmanjšanje stroškov, povezanih z neustrezno kakovostjo, moramo zmanjšati predvsem variabilnost proizvodnih procesov. Če dosežemo, da je dejanska variabilnost procesa manjša od dovoljene variabilnosti, potem so praviloma vsi izdelki ali storitve znotraj dovoljenih mej odstopanja, ki so podana s standardom oz. specifikacijo, in zato nimamo neustreznih proizvodov in napak, ki pomenijo stroške, povezane s popravili, popolnim izmetom in reklamacijami.

1.2 OPREDELITEV KAKOVOSTI

»Kakovost je skladnost s pričakovanji – o tem ni dvoma! Težji je odgovor: kako pričakovanja nastanejo in kako jih poznamo?« (<http://www.janezdulc.com/članki.htm>)

»Kakovost je zastonj. Ni darilo, vendar je preprosto na razpolago. Tisto, kar je drago, so nekakovostne stvari – vse dejavnosti, ki so posledica tega, da posel ni opravljen pravilno že prvič.« (Crosby, 1990, 1)

Težko je govoriti o univerzalni kakovosti, še manj o enotnem vzorcu kakovosti, ki naj bi ga povzela vsa podjetja. Vsako podjetje mora samo določiti lastno raven kakovosti, ki mu z izpolnjevanem zahtev do odjemalcev na eni strani in ekonomskega vidika na drugi strani zagotavlja obstoj in razvoj na dolgi rok. Kakovost je eden bistvenih dejavnikov, ki vplivajo na uspešno gospodarjenje. Ni le prosto na razpolago, ampak je najbolj pošten izvor dobička. Osnovno načelo pri kreiranju kakovosti je, da je sprejemljiv le tak izdelek, ki bo zadovoljil kupca. Za izdelavo izdelka boljše kakovosti moramo vložiti več truda, uporabiti kakovostnejše surovine in kar je najbolj važno, da posvetimo več časa kontroli izdelkov in procesom. Stroške, ki nastajajo z vgrajevanjem kakovosti v izdelke, imenujemo stroške kakovosti. Finančna politika ne sme zanemarjati kakovosti, kot se včasih dogaja, pač pa se moramo zavedati, da podjetje lahko živi le toliko časa, dokler kakovost njegovih izdelkov ali storitev ustreza zahtevam tržišča. Zagotavljanje kakovosti pomeni, da pripravimo ljudi do tega, da bolje opravljajo tiste koristne stvari, ki bi jih morali opraviti v vsakem primeru. Pojem »nič napak« je sinonim za »že prvikrat narediti dobro«. Namenjen ni samo delavcem v proizvodnji, ampak vsem zaposlenim (Crosby, 1990, 19). Preprečevanje slabe kakovosti je vzpostavljanje in vgrajevanje sistema kakovosti v podjetje in ne samo vsakodnevno reševanje posameznih problemov. Skrbeti moramo za to, da bomo s sistematičnim delom, metodami in sistemi probleme v zvezi s kakovostjo dovolj zgodaj spoznali in predvideli, nato pa celotni proces vodili tako, da do teh problemov sploh ne bo prišlo.

Uspešna podjetja postavljajo kakovost na vodilno mesto, medtem ko številna neuspešna podjetja upoštevajo le svoje zahteve, pozabljajo pa na zahteve kupcev in zagotavljanje kakovosti svojih proizvodov in storitev.

1.3 ZANESLJIVOST IN CELOVITO OBVLADOVANJE KAKOVOSTI TQM

Podjetja, ki danes želijo biti uspešna na konkurenčnem tržišču, morajo zagotavljati kratek dobavni rok, nizke proizvodne stroške in ustrezno kakovost izdelkov.

Zato morajo med drugim predvsem uvajati in uporabljati preventivne metode zagotavljanja kakovosti, s katerimi možne napake pravočasno predvidijo in zatem seveda ukrepajo v smislu preprečevanja njihovega nastanka.



Slika 3: Zanesljivost procesa in izdelka

Vir: Prirejeno po: Polajnar, 2002, 248

Določanje kakovosti in obsega varnosti ter zanesljivosti sistemov se ravna po zakonih,

tehničnih predpisih in normah.

Zanesljivost in z njo povezana kakovost proizvodnih procesov je zelo širok pojem, ki prehaja okvire pravnih, ekonomskih in tehničnih pravil ter vse bolj odraža politiko, filozofijo in kulturo nekega naroda.

V sistemu celovitega obvladovanja kakovosti (TQM) je predvsem pomemben gospodarski uspeh podjetja, na kar poleg dejavnikov časa in stroškov močno vpliva tudi zanesljivost proizvodnih procesov. Na sliki 3 vidimo, da se zanesljivost, ki pomeni pravzaprav kakovost, ohranjeno v določenem času, zrcali v zanesljivosti procesa kot posamezna ali skupna zanesljivost ter v zanesljivosti izdelka.

Vsebina zanesljivosti ni samo v tehniškem razvoju, ampak še bolj v vsebini odnosov med ljudmi, kar se kaže v stalnem izboljševanju delovne kakovosti posameznikov in predvsem delovne skupine zaposlenih. To pa je tudi težišče sistema celovitega obvladovanja kakovosti. Človek je in ostaja vedno osnovni nosilec ustvarjanja kakovosti ter neposredno deluje na vse načrtovane in sistemske ukrepe za doseganje zaupanja in za dejansko izpolnitev kakovostnih zahtev. Raziskave v naših podjetjih so pokazale, da je človek poglavitni izvor večine vzrokov napak, ki se posledično kažejo na izdelku.

Za uspešen nadzor in upravljanje kakovosti je že v prvih fazah procesa nastajanja izdelka potrebno uporabljati metode za zagotavljanje kakovosti, ki omogočajo preprečevanje napak in ne njihovega odpravljanja v kasnejših fazah nastajanja izdelka, ko to pomeni nekajkrat večje stroške.

V literaturi najdemo veliko definicij, ki poskušajo definirati pojem *celovitega upravljanja kakovosti*. Lahko rečemo, da je definicij toliko, kot je avtorjev, ki so se ukvarjali z reševanjem problema zagotavljanja kakovosti.

Jeffries (Hesham in Curry, 2003, 245) opredeljuje celovito obvladovanje kakovosti kot »obsežen in povezan način upravljanja podjetja s ciljem neprestano zadovoljevati zahteve kupcev in stalno izboljševati vse aktivnosti v podjetju«.

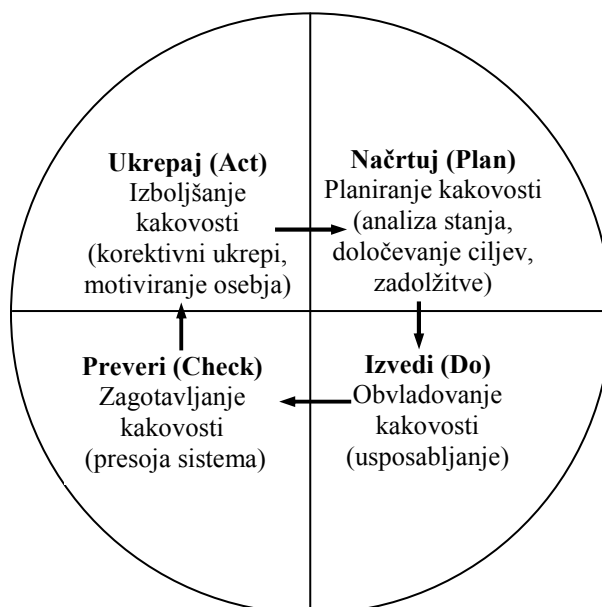
Ho (Hesham in Curry, 2003, 245) je opredelil bistvo celovitega obvladovanja kakovosti z naslednjim besedami: »Celovito obvladovanje kakovosti zahteva, da je vsakdo v podjetju, vključno z dobaviteljem in kupcem, vključen v proces nenehnega izboljševanja z namenom zadovoljiti kupčeve nakazane ali izražene zahteve, pri čemer je potrebna aktivna podpora vodstva«. Britanski standardi BS 7850 (Potočnik et al., 1996, 20) pa opredeljujejo celovito obvladovanje kakovosti kot: »Celovito obvladovanje kakovosti je filozofija upravljanja in izvajanja, katere namen je uporabiti človeške in materialne vire podjetja za doseganje opredeljenih ciljev na najbolj učinkovit način«.

Kljub številnim definicijam lahko med njimi najdemo skupne točke. To je prizadevanje za izboljševanje kakovosti in zanesljivosti proizvodnje, pri kateri se zahteva sodelovanje vodstva in vseh zaposlenih, usmerjenost h kupcu in sodelovanje s kupcem.

Model Total Quality Management (TQM) pomeni celovito upravljanje kakovosti. Nastal je v podjetjih, ki so nastopala na zelo odprtem trgu, na katerem je s podobno ponudbo odličnosti stregla tudi močna konkurenca. Tako stanje je podjetja prisililo v ponujanje odličnosti z iskanjem in izrabljanjem notranjih rezerv in sposobnosti prav vseh zaposlenih. Uspešna podjetja so obstala, ker so:

- znala ugotavljati pričakovanja in želje kupcev in tudi odjemalcev v lastnem poslovnem sistemu,
- z dobro izvedbo zmanjševala stroške že prvič,
- znala izmeriti in ugotoviti svojo uspešnost,
- sproti odstranjevala vzroke možnih napak,
- upoštevala samo tisto, kar tržišče pričakuje (Potočnik, 1996, 20).

TQM je zbir idej in tehnik, ki zaposlenim v podjetju pomagajo povečati poslovno konkurenčnost podjetja z izboljšanjem kvalitete izdelka in storitve. Gre za uveljavljanje nenehnih izboljšav in inovacij, ki vključujejo in predvidevajo sodelovanje vsakega posameznika v podjetju. Osnovni princip koncepta inovativnih izboljšav temelji na Demingovem krogu: planiraj – stori – preveri – ukrepaj (Plan-Do-Check-Act), ki ga prikazuje slika 4.



Slika 4: Delitev operativnih nalog glede na Demingov krog
Vir: Prirejeno po: www.smartspeed.co.uk/29.html/ (10. 1. 2009)

Koncept PDCA je prisoten na vseh področjih našega poklicnega in zasebnega življenja in se nenehno uporablja zavestno ali podzavestno pri vsem, kar počnemo. To je dinamičen cikel, ki je lahko razvit znotraj vsakega procesa proizvodnje in za sistem procesov kot celoto. Zelo je povezan s planiranjem, uvajanjem, obvladovanjem ter nenehnim izboljševanjem realizacije proizvoda in drugih procesov sistema vodenja kakovosti (SIST ISO 9000, 4).

TQM je danes v razvitem svetu navzoč kot nezamenljiva oblika vodenja poslovnih procesov. Ne pomeni samo nov korak v razvoju funkcije kakovosti, pač pa novejši način vodenja in upravljanja podjetij. Razvil se je v Evropi kot odgovor na vse večjo konkurenčnost japonskih izdelkov, ki so jo dosegli prav na račun vse boljše kakovosti. Raziskave so pokazale, da je pri Japoncih, v primerjavi z ZDA in Evropo, pomembno predvsem naslednje:

- direktorji so prevzeli kakovost popolnoma v svoje roke,
- izobraževanje na področju kakovosti je obvezno za vse strukture v podjetju,
- na področju kakovosti nenehno potekajo inovacije in izboljšave.

Drži, da morajo za kakovost skrbeti vsi zaposleni, vendar morajo biti odgovornosti in pristojnosti natančno definirane, kajti naloga, ki jo morajo opraviti vsi, hitro postane naloga, za katero ne skrbi nihče. Večino zahtev v seriji standardov ISO 9000, ki so osnova za izdajo certifikatov, praktično sovпада z zahtevami, ki jih podjetju postavlja aplikacija TQM. Podjetje, ki je vodeno po načelih TQM, lahko pričakuje, da bo sorazmerno hitro dobilo certifikat o kakovosti in obratno. Odobritev certifikata pa pomeni, da je v podjetju uveljavljen TQM.

Organizacija se v smislu TQM pojmuje kot enakovredni partner v interesnih skupinah svojega okolja. K temu spadajo poleg odjemalcev in dobaviteljev tudi sodelavci v organizaciji in družbeno okolje. Poseben položaj zavzemajo sodelavci. Ti so zastopani kot zainteresirani partnerji in kot sestavni del organizacije. Za doseganje kakovosti v poslovanju je odgovorno

predvsem vodstvo, ki mora v podjetju ustvariti filozofijo, ki je naklonjena stalnim izboljšavam in inovativnosti, kar tudi vzpodbuja. Potrebno je tudi zavedanje vseh v podjetju, da so potrebni in soodgovorni za kakovosten izdelek in zadovoljnega kupca. Ta odločilen vpliv menedžerjev na kakovost je osnovna razlika med TQM in predhodnimi metodami.

Načela TQM razumemo kot navodilo za oblikovanje ustreznih postopkov in procesov vodenja. Razdelimo jih na:

- osredotočenost na rezultate,
- osredotočenost na odjemalce,
- koristi za zaposlene,
- koristi za družbo, kakovost dejavnosti,
- vključenost zaposlenih,
- učinkovito vodenje s sodelovanjem zaposlenih,
- izobraževanje in usposabljanje zaposlenih.



Vaja iz TQM

Med – vizija, d. o. o. je večji proizvajalec in dobavitelj podsklopov za avtomobilsko industrijo in industrijo motornih dvokoles. Podjetje ponuja vrsto izdelkov, ki imajo kljub relativno nizki ceni ustrezno kakovost, ki jo zahtevajo kupci.

Pred dvema letoma se je podjetje za las izognilo tožbi kupca, saj se je ena od njegovih strank poškodovala zaradi malomarnosti izdelave varjenega sklopa. Zaradi njihovega dolgoletnega slovesa in strogih postopkov nadzora kakovosti jih kljub temu niso tožili. Prodaja je po tem incidentu nekaj časa padala, a si je v letu dni spet opomogla in odtlej stalno narašča.

Oddelek za nadzor kakovosti je z vrsto pregledov in testov preverjal kakovost. Surovine in posamezne polizdelke so kupovali pri uveljavljenih dobaviteljih, zato tu ni bilo skoraj nobenih težav. Vendar so vhodne materiale in vse polizdelke kljub temu pregledali, preden so pričeli s postopkom varjenja celotnega sklopa. Vsak varjenec so nadalje kontrolirali 100 % po vsaki tehnološki operaciji vse do odpreme do kupca. Večina kontrole je bila namenjena očnemu preverjanju izdelka ter metalografski analizi ključnih varjenih spojev.

Tabela 1: Vrednost prodaje in stroški kakovosti

Leto	1	2	3	4	5	6
Vrednost prodaje	18.700.000	18.750.000	18.780.000	19.050.000	20.310.000	24.300.000
Stroški kakovosti:						
Načrtovanja	18.000	24.000	54.000	72.000	111.000	129.000
Preizkušanja	45.000	51.000	66.000	111.000	135.000	192.000
Notranjih napak	273.000	231.000	96.000	108.000	51.000	30.000
Zunanjih napak	315.000	303.000	249.000	153.000	81.000	48.000

Vir: Markič in Pucer, 2001, 17

Zadnje čase ima podjetje nekaj težav. Število pritožb strank se je v preteklih dveh letih povečalo za 15 odstotkov, tako da imajo sedaj približno 150 pritožb na milijon prodanih izdelkov. Večina teh pritožb se nanaša na napake površine, občasno pa tudi na dimenzijske napake ali druge resnejše napake. Podjetje se je na te pritožbe odzvalo tako, da je zaposlilo več kontrolorjev in povečalo strogost preverjanja, pri tem pa so se stroški kontrole povečali za 20 odstotkov. Osebe v proizvodnji se je večkrat pošalilo, češ da ima po novem vsak svojega kontrolorja, ki ga nenehno opazuje izza hrbtna.

Uprava podjetja je za poskus nastavila v proces izdelave 20 napak, da bi ugotovila, ali jih bodo kontrolorji za nadzor kakovosti odkrili. Do trenutka, ko so bili izdelki pripravljene, da zapustijo proizvodnjo, so jih ugotovili samo 12.

Vodstvo podjetja Med – vizija, d. o. o. je upravičeno zaskrbljeno za svojo uspešnost in zato išče nasvete.

Vprašanja za obravnavo

1. Kaj bi predlagali vodstvu podjetja?
2. Bi podjetje lahko uvedlo »celovito obvladovanje kakovosti« (CEOKA)?
3. Kako naj se na to pripravi?
4. Podjetje je v preteklih šestih letih zabeležilo stroške ob izboljšavi kakovosti, ki so prikazani v tabeli 1. Opišite, kaj se je v tem času dogajalo!
5. Katere so možne posledice izdelkov slabe kakovosti? Ali je sploh mogoče narediti izdelek popolne kakovosti?
6. Kako bi z grafom pojasnili ugotovitve iz tabele 1?
7. Ali je za organizacije smiselno, da težijo k popolni kakovosti? Ali obstajajo primeri, ko so stroški za doseganje tega cilja previsoki?
8. Na podlagi ustreznih primerov pojasnite razliko med načrtovano in doseženo kakovostjo. Katera je pomembnejša?

1.4 RAZVOJ CELOVITEGA OBVLADOVANJA KAKOVOSTI

Filozofija celovitega obvladovanja kakovosti se je začela razvijati v dvajsetih letih 20. stol. in se dopolnjevala s prispevki različnih avtorjev, ki so podajali svoj pogled na reševanje problema zagotavljanja kakovosti. Večino konceptov celovitega obvladovanja kakovosti so razvili strokovnjaki v ZDA, vendar pa so bili Japonci prvi, ki so te koncepte vpeljali v prakso. Zаметke celovitega obvladovanja kakovosti – CEOKA najdemo že v statistični kontroli procesov. Stoodstotna kontrola je postala zaradi masovne proizvodnje neučinkovita, zato je Shewhart zagovarjal uporabo statističnih metod, ki upoštevajo variacijo karakteristik kakovosti v procesu. Veliko podjetij je uporabljalo kontrolne karte, s katerimi so preverjali, ali ostajajo rezultati posamezne operacije oziroma procesa v prej določenih dopustnih mejah. Svoje prispevke so nato dodali še guruj s področja obvladovanja kakovosti: Deming s svojimi 14 točkami, Crosby s štirimi absoluti, Juran s svojo trilogijo. Feigenbaum je v petdesetih letih prvi začel uporabljati termin celovita kontrola kakovosti. Nadgradnja Feigenbaumovega modela pa je bila japonska različica celovite kontrole kakovosti, ki je poudarjala, da so za zagotavljanje kakovosti odgovorni vsi zaposleni, od direktorja do delavca za tekočim trakom.

Novejša prispevka k CEOKA sta še filozofija »JIT – just in time – ravno ob pravem času« in »benchmarking – primerjava z najboljšimi«. Koncept »ravno ob pravem času« se je razvil na Japonskem in je najbolj poznan kot koncept proizvodnje brez zalog. Material mora priti v podjetje ravno v trenutku, ko je potreben proizvodnji. V bistvu gre za proizvodnjo brez zalog, ki pa zahteva visoko stopnjo avtomatizacije in računalniško vodenega poslovanja. Pri benchmarkingu pa gre za razumevanje, merjenje, presojanje in primerjanje, torej za raziskovalni proces, ki zagotavlja koristne informacije, ki izboljšajo uspešnost odločanja (Peljhan, 2003, 54).

1.4.1 Prispevki gurujev kakovosti

Nesporno je, da je k razvoju CEOKA največ prispevala »velika peterica«: Deming, Juran, Crosby, Feigenbaum in Ishikawa, zato bodo v nadaljevanju predstavljeni njihovi pogledi na zagotavljanje kakovosti.

■ William Deming

William Deming se je rodil leta 1900 v ZDA. Bil je matematik in fizik, na njegovo delo pa je močno vplivalo prijateljstvo s Shewhartom, strokovnjakom s področja statistike in statistične kontrole. Deming je v petdesetih letih predaval o kontroli kakovosti v ZDA, vendar je bil

odziv na njegova predavanja zelo majhen. Popolnoma drugačen odziv pa je Deming doživel na Japonskem, kjer je leta 1947 začel s predavanji o izboljševanju kakovosti v proizvodnji. Japonski menedžerji so ga poslušali z navdušenjem, saj so v kakovosti videli svojo konkurenčno prednost pred ameriškim in evropskim gospodarstvom. Ker je Deming veliko prispeval k razvoju kakovosti na Japonskem, so po njem imenovali prestižno nagrado za kakovost (Deming Prize), ki jo vsako leto prejme najbolj uspešno podjetje na področju obvladovanja kakovosti (Krüger, 2001, 146).

Glavna Demingova teza je bila, da z izboljšanjem kakovosti povečamo produktivnost in posledično tudi konkurenčnost. Nizka kakovost pomeni visoke stroške in vodi v izgubo konkurenčnosti na trgu. Rezultati izboljšanja kakovosti pa so: povečanje produktivnosti, povečanje zmogljivosti, skrajšanje proizvodnega cikla, znižanje proizvodnih stroškov, povečanje dobička, večji tržni delež, zadovoljen kupec in manj reklamacij (Petersen, 1995, 468).

Najbolj poznan je Demingov krog stalnih izboljšav ali PDCA krog (Plan – Do – Check – Act). Demingov krog (slika 4) je krožni tok kakovosti, s katerim dosežemo stalen napredek v kakovosti. V njem si nenehno sledijo 4 faze: Načrtuj – Izvedi – Planiraj – Ukrepaj.

▪ **Joseph Moses Juran**

Večina strokovnjakov se strinja, da je poleg Deminga k razvoju celovitega obvladovanja kakovosti največ prispeval Juran. Juran je bil rojen v Romuniji, vendar je od svojega osmega leta starosti živel v ZDA. Tudi on je bil v 50-ih letih 20. stol. povabljen na Japonsko, kjer je japonskim podjetnikom predaval o kakovosti. Izdal je priročnik Quality Control Handbook in s tem veliko prispeval k razumevanju koncepta celovitega obvladovanja kakovosti (Krüger, 2001, 150). Pri svojem delu je opazil, da se velika podjetja vse bolj delijo na funkcionalne enote, zato se je planiranje vse bolj oddaljevalo od izvedbe. Z rastjo so se podjetja vse bolj odločala za delegiranje odgovornosti, odgovornosti za zagotavljanje kakovosti pa ni hotel prevzeti nihče, niti najvišje vodstvo.

Juran je zato zahteval, naj vodstvo podjetij oblikuje politiko kakovosti in se osebno vključi v uresničevanje le-te. V nasprotju z Demingom je Juran zagovarjal oblikovanje sloganov in postavljanje časovnega okvira za doseganje določenih kvantitativnih ciljev. Juranova trilogija pojasnjuje odnose med tremi procesi, s katerimi obvladujemo kakovost: planiranje kakovosti, kontrola kakovosti in izboljšanje kakovosti. Medtem ko sta prva dva procesa pomembna, je tretji bistven, saj izboljševanje sistema zmanjšuje stroške in povečuje dobiček. S ponavljanjem zaporedja vseh treh procesov se v sistem vgrajujejo izboljšave (Petersen, 1999, 468).

▪ **Armand Feigenbaum**

Feigenbaum je prvi uporabil koncept celovite kontrole kakovosti, iz katerega se je pozneje razvil koncept celovitega obvladovanja kakovosti. Celovito obvladovanje kakovosti definira kot: »učinkovit sistem za povezovanje razvoja kakovosti, vzdrževanja kakovosti in prizadevanj za izboljšanje kakovosti različnih skupin v organizaciji, da bi usposobili proizvodnjo in servis, da na najbolj ekonomičen način omogočijo slediti kupčevim zahtevam« (Langerholc, 1996, 16).

Feigenbaum je poudarjal, da so za kakovost odgovorni vsi zaposleni, od direktorja do delavca za tekočim trakom. Vsak zaposleni si mora prizadevati za izboljšanje kakovosti, saj kakovost ne nastaja le v proizvodnji, ampak tudi v trženju, raziskavah in razvoju, finančah, prodaji in nabavi. Le popolna povezava vseh razpoložljivih tehničnih virov ter sodelovanje vseh zaposlenih vodi k želenemu dolgoročnemu rezultatu (Krüger, 2001, 151).

Feigenbaum opozarja, da podjetja vse preveč denarja namenjajo za popravila, premalo pa za preprečevanje napak. Zato Feigenbaum predlaga povečanje preventivnih dejavnosti, s katerimi bo podjetje odpravilo vzroke za slabe proizvode in zmanjšalo število slabih proizvodov.

- **Philip Crosby**

K razvoju celovitega obvladovanja kakovosti je pomembno prispeval tudi Crosby. Bil je podjetnik z izvrstnimi govorniškimi sposobnostmi in je deloval predvsem v 80-ih letih 20. stoletja. Bistvo njegovih idej nam pokaže njegova izjava: »Kakovost je zastonj. Ni darilo, vendar je prosto na razpolago. Tisto, kar je drago, so neakovostne stvari – vse dejavnosti, ki so posledica tega, da posel ni opravljen pravilno že prvič« (Crosby, 1990, 1).

Crosby je opozarjal na številne napačne predpostavke vodstva podjetij o kakovosti, med njimi so najbolj razširjene naslednje (Krüger, 2001, str. 152–153):

- kakovost je luksuz, ki kaže relativno vrednost proizvoda,
- kakovosti se ne da meriti,
- vzroki za probleme s kakovostjo so v delavcih,
- za kakovost naj skrbi oddelek za kakovost.

- **Kaoru Ishikawa**

Ishikawa je občutno vplival na japonsko razumevanje obvladovanja kakovosti. Njegov pristop k celovitemu obvladovanju kakovosti je zelo blizu današnjemu razumevanju CEOKA. Ishikawa je poudarjal, da je za zagotavljanje kakovosti potrebna revolucija v miselnosti vodstva podjetij. Podjetje si mora prizadevati, da razvije, oblikuje, proizvede in ponudi kakovosten proizvod, ki je najbolj ekonomičen, najbolj uporaben in vedno zadovoljuje potrošnika. Pomembna je usmeritev h kupcu, tako notranjemu kot zunanemu. Ishikawa je poudarjal geslo »naslednji proces je tvoj potrošnik«. Vsi oddelki v podjetju si namreč prizadevajo zadovoljiti istega končnega potrošnika, zato morajo med seboj veliko komunicirati in sodelovati. Vsakdo se mora potruditi, da opravi svoje delo brez napak zato, da bo tudi končni proizvod brez napak (Krüger, 2001, 154).

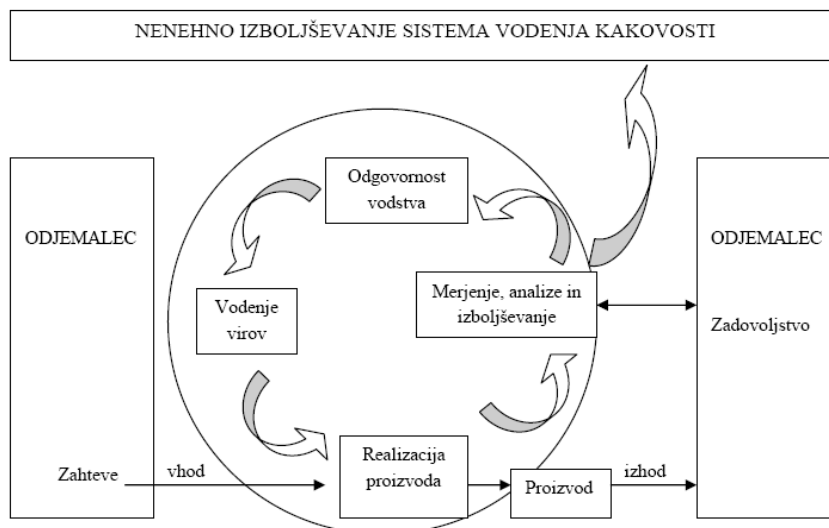
Ishikawin diagram ali diagram ribje kosti nam omogoča sistematično reševanje problemov, povezanih s kakovostjo. Poudarja, da je potrebno raziskati vzroke, ki so privedli do problema, izluščiti dva ali tri najpomembnejše in poskrbeti za njihovo obvladovanje.

1.5 ISO 9001 SISTEM VODENJA KAKOVOSTI – ZAHTEVE

Standard ISO 9001:2008 je izdala mednarodna organizacija ISO (International Standardization Organization) leta 2008. Gre za četrto izdajo standarda (prva je iz leta 1987), ki zamenjuje predhodno iz leta 2000. Standard je zgrajen na načelih vodenja kakovosti, ki jih danes uporabljajo v svetu uspešne organizacije, tako proizvodne kot storitvene.

Standard se osredotoča predvsem na učinkovitost sistema vodenja kakovosti pri izpolnjevanju zahtev odjemalcev. Namenjen je vsem vrstam organizacij, ne glede na velikost, organiziranost, izdelek ali storitev, ki želijo obvladovati in izboljševati svoje poslovanje ter povečevati zadovoljstvo svojih odjemalcev. Standard je tudi odlična osnova za nadgradnjo z ostalimi sistemi vodenja, ki jih določajo standardi kot npr. ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007.

Standard določa zahteve za sistem vodenja kakovosti (sistem vodenja kakovosti), delovanje vodstva (odgovornost vodstva), ravnanje z viri (vodenje virov), izvajanje osnovne dejavnosti (realizacija proizvoda) in nadzor (merjenje, analize in izboljševanje), kot prikazuje slika 5. Izpolnjevanje vseh zahtev standarda omogoča organizaciji, da, po uspešno zaključenem certifikacijskem postopku, pridobi certifikat za sisteme vodenja kakovosti po ISO 9001:2008 (http://www.siq.si/Sistemi_vodenja_kakovosti.759.0.html, 15. 1. 2009).



Slika 5: Model sistema vodenja kakovosti
Vir: SIST ISO 9000, 3

Mednarodna organizacija za standarde ISO je 14. novembra 2008 izdala novo izdajo standarda ISO 9001:2008, slovenski prevod je izšel 11. decembra 2008.

14. novembra 2010 bo standard ISO 9001:2008 v celoti nadomestil standard ISO 9001:2000 – do takrat bosta veljavna oba standarda. V tem času boste morali, za pridobitev certifikata za standard ISO 9001:2008, opraviti prehodno presojo za novi standard.

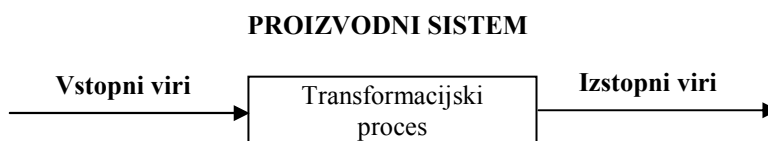
Pri razvoju standarda ISO 9001:2000 so bila upoštevana načela vodenja kakovosti, ki jih danes uporabljajo v svetu uspešne organizacije, tako proizvodne kot storitvene. Zato je standard povzetek dobre poslovne prakse in kot tak v pomoč organizacijam, ki žele slediti samo najboljšemu. Uporablja ga že več kot milijon podjetij v 175 državah.

Nova izdaja standarda predhodnega izboljšuje zlasti z večjo jasnostjo in usklajenostjo, tudi z drugimi standardi sistemov vodenja ter nima novih zahtev za sistem vodenja in nima ali ima le minimalne zahteve za spremembo dokumentacije in zapisov sistema vodenja kakovosti ter obstoječih procesov organizacije.

1.6 VKLJUČEVANJE KAKOVOSTI V PROIZVODNE SISTEME

Proizvodnja pomeni ustvarjanje izdelkov in storitev, po katerih obstaja povpraševanje. To pomeni, da ima output proizvodnega sistema svojo ceno na trgu in zato dovoljuje uporabo materialnih, človeških in drugih virov ter pokrivanje z njimi povezanih stroškov.

Proizvode proizvedemo s pomočjo proizvodnega sistema, ki ga sestavljajo: input – vstopni viri, transformacijski proces in output – izstopni izdelek ali storitev, kot je predstavljeno na sliki 6.



Slika 6 : Proizvodni proces
Vir: Prirejeno po: Marolt in Gomišček, 2005, 22

Vsak proizvodni sistem je vključen v določeno ekonomsko, tehnološko in družbeno okolje, s

katerim je v stalnem medsebojnem odnosu. Proizvodni sistemi imajo najpogosteje formalno obliko podjetja ali ustanove. Vsak proizvodni sistem mora skrbeti za kakovost svojih izdelkov in storitev, zato mora imeti neformalen ali formalen podsistem za kakovost, ki je prav tako pomemben kot prodajni, nabavni, finančni ali kak drug podsistem. Vsi podsistemi so v medsebojni povezavi in vplivajo drug na drugega.

Proizvodni sistemi pa nikakor niso omejeni le na materialno proizvodnjo, kjer materiale in sestavne dele spreminjamo v proizvode višje vrednosti. Tudi trgovino, banko, bolnico, šolo, zavarovalnice, javno in državno upravo, ki "proizvajajo" storitve, lahko smatramo kot proizvodni sistem. V vsakem proizvodnem sistemu poteka vrsta različnih procesov. Vodenje celovite kakovosti posveča osrednjo pozornost procesom, ker se v procesih ustvarja dodana vrednost in ker so izboljšave procesov glavni vir višje kakovosti, nižjih stroškov in večje produktivnosti (Marolt in Gomišček, 23).

Iz tega logično izhaja, da mora vsako podjetje ali ustanova skrbeti za izboljševanje procesov, ki jih izvaja. Seveda so pristopi, načini in orodja za izboljševanje procesov zelo specifični in prilagojeni vrsti procesov, zahtevam trga, virom in strukturi podjetja ali ustanove.

Načela in praksa vodenja celovite kakovosti so se in se še razvijajo predvsem v organizacijah, ki intenzivno iščejo načine in poti, kako izboljšati kakovost svojih procesov in proizvodov ter kako doseči poslovno učinkovitost in uspešnost. Za TQM je značilno, da ni ene same "pravilne" poti oz. modela njegove zasnove in vpeljave v organizacijo. Model se mora prilagoditi predvsem specifičnostim, kulturi zaposlenih in zgodovini vsake posamezne organizacije. Vendar je analiza podjetij, ki so z vpeljavo TQM-a dosegla pozitivne rezultate, pokazala nekaj skupnih značilnosti. V teh organizacijah so posebno pozornost namenili:

- timsko zasnovani strukturi organizacije,
- zadovoljivosti zahtevam in željam kupca,
- stalnemu izboljševanju procesov,
- učinkovitemu vodenju,
- sodelovanju in izobraževanju zaposlenih,
- široki uporabi statističnih in nestatističnih orodij.

Ljudje morajo dobiti povratne informacije o rezultatih svojega dela. Brez povratnih informacij ne vedo, kako so delali in kako so prejemniki njihovega dela zadovoljni z njihovim outputom. Kadar zaposleni ne vedo, kako delajo, tudi ne vedo, ali je potrebno, da izboljšajo svoje delo (Marolt in Gomišček, 47).

Organizacija mora na kakovost izdelka ali storitve vedno gledati z dveh stališč. S svojega stališča, kot proizvajalec izdelka ali storitve, in s stališča zadovoljstva kupca oz. uporabnika izdelka ali storitve. Danes že skoraj vsi proizvajalci izdelujejo približno enako kakovostne proizvode. Zato se pri proizvodih ne da več dosežati bistvene prednosti. Konkurenčna prednost se lahko danes doseže le v doseganju večjega zadovoljstva kupcev.

Kupec oz. uporabnik je edini dokončen rabsodnik o kakovosti proizvoda in s tem posredno vpliva na to, ali bo organizacija v prihodnje imela naročila in delo ali ne. Nekatere organizacije se že dolgo zavedajo, kako pomembno je zadovoljstvo njihovih kupcev za uspešno poslovanje organizacije.

1.7 UČINKOVITOST PROIZVODNEGA SISTEMA

Proizvodni procesi se razlikujejo glede na vrsto outputa (izdelek, storitev), količino, trg, vrsto kupca (pogodbeni, trgovina), lokacijo, lastništvo, posebne zahteve itd. Vsak proizvodni sistem ima svoje značilnosti, npr. lastnosti proizvoda, tehnologija, dobavitelji. Določeni proizvodni procesi so v tesni povezavi s kupci (uporabniki), določeni v tesni povezavi z dobavitelji, drugi

spet z državnimi institucijami.

Učinkovitost proizvodnih procesov tovarne, podjetja, ustanove, trgovine, bolnice, šole, banke lahko merimo tudi kot output/input razmerje. Pogosto s kvantitativnimi merili, kot je produktivnost. Vendar se redko upošteva znižanje produktivnosti zaradi slabo izvršenega dela, ki se kaže v obliki neustreznih izdelkov, izmeta, napak in z njimi povezanih popravil, reklamacij. Resnična učinkovitost proizvodnega procesa je odvisna od kakovosti dela izvajalcev dela oziroma upravljalcev procesa in jo lahko izrazimo kot:

učinkovitost proizvodnega procesa = (output/input) · faktor kakovosti.

Učinkovitost proizvodnega procesa je odvisna torej od tega, kako je določeno delo opravljeno. V tem, kako je določeno delo opravljeno, pa je pravzaprav bistvo kakovosti.

Vsak zaposlen je vključen v enega ali več procesov, naj bo to direktor, zdravnik, zidar, projektant, delavec v proizvodnji, politik, učitelj ali študent. Nobeno delo ni preveč ali premalo pomembno, nobeno delo ni preveč ali premalo kompleksno, da se ga ne bi dalo definirati kot proces in ga ne bi bilo možno izboljšati.

Teoretična definicija produktivnosti

Produktivnost je učinkovitost pretvorbe virov v izdelke in storitve, oziroma z enačbo:

produktivnost = proizvedene enote/vloženi viri.



Poznamo enofaktorsko in večfaktorsko produktivnost.

Enofaktorska produktivnost je opredeljena kot razmerje med ustvarjeno proizvodnjo in enim vloženim inputom. Vloženi viri, predstavljeni v tabeli 2, so lahko delo, energija, kapital ...

Tabela 2: Posamezni primeri enofaktorske produktivnosti

Produktivnost dela	Enot izhoda glede na delovne ure Enot izhoda glede na izmeno Dodana vrednost glede na delovno uro
Produktivnost stroja	Enot izhoda glede na strojno uro
Produktivnost kapitala	Enot izhoda glede na vhod v € Vrednost € izhoda/vrednost € vhoda
Produktivnost energije	Enot izhoda glede na kW uro Vrednost € izhoda/kW uro

Uporabimo eno od meril in spremljamo gibanje, kot na primer:

- zavarovalnica: število obdelanih zavarovalnih polic na teden,
- polaganje talnih oblog: m² položene obloge na uro,
- taljenje voska za satovje: 66.000 čebeljih ur na kg.



Primer: V 4-ih urah proizvedemo 1000 enot izdelka. Kolikšna je produktivnost?

Rešitev:

produktivnost = 1000/4 = 250 kos/uro

Večfaktorska produktivnost je opredeljena kot razmerje med ustvarjeno proizvodnjo in porabljenimi inputi.

Osnovna prednost večfaktorske produktivnosti je v tem, da omogoča kvantifikacijo prispevka posameznih faktorjev (dela, kapitala, materialov, energije, storitev ...) k povečanemu outputu.

$$\text{Pr oduktivnost} = \frac{\text{Pr oizvedene} \cdot \text{enote}}{\text{delo} + \text{material} + \text{energija} + \text{kapital} + \text{ostalo}}$$



Kako povečati produktivnost?

Povečati izhod ob nespremenjenih vhodnih virih ali zmanjšati vhodne vire ob nespremenjenem izhodu.



Vaja: Izračunajte naslednje primere produktivnosti

- V tovarni izdelkov lahko, z obstoječo opremo, proizvedejo 1000 paketov instantirane polente iz vsake tone koruznega zdroba. Predelava tone koruznega zdroba zahteva 5 delovnih ur. Če bi uporabili zdrob višje kakovosti, bi lahko proizvedli 1200 paketov izdelka na tono zdroba.

Kakšen vpliv na produktivnost bi imela nabava surovine višje kakovosti, merjeno v številu paketov izdelka na delovno uro?
- Milan, lokalni avtomehanik, ocenjuje, da v povprečju potrebuje dve uri, da odkrije in odpravi tipično okvaro. Kakšna je njegova dnevna produktivnost, če predpostavite 8-urni delovnik. Milan meni, da bi z nakupom elektronske diagnostične naprave lahko okvaro odkril in odpravil v, za zdaj neverjetni, eni uri. Vendar pa bi v tem primeru vsako jutro potreboval dodatno uro za nastavitev te naprave. Kako bi nakup naprave vplival na njegovo produktivnost?
- Jana izdeluje lutke iz lesa. Dela po 12 ur na dan in v tem času naredi 240 lutk. Ocenjuje pa, da bi lahko z nakupom nove pištrole za barvanje obraza povečala dnevno proizvodnjo na 360 lutk. Materialni stroški na lutko znašajo približno 3,50 €, poleg tega mora za čopiče plačati vsak dan še 20 €. Stroški energije (razsvetljava, ogrevanje) znašajo le 4 € na dan. Meni, da bi morala sama zaslužiti 10 € na uro.

Kolikšna je njena trenutna večfaktorska produktivnost in kolikšna bi bila, če bi se odločila za nakup nove pištrole za barvanje?

 - Kako bi se produktivnost spremenila, če bi pištola za barvanje zahtevala uporabo barv, ki so dražje za 0,50 € na lutko?
 - Za kolikšen znesek bi se smeli povečati materialni stroški, ne da bi prišlo do znižanja produktivnosti?

1.8 STROŠKI KAKOVOSTI

Sistem vodenja kakovosti dokazuje svojo učinkovitost tudi s prispevkom k uspešnosti poslovanja organizacije. Uspešnost velikega deleža poslovnih in proizvodnih procesov najpogosteje merimo z njihovo ekonomsko uspešnostjo, ki je običajno izražena s finančnimi kazalci. Podobno, kot je potrebno poznati stroške, npr. proizvodnje, razvoja, prodaje ipd., je potrebno poznati tudi stroške, povezane s kakovostjo. Organizacija naj, tako kot ostale stroške poslovanja, v načrt poslovne politike vključi tudi planiranje, merjenje ter analiziranje stroškov kakovosti s ciljem, da bi dosegla predvideno kakovost ob predvidenih stroških.

Stroški kakovosti so pomembno orodje managementa, s katerim je mogoče komunicirati z vsemi nivoji organizacije in funkcionalnimi enotami glede učinkovitosti sistema vodenja kakovosti.

Praviloma se z zniževanjem stroškov nekakovosti znižajo tudi stroški poslovanja organizacije.

Določene stroške, povezane s kakovostjo, kot npr. merilna oprema, plače zaposlenih v službi kakovosti ali reklamacije, je relativno enostavno določiti. Stroške, ki so povezani z izmetom in popravili, je že težje identificirati in razporediti po nosilcih stroškov in stroškovnih mestih. Najtežje pa je točno določiti stroške, povezane s poslabšanjem ugleda podjetja zaradi prodaje nekakovostnih izdelkov ali storitev.

Stroški kakovosti so nam v veliko pomoč pri:

- a) ocenjevanju učinkovitosti celotnega ali samo dela sistema vodenja kakovosti,
- b) ugotavljanju področja ali enote, kjer nastopajo problemi, povezani s kakovostjo,
- c) odločanju o prioriteti in vrsti potrebnih izboljšav,
- d) določanju optimalnih količin potrebnih virov (npr. ljudi, opreme, denarja) za različne dejavnosti v okviru vodenja kakovosti,
- e) postavljanju cene izdelkom ali storitvam.

1.8.1 Vrste stroškov kakovosti

Poznane so različne razdelitve stroškov kakovosti: makro- in mikrostroški, direktni in indirektni stroški, planirani in dejanski stroški in podobno. Najpogosteje je omenjen pristop k stroškom kakovosti na makro in mikro osnovi. Makro delitev razdeli vse stroške, ki so kakorkoli povezani s kakovostjo, v tri glavne kategorije, in sicer:

A – stroški preventive,

B – stroški preverjanja skladnosti,

C – stroški neustrezne kakovosti.

Stroški preventive: to so stroški, ki imajo namen preprečiti realizacijo neustreznega izdelka ali storitve. Lahko bi jih imenovali tudi stroški investiranja v kakovost in nastanejo še preden pričnemo s serijsko proizvodnjo proizvoda. Stroški preventive nastajajo na vseh področjih organizacije, ki sodelujejo pri razvoju proizvoda in definiranju procesov proizvodnje.

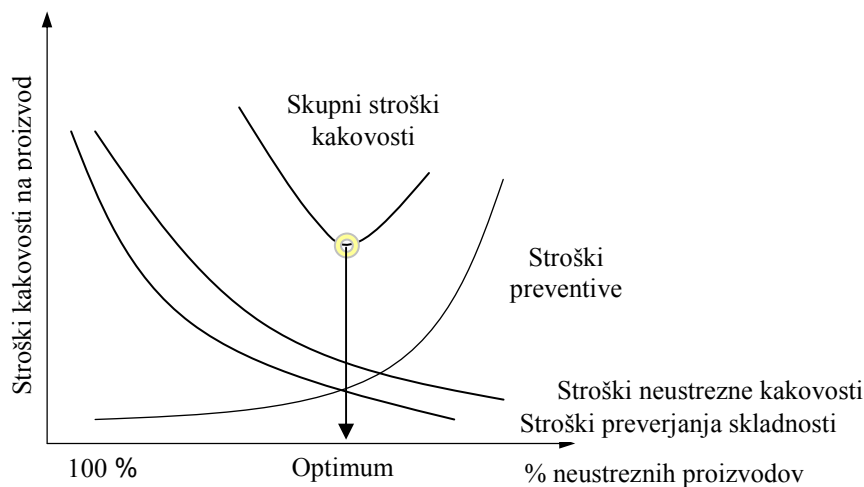
Stroški preverjanja skladnosti: to so stroški, povezani predvsem s preverjanjem skladnosti proizvodov in materialov, ugotavljanjem sposobnosti proizvodnih sredstev ter uporabo merilne in preskusne opreme.

Stroški neustrezne kakovosti: ti stroški nastanejo, kadar proizvodi niso v skladu s predpisanimi zahtevami, specifikacijami in standardi oziroma jih ne izpolnjujejo.

Vsota stroškov preventive (A) in preverjanja skladnosti (B) pogosto tvori tako imenovane stroške doseganja in nadzora kakovosti. Medtem ko so stroški zaradi neustrezne kakovosti (C)

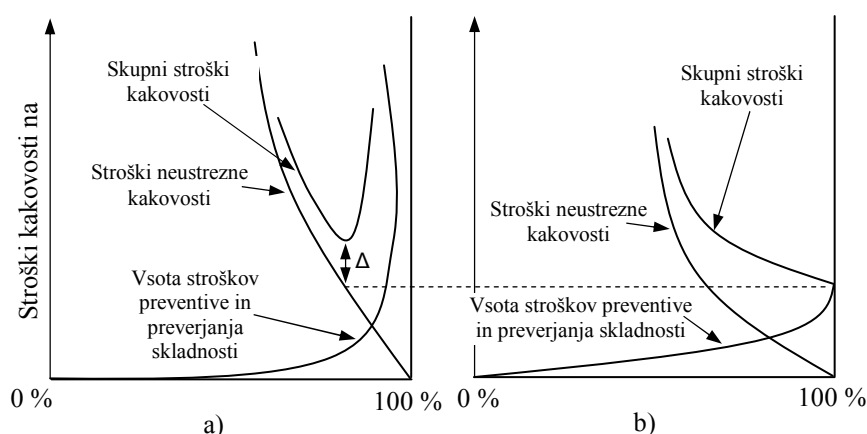
pogosto imenovani kar stroški nekakovosti.

Vse tri glavne kategorije stroškov kakovosti so si v določenem medsebojnem odnosu, ki ga prikazuje slika 7.



Slika 7: Odnos med vsemi tremi glavnimi kategorijami makrostroškov
Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 202

Praksa dokazuje, da se stroški preverjanja skladnosti povečujejo, kadar se stroški nekakovosti povečujejo. Zato pravimo, da imata ti dve kategoriji stroškov enak trend. Stroški preventive naj bi praviloma vplivali tako na zmanjšanje stroškov preverjanja skladnosti kot na zmanjšanje stroškov zaradi neustrezne kakovosti. Iz slike 7 je razvidno, da je povečanje stroškov preventive racionalno samo, dokler skupna vsota vseh treh kategorij stroškov pada, to je do točke, kjer skupni stroški vseh treh kategorij dosežejo minimalno vrednost. Ta točka predstavlja optimum. Preko te točke običajno ni racionalno povečevati stroškov preventive, ker se sicer krivulja skupnih stroškov kakovosti začne zopet dvigati. Vedno bolj pa se uveljavlja pristop do makrostroškov, ki se je razvil v okviru TQM-a. Na sliki 8 sta predstavljena oba pogleda na makrostroške, upoštevajoč stroške za ustrezen proizvod: na levi strani klasični pristop (8a), ki smo si ga ravnokar ogledali, na desni strani pa nov pristop (8b).



Slika 8: TQM pristop k odnosu med glavnimi kategorijami stroškov
Vir: Prirejeno po: Marolt in Gomišček, 2005, 154

Novi pristop TQM-a zagovarja povečevanje vlaganja v preventivne dejavnosti ter v preverjanje skladnosti tako dolgo, da dosežemo nivo kakovosti, ko pravzaprav stroškov neustrezne kakovosti ni več. To pomeni, da so skupni stroški kakovosti sestavljeni le še iz stroškov preventive in stroškov preverjanja skladnosti. V primerjavi s klasičnim pristopom je v novem pristopu seveda

vsota stroškov preventive in preverjanja skladnosti višja kot v optimalni točki pri klasičnem pristopu, vendar pa precej nižja kot celotni skupni stroški.



Vprašanja in naloge

Definicija TQM?

Kakšni so osnovni principi TQM?

Katere delitve stroškov kakovosti poznamo?

Katere so razvojne stopnje konceptov kakovosti?

Kakšni so razlogi za uvedbo sistema vodenja kakovosti?

Kako je definirana produktivnost?

Kakšen je prispevek gurujev na kakovost?

Kaj pomeni kratica PDCA?

Kakšna je tvoja definicija kakovosti?

Poiščite na spletnih straneh članek na temo TQM in uvajanja TQM v podjetju.

Katere so možne posledice izdelkov slabe kakovosti? Ali je sploh mogoče narediti izdelek popolne kakovosti?

V navedenih elektronskih virih poišči zelene podatke o dostopnosti standardov in njihovih cenah: <http://www.din.de/>; www.iso.org/; <http://www.sist.si/>.

Na portalu Evropske unije (<http://europa.eu>), ki uporabnike redno obvešča o zadevah Evropske unije in o evropskem povezovanju poišči najnovejše dokumente s področja kakovosti.

Povzetek:

Cilj vsakega podjetja je uspešno poslovati. Proizvajati mora proizvode, ki si jih kupci želijo, po katerih povprašujejo, so kakovostni in cenovno sprejemljivi. Kakovost izdelkov in storitev danes ni več samo naključje ali želja proizvajalcev, vendar je to potreba vsakega proizvajalca, ki želi biti konkurenčen in uspešen. S politiko kakovosti tako izpolnjujemo zahteve in pričakovanja kupcev in preprečujemo pomanjkljivosti.

Kakovost je eden bistvenih dejavnikov, ki vplivajo na uspešno gospodarjenje. Ni le prosto na razpolago, ampak je najbolj pošten izvor dobička. Osnovno načelo pri kreiranju kakovosti je, da je potreben le tak izdelek, ki bo zadovoljil kupca. Za izdelavo izdelka boljše kakovosti moramo vložiti več truda, uporabiti kakovostnejše surovine in kar je najbolj važno, da posvetimo več časa kontroli izdelkov in procesov.

»Kakovost je zastoj. Ni darilo, vendar je preprosto na razpolago. Tisto, kar je drago, so nekakovostne stvari – vse dejavnosti, ki so posledica tega, da posel ni opravljen pravilno že prvič« (Crosby, 1990, 1).

2 MERILNE NAPAKE IN MERILNA NEGOTOVOST

Preden pričnemo z vsebinsko obravnavo različnih metod za zagotavljanje kakovosti in zanesljivosti proizvodnje se najprej ustavimo pri osnovnih pravilih o meroslovju, kot nauku o merjenju. Že v srednji šoli so nekateri o meritvah zvedeli marsikaj, vendar ne bo odveč, če osnove le teh ponovimo. V tem drugem poglavju bomo ponovili osnove merilne tehnike, zapis absolutne in relativne napake ter razumevanje merilne negotovosti pri merjenju merilnih veličin.

Metrologija zajema vse vidike merjenja, tako praktične kot teoretične, ne glede na njihovo raven točnosti in ne glede na področje znanosti in tehnologije.

Osnovne naloge meroslovja so:

- določanje merskih enot in izdelava njihovih vzorcev ali etalonov,
- preučevanje posameznih metod, načinov merjenja in njihova realizacija s pomočjo merilnih naprav,
- analiza točnosti merilnih metod in izločanje faktorjev, ki zmanjšujejo oziroma vplivajo na točnost merjenja.

Če želimo dognati bistvo merjenja, si je potrebno odgovoriti na štiri načelna vprašanja: *Kaj je treba meriti? Zakaj je treba meriti? Čemu je treba meriti? Kako je treba meriti?*

Merjenje je osnova za kvalitativni in kvantitativni opis procesov in predmetov. Je vedno eksperimentalen proces, pri katerem primerjamo izmerjeno vrednost fizikalne veličine (merilne veličine) z referenčno veličino. Merjenje je skupek dejavnosti, s katerimi opravimo meritev lastnosti nečesa. Meritev pove, kako dolg je naš merjenec, kako težak je ali kako je vroč. Rezultat merjenja ponavadi zapišemo v obliki dveh delov – izmerjene vrednosti in enote, na primer: za dolžino 2 metra, za težo 5 kilogramov, za napetost 6 Voltov ali za temperaturo 42 stopinj Celzija.

Proizvodna merilna tehnika je del merilne tehnike, ki omogoča uporabo merilnih sredstev in postopkov v okolju proizvodnega procesa. Obsega tehnike dolžinskega merjenja in merjenja mehanskih lastnosti materialov. Proizvodna merilna tehnika obsega:

- precizno laboratorijsko merilno tehniko,
- merilno tehniko v merilnicah,
- merilno tehniko v proizvodnem procesu.

2.1 OSNOVNI POJMI

Merjenje je eksperimentalni proces, s katerim določamo posebno vrednost merilne veličine kot mnogokratnik ali del osnovne enote oziroma dogovorjene referenčne vrednosti.

Kvantitativno primerjavo merilne veličine z referenčno veličino, nastavljeno na merilni napravi, lahko izvajamo z neposrednim ali posrednim merjenjem. Tako dobljena kvantitativna značilnost merjenega objekta je merjena vrednost. V splošnem jo označujemo kot zmnožek številčne vrednosti in enote (primer: dolžina $l = 300 \text{ m}$).

Merjena veličina je veličina, katere vrednost ugotavljamo pri merjenju. Opisana je z merilnim rezultatom.

Merilni rezultat

je vrednost merjene veličine z merilno napako, ki ga dobimo iz merjenih vrednosti ene merjene veličine ali iz merjenih vrednosti različnih merjenih veličin s pomočjo predpisanih enoznačnih zvez. Pri natančnem merjenju, merjenju posebnega pomena za presojo merilnih objektov in primerjalnem merjenju na razvojnem in industrijskem področju spada k merilnemu rezultatu tudi izjava o izvajanju merjenja. Vsebuje merilne vrednosti, podatke o

temperaturi merilne opreme oz. merjenega objekta. Če je določeno veličino mogoče izmeriti z različnimi merilnimi postopki, moramo navesti uporabljen postopek.

Merilna negotovost pomeni dvom v veljavnost merilnega rezultata. Je odraz pomanjkljivega poznavanja natančne vrednosti merilne veličine. Rezultat meritve je po korekciji zaradi vpliva razpoznavnih sistematičnih napak še vedno samo ocena vrednosti merilne veličine, in sicer zaradi negotovosti, ki jo povzročajo naključne napake in nepopolna korekcija rezultata zaradi sistematičnih merilnih napak. Merilna negotovost je torej številski podatek, ki nam pove, kako kakovostno smo meritev izvedli.

Uradna definicija izraza "negotovost meritve" po Mednarodnem slovarju osnovnih in splošnih izrazov s področja meroslovja je naslednja: Negotovost meritve je parameter, pridružen merilnemu rezultatu, ki prikazuje raztros vrednosti, ki bi jih lahko smiselno pripisali merjeni veličini. Omenjeni parameter je lahko npr. standardni odmik (ali njegov mnogokratnik) ali pa polovična širina intervala z določenim nivojem zaupanja (<http://www.lakos.fs.uni-lj.si/lakos/dodiplomski/dokumenti/meroslovjeslovarceklocked.doc>, 5. 11. 2008).

Kako podamo negotovost? Izmerjeno vrednost moramo zapisati tako, da bo iz zapisa razvidna njena negotovost ali dvom. To dosežemo tako, da poleg količine navedemo še njeno negotovost, npr. $g = 9,7 \text{ m/s}^2 \pm 0,2 \text{ m/s}^2$. Količino zapišemo s toliko števki (ciframi), da je zadnja zapisana števka že negotova. To velja tudi tedaj, ko napake eksplicitno ne navedemo; v takšnem primeru velja, da je nenatančnost (dvom) manjša od največjega možnega odstopanja zadnjega mesta; v zgornjem primeru bi bilo to enako $0,5 \text{ m/s}^2$.

Merilne napake in odstopki

Med merilno napako in odstopkom je bistvena razlika. Odstopki pri merjenju je razlika med izmerjeno in imensko vrednostjo (oz. nastavljeno vrednostjo pri primerjalnih meritvah). Merilna napaka je tisti odstopki merilnega rezultata, ki nastane zaradi nepravilnosti pri merjenju.

2.1.1 Pojmi na področju merilne opreme

Merilni postopek

je skupek praktičnih in teoretičnih dejavnosti za izvedbo meritve po predpisani merilni metodi.

Etalon je materializirana mera, merilo ali sistem, katerega namen je, da definira, realizira, ohranja ali reproducira neko enoto ali eno ali več znanih vrednosti veličine z namenom, da se s pomočjo primerjave prenese na druga merila.

Merilna oprema je skupek merilnih naprav in merilnih pomožnih sredstev, ki so potrebna za prevzem merilne veličine, njeno obdelavo in prikaz izmerjene vrednosti.

Merilni sistem je skupek vseh informacij, naprav in dejavnosti, ki so pomembne za določeno meritev (npr. merilna metoda, postopek, navodilo, vrednosti vplivnih veličin, etalon).

Merilno območje je območje vrednosti merilne veličine, v katerem je merilna napaka merilne naprave znotraj predpisanih meja.

Občutljivost je sprememba izhodne veličine merilne naprave, deljena s pripadajočo spremembo vhodne veličine. Lahko je odvisna od vrednosti vhodne veličine.

2.1.2 Natančnost merjenja

Veličin ne moremo meriti poljubno natančno. Z merilnimi napravami lahko določimo le mere, ki so blizu stvarni meri. Natančnost merjenja podamo z decimalno vrednostjo. V merilni tehniki število decimalnih mest, vključno z ničlami, kaže na natančnost merjenja. Natančnost merjenja določa zadnja decimalna številčna vrednosti opazovane merske enote.

Izmerjene vrednosti 25 mm / 25,0 mm / 25,00 mm so v matematičnem pomenu enake, vendar se z vidika merjenja zelo razlikujejo. Razlikujejo se glede natančnosti merjenja:

- 25 mm pomeni, da je merjenje izvedeno z natančnostjo 1 mm,

- 25,0 mm pomeni, da je merjenje izvedeno z natančnostjo 0,1 mm,
- 25,00 mm pomeni, da je merjenje izvedeno z natančnostjo 0,01 mm.

Pomembne števke. Pri tem imamo v mislih števke pomembnih značilnih števk; nepomembne števke so tiste, ki določajo decimalno mesto. Poglejmo primer: rezultat $g = 9700 \text{ mm/s}^2$ lahko zapišemo tudi kot $g = 0,0097 \text{ km/s}^2$. Pomembni števki sta le 9 in 7. V vseh zapisih je torej število pomembnih števk enako.

Vloga ničel v zapisu fizikalne količine. Ne smemo trditi, da je 0 na koncu števila vedno le nepomembna števka. To je predstavljeno že v zgornjem primeru. Če je rezultat naše meritve bolj natančen, recimo $c = 340 \text{ m/s} \pm 3 \text{ m/s}$, nam zadnja ničla tudi predstavlja pomembno števko. V tem primeru iz samega zapisa 340 m/s ne bi mogli ugotoviti, koliko pomembnih števk je v rezultatu. Takšni obliki zapisa se zato raje izognemo in uporabimo zapis z desetiškim eksponentom: $c = 3,40 \cdot 10^2 \text{ m/s}$.

Decimalna mesta. Števk ne smemo zamenjevati z decimalnimi mesti; zapis 9,81 vsebuje tri števke in dve decimalni mesti, zapis 0,049 pa tri decimalna mesta in štiri števke. Eno in isto fizikalno količino lahko zapišemo z različnim številom decimalnih mest; npr.: $l = 789 \text{ mm} / l = 78,9 \text{ cm} / l = 7,89 \text{ dm} / l = 0,789 \text{ m}$ ali $l = 0,000789 \text{ km}$, število decimalnih mest torej sploh ne vpliva na natančnost merilnega rezultata. V vseh petih primerih natančnost določajo tri pomembne številke, 7, 8 in 9. Trditev, ki jo pogosto slišimo, da izmerjene količine zaokrožujemo na dve decimalni mesti, je seveda popolnoma nesmiselna.

Zaokroževanje števil. Kadar število zamenjamo s številom, ki ima manj mest, temu rečemo zaokroževanje. Na koliko mest zaokrožimo dano število, je odvisno od natančnosti, s katero lahko podamo količino. Ne zamenjujmo števila decimalnih mest s številom mest (pogovorno – na koliko decimalk je kaj napisano), saj lahko s predpono ali desetiško potenco decimalno vejico poljubno prestavljamo.



Primer 1:

1,234 kg = 1234 g – obe količini sta zapisani na štiri mesta, prva s tremi za decimalno vejico, druga brez decimalnih mest.

Vodeče ničle ne pomenijo mest natančnosti, ničle na koncu pa!

Primer 2: 0,0023 je zapisano na dve mesti natančno ($2,3 \cdot 10^{-3}$); 0,002300 pa na štiri mesta.

Pri zaokroževanju se držimo sledečih pravil:

- Kadar je prva števka, ki jo zavržemo, manjša od 5, se števka na mestu, ki ga še obdržimo, ne spremeni.

Primer 3: 5,3149632 zaokroženo na tri mesta zapišemo kot 5,31.

- Kadar je prva števka, ki jo izpustimo, večja od 5, števko na zadnjem mestu povečamo za eno; če je zadnja števka enaka 9, zapišemo 0 in povečamo za eno števko na prejšnjem mestu (in tako naprej).

Primer 4: Število 5,3149632 postane 5,315, kadar ga zapišemo na štiri mesta, isto število, zaokroženo na pet mest, je 5,3150; 3,89974, zaokroženo na štiri mesta, pride 3,900 (skupaj z ničlami).

- Če se niz cifer, ki jih zavržemo, prične s 5 in je katera od ostalih cifer v nizu različna od 0, zaokrožimo navzgor. Če so vse ostale števke v nizu enake 0, potem zadnje mesto pustimo tako kot je, če je sodo, če je liho, pa ga zaokrožimo navzgor.

Primer 5: 12,345001, zaokroženo na štiri mesta, zapišemo kot 12,35.
12,345000, zaokroženo na štiri mesta, zapišemo kot 12,34.
12,335000, zaokroženo na štiri mesta, zapišemo kot 12,34.

2.1.3 Kontroliranje

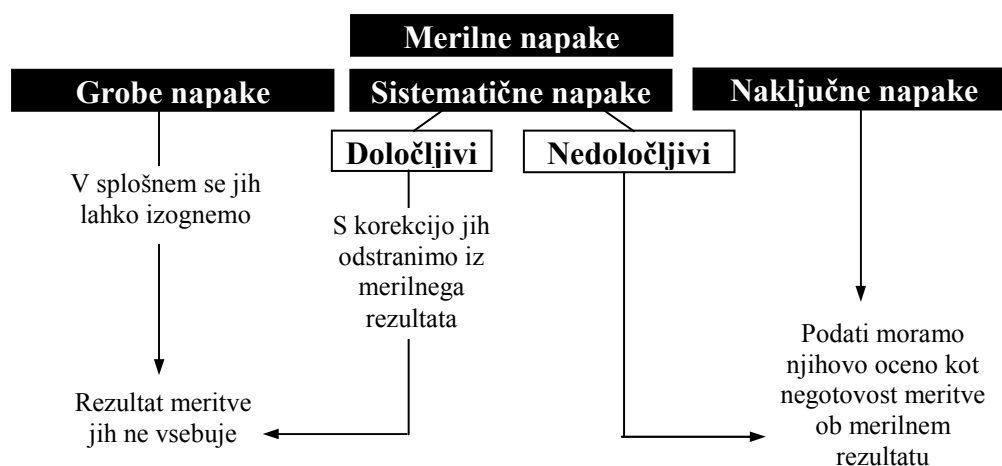
Kontroliranje pomeni ugotovitev, ali se dejanska vrednost kontrolirane veličine nahaja v toleriranih mejah ali izven njih. Ugotoviti je treba, če geometrična oblika ustreza predpisanim vrednostim. Razlikujemo:

- mersko kontrolo, npr. kontrola trdote materiala, dolžine ...;
- nemersko kontrolo, npr. kontrola barvnega premaza;
- kontrola z oblikovno podobnim telesom (kalibrom), s katerim ugotavljamo, če geometrična oblika ustreza potrebnim vrednostim.

Preverjanje je merjenje in kontroliranje. Primerno je za vhodno kontrolo, kontrolo med obdelavo ali končno kontrolo.

2.2 NAPAKE IZMERJENIH KOLIČIN

Fizikalne količine dobimo z merjenjem. Količin ne moremo poljubno natančno meriti, zato pri izmerjeni količini podamo negotovost ali napako, s katero je količina izmerjena. Vrste napak, ki se pojavijo pri meritvi, prikazuje slika 9.



Slika 9: Določljive in nedoločljive vrste merilnih napak

Grobe napake prepoznamo kot napake, ki so mnogo večje od vseh ostalih oz. od predvidenih napak (npr. tipanje v zraku, namesto na površini merjenca). Običajno jih z lahkoto zaznamo.

Sistematične napake ali obvladljive napake so posledica nenatančnosti same merilne naprave. Pri boljših napravah je napaka podana, v večini primerov je večja od najmanjšega razdelka, ki ga lahko še odčitamo. Sistematične napake so torej napake, ki imajo pri istih merilnih pogojih (ista merilna naprava, prostor, pogoji okolice, merilec, metoda oz. postopek) vedno isto vrednost in predznak.

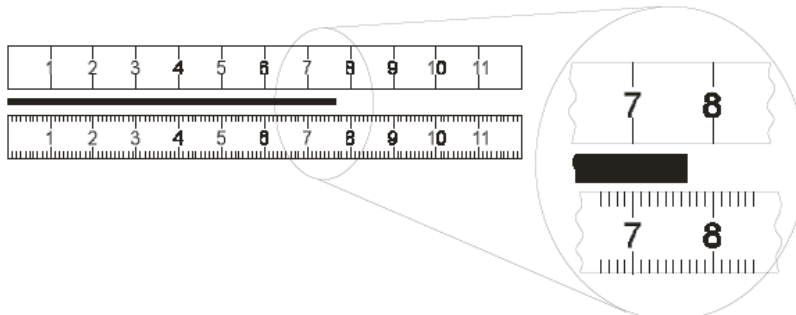
Sem sodijo napake v sestavi merilne naprave, napake etalonov, napake merilca, napake zaradi merilne sile in sile teže, napake zaradi vplivov okolice.

Pri merjenju že sam merilec onemogoča meritev količine poljubno natančno. Kakorkoli že merimo, količino vedno odčitamo s skale z določeno natančnostjo. Natančnost merila je določena z razredom natančnosti. Če pri skali razberemo meritev med dvema oznakama, potem naj bo napaka enaka polovici razdelka na skali, drugače pa najmanjšemu razdelku skale.



Primer na sliki 10: Na skali sta dve merili. Z zgornjim odmerimo črto $7,5 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$, s spodnjim merilom pa $7,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$, čeprav nas mogoče mika zapisati $7,65 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$. Tudi če bi skalo odčitali pod mikroskopom, ne bi zmanjšali napake, saj merilu nikoli ne moremo popolnoma zaupati.

Poznavanje vzrokov, krajev nastankov in učinkov sistematičnih napak pri merjenju je pogoj za njihovo ocenitev in odstranjevanje pri konstrukciji in gradnji merilnih naprav kot tudi za korekturo pri izračunu merilnih rezultatov.



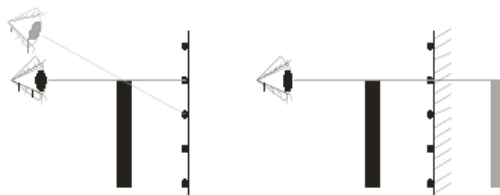
Slika 10: Primer sistematične napake

Vir: Mohorič, 2004, 31

Naključne napake so posledica negotovosti in nedoločljivih merilnih pogojev. Viri naključnih napak so raznovrstni. Vsi spremenljivi zunanji vplivi, kot so temperatura, preprih, tresenje tal, hrup, spreminjanje napetosti in notranjih uporov zaradi sprememb temperature, trenje v ležajih, slabi električni stiki ..., pripomorejo k večji napaki. Zamik pri začetku ali koncu merjenja, ali če merilni trak ni vedno enako napet, predstavljajo raztros rezultatov pri istih merilnih pogojih.

Kadar je pri ponavljanju meritev rezultat, vsakič v okviru napake merila, enak, ponavljanje meritev nima smisla in rezultat napišemo, tako kot že znamo. Kadar pa je rezultat meritev vsakič drugačen, je to posledica naključne napake. Izkaže se, da so rezultati meritve porazdeljeni okoli vrednosti, ki jo definiramo kot povprečno vrednost.

Pri nenatančnem odčitavanju analognih meril je pogost vir napake paralaksa. Kadar je kazalec ali stolpec, ki nakazuje vrednost merjene količine, odmaknjen od skale, lahko s pogledom odčitamo napačno vrednost, tako kot prikazuje sivo oko na spodnji sliki levo. Skale so vedno usmerjene tako, da se odčitajo pod pravim kotom. Pri tem si pomagamo z zrcalom za skalo. Pravilno odčitamo tako, da se kazalec ali stolpec pokrije z zrcalno sliko. Tedaj gledamo na skalo pod pravim kotom, kot to prikazuje slika 11.



Slika 11: Primer naključne napake

Vir: Mohorič, 2004, 32

2.3 ABSOLUTNA IN RELATIVNA NAPAKA

Rezultat predstavlja merjeno količino samo do določene mere. To negotovost imenujemo napaka meritve. Napaka je pomemben del rezultata, saj lahko kakšna zakonitost ostane skrita pri nenatančni meritvi.

Primer 1: Če merimo upornost upora pri različnih temperaturah in dobimo rezultat $102,13 \Omega$ pri 295 K in $102,18 \Omega$ pri 305 K , ni nujno, da iz teh meritev lahko sklepamo, ali je upor odvisen od temperature ali ne. Šele ko poznamo napako navedenih izmerkov, jim lahko zaupamo dovolj, da iz njih izpeljemo morebitno linearno odvisnost upora od temperature.

Napake praktično nikoli ne moremo natančno določiti, ampak lahko samo ocenimo njeno zgornjo mejo. Če merimo količino x in je njena prava vrednost X , je največ, kar lahko o tej vrednosti povemo, nek približek \bar{x} , ki pa je tem boljši, čim manjša je napaka. Z napako Δx potem rezultat meritve zapišemo kot:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$



Z znakom \pm poudarimo, da pravega rezultata ne poznamo in da v resnici samo podamo območje, v katerem pravi rezultat leži, z določeno visoko verjetnostjo. Tako predstavljen rezultat je zapisan z **absolutno napako**. Absolutna napaka ima enako enoto kot količina, ki jo merimo. Absolutna napaka je pozitivno definirana. Meritev neke količine je tem bolj natančna, čim manjša je napaka.

Primer 2: Upor $R = 102,17 \Omega \pm 0,02 \Omega$ je izmerjen bolj natančno kot upor $R = 102,17 \Omega \pm 0,09 \Omega$.

Čeprav brez dvoma obstaja neka prava vrednost X merjene fizikalne količine, te vrednosti nikakor ne moremo določiti, saj jo moramo ugotoviti z merilnim poskusom (meritvijo), sam rezultat meritve pa vedno vsebuje napako. Največ, kar lahko ugotovimo, je to, da ugotovimo območje – interval, za katerega lahko rečemo: obstaja velika verjetnost, da prava vrednost merjene količine leži v tem območju.

Sam podatek o merilni napaki ne da dovolj informacij o merilnem postopku. Kaj, na primer, pomeni podatek, da merilna napaka znaša $\Delta x = 0,1 \text{ mm}$? Kolikšna je bila pri tem dolžina merjene količine: dva kilometra, pol metra? Če navedemo, da je srednja vrednost znašala $125,1 \text{ mm}$, potem nam primerjava podatkov $0,1 \text{ mm}$ in $125,1 \text{ mm}$ daje dobro informacijo o tem merilnem eksperimentu. Obe omenjeni vrsti podatkov združuje posebna vrednost, imenovana **relativna napaka**.

Absolutna napaka torej ni nujno pravo merilo točnosti meritev. Meritev količine z veliko vrednostjo in veliko absolutno napako je lahko bolj natančna kot meritev manjše količine z manjšo absolutno napako. Prava primerjava je mogoča tako, da podamo relativno napako meritve:

$$\Delta r = \left| \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right| \text{ in rezultat zapišemo kot:}$$



$$x = \bar{x} \cdot (1 \pm \Delta r)$$

Relativna napaka je absolutna vrednost kvocienta absolutne napake in približka \bar{x} . Na ta način je relativna napaka pozitivna, tudi če je približek negativen. Relativna napaka je brez enote in jo lahko podamo tudi v odstotkih $1 \% = 0,01$.



Primer 3: V našem primeru meritve dolžine palice je relativna napaka enaka

$$\Delta r = \frac{0,1}{125,1} = 0,0008 = 8 \cdot 10^{-4}$$

Včasih relativno napako izražamo v odstotkih (%). Ker je % samo druga oblika zapisa stotinke.

$$\text{Odstotek} = \% = \frac{1}{100} = 0,01$$

Račun za naš primer v odstotkih zapišemo kot:

$$\Delta r = 8 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-2} \% = 0,08 \%$$

Primer 4: Če izmerimo dolžino lista A4 na en milimeter natančno, smo enako natančni, kot če izmerimo višino Triglava na 10 m natančno.

Dokaz:

$$l_{A4} = 29,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$$

Z upoštevanjem relativne napake dobimo: $l_{A4} = 29,7 \cdot (1 \pm 0,003) \text{ cm}$;

Po analogiji z upoštevanjem enake relativne napake velja: $h_{\text{Triglav}} = 2860 \cdot (1 \pm 0,003) \text{ m}$

Pretvorjeno v zapis z absolutno napako velja: $h_{\text{Triglav}} = 2860 \pm 10 \text{ m}$.

Primer 5: Izračunaj prostornino kocke, če izmerimo stranico $a = 5 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$! Kolikšni sta relativna in absolutna napaka prostornine?

Rešitev:

Stranica kocke, zapisana z absolutno in relativno napako:

$$a = 5 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm} = 5 \text{ cm} \cdot (1 \pm 1/50) = 5 \text{ cm} \cdot (1 \pm 0,02)$$

$$\text{Prostornina kocke: } V = a^3 = 125 \text{ cm}^3$$

$$\text{Relativna napaka: } V = a^3 = 125 \text{ cm}^3 \cdot (1 \pm 0,02 \cdot 3) = 125 \text{ cm}^3 \cdot (1 \pm 0,06)$$

$$\text{Absolutna napaka: } V = a^3 = 125 \text{ cm}^3 \cdot (1 \pm 0,06) = 125 \text{ cm}^3 \pm 7,5 \text{ cm}^3$$

Lahko bi pisali tudi na dolgo:

$$V = a^3 = (5 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm})^3 = [5 \text{ cm} \cdot (1 \pm 0,02)]^3$$

$$V = 125 \text{ cm}^3 \cdot (1 \pm 0,02 \cdot 3) = 125 \text{ cm}^3 \cdot (1 \pm 0,06)$$

Primer 6: Izračunaj ploščino kroga, če namerimo radij $r = 12 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$! Kolikšni sta relativna in absolutna napaka ploščine?

Rešitev

Ker je ploščina kroga $p = \pi \cdot r^2$, bomo morali sešteti relativni napaki radija (2 x relativna napaka radija), zato najprej poiščemo le-to:

$$r = 12 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm} = 12 \text{ cm} (1 \pm (1/120)) = 12 \text{ cm} \cdot (1 \pm 0,008)$$

$$\text{Ploščina: } p = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 12^2 \text{ cm}^2 \cdot (1 \pm 0,008 \cdot 2) = 452 \text{ cm}^2 \cdot (1 \pm 0,016)$$

Pa imamo zapis z relativno napako.

Poiščemo še absolutno napako:

$$p = 452 \text{ cm}^2 \cdot (1 \pm 0,016) = 452 \text{ cm}^2 \pm 7 \text{ cm}^2$$

Za konec še pravilno zaokrožimo:

$$p = 450 \text{ cm}^2 \cdot (1 \pm 0,02) = 450 \text{ cm}^2 \pm 7 \text{ cm}^2$$

Primer 7: Na koliko mest zapišemo rezultat 3,14659 m, če je relativna napaka meritve 0,03?

Rešitev:

Iz relativne napake izračunamo absolutno:

$$0,03 \cdot 3,14659 \text{ m} = 0,0943977 \text{ m},$$

ki jo zaokrožimo na eno mesto: 0,09 m.

Iz absolutne napake vidimo, da v rezultatu lahko napišemo tri mesta s tem, da zadnje mesto ustrezno obkrožimo:

$$3,15 \cdot (1 \pm 0,03) \text{ m}.$$



Vaje iz absolutne in relativne napake

- Kakšna je absolutna in relativna napaka pri aproksimaciji števila π z naslednjimi vrednostmi?
 - (a) 3
 - (b) 3.14
 - (c) 22/7
- Izračunaj ploščino kvadrata, če izmerimo stranico $a = 5 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$! Kolikšna sta relativna in absolutna napaka ploščine?
- Izračunaj ploščino enakostraničnega trikotnika, če izmerimo stranico $a = 5 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$! Kolikšni sta relativna in absolutna napaka ploščine?
- Bazen je dolg 20,0 m, širok 12,0 m in globok 2,5 m. (Pri reševanju naloge je potrebno upoštevati dogovor o zapisovanju količin in o merskih napakah pri zapisu!) Gostota vode je 1000 kg/m^3 !
 - a) Koliko vode moramo natočiti v bazen, da ga do vrha napolnimo?
 - b) Kolikšna je relativna napaka pri izračunu volumna vode?
 - c) Kolikšna je relativna napaka na izračunu mase vode?
- Okrogla kapljica olja ima premer $0,5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$. Kolikšna je absolutna napaka pri izračunu prostornine? Obkroži!
 - a) $4 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^3$
 - b) $0,02 \text{ mm}^3$
 - c) 6 %
 - d) 2 %
 - e) 0,07 mm

Študijski primer 1

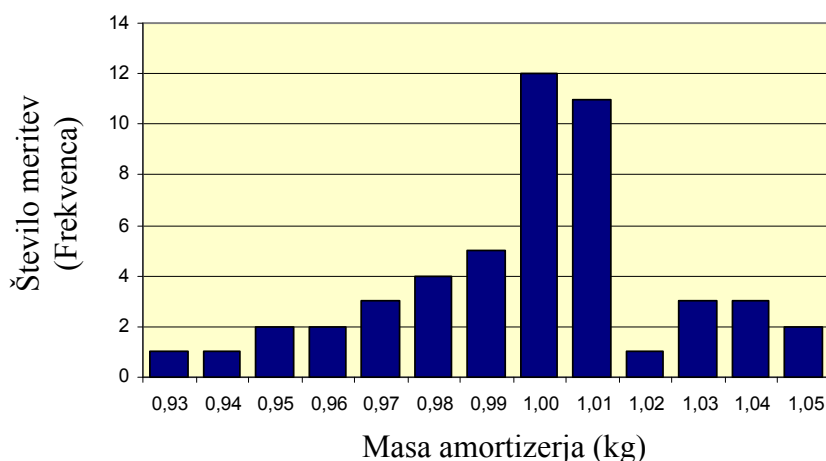
V podjetju izvajajo meritve mase amortizerja motornega dvokolesa. Natančnost tehtnice je deset gramov. Pri meritvi dobimo $m_1 = 1,04 \text{ kg}$, $m_2 = 1,01 \text{ kg}$, $m_3 = 0,97 \text{ kg}$... Vrednosti so zapisane na toliko mest, kolikor nam omogoča natančnost tehtnice. Vrednosti se spreminjajo zaradi slučajne napake. Zapis z vrsto vrednosti je nepregleden, zato sestavimo tabelo 3 naših meritev:

Tabela 3: Vrednosti posameznih meritev mase amortizerja

m [kg]	1,04	1,00	1,00	1,05	1,00
1,00	0,95	1,02	1,01	0,94	0,96
1,04	1,00	1,00	1,01	0,99	0,99
1,05	0,95	0,98	0,99	1,01	1,01
1,01	1,03	0,98	1,00	0,93	1,03
0,99	0,97	0,97	1,00	0,98	1,01
0,99	1,00	0,97	1,04	1,01	1,03
0,96	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01
0,98	1,01	1,01			

Vir: Prirejeno po: Mohorič, 2004, 33

V našem primeru je teh meritev veliko. Za lažjo obravnavo rezultatov lahko množico izmerkov prikažemo v histogramu. Histogram naredimo tako, da poiščemo največji in najmanjši izmerek in interval med tema vrednostma razdelimo na primerno število manjših intervalov. Nobenega smisla nima, da je interval manjši, kot je najmanjše mesto, ki ga v rezultatu še pišemo (0,01 kg). Zavedati se moramo tudi, kam spadajo meje intervala. Recimo, da spodnja meja spada k intervalu, zgornja pa k naslednjemu. Nato preštejemo, koliko meritev pade v vsak interval. V koordinatnem sistemu na absciso, vodoravno os, nanesimo merjeno število izmerkov. Število izmerkov, ki padejo v vsak interval, predstavimo s stolpcem ali piko. Histogram ni krivulja. Histogram za zgornjo tabelo podatkov prikazuje slika 12.



Slika 12: Histogram izmerjenih vrednosti

Pri tem smo interval od 0,93 kg do 1,05 kg razdelili na trinajst podintervalov. Iz histograma lahko razberemo, da je največ izmerkov, in sicer 12, doseglo vrednost 1,00 kg. Število izmerkov pada z večjim odstopanjem izmerjene vrednosti.

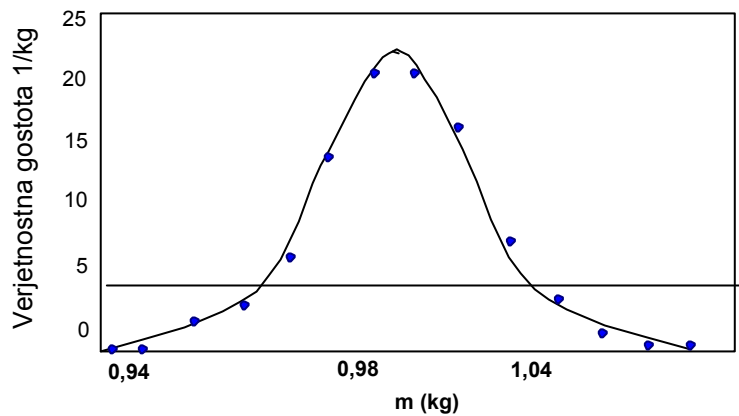
Porazdelitev meritev. Pri majhnem številu meritev je histogram neenakomeren in razmetan. Oblika histograma se spreminja, ko povečujemo število meritev, vendar vedno manj, dokler te spremembe ne postanejo zanemarljivo majhne. Seveda so takrat vrednosti na ordinati vedno večje, a oblika ostaja nespremenjena. Če za nameček število izmerkov v nekem intervalu delimo s številom vseh meritev, se niti ta vrednost ne bo več spreminjala. Očitno je tudi, da je v tem primeru tudi vsota vseh stolpcov enaka 1. Na ta način dobimo verjetnost, da poljubna meritev pade v dani interval. Če interval označimo z i , potem to zapišemo $P_i = N_i/N$. V sledečem bo zamolčana teorija o porazdelitvah, ki si jo zainteresirani lahko prebere v matematičnih skriptah. Namesto P_i zapišemo $dP(X)$, kjer x sedaj ustreza zvezni spremenljivki s sredine intervala i (v našem primeru fizikalni količini m). Ta formalizem je precej očiten za primere zveznih spremenljivk, za diskretne spremenljivke, kot je meritev števila pik pri metanju igralne kocke, pa si moramo pomagati z distribucijami. Verjetnost je sorazmerna s širino intervala in tako lahko definiramo verjetnostno gostoto (porazdelitev) $w(x)$:

$$dP(X) = w(x)dx$$

Malo nerodno bi bilo zapisati $w(x) = dP/dx$, ker verjetnostna gostota ni nikakršen odvod – to je res samo za zvezne porazdelitve. V primeru zveznih porazdelitev (primer mase) lahko porazdelitev $w(x)$ prikažemo s krivuljo v grafu, pri diskretnih porazdelitvah (število pik pri padcu igralne kocke) pa z mastno navpično črto, katere višina ustreza verjetnosti (Mohorič, 2004, 35). Verjetnost, da meritev pade v nek interval, dobimo tako, da integriramo verjetnostno gostoto preko tega intervala:

$$P = \int w(x)dx$$

V primeru merjenja mase amortizerja tako lahko z veliko merjenja dobimo verjetnostno porazdelitev, kot je prikazana na sliki 13.



Slika 13: Verjetnostna porazdelitev meritev v obliki Gaussove krivulje
Vir: Prirejeno po: Mohorič, 2004, 35

Če je krivulja, ki jo dobimo, ozka in visoka, potem je meritev bolj natančna, kot če je krivulja nižja in širša.

Ob pogledu na histogram ali porazdelitev se lahko vprašamo, katera vrednost je najzanesljivejša ocena merjene količine, koliko lahko rezultatu zaupamo in kako izboljšati natančnost najboljše ocene. Kvantitativno lahko najzanesljivejšo oceno postavimo nekam na sredo porazdelitve, širina porazdelitve pa nam pove kaj o napaki. Več meritev ko naredimo, lažje določimo najboljšo vrednost.

V našem primeru je porazdelitev normalna ali Gaussova. Obstajajo tudi druge. V določenih primerih lahko dobimo enakomerne, eksponentne, trikotne ali pa diskretne porazdelitve. Pri merjenju fizikalne količine, ki se iz meritve v meritev spreminja zaradi naključnih odmikov, ki so v enaki meri pozitivni kot negativni, je normalna porazdelitev najpogostejša.

Najboljšo oceno merjene količine dobimo iz tabel meritev tako, da izračunamo povprečno vrednost:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \text{ kjer je } N \text{ število meritev.}$$



Enako bi mogoče mislili, da lahko napako ocenimo iz povprečne vrednosti odmikov $\delta_i = x_i - \bar{x}$, vendar iz definicije povprečne vrednosti sledi, da je ta enaka 0. Možna ocena velikosti napake je povprečna vrednost velikosti odmikov:

$$|\bar{\delta}| = \frac{\sum_{i=1}^N |\delta_i|}{N},$$

ki je večja od 0.

Običajno pa za oceno vrednosti napake vzamemo povprečni kvadratni odmik ali varianco:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - \bar{x}^2$$



Kvadratni koren variance σ imenujemo standardna deviacija ali standardni odmik (<http://www.visoka-sola.com/pripone/Stud-S>, 20.03.2009).

Študijski primer 2

Določi merilni rezultat na podlagi meritev, ki so zapisane v tabeli 4. Da bi dobili bolj zanesljive rezultate, določimo srednjo kvadratno napako posameznih meritev:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$



Tabela 4: Meritve

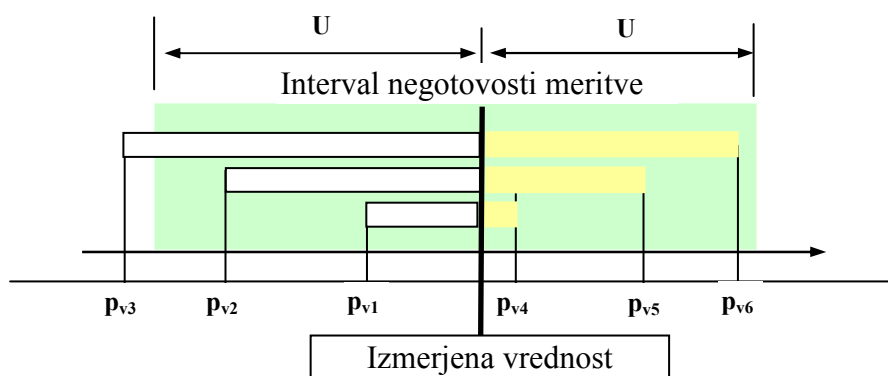
N	x_i	$\delta_i = x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	5,48	-0,016	0,000256
2	5,52	0,024	0,000576
3	5,50	0,004	0,000016
4	5,48	-0,016	0,000256
5	5,50	0,004	0,000016
Vsota	27,48	0	0,001120
\bar{x}	5,496		

Rezultat: $(5,496 \pm 0,007)$ mm

2.4 MERILNA NEGOTOVOST

Negotovost meritve je parameter, pridružen merilnemu rezultatu, ki opisuje raztros vrednosti, ki bi jih lahko smiselno pripisali merjeni veličini. Omenjeni parameter je lahko npr. standardni odmik ali pa polovična širina intervala z določenim nivojem zaupanja. Negotovost meritve združuje v splošnem veliko komponent. Nekatere od teh komponent lahko ovrednotimo s pomočjo statističnih porazdelitev rezultatov serij meritev – opisuje jih eksperimentalni standardni odmik.

V poenostavljeni obliki lahko negotovost označimo kot interval okrog izmerjene vrednosti, v katerem z neko verjetnostjo izjave (običajno 95 %) leži prava vrednost merjene veličine, ki je ne poznamo. Standardno negotovost "U" lahko ocenimo s pomočjo statističnega izračuna na osnovi večjega števila meritev ali pa s pomočjo izkušenj, vrednosti iz kalibracijskih certifikatov itd. Ob merilnem rezultatu se vedno poda razširjena negotovost, ki je standardna negotovost, pomnožena s faktorjem k , ki je običajno 2 za verjetnost pravilnosti izjave 95 %.



Slika 14: Negotovost meritve (p_{v1} do p_{v6} so možne prave vrednosti izmerjene veličine)

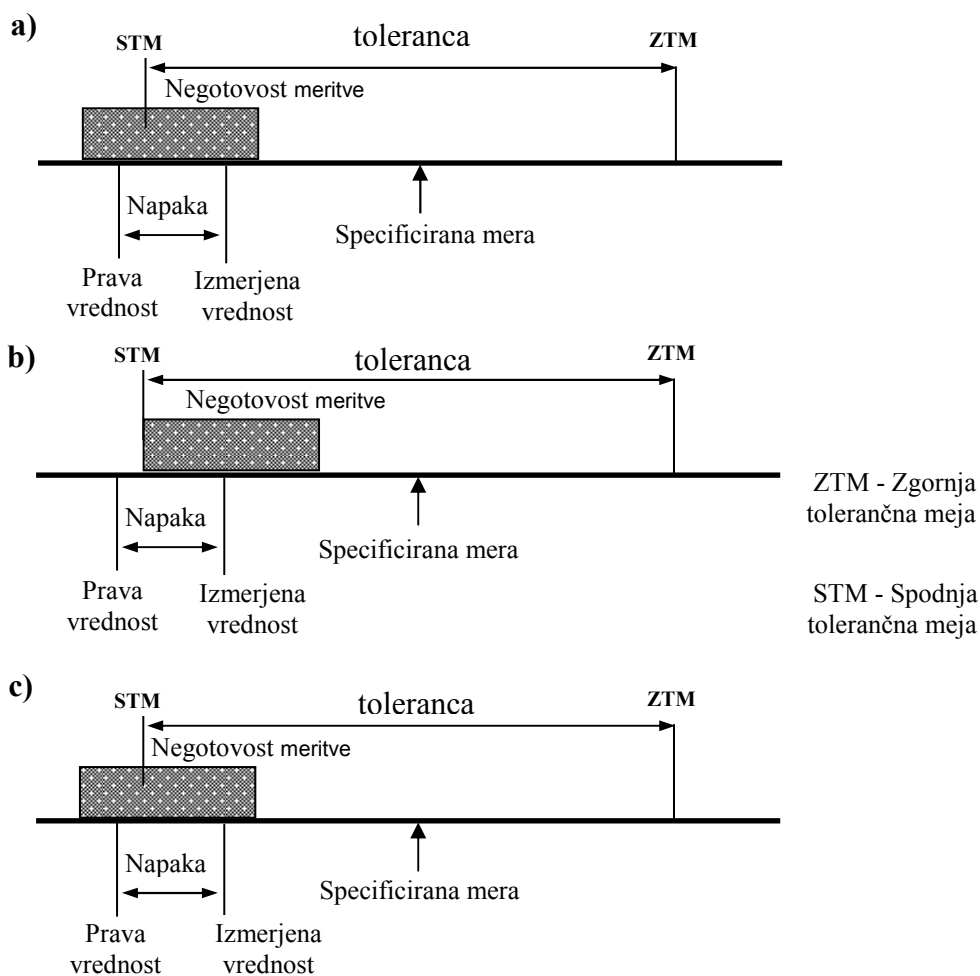
Vir: Prirejeno po: Uršič, 2002, 21

V preteklosti je bila zahtevana proizvodna negotovost meritve podana z razmerjem proti izdelavni toleranci mere, ki smo jo merili. Pravilo pri izdelavi kalibrov je zahtevalo razmerje 1 : 10 (danes pogosto uporabljamo razmerje 1 : 5, 1 : 4, ali celo 1 : 3), kar pomeni, da je morala biti negotovost meritve vsaj desetkrat manjša od tolerance mere. Še pred kratkim so uporabljali za ocenjevanje merilne negotovosti različne metode, kot je aritmetično seštevanje napak, koren iz vsote kvadratov napak, uporaba parcialnih odvodov, analiza porazdelitev ali kombinacija omenjenih metod. Merilno negotovost pri metodi razmerij pri merjenju s kalibri so uporabljali kot omejitvev odstopanja od prave vrednosti.

Primer 1: Element z dimenzijo $(100 \pm 0,2)$ mm moramo izmeriti z merilnim instrumentom z negotovostjo meritve $\pm 0,05$ mm. Če je bilo razmerje izpolnjeno, ni bilo več potrebno podajati merilne negotovosti ob merilnem rezultatu, ki so ga smatrali za pravo vrednost. Funkcionalnost izdelkov so zato določali na osnovi izmerjene vrednosti.

Pomanjkljivosti te metode prikazuje slika 15, na kateri je primer uporabe pravila 4 : 1. Za element na sliki 15a so smatrali, da je slab (izven predpisanih toleranc), čeprav je v resnici dober (znotraj predpisanih toleranc). V tem primeru je bil dober izdelek zavrnjen. Merilna napaka, ki je definirana kot razlika med izmerjeno vrednostjo in pravo vrednostjo, je v primeru na sliki 15a majhna, čeprav je negotovost meritve sorazmerno velika. Ker pa prave vrednosti nikoli ne poznamo, je tudi napaka meritve nepoznana. Slika 15b prikazuje podoben primer, v katerem pa prevzamemo slab element (izven toleranc), ker določamo njegovo

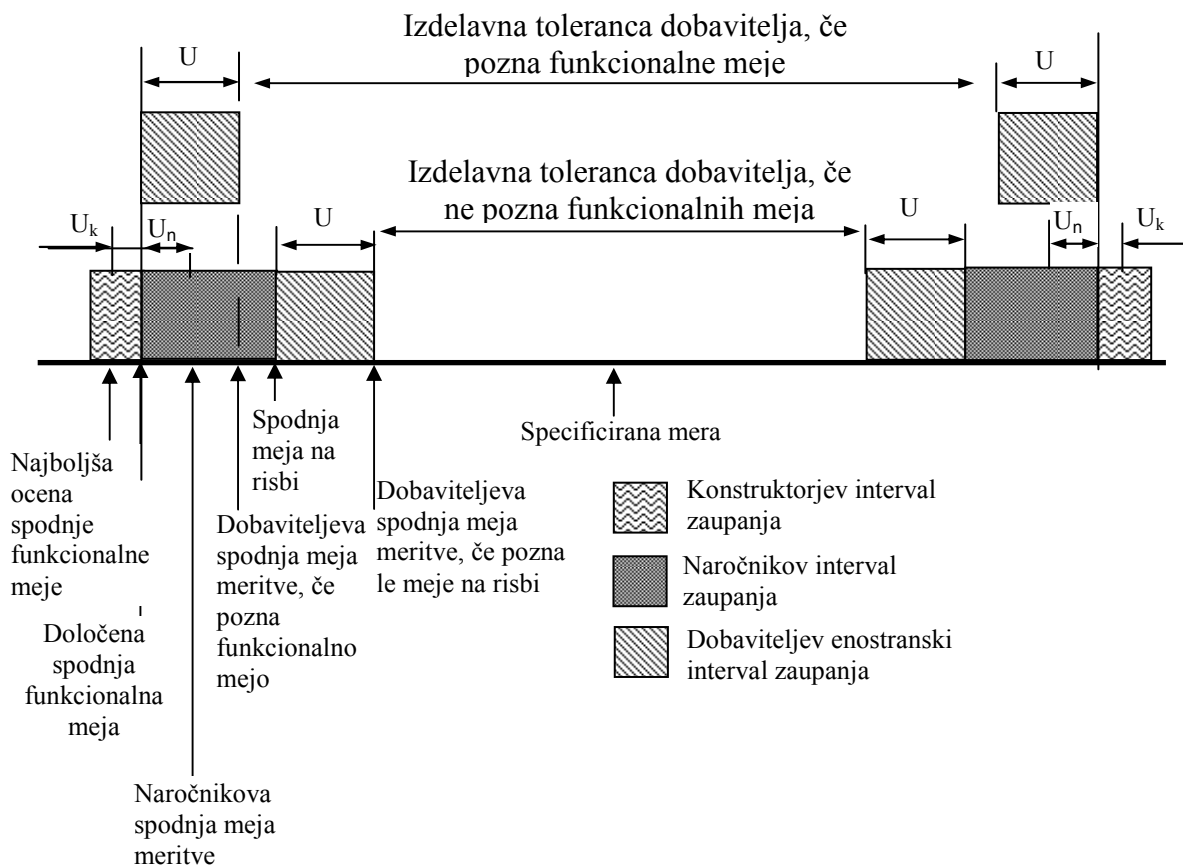
funkcionalnost na osnovi izmerjene vrednosti. Na sliki 15c leži prava vrednost zunaj meja merilne negotovosti, prevzamemo pa slab element. To se zgodi zato, ker metoda razmerij pri merjenju s kalibri ne upošteva oz. definira nivoja zaupanja. Pri tej metodi je lahko nivo zaupanja včasih zelo nizek (tudi do 90 %, kar pomeni, da leži prava vrednost pri enem od desetih merilnih rezultatov zunaj meja merilne negotovosti). Poleg naštetih pomanjkljivosti obstaja pri metodi razmerij nevarnost, da bo pri merilnem rezultatu, ki leži blizu tolerančne meje, ponovljena meritev privedla do drugačnega zaključka glede funkcionalnosti elementa – element, ki smo ga sprejeli kot dobrega v prvi meritvi, bomo pri ponovljeni meritvi zavrnili. Vse našete pomanjkljivosti pri določanju dovoljene vrednosti merilne negotovosti s pomočjo razmerja med negotovostjo in izdelavno toleranco merjenega elementa so vodile k predlogu, da se meje merilne negotovosti določijo že v fazi določanja meja funkcionalnosti oz. toleranc funkcijskega elementa. Tej metodi pravijo včasih tudi določanje "varnostnih meja", ki ščitijo pred neustrezno negotovostjo meritve.



Slika 15: Primeri uporabe metode razmerij za določanje negotovosti meritve; a) dober izdelek je zavrnjen zaradi negotovosti meritve, b) slab izdelek je prevzet zaradi negotovosti meritve, c) slab izdelek je prevzet zaradi nizkega nivoja zaupanja pri določanju negotovosti meritve

Vir: Prirejeno po: Uršič, 2002, 23

S pomočjo slike 16 lahko razložimo povezavo med merilnimi negotovostmi, določitvijo funkcionalnih toleranc, naročnikovimi merilnimi oz. kontrolnimi zmožnostmi in dobaviteljevimi merilnimi (kontrolnimi) zmožnostmi.



Slika 16: Položaj toleranc merjene veličine, ki ilustrira vpliv negotovosti na specifikacijo funkcionalnosti, naročnikovo sposobnost kontrole (meritve) in dobaviteljevo sposobnost kontrole (merjenja) elementu

Vir: Prirejeno po: Uršič, 2002, 24

Pri določanju funkcionalnih meja elementa oceni konstruktor največje dovoljene odstopke od idealne mere, pri katerih bo element še vedno imel predpisane funkcijske sposobnosti. Ta proces lahko vključuje dejanske meritve sestavnih delov prototipa, pri katerih sta izredno pomembni ponovljivost in obnovljivost (tip A ovrednotenja negotovosti) in teoretične preračune z negotovostjo, ki je odvisna od spremenljivk v enačbah (tip B ovrednotenja negotovosti). Konstruktor mora določiti skupno funkcionalno negotovost, ki enakovredno vključuje vse komponente (ovrednotene po tipu A in B) negotovosti, in razširjeno negotovost v odvisnosti od funkcionalnih meja in nivoja zaupanja, ki ustreza funkcionalnemu elementu. Ta razširjena negotovost je označena na sliki 16 z U_k . Če hočemo zagotoviti funkcionalnost elementa pri določenem nivoju zaupanja, moramo primakniti konstruktorjeve (funkcionalne) tolerančne meje za razdaljo U_k k idealni specificirani meri. Konstruktorjeva (funkcionalna) razširjena negotovost U_k se lahko razlikuje od naročnikove negotovosti U_n , ker lahko konstruktor uporablja preračune ali instrumente, ki jih naročnik oz. uporabnik nima na razpolago (Uršič, 2002, 25).

Če se hoče naročnik izogniti prevzemu slabih elementov in biti hkrati sposoben dokazati, da so vsi zavrjeni elementi izven toleranc, mora definirati tolerančne meje na risbi tako, da so za celoten interval merilne negotovosti ($2 \cdot U_n$) bližje specificirani meri kot pa določene funkcionalne meje (slika 16). Tolerančne meje, označene na risbi, sporazumno določita dobavitelj in naročnik v pogodbi (glede na funkcionalnost izdelka). Te meje zato služijo kot osnova za prevzem oz. zavrnitev elementa oz. izdelka. Naročnik določi spodnjo dovoljeno mejo rezultata meritve pri prevzemu na sredini intervala med določeno spodnjo funkcionalno

mejo in mejo, označeno na risbi (predpostavlja simetrični interval negotovosti). Elemente, na katerih je izmerjena mera pod to mejo, zavrne. Iz slike 16 lahko vidimo, da so vsi elementi, ki jih naročnik prevzame, funkcionalni (pri vnaprej določenem intervalu zaupanja). Če je izmerjena mera na spodnji dovoljeni meji, bo prava mera nekje med določeno funkcionalno mejo in mejo, označeno na risbi. Naročnik lahko tudi dokaže, da so vsi elementi, katerih izmerjena mera je pod določeno spodnjo mejo, izven tolerančnih meja, označenih na risbi. Nekateri od zavrženih izdelkov so sicer lahko funkcionalni (mera leži med določeno funkcionalno mejo in mejo na risbi, vendar je s pogodbo določeno, da lahko naročnik zavrne vse elemente, katerih mera je izven tolerančnih meja, označenih na risbi.

Če dobavitelj ne pozna funkcionalnih meja (pozna le tolerančne meje, ki so označene na risbi), mora definirati spodnjo mejo svoje meritve tako, da je za interval negotovosti U_d (razširjena negotovost meritve dobavitelja pri definiranem nivoju zaupanja) bližje specificirani meri kot meja, označena na risbi. Če pa dobavitelj pozna funkcionalne meje, lahko definira meje svoje meritve tako, da so za interval negotovosti U_d bližje specificirani meri kot funkcionalne meje. To pomeni, da lahko v tem primeru razširi tolerančne meje izdelave, kar pomeni manj izmeta in zato cenejšo proizvodnjo oz. izdelek. Ker je cenejši izdelek tudi v naročnikovem interesu, je smiselno, da dobavitelju poda funkcionalne meje.

Pri opisanem sistemu določanja toleranc na osnovi funkcionalnih meja in negotovosti meritev (U_k , U_n in U_d) je bistveno vprašanje določanja nivoja in s tem intervala zaupanja. Najbolj seveda vplivajo na to ekonomski kriteriji. Še posebej pri trikoordinatni tehniki so ekonomske odločitve o intervalu zaupanja izredno zahtevne, saj cena naprav narašča eksponentialno z zmanjšanjem merilne negotovosti. Ob ceni naprave pa moramo upoštevati še stroške in predvsem možnosti kalibracije.

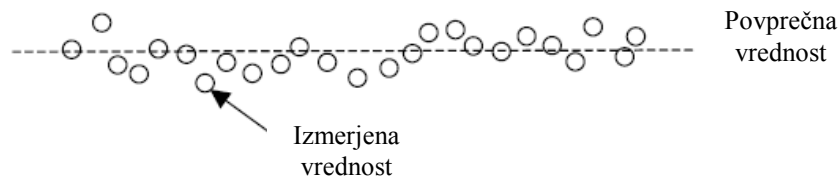
2.4.1 Merilna negotovost in osnove statistike

Za vsak izmerjeni rezultat, v katerega dvomimo, moramo pojasniti dve stvari – kakšno odstopanje od naše izmerjene vrednosti pričakujemo in kako močno dvomimo v to izmerjeno vrednost. Lahko zaključimo, da za določevanje merilne negotovosti potrebujemo dve števili. Prvo število je širina odstopanja od izmerjene vrednosti, drugo število pa pove, kako zelo smo prepričani, da se prava vrednost meritve nahaja znotraj pričakovane širine odstopanja od izmerjene vrednosti.

S kratkim razmišljanjem lahko ugotovimo, da je ponavljanje meritev dobra ideja. Če naredimo samo eno meritev, se hitro lahko zgodi, da ne bomo opazili morebitne napake. Če naredimo dve meritvi in dobimo dva različna rezultata, se težko odločimo, katera meritev je pravilna. Pri treh meritvah, pri katerih imata le dve meritvi enak rezultat, tretja meritev hitro postane sumljiva, da je pri njej prišlo do napake. Lahko zaključimo, da je, da bi se izognili večjim napakam, pametno meritev večkrat ponoviti.

Z uporabo statističnih metod lahko iz niza meritev ugotovimo še dodatne lastnosti našega merjenja. Najbolj pomembna statistična parametra za niz meritev sta aritmetična srednja vrednost (imenovana tudi povprečna vrednost) in standardni odklon, imenovan tudi standardni odmik ali standardna deviacija.

Kadar zaznamo rahlo spreminjanje merilnega rezultata, je najbolje, da za izmerjene rezultate izračunamo povprečno vrednost. Povprečna vrednost je seveda le približek prave vrednosti in jo izračunamo tako, da seštejemo rezultate vseh meritev in seštevek delimo s številom meritev. Primer niza izmerjenih vrednosti in njihovo povprečno vrednost nam shematično prikazuje slika 17.



Slika 17: Niz izmerjenih vrednosti in njihova povprečna vrednost

V splošnem velja, da več meritev pomeni, da bi se njihovo povprečje bolj približalo pravi vrednosti merjenca. Toda zavedati se je treba, da je večje število meritev tudi bolj zamudno in se ne izplača vedno. 20 meritev nam da boljši rezultat kot deset meritev. Povprečje 50 meritev pa je le malenkost bližje pravi vrednosti. Običajno v praksi izvajamo od 4 do 15 meritev. Če je rezultat meritev nestabilen, je zanimivo vedeti, kako široko so izmerjene vrednosti razpršene okoli povprečne vrednosti. Raztros meritev nam da informacijo o negotovosti meritve.

Kadar imamo veliko število izmerjenih vrednosti, je običajni način za kvantitativno oceno raztrosa meritev standardni odklon. Standardni odklon niza meritev nam pove, koliko je povprečje razlik posameznih izmerjenih vrednosti od povprečne vrednosti celotnega niza.

V najbolj preprostem primeru bo okoli dve tretjini izmerjenih vrednosti padlo v interval med povprečno vrednostjo minus standardni odklon in povprečno vrednostjo plus standardni odklon. Približno 95 % vseh meritev bo v intervalu dveh standardnih odklonov od povprečne vrednosti.

Standardni odklon je vrednost, ki jo teoretično dobimo le iz ogromnega števila meritev (neskončno meritev). V praksi lahko izračunamo približek standardnega odklona, ki ga označimo s σ . Standardnega odklona v praksi ne računamo več ročno, ampak uporabljamo matematično in statistično programsko opremo. Poleg uporabe računalnikov lahko že z običajnim statističnim žepnim računalnikom, v katerega vnesemo izmerjene vrednosti, izračunamo približek standardnega odklona s funkcijsko tipko σ .

Matematično lahko izraz za približek standardnega odklona zapišemo kot:

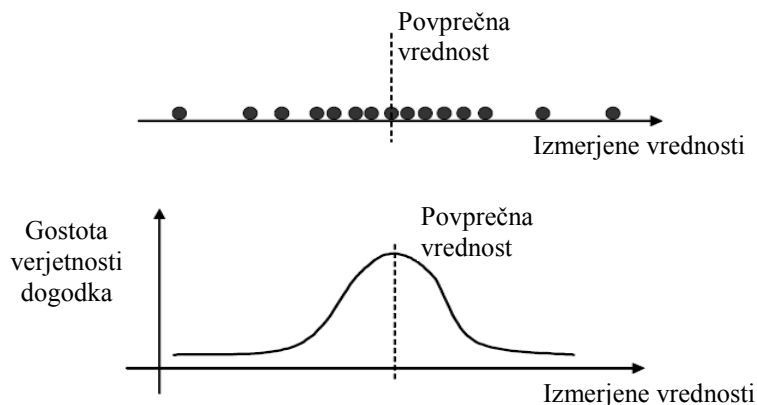
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$



kjer je σ približek standardnega odklona, x_i je i -ta izmerjena vrednost, \bar{x} je aritmetična sredina N meritev. Več meritev naredimo, večji bo niz izmerjenih vrednosti in bolj se bo približek približal standardnemu odklonu. Običajno zadostuje 10 meritev.

2.4.2 Oblike porazdeljenih merjenih veličin

Najbolj pogosto obstaja verjetnost, da ima največje število meritev vrednost okoli povprečne vrednosti. Verjetnost, da je meritev zelo oddaljena od povprečja, pa je manjša. Tako porazdelitev imenujemo normalna ali Gaussova porazdelitev po sliki 18.

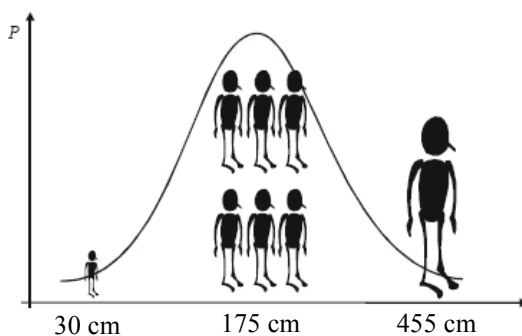


Slika 18: Normalna ali Gaussova porazdelitev

Vir: Prirejeno po: Geršak, 2006, 7



Primer: Pri Gaussovi porazdelitvi so teoretično mogoči tudi nemogoči rezultati. Denimo, da je telesna višina Slovencev porazdeljena na podlagi Gaussove porazdelitve, ki je predstavljena na sliki 19. Povprečna višina je recimo 175 cm. Največ Slovencev je torej visokih okoli 175 cm. Teoretično pa obstajajo tudi Slovenci, manjši od 30 cm in taki, ki so večji od 455 cm. Teoretično zato, ker vrednost Gaussove funkcije nikoli ni enaka 0.



Slika 19: Porazdelitev višine Slovencev

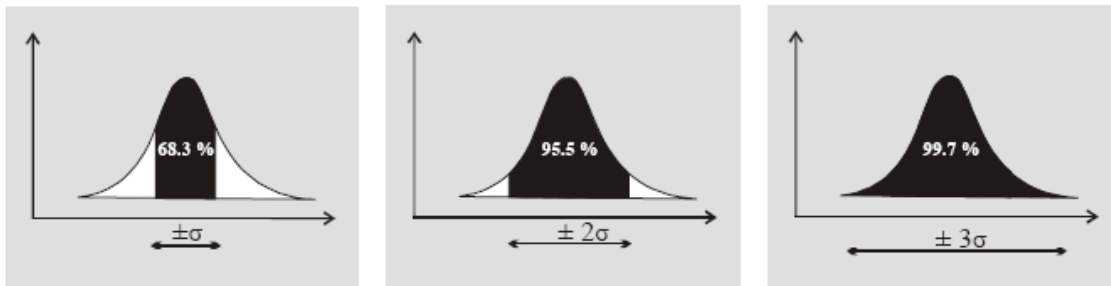
Vir: Prirejeno po: Geršak, 2006, 8

2.4.3 Faktor razširitve k

Faktor razširitve k je konstanta, s katero pomnožimo standardno negotovost u_c , da dobimo razširjeno merilno negotovost $U_{95\%}$.

$$U_{95\%} = k \cdot u_c$$

V splošnem je za standardno negotovost značilno, da predstavlja interval, v katerega pade 68,3 % vseh meritev. Ali drugače povedano – obstaja 68,3 % verjetnost, da bo izvedena meritev v intervalu [povprečna vrednost \pm standardni odklon]. Pravimo, da je raven zaupanja 68,3 %. Če želimo, da je odstotek verjetnosti višji, pomnožimo standardno negotovost z razširitvenim faktorjem. Tako v splošnem velja za normalno porazdelitev, da $k = 1$ predstavlja raven zaupanja 68,3 %, $k = 2$ in $k = 3$ pa raven zaupanja 95,5 % in 99,7 %.



Slika 20: Normalna ali Gaussova porazdelitev
Vir: Prirejeno po: Geršak, 2006, 8

Merilna negotovost se izraža s standardnim odklonom σ . Širina intervala zaupanja enega standardnega odklona pri normalni porazdelitvi ustreza verjetnosti 68,3 % (črno polje), da bo prava vrednost v tem intervalu, širina dveh standardnih odklonov ustreza verjetnosti 95,5 %, treh pa 99,73 % ...

Zapis merilnega rezultata mora vključevati vsaj:

1. izmerjeno vrednost,
2. merilno negotovost z navedbo faktorja razširitve in ravni zaupanja,
3. tekst v obliki: "Razširjena negotovost je določena kot standardna negotovost, pomnožena s faktorjem razširitve $k = 2$, ki pri normalni porazdelitvi ustreza ravni zaupanja približno 95 %."

Primer zapisa merilnega rezultata

Masa = izmerjena vrednost ± merilna negotovost

$$m = (80,52 \pm 0,12) \text{ kg}$$

Razširjena negotovost je bila določena kot standardna negotovost, pomnožena s faktorjem razširitve $k = 2$, ki pri normalni porazdelitvi ustreza ravni zaupanja približno 95 %.



Študijski primer

Podatki v tabeli 5 predstavljajo debelino (mm) 20 kovinskih blokov, ki so del optičnega instrumenta. Ko imamo opravka s tako količino podatkov, je zelo težko določiti porazdelitev samo z opazovanjem števil. Če bomo te podatke narisali na grafu – histogramu, bomo odkrili naravo teh podatkov. S pomočjo histograma določimo oceno, ali je proizvodni proces sprejemljiv ali je potreben kakšen ukrep.

Tabela 5: Meritve metalnih blokov

Podatki x_i (mm)					x_{max}	x_{min}
3,51	3,46	3,48	3,5	3,44	3,51	3,44
3,48	3,51	3,5	3,51	3,39	3,51	3,39
3,41	3,37	3,47	3,49	3,44	3,49	3,37
3,51	3,51	3,44	3,32	3,42	3,51	3,32

Postopek

1. Izračunajmo srednjo vrednost vseh meritev:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots}{N} = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i$$

2. Izračunajmo standardni odklon po formuli:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

3. Zapišimo največjo in najmanjšo vrednost v vsaki skupini, nato pa še največji (x'_{\max}) in najmanjši (x'_{\min}) podatek na celi populaciji meritev (3,52 mm in 3,32 mm).

4. Izračunajmo variacijski razmik vseh podatkov $R = 3,52 - 3,32 = 0,20$. Ta razmik razdelimo na razrede in preštujemo vse podatke, ki pripadajo določenemu razredu.

5. Število razredov določimo s pomočjo tabele – v našem primeru izberemo 5 razredov, $k = 5$. Interval razreda h dobimo tako, da delimo razmik R s številom razredov:

$$h = (x'_{\max} - x'_{\min})/k = (0,20)/5 = 0,04$$

Interval naj bo cel večkratnik natančnosti podatkov (v našem primeru je natančnost 0,01, zato v našem primeru 0,04 – zaradi lažje delitve pa $h = 0,05$).

Če podatki padejo ravno na mejo razreda, je stvar problematična, zato vzamemo za enoto meje polovično natančnosti podatkov, torej 0,005 mm. Meje so lahko:

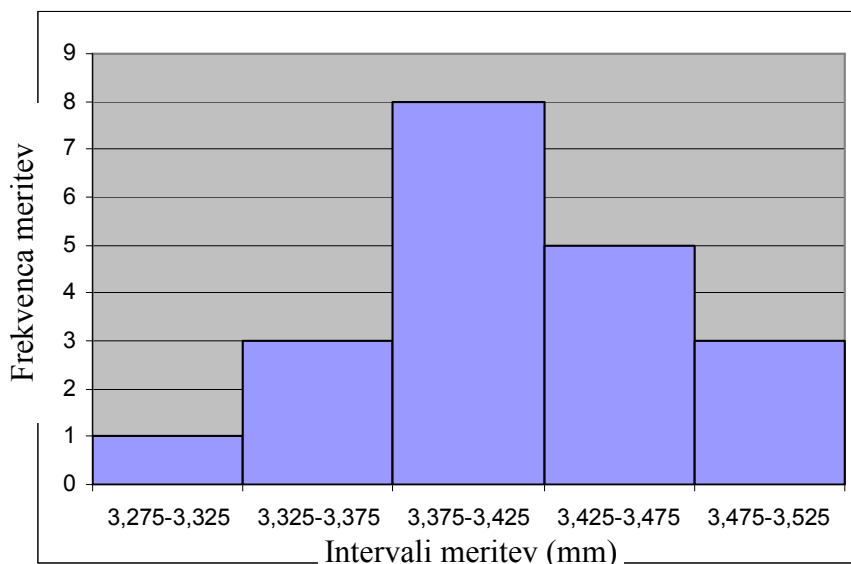
$$\text{Prvi interval } 3,32 - 0,045 = \underline{3,275} \text{ in } 3,275 + 0,05 = \underline{3,325}$$

$$\text{Drugi interval } \underline{3,325} \text{ in } 3,325 + 0,05 = \underline{3,375} \dots$$

V tabeli 6 so predstavljeni rezultati frekvence meritev v posameznem intervalu, na sliki 21 pa je predstavljen histogram meritev.

Tabela 6: Frekvenca meritev v posameznih intervalih histograma

Št. razreda	Meje razreda	Srednja vrednost	Frekvenca
1	3,275-3,325	3,30	1
2	3,325-3,375	3,35	3
3	3,375-3,425	3,40	8
4	3,425-3,475	3,45	5
5	3,475-3,525	3,50	3



Slika 21: Histogram meritev



Vaja: Podjetje KZP, d. d. je dobavitelj varjene komponente – prednji okvir iz aluminija za znanega kupca Harley Davidson. Po operaciji varjenja izvedejo 100 % kontrolo ključne mere s toleranco (520 ± 1) mm. V tabeli 7 so predstavljene meritve v treh časovnih intervalih.

Tabela 7: Meritve v treh časovnih intervalih

Časovni interval	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Meritev 4	Meritev 5
9.00-10.00	520,5	520,1	520,3	519,8	521,8
13.00-14.00	519,8	520,0	520,4	520,9	519,7
19.00-20.00	520,1	518,8	519,6	519,8	521,0

Izdelajte histogram meritev (vzemite število razredov $k = 5$).
Izračunajte srednjo vrednost meritev \bar{x} in standardni odklon σ .
Pojasnite proces in meritve glede na zahteve kupca.



Vprašanja in naloge

- Izračunaj ploščino kroga, če izmerimo polmer $r = 25 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$. Kolikšni sta relativna in absolutna napaka ploščine? Kolikšna je relativna napaka v primeru, če izmerimo polmer z natančnostjo $\pm 2,5 \text{ mm}$?
- Naštej tri vire sistematičnih merilnih napak.
- Ali je rezultat zapisa meritve $V = (3,42 \pm 0,03) \text{ m}^3$ pravilen/nepravilen in zakaj? (Izmerili smo absolutno napako $0,02689 \text{ m}^3$.)
- Andrej je 25 m dolgo njivo izmeril na 1 m natančno. Naredil je 5 % relativno napako. Ali je odgovor pravilen? Potrdi rezultat z računom!
- Pretvori: $0,1 \text{ kg/dm}^3$ v dag/m^3 .
- Potrdi ali zanikaj pravilnost trditve:
 - Sistematične napake so posledica nenatančnosti merilne naprave.
 - Na slučajne napake ni mogoče vplivati.
 - Relativna napaka je produkt absolutne napake in izmerjene vrednosti.
 - 22,8 mm pomeni, da je merjenje izvedeno z natančnostjo 0,01 mm.
 - Andrej je 50 m dolgo njivo izmeril na 1 m natančno. Naredil je 2 % relativno napako.
- Izračunaj ploščino kroga ($p = \pi \cdot r^2$), če izmerimo polmer $r = 19 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$. Kolikšni sta relativna in absolutna napaka ploščine? Zapiši rezultat ploščine z absolutno in relativno napako.
- Kaj je merilna negotovost?
- Na spletnih straneh poišči prispevek o merilni negotovosti. Analiziraj prispevek in preveri ustreznost zapisov merilnega rezultata.

Povzetek:

Izmeriti pomeni izvedeti. Meroslovje kot znanost in praksa merjenja je v ozadju tehniške skladnosti proizvodov in storitev, osnovnega pogoja konkurenčnosti gospodarstva, in v ozadju prizadevanj za kakovost življenja, ki vključuje zdravje, okolje, prehrano, tehniško varnost, varstvo pri delu, zaščito pred kriminalom, infrastrukturo ipd. Naše življenje in prosperiteta temeljita na verodostojnih meritvah.

3 METODE ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI

Za delo po principih celovitega obvladovanja kakovosti podjetje potrebuje uvajanje metod za izboljšanje zagotavljanja kakovosti. Metod je danes že preko 150, zato se bomo v nadaljevanju tretjega poglavja seznanili le z nekaterimi, ki so v našem okolju največ v uporabi, in sicer:

- statistične metode,
- metode za reševanje problemov v skupini,
- metode za preventivno zagotavljanje kakovosti.

3.1 STATISTIČNE METODE

S pomočjo statističnih metod lahko zberemo in uredimo množico podatkov za prikaz realnega stanja. Statistične metode temeljijo na verjetnosti in so v pomoč pri zagotavljanju kakovosti v vseh poslovnih funkcijah podjetja. Ne odpravljajo napak, ampak služijo le za hitrejše in objektivnejše odkrivanje in spoznavanje problemov, vendar jih ni smiselno uvajati v prakso, če ni za njimi sistema za odpravljanje problemov. Metode je namreč potrebno podrediti cilju izboljšav. Za ugotavljanje kakovosti, lažje odkrivanje vzrokov napak, analizo vzrokov in posledic se je v svetu uveljavilo šest osnovnih statističnih metod:

- Pareto diagram,
- diagram vzrokov in posledic,
- statistična distribucija,
- kontrolne karte,
- histogrami,
- diagram raztrosa.

3.1.1 Pareto diagram

Pareto diagram je grafična predstavitev frekvenčne porazdelitve napak ali problemov, ki so urejeni glede na pomembnost njihovega vpliva od največje frekvence do najmanjše frekvence. Pareto diagram poudarja vzroke, ki imajo največji vpliv na stroške. Pareto diagram torej služi za enostavno in pregledno ločevanje med bistvenimi in nebistvenimi vplivnimi veličinami.

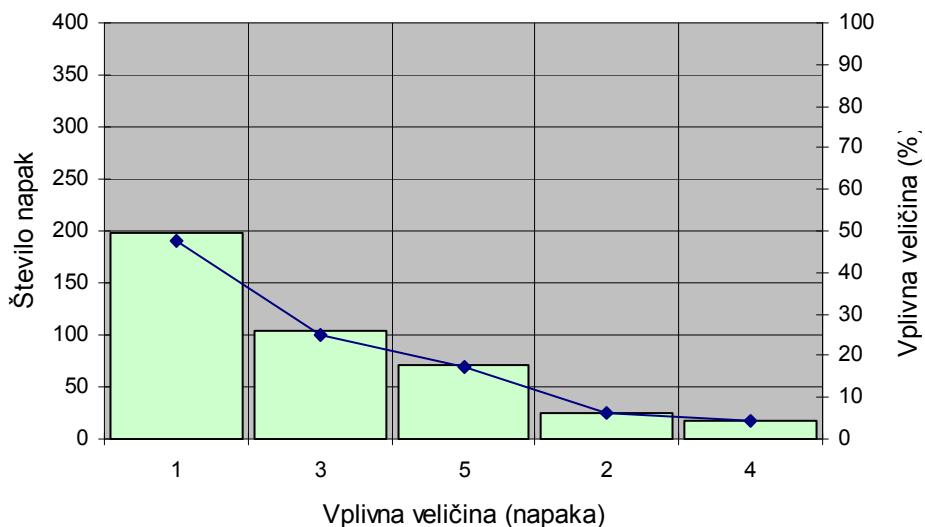
Koraki izvedbe Pareto diagrama

- 1. korak: Ugotovitev predmeta raziskave.
- 2. korak: Ugotovitev časovnega intervala opazovanja.
- 3. korak: Določitev načina ugotovitve podatkov.
- 4. korak: Zbiranje podatkov (ugotovitev, ureditev in sumiranje), predstavljeno v tabeli 8.

Tabela 8: Primer zbiranja podatkov

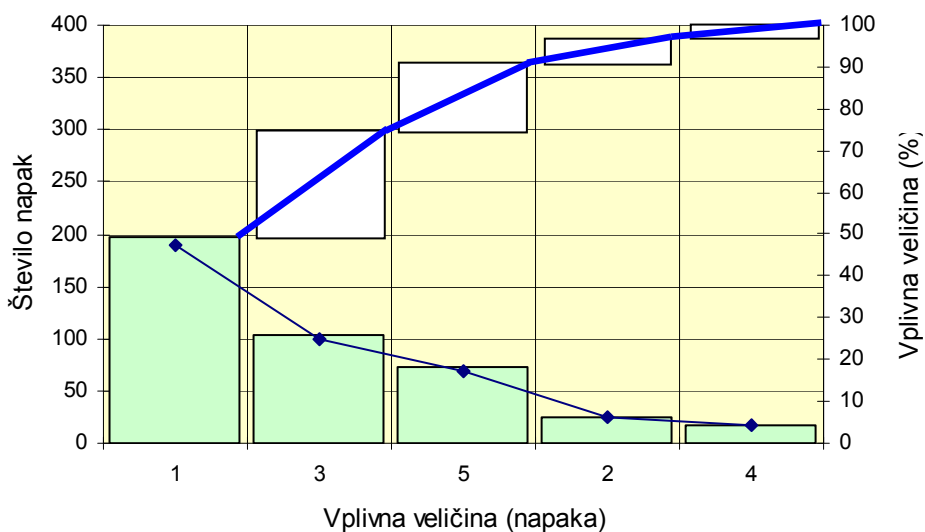
Opazovani časovni interval: 5. 7. do 10. 7. 08		
Opazovano število kosov: 2165		
Napaka	Število napak	Število napak v %
1: netesnost	198	47,6
2: udarci	25	6,0
3: zapiranje	103	24,7
4: vrtljiv obroč	18	4,3
5: stičišče	72	17,4
V S O T A	416	100,0

- 5. korak: Narisati je potrebno individualni Pareto diagram – brez uteži, kot je prikazan na sliki 22. V koordinatni sistem vrišemo stolpiče, ki predstavljajo vplivne veličine (npr. število napak), in to v padajočem zaporedju.



Slika 22: Individualni Pareto diagram

- 6. korak: Narisati je potrebno kumulativni Pareto diagram – brez uteži po sliki 23. Diagram omogoča odčitavanje kumulativnih deležev vplivnih veličin (npr. števila napak).



Slika 23: Kumulativni Pareto diagram

Iz diagrama na sliki 23 vidimo, da napaki "netesnost" in "zapiranje" prispevata kar 72,3 % k skupnemu problemu.

- 7. korak: Ocenitev vplivnih veličin (napak).

Za vsako vplivno veličino je potrebno določiti utež oziroma jo oceniti, kot jo kaže tabela 9.

Tabela 9: Vpliv posameznih napak in utežitev le-teh

Opazovani časovni interval: 5. 7. do 10. 7. 08					
Opazovano število kosov: 2165					
Napaka	Število napak	%	Strošek napake [€/kos]	Celoten strošek [€]	%
1: netesnosti	198	47,6	1,16	229,68	15,14
2: udarcih	25	6,0	1,50	37,50	2,47
3: zapiranj	103	24,7	5,60	576,80	38,03
4: vrtljivem obroču	18	4,3	2,72	77,40	5,10
5: stičišču	72	17,4	8,27	595,44	39,26
V S O T A	416	100,0	--	1.516,82	100,00

Iz tabele 9 vidimo, da napaki "stičišče" in "zapiranje" prispevata kar 78,29 % vseh stroškov napak.

3.1.2 Diagram vzrokov in posledic

V praksi je ta diagram poznan tudi pod imenom "Diagram ribjih koščic", še večkrat pa kot "Ishikawa diagram" (po Japoncu Kaoru Ishikawa, ki je prvi uporabil to tehniko analize podatkov). Diagram vzrok/učinek diagram je v bistvu sredstvo strukturiranja vzrokov nastopanja nekega problema. Diagram izhaja iz konkretno postavljenega problema, kateremu se priredijo potencialni glavni in pomožni vzroki.

Osnovna oblika diagrama vzrok/učinek zajema štiri glavne vzroke, ki imajo lahko vpliv na vsak problem, in to so:

- človek,
- stroj,
- metoda,
- material.

Ob upoštevanju človeka, stroja, metode in materiala se nadalje sistematično ugotavljajo vsi možni vzroki (pod-vzroki in pomožni vzroki), ki vodijo k problemu.

Koraki analize vzrok/posledica

- 1. korak: Ugotovitev problema, katerega posledico moramo ugotoviti (slabo spajkana povezava).
- 2. korak: Ugotovitev glavnih vzrokov problema (stroj, material, metoda, človek).
- 3. korak: Ugotovitev pod-vzrokov in pomožnih vzrokov problema ter risanje popolnega diagrama vzrok/posledica.

Glavni vzroki problema so obdelani po naslednjem vprašalniku (npr. za stroj):

- a) Kaj vpliva na to, da je stroj vzrok "slabo spajkani povezavi"?
 - delovno področje, spajkalo ...
- b) Kateri vzroki napak se lahko pojavijo na spajkalu?
 - spajkalna konica, učinek, držalo ...
- c) Zakaj se pojavi napaka zaradi spajkalne konice?
 - oblika, dolžina, temperatura ...

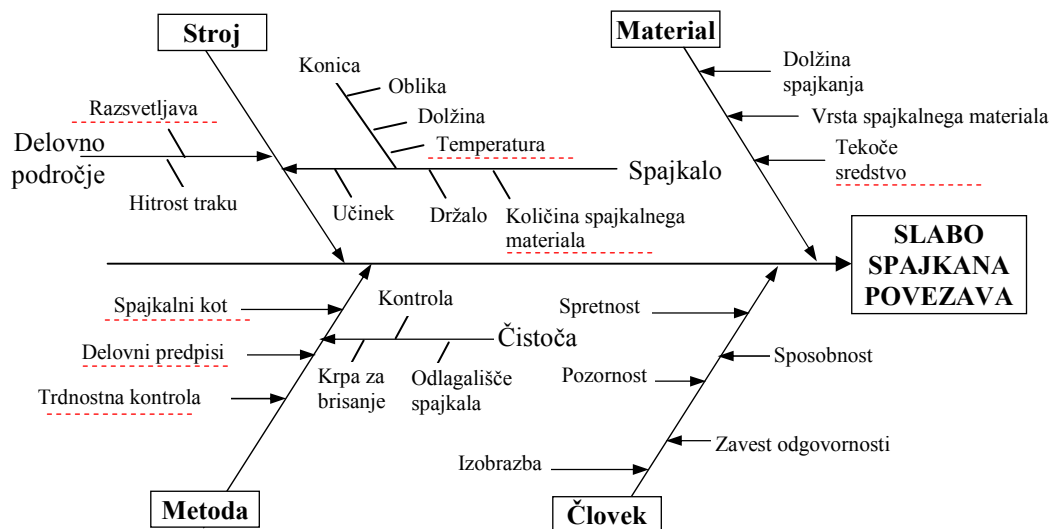
Popolni diagram vzrok/učinek, ki zajema glavne vzroke problema, pod-vzroke in pomožne vzroke, je prikazan na sliki 24.

- 4. korak: Ocena vzrokov.

Glavne vzroke problema, pod-vzroke in pomožne vzroke se s skupinsko diskusijo oceni glede na domnevni prispevek k izvoru problema.

- 5. korak: Ugotovitev in analiza podatkov o vzrokih problema.

Za vse v diagramu vzrok/učinek identificirane vzroke napak se ugotovijo podatki, ki se z dodatnimi analizami ponovno utežijo.



Slika 24: Ishikawa diagram za slabo spajkano povezavo

3.1.3 Statistična distribucija in kontrolne karte

Statistična distribucija je izraz za matematično obdelavo statističnih podatkov, ki sledijo teoretičnim krivuljam (Gaussova krivulja).

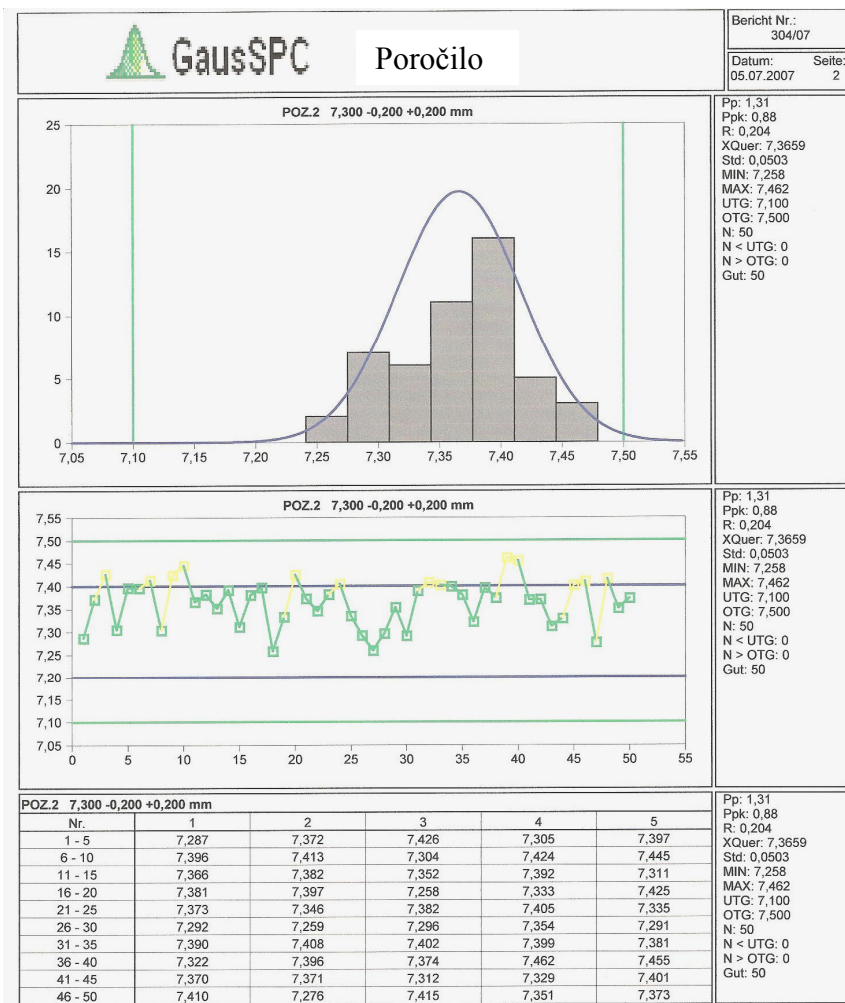
Pri tem lahko izračunamo :

- povprečje izmerjenih vrednosti,
- standardno odstopanje od povprečja izmerjenih vrednosti.

Kontrolne karte so grafični prikaz parametrov procesa v časovnem intervalu. Z njim analiziramo stabilnost in sposobnost proizvodnega procesa. Lahko tudi kontroliramo parametre kakovosti med proizvodnjo v okviru predpisanih tolerančnih meja.

Kontrolna karta je osnovni pripomoček pri ugotavljanju sposobnosti in stabilnosti proizvodnega procesa. Kontrolna karta je v bistvu diagram, kjer nanašamo na absciso zaporedne vzorce, vzete iz proizvodnega procesa, na ordinato pa izmerjene vrednosti zasledovane karakteristike kakovosti. Odvisno od tega, ali zasledujemo numerične ali atributivne vrednosti, ločimo več vrst kontrolnih kart (povprečja, odstopanja, dviganje in padanje kakovosti itd.).

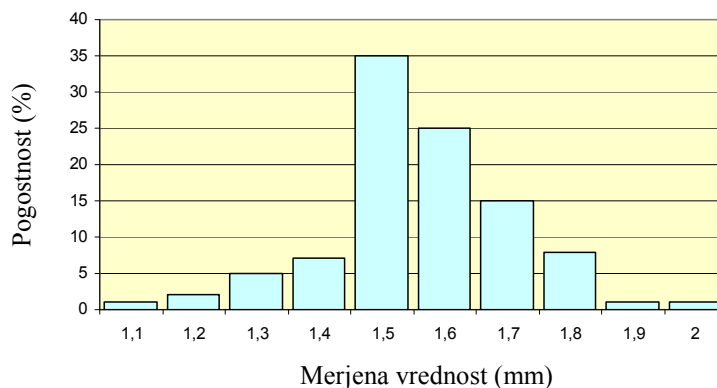
Pri snemanju sposobnosti in stabilnosti proizvodnega procesa v enakomernih časovnih intervalih jemljemo direktno iz procesa vzorec več izdelkov (3–10), na katerih opredelimo kakovost. Rezultate vsake meritve zabeležimo na poseben snemalni list. Primer izdelave kontrolne karte in porazdelitve meritev na risbi specificirane mere ($7,3 \pm 0,2$) mm prikazuje slika 25.



Slika 25: Prikaz statistične distribucije in poteka kontrolnih kart
Vir: Prirejeno po: Komidar in Ovsec, 2008, 15

3.1.4 Histogram

Histogram je grafična metoda, ki prikazuje trosenje rezultatov meritve ene same kakovostne karakteristike okrog neke povprečne vrednosti. Iz oblike histograma na sliki 26 lahko ugotovimo, ali zbrani podatki pripadajo urejenemu procesu (majhen raztros) ali neurejenemu procesu (velik raztros).

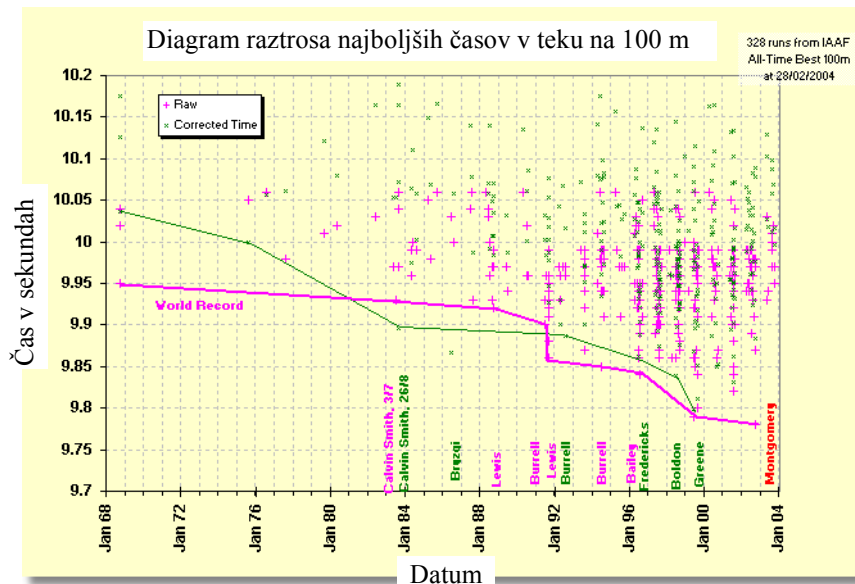


Slika 26: Oblika histograma meritev

3.1.5 Diagram raztrosa

Diagram raztrosa je grafična predstavitev odnosa med odvisnima spremenljivkama, ki omogoča, da odkrijemo morebitno povezavo med vrednostmi spremenljivk.

Prednosti tega diagrama so, da ugotovimo, ali sta dve spremenljivki v korelaciji, nudi vizualno in statistično orodje za testiranje moči potencialnega medsebojnega odnosa in pokaže jakost povezav med dvema spremenljivkama. Diagram raztrosa najboljših časov v teku na 100 m prikazuje slika 27.



Slika 27: Diagram raztrosa tekov na 100 m

Vir: Prirejeno po: <http://condellpark.com/kd/100scatter2004.png/> (5. 11. 2008)

3.2 METODE ZA REŠEVANJE PROBLEMOV V SKUPINI

Metode za reševanje problemov v skupini so v pomoč pri eni glavnih vlog poslovne funkcije proizvodjanja oziroma proizvodnje. Pri sodelavcih želimo spremeniti miselnost o kakovosti in prekiniti prakso iskanja krivcev za napake ter s skupnimi močmi iskati in odpraviti vzroke za napake. Bistvo je, da za obstoječe probleme iščemo in najdemo rešitve tam, kjer jih s klasičnimi načini razmišljanja ne moremo najti. Dve osnovni obliki razmišljanja sta:

- konvergentno,
- divergentno razmišljanje.

Konvergentno razmišljanje

Pri tej vrsti razmišljanja so vse misli usmerjene k eni sami rešitvi problema. Gre za podoben učinek kot pri uporabi leče. Vsi žarki, ki gredo skozi konveksno lečo, se zbirajo v gorišču (Pečjak 1989, 12). Ne glede na način iskanja je možna ena sama pravilna rešitev. Vsi reševalci tega problema pridejo do iste rešitve.

Primer: Iz literature je znan tipičen konvergentni mislec Sherlock Holmes. Ne glede na širino problema in majhno število začetnih podatkov, povezanih z njegovimi primeri, je znal najti pot do končne rešitve. Ta je bila vedno *ena sama*. Toda na svoji poti je uporabljal tudi divergentno razmišljanje.

Divergentno razmišljanje

Divergentno razmišljanje je v bistvu ustvarjalno. Pri tem ne gre za eno rešitev, pač pa jih ustvarjalec poskuša odkriti čim več (Likar et al., 2006, 35).

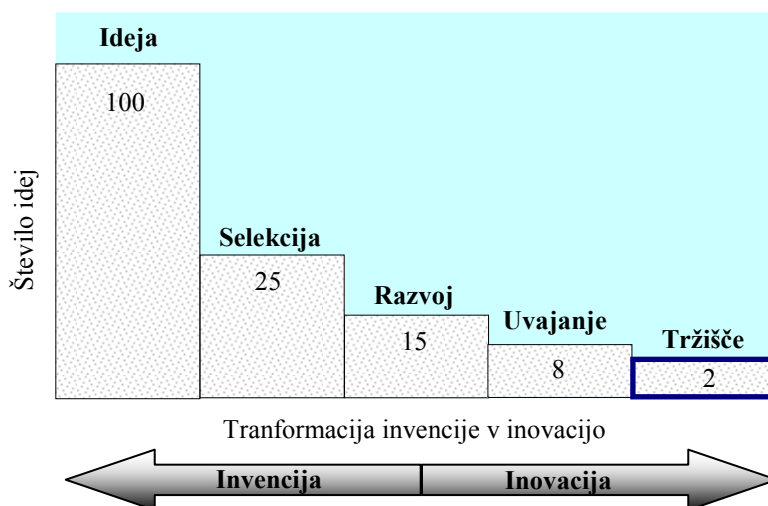
Primer: Velik divergentni mislec je bil ameriški iznajditelj in inovator Edison. V njegovem času je ameriška vlada razpisala natečaj za izdelavo nekega stroja. Več visoko tehnično usposobljenih ljudi je v zahtevanem roku s težavo našlo tri rešitve. V poročilu so navedli, da so s tem izčrpane vse možne variante. Edison je nato v dveh dneh odkril 48 variant istega stroja.

Divergentni sodelavci so najdragocenejši. V podjetju bi morali biti najbolj iskani ljudje, naravnani na divergentni način razmišljanja, a žal veljajo marsikdaj za največje motilce ustaljenega – torej konvergentnega razmišljanja. Taki neprestano razmišljajo o novih rešitvah, dajejo vedno sveže predloge in predstavljajo za podjetje pravi zaklad.

Tehnike ustvarjalnega razmišljanja

- Tehnike kreativnega mišljenja so prirejene tako skupinskemu kot tudi individualnemu ustvarjanju novih idej.
- Nizka ustvarjalnost je subjektivno pogojena, močno pa nanjo vpliva tudi okolica.
- Ustvarjalnost lahko spodbujamo, lahko pa tudi odpravimo del razlogov za nizko stopnjo ustvarjalnosti.

Od ideje do realizacije je dolga pot. Le majhen del idej gre uspešno skozi vsa sita, ki jih predstavljajo vsi interni filtri v podjetju in na koncu še tisti bistveni – tržišče. Znano je, da le vsaka četrta tehnološka novost najde svoje mesto na tržišču (slika 28). Ostale propadejo ali pa jih je potrebno spremeniti v taki meri, da jih tržišče sprejme. Pri mnogih proizvodih, ki so v osnovi preveč oddaljeni od dejanskih potreb tržišča, to ni možno.



Slika 28: Življenjski cikel ideje
Vir: Prirejeno po: Likar at al., 2006, 40

Najprej nastane invencija (ideja, ki ima potencial, da postane inovacija), nato potencialna inovacija, ki pomeni uporaben, a ne še nujno donosen oz. koristen nov domislek. Šele zadnji člen v invencijsko-inovacijski verigi je inovacija, to je vsaka dokazano koristna novost.

3.2.1 Možganska nevihta (Brainstorming)

Možganska nevihta (vihar, burjenje možganov) se je rodila v Ameriki. Utemeljil jo je psiholog Aleks F. Osborn. Njegova osnovna ideja je bila v tem, da se je mogoče s tako imenovanim 'burjenjem duha' naučiti ustvarjalnosti s treningom. Možganski vihar je metoda, ki gradi na skupinskem reševanju problemov in je uporabna skoraj za vsako področje človekovega delovanja (Pečjak, 1989).

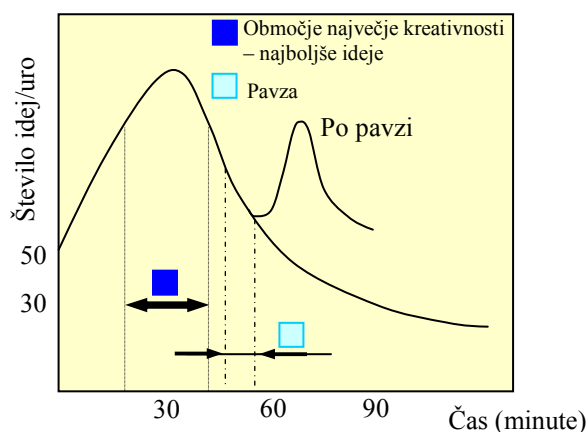
Prvo pravilo je, da je treba iz tega procesa izključiti kritike in kritikastre, ki vsaki ideji nekaj ugovarjajo. Njihovo kritikastrstvo se kaže ob vsaki novi ideji, na primer na take načine: 'Ne gre, ne znamo; to je neodgovorno; to so pogruntali že Nemci; zakaj pa ne bi uvozili; nimamo ..., saj podjetje lepo uspeva; samo novosti nikar; riziko; kaj pa...' in tako dalje in tako naprej. Drugo pravilo, ki ga mora upoštevati organizator možganske nevihte, pa je, da ni primerno vabiti na take seanse ljudi, ki so "okuženi" s svojo veliko strokovnostjo. Taki živijo v svojem miselnem kalupu in niso sposobni pogledati čez svoje miselno obzorje. V vsako idejo vključujejo svoje obstoječe znanje. Izkušnja kaže, da je utečena skupina sposobna proizvesti kakih 50 različic rešitve nekega problema, zelo kreativna pa tudi 200 in več. Vendar je končni rezultat mnogo skromnejši, saj je samo kakih 5 % idej dobrih in uresničljivih.

Poznavalci takih sej priporočajo udeležbo le 5 do največ 15 ljudi, optimalno 6–12. Če je udeležencev manj, se debata ne razvije, pri večjem številu nastopajo pri udeležencih zavore. Te sestoje večinoma iz občutka, da bodo pri ostalih izpadli smešno.

Za člana skupine možganskega viharja predstavlja pravo zlo tudi človek, ki hoče biti pametnejši od vseh. Tak nemudoma prevzame vodstvo sestanka, slišati je samo njega in vsem udeležencem vsiljuje svoje ideje.

Že nekaj časa se uveljavlja načelo, da je razumno vabiti na možganski vihar tudi strokovnjake s področij, ki niso v neposredni povezavi s problemom, o katerem naj bi se pogovarjali. Klasičen primer predstavljajo sestanki – v bistvu možganski viharji, ki jih je prirejal mikrobiolog, izumitelj cepiva proti poliomelitisu, dr. Jonas Edward Salk. Na svoje seanse namreč ni vabil samo strokovnjakov s svojega področja, ampak so bili na njih redni gostje filozofi, umetniki, pesniki, javni delavci in drugi. Na teh možganskih viharjih so se rojevale sijajne strokovne rešitve, ki niso zrasle samo v glavah strokovnjakov, ampak ljudi, ki so prihajali iz povsem drugih okolij, kot je bilo Salkovo (Likar, 1998).

Skupina prične s 5–10-minutnim ogrevanjem. Gre predvsem za to, da preskusi 'delovanje' metode in se pripravi na pravi vihar. Problem naj bo enostaven, da udeleženci ne trošijo preveč kreativne energije. Če je skupina že uigrana, ta del ni potreben.



Slika 29. Faze poteka kreativnega dela
Vir: Prirejeno po: Likar et al., 2006, 44

Po nekaj deset minutah se doseže največja produktivnost idej, ki nato postopno upada. S krajšim odmorom se lahko doseže začasen porast ustvarjalnosti, kot ga prikazuje slika 29.

Po začetnem ogrevanju vodja udeležencem predstavi problematiko in jo osvetli z več vidikov. Po potrebi udeleženci postavljajo vprašanja toliko časa, da je problem popolnoma jasen. Vodja tudi pove, na katerih vidikih problematike naj bo v času 'nevihte' poudarek. Nekateri

avtorji pri zahtevnejših problemih predlagajo, da se udeleženci seznanijo s problematiko že nekaj dni pred sejo.

Že na začetku sestanka ob tej tehniki mora voditelj s svojo avtoriteto preprečiti sleherno kritiko in zmajevanje z glavo nad 'norimi' idejami, dvomi v možnost uresničenja neke ideje in podobno. Ena bistvenih nalog vodje je, da koordinira potek možganske nevihte. Pomembno je, da preprečuje kritične pripombe, ki hitro ustavijo tok idej. Jasno je, da mora prav on vzpodbujati debato. Dobro je, če ima za možne zastoje že vnaprej pripravljenih nekaj idej, ki so lahko provokativne in morajo vzpodbuditi reakcije prisotnih.

Pri sestavi skupine za ocenjevanje idej moramo ločiti producente idej od ocenjevalcev. Če so eni izključno ustvarjalni, potem morajo imeti drugi že analitične sposobnosti.

Ocenjevalci si morajo postaviti kriterije, po katerih bodo delovali, sicer se utegnejo zgubiti v nepreglednosti idej. Če je veliko idej, jih je koristno razvrstiti po skupinah s podobno vsebino. Po prvem hitrem pregledu se določi ožji izbor dobrih idej, ki jih natančno preverimo iz vseh pomembnih zornih kotov.



Vaja – Tehnika kreiranja idej

- Namen in vsebina vaje

Vaja je namenjena praktičnemu preizkusu ene od tehnik za kreiranje novih idej (tehnika usmerjenih prisilnih povezav). V okviru vaje skupine udeležencev uporabijo eno od predlaganih tem.

- Določitev teme za reševanje s tehniko za spodbujanje kreativnosti.

Predlagani temi (v nadaljevanju) so le kratka predstavitev problema, katerega si različni udeleženci lahko tolmačijo vsak po svoje. Zato naj skupina opisano nalogo skupaj pregleda še enkrat, osnovno temo dodatno razgradi (npr. definiranje ene ali več ciljnih skupin, katerim je novost namenjena ipd.) in si jasno definira problem, ki ga bo reševala.

Tudi ob dežju – suho perilo

Problem. Na prostem obesimo mokro perilo, pa začne deževati. Poiskati je treba način ali napravo, ki omogoča, da si poenostavimo pobiranje in ponovno obešanje perila.

Opcijska rešitev. Zložljiva streha iz plastične folije, ki jo enostavno potegnemo čez perilo.

Odpiranje vprašanj. Kako pa se bo premična stehica obnašala, ko jo bomo zložili, da se voda ne bi poredila po perilu? Kam postaviti napravo, če ni dovolj prostora? Kaj pa, če nas ni doma – lahko napravo avtomatiziramo? Je premična streha edina varianta?

Zadrževalnik predmetov na avtomobilski polici

Problem. V avtomobilu pogosto v naglici položimo na armaturno ploščo očala, list papirja, ključe ali karkoli pač. Na gladki površini med vožnjo predmet največkrat zdrsne na tla. Z refleksnim gibom ga želimo zadržati in že je nesreča tu. Poiskati moramo ustrežnejšo rešitev.

Opcijska rešitev. Enostavna rešitev bi lahko bila v tem, da bi prilepili na rob armaturne plošče kakšen trak ali kljukice, ki bi predmet zadržale. To ne bi bila niti estetska niti kaj prida praktična rešitev. Najbližja se nam zdi vgradnja kakšnega gumastega ali neдрsečega materiala.

Odpiranje vprašanj. Je nujno potrebno lepljenje ali privijanje? Poiskati bi bilo treba enostavno in učinkovito rešitev, s katero ne bi poškodovali armaturne plošče.

- Navodila za pripravo na vajo
 - Preberite besedilo vaje (5 min).

Vaja poteka v skupinah po 4–6 študentov, ki sedijo v krogu. Glavni elementi naloge in okvirni časi:

- analiza teme za reševanje s tehniko za spodbujanje kreativnosti (10 min),
- priprava (15 min),
- kreativni del reševanje naloge (20 min),
- analiza poteka možganske nevihte po postavkah (10 min),
- priprava in oddaja poročila (5 min).

Priprava

- Določite vodjo skupine, ki bo opravljal to nalogo do konca možganske nevihte. Ustreza naj kriterijem, ki jih zahtevamo od dobrega vodje.
- Določite tudi opazovalca, ki si bo med možgansko nevihto beležil svoja opažanja.
- Jasno definirajte nalogo, tako da jo bodo razumeli vsi člani skupine. Za končno definicijo skrbi vodja ob pomoči vseh posameznikov skupine.

Naloge vodje

- Preprečuje kritične pripombe.
- Med seanso pregledno in jasno beleži ideje na velik papir, tako da jih ves čas seanse lahko vidijo vsi člani skupine.

Ocenjevanje idej

Skupina se dogovori za kriterije za razvrščanje in ocenjevanje idej (inovativnost, izvedljivost, uporabnost, cena ...). Vsakemu kriteriju določite pomembnost (utež) v višini med 1 in 3.

Nato vsak posameznik prične z ocenjevanjem (oceni vse ideje, ki jih je zbrala skupina). Vsako idejo oceni z oceno od 1 do 5, in to za vsakega izmed kriterijev. Ko pomnožimo vsako oceno z vrednostjo uteži in zmnožke seštejemo, dobimo skupno oceno ideje po mnenju posameznika.

Izbor najboljših idej

Najboljše ideje (3–5) podrobneje predstavite v poročilu.

Primerjajte rezultate, ki ste jih dobili z uporabo tehnike kreiranja idej. Kakšne so podobnosti in razlike, katera ideja se je izkazala za primernejšo in zakaj? **Narišite – skicirajte vašo najboljšo idejo.**

Predlog poročila:

VAJA: Tehnika kreiranja idej		Ime skupine:	
Skupina:		Imena udeleženih članov (vključno z avtorjem poročila):	
Datum opravljanja vaje:			
		Ime vodje:	

Naslov izbrane teme:	
Definicija glavnega problema za reševanje	

Ocenjevanje idej		
Kriterij	Opis kriterija (inovativnost, izvedljivost, uporabnost, cena ...)	Utež kriterija (1–3)
K1		
K2		
K3		

Ideja	K1	U1	K2	U2	K3	U3	Skupaj
Prikažite 5-10 najboljših idej	1–5	1–3	1–5	1–3	1–5	1–3	$K1 \cdot U1 + K2 \cdot U2 + K3 \cdot U3$
Ime oz. opis ideje 1							
Ime oz. opis ideje 2							

Prikaz 3 najboljših idej	
Ime ideje:	Opis:
	Komentar:
Ime ideje:	Opis:
	Komentar:
Ime ideje:	Opis:
	Komentar:
Uporabne ideje s pridrčki: Kratko predstavite še 5 idej, ki niso prišle v ožji izbor, a menite, da bi bile lahko vseeno uporabne ob nekoliko drugačnih kriterijih za ocenjevanje (razvrstite po pomembnosti). 1.) 2.)	
Naknadne ideje: Vpišite morebitne ideje, ki so se vam v povezavi s tematiko iz vaj porajale po koncu kreiranja idej. 1.) 2.)	
Primerjajte rezultate, ki ste jih dobili. Kakšne so podobnosti in razlike, katera ideja se je izkazala za primernejšo in zakaj?	

3.2.2 Zapisovanje idej (Brainwriting)

Za angleški izraz brainwriting najdemo v strokovni literaturi več slovenskih prevodov: možgansko zapisovanje, zapisovanje misli, idej. Zapisovanje idej je izvedenka dosedanjih načinov možganske nevihte in je uporabno v bistvu v vseh vejah človekove dejavnosti. Lahko jo definiramo kot metodo, ki v nasprotju z metodo možganske nevihte, kjer pridejo do izraza ljudje, ki so produktivnejši, če diskutirajo, zadovolji vse tiste, ki svoje ideje lažje izrazijo s svinčnikom in papirjem. Tehnika ni primerna za manj izobražene in take, ki niso sposobni pisnega komuniciranja. Posebno dobra pa je zato, ker je nevarnost vpliva dominantne osebe izključena.

Zapisovanje idej se najbolj obnese pri reševanju nekoliko širše zastavljenih problemov. Med pisanjem naj ljudje ne pazijo na pravilnost pisanja. Udeležencev naj bo 4–7, sestavljanje skupine pa poteka po enakih kriterijih kot pri možganski nevihti.

Tehnika se je dobro obnesla na tečajih in seminarjih, kjer lahko oblikujemo veliko število majhnih skupin, saj vloga vodje ni bistvenega pomena. Zanimiva pa je tudi glede na čas, saj je znano, da nudi organizatorjem seans v kratkem času zelo veliko idej. V razmeroma kratkem času, v 30 minutah, kolikor 'zapisovanje' traja, je produkcija idej zelo velika (Likar, 1998).

3.3 METODE PREVENTIVNEGA ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI

Za uspešen nadzor in upravljanje kakovosti je že v zgodnjih fazah procesa nastajanja izdelka razvitih več različnih metod preventivnega zagotavljanja kakovosti; najpomembnejše med njimi so predstavljene v tabeli 10.

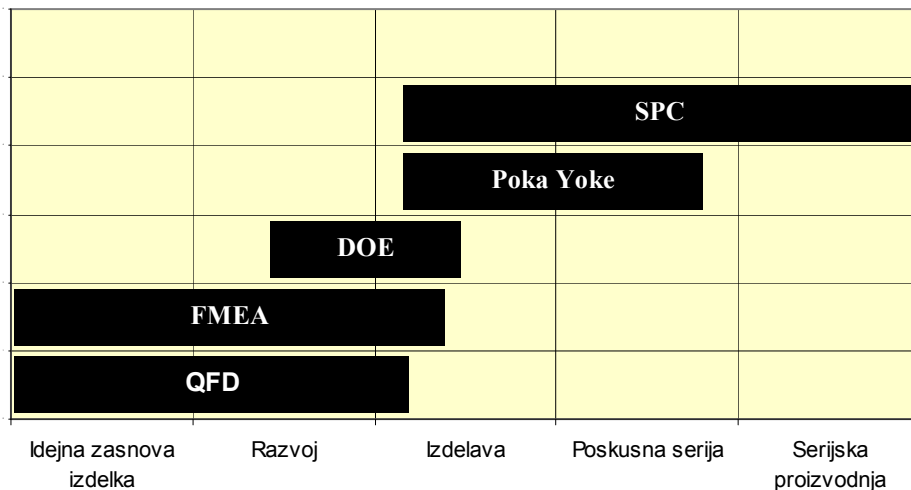
Skupna lastnost vseh metod oziroma skupni cilj: vsako morebitno napako je potrebno odkriti in odpraviti, še preden se pojavi v fazi uporabe izdelka.

Tabela 10: Metode zagotavljanja kakovosti

Metoda	Lastnosti metode	Cilj	Faza uporabe	Vplivi na kakovost	Stroški
QFD	Funkcionalno spremljanje izdelkov glede na zahteve trga	Izdelki, ki izpolnjujejo vse zahteve kupcev	Od idejne zasnove izdelka do načrtovanja proizvodnje	*****	Srednje do visoki
FMEA	Odkrivanje napak na osnovi ustrezne komunikacije in sistematičnih ukrepov	Zmanjšanje morebitnih napak	Od zasnove do procesa izdelave	****	Srednji
DOE	Eksperimentalne metode na osnovi statističnega načrtovanja poskusov	Zmanjšanje stroškov raziskav, povečanje kakovosti izdelkov	Razvoj in proizvodnja	**	Srednji
Poka Yoke	Omejevanje možnih izvorov napak v proizvodnji	Odkrivanje in izogibanje mestom napak	Proizvodnja in montaža	**	Majhni do srednji
SPC	Stalen nadzor procesov za ohranjanje kakovostne proizvodnje	Zmanjšanje nadzora izdelkov po sistemu dobro/slabo, povečanje kakovosti proizvodnih procesov	Proizvodnja, načrtovanje kakovosti	*****	Visoki do srednji

Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 100

Slika 30 prikazuje, v kateri fazi nastajanja izdelka uporabljamo posamezno metodo. Metoda QFD je primerna za kakovostno usmerjeno uresničevanje idejne zasnove v končni izdelek. Primerna metoda med izdelavo proizvodov pa je metoda SPC (Statistical Process Control ali statistično obvladovanje procesov) oziroma metoda za nadzor kakovosti proizvodnega procesa.



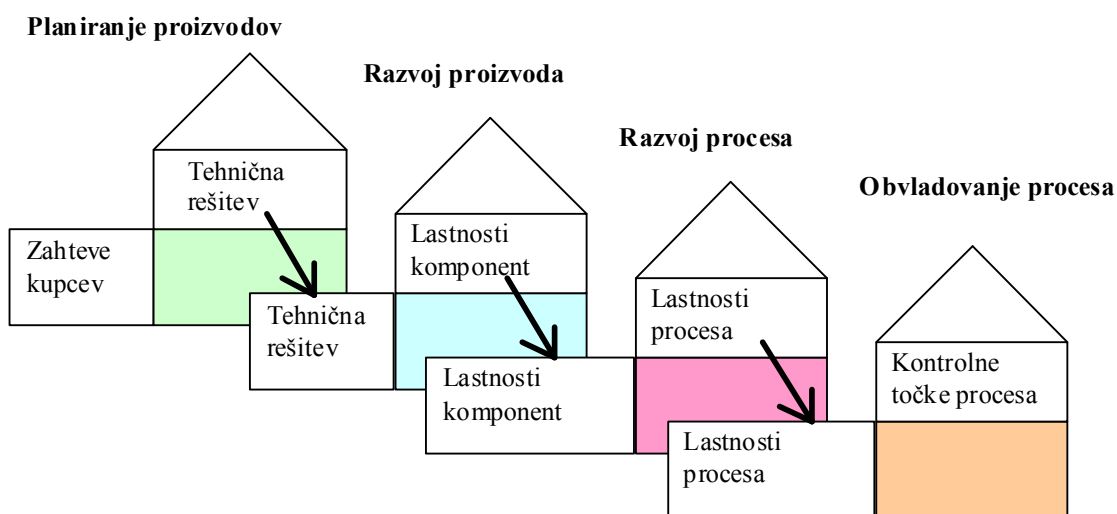
Slika 30: Metode zagotavljanja kakovosti v življenjskem ciklu izdelka
Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 101

3.3.1 Metoda QFD

V procesu celovitega obvladovanja kakovosti v podjetju ima posebno mesto popolno načrtovanje kakovosti oziroma razvoj funkcij kakovosti, ki omogoča oblikovanje razvojnega kroga proizvoda. Zgradbo metode ponazarjajo v obliki hiše – od tod tudi ime »hiša kakovosti« (Pregrad in Musil 2000, 121), ki je predstavljena na sliki 31.

Metodo popolnega načrtovanja kakovosti, v nadaljevanju QFD – Quality Functions Deployment, so razvili Japonci. Metoda QFD omogoča tudi vgrajevanje zahtev kupca za kakovost. To zagotovimo tako, da:

- prevedemo zahteve kupca v ustrezne tehnične karakteristike procesa in proizvoda,
- prevedemo zahteve kupca v kontrolne karakteristike,
- prevedemo zahteve kupca v funkcijo zagotavljanja kakovosti.



Slika 31 : QFD v štirih fazah
Vir: Prirejeno po: Dolinšek et al., 2006, 78

QFD se prične v fazi razvoja proizvoda in se širi preko vseh postopkov tehničnega razvoja, priprave dela, proizvodnje in zagotavljanja kakovosti. V vsaki fazi je treba usmeriti pozornost na postopke, ki so pomembni za kupca oziroma za zadovoljevanje njegovih potreb.

QFD izvajamo v štirih fazah, kot prikazuje slika 31:

- 1. faza: načrtovanje proizvoda – zahteve kupca prevedemo v karakteristike proizvoda;
- 2. faza: matrika komponent – karakteristike proizvoda prevedemo v karakteristike komponent;
- 3. faza: matrika procesa – karakteristike komponent prevedemo v tehnologijo izdelave;
- 4. faza: matrika proizvodnje – tehnologijo izdelave prevedemo v praktična navodila za proizvodnjo.

Vsaka od navedenih faz se prikaže z eno ali več matrikami (Pregrad in Musil 2000, 121).

V prvi fazi se opredelijo kupčeve zahteve in pričakovanja. Podatke pridobiva marketing organizacije z intervjuji, anketami, benchmarkingom (benchmarking je stalen proces merjenja lastnih proizvodov, storitev ali prakse, primerjanje teh vrednosti z najboljšim v branži, konkurentom ali standardom ter ukrepanje) in podobnim. Izjemnega pomena pa je tudi neposredno vključevanje kupca.

V drugi fazi razvojni tim evidentira različne marketinške podatke: rangiranje pomena zahtev kupca, benchmarking podatki, predvideni cilji, prodajni podatki itd.

V tretji fazi so zapisane tehnično-tehnološke karakteristike zahtevanega proizvoda – storitve. Zapis zahtev in pričakovanj kupca je v tehničnem jeziku. Te karakteristike nadomeščajo zahteve kupca.

V četrti fazi je največ informacij. V vsako celico zapiše tim številčno vrednost, s katero oceni, do katere mere tehnična karakteristika izraža zahteve ali pričakovanja kupca. Z izračunom se ugotovi, katere so tiste nadomestne karakteristike, ki največ prispevajo k realizaciji zahtev kupca.

QFD-metoda oziroma hiša kakovosti prinaša podjetjem številne prednosti, zlasti za povečanje konkurenčnosti in nenehno izboljševanje kakovosti. Izražajo se v:

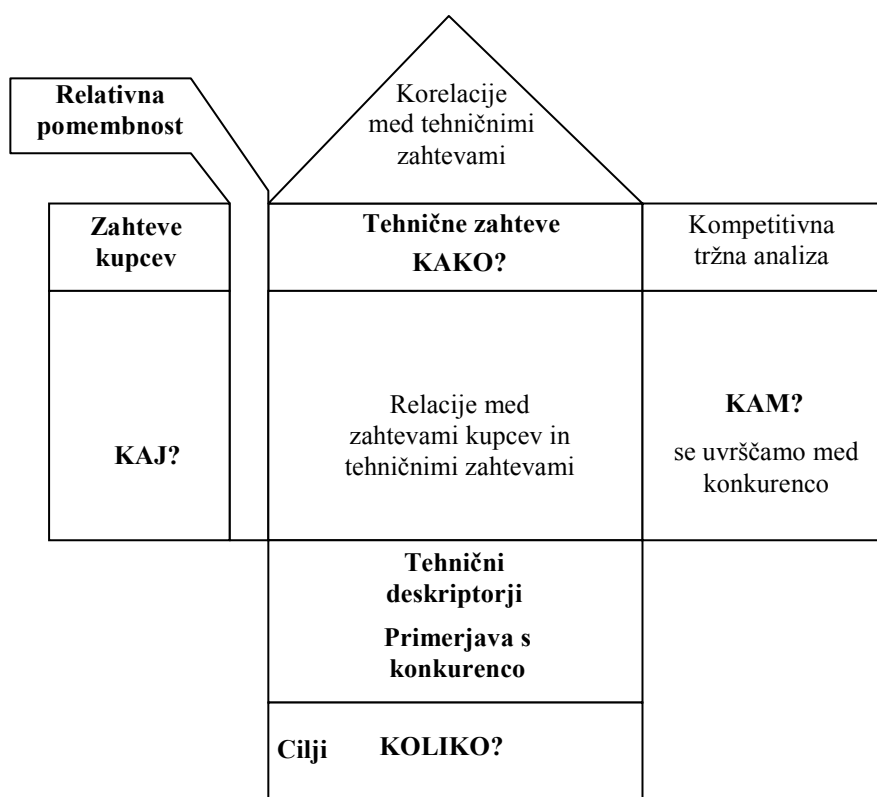
- osredotočenju na kupca (metoda omogoča zbiranje vhodnih in povratnih informacij kupcev, te pa so prevedene v zbir zahtev in postanejo ciljne vrednosti, ki jih mora podjetje doseči);
- boljšem časovnem izkoristku (metoda skrajša razvojni čas proizvoda, saj pokaže bistvene in jasno določene kupčeve zahteve);
- skupinskem delu (metoda je usmerjena v skupinsko delo, saj so vse odločitve rezultat soglasja članov v skupini);
- dosledni dokumentaciji, katere rezultat je dokument, ki združuje podatke o procesih in prikazuje njihovo dopolnjevanje pri zadovoljevanju kupčevih zahtev (Pregrad in Musil 2000, 129).



Primer QFD-matrike in prikaz praktičnega primera QFD za plezalni pas: Matrika na sliki 32 je osrednje orodje QFD metodologije. Polja, ki povezujejo vrstice in stolpce matrike, omogočajo zapis informacije, ki zadeva presek vsebin vrstice in stolpca. Prvenstveno so to simboli ali številke, ki govorijo o vrsti povezave med vsebinami, ki je lahko: zelo močna, srednje močna, šibka ali pa je sploh ni. Številčne vrednosti povezav omogočajo izračune skalarnih produktov po vrsticah ali stolpcih, primer na sliki kaže izračun "pomembnosti pristopa" kot seštevek produktov med "pomembnostjo zahteve" in vrednostjo povezave pristopa z zahtevo.

V polja matrike QFD se lahko vnašajo tudi simboli, preko katerih uporabnik priključ strani interneta, različne dokumente, audio-vizualna gradiva in podobno.

Uporabniku ni treba poznati imena ali naslova datoteke, polje matrike samo samo zase govori o njeni vsebini.



Slika 32: Matrika QFD

3.3.2 Metoda analize možnih napak in posledic (FMEA)

Je metoda, s katero v zgodnjih fazah načrtovanja predvidimo možne napake (hibe) in njihove posledice. FMEA je močno orodje v fazah načrtovanja. Namen FMEA je analiziranje verjetnosti nastanka napak in njihov vpliv že v zgodnjih fazah razvojnega in proizvodnega procesa, s čimer omogoča čim zgodnejšo zviševanje nivoja kakovosti.

Z metodo FMEA preventivno zagotavljamo kakovost. Cilj izvajanja metode je odkrivanje potencialnih napak pri razvoju proizvoda oz. pri novih postopkih izdelave že v času načrtovanja in preprečevanja teh napak z ustreznimi ukrepi (Pregrad in Musil 2000, 130).

Napake povzročajo pri odpravljanju visoke stroške. Pogosto so tudi vzrok, da izgublja podjetje pri svojih kupcih ugled. Zato je smiselno, da že v zgodnji fazi načrtovanja ter razvoja proizvoda in procesa opazimo potencialne napake in jih v sodelovanju s timom odpravimo.

Metoda FMEA je ciljno usmerjena metoda, s katero lahko pravočasno ugotovimo možne napake. Glede na fazo razvoja proizvoda razlikujemo tri vrste FMEA, ki so med sabo povezane in tvorijo zaključeno enoto. Te so:

- sistemska FMEA (pri njej določamo funkcionalnost posameznih komponent sistema glede na celoten sistem in povezave med posameznimi komponentami);
- konstrukcijska FMEA (je namenjena iskanju morebitnih napak pri posamezni komponenti v konstrukciji, proizvodnji in montaži);
- procesna FMEA (raziskuje možne izvore napak v proizvodnem procesu).

Sistematika te metode je razdeljena na več delovnih korakov. Začetek predstavlja analiza napak, ki ji sledi presoja tveganja. Tretji korak predstavljajo ukrepi in ob zaključku FMEA presoja rezultatov (Pregrad in Musil 2000, 130–131).



Primer FMEA: Primer letalne naprave Ikarus (krila iz ptičjega perja, zlepljena z voskom)

Potek uporabe metode FMEA

Korak 1: Zajemanje osnovnih podatkov po tabeli 11

Uporabimo poseben obrazec.

Podatki: identifikacija sistema; določanje odgovornih oddelkov podjetja.

Korak 2: Analiza napak

Glede na blokovni diagram sistema za letenje *Ikarus* analiziramo:

- morebitne napake,
- določimo sistemske, konstrukcijske naloge in funkcije: (Prenos moči mišic na zračni medij),
- posledice napak,
- morebitne vzroke napak.

Korak 3: Ocenjevanje napak

Natančno ovrednotimo vsakega izmed vzrokov napak glede na verjetnost nastanka (N) napake, vplivnost oziroma pomembnost napake (V) za kupce ter verjetnost odkritja (O) napake z oceno od 1 do 10.

Zmnožek $N \cdot V \cdot O$ predstavlja prednostno število tveganja (PŠT).

Ocenjevanje napak omogoča pravilno usmerjeno optimiranje razvoja in izdelave.

Korak 4: Optimiranje zasnove izdelka

V skladu s posameznimi ocenjevanji PŠT lahko izvajamo ustrezne ukrepe in izboljšave izdelka.

Korak 5: Presoja in ocenjevanje rezultatov

Z uporabo ukrepov se posamezne pomanjkljivosti izboljšajo.

Izboljšave ponovno ocenimo na možnost napak PŠT.

Tabela 11: Obrazec FMEA

FMEA-formular Konstrukcijska FMEA		Odgovorni oddelek: ŠCP Obravnavani oddelek: R&D Obravnavani dobavitelj: I-D		Izdelal: SB		Naziv elementa: Ikarus Model/tip: Alfa Dopolnil: Beta	Št. elementa: Datum: Odobril:	
Značilnost sistema Proces	Pot. napake	Potencialne posledice napak	Pot. povzročitelj napak	Sedanje stanje Preprečev. in kontrolni ukrepi	N V O PŠT	Priporočeni ukrepi	Odgovo ren: Termin	Izvedeni ukrepi: N V O PŠT
Prenos moči mišic na zrak	Defektno krilo	Strmoglavlje - nje Ikarusa Varnostno Kritično	Mokro perje	P: Preračun K: Preizkus letenja K: Kontrola zategnjenosti	5 10 5 250	Minimalni vpliv vlage Izbira primerne lepila Izbira druge metode spajanja Sprememba koncepta	Dedalus	2 10 5 100
			Temperaturno neobstoje vosek		5 10 5 250			2 10 5 100
			Nečisto mesto lepljenja		4 10 9 360			1 10 9 90
			Premalo zategnjen jermen		8 10 1 80			1 10 1 10
	Defekten trup	Zasilni pristanek	Mišični krč	P: razgibavanje P: lahka hrana	2 7 5 70	Letenje na majhni višini	Ikarus	1 7 10 70
			Slabost v trebuhu		2 7 5 70			
			Težave z dihanjem na veliki višini		7 7 10 490			

Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 122

3.3.3 Metode načrtovanja poskusov (DOE)

V sodobnem razvoju proizvodov je pomembno optimalno načrtovanje poskusov. S kratico DOE označujemo natančno opisane načrte za izvajanje poskusov, katerih vplivni faktorji so sistematično urejeni in ciljno usmerjeni z namenom, da dosežemo zahtevano kakovost karakteristik oziroma lastnosti proizvodov.

Sodobnejši metodi načrtovanja poskusov sta Shainin in Taguchi. Z njima je mogoče proizvode in procese, ki so odvisni od velikega števila vplivnih faktorjev, optimirati bistveno hitreje in gospodarjeje. Njuna bistvena razlika je v tem, da metodo Shainin uporabljamo v industriji, in to bolj v izdelavi kot pa pri razvoju izdelkov. Zaradi prednosti pred ostalimi bo metoda Taguchi bolj podrobno predstavljena v nadaljevanju.

Težišče v uporabi načrtovanja poskusov po metodi Taguchi je v optimizaciji karakteristik kakovosti, specifičnih za proizvod oz. proces, v okviru industrijskega razvoja proizvoda. V tej fazi učinkovito uporabljamo primerne ukrepe, ki zagotavljajo kakovost, ker prav tukaj poteka prvo in najvplivnejše določanje karakteristik kakovosti. Gre za največji potencial za predvideno preprečevanje napak, z namenom, da bi tako izboljšali kakovost in zmanjšali stroške. Izboljšanje kakovosti in sočasno zmanjšanje stroškov sta cilja te metode.

Za minimiziranje izgube kakovosti, kot odstopanja od ciljne vrednosti, je po tej metodi potreben obvladan in optimiran proizvodni proces, ki je neobčutljiv na motilne vplive človekovega okolja, ki znižujejo kakovost.

Robusten proces lahko dosežemo po fazah: oblikovanje sistema, oblikovanje parametrov in oblikovanje toleranc. Te korake imenujejo tudi Off-line Quality Control in jih moramo uporabiti že pred pričetkom proizvodnje.



Primer Taguchi metode: Pri preizkusu funkcionalnosti gumba v ohišju avtomobilskega vzglavnika prihaja do zastojev. Ugotovljeno je bilo, da pri določenih nastavitvah parametrov oziroma pri procesu brizganja gumba na različnih strojih prihaja do odstopanj dimenzij. S pomočjo Taguchi metode želimo ugotoviti, pod kakšnimi parametri je najbolje izvajati proces brizganja našega izdelka.

1. Načrtovalec izboljšuje proces brizganja gumba z variiranjem sedmih parametrov po nivojih, ki so prikazani v tabeli 12.

Tabela 12: Vplivni parametri procesa

Nivo		Vplivni parameter	Nivo 1	Nivo 2
1	A	Temperatura	50 °C	65 °C
2	B	Tlak	1 Kbar	1,25 Kbar
3	C	Čas brizganja	1 s	2 s
4	D	Pretok	10 cm ³ /s	15 cm ³ /s
5	E	Vsebnost saj	10 % - 12 %	13 % - 15 %
6	F	Temp. hladilne vode	20 °C	10 °C
7	G	Čas hlajenja	10 minut	5 min

Vir: Kastelic, 2008, 33

2. V procesu spreminjamo parametre vseh nivojev preko osmih različnih možnosti iz tabele 13. Vsak posamezni proces ponovimo petkrat.

Tabela 13: Osem različnih kombinacij preizkusov procesa

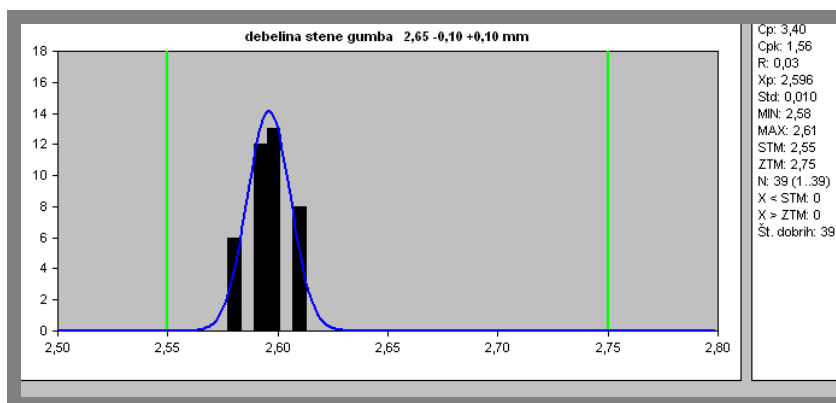
	1	2	3	4	5	6	7
Skupina	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Vir: Kastelic, 2008, 32

3. Meritev vseh gumbov na 3D merilnem stroju in analiza našega procesa s pomočjo SPC Gaussove normalne porazdelitve.

Primer meritve karakteristike kakovosti: debelina stene (2,65 ± 0,1) mm.

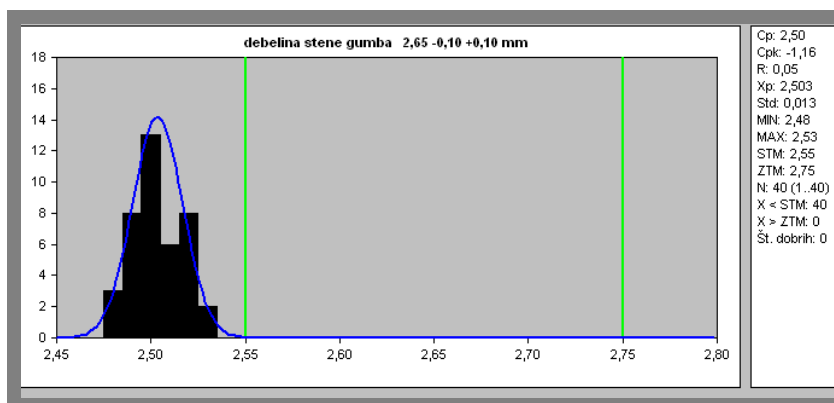
Pri 1. skupini parametrov (1-1-1-1-1-1) ni prišlo do velikega odstopanja debeline stene. Kot vidimo spodaj na sliki 34, je povprečna vrednost $c_{pk} = 1,56$, standardni odklon $\sigma = 0,01$ mm.



Slika 34: SPC analiza v programu Gauss SPC za 1. skupino parametrov (1-1-1-1-1-1)

Vir: Kastelic, 2008, 43

Pri 2. skupini parametrov (1-1-1-2-2-2-2) zabeležimo zelo slabe rezultate, saj doseže sposobnost našega procesa celo negativno vrednost $c_{pk} = -1,16$, kljub temu, da je vrednost standardnega odklona zelo dobra: $\sigma = 0,013$ mm.



Slika 35: SPC analiza v programu Gauss SPC za 2. skupino parametrov (1-1-1-2-2-2-2)
Vir: Kastelic, 2008, 44

S pomočjo Taguchi ortogonalne razporeditve (Orthogonal Array – OA) so tabele, v katerih so definirane nastavitve parametrov v posameznih poskusih, potrebne za ugotavljanje neposrednih (glavnih) vplivov parametrov in njihovih križnih učinkov na vrednost karakteristike, ki načrtovalca zanima. Z vnosom ustreznih parametrov v računalniški program za izvedbo Taguchi metode načrtovalec zajame optimalne parametre za brizganje gumba, ki so predstavljeni v tabeli 14.

Tabela 14: Izbira najboljših parametrov s pomočjo Taguchi metode

Čas brizganja	0,74 s
Čas hlajenja	10 s
Tlak	500bar
Pretok	15 cm ³ /s
Temperatura gladilne vode	10 °C
Temperatura orodja	70 °C
Vsebnost saj	0 %

Vir: Kastelic, 2008, 64

3.3.4 Metoda Poka – Yoke

S to metodo naj bi preprečevali naključne napake, izdelovalne procese pa bi oblikovali tako, da lahko izdelamo le proizvode brez napak. Metodo Poka – Yoke uporabljamo predvsem v velikoserijski montaži, vendar pa ne more stoodstotno izključiti pojavljanja napak v prihodnje. Ker te metode ni mogoče uporabiti kot temelj novo nastajajočega sistema kakovosti, morajo biti pred tem znane možne napake, npr. z uporabo FMEA-metode. Šele druga faza FMEA, ki pomeni reševanje problemov, lahko vodi do uporabe metode Poka – Yoke.

Razlikujemo enostavno in inteligentno metodo Poka – Yoke. Enostavna metoda pomeni izključevanje napak z mehničnim oblikovanjem ali zmanjševanjem možnosti napak s ponavljanjem enostavnih postopkov. Pri inteligentni metodi pa oblikujemo delovno sredstvo tako, da je sposobno za odločanje, saj na koncu postopka samo preveri pravilnost.

3.3.5 Metoda statističnega nadzora procesa (SPC)

SPC metoda je nepogrešljiva za sodobno proizvodno podjetje, usmerjeno v prihodnost, ki permanentno zvišuje kakovost svojih proizvodov. Podjetje, ki želi uspeti, mora izpolniti kupčeve želje glede optimalne kakovosti. Zanje ni dovolj, da ponujajo proizvode, ki jih izdelujejo po principu izkoriščanja celotne tolerance.

Cilj funkcijsko in procesno orientiranega načrtovanja proizvoda in proizvodnje je proizvajanje v sposobnih in obvladanih procesih. Takšni procesi in zanje primerne metode nadzora zahtevajo premik prej običajne končne kontrole na kraj izdelave ter prispevajo k bistvenemu zmanjšanju potrebnega kontrolnega vložka in izmeta. Zato moramo poznati vse sodelujoče veličine, ki vplivajo na proizvodni proces. Iz množice sistematsko ali naključno delujočih vplivnih veličin je pomembnih pet: človek, stroj, material, metoda, način izdelave in okolje.

Razlikujemo dve osnovni skupini tehnik za statistični nadzor procesa. Prva skupina tehnik proučuje sposobnost stroja in procesa, drugo skupino pa predstavljajo kontrolne karte. Proučevanje sposobnosti stroja in procesa je usmerjeno v prihodnost delovanja stroja in procesa, medtem ko so kontrolne karte usmerjene v trenutni - sedanji potek procesa.

3.3.6 Presoja (audit) kakovosti

Presoja izvira iz finančnega področja. *Your Dictionary* jo definira kot redno pregledovanje, preverjanje računov ali finančnih poročil, ureditev ali uravnavanje računov (Your Dictionary, 2009). Presoja je torej ocenjevanje učinkovitosti sistema zagotavljanja kakovosti ali njegovih elementov. Njena uporaba se je potem razširila na druga področja, kot sta kakovost in okolje. Glavne poteze presoje so primerjanje z zbirko pravil ali standardov učinkovitosti; uporaba postavljenih ocenjevalnih ali merilnih kriterijev; uporaba s strani tretje osebe; povzemanje sklepov o vseh presojanih dejavnostih na osnovi statističnih vzorcev.

V procesu spreminjanja od nekdanjega sortirane nadzornega oddelka k modernemu – to je *preventivnemu, integriranemu vodenju kakovosti*, to je vgrajenem nadzoru sistema zagotavljanja kakovosti, pomembnost presoje kakovosti samo še narašča.

Vedno večje zahteve kupcev oziroma odjemalcev po enovitih sistemih zagotavljanja kakovosti kakor tudi težnje k *manj, ampak kakovostno bolj sposobnim dobaviteljem*, ki so s sporazumom o sistemu kakovosti vezani na odjemalčev sistem, bodo presojo sistema pripeljali do standardnega instrumenta ocenjevanja sposobnosti za kakovost tudi tam, kjer ga sedaj še ni.

Presojo kakovosti lahko izvajamo interno, torej v lastnem obratu in z lastnim osebjem, kakor tudi eksterno, s tujimi presojevalci, ki preverjajo izpolnjevanje zahtev. Vsem presojam je skupno to, da pooblaščen in kvalificirana oseba ali skupina organizirano zbira in ocenjuje informacije o dejanskem stanju objektivno in neposredno ter jih potem primerja z načrtovanim stanjem (Pregrad in Musil 2000, 153).

S presojo naj bi predvsem določili šibka mesta zagotavljanja kakovosti in potrebne ukrepe za izboljšave ter učinkovitost ukrepov izboljšanja. S pomočjo presoje naj bi dosegli in obdržali kakovost izdelkov in storitev na ravni, ki je določena kot cilj. Upoštevati moramo tudi ekonomičnost vseh ukrepov zagotavljanja kakovosti. Presoja je najpomembnejša in najbolj podrobna ocenitev učinkovitosti zagotavljanja kakovosti v organizaciji, ki zahteva relativno veliko pripravljalnega in izvedbenega dela.

Presoja sistema je najbolj razširjena oblika ocenjevanja sistema zagotavljanja kakovosti ali njegovih elementov. Ločimo presojo procesa, presojo postopka in presojo izdelka. Po eni strani obstajajo zahteve standardov in kupcev, po drugi strani pa smo soočeni z dejanskim stanjem. Dvostranska komunikacija med presojevalci in presojanimi kaže skladnost med zahtevami in dejanskim stanjem. Pri tem ima pomembno vlogo dokumentacija sistema kakovosti. K presoji sistema spada predvsem certificiranje sistema zagotavljanja kakovosti po ISO 9000. S pomočjo presoje sistema izvedemo sistematično preizkušanje sistema zagotavljanja kakovosti, kot je (oziroma bi moralo biti) dokumentirano v poslovniku kakovosti, in izvedemo optimiranje sistema glede točnosti/dorečenosti in ekonomičnosti.

S *presojo procesa* verificiramo pravilno izvajanje sprememb. Le-ta nam zagotavlja, da so oprema, dokumentacija, postavitve delovnih mest, delovne razmere, usposobljenost osebja, materiali in drugi dejavniki, ki vplivajo na kakovost, v skladu z zadnjo dokumentirano in odobreno verzijo delovne dokumentacije. Ta mora omogočati optimalno proizvodno ponovljivost proizvoda.

S *presojo postopkov* preizkusimo delovne poteke in tudi celotne postopke glede njihove zanesljivosti in primernosti, preverimo pa tudi doseganje zahtevanih lastnosti in sposobnost kakovosti posameznih faz pri izdelavi izdelka.

Presoja postopka se je poleg presoje izdelka v praksi uveljavila za nadzor rezultatov kakovosti in sposobnosti kakovosti dobaviteljev.

Presoja postopkov se uporablja na področjih, kot so:

- sposobnost kakovosti postopkov,
- nadzor delovnih postopkov,
- odobritev delavcev, delovnih sredstev in metod dela.

Kot osnovna dokumentacija pri tem služijo:

- opisi postopkov,
- opisi naprav,
- standardi,
- navodila za preizkušanje,
- seznam dovoljenih odstopanj,
- katalogi napak.

Prednostna področja uporabe presoje postopkov so predvsem zapleteni procesi ali pa procesi, ki jih s preizkušanjem kakovosti težko neposredno ocenimo s področij:

- obdelave površine in tehnike površin,
- sestave,
- montaže.

Presoja izdelka je v industriji že dolgo uporabljana vrsta presoje, četudi so jo v preteklosti imenovali drugače. Na ta način preverimo učinkovitost elementov kakovosti kot celote, torej učinkovitost sistema zagotavljanja kakovosti. Presoja izdelka je definirana kot trenutni posnetek kakovosti sestavnih delov, sklopov ali celotnih izdelkov po izvršenem končnem nadzoru in je od nje neodvisna. Tako po izdelanem načrtu preverjamo naključno izbrane izdelke, ki jih je končni nadzor odobril kot dobre. Najpomembnejše naloge in metode presoje izdelkov v avtomobilski industriji lahko strnemo v naslednji skupini (Šostar, 2000, 153).

Naloge presoje izdelka:

- informacije menedžmentu o smereh kakovosti in poglavitnih napakah pri izbranem izdelku,
- analiza smeri kakovosti in poglavitnih napak glede na povzročitelja,
- sproženje in nadzorovanje ukrepov za izboljšanje kakovosti v razvoju, načrtovanju in proizvodnji,
- nadzorovanje ekonomičnosti vseh sistemov zagotavljanja kakovosti, tako na področju

razvoja kot proizvodnje.

Metode presoje izdelka:

- naključni nadzor za odpošiljanje pripravljenih agregatov in vozil po podrobnem nadzornem seznamu,
- analitično ovrednotenje rezultatov,
- racionalna obdelava informacij z uporabo računalniškega sistema, po potrebi takojšnja vpeljava in nadzor popravnih ukrepov (sprememba modela, izdelave, presoja postopkov).



Vprašanja in naloge

- Poiščite po en primer invencije, potencialne invencije, inovacije, odkritja in izuma.
- Navedite lasten primer divergentnega in konvergentnega mišljenja. Ali menite, da je vrhunski strokovnjak/specialist lahko ali celo nujno visoko ustvarjalen? Utemeljite svoje mnenje.
- Navedite dve tematiki, na kateri v vašem kraju bivanja že dalj časa neuspešno iščejo odgovor in bi jih lahko reševali z metodo kreiranja idej. Ali menite, da se metode ustvarjalnega razmišljanja dovolj pogosto uporabljajo v slovenskih podjetjih? Kakšne izkušnje ste imeli na tem področju pri dosedanjem opravljanju praktičnega izobraževanja ali drugih oblik dela v podjetjih?
- V Sloveniji deluje več podpornih centrov, ki nudijo razvojno, informacijsko, podjetniško, pravno in finančno podporo tehnično-tehnološkim projektom. Poiščite jih. Kot pomoč so vam na voljo oznake: japti, gov, mg, tp-lj, uip, www.inovativnost.net, tipovej, irc, gzs, uil-sipo.
- Na spletnem naslovu <http://www.isixsigma.com/tt/qfd/> poiščite ustrezen program za izdelavo QFD-matrike. S pomočjo programa izdelajte QFD za konkreten izdelek, ki ste ga spoznali v okviru praktičnega izobraževanja.
- Izdelajte konstrukcijsko ali procesno FMEA analizo izdelka, ki ste ga spoznali pri praktičnem izobraževanju ali v okviru predavanj. Navedite priporočene ukrepe za izboljšanje in njihov vpliv v fazah razvojnega in proizvodnega procesa, s čimer omogočite čim zgodnejšo zviševanje nivoja kakovosti.
- Poiščite na spletnih straneh prispevek o statističnem obvladovanju procesov SPC. Kateri so rezultati analize SPC? Poiščite program SPC Gauss. Kakšne so prednosti uporabe programa SPC Gauss?
- Na spletnem portalu <http://ec.europa.eu/news> poišči informacije s področja inovativnosti in ustvarjalnosti v Evropski uniji.

Povzetek:

Metode za zagotavljanje kakovosti, predstavljene v tem poglavju, temeljijo na spoznanju, da je večina vzrokov za nastanek slabe kakovosti v pripravljalnih fazah proizvodnje. Tako so stroški odpravljanja napak pred začetkom proizvodnje najnižji in naraščajo, ter dosežejo svoj maksimum takrat, ko je izdelek oz. storitev z napako na tržišču oz. v uporabi. Zagotavljanje kakovosti temelji na sistematičnem odkrivanju vzrokov, zaradi katerih slaba kakovost sploh nastaja. Pri metodah zagotavljanja kakovosti se usmerjamo predvsem v »preprečevanje« namesto v »odpravljanje« napak, kar je v skladu z znanim pregovorom »bolje preprečiti kot zdraviti«.

4 SPOSOBNOST IN ZANESLJIVOST PROCESOV

Različnost oziroma variabilnost je dejstvo industrijske proizvodnje. Vsak proces proizvaja proizvode, ki niso med seboj popolnoma enaki. V tem poglavju bomo spoznali, da orodja statističnega nadzora procesa pomagajo spoznati sposobnost stroja ali procesa ter nadzirati potek procesa.

V tem poglavju so predstavljene kontrolne karte, metoda šest sigma ter uporaba indeksa sposobnosti c_{pk} .

Osnovni namen statističnega nadzora procesa je torej preprečiti proizvodnjo neustreznega proizvoda. Razlikujemo dve osnovni skupini orodij statističnega nadzora procesa:

- orodja za proučevanje sposobnosti stroja ali procesa,
- kontrolne karte.

Kakšna je razlika?

Proučevanje sposobnosti strojev je na podlagi podatkov usmerjeno v prihodnost delovanja stroja, medtem ko kontrolne karte omogočajo vpogled v trenutni – tekoči potek procesa.

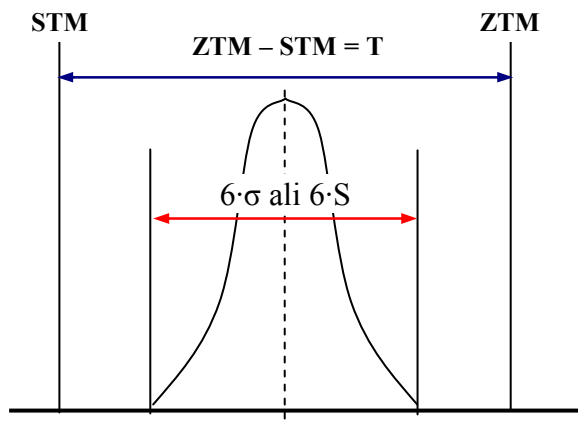
Preden pričnemo z masovno proizvodnjo, je potrebno narediti analizo sposobnosti strojev in procesov, ki bodo vključeni v proizvodne procese. Sposobnost stroja ali procesa ugotavljamo na osnovi pregleda vzorcev proizvodov, ki so bili izdelani na strojih ali procesih, ki jih proučujemo.

Kaj nam omogoča dobro poznavanje strojev in procesov?

Omogoča nam izdelavo napovedi glede obsega variabilnosti procesa in/ali izdelka; odločitev o tem, ali je dobaviteljev proces sposoben dosegati zahtevane mere izdelkov; kateri od strojev je najprimernejši glede zahtevanih toleranc izdelka ...

Proces ne predstavlja le delovanja strojev, ampak tudi z njim povezane operaterje, merilno opremo, postopke proizvodnje, materiale, pogoje okolja, načine preverjanja ... Sposobnost stroja ali procesa in tolerančni meji povezujemo z dvema vprašanjema, ki jih bolj nazorno prikazuje slika 36.

Ali ima stroj/proces zadovoljivo variabilnost glede na zahtevano tolerančno polje? Ali ležijo vrednosti karakteristike kakovosti izven tolerančnih mej zaradi sistematičnih oziroma naključnih napak?



Slika 36: Predstavitev sposobnosti stroja c_m ($6 \cdot S$) in sposobnosti procesa c_p ($6 \cdot \sigma$)

Pod izrazom *statistično obvladovanje procesov* (Statistical Process Control – SPC) večkrat razumemo celotno metodo, to je skupaj s posameznimi elementi. Kot vidimo na sliki 37, spadata med te elemente še:

- raziskovanje sposobnosti procesa (Prozessfähigkeitsuntersuchung – PFU) in
- nadzorovanje procesa s statističnimi nadzornimi kartami (Qualitätsregel-karten – QRK), ki sta zelo sorodni metodi, saj temelji metoda QRK na rezultatih metode PFU, metoda MFU pa je osnova za metodo PFU.

Kaj je metoda PFU?

- Metoda PFU predstavlja analizo vseh v izdelovalnem procesu sodelujočih vplivnih faktorjev glede primernosti za izpolnjevanje zadanih nalog v okviru zahtev kakovosti.

Zakaj uporabiti metodo PFU?

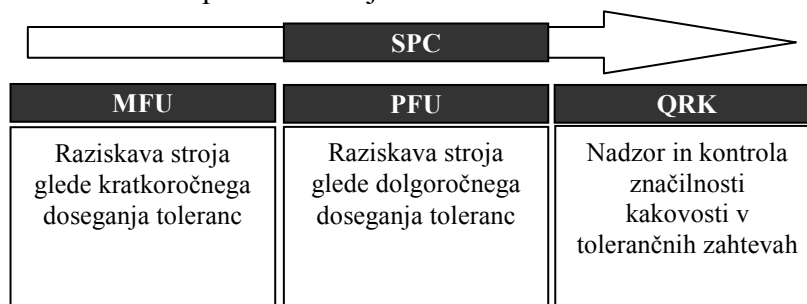
- Metoda PFU omogoča nadzor parametrov procesa glede primernosti za izdelovalno nalogo, izločitev vseh sistematskih vplivov na proces in zmanjševanje stroškov nadzora in napak.

Kaj je metoda MFU?

- Metoda MFU predstavlja kratkotrajno raziskavo strojev ali naprav glede izpolnjevanja podanih zahtev kakovosti za izbrani izdelovalni postopek.

Zakaj uporabiti metodo MFU?

- Metoda MFU omogoča raziskavo stroja ali naprave glede *sposobnosti za kakovost in je hkrati* osnova za tehnični prevzem stroja.



Slika 37: Povezava med metodami SPC, MFU, PFU in QRK

Pri raziskovanju sposobnosti procesa (metoda PFU) zajamemo vse pri procesu sodelujoče parametre in njihov vpliv na izdelek. Čas raziskovanja je bistveno daljši kot pri metodi MFU, ker ocenjujemo tudi smeri procesa.

S procesno analizo torej določimo lastnosti, ki jih moramo v proizvodnem procesu statistično nadzorovati. Lastnosti pa so lahko:

- *merljive*, kot so število izsekanih lukenj v pločevini (diskretna) ali premer brušenega sornika (kontinuirana vrednost). Te lastnosti lahko z metodo SPC neposredno nadziramo.
- *kakovostne*, pri teh moramo šteti izdelke z napako, da jih lahko nato uporabimo kot elemente metode SPC.

4.1 DOLOČANJE STATISTIČNIH VELIKOSTI PROCESA

Osnova statističnega nadzora je naključni nadzor, pri katerem z vzorca dobljene lastnosti prenesemo na celoto. Merjene vrednosti na področju industrije imajo najpogosteje normalno porazdelitev, ki jo imenujemo tudi Gaussova ali zvonasta krivulja. To velja tudi za naključni nadzor, če ne delujejo sistemski vplivi. Sposobnost računamo za stroje in za procese, pri tem pa določamo zmogljivost in sposobnost.

Zmogljivost stroja c_m in zmogljivost stroja c_p primerja trosenje meritev s širino tolerančnega polja na risbi. Razlika med c_m in c_p je odvisna od tega, kako izrazimo vrednosti za standardni odklon: pri sposobnosti stroja c_m izračunamo standardni odklon S na osnovi enega relativno velikega vzorca, medtem ko sposobnost procesa c_p izračunamo na osnovi večjega števila primernih vzorcev, ki podajo dobro oceno vrednosti standardnega odklona σ .

Dejansko sposobnost stroja c_{mk} in dejansko sposobnost procesa c_{pk} izraža razlika med standardnim odklonom povprečne meritve in najbližje ležeče tolerančne meje. Podatki za sposobnost so odvisni od širine tolerančnega polja na risbi. Če imamo izdelke z različnimi tolerancami, moramo določati za vsako tolerančno območje sposobnost procesov in strojev.

4.1.1 Sposobnost procesa

Za določitev sposobnosti procesa kot dolgoročnega obnašanja procesa z naključnimi nihanjem srednje vrednosti zajamemo srednje vrednosti večjega števila posamičnih naključnih preverjanj in jih prikažemo kot normalno porazdelitev. Če obstajajo sistemski vplivi na obnašanje procesa, jih moramo raziskati s preiskavo poteka procesa, da dobimo nato izhodišča za optimiranje procesa. Za ocenjevanje procesa potrebujemo vsaj 125 srednjih vrednosti iz posamičnih naključnih preverjanj obsega $n > 3$ (praviloma $n = 5$).

Analiza sposobnosti procesa predstavlja analizo raztrosa procesa in ali je le-ta znotraj med zgornjo in spodnjo tolerančno mejo. Proces analiziramo med $\pm 3 \cdot \sigma$ od srednje vrednosti procesa, v katerem se nahaja 99,73 % populacije. Potencialna sposobnost c_p je definirana z razmerjem med širino tolerančnega polja ($ZTM - STM$) in $6 \cdot \sigma$ procesa. To je potencialna in teoretična sposobnost procesa, ko srednja vrednost procesa leži točno med ZTM in STM , kar je v praksi skoraj nemogoče (Šostar, 2000, 145).

Stabilen proces lahko predstavimo z mero njegove variabilnosti, ki je šestkratna vrednost standardnega odklona ($6 \cdot \sigma$). Primerjava šestkratne vrednosti standardnega odklona procesa ($6 \cdot \sigma$) z razliko med tolerančnima mejama, je mera sposobnosti procesa c_p po formuli:

$$c_p = \frac{ZTM - STM}{6 \cdot \sigma}$$



kjer je:

- ZTM zgornja tolerančna meja,
- STM spodnja tolerančna meja,
- σ standardni odklon procesa.

c_p ne pokaže, kako dobro se srednja tendenca procesa pokriva z zahtevano nazivno mero procesa, zato uporabljamo izvedenke c_{ps} , c_{pz} , c_{pk} . Pogosto izbrana vrednost za c_p je 1,33. c_{ps} in c_{pz} : enostranska variabilnost procesa – merijo ne samo dejansko variabilnost procesa glede na dovoljeno, ampak tudi lokacijo osrednje tendence procesa.

Kritična ali dejanska sposobnost procesa c_{pk} je definirana z razmerjem oddaljenosti srednje vrednosti procesa od najbližje tolerančne meje (ZTM ali STM) in $3 \cdot \sigma$ procesa. c_{pk} se smatra kot mera sposobnosti procesa in je vedno tista od c_{ps} in c_{pz} , ki ima manjšo vrednost. c_{ps} in c_{pz} izračunamo po naslednjih formulah:

$$c_{ps} = \frac{\bar{x} - STM}{3 \cdot \sigma}$$

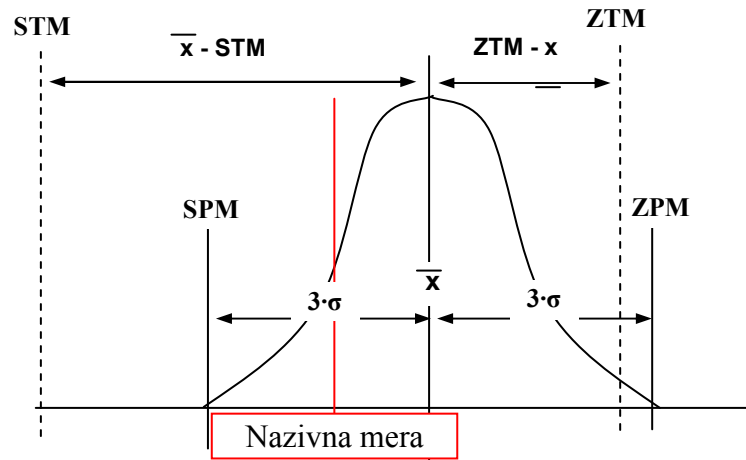
$$c_{pz} = \frac{ZTM - \bar{x}}{3 \cdot \sigma}$$

$$c_{pk} = \min(c_{ps}; c_{pz})$$



c_{pk} pomeni relativni odnos dejanske variabilnosti procesa glede na zahtevano variabilnost procesa. Pove nam, ali je proces načeloma sposoben zagotoviti zahteve, ki so podane s tolerančnima mejama (Marolt in Gomišček, 2005, 257).

Pokazatelji sposobnosti procesa c_{pk} in njegovi izvedenki c_{ps} in c_{pz} so razvidni iz slike 38.



Slika 38: Predstavitev parametrov c_{ps} in c_{pz}
Vir: Prirejeno po Marolt in Gomišček, 2005, 257

4.1.2 Sposobnost stroja

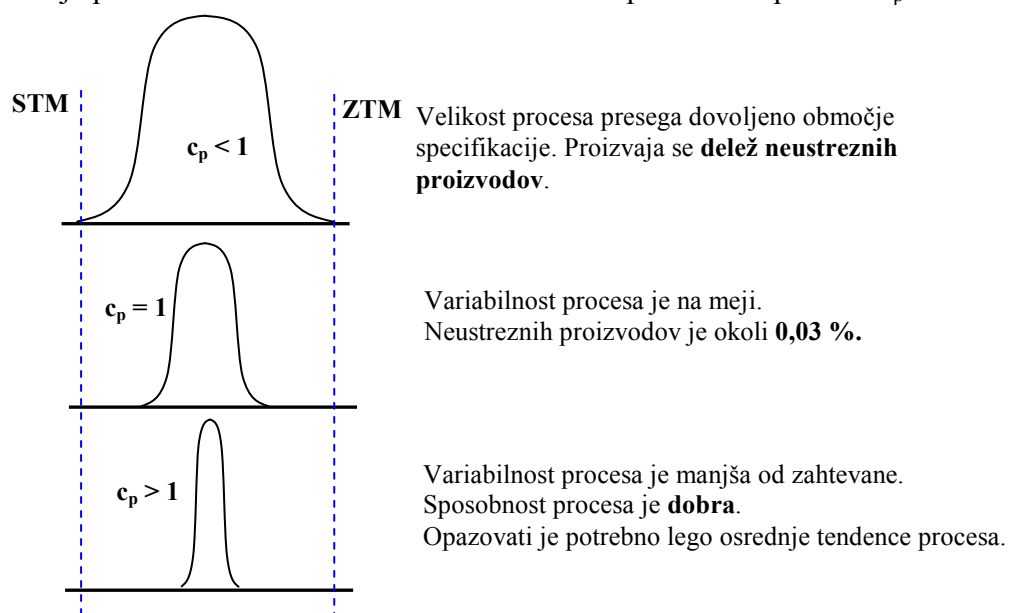
Pri sposobnosti stroja izračunamo standardni odklon S na osnovi enega relativno velikega vzorca po formuli:

$$c_m = \frac{ZTM - STM}{6 \cdot S}$$

Če stroj nima zadovoljive sposobnosti, je praviloma potrebno:

- identificirati vzroke prekomerne variabilnosti in
- izvesti potrebne dejavnosti, da bi se zagotovila zahtevana variabilnost stroja.

Slika 39 prikazuje predstavitev različnih vrednosti za mero sposobnosti procesa c_p .



Slika 39: Predstavitev različnih vrednosti za c_p



Primer 1: Vzemimo operacijo vrtnja v neko jekleno ploščo. Za izvrtino je podana specifikacija premera izvrtine $8,00 \text{ mm} \pm 0,04 \text{ mm}$. Celotno tolerančno območje T je $0,04 \cdot 2 = 0,08 \text{ mm}$. Zahtevamo, da ima obstoječi proces sposobnost $c_p > 1,33$.

Iščemo potrebni standardni odklon procesa, da bo zagotovljena zahtevana sposobnost procesa. Rešitev:

$$c_p = \frac{ZTM - STM}{6 \cdot \sigma} = \frac{T}{6 \cdot \sigma}$$

$$c_p > \frac{0,08}{6 \cdot \sigma} \Rightarrow \sigma \leq \frac{0,08}{6 \cdot 1,33} = \frac{0,08}{7,98} = 0,01 \text{ mm}$$

Iz tega sledi, da mora imeti proces standardni odklon, čigar vrednost ne bo večja od 0,01 mm, da bo zadovoljena izbrana vrednost c_p .



Primer 2: Izračunajmo sposobnost procesa, če so znani naslednji podatki. Specifikacija karakteristike kakovosti je $210 \text{ g} \pm 3 \text{ g}$. Iz analize izmerjenih vrednosti vzorcev dobimo povprečno vrednost $\bar{x} = 212,5 \text{ g}$ ter povprečen razpon med vzorci.

$\bar{R} = 1,2 \text{ g}$. Ustrezne podatke procesa vnesite v diagramu Gaussove normalne porazdelitve. Izračunana standardna deviacija σ znaša 0,516 g.

Rešitev:

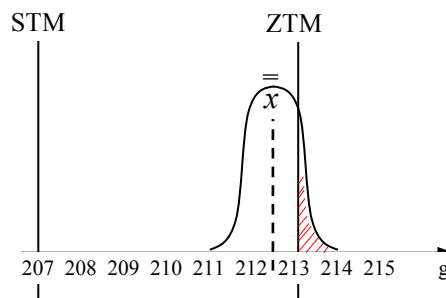
$$c_p = \frac{ZTM - STM}{6 \cdot \sigma} = \frac{213 - 207}{6 \cdot 0,516} = 1,938$$

$$c_{ps} = \frac{\bar{x} - STM}{3 \cdot \sigma} = \frac{212,5 - 207}{3 \cdot 0,516} = 3,553$$

$$c_{pz} = \frac{ZTM - \bar{x}}{3 \cdot \sigma} = \frac{213 - 212,5}{3 \cdot 0,516} = 0,323$$

$$c_{pk} = 0,323$$

Ker je $c_{pk} = c_{pz} \leq 1$, proces proizvaja določen delež neustreznih izdelkov, kar je razvidno tudi v šrafiranem območju, prikazanem na sliki 40.



Slika 40: Grafična predstavitev primera naloge

4.2 STATISTIČNO OBVLADOVANJE PROCESA

Pomembno je, da razlikujemo med sistemskimi in slučajnimi vzroki, zaradi katerih prihaja do napak v proizvodnji. Slučajna odstopanja so v sistemu neločljivo povezana in jih lahko izključimo le z aktivnostmi menedžmenta. Sistemski vzroki ponavadi nastopijo v neenakomernih časovnih presledkih in jih lahko odpravi delavec ali kakšna druga služba.

Proces mora sistemske vzroke odstopanj spoznavati in izključevati, zato uporabljamo statistične nadzorne karte, ki te vzroke odkrivajo, na primer spremembe v surovini,

spremembe v surovcu, lom orodja ali napake neizkušenega delavca. Ponavadi je vzrok za izključitev systemske napake v sposobnosti posameznega delavca.

Če je vzrok za odstopanje slučajen, so potrebne aktivnosti menedžmenta, da se izboljša sposobnost procesa. Ker je proces stabilen, so vzroki v sistemu in jih z enostavno nastavitvijo stroja ali z drugo aktivnostjo delavca ne moremo odpraviti.

4.2.1 Neprekinjeno izboljšanje procesa

Da bi dosegli pozitivne izboljšave, je potrebno neprekinjeno šolanje za vse sodelavce, ki so neposredno vključeni v proizvodni poslovni funkciji. Neprekinjene izboljšave so možne le, če imamo v podjetju razvit celovit sistem zagotavljanja kakovosti (TQM). Za izboljšanje procesa so potrebni trije koraki:

1. odprava odstopanj na osnovi sistemskih vzrokov,
2. nastavitve srednje vrednosti v skladu s ciljem,
3. zmanjšanje odstopanj, katerih vzrok je slučajni.

Predserija

Za nove dele preverimo konstrukcijo in možnosti izdelave s predserijo (ponekod jo imenujemo tudi serija 0). To naredimo zato, da odkrijemo in odpravimo napake pri kakovosti pred začetkom serijske proizvodnje. Študije o možni sposobnosti dajejo proizvajalcu potrebne informacije in tako možnost ocene izvajanja proizvodnega postopka. Izboljšave procesa spremljamo z naslednjimi pokazatelji:

- indeks možne sposobnosti procesa,
- število nadzornih točk, ki ustrezajo zahtevanim tolerancam,
- indeks kakovostne sposobnosti proizvodnega procesa.

Redna proizvodnja

Če se proces izboljšuje, vrednost indeksa c_{pk} raste.

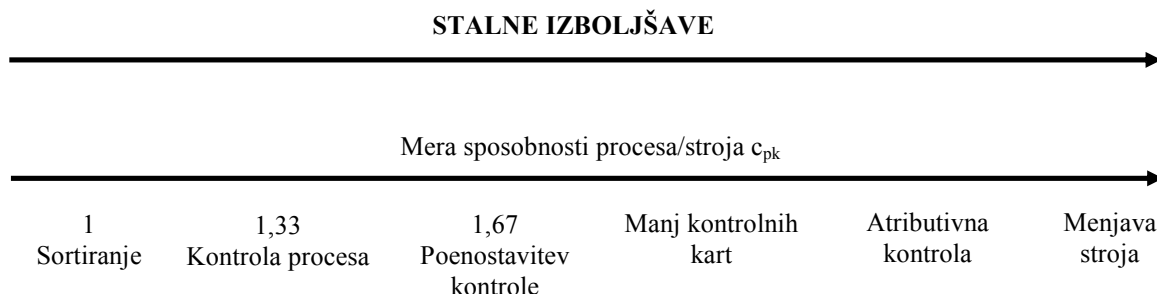
Oživljanje procesa

Če je koeficient $c_{pk} > 1$, proces izpolnjuje specifikacijo. Vendar mora biti za proizvodne namene koeficient $c_{pk} > 1,33$, saj takrat operacije, kot so sortiranje in popravilo, niso potrebne. Dokler je odstopanje v mejah specifikacije, je to še sprejemljivo, ko pa odstopanja presegajo specifikacijo, pričnemo proizvajati pomanjkljive izdelke.

Poenostavljen sistem nadzora

Stalne izboljšave vodijo do višanja koeficienta c_{pk} . Dolgoročno je kakovost izpolnjena in proces je sposoben proizvajati enake izdelke: število kart lahko zmanjšamo.

Nadzorni načrt lahko poenostavimo: pogostost in velikost vzorcev zmanjšamo. Ta korak uvedemo, če je $c_{pk} > 1,67$. Ustrezne ukrepe ob večanju indeksa nam prikazuje slika 41.



Slika 41: Ukrepi ob večanju indeksa

Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 148

Zmanjšanje števila statističnih nadzornih kart

Neprestane izboljšave vodijo do nadaljnje rasti koeficienta c_{pk} . Pri nadaljnem napredku in pri natančnejšem napovedovanju ter večji sposobnosti proizvaja proces enolične izdelke: število kart lahko zmanjšamo.

Karte uporabljamo v izjemnih primerih, na primer pri ugotavljanju potrebe popravila stroja. Na koncu celotnega procesa uporabljamo samo eno nadzorno karto.

Atributivni nadzor lastnosti

Ko dosežemo, da je odklon procesa v daljšem časovnem obdobju stabilen, lahko preidemo na atributivni nadzor.

Zamenjava stroja

Če procesa ne moremo več izboljšati, se tudi koeficient c_{pk} ne povečuje več. Ko stroja ni več mogoče izboljšati, lahko damo zamenjavi stroja prednost pred drugimi metodami, ki bi omogočale izboljšave.

4.2.2 Vpeljevanje metode SPC

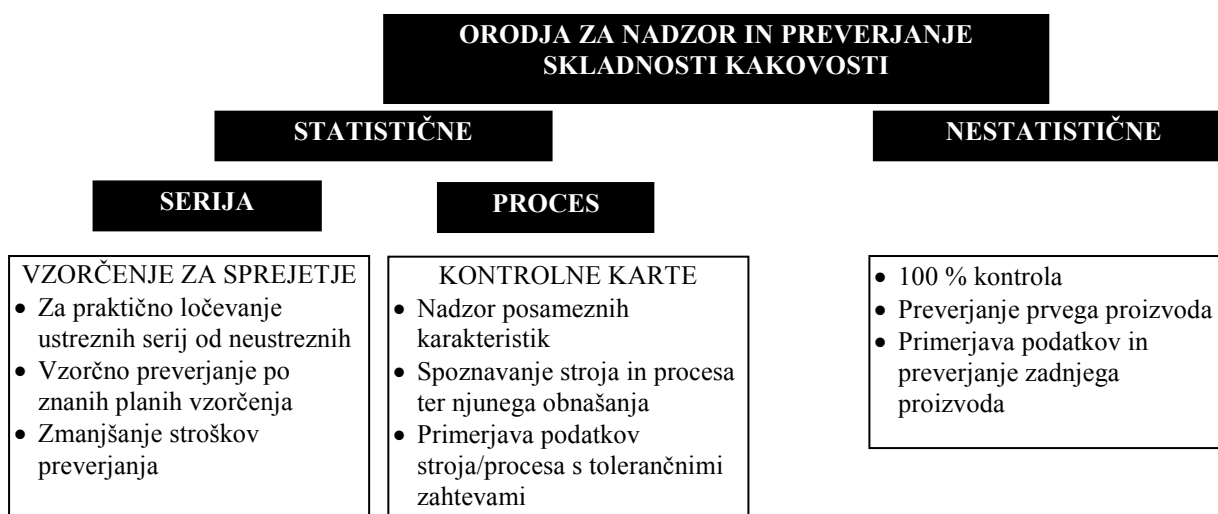
Ko je bila v proizvodnji avtomobilov konec osemdesetih let uvedena metoda SPC, so proizvajalci vozil kmalu zatem tudi od svojih dobaviteljev začeli zahtevati takojšnjo uvedbo te metode. V takih primerih ni bila možna sicer običajna pot novega organiziranja oziroma vlaganj s skrbnimi načrtovalnimi, informacijskimi in odločitvenimi postopki, saj je bila prihodnost podjetja mnogokrat odvisna od velikega odjemalca, ta pa izbire ni dopuščal. V primerih, ko za uvedbo metode SPC še ni prisile, pa je smotrno izvesti prej omenjeni postopek, torej v smislu pravil projektnega vodenja.

Nenehno naraščajoče zahteve po nižanju stroškov in višanju kakovosti so gonilna sila tudi pri izgradnji procesno vodene proizvodnje, pri čemer zajamemo celotno verigo procesa od načrtovanja dela in sredstev preko nabave, nadzora do organizacije metode SPC v proizvodnji. Zelo razširjen program za izvedbo SPC analize je Gauss SPC.

4.3 ORODJA ZA NADZOR IN PREVERJANJE SKLADNOSTI KAKOVOSTI

Na sliki 42 je predstavljen ogled tehnik za nadzor in pregledovanje skladnosti izdelkov. V zvezi z uporabo ene ali druge tehnike preverjanja kakovosti je potrebno omeniti dve načeli:

- te metode naj se uporabljajo samo, če jih pravilno razumejo tisti, ki jih predlagajo;
- statistične metode se uporabljajo ne samo za zmanjšanje stroškov in razbremenitev kontrolorjev, ampak tudi za izboljšanje učinkovitosti proizvodnje in odkrivanje dejanskih vzrokov problemov. Statistične metode naj se uporabljajo, kadar njihova korist presega stroške za njihovo uporabo.



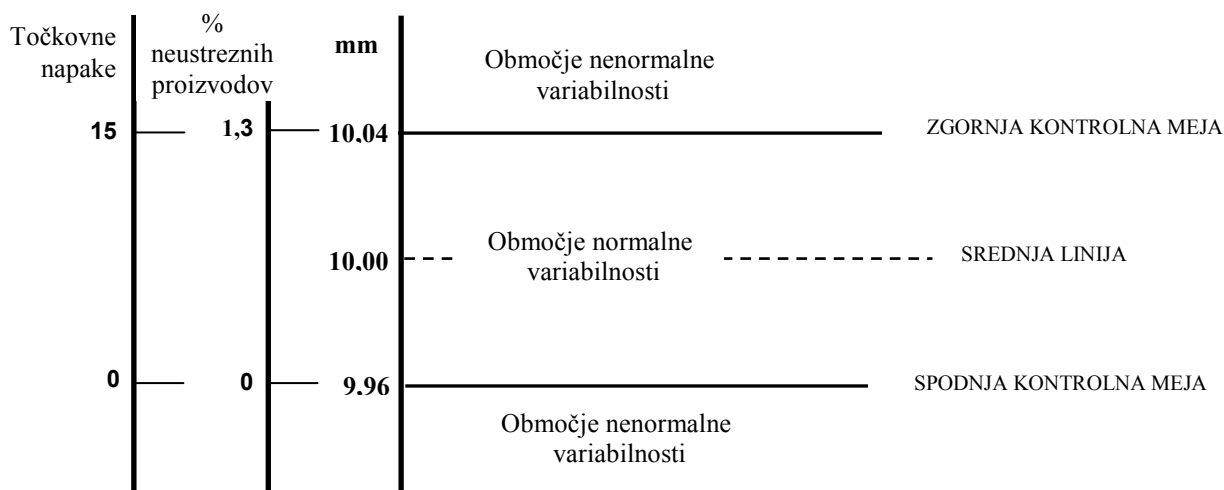
Slika 42: Pristop in orodja za nadzor in preverjanje skladnosti kakovosti

4.3.1 Kontrolne karte

Kontrolne karte temeljijo na načelu, da je vsak industrijski proces izpostavljen variabilnosti zaradi naključnih in sistemskih vzrokov. Naključnih vzrokov je zelo veliko, težko jih je identificirati in povzročajo relativno majhen obseg variabilnosti procesa/stroja. Kadar vplivajo na proces le naključni vzroki, pravimo, da je proces v stanju »statističnega nadzora«.

Sistemske napake povzročajo praviloma večja odstopanja v procesu in jih je lažje identificirati. Kadar vplivajo na proces te napake, pravimo, da proces ni v stanju statističnega nadzora. Sistemske napake naj bi skušali odkriti in odpraviti še pred pričetkom proizvodnje.

Namen uporabe kontrolnih kart je nadzor in izboljšanje procesa s preučevanjem variabilnosti in njenih vzrokov. Pri uporabi kontrolnih kart običajno jemljemo iz procesa vzorce, izračunamo določeno statistiko vzorca in njihove vrednosti primerjamo s srednjo vrednostjo te statistike. Če je ta razlika prevelika, proces ni pod nadzorom. V tem primeru je ena od kontrolnih mej prekoračena. Kontrolni meji sta izračunani na osnovi dejanskih vrednosti, dobljenih z vzorci iz procesa. Kontrolni meji sta postavljeni v oddaljenosti $\pm 3\sigma$ od srednje linije. Zamisel kontrolne karte v grafični obliki vidimo na sliki 43.



Slika 43: Kontrolna karta v grafični obliki
Vir: Prirejeno po: Marolt in Gomišček, 2005, 273

Glede na sposobnost procesa/stroja ločimo dve vrsti napak.

Napaka 1. vrste se zgodi, ko je proces pod nadzorom, vrednosti statistike pa padejo izven kontrolnih meja (pri $\pm 3\sigma$ je ta verjetnost 0,27 % ali skoraj 3-krat v 1000 primerih, če bi izbrali $\pm 4\sigma$, bi bila verjetnost napake le 0,06 %).

Napaka 2. vrste se zgodi, ko je proces v resnici izven nadzora, toda vrednosti statistike ležijo zaradi slučaja znotraj kontrolnih meja.

Praviloma velja, da bodo iztrošeni, slabo vzdrževani stroji, neizkušeni in nekvalificirani delavci, slabši materiali in neustrezni pogoji okolja vplivali na to, da bo območje normalne variabilnosti večje in s tem sposobnost stroja ali procesa manjša.

Uporabnost kontrolnih kart:

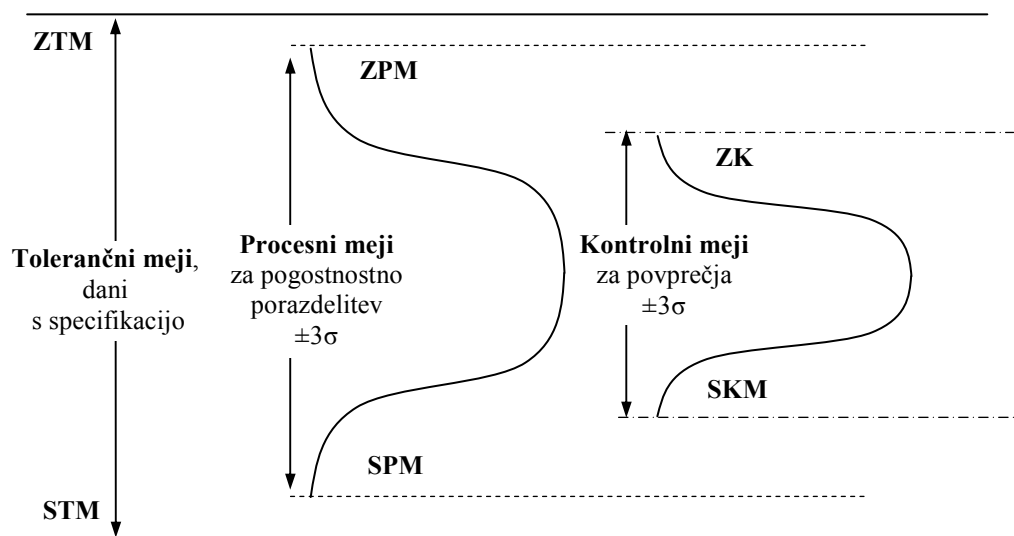
- vir informacij glede na specifikacije in tolerance v proizvodnih procesih, ki napovejo, ali izdelani proizvodi izpolnjujejo zahteve;
- orodje stalnega nadzora, ki pomaga ljudem v proizvodnji in kakovosti, da ugotovijo neustrezna odstopanja in vzroke;
- pomoč pri odločitvah glede sprejetja ali zavrnitve določene serije izdelkov;
- možnost ugotavljanja trendov določenih karakteristik kakovosti;
- možnost za dobro analizo poteka procesa ter ugotavljanje vzrokov variabilnosti.

Kontrolne karte – odnos med tolerančnima, procesnima in kontrolnima mejama

Fizična lokacija kontrolnih mej je izračunana na osnovi statistike vzorca, na primer porazdelitev aritmetičnih sredin vzorcev (\bar{x}) in razponov vzorcev ne pa porazdelitev posameznih vrednosti (x) iz vzorca. Tolerančne meje so določene s specifikacijo proizvoda oziroma določajo sprejemljiv obseg variacije za posamezen proizvod. Kot take se lahko tolerančne meje primerjajo s procesnimi mejami.

Interpretacija kontrolnih mej je podobna kot pri procesnih mejah, vendar je fizična lokacija različna, ker so procesne meje izračunane na osnovi statistike vzorcev.

Procesne meje določamo iz pogostnostne porazdelitve. Velikost vzorca mora biti vsaj 50 proizvodov, kar pomeni velik strošek in veliko časa, da dobimo rezultat. Za bolj učinkovit nadzor procesa je bolje vzeti iz procesa večje število vzorcev in bolj pogostoma, čeprav so vzorci majhni: od 3–5 proizvodov. Idealen odnos med tolerančnima, procesnima in kontrolnima mejama prikazuje slika 44.



Slika 44: Idealen odnos med tolerančnima, procesnima in kontrolnima mejama

Vrste kontrolnih kart

Kontrolne karte delimo glede na vrsto uporabljenih podatkov na dve glavni skupini:

- kontrolne karte za variable in
- kontrolne karte za attribute.

V nadaljevanju bodo predstavljene samo kontrolne karte za variable, kontrolne karte za attribute presegajo vsebino samega učbenika.

Kontrolne karte za variable

Kontrolne karte omogočajo, da vzamemo večje število vzorcev z relativno majhnim številom enot v vzorcu. Namesto da bi nanašali vrednosti vsake posamezne enote iz vzorca, nas zanima le statistika za osrednjo tendenco in za variabilnost posameznega vzorca. Te vrednosti statistik vnašamo na kontrolni karti za variable v dva ločena grafikona. Če za mero osrednje tendence izberemo aritmetično sredino \bar{x} in za mero variabilnosti razpon R , govorimo o $\bar{x}-R$ kontrolni karti, če pa izberemo za mero variabilnosti standardni odklon S , govorimo o $\bar{x}-S$ kontrolni karti.

Izračun kontrolnih mej pri $\bar{x}-R$ kontrolni karti za variable

Osnovno vodilo za izračun kontrolnih mej je $3\cdot\sigma$ glede na srednjo linijo. Če izberemo statistiko \bar{x} kot mero za centralno tendenco in statistiko R kot mero za variabilnost, izračunamo kontrolne meje:

Za graf aritmetičnih sredin \bar{x} sta kontrolni meji:

$$SKM = \bar{\bar{x}} - 3 \cdot \sigma_{\bar{x}}$$

$$SL = \bar{\bar{x}}$$

$$ZKM = \bar{\bar{x}} + 3 \cdot \sigma_{\bar{x}}$$

Za grafikon razponov R sta kontrolni meji:

$$SKM = \bar{\bar{R}} - 3 \cdot \sigma_R$$

$$SL = \bar{\bar{R}}$$

$$ZKM = \bar{\bar{R}} + 3 \cdot \sigma_R,$$

kjer so:

SKM spodnja kontrolna meja,

ZKM zgornja kontrolna meja,

SL srednja linija,

$\bar{\bar{R}}$ povprečni razpon,

$\bar{\bar{x}}$ veliko povprečje - aritmetična sredina aritmetičnih sredin vzorcev,

$\sigma_{\bar{x}}$ standardni odklon aritmetične sredine vzorca,

σ_R standardni odklon razpona vzorca.

S pomočjo prejšnjih formul je računanje kontrolnih mej zamudno in nepraktično, zato obstaja tabela konstant $A_2, A_3, B_3, B_4, D_3, D_4$, s katerimi poenostavimo računanje kontrolnih mej. Glej tabelo 15.

Tabela 15: Konstante za izračun kontrolnih mej in faktor konverzije

Velikost vzorca	Grafikon za povprečja \bar{X}		Grafikon za standardne odklone S		Grafikon za razpone R		Faktor konverzije
	Konstante		Konstante		Konstante		
n	A₂	A₃	B₃	B₄	D₃	D₄	d₂
2	1,880	2,659	0	3,267	0	3,267	1,128
3	1,023	1,954	0	2,568	0	2,574	1,693
4	0,729	1,628	0	2,266	0	2,282	2,059
5	0,577	1,427	0	2,089	0	2,114	2,326
6	0,483	1,287	0,030	1,970	0	2,004	2,534
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	2,704
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	2,847
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	2,970
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	3,078
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744	3,173
12	0,266	0,886	0,354	1,646	0,283	1,717	3,258
13	0,249	0,850	0,382	1,618	0,307	1,693	3,336
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672	3,407
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653	3,472
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637	3,532
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622	3,588
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,392	1,608	3,640
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597	3,689
20	0,180	0,680	0,510	1,490	0,415	1,585	3,735

S pomočjo teh konstant uporabimo formule, ki jih v praksi uporabljamo za izračun mej pri $\bar{x} - R$ in $\bar{x} - S$ kontrolnih kartah. Kontrolni meji pri $\bar{x} - R$ kontrolni karti za oba grafikona izračunamo na sledeč način:

Za graf aritmetičnih sredin \bar{x} sta kontrolni meji:

$$SKM = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

$$SL = \bar{\bar{x}}$$

$$ZKM = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

Za grafikon razponov R sta kontrolni meji:

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

$$SL = \bar{R}$$

$$ZKM = D_4 \cdot \bar{R}$$

Postopek izdelave kontrolne karte z izračunom kontrolnih mej (primer za $\bar{x} - R$ kontrolno karto) je sledeč:

1. Izbor karakteristik kakovosti, ki jo bomo nadzorovali s kontrolno karto.
2. Določitev veličin v zvezi z vzorcem:
 - a) velikost vzorca,
 - b) število vzorcev,
 - c) interval jemanja vzorcev.
3. Izračun statistike za osrednjo tendenco in razpon R za vsak vzorec.
4. Izračun velikega povprečja $\bar{\bar{x}}$ in povprečja \bar{R} iz podatkov vzetih vzorcev.
5. Izračun kontrolnih mej.
6. Analiza vrednosti aritmetičnih sredin in razponov vzorcev z ozirom na izračunane kontrolne meje.
7. Analiza ekonomske sprejemljivosti kontrolnih mej.
8. Uporaba kontrolne karte za nadzor redne proizvodnje.



Primer izdelave kontrolne karte

Proces rezkanja utora na nekem proizvodu želimo nadzirati s pomočjo kontrolne karte.

Do sedaj nimamo še nobenih podatkov o tej operaciji. Pri izdelavi kontrolne karte sledimo prej omenjenim 8 stopnjam:

1. stopnja: Izbira karakteristike kakovosti, ki jo bomo nadzirali pri tem procesu. Za ta proces je najpomembnejša karakteristika kakovosti globina utora. Specifikacija izbrane karakteristike kakovosti – globina utora profila, je podana s specifikacijo $6,35 \pm 0,2$ mm.

2. stopnja: Izbor veličin v zvezi z vzorcem.

Na osnovi podatkov, ki jih imamo o tem procesu/operaciji (število izdelanih profilov na dan, stroški zaradi izmeta neustreznega profila, možnost hitrega poslabšanja procesa, stroški preverjanja, razpoložljivost kontrolorjev in merilne opreme, posebnih zahtev kupca oziroma montaže), smo se odločili za:

a) Velikost vzorca **n**.

Običajno je pri $\bar{x} - R$ kontrolnih kartah velikost vzorca (število proizvodov v vzorcu) $n = 4, 5, 6, 7$. Izberemo velikost vzorca – 4 proizvode (4 proizvodi v vzorcu, $n = 4$).

b) Število vzorcev **g**.

Odločiti se moramo, koliko vzorcev bomo vzeli, saj na osnovi dobljenih podatkov izračunamo kontrolne meje. Čim več bo vzorcev, tem bolj natančno bo predstavljeno dejansko stanje procesa oziroma karakteristike kakovosti. Običajno je g od 25 do 40.

Izberemo 25 vzorcev ($g = 25$).

c) Interval jemanja vzorcev **Iv**.

Predvsem glede na stroške preverjanja in povzročene škode, ko je karakteristika kakovosti izven dovoljenih toleranc, zanesljivosti stroja ter vrste procesa, se odločimo za jemanje vzorca približno vsako uro oziroma 6 vzorcev na izmeno (8 h), ($Iv = 1$ h).

Vzeli bomo torej 25 vzorcev, približno vsako uro en vzorec s štirimi proizvodi in na osnovi teh podatkov izračunali kontrolne meje ter analizirali stanje procesa.

3. stopnja: Izračun aritmetičnih sredin \bar{x} in razponov R za vsak vzorec po tabeli 16.

Izračunamo aritmetične sredine \bar{x} in razpone R za vseh g vzorcev za vsak vzorec posebej in vnesemo njihove vrednosti v oba grafikona, ki sestavljata $\bar{x} - R$ kontrolno karto.

V našem primeru so meritve globine utora prvega vzorca, vzorca štirih proizvodov, imele naslednje vrednosti:

$$x_1 = 6,35 \text{ mm}, x_2 = 6,40 \text{ mm}, x_3 = 6,32 \text{ mm}, x_4 = 6,33 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x}{n} = \frac{25,4}{4} \text{ mm} = 6,35 \text{ mm}$$

$$R_1 = x_{\max} - x_{\min} = 6,40 - 6,32 = 0,08 \text{ mm}$$

Ko izračunamo \bar{x} in R vseh g , tj. 25 vzorcev, vnesemo njihove številčne vrednosti v oba grafikona, te točke medsebojno povežemo in dobimo grafično ponazoritev gibanja vrednosti izbranih statistik v času poteka procesa.

4. stopnja: Izračun velikega povprečja $\bar{\bar{x}}$ (srednje linije) in povprečnega razpona \bar{R} .

Srednjo linijo $\bar{\bar{x}}$ in povprečni razpon \bar{R} izračunamo na naslednji način:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^g \bar{x}_i}{g} = \frac{160,25}{25} = 6,41 \text{ mm} \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^g R_i}{g} = \frac{2,19}{25} = 0,0876 \text{ mm}$$

5. stopnja: Izračun kontrolnih mej.

Za kontrolno karto uporabimo predhodno omenjene formule.

Kontrolni meji za grafikon \bar{x} sta:

$$SKM = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = 6,41 - 0,729 \cdot 0,0876 = 6,35 \text{ mm}$$

$$ZKM = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 6,41 + 0,729 \cdot 0,0876 = 6,47 \text{ mm}$$

Kontrolni meji za grafikon R sta:

$$SKM = D_3 \cdot \bar{R} = 0 \cdot 0,0876 = 0 \text{ mm}$$

$$ZKM = D_4 \cdot \bar{R} = 2,282 \cdot 0,0876 = 0,20 \text{ mm}$$

Vrednosti za konstante A_2 , D_3 in D_4 smo vzeli iz tabele. Izberemo jih v odvisnosti od števila proizvodov v vzorcu (velikosti vzorca), v našem primeru za $n = 4$.

Ko izračunamo kontrolne meje, jih vrišemo v oba grafikona, kot jih prikazuje slika 45.

S 5. stopnjo je tehnični del izdelave kontrolne karte zaključen, ostane pa nam še analitični del.

6. stopnja: Analiza aritmetičnih sredin \bar{x} in razponov R glede na izračunane kontrolne meje. Na tej stopnji pregledamo, ali so vse vrednosti \bar{x} in R znotraj izračunanih kontrolnih mej. Če niso, ugotovimo, kolikšen delež jih je izven kontrolnih mej. Vsak izpad vrednosti statistike je potrebno označiti in razložiti, posebno če numerična vrednost \bar{x} ali R močno prekorači kontrolne meje.

Pri tem se moramo spomniti, da so vrednosti statistike vzorcev znotraj kontrolnih mej le tedaj, kadar na proces vplivajo samo normalni vzroki variabilnosti. Ker izračun kontrolnih mej temelji na zakonih verjetnosti, obstaja verjetnost približno 3 : 1000 – verjetnost napake je 0,27 % (kontrolni meji sta izračunani na načelu $\pm 3\sigma$), da se zgodi napaka I. vrste.

V našem primeru so drugi sistemski – določljivi vzroki povzročili "preboj" kontrolnih mej in vpisali smo jih v kontrolno karto. Kadar prvič določamo kontrolne meje (velja za vse kontrolne karte, kjer so kontrolne meje izračunane po načelu $\pm 3\sigma$), nastopijo trije možni odnosi med vrednostmi statistik vzorcev in kontrolnimi mejami.

Prva možnost

Vse vrednosti statistike (v našem primeru vsi \bar{x} in R) so znotraj kontrolnih mej. V tem primeru je proces pod nadzorom oziroma imamo le območje normalne variabilnosti. V takem primeru gremo na naslednjo, 7. stopnjo.

Druga možnost

Do 15 % (bolj strogo do 10 % ali manj strogo do 20 %) vrednosti statistike je izven kontrolnih mej. Večina industrijskih procesov ni "pod nadzorom", ko prvič računamo kontrolne meje.

V našem primeru (slika) so izven kontrolnih mej v grafikonu \bar{x} vrednosti: pri 4., 9., 16. in 20. vzorcu ter v grafikonu R vrednosti R pri 18. vzorcu. Vzorca 4, 18 in 20 imajo sistemske, določljive vzroke za prekomerno variabilnost, medtem ko za vzorca 9 in 16 tega ne moremo trditi.

Zato lahko rečemo, da sta vrednosti \bar{x} za vzorec 9 in 16 naključno – slučajno izpadli iz kontrolnih mej, čeprav sta del normalne variabilnosti procesa. Vrednosti \bar{x} za 4., 18. in 20. vzorec pa niso del normalne variabilnosti procesa. Ko prvič izračunavamo kontrolne meje, seveda ne smemo vključiti v izračun kontrolnih mej vrednosti, ki niso del normalne variabilnosti procesa.

Zato v našem primeru izločimo vrednosti \bar{x} in R vzorcev 4, 18 in 20 ter ponovimo izračun \bar{x} in R brez vrednosti \bar{x} in R omenjenih treh vzorcev. Tako bi v našem primeru dobili novi številčni vrednosti za \bar{x} in R ter ponovno izračunali kontrolne meje s temi

novimi vrednostmi, ki bi jih uporabili. Praviloma je novo območje med kontrolnima mejama ožje, ker smo izločili vrednosti statistik, ki nenormalno veliko odstopajo od povprečja.

Tretja možnost:

Nad 15 % (bolj strogo nad 10 % ali manj strogo nad 20 %) vrednosti statistike je izven izračunanih kontrolnih mej. To pomeni, da je proces zelo nestabilen in nanj močno vplivajo sistemski, nenormalni vzroki.

V takih primerih:

- kontrolne karte ne smemo uporabljati, ker proces ni "pod nadzorom",
- moramo ugotoviti, zakaj so kontrolne meje tolikokrat prebite (prekoračene), moramo ugotoviti vzroke, ki povzročajo tako velika odstopanja od srednje linije in
- odpraviti ali vsaj zmanjšati njihov vpliv na variabilnost procesa.

Ko smo izvršili predvidene ukrepe izboljšanja in smatramo, da je proces bolj stabilen, ponovimo izračun kontrolnih mej. Primerjava novega odnosa statistik s kontrolnimi mejami nam pove, če smo z izboljšavami uspeli in če lahko pričnemo z uporabo kontrolnih kart za nadzor procesa.

7. stopnja: Analiza ekonomske sprejemljivosti kontrolnih mej.

Proces je praviloma ekonomsko sprejemljiv, če sta procesni meji znotraj tolerančnih mej in ima porazdelitev primerno osrednjo tendenco. Ker so kontrolne meje računane na osnovi porazdelitve statistik vzorca, ne smemo neposredno primerjati tolerančnih s kontrolnimi mejami. Da bi ugotovili procesni meji procesa, za katerega pripravljamo kontrolne karte, upoštevamo odnos med povprečnim razponom in standardnim odklonom σ procesa, iz katerega smo vzeli vzorce za izračun kontrolnih mej. Izračunani povprečni razpon \bar{R} je v direktnem razmerju s standardnim odklonom procesa σ , pod pogojem, da ima proces, iz katerega smo vzeli vzorce, normalno porazdelitev. To razmerje lahko izrazimo s:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad ,$$

kjer je d_2 faktor konverzije (vrednosti za d_2 v odvisnosti od velikosti vzorca so podane v tabeli 16). Uporabimo \bar{R} , ki smo ga že izračunali. Upoštevati moram \bar{R} , ko so vsi R znotraj kontrolnih meja.

Procesni meji $\pm 3\sigma$ izračunamo s pomočjo ocenjene σ :

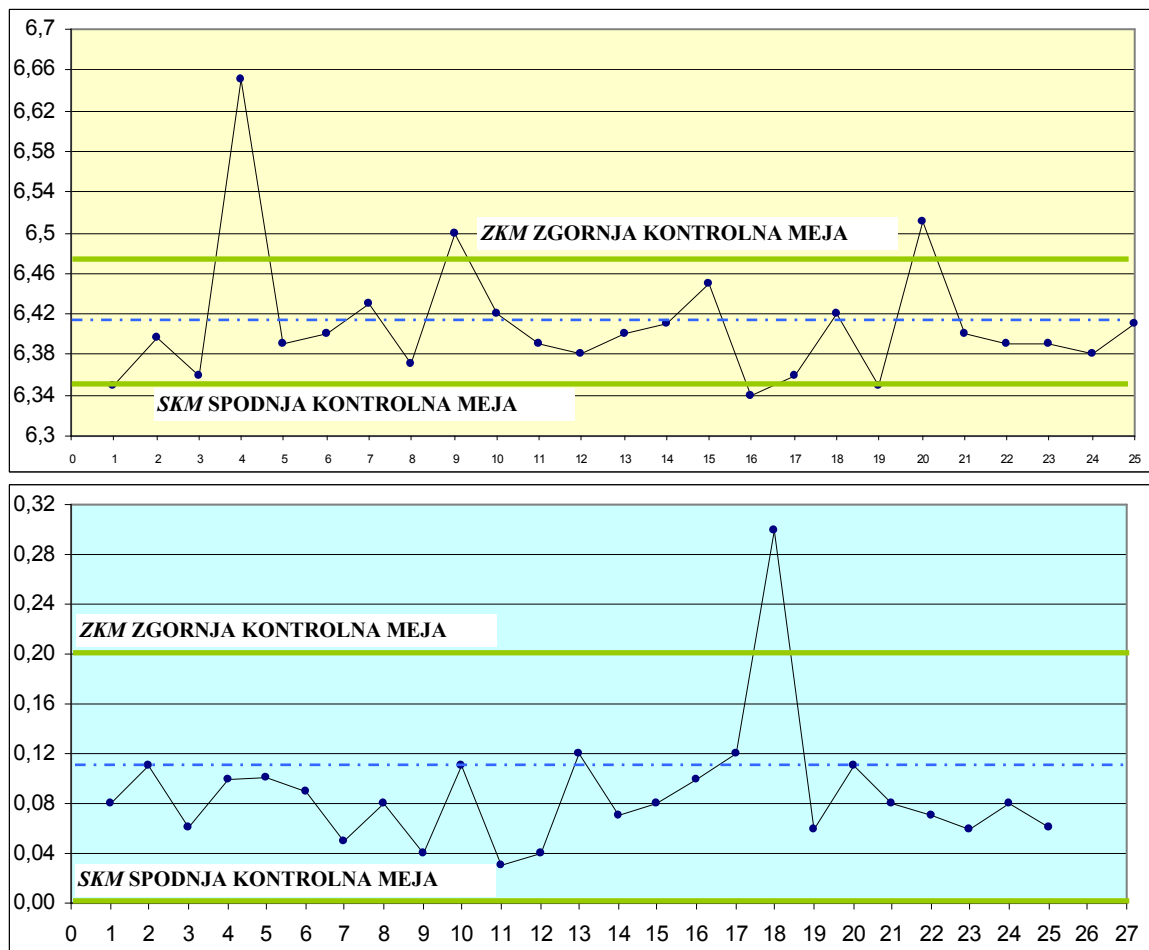
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \Rightarrow 3 \cdot \hat{\sigma} = 3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{3}{d_2} \cdot \bar{R}$$

Vendar tako izračunani procesni meji nista popolnoma točni, če je porazdelitev procesa asimetrična in se ne približa dovolj normalni porazdelitvi. Če sta tako izračunani procesni meji znotraj tolerančnih meja, nas to vodi k sklepanju, da sta kontrolni meji ekonomsko zadovoljivi.

Tabela 16: Število vzorcev 25, v vsakem vzorcu so 4 proizvodi

Številka vzorca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	6,35	6,46	6,34	8,69	6,38	6,42	6,44	6,33	6,48	6,47	6,38	6,37	6,40	6,38	6,50	6,33	6,41	6,38	6,33
2	6,40	6,37	6,40	8,64	6,34	6,41	6,41	6,41	6,52	6,43	6,41	6,37	6,38	6,39	6,42	6,35	6,40	6,44	6,32
3	6,32	6,35	6,34	8,68	6,44	6,43	6,41	6,38	6,49	6,36	6,39	6,41	6,47	6,45	6,43	6,29	6,29	6,28	6,37
4	6,33	6,41	6,36	8,59	6,40	6,34	6,46	6,36	6,51	6,42	6,38	6,37	6,35	6,42	6,45	6,39	6,34	6,58	6,38
Povprečje	6,35	6,4	6,36	6,65	6,39	6,4	6,43	6,37	6,5	6,42	6,39	6,38	6,4	6,41	6,45	6,34	6,36	6,42	6,35
R	0,08	0,11	0,06	0,10	0,10	0,09	0,05	0,08	0,04	0,11	0,03	0,04	0,12	0,07	0,08	0,10	0,12	0,30	0,06

	20	21	22	23	24	25
	6,56	6,38	6,39	6,42	6,43	6,38
	6,55	6,40	6,42	6,39	6,36	6,39
	6,45	6,45	6,40	6,39	6,38	6,44
	6,48	6,37	6,35	6,36	6,35	6,43
	6,51	6,4	6,39	6,39	6,38	6,41
	0,11	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06



Slika 45: Primer \bar{x} – R kontrolne karte

Te vrste izračunavanj se posebno pogosto uporablja v obdobju uvajanja kontrolnih kart. Kasneje, ko imamo že dovolj izkušenj s kontrolnimi kartami in kontrolnimi mejami, lahko brez računanja dokaj točno ugotovimo, ali so kontrolne meje za naše zahteve zadovoljive ali ne. V tej stopnji lahko izvršimo tudi določene namerne popravke kontrolnih mej: eno ali drugo kontrolno mejo namerno premaknemo in s tem izboljšamo ekonomičnost procesa. Vendar za to potrebujemo izkušnje in dovolj podatkov.

8. stopnja: Uporaba kontrolnih mej za nadzor procesa. Če menimo, da so kontrolne meje sprejemljive za naše zahteve, jih uporabimo kot orodje za nadzor procesa oziroma določene karakteristike kakovosti. V kontrolno karto vrišemo kontrolne meje in območje med kontrolnima mejama smatramo za območje normalne oziroma dovoljene variabilnosti karakteristike.

Menimo, da je proces "pod nadzorom", kadar vrednosti statistike (izračunane iz vzorcev, ki so vzeti iz procesa) ležijo med obema kontrolnima mejama. Če pa pride do "prebitja" katerekoli od kontrolnih mej, to pomeni, da nek sistemski, neobičajen vzrok vpliva na proces. Običajno se kmalu po vpeljavi kontrolnih kart za nadzor procesa pokažejo izboljšave. Posebno to velja tam, kjer na proces vpliva predvsem človek. Uvedba nadzora procesa s kontrolno karto nudi operaterju možnost preverjanja lastnega dela, včasih pa je tudi psihološki signal, da bolj skrbi za kakovost procesa oziroma dela, ki ga opravlja.



Vaja 1: Kontrolne karte

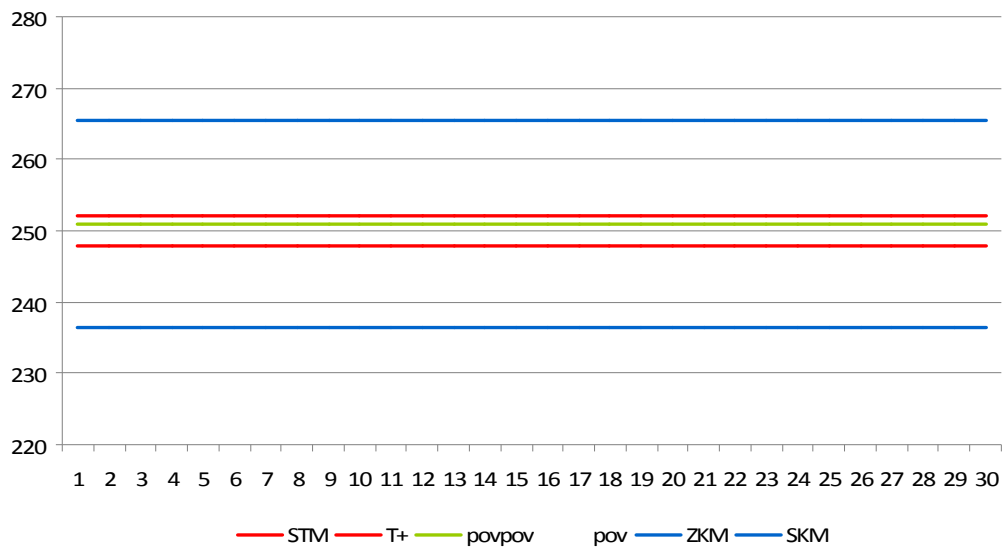
Proces nadzora ključne mere izdelka želimo nadzirati s pomočjo $\bar{x} - R$ kontrolne karte. V tem procesu izdelave je najpomembnejša karakteristika kakovosti razdalja med dvema izvrtinama dveh med seboj privarjenih podsklopov. Specifikacija izbrane karakteristike kakovosti je podana s specifikacijo kupca (250 ± 2) mm. Do sedaj nimamo še nobenih podatkov o tej operaciji, zato smo se odločili za izvedbo meritev 30 naključnih vzorcev. Vsak vzorec, vzet iz populacije, zajema 5 proizvodov, kot kaže tabela 17.

Narišite ustrezne diagrame kontrolnih kart za aritmetično sredino in razpon meritev. Analizirajte rezultate.

Tabela 17: Izvedene meritve

Vzorec	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Meritev 4	Meritev 5
1	245	258	242	245	252
2	228	240	258	241	235
3	221	253	266	236	266
4	256	243	259	246	255
5	247	268	248	245	262
6	240	230	237	237	250
7	250	241	248	251	247
8	257	242	253	260	250
9	259	257	244	243	260
10	272	280	290	245	254
11	280	249	245	224	261
12	250	251	247	236	247
13	241	256	256	259	244
14	242	248	252	260	244
15	245	244	266	241	262
16	247	253	233	252	261
17	253	238	246	271	265
18	248	253	251	253	251
19	249	246	246	246	276
20	280	266	262	280	255
21	271	268	255	235	259
22	255	267	265	239	251
23	251	245	262	239	249
24	240	253	248	246	247
25	254	247	237	246	257
26	221	255	238	257	247
27	237	237	267	235	242
28	247	241	249	244	255
29	266	231	257	249	244
30	280	251	260	253	249

Primer grafikona aritmetičnih sredin prikazuje slika 46.



Slika 46: Primer grafikona za izdelavo kontrolne karte za povprečja aritmetičnih sredin vzorcev



Vaja 2: Kontrolne karte

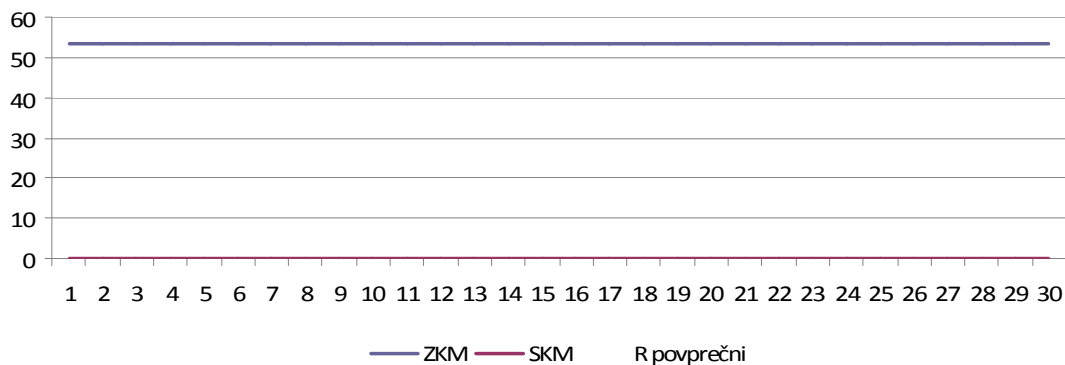
Proces nadzora ključne mere izdelka želimo nadzirati s pomočjo $\bar{x} - \sigma$ kontrolne karte. V tem procesu izdelave je najpomembnejša karakteristika kakovosti razdalja med utorom gredi in pozicijo ležaja. Specifikacija izbrane karakteristike kakovosti je podana s specifikacijo kupca ($50,7 \pm 0,3$) mm. Do sedaj nimamo še nobenih podatkov o tej operaciji, zato smo se odločili za izvedbo meritev 20 naključnih vzorcev. Vsak vzorec, vzet iz populacije, zajema 4 proizvode, kot kaže tabela 18.

Narišite ustrezne diagrame kontrolnih kart za aritmetično sredino in razpon meritev. Analizirajte rezultate.

Tabela 18: Izvedene meritve

Vzorec	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Meritev 4
1	51,00	50,60	50,00	50,90
2	50,80	50,00	50,70	51,20
3	51,00	50,60	50,20	50,10
4	50,40	50,70	50,90	50,40
5	50,10	50,00	50,60	50,70
6	51,10	50,50	50,00	50,40
7	50,30	50,10	51,00	50,60
8	50,50	50,20	50,90	50,80
9	50,10	50,40	50,00	50,50
10	50,10	50,00	50,80	50,50
11	50,30	50,20	50,80	50,50
12	50,60	50,40	50,70	50,40
13	50,30	50,30	50,80	50,80
14	50,60	50,80	50,30	51,20
15	50,50	50,50	50,80	51,10
16	50,70	51,00	50,20	50,40
17	50,50	50,30	50,70	50,30
18	50,40	50,60	50,40	50,80
19	50,50	50,70	50,90	50,50
20	50,50	50,30	50,10	50,60

Primer grafikona za povprečje razponov prikazuje slika 47.



Slika 47: Primer grafikona za izdelavo kontrolne karte za povprečja razponov vzorcev

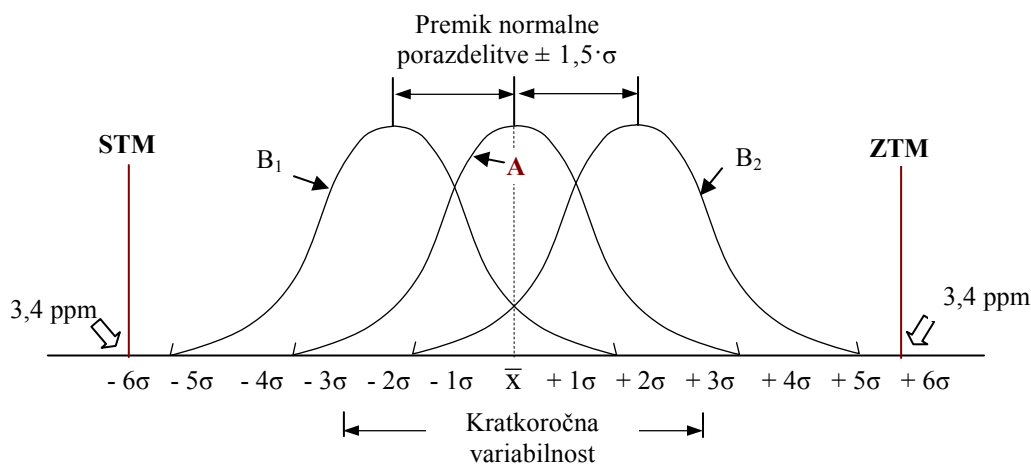
4.3.2 Šest sigma

Izraz šest sigma (6σ) pomeni pristop k reševanju problemov in optimiranju ključnih procesov v organizaciji. Metodologija šest sigma je osredotočena na razumevanje in poznavanje procesov ter na zmanjšanje njihove variabilnosti.

Metodologija šest sigma pomaga zmanjšati razkorak med tem, kaj kupec zahteva in kaj procesi v organizaciji dejansko proizvajajo. Šest sigma pomaga organizacijam, da identificirajo dejanske izvore težav in znižajo stroške, ki ne prispevajo k vrednosti proizvodov. Metodologija ne nadomešča obstoječega sistema vodenja kakovosti, temveč ga dopolnjuje tako, da pripomore k temu, da se organizacije osredotočijo na tiste procese, ki so ključni zanje, njihove zunanje in notranje kupce.

Cilj metodologije šest sigma bi lahko definirali kot odpravo skoraj vseh napak oziroma neustreznih izdelkov ali storitev, in to precej pod dejansko raven, ki danes obstaja v večini organizacij. Številčno izražen cilj metodologije šest sigma je 3,4 napak oziroma neustreznih izdelkov ali storitev na milijon možnosti (kar je običajno označeno kot 3,4 ppm).

Korenine šest sigma izhajajo iz statistike in iz predpostavke, da output večine procesov sledi normalni porazdelitvi. Na sliki 48 krivulja A predstavlja normalno porazdelitev procesa oziroma njegovega parametra, ki ima v krajšem časovnem obdobju centralno tendenco \bar{x} in variabilnost v obsegu od minus do plus tri standardne odklone σ , kjer je mišljen standardni odklon σ za kratko časovno obdobje. Če bi bile tolerančne meje enake procesnim mejam, podanim $s \pm 3 \cdot \sigma$ in če bi bil proces idealno centriran, bi bila verjetnost neustreznega proizvoda oziroma napake 0,27 ali 2700 napak na milijon. V primeru šest sigma načela, bi bila variabilnost procesa le polovica dovoljene variabilnosti, ki je podana s tolerančnim poljem, tj. razliko med zgornjo in spodnjo tolerančno mejo. Če bi proces imel stalno enako vrednost za centralno tendenco, bi 99,9999998 % outputa procesa ustrezalo in bi le 0,002 proizvoda na milijon bila v tem primeru neustrezna.



Slika 48: Statistična osnova za šest sigma

Vendar je potrebno upoštevati, da je velika verjetnost, da se bo vrednost prvotne centralne tendence procesa \bar{x} , v daljšem časovnem obdobju, premaknila za vrednost do $1,5 \cdot \sigma$ na vsako stran, kar predstavljata krivulji B_1 in B_2 na sliki 193. (Premik za $1,5 \cdot \sigma$ je izbran na osnovi ugotovitev iz prakse). Šest sigma metodologija je sprejela tak premik procesa v daljšem obdobju kot nek standard in na njegovi osnovi se izračuna dolgoročno sposobnost procesa, ki temelji na začetni kratkoročni variabilnosti σ . Tako je sposobnost procesa, gledana dolgoročno, ocenjena kot $3,0 \cdot \sigma + 1,5 \cdot \sigma = 4,5 \cdot \sigma$. V tem slučaju meji $\pm 4,5 \cdot \sigma$ ustreza 3,4 napake oziroma neustreznih proizvodov na milijon.

V povprečju imajo organizacije sposobnost procesov nekje med tri in štiri sigma in le relativno malo organizacij dosega 6 sigma ali več. Nivo 3 sigma, ki je prevladoval v zadnjih 50 letih, za večino organizacij ni več sprejemljiv, če želijo doseči odličnost. Schmidt in Finnegan (1992) slikovito prikažeta, kaj pomeni proizvajati ustrezne izdelke ali storitve z 99,9 % verjetnostjo in ob tem proizvajati tudi 0,1 % neustreznih izdelkov ali storitev. Ta 0,1 % neustreznih proizvodov oz. napak pomeni za ZDA:

- 20.000 napačno predpisanih zdravniških receptov na leto,
- 500 neustrezno izvedenih kirurških posegov na mesec,
- 8,6 ure na leto brez električnega toka ali vode,
- 2200 napačno knjiženih čekov v eni uri,
- 2000 izgubljenih poštnih pošilk na uro.



Vprašanja in naloge

- Izračunajte sposobnost procesa, če so znani naslednji podatki: Specifikacija karakteristike kakovosti je $220 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$. Iz analize izmerjenih vrednosti vzorcev dobimo povprečno vrednost $\bar{x} = 211,2 \text{ mm}$ ter povprečen razpon med vzorci $\bar{R} = 2,4 \text{ mm}$. Izračunana standardna deviacija σ znaša $0,885 \text{ mm}$. Ustrezne podatke procesa vnesite v diagramu Gaussove normalne porazdelitve.
- Katere so prednosti uvedbe kontrolnih kart v proizvodnjo? Opišite primer uporabe kontrolnih kart v proizvodnji in njihove rezultate.
- Katera slovenska podjetja so v svoj poslovni sistem uvedla metodo šest sigma 6σ ? Ali ta podjetja dosegajo rezultate, kot jih definira metoda 6σ ?
- Kakšen proces proizvodnje dosega podjetje, če znaša njihov indeks sposobnosti procesa $c_{pk} = -0,95$ in kakšne izdelke izdeluje podjetje, če znaša indeks sposobnosti ključne mere izdelka ($215 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$) $c_{pk} = +1,45$ oziroma $c_{pk} = +1,1$? Prikažite sposobnost procesa ter izdelave izdelka v ustreznem diagramu z Gaussovo porazdelitvijo meritev. Prikažite na diagramu tudi simbolično tolerančne in kontrolne meje.
- Na dveh spletnih naslovih, http://www.barringer1.com/pdf/Process_Reliability_and_Six-Sigma.pdf in <http://www.qualitydigest.com/may00/html/sixsigmapro.html>, si oglejte zelo dobre prispevke s področja sposobnosti in zanesljivosti procesov.
- Kakšna je razlika med sposobnostjo procesa in sposobnostjo stroja?
- Kakšna je razlika med indeksi sposobnosti c_{pk} , c_{ps} , c_{pz} , c_p ?

Povzetek:

Kontrola stane. Procesi, sicer ne vsi, morajo delovati brez 100 % kontrole vsakega posameznega proizvoda. To dosežemo s tem, da zagotovimo ustrezno sposobnost in zanesljivost procesov. Poglavje o sposobnosti in zanesljivosti nam pomaga razumeti, da statistična orodja sama po sebi ne morejo direktno zmanjšati variabilnosti oziroma povečati sposobnosti in zanesljivosti vašega proizvodnega procesa, toda nudijo informacije, ki so zelo pomembne za razumevanje vzrokov prevelike variabilnosti procesa.

5 POSLOVNA ODLIČNOST ZA DOSEGO USTREZNE KAKOVOSTI

Raziskave so pokazale, da je do leta 1995 imelo certifikat ISO 9000 že 40 % angleških podjetij in le 10 % ameriških oziroma 3 % japonskih podjetij. Popolnoma drugačni deleži pa veljajo za koncept TQM, ki se je razvil na Japonskem v 70-ih letih, se razširil v ZDA v 80-ih letih in se pojavil v Evropi šele v 90-ih letih. Kljub različnim potem pa lahko ugotovimo, da se podjetja v ZDA, na Japonskem in v Evropi trudijo pridobiti tako certifikat ISO 9000 kot osvojiti koncept CEOKA (Sun et al., 2004). Peto poglavje na začetku predstavlja primerjavo japonskega in evropskega razumevanja modela TQM, v nadaljevanju pa ocenjevanje podjetij pri uspešnosti uveljavljanja koncepta celovitega obvladovanja kakovosti.

5.1 PRIMERJAVA ZAHODNEGA IN JAPONSKEGA KONCEPTA TQM

Raziskave so pokazale, da ni nekega preprostega recepta za vpeljavo filozofije celovitega obvladovanja kakovosti v prakso. Upoštevati je potrebno namreč razlike med podjetji, njihovo dejavnostjo, organiziranostjo, organizacijsko kulturo in filozofijo ... Kopiranje se je pokazalo za neuspešno že pri ameriškem poskusu prenosa japonskega razumevanja celovitega obvladovanja kakovosti v ameriško gospodarstvo. Med Japonsko in Zahodom so namreč precejšnje razlike v kulturi, družbeni in socialni ureditvi, politiki in podjetniški filozofiji.

V ZDA in Evropi močno poudarjajo profesionalizem in specializacijo, na Japonskem pa širino znanj. Na Zahodu specialista za obvladovanje kakovosti nemudoma zaposlijo v oddelku za obvladovanje kakovosti, kjer prevzame odgovornost za vse zadeve, povezane s kakovostjo. Nasprotno pa na Japonskem inženir najprej dela v različnih oddelkih, da spozna podjetje in šele na koncu lahko pristane v oddelku za obvladovanje kakovosti.

Na Japonskem so oddelki, ki neposredno sodelujejo v poslovnih aktivnostih (trženje, načrtovanje, proizvodnja, nabava ...), relativno močni, medtem ko so strokovne službe, npr. oddelek za obvladovanje kakovosti, relativno šibke. Na Zahodu pa je ravno nasprotno.

Japonska podjetja kupujejo od zunanjih dobaviteljev material v višini 70 % proizvodnih stroškov, zato razvijajo z dobavitelji dobre partnerske odnose in zahtevajo od njih najboljše material, specializacijo na njihovem področju ter izobraževanje na področju obvladovanja kakovosti. Na Zahodu pa podjetja naročajo le okoli 50 % delov od dobaviteljev, vse pogosteje se odločajo za lastno proizvodnjo sestavnih delov, ker dobaviteljem ne zaupajo. Vendar pa majhna proizvodnja ne zagotavlja specializacije, visoke produktivnosti dela in s tem kakovostnih materialov.

5.2 OCENJEVANJE USPEŠNOSTI PODJETIJ

Od 80-ih let 20. stol. naprej sta se v svetu uveljavila dva pristopa obvladovanja kakovosti: standardi ISO 9000 in celovito obvladovanje kakovosti. Zahteve za pridobitev certifikata ISO 9000 so natančno določene, standardi so mednarodno priznani in splošno uporabni. Omogočajo lažjo in bolj objektivno primerjavo ter ocenjevanje podjetij, ki si prizadevajo izboljšati kakovost poslovanja in delovanja. Vendar pa predstavljajo standardi ISO 9000 le minimalne zahteve za doseganje kakovosti. V praksi se je zaradi vse večje globalizacije, povečanja mednarodne trgovine in s tem konkurence pokazala potreba po uvajanju programa celovitega obvladovanja kakovosti. Ker pa je TQM filozofija, ki ni natančno definirana, je bilo potrebno uvesti nek standard, ki bi omogočal ocenjevanje uspešnosti podjetij pri uveljavljanju te filozofije. Večina držav je videla rešitev v uvedbi nacionalnih nagrad za

kakovost, s katerimi so nagradili najbolj uspešna podjetja na področju obvladovanja kakovosti.

V nadaljevanju so na kratko predstavljeni vzroki za uvedbo nacionalnih nagrad za odličnost in glavni kriteriji za pridobitev le-te.

5.2.1 Demingova nagrada – Japonska

Japonska je že v petdesetih letih podelila prvo nagrado za kakovost – Demingovo nagrado. Priznanje dobi podjetje, ki je najbolj uspešno pri uresničevanju PDCA kroga. V okviru posamezne faze se ocenjuje:

- načrtovanje: politika, organiziranost in poslovanje, izobraževanje in kroženje informacij,
- izvedba: dobičkonosnost, obvladovanje stroškov, proces standardizacije, zagotavljanje kontrole,
- preverjanje: rezultat poslovanja,
- ukrepanje: planiranje.

5.2.2 The Malcolm Baldrige National Quality Award – ZDA

ZDA so zaradi vse večjega zaostanka ameriške industrije za japonsko dopolnile japonski model celovitega obvladovanja kakovosti in ga prilagodile ameriškim razmeram. Vlada je spoznala, da je razlog za nižjo gospodarsko rast predvsem slaba kakovost proizvodov. Zato so poskušali tudi s pomočjo kriterijev za pridobitev nagrade za kakovost spodbuditi podjetja k izboljševanju kakovosti in uporabi tehnik celovitega obvladovanja kakovosti. Ameriška nagrada za kakovost se imenuje The Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA), prvič pa so jo podelili leta 1988. Kandidate se ocenjuje po 7-ih kategorijah v okviru 4-ih elementov:

- vodenje,
- organizacija (pretok informacij in analiziranje, strateško planiranje kakovosti, upravljanje in razvoj kadrov, upravljanje procesa razvoja kakovosti),
- merila (kakovost in poslovni rezultati),
- cilji (osredotočenost na kupca in njegovo zadovoljstvo).

5.2.3 European Quality Award – Evropa

Ko so raziskave v devetdesetih letih pokazale, da so evropski proizvajalci daleč za Japonsko in ZDA, se je štirinajst vodilnih evropskih podjetij odločilo za ustanovitev Evropskega sklada za upravljanje kakovosti (EFQM - European Foundation for Quality Management). Naloga sklada je bila razviti pristop ali model, katerega uporaba bo dvignila konkurenčnost tudi v Evropi. Rezultat njihovega prizadevanja je bil model za poslovno odličnost, ki je še danes podlaga evropski nagradi za kakovost (EQA – European Quality Award). Prva nagrada je bila podeljena leta 1992.

5.2.4 Priznanje Republike Slovenije za poslovno odličnost – Slovenija

Z osamosvojitvijo je Slovenija izgubila veliko jugoslovanskega trga in se soočila z zahtevami zahodnoevropskih trgov. Za večjo konkurenčnost slovenskih podjetij na teh trgih je bilo potrebno povečati kakovost proizvodov in postopoma osvojiti koncept celovitega obvladovanja kakovosti. Od leta 1998 imamo tudi v Sloveniji nacionalno priznanje za dosežke na področju odličnosti poslovanja oziroma delovanja, imenovano priznanje Republike Slovenije za poslovno odličnost (PRSPO). PRSPO je osnovano na modelu

odličnosti EFQM in postavlja smernice ter merila po vzoru evropske nagrade za kakovost (http://www.mirs.gov.si/si/delovna_podrocja/prspo/, 20. 03. 2009). Model poslovne odličnosti predstavlja merila, ki se uporabljajo za ocenjevanje, kako neko podjetje napreduje v smeri odličnosti in so razvrščena v "dejavnike" in "rezultate". Posameznemu merilu je pripisano največje mogoče število točk, ki ga lahko dodelimo pri ocenjevanju določenega področja, tako v procesu samoocenjevanja znotraj podjetja kot tudi v procesu ocenjevanja vlog prijaviteljev za priznanje. Model nam pove, da se zadovoljstvo odjemalcev, zadovoljstvo zaposlenih in vpliv na družbo dosežejo z izvajanjem politike in strategije, ravnanjem s sposobnostmi zaposlenih in ravnanjem s partnerstvi, viri ter procesi, kar končno privede do odličnosti v ključnih rezultatih delovanja.

Standardi ISO 9000, modeli poslovne odličnosti in celovito obvladovanje kakovosti naj bi pomagali podjetju izboljšati kakovost proizvodov in omogočili doseganje konkurenčne prednosti. Vsak izmed konceptov ima seveda svoje prednosti in slabosti, med njimi obstajajo neke podobnosti pa tudi razlike. Vendar pa je opazen trend približevanja vseh treh konceptov skupnemu izhodišču. Končni cilj podjetja bi moral biti nenehen napredek in izboljševanje kakovosti, torej osvojitve koncepta celovitega obvladovanja kakovosti. Ker pa je celovito obvladovanje kakovosti v svoji osnovi filozofija in zato precej abstrakten koncept, se je pojavila potreba po bolj konkretnih konceptih. V nadaljevanju so predstavljene prednosti in slabosti posameznih konceptov.

5.3 PREDNOSTI IN SLABOSTI STANDARDOV ISO 9000

Prednosti

Glavne koristi vzpostavljenega sistema vodenja kakovosti po ISO 9001 so: ureditev notranjega poslovanja v podjetju, pregledna organiziranost, opredelitev pristojnosti in odgovornosti, dobra podlaga za sistematizacijo in opis delovnih mest, izboljšanje notranjih komunikacij, podlaga za usposabljanje, dvig zavesti zaposlenih o kakovosti, doseganje skladnosti z zahtevami in pričakovanji odjemalcev in izboljšanju kakovosti ... Standardi ISO 9000 nam postavljajo jasne zahteve, ki jih moramo izpolniti, če želimo pridobiti certifikat. Postopek za pridobitev certifikata je predpisan, pri njegovi odobritvi sodelujejo strokovne institucije. Nič ni prepuščeno naključju in lastni interpretaciji (Potočnik et al., 1996, str. 20).

Slabosti

Pri pridobivanju certifikatov ISO 9000 je veliko birokratizacije. Celoten sistem je potrebno dokumentirati, preveliko število dokumentov in preveč podrobna navodila pa zmanjšujejo motivacijo in ustvarjalnost ter povzročajo nelagodje pri zaposlenih. To slabost so poskušali odpraviti pri tretji izdaji standardov ISO 9000, ki zahteva precej manj dokumentacije, čeprav po mnenju nekaterih še vedno preveč (Sun et al., 2004).

Standardom ISO 9000 primanjkuje tudi fleksibilnosti, saj si mora podjetje prizadevati, da proizvodi ustrezajo vnaprej postavljenim standardom. Prav ta rigidnost pa je včasih ovira za napredek na področju zagotavljanja in obvladovanja kakovosti. Okolje podjetja in pričakovanja potrošnikov se namreč neprestano spreminjajo in zahtevajo hitre prilagoditve. Standardi ISO pa zahtevajo planiranje in dokumentiranje sprememb (Sun et al., 2004).

Standardi ISO 9000 postavljajo minimalne zahteve za kakovost in če želi podjetje doseči boljše poslovne rezultate, si mora prizadevati za nenehen napredek in osvojiti filozofijo celovitega obvladovanja kakovosti. Raziskave so namreč pokazale, da podjetja, ki so pridobila samo certifikat ISO 9000, dolgoročno niso izboljšala poslovnih rezultatov. Vse preveč podjetij se namreč zadovolji s pridobitvijo certifikata ISO 9000 in ga uporablja kot marketinško orodje. Če pa podjetje vidi v pridobitvi certifikata priložnost za izboljšanje delovanja in kakovosti ter okvir za osvojitve koncepta celovitega obvladovanja kakovosti, potem lahko pričakuje zelo dobre poslovne rezultate (Hesham in Curry, 2003, 245).

Slabost standardov ISO 9000 je tudi dejstvo, da se vse preveč podjetij zadovolji z izgradnjo sistema kakovosti – skladnosti s standardi; vsebina, brez katere ni mogoče doseči dejanskih sprememb, pa ostaja ob strani. Vzrok za to je površno razumevanje standardov ISO 9000, zaradi katerega se v neučakanosti za pridobitev certifikata podjetja prilagajajo standardom, namesto da bi standarde prilagodili sebi. Namesto da bi v standardih videli le pripomoček in okvir za iskanje rešitev, ki naj zagotovijo boljšo in zanesljivejšo kakovost ter s tem doseganje boljših poslovnih izidov, verujejo v standarde kot v mehanizem, ki je že sam po sebi zagotovilo za kakovost in uspeh.

5.4 PREDNOSTI IN SLABOSTI CELOVITEGA OBVLADOVANJA KAKOVOSTI

Prednosti

Koncept celovitega obvladovanja kakovosti je širši koncept kot standardi ISO 9000. Zahteva nenehno izboljševanje kakovosti, sodelovanje in zavzetost vseh zaposlenih, od vodstvenih struktur do delavca v proizvodnji. Poudarja tudi usposabljanje in izobraževanje, predvsem pa morajo proizvodni delavci dobiti večje pristojnosti in s tem tudi odgovornost. Delavci tako sodelujejo pri napredku podjetja in so bolj motivirani za izboljšave. Koncept celovitega obvladovanja kakovosti v ospredje postavlja kupca, ki določa, katere lastnosti mora imeti proizvod. Zadovoljitev oziroma celo preseganje kupčevih pričakovanj prinaša podjetju odlične poslovne rezultate.

Slabosti

Največja slabost celovitega obvladovanja kakovosti pa je že večkrat omenjena nedorečenost. Ker gre za precej abstrakten pojem, si ga vsak razlaga po svoje. Tudi strokovna literatura ponuja različne poglede na koncept, vsak avtor poudarja svoj pogled in elemente. Zmedenost vodstev podjetij je še večja, ker ne obstaja priročnik z navodili za implementacijo koncepta v prakso (Petersen, 1999).

Čeprav fleksibilnost ponavadi predstavlja prednost, v primeru koncepta celovitega obvladovanja kakovosti to ne drži. Programi celovitega obvladovanja kakovosti naj bi se prilagajali socio-kulturnem in političnem okolju, podjetje si lahko izbere tiste vidike, ki mu ustrezajo. Rezultat te prevelike fleksibilnosti pa je pomanjkanje neke kontinuitete pristopa k uveljavljanju koncepta. Če določen pristop ne prinese vidnih rezultatov v kratkem času, vodstvo preprosto zamenja pristop in celoten postopek se ponovi, dobri rezultati pa odmikajo. Vodstvo tako izgubi zanimanje in projekt uveljavljanja koncepta celovitega obvladovanja kakovosti pogosto spodleti (Petersen, 1999).

5.5 PREDNOSTI IN SLABOSTI MODELOV POSLOVNE ODLIČNOSTI

Prednosti

Z oblikovanjem modelov poslovne odličnosti, torej nagrad za dosežke na področju kakovosti, je koncept celovitega obvladovanja kakovosti postal bolj jasen in razumljiv. Modeli poslovne odličnosti namreč upoštevajo vse vrednote koncepta celovitega obvladovanja kakovosti in omogočajo podjetju, da samo oceni svoje dosežke pri vgradnji teh vrednot v podjetje. Model lahko uporabljajo vsa podjetja, ne glede na vrsto, dejavnost in velikost (Sun et al., 2004).

Slabosti

Podjetja so začela tekmovati med seboj in si prizadevajo dobiti čim več točk, pozabljajo pa na aktivnosti za dejansko izboljšanje kakovosti. Vodilni v podjetju se namreč pogosto z besedami radi zavzemajo za izboljšanje kakovosti, vendar v resnici ne naredijo ničesar za napredek ali pa celo nezavedno delujejo v nasprotju s svojimi besedami. Modeli poslovne odličnosti tudi premalo poudarjajo uporabo statističnih ter menedžerskih metod in tehnik za izboljšanje kakovosti. Prav ta orodja pa lahko občutno prispevajo k zmanjšanju stroškov in boljšemu poslovnemu rezultatu. Slabost modela poslovne odličnosti bi lahko bilo tudi dejstvo, da se na tekmovanje prijavljajo podjetja sama. Bilo bi bolje, če bi kandidate nominirali kupci, saj na področju kakovosti samo njihovo mnenje nekaj šteje. Nagrado dobi v enem letu le

majhno število kandidatov, v ZDA okrog 40, v Sloveniji pa največ 3. Veliko podjetij zato ni pripravljeno sodelovati v tekmovanju, saj je uspeh težko dosegljiv, sodelovanje na natečaju pa drago. Poleg tega pa nagrada še ne zagotavlja uspeha. Znani so namreč primeri, ko so podjetja po pridobitvi nagrade zašla v finančne težave. Zaradi prevelike vneme po izboljšanju kakovosti so se občutno povečali režijski stroški, kupci pa so zaradi zvišanih cen odpovedovali naročila.

Slabost modela poslovne odličnosti je tudi dejstvo, da nam pove le kaj moramo doseči za izboljšanje kakovosti, ne pove pa nam, kako naj to dosežemo (Sun et al., 2004).

Povzetek:

V zadnjem času se v Sloveniji veliko govori o kakovosti, ki je ključ do uspeha. Število podjetij, ki so pridobila certifikat kakovosti ISO 9000, se iz leta v leto povečuje. Imamo pa tudi že nekaj podjetij, ki so bila uspešna pri implementaciji sistema celovitega obvladovanja kakovosti.

Veliko slovenskih podjetij se na svoji poti k celovitemu obvladovanju kakovosti ustavi že na prvi stopnički. Prepričani so, da je pridobitev certifikata ISO 9000 zadostno zagotovilo, da si podjetje prizadeva za izboljšanje kakovosti. Vendar to ne drži. Standardi ISO 9000 postavljajo minimalne zahteve, ki morajo biti izpolnjene, da se proizvod sploh lahko pojavi na trgu. Mnogo podjetij, predvsem tujih, sklepa posle le s podjetji, ki so pridobila certifikat kakovosti. Ne smemo pa pozabiti, da proizvodi, ki ustrezajo nacionalnim in/ali mednarodnim standardom, še niso nujno kakovostni. To postanejo šele, ko ustrezajo tudi zahtevam in pričakovanjem kupcev.

Končni cilj podjetij mora biti nenehno izboljševanje kakovosti, saj se pričakovanja in zahteve potrošnikov spreminjajo (povečujejo) iz dneva v dan. Proizvod, ki mu danes pripisujemo visoko kakovost, lahko že jutri postane le povprečen proizvod. Če želi podjetje neprestano izboljševati poslovanje, torej ne samo kakovost proizvoda, ampak celotni poslovni proces, mora čim prej osvojiti koncept celovitega obvladovanja kakovosti. Koncept CEOKA temelji na ugotovitvi, da se s kakovostjo splača aktivno ukvarjati, saj nas to stane manj, kot pa so stroški napak ali slabe kakovosti. Kakovosti pa ne moremo obvladovati s kontrolo, ampak z obvladovanjem razvoja proizvodov in obvladovanjem zanesljivosti serijske proizvodnje. Potrebno je odkriti vzroke za napake in jih odpraviti. Pri izboljšavah morajo sodelovati vsi zaposleni, ki pa morajo biti za dobro in kakovostno delo tudi usposobljeni in izobraženi. Zaposlenim moramo pustiti, da mislijo s svojo glavo, razvijajo svoje sposobnosti in kreativnost. Celovito obvladovanje kakovosti zahteva tudi večjo zavzetost in sodelovanje vodstva podjetij, ki mora zaposlene z osebnim zgledom spodbujati k izboljšavam. Z upoštevanem vrednot in načel celovitega obvladovanja kakovosti bomo izboljšali poslovne rezultate, pa tudi odnose s poslovnimi partnerji, potrošniki, zaposlenimi in družbo nasploh.



Vprašanja in naloge

- Katera slovenska podjetja so že prejela priznanje RS za poslovno uspešnost (PRSPO)? Naštete vsaj 3.
- Na spletnih straneh poiščite posamezna podjetja in strokovne članke podjetij, ki so si priborila nagrado EFQM, EQA, MBNQA in Demingovo nagrado za poslovno odličnost.
- Na spletni strani <http://ww1.efqm.org/en/pdfresources/> poišči vsa slovenska podjetja, ki so si priborila nagrado EFQM.

6 LITERATURA

- Breyfogle, F., et al. *Managing six sigma*. New York: John Wiley&Sons, 2001.
- Crosby, P. *Kakovost je zastonj – umetnost zagotavljanja kakovosti*. Ljubljana: Gospodarski vestnik, 1990.
- Crosby, P. *The eternally successful organisation*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988.
- Dolinšek, S. in Rozman, R. *Management proizvodjanja*. Koper: Fakulteta za management, 2006. ISBN 961–6573–26–8.
- Dulc, J. *Kaj je kakovost – avtorjeva definicija* (online). 2006. (citirano 17. 4. 2006). Dostopno na naslovu: <http://www.janezdulc.com/teksti/Kakovost.html>.
- Fakulteta za strojništvo. *Meroslovje – slovarček pogostejših izrazov v meroslovju* (online). 2008. (citirano 5. 11. 2008). Dostopno na naslovu: <http://www.lakos.fs.uni-lj.si/lakos/dodiplomski/dokumenti/meroslovjeslovarceklocked.doc>.
- Geršak, G. *Merilna negotovost za začetnike*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2006.
- Grant, E. *Statistical quality control*. London: McGraw-Hill, 1985.
- Hesham, M. in Curry, A. ISO 9000 and TQM: are they complementary or contradictory to each other? *The TQM Magazine*: MCB University Press, 2003, 4, 244–256.
- Ishikawa, K. *Kako celovito obvladati kakovost – japonska pot*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1989.
- Kač, D. *Integrirano obvladovanje kakovosti*. Ljubljana: Obrtnik, 2004.
- Kastelic, A. *Optimizacija procesa izdelave izdelka W95 po metodi Taguchi v podjetju Kolektor, d. o. o.* Postojna: ŠCP, 2008.
- Komidar, N. in Ovsec, I. *Witte pokrov in ohišje*. Seminarska naloga. Postojna: ŠCP, 2008.
- Krüger, V. Main schools of TQM: the big five. *The TQM Magazine*, MCB University Press, 2001, 3, 146–155.
- Langerholc, M. *Celovito upravljanje kakovosti kot temelj za uspešno poslovanje podjetja*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1996.
- Likar, B. *Inoviranje*. Koper: Visoka šola za management, 1998.
- Likar, B., et al. *Management inoviranj*. Koper: Fakulteta za management, 2006. ISBN 961–6573–28–4.
- Markič, M. in Pucer, A. *Management proizvodjanja – gradiva za vaje*. Koper: Visoka šola za management, 2001.

- Marolt, J., in Gomišček, B. *Management kakovosti*. Kranj: Moderna organizacija, 2005. ISBN 961–232–174–4.
- Mohorič, A. *Uvod v meritve*. Ljubljana: Fakulteta za matematiko in fiziko, 2004.
- Oakland, J. *Total quality management*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.
- Pečjak, V. *Poti do idej*. Ljubljana: Samozaložba, 1989.
- Peljhan, J. *Uporaba celovitega obvladovanja kakovosti v slovenskih podjetjih – izsledki empirične raziskave*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2003.
- Petersen, B. Total quality management and the Deming approach to quality management. *Journal of Management History*, MCB University Press, 1999, 468–488.
- Pregrad, B. in Musil, V. *Proizvodi - tehnologija, kakovost in varstvo okolja*. Maribor: Ekonomsko poslovna fakulteta, 2000.
- Polajnar, A., et al. *Organizacija proizvodnje*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2002. ISBN 86–435–0470–X.
- Potočnik, E. et al. *ISO 9001 – iz teorije v prakso*. Ljubljana: Taxus, 1996.
- Rusjan, B. *Management proizvodnje*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1999.
- SIQ. *ISO 9001 Sistemi vodenja kakovosti* (online). 2009. (citirano 15. 1. 2009). Dostopno na naslovu: http://www.siq.si/Sistemi_vodenja_kakovosti.759.0.html.
- Shiba, S., et al. *A new American TQM*. Portland: Productivity Press, 1993.
- Six Sigma. Quality Function Deployment (QFD) – House of Quality (online). 2009. (citirano 15. 1. 2009). Dostopno na naslovu: <http://www.isixsigma.com/tt/qfd/>.
- Slovenski inštitut za standardizacijo. *Standard SIST ISO 9000 – Napotki za procesni pristop v sistemu vodenja kakovosti* (online), 2003. (citirano 12. 10. 2008). Dostopno na naslovu: http://www.sist.si/slo/g3/napotki_pristop.pdf.
- Sun, H. et al. The trajectory of implementing ISO 9000 standards versus total quality management in Western Europe. *International Journal of Quality & Reliability Management*, MCB University Press, 2004, 131–153.
- Šostar, A. *Management kakovosti*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2000. ISBN 86–435–0345–2.
- Uršič, D. *Zapiski za management kakovosti*. Maribor: Ekonomsko–poslovna fakulteta, 2002.
- Visoka šola za upravljanje in poslovanje. *II. Statistika* (online), 2007. (citirano 20. 03. 2009) Dostopno na naslovu: <http://www.visoka-sola.com/pripone/Stud-S->
- Your Dictionary. *Audit definition* (online). 2009. (citirano 10. 1. 2009). Dostopno na naslovu: <http://www.yourdictionary.com/audit>.

Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Konzorcijski partnerji:



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

