

## Metódy štatistického hodnotenia kvality - SPC

L'ubica Floreková<sup>1</sup>

### The statistical process control methods - SPC

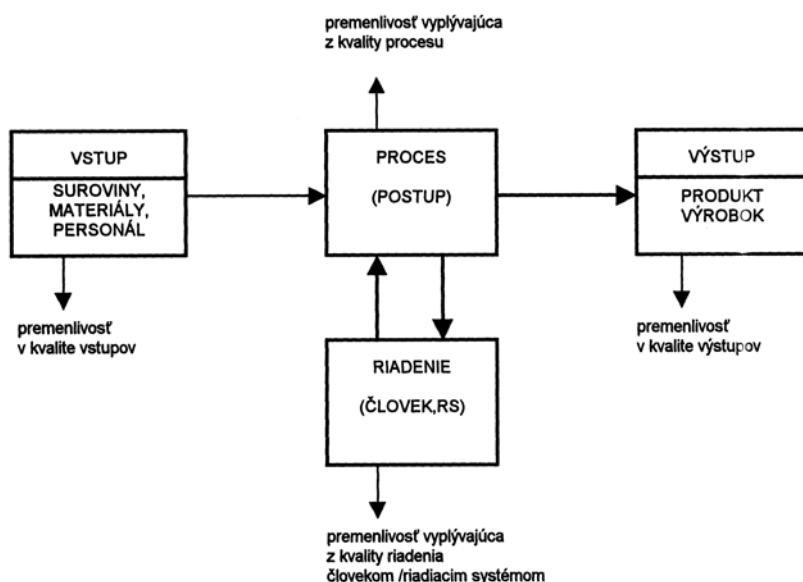
Methods of statistical evaluation of quality – SPC (item 20 of the documentation system of quality control of ISO norm, series 900) of various processes, products and services belong amongst basic qualitative methods that enable us to analyse and compare data pertaining to various quantitative parameters. Also they enable, based on the latter, to propose suitable interventions with the aim of improving these processes, products and services. Theoretical basis and applicability of the principles of the:

- diagnostics of a cause and effects,
  - Paret analysis and Lorentz curve,
  - number distribution and frequency curves of random variable distribution,
  - Shewhart regulation charts,
- are presented in the contribution.

**Key words:** Methods of Statistical Process Control, Ishikawa Cause and Effect Diagram, Histogram, Frequency Distribution, Pareto chart, Lorentz curve, Shewhart Control Chart, Capability Process Indices, Concept of Variability.

### Úvod do problematiky

Princíp kontroly zabezpečenia kvality vo výrobných /nevýrobných systémoch/procesoch/ postupoch a miesta vzniku variability rôznych premenných môžeme znázorniť nasledovne, obr.č.1.



Obr.1. Vzájomný vzťah vstup - proces - výstup v systéme zabezpečovania kvality.

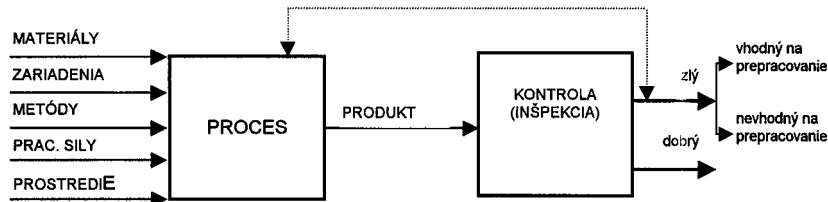
Je zrejmé, že pre zistenie „problémových“ uzlov, v ktorých sa vyskytuje určitá miera variability (a ich odstránenie), treba spoznať premenné, ktoré túto variabilitu spôsobujú, zistiť ich merateľné atribúty, zabezpečiť vhodné meracie zariadenia / prístroje, pripraviť kvalifikovanú obsluhu a tak získať reprezentatívne výsledky meraní. Ich vyhodnotenie, analýza a závery z nej, umožňujú stanoviť štandardy / normy, ktoré je na jednej

strane potrebné dodržiavať, kontrolovať, na strane druhej postupne optimalizovať, aby zabezpečili štatisticky zvládnutý a stabilný výrobný proces, resp. neustále zlepšovanie kvality produkcie pri znižovaní nákladov na ňu, resp. pri znižovaní cien za túto produkciu. Celá táto problematika v systéme riadenia kvality - SRQ patrí do oblasti štatistických metód pre zabezpečovanie kvality - Statistical Process Control - SPC.

<sup>1</sup> Doc.Ing. L'ubica Floreková, CSc. Katedra riadenia výrobných procesov Fakulty BERG Technickej univerzity, 040 02 Košice, Boženy Němcovej 3  
(Recenzenti: Doc.Ing. Vladimír Penjak, CSc. a Ing. Marta Benková, CSc. Revidovaná verzia doručená 11.3.1998)

V sérii noriem ISO STN - QSM (Quality System Management) sem patria najmä 9004-4-SPC, 8258, 2859, 7870, 7873, 7966, v zozname dokumentácie kvality je to prvok 20 : Štatistické metódy - Príručka kvality.

Pri „reťazení súvislostí“ v každom procese je dôležité odlišiť od seba dve fázy kontroly kvality: objavenia (zistenia) problému - detection a predchádzania problému - prevention a rozhodnúť sa, ktorý prístup k zabezpečovaniu kvality produkcie zvolíme.

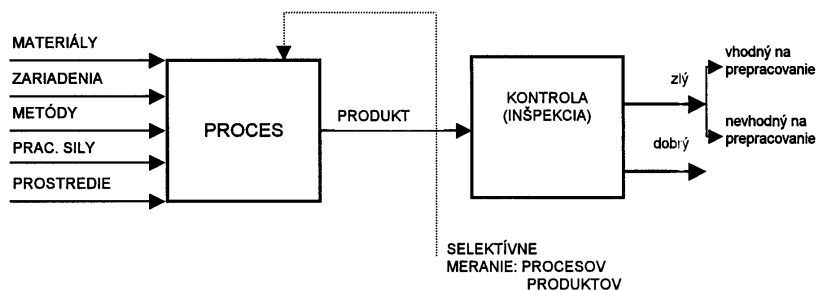


Obr.2. Fáza detekcie problému v procesoch.

Fáza detekcie a následného zásahu, teda princíp zabezpečenia a kontroly kvality na konci príslušného cyklu, off-line, je príliš dlhá, nákladná (Feigenbaum, 1992 - „hidden plant“ - „slepý podnik“).

Tento tradičný prístup ku kvalite je blokovo zobrazený obr.č.2.

Fáza prevencie spočíva v budovaní kvality priebežne, v zodpovednosti za ňu v súvislosti s celým výrobným procesom, (pracovným postupom), nákladmi na produkciu, keď všetky priebežné procesy sú „vlastníkmi“ kvality (Hoffer, 1985; Wettach, 1985), v prístupe on-line. Tento súčasný prístup ku kvalite je znázornený na obr.č.3. (Poznámka: obr.č.2 a 3 sú upravené z (Hoffer et al., 1985)).



Obr.3. Fáza prevencie problému v procesoch.

Je zrejmé, že v dnešnej dobe je potrebné jednoznačne preferovať preventívny prístup ku kvalite, ktorý v sebe zahŕňa aj prístup detekčný. Poznámam, že

aj tradičný detekčný prístup má u niektorých procesov svoje opodstatnenie.

Metódy SPC sú použiteľné všeobecne, závisí na type procesov, kedy ktorej fáze dať prednosť.

Častokrát vznikajú isté zábrany pri používaní metód napriek tomu, že sú veľmi jednoduché, názorne podporujú ich vizuálne prezentácie, matematicky nie sú náročné a pri pohodlnej interpretácii majú vysoký informačný obsah. Tieto problémy veľmi dobre vystihol Pitt (1992), keď prispôbil nielen obsah, ale aj názov svojej publikácie: „SPC pre zvyšok z nás“, účelu, spropagovať tieto metódy a priviesť viac ľudí k ich využitiu.

To, čo bolo cieľom (Pitt, 1992), je v zásade aj cieľom tohoto príspevku o metódach SPC:

- vzbudiť záujem o aktívne využívanie metód,
- odstrániť bariéry ich širšieho používania,
- sprístupniť teoretický základ pre pochopenie princípov metód,
- identifikovať oblasti novej aplikácie metód,
- napomôcť rozvoju osobných zručností, práce s metódami.

Existuje niekoľko rôznych prístupov ku kategorizácii metód SPC. Spravidla sa členia na tzv. 7 starých metód (vývojové diagramy, diagramy príčiny a následku, Pareto analýza s Lorentzovou krivkou, záznamy - tabuľky dát, histogramy početností, regulačné diagramy, diagramy bodové - korelačné), používaných pri bežnej analýze a hodnotení kvality a 7 nových metód (diagram afinity - príbuznosti, diagram interakcií, stromový diagram, maticový diagram, maticová - faktorová analýza dát, rozhodovacie procesné diagramy, sieťové diagramy), používaných v procese rozvoja funkcií kvality - Quality Function Deployment - QFD, resp. pri tvorbe tzv. domu kvality- House of Quality - H.Q. Druhá kategorizácia je na tzv I.generáciu – základnú úroveň, čo je vlastne 7 starých metód, II.generáciu – strednú úroveň (štatistické rozdelenie, intervaly spoľahlivosti, odhady, analýza rozptylu, regresná a korelačná analýza, plánované experimenty, hodnotenie spoľahlivosti) a III.generáciu – hornú úroveň (kombinované metódy, mnohofaktorová analýza rozptylu, analýza časových radov, periodogramy, frekvenčná analýza, senzorické metódy).

Zmyslom certifikácie podľa noriem ISO série 9000 je také využívanie metód SPC, ktoré umožní zisťovanie príčin variability premenných, jej vyhodnocovanie, dodržiavanie, resp. zvyšovanie kvality produkcie, presnosti a spoľahlivosti sústavne a systematicky. Tento istý princíp permanentnosti a systematickosti využíva aj integrovaný systém úplného riadenia kvality - Total Quality Management

- TQM. Spôsoby zmysluplného využívania metód SPC musia byť súčasťou všetkých piatich podsystémov TQM : procesy, štruktúry, technológie, personál, úlohy, ktoré sú na sebe navzájom závislé a zohľadňujú centrálnu pozíciu zákazníka v tzv. 5P oblastiach (product, production, process, people, plant).

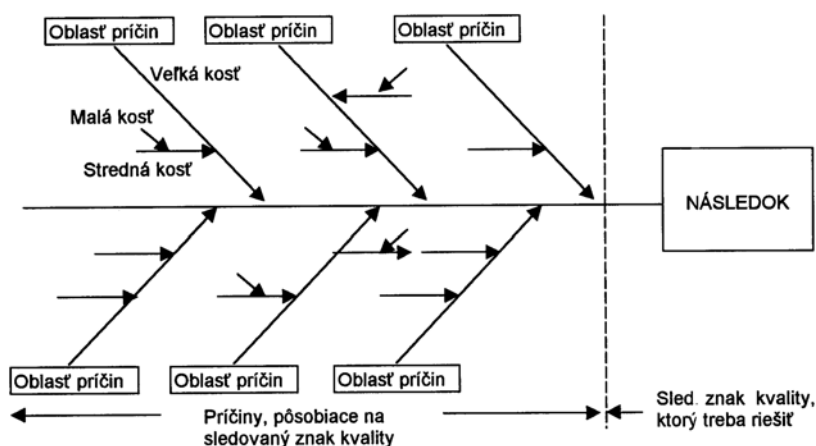
Pre praktickú širokú aplikáciu sú z uvedených metód SPC najviac používané štyri, a to:

1. - Diagnostika príčiny a následku,
2. - Pareto princíp a Lorentzova krivka,
3. - Histogramy početností a frekvenčná krivka rozdelenia,
4. - Regulačné (Shewhartove) diagramy, ktoré sa výhodne spájajú do tzv. systému

CEDAC - Cause Effect Diagram with Addition Charts.

### Diagnostika príčiny a následku

Cause - Effect, C-E diagnostika, býva často úvodnou metódou analýzy nedodržania požadovanej - normovanej kvality produkcie (výrobku, služby). Vychádza z Ishikawowho (1976) prístupu (Ishikawa, 1985), t.j. zo sledovania prechodu, postupnosti jednotlivých činností či už výrobnými, alebo nevýrobnými systémami. Táto postupnosť a technologická logika sa zobrazuje v diagrame tzv. rybacej chrbtice (fishbone), zakresľovaním hlavných, vedľajších a elementárnych vplyvov, ktoré sú v daných oblastiach pre kvalitu vznikajúceho produktu rozhodujúce. Táto postupnosť je veľmi užitočným analytickým nástrojom pre určenie uzlov merania a merateľných parametrov v nich. C-E diagram sa odporúča vypracovávať ako podklad tak pre individuálne použitie, ale aj pre expertnú skupinovú analýzu, pre brainstorming, ap. Jeho základná štruktúra je na obr.č.4.



Obr.4. Všeobecná štruktúra C-E diagramu.

Ishikawa rozdelil oblasti príčin do tzv. 5M skupín: Materials, Machines (Equipments), Methods, Measurements, Men, (Manpower). Dnes sa však používa zväčša tzv. 7M skupín, k pôvodným oblastiam sa pridáva – Management a Environment.

Toto členenie oblastí je pôvodne orientované na výrobné systémy, je ale zrej-

mé, že pre nevýrobné systémy je bez problémov možné vytvoriť si iné vhodné oblasti príčin.

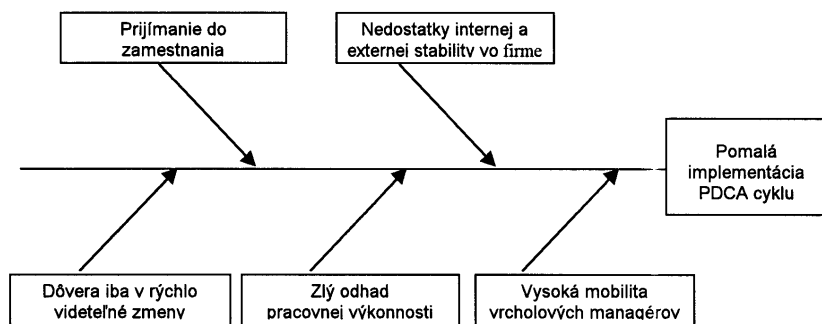
Do jednotlivých skupín príčin sa, podľa typu analyzovaného systému, zaraďujú spravidla príčiny, vytvárajúce podskupiny-stredné kosti a detaily-malé kosti. Takéto členenie môže byť napr.:

- **Materials:** suroviny, zdroje, energie, polotovary - pri výrobných procesoch, typy, druhy dodávok - pri obchodných, distribučných procesoch, dokumenty, informačné zdroje - pri nevýrobných procesoch, resp. pri službách nehmotného typu.
- **Machines:** stroje, zariadenia, výrobné linky (konštrukcia, údržba), dopravné zariadenia, sklady, komunikačné prostriedky, informačné technológie.
- **Methods:** technologické/výrobné/servisné procesy a postupy, automatizácia, ovládanie.
- **Measurements:** prístroje a postupy pre získavanie, vyhodnotenie a analýzu kvantitatívnych údajov, normy, štandardy, predpisy.
- **Management:** organizačné a riadiace štruktúry, informačné zabezpečenie, potreby zákazníkov, vedenie teamov, financie, náklady, ceny, zisky.
- **Manpower:** prijímanie pracovníkov, kvalifikácia, zodpovednosť, výcvik, školenie.
- **Environment:** vplyvy z okolia, ekologické požiadavky, ostatné nezaraďované príčiny.

Treba upozorniť iba na dve dôležité zásady tvorby C-E diagramu:

- nezamieňať si príčiny s následkami, nepoužívať tzv. nekorektnú logiku,
- usporiadať oblasti príčin zľava doprava a tak ich aj odstraňovať (dodržať „tok“ v systéme, či už hmotný alebo informačný).

Správne zostavený a vyhodnotený C-E diagram má dôležitý vplyv pri získavaní kvantifikovateľných údajov.



Aplikácia C-E-1.

Príčiny a následky by podľa možnosti mali byť merateľné. Diagram by sa mal pri používaní neustále zdokonaľovať, teda jeho tvorba je iteračným procesom.

Využitie C-E diagnostiky je výhodné najmä pri:

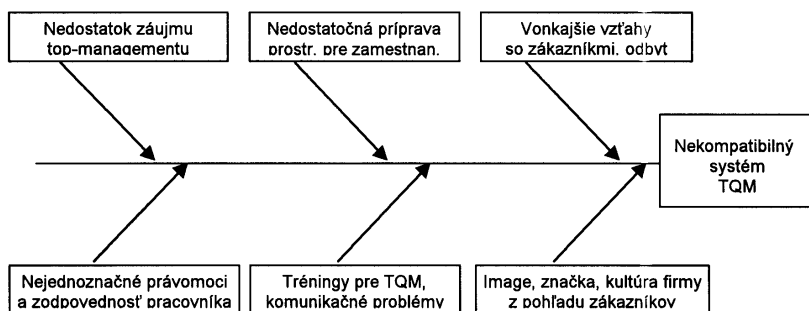
- vzniku neplánovaných odchýliek od normovaných - žiadaných charakteristík,
- dlhodobom nesúlade skutočného priebehu procesu s normálnym/etalónovým priebehom,
- plánovaní zdokonalenia procesu/procesov, resp. ich častí.

Existuje ešte jedno dôležité využitie C-E diagnostiky, ktoré sa však netýka oblasti hodnotenia kvality, a to je vytváranie príčinného reťazca, resp. stromu príčin, ktoré slúžia na zisťovanie všetkých možných dôvodov, ktoré viedli k haváriám, nehodám, zlyhaniam, rôznym poruchám rôznych systémov.

Aplikácie C-E diagramu môžu byť vytvárané v širokom rozmedzí. Od všeobecných, až po veľmi konkrétne.

Jednu takúto všeobecnú aplikáciu uvádza (Banks, 1991), keď sa pomocou C-E diagramu snaží nájsť príčiny - hlavné prekážky uplatňovania Demingovej filozofie kvality (C-E-1) v amerických a anglických podnikoch, pretože hoci bol Deming Američan, jeho prístup začali s úspechom využívať Japonci!

Deming - jeden z prvých guru kvality, zaviedol pojem cyklického zlepšovania kvality - PDCA cycle, ktorý spočíva v postupnosti prekrývajúcich sa činností : Planning - Doing - Checking - Acting. Tento cyklus je v súčasnosti rozšírený do EPDCA cyklu: (Evaluate - Planning - Doing - Checking - Amend).



Aplikácia C-E-2.

Druhým príkladom aplikácie môže byť diagram (C-E-2), poukazujúci na úskalia, ktoré očakávajú podnik, usilujúci sa o zavedenie systému TQM (Oakland, 1992).

Ďalšia aplikácia bola vypracovaná pri riešení projektu

TEMPUS - EQUATU (Floreková, 1997; 1997a) a týka sa príčin, ktorých odstránenie by mohlo zvýšiť úroveň kvality vzdelávania. Zoznam je nasledovný (môže byť samozrejme aj rozsiahlejší):

Oblasť príčin	Základné subpríčiny
1. Management	• nedostatočné financovanie (štátny rozpočet, sponzoring, legislatívne prekážky získavania príjmov), možnosť zvýšenia zodpovednosti vzdelávacej inštitúcie za jej činnosť pomocou vyšších kompetencií.
2. Machines	• nedostatočné základné vybavenie učební, laboratórií, modernou prístrojovou a počítačovou technikou (viď 1),
3. Materials	• obmedzený prístup k informáciám (knihnice, databázy), (viď 1,2).
4. Methods	• nedostatočné využívanie nových foriem (kooperatívne štúdium, dištančné štúdium, výučba za podpory multimédií, telelearning, training, sieťová výučba - Internet, Intranet) (viď 1, 2, 6),
5. Measurements	• nízke spoločenské ocenenie vzdelania a vedy (problémy s príchodom mladých pracovníkov),
6. Manpower	• odborná (a morálna) úroveň pracovníkov (súvisí aj, ale nielen s 5),
7. Others	• nízke kontakty s praxou - odberateľmi absolventov, • nedostatočné kontakty so zahraničnými partnermi (súvisí aj s 1 a 6).

Pri realizácii C-E diagnostiky pre nestabilný proces pálenia magnezitovej suroviny (Macejová et al., 1995) - prudké kolísanie straty žiarom kausticky páleného magnezitu, bol vytvorený C-E diagram pre šesť skupín príčin a zistené jednotlivé subpríčiny:

### 1. Materiál a suroviny

- 1.1. Zrnitostná skladba magnezitového koncentrátu (MK) (homogénna, nehomogénna).
- 1.2. Chemické zloženie MK [%] (MgO, CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
- 1.3. Fyzikálne vlastnosti MK (vlhkosť, zľadovateľnosť, kusovosť).

### 2. Energia

- 2.1. Zemný plyn (výhrevnosť, množstvo, chemické zloženie).
- 2.2. Topný olej (výhrevnosť, množstvo, chemické zloženie).
- 2.3. Vzduch (množstvo, teplota).

### 3. Stroje a výrobné zariadenia

- 3.1. Zavážacie a dávkovacie pásy.
- 3.2. Zásobník MK (nastavenie výšky dávkovacieho zvodu RP, nastavenie sklonu - dávkovacieho zvodu RP).
- 3.3. Teleso rotačnej pece(RP).
- 3.4. Horák.
- 3.5. Bubnový chladič.
- 3.6. Odsunové pásové linky.

### 4. Použité technológie

- 4.1. Technológia pálenia magnezitovej suroviny (riadenie plnenia RP, riadenie teploty RP, riadenie otáčok RP).

### 5. Metódy monitorovania a získavania dát

- 5.1. Systém spracovania a prenosu dát (spätná väzba po analýze odobratej vzorky, informácia o chemickom zložení, evidencia výsledkov analýz).
- 5.2. Monitorovanie priebehu pálenia magnezitovej suroviny(teplota v RP, analýza teploty spalín, analýza zloženia spalín, analýza vzoriek).

### 6. Ľudský faktor

- 6.1. Chyby obsluhy pece (zavážač, dávkovač, palič).
- 6.2. Chyby pri odbere a spracovaní vzoriek (palič, vzorkár, laborant).

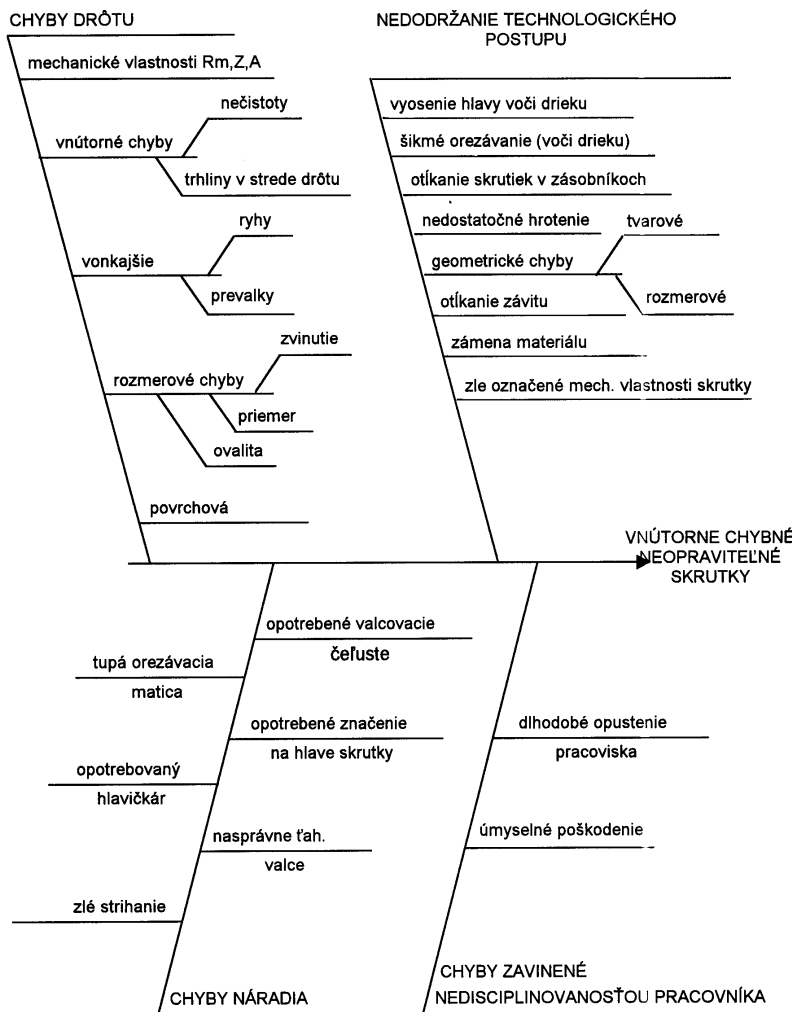
Vzhľadom na to, že všetky príčiny sa musia sledovať dlhodobo, nebolo možné získať adekvátne údaje, na základe ktorých by sa jednotlivým príčinám priradili konkrétne hodnoty dôležitosti - váhy. Preto ani nemohla byť určená hlavná príčina, ktorá v maximálnej miere spôsobuje nestabilitu sledovaného procesu a teda ani vykonaný adekvátny zásah, ktorým by sa tento vplyv odstránil, resp. minimalizoval, iba boli vypracované odporúčania pre opravné zásahy.

Pri certifikácii objednávkovej dokumentácie bol riešený problém nedodržania požadovanej kvality expedovanej zákazky (Vido, 1995). Vo vytvorených siedmych oblastiach boli problémové:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1. Preskúmanie objednávky | • množstvo, termíny dodávok, požadovaná kvalita, spôsob dodávky (doprava) balenie.   |
| 2. Materiál, suroviny     | • nedodržanie podnikovej normy 010193 pre subdodávky (vzorkovanie vstupov do jednotlivých technologických uzlov, zásahy do technologického procesu),<br>• zásoby nedokončenej výroby (množstvo a kvalita koncentrátov, neupravených slinkov, surových brikiet),<br>• zásoby hotovej výroby (kvalita, množstvo),<br>• granulometrická skladba na vstupe (sitové analýzy),<br>• (nereprezentatívne) štatistické vzorkovanie. |
| 3. Energia                | • palivo (ťažký vykurovací olej, plyn),<br>• tlak vzduchu,<br>• elektrická energia.  |

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 4. Stroje a zariadenia  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• poruchy: pásovej dopravy, podávačov, pásových váh, drvičov, bubnového chladiča, triediča, separátora, koľajovej váhy,</li> <li>• výpadok ventilátorov, tlačnej pumpy,</li> <li>• upchatie horákov,</li> <li>• poškodenie výmurovky.</li> </ul>   |
| 5. Technologický postup | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vysoký obsah vody vo vsádzke,</li> <li>• objemový nesúlad primárnych a sekundárnych magnetických rozdrúžovačov,</li> <li>• nesprávne drvenie a mletie,</li> <li>• nesprávny výpal materiálu (objemová hmotnosť a magnetitový podiel),</li> <li>• uskladnenie materiálu v zásobníkoch.</li> </ul> |
| 6. Ľudský faktor        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• nedodržanie stanovených parametrov,</li> <li>• nedodržanie technickej disciplíny,</li> <li>• nedodržanie pracovnej disciplíny.</li> </ul>  |
| 7. Ostatné              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• nedodržanie spôsobu balenia,</li> <li>• nedodržanie spôsobu prepravy.</li> </ul>   |

Ďalší príklad C-E diagnostiky (C-E-3) je pre zistenie príčin, spôsobujúcich výrobu chybných neopraviteľných výrobkov (Kasperkevičová, 1997).



Aplikácia C-E-3.

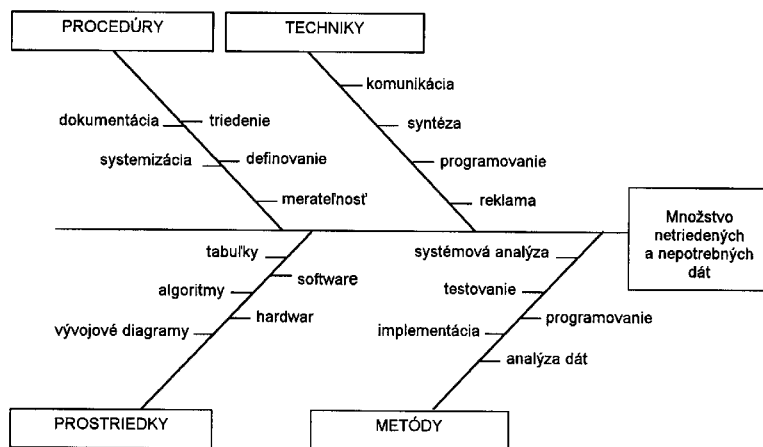
Diagnostiku príčin a následkov využili napr. (Richard, 1994; Roman, 1996) pri zisťovaní problémov s kvalitou (spoľahlivosťou, výkonnosťou, rýchlosťou, ...) informačných systémov. V nimi zostavenej rovnici MIS + TQM = QIS (managerský informačný systém + totálny management kvality = kvalitný informačný systém) za hlavnú problémovú oblasť považujú redundanciu netriedených a nepotrebných dát v existujúcich databázach. Vytvorená aplikácia (C-E-4) ukazuje štyri hlavné skupiny problémových príčin a subpríčin, ktoré treba riešiť.

### Pareto princíp a Lorentzova krivka

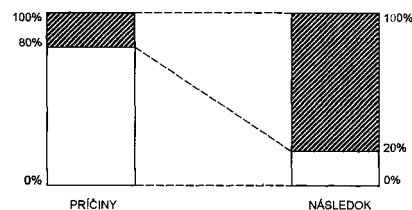
Pareto princíp, vyslovený síce už v 19. storočí talianskym ekonómom Vilfredom Paretom, sa v oblasti riadenia kvality používa prakticky až od r. 1951, keď

ďalší z významných guru kvality, Juran (1988), vydal svoju prvú „Príručku riadenia kvality“.

Pôvod Paretoho princípu vychádza z jeho citátu, že „prevažná väčšina bohatstva, 70-80%, je vlastníkom malej skupiny ľudí, 30-20%“. Z tohoto dôvodu bolo u nás dlho nevhodné až nežiaduce tento princíp používať.



Aplikácia C-E-4.



Obr.5. Pareto princíp.

Súčasná opodstatnenosť tohoto princípu v SRQ (ale nielen tam) úzko nadväzuje na C-E diagnostiku, pretože vysvetľuje, že „väčšina následkov má pôvod v malom počte príčin“, v zmysle Juranovho citátu „vital few - trivial many“. Graficky je možné tento princíp znázorniť pomocou schémy na obr.č.5.

Možno konštatovať, že napr.:

- Iba 20% príčin je spojených s až 80% strát, teda treba venovať pozornosť týmto 20% životne dôležitým príčinám, čím sa vyrieši 80% strát (úloha na optimalizáciu - minimalizáciu strát z nekvalitnej produkcie).
- Jadro produktu si vyžaduje až 80% výrobných nákladov, ale má iba 20% vplyv na zákazníka, resp. naopak, okolie, reklama, značka - nehmotná časť, predstavuje iba 20% nákladov na výrobok, ale má až 80% vplyv na zákazníka (úloha pre optimalizáciu nákladov na výrobné a nevýrobné činnosti).
- Z celkovej produkcie 20% produktov firmy jej prináša 80% ziskov (úloha pre rozhodovanie o optimálnom portfóliovom zložení produktov v súčasnosti, ale s rezervou - rizikom do budúcnosti).
- Až 80% predajného obratu pochádza od 20% zákazníkov.
- Až 80% všetkej spotrebovanej energie využíva iba niečo nad 20% obyvateľov zeme, ale aj
- 80% času stráveného telefonovaním venujete na rozhovory s 20% svojich známych,
- 80% špiny je na 20% plochy, po ktorej sa najviac chodí,
- 80% svojho času strávite doma v 20% izieb, ktoré máte k dispozícii (!),
- 80% času na pranie vynaložíte na 20% svojich vecí, ktoré používate najčastejšie.

Pareto princíp umožňuje preniknúť do podstaty najrôznorodjších javov, odlíšiť javy podstatné od menej podstatných, určiť hlavné problémy a ich príčiny, a tým aj určiť smer pre opravné / nápravné opatrenia. Tým sa stáva logickým a zmysluplným rozhodovacím nástrojom.

Uvedené podstatné faktory sa nazývajú „životne dôležité“ pre riešenie príslušného problému, ostatné sú „nevýznamné“, v danej etape riešenia nie je spravidla potrebné sa s nimi zaoberať.

Je samozrejme možné, že po zvládnutí životne dôležitých problémov z prvej etapy riešenia, sa pôvodne v nej nevýznamné problémy stanú životne dôležitými v druhej etape.

V tom je aj dynamičnosť tohoto prístupu, že s časom sa dôležitosť problémov môže meniť a skutočne sa aj mení.

Spravidla sa každý životne dôležitý problém / faktor preskúma jednotlivo. Nevýznamné sa skúmajú ako celok, pričom treba pamätať na predchádzajúcu poznámku, že prechod medzi oboma skupinami nie je ostrý.

Pri zaraďovaní faktorov do skupín sa toto môže vykonať (Ishikawa, 1983) buď:

- kvantitatívne:
  - podľa početnosti výskytu každého problému/faktora,
  - podľa nákladov na odstránenie príslušného problému/faktora, teda nákladov na „opravu“, zlepšenie procesu, alebo

- kvalitatívne:
  - podľa dôležitosti, váhy, ohodnotenia, ocenenia, priradeného príslušnému problému / faktoru, teda hodnotovo.

Poradie problémov/faktorov môže a spravidla aj býva pri takomto priraďovaní rôzne. Základný postup Paretovej analýzy je v zásade nasledovný:

- Formulovanie problému pre analýzu, popísanie príslušných faktorov, parametrov, charakteristík, vykonanie príslušného merania - získanie prvotných údajov pre spracovanie v primerane dlhom časovom období.
- Usporiadanie údajov podľa kvantitatívneho/hodnotového triedenia (počet nevhodných výrobkov, chýb, náklady spojené s ich odstránením, dôležitosť) zostupne.
- Vytvorenie kumulovaných súčtov ukazovateľov podľa skupín.
- Vyjadrenie kumulovaných súčtov ukazovateľov percentuálne.
- Zakreslenie Paretoho diagramu pre zvolené triedenie [v ks, Sk], teda stĺpcového diagramu absolútnych početností výskytu jednotlivých faktorov.
- Zakreslenie Lorentzovej krivky, polygónu kumulatívnych relatívnych početností [v %], teda relatívnych kumulatívnych početností vcelku.
- Stanovenie kritérií pre výber životne dôležitých faktorov:
  - prvé kritérium 50%,
  - druhé kritérium 70%,
  - tretie kritérium 80%,
  - štvrté kritérium 90%,
  - výber konkrétneho kritéria (70, 80, 90%) porovnaním s bodom zvratu, bodom zlomu Lorentzovej krivky. Tento bod zlomu znamená, že hodnota skúmaného faktora bude vždy nižšia ako priemerná.
- Určenie prvkov množiny životne dôležitých faktorov a vykonanie zásahov na odstránenie príčin, ktoré ich spôsobujú.
- Opakované, viacsobné, primerane dlhé získavanie nových údajov, prípadne aj z iných hľadísk skúmania.
- Všestranné posúdenie výsledkov a ich syntéza.

Konkrétny príklad postupu Paretovej analýzy bol realizovaný pri procese certifikácie (Kasperkevičová, 1997) a týka sa tzv. pasívnych reklamácií.

Prvotná tabuľka (tab.1) obsahuje šesť skupín chýb za obdobie jedného roka a je usporiadaná podľa počtu reklamovaných kusov výrobkov a podľa ich hodnoty v Sk.

Tabuľka 1.

Skupina chýb	Počet reklamácií	Počet reklamovaných kusov	Hodnota reklamácie [Sk]	Náklady na 1 rekl. kus [Sk]
A. Rozmerové chyby	6	365 050	95 022,60	0,2603
B. Výrobné chyby	3	392 480	57 069,50	0,1454
C. Chyby v exped.dokladoch	4	9 060	14 866,80	1,6409
D. Zle overená kúpna zmluva	2	89 000	6 437,40	0,0723
E. Menší počet kusov v zásielke	1	3 200	6 048,00	1,8900
F. Vytriedené výrobky	1	8 950	789,50	0,0882

Tabuľka 2.

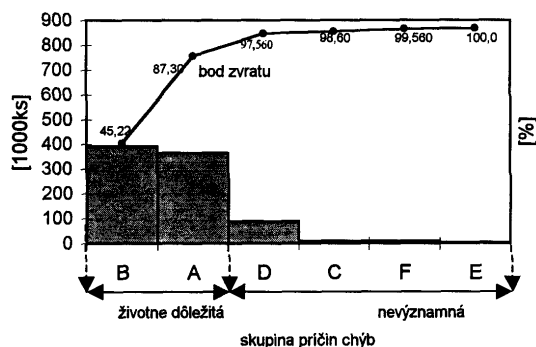
Usporiadanie podľa							
počtu reklamovaných kusov				hodnoty reklamácie [Sk]			
Skupina	Počet ks	Kum.abs. počet	Kum.rel. počet	Skupina	Hodnota Sk	Kum.abs. počet	Kum.rel. počet
B	392 480	392 480	45,23	A	95 022,60	95 022,60	52,72
A	365 050	757 530	87,30	B	57 069,50	152 092,10	84,39
D	89 000	846 530	97,56	C	14 866,80	166 958,90	92,63
C	9 060	855 590	98,60	D	6 437,40	173 396,30	96,21
F	8 950	864 540	99,63	E	6 048,00	179 444,30	99,56
E	3 200	867 740	100,00	F	789,50	180 233,80	100,00
Spolu	867 740			Spolu	180 233,80		



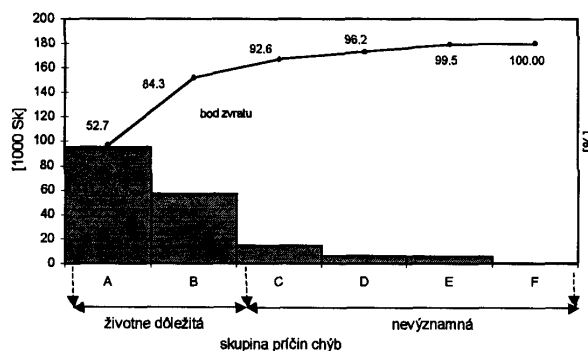
Prvotné dáta sú usporiadané podľa obidvoch kritérií (tab.2) (počet kusov, hodnota zásielky) zostupne, súčasne s hodnotami kumulovaných absolútnych a (percentuálnych) relatívnych početností

Pre obidve usporiadania skupín z tab.2 vyzerajú Paretove diagramy a Lorentzove krivky nasledovne (obr.č.6 a 7):

Z hodnotenia Paretovho diagramu a Lorentzovej krivky jednoznačne vyplýva, že aj keď je poradie skupín príčin v prvom prípade B, A a v druhom A, B, tvoria tieto príčiny až 87,30% všetkých reklamovaných kusov, resp. 84,39% hodnoty všetkých reklamácií a treba sa týmito dvoma skupinami príčin zaoberať a odstrániť ich.



Obr.6. Hodnotenie podľa počtu reklamovaných kusov.

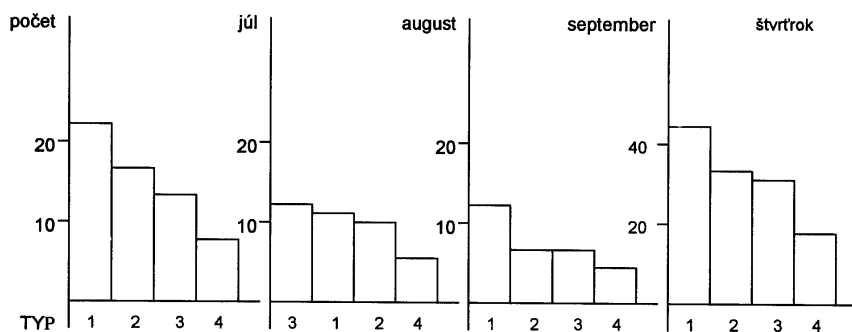


Obr.7. Hodnotenie podľa hodnoty reklamácií.

Iný spôsob zobrazenia Paretovho princípu môže byť aj pomocou oblúbeného „koláčového“, kruhového grafu, ak sa dodrží zostupná postupnosť kvantitatívneho zobrazenia faktorov v ňom. Aj keď je tento spôsob zobrazenia v anglo-saskej odbornej literatúre hodne využívaný, predsa sa zdá menej prehľadný.

Ako ďalší je uvedený príklad hodnotenia nezhodných výrobkov zo štyroch typov personálnych počítačov z montážnej linky za jeden štvrťrok.

Pareto diagram je možné vykresliť znova rôznymi spôsobmi, buď pre mesiace a/alebo pre jednotlivé typy PC, alebo pre celý hodnotený štvrťrok (obr.č.8).



Obr.8. Paretove diagramy pre nezhodné PC.

Podľa kritéria 50% sa v prvom kroku zisťovali hlavné nezhody u prvého typu PC, ktorých bolo z celkového počtu 117 nezhodných kusov PC všetkých typov až 45, t.j. 38,50%.

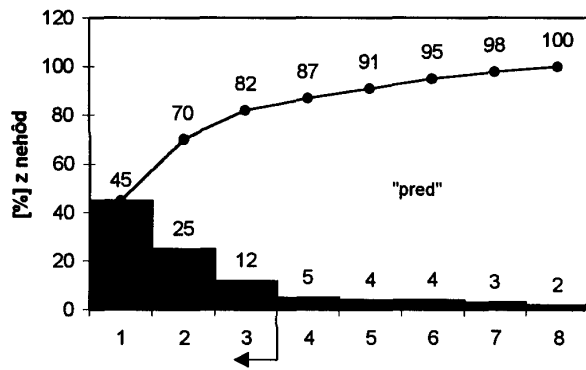
Tento vstupný Pareto diagram a Lorentzova krivka, vyjadrené obidva v %, boli vytvorené pre 8 hlavných príčin nezhôd: 1 - zlé závitky na skrutkách, 2 - poškodená disketová mechanika, 3 - chýbajúce skrutky, 4 - praskliny na kryte, 5 - poškodená karta, 6 - poškodený pevný disk, 7 - poškodený radič diskiet a disku, 8 - poškodený kryt (obr.č.9).

Po korektúrach bol ďalší štvrťrok tento typ znova sledovaný pre rovnaké skupiny príčin a následne vyhodnotený (obr.č 10).

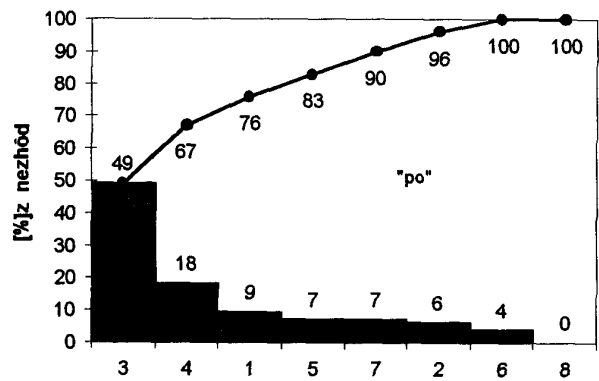
Pre porovnanie, 100% nezhôd po korektúrach sa rovnalo 30% nezhôd pred korektúrami. (základom pre tento príklad sú údaje upravené z Wadsworth (1986)).

Pokles počtu nezhôd, ale aj pretrvávanie príčin:

3 - chýbajúce skrutky, 4 - praskliny na kryte (predtým nevýznamné), zlé závitky na skrutkách, svedčia o potrebe zvýšenia kontroly na vstupe do montážnej linky, pretože tie nie sú zapríčinené činnosťami, prebiehajúcimi na montážnej linke.



Obr.9. Vstupné hodnotenie nezhôd PC – typ 1.



Obr.10. Hodnotenie nezhôd PC - typ 1, po korektúrach.

### Histogramy početností a frekvenčné krivky rozdelení

Histogram početností sa odlišuje od predtým použitého Paretovho diagramu iba iným obsahom zobrazovaných premenných, nie spôsobom grafického vyjadrenia. Histogram je vlastne podmnožinou stĺpcových diagramov, pretože je zakresľovaný pre jednu náhodnú premennú, ktorá nadobúda (meraním získané) hodnoty z určitého intervalu, rozdeleného na podintervaly určitej šírky, ktoré na seba plynule nadväzujú.

Je teda možné povedať, že medzi jednotlivými stĺpcami histogramu musí byť „nulový“ rozdiel.

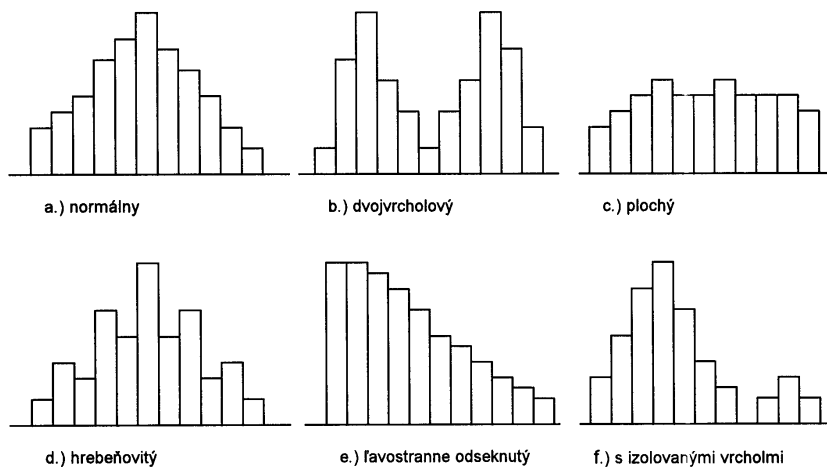
Kým z tabuľky kvantitatívnych údajov je veľmi náročné, ba priam nemožné pozorovať určité typické rysy týchto dát, po ich preusporiadaní, spravidla do vzostupného variačného radu, je ich možné roztriediť, a počty hodnôt v týchto jednotlivých triedach zobraziť v histograme či už absolútnych, relatívnych, resp. kumulatívnych absolútnych, kumulatívnych relatívnych početností výskytu. Tým sa v histograme určitým spôsobom „zosumarizuje“ variabilita príslušnej náhodnej premennej a dá sa zistiť zákon jej rozdelenia, frekvenčná alebo distribučná funkcia.

Histogram môže byť vytváraný pre spojitú, kontinuálnu premennú, pri kontrole kvality meraním, alebo pre nespojitú, diskretnú premennú, pri kontrole kvality porovnávaním.

Histogram však nie je vhodné vytvárať pre náhodnú premennú, ktorej hodnoty sú závislé na čase, pretože v ňom sa vplyv času stráca. Predsa však sa odporúča pri niektorých procesoch spracovať dáta aj do histogramu aj do regulačného diagramu (časť 4) (Montgomery, 1985).

Stabilné procesy, z ktorých výstupy sa v čase príliš nelíšia, umožňujú porovnávať súbory dát na nich získané v rôznych časových obdobiach, pretože priebeh - tvar príslušných histogramov by mal byť približne rovnaký a tiež aj poloha na osi premenných by sa nemala príliš meniť.

Pretože histogram je vizuálne veľmi názorný, plne preň platí : „Obrázok povie viac ako tisíc slov“.



Obr.11. Základné typy histogramov.

Typické histogramy majú nasledovné tvary (obr.č.11).

- a) všeobecný, normálny, zvonovitý, Gaussovský, je obyčajne „obrazom“ normálneho rozdelenia, je typický pre až 70% merateľných premenných,
- b) dvojča, dvojrcholový, signalizuje spojenie dvoch výberov, zmenu polohy, podmienok merania v jeho prie-

- c) plošina, plochý, zodpovedá rovnomernému rozdeleniu premennej, ale aj procesom, pri ktorých je každá hodnota vo vnútri tolerančných medzí dobrá,

- d) kombinovaný, hrebeňovitý, ukazuje na prítomnosť chýb merania, nerešpektovanie presnosti merania pri triedení, na chyby pri zaokrúhľovaní,
- e) odseknutý, ľavo/pravostranný, býva výsledkom vyradenia hodnôt mimo predpísaného tolerančného pásma, ale aj zobrazenia premennej s asymetrickým exponenciálnym alebo logaritmicke normálnym rozdelením,
- f) s izolovanými hodnotami, s oddelenými špičkami, poukazuje na možnosť hodnotenia nehomogénnych produktov, ale aj na „výpadok“ určitej časti hodnôt.

Vlastná konštrukcia histogramov je veľmi jednoduchá. Predsa však vyžaduje dodržať niekoľko overených zásad:

- Pred triedením dát vykonať ich testovanie na extrémnosť, čím sa dá vyhnúť zaradeniu hrubých chýb do spracovania.
- Dodržať pri triedení rozmer spracovávaných dát, nezaokrúhľovať na viac ale ani na menej platných miest.
- Dolnú hranicu prvej triedy „nasadiť“ vždy na najmenšiu hodnotu variačného radu (po predchádzajúcej kontrole na extrémnosť).
- Snažiť sa o vytvorenie nepárneho počtu tried zo súboru hodnôt, podľa klasického výpočtu  $k = R/12$  (t.j. 11 - 13 tried), ale stačí aj približne pomocou vzťahu počet tried  $k = \sqrt{n}$ ,  $k = 1 + 3,3 \log n$ ,  $k = 5 \log n$ , kde  $n$  je (primeraný) počet spracovávaných dát. Ak sa dá, rozsah súboru hodnôt by nemal klesnúť pod 30, vhodný je  $\in < 80 - 120 >$ , netreba ho zvyšovať nad 200, pretože „zvyšovanie počtu meraní nezlepší výsledok, ak tieto nie sú pre daný problém reprezentatívne“, t.j. neodrážajú bežné podmienky, nie sú rovnako presné, nie sú získavané rovnakými prostriedkami, ľuďmi, atď... .

Grafické vytvorenie histogramu je iba vstupnou etapou spracovania. Má síce vysokú vypovedaciu hodnotu o trende príslušnej náhodnej premennej, ale predsa len je iba orientačný a treba ho doplniť numerickými hodnotami, teda základnými charakteristikami, tabuľkou triedených hodnôt, početností, aby bolo možné zistiť teoretický priebeh frekvenčnej krivky rozdelenia - porovnaním s absolútnymi početnosťami, Pearsonovým testom, alebo distribučnej krivky rozdelenia - porovnaním s kumulatívnymi absolútnymi početnosťami, Kolmogorov - Smirnovovým D1 testom (Floreková, 1985).

Pre spoľahlivosť - konformnosť hodnotených premenných/faktorov sa podľa úrovne požiadavky na presnosť záverov všetky numerické charakteristiky vypočítavajú na zvolenej hladine spoľahlivosti, či už s pravdepodobnosťou  $p = 95\%$ , neistotou  $\alpha = 5\%$ , normou  $u = 1,95$ , pri bežných inžinierskych úlohách, s  $p = 99\%$ ,  $\alpha = 1\%$ ,  $u = 2,58$ , pri laboratórnych, vedeckých úlohách, s  $p = 99,9\%$ ,  $\alpha = 0,1\%$ ,  $u = 3,29$ , pri konštrukčných, bezpečnostných úlohách, prípadne pri špeciálnych/mimoriadnych úlohách s  $p = 99,99\%$ ,  $\alpha = 0,01\%$ ,  $u = 3,89$  (V norme ISO 8258 sa odporúča pracovať pri  $p = 99,73\%$ ,  $\alpha = 0,27\%$ ,  $u = 3$ ).

Po výpočte aritmetického priemeru  $x_p = \frac{\sum x_i}{n}$ , rozptylu  $s^2 = \frac{\sum (x_i - x_p)^2}{n}$ , štandardnej

odchýlky  $s = \pm \sqrt{s^2}$  a variačného koeficienta  $V = \frac{s}{x_p} \cdot 100[\%]$  je potom podľa zvoleného  $\alpha$  potrebné

urobiť interval spoľahlivosti pre matematickú nádej  $M(x) \in \left\langle x_p \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot u \right\rangle$  a rozptyl

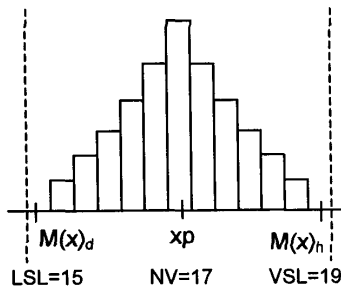
$$D(x) \in \left\langle s^2 \cdot \frac{(n-1)}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, \nu}}; s^2 \cdot \frac{(n-1)}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, \nu}} \right\rangle.$$

Do histogramu sa zakreslí požadovaná NV (Nominal Value), dolná hranica tolerančného limitu - LSL (Lower Standard Limit) a horná hranica tohoto limitu USL (Upper), ako to na príklade ukazuje obr.č.12 a,b,c, a dolná/horná hranica intervalu spoľahlivosti pre  $M(X)$ .

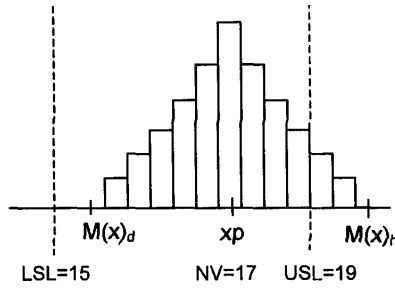
Pre hlbšie skúmanie vzťahu medzi hodnoteným empirickým histogramom absolútnych početností  $n$  a medzi jeho hľadaným možným teoretickým rozdelením  $f(x_j)/F(x_j)$  je spravidla potrebné toto rozdelenie nájsť.

Pre hodnotie zhody medzi  $n_j$  - absolútna početnosť  $j$ -tého triedneho znaku a  $f(x_j)$  - hodnota frekvenčnej funkcie (napr. normálneho rozdelenia) v  $j$ -tom triednom znaku, resp.  $N_j$  - absolútna

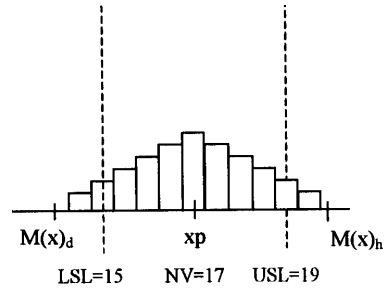
kumulatívna početnosť  $j$ -teho triedneho znaku a  $F(x_j)$  - hodnota distribučnej funkcie (napr. normálneho) rozdelenia v  $j$ -tom triednom znaku sa používa viacero testov, založených na nulovej hypotéze  $H_0: n_j - f(x_j) = 0$ , resp.  $H_0: N_j - F(x_j) = 0$ .



Obr. 12a. Konformný, spoľahlivý proces, „dobrý“ aritmetický priemer – poloha, „dobrý“ rozptyl – presnosť. 1. meranie.



Obr. 12b. Nekonformný, nespoľahlivý proces, posun v polohe, „dobrý“ rozptyl. 2. (opakované) meranie.



Obr. 12c. Nekonformný, nespoľahlivý proces, „dobrý“ aritmetický priemer – poloha, „zlý“ rozptyl – presnosť. 3. (kontrolné) meranie.

Pre test normality frekvenčnej krivky (najčastejšie sa vyskytujúce normálne rozdelenie), je najvhodnejší Pearsonov test zhody, (obr.č. 13), ktorý využíva testovaciu náhodnú premennú  $\chi^2$  a testovacie kritérium

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - f(x_j))^2}{f(x_j)}$$

Preto, aby príslušný súbor hodnôt, reprezentovaný histogramom absolútnych početností mohol byť popísaný frekvenčnou krivkou normálneho rozdelenia treba, aby  $\chi^2$  bolo menšie ako  $\chi^2$  krit, ktoré sa pre daný stupeň voľnosti  $v = k-1$  a zvolené  $\alpha$  určí z tabuliek Pearsonovho rozdelenia.

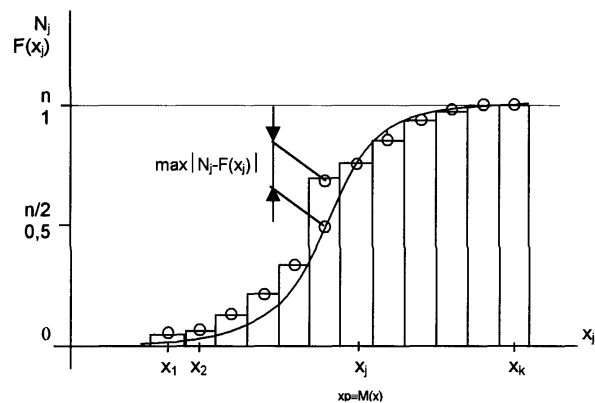
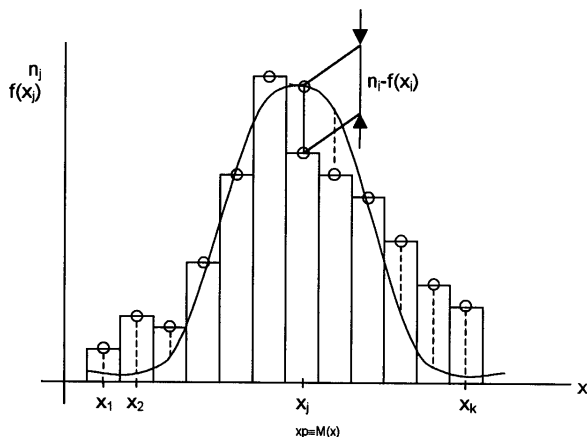
Pre test normality distribučnej krivky je veľmi praktický Kolmogorov-Smirnovov  $D_1$  test zhody (obr.č. 14), pri ktorom sa testovacie kritérium  $D_1 = \frac{1}{n} \cdot \max |N_j - F(x_j)|$  a kritická hodnota buď určí

z tabuliek K-S testu, alebo vypočíta pri  $\alpha = 5\%$ , ako  $D_{1,krit} = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$ , pri  $\alpha = 1\%$  je  $D_{1,krit} = \frac{1,63}{\sqrt{n}}$ ,

pri  $\alpha = 0,1\%$  je  $D_{1,krit} = \frac{1,22}{\sqrt{n}}$ .

Nulovú hypotézu možno prijať, ak  $D_1$  je menšie ako  $D_{1,krit}$ . Platnosť Pearsonovho alebo K-S testu znamená, že empirický histogram početností a teoretická krivka rozdelenia náhodnej premenej sa líšia iba nevýznamne a sú navzájom zameniteľné.

V prípade zamietnutia testovanej hypotézy treba spravidla hľadať buď chyby v zbere dát, alebo iné reprezentatívne rozdelenie (najčastejšie logaritmicky normálne, exponenciálne, binomické, Poissonovo alebo Weibullovo).



Obr.13. Princíp Pearsonovho testu zhody.

Obr.14. Princíp Kolmogorov-Smirnovovho testu zhody.

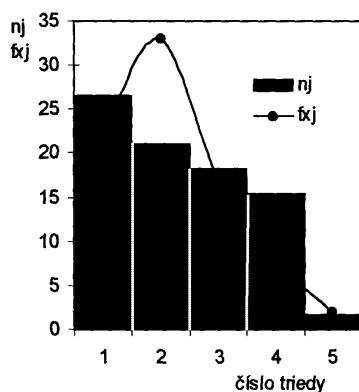
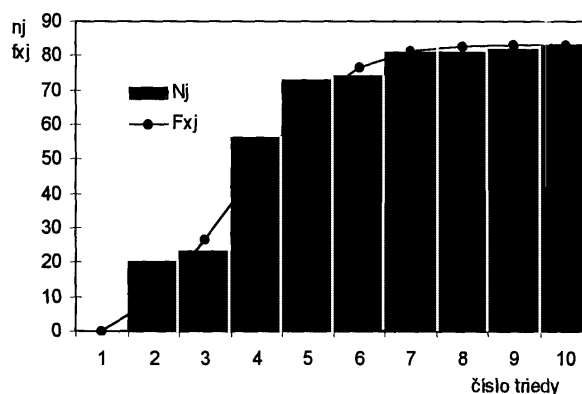
Tabuľka 3. Merané dáta - hodnoty straty žiarom [%] kausticky páleného magnezitu.

Počet	1	19	2	1	31	1	1	2
Hodnota	0,06	0,10	0,15	0,16	0,20	0,21	0,23	0,25
Počet	1	1	13	1	7	1	1	1
Hodnota	0,26	0,28	0,30	0,35	0,40	0,50	n0,60	1,00

Tabuľka 4.

Číslo triedy	Hranica triedy dolná	Hranica triedy horná	Triedny znak	$n_j$	$u_j$	$f(u_j)$	$f(x_j)$	$\chi^2_j$	$N_j$	$F(x_j)$	$\left  \frac{N_j}{F(x_j)} - 1 \right $
1	0,060	0,12	0,09	20	-1,27	0,178	9,47	0,483	20	9,47	10,53
2	0,121	0,18	0,15	3	-0,66	0,321	17,03		23	26,50	3,50
3	0,181	0,24	0,21	33	-0,06	0,398	21,15		56	47,65	8,35
4	0,241	0,30	0,27	17	0,55	0,344	18,24	0,085	73	66,89	7,10
5	0,301	0,36	0,33	1	1,05	0,206	10,93	3,621	74	76,83	2,82
6	0,361	0,42	0,39	7	1,75	0,088	4,55		81	81,38	0,38
7	0,421	0,48	0,45	0	2,36	0,025	1,31		81	82,70	1,69
8	0,481	0,54	0,51	1	2,96	0,005	0,26	0,089	82	82,96	0,96
9	0,541	0,60	0,57	1	3,56	7e-04	0,03		83	83,00	0
Aritm. priemer		0,216	Súčet	83			$\chi^2$	10,90		$D_1$	0,127
Štand.odchýlka		0,099	Prepoč.koef.	53,08			Kritické $\chi^2_j$	13,36		Kritické $D_1$	0,179
Interval spoľahlivosti			pre M(X)	0,195	0,237		pre D(X)	0,044		0,206	

Ako príklad aplikácie je možné uviesť hodnotenie výsledkov týždňového merania straty žiarom [%] kausticky páleného magnezitu (Macejová et al., 1995). Celkový počet 84 hodnôt bol po testovaní na extrémnosť Dixonovým testom znížený o maximálnu hodnotu 1,00. Ostatných  $n = 83$  hodnôt v rozpätí  $R = x_{\max} - x_{\min} = 0,60 - 0,06 = 0,54$ , bolo zatriedených do  $k = \sqrt{n} = 9$  tried, so šírkou intervalu  $h = 0,6$ . Pracovná (tab.č.3) aj výsledková (tab.č.4) tabuľka ukazuje priebežné spracovanie. Na obr.č.15 a 16 sú znázornené príslušné histogramy a teoretické krivky rozdelenia.

Obr.15. Pearsonov test (histogram  $n_j$ , frekvenčná krivka  $f(x_j)$ ).Obr.16. K-S test (histogram  $N_j$ , distribučná krivka  $F(x_j)$ ).

Z analýzy oboch testov vyplýva, že pre veľmi malý počet tried po ich zlúčení (obr.č 15), je frekvencia hodnôt „pod“ aritmetickým priemerom vyššia, čo zodpovedá výrobe kvalitnejšej produkcie, ako bola normou požadovaná, pretože dosahovaná priemerná hodnota je 0,22% straty žiarom, normovaná 0,5%. Preto je potrebné zhodnotiť, či je výhodné produkovať kausticky pálený magnezit takejto kvality, ak odberateľ požaduje iné % straty žiarom. Kolísanie dát (tab.č. 3) oprávňuje vyžadovať

zvýšenú pozornosť obsluhy rotačnej pece pre stabilizáciu jej činnosti, keďže variačný koeficient má hodnotu až 45,83%.

### Regulačné diagramy

Regulačné diagramy, Shewhart Control Charts, sú známe od r.1931, keď ich princíp formuloval W.A.Shewhart. Sú najčastejšie používané pri takých procesoch, v ktorých je problematické odlíšenie kolísania hodnôt kvalitatívnej premennej pod vplyvom náhodných a systematických príčin a pri ktorých sa predpokladá stabilizovaná - regulovaná úroveň príslušnej premennej v istom časovom úseku, v istom „spôľahlivostnom páse“. Vo všeobecnosti sú regulačné diagramy považované za osvedčený prostriedok pri zlepšovaní kvalitatívnych parametrov produkcie a pri prevencii chýb – nezhôd v produkcii. Prax oceňuje regulačné diagramy aj preto, že pomáhajú zabrániť zbytočnému, resp. nepotrebnému nastavovaniu zariadení, výrobných liniek v prípade, že príslušný proces je stabilný. Okrem toho zabezpečujú priebežné diagnostické údaje o variabilite procesov a umožňujú získavať informácie o spôsobilosti sledovaných procesov.

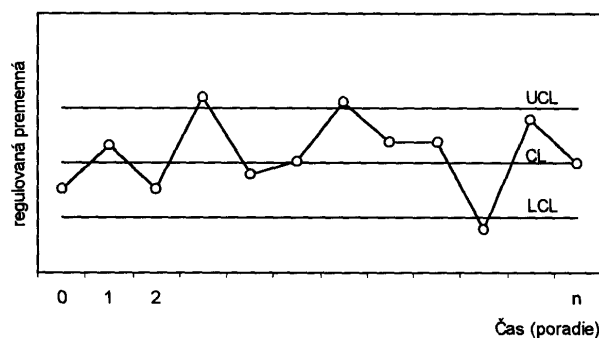
Kontrola kvality produkcie pomocou regulačných diagramov sa využíva najmä pri opakovaných procesoch, keď pri relatívne stabilných podmienkach výroby (technológia, materiál, technické parametre strojov a zariadení, ...) pôsobia aj ďalšie vplyvy (malé odchýlky od predpisanej technológie, malé odchýlky v kvalite materiálov, malá nepresnosť nastavenia parametrov strojov a zariadení, ...), ktoré sa pri ich podstatnom neprekročení prejavujú v určitých „rozumných“ medziach ako náhodné vplyvy (Hebák et al., 1990).

Nevyhnutnosťou pri zostrojovaní regulačných diagramov je, na rozdiel od konštrukcie histogramov, zachovanie poradia získavaných údajov v čase.

Základom regulačného diagramu – RD je zobrazenie dát v dvojrozmernom súradnicovom systéme. Os x-ová je osou časovou, os y-ová je osou hodnôt/dát. Dáta sa navzájom spájajú do polygónu - priebehového diagramu (Runchart) - časového radu. Kľúčovým atribútom pri regulačných diagramoch je čas a racionálne zoskupenie údajov v ňom.

V diagrame je znázornená trojica kritérií:

- stredná priamka/čiara - CL (Central Line),
- horná regulačná medza/hranica - UCL (Upper Control Limit),
- dolná regulačná medza/hranica - LCL (Lower Control Limit),
- (ak LCL je záporné číslo, uvažuje sa s  $LCL=0$ ), ktorá je ilustrovaná obr.č.17.



Obr.17. Základná konštrukcia regulačného diagramu.

Aj keď majú regulačné diagramy rovnakú, jednotnú formu, líšia sa podľa typu regulovaných veličín, podľa spôsobu výpočtu regulačných medzí, ako aj podľa počtu a rozsahu spracovávaných výberov.

Existujú dva základné typy regulačných diagramov, konštruované pre dáta získavané, meraním (premenných veličín) a porovnávaním (vlastností premenných).

Pri štatistickej regulácii meraním sa odporúča, aby sa rozsahy jednotlivých výberov pohybovali v rozsahu  $n \in \langle 5, 10 \rangle$  hodnôt, a aby počet výberov bol  $k \in \langle 15 - 25 \rangle$ , teda celkový rozsah jednotlivých hodnôt  $N$  by mal byť väčší ako 100. (Niekedy sa dodržiava pravidlo 25 výberov po 5 hodnotách, ak je to vhodné, čo vždy neplatí).

V prípade kvantitatívnych merateľných veličín sa predpokladá (ISO-STN 8258) ich normálne rozdelenie, resp. rozdelenie, ktoré je možné na normálne transformovať. Predpoklad normality je spravidla oprávnený pri regulačných diagramoch pre aritmetický priemer. Rozdelenia rozpätí a štandardných odchýliek spravidla nie sú normálne, predpokladá sa približná normalita, dostatočná pre empirický odhad konštant pre výpočet regulačných hraníc. Všeobecne sa preto odporúča konštruovať dvojice regulačných diagramov najčastejšie v kombinácii RD(R), ktorý odhaľuje každé nežiadúce kolísanie vo vnútri podskupín, teda veľkosť variability sledovaného kvantitatívneho ukazovateľa a RD( $\bar{x}$ ), ktorý odhaľuje nežiadúce kolísanie medzi podskupinami z hľadiska ich priemerov.

Pri štatistickej regulácii porovnávaním sa zisťuje zhoda/nezhoda s normou/etalónom. Hodnotí sa súhrn funkčných a technických požiadaviek. Pri tomto postupe sa sleduje celkový počet nezhodných produktov, podiel nezhodných produktov, alebo počet chýb na jeden výrobok pri opa-

kovaných výberoch. Pre zabezpečenie primeranej vypovedacej hodnoty je potrebné, aby jednotlivé výbery mali rozsah 20 a viac hodnôt, a aby celková veľkosť porovnávaného súboru bola 200 a viac hodnôt.

Výpočet CL, UCL, LCL sa vykonáva podľa jednoduchých vzťahov, pomocou základných štatistických charakteristík a tabelovaných prepočítavacích koeficientov (tabuľky č.5 a 6).

Tabuľka 5. Typy regulačných diagramov – RD (Control Charts).

Základné hodnoty	Základné štatistiky	meraním			Základné štatistiky	CL	porovnávaním		
		CL	UCL	LCL			UCL	LCL	
nie sú stanovené	priemer $\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + A_2 \bar{R}$ $\bar{x} + A_3 \bar{s}$	$\bar{x} - A_2 \bar{R}$ $\bar{x} - A_3 \bar{s}$	podiel nezhodných jednotiek $p$	$\bar{p}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}/n$	$\bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}/n$	
	rozpätie $R$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$	počet nezhodných jednotiek $np$	$n\bar{p}$	$n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	
	štandardná odchýlka $s$	$\bar{s}$	$B_4 \bar{s}$	$B_3 \bar{s}$	počet nezhôd $c$	$\bar{c}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	
	individuálne hodnoty $X$	$\bar{x}$	$\bar{x} + \frac{3}{d_2} \bar{R}$	$\bar{x} - \frac{3}{d_2} \bar{R}$	počet nezhôd na jednotku $u$	$\bar{u}$	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	
	kľzavé rozpätie $R_k$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$					
	medián $Me$	$\bar{Me}$	$\bar{Me} + A_3 \bar{R}$	$\bar{Me} - A_3 \bar{R}$					
sú stanovené	priemer $\bar{x}$	$x_0$	$x_0 + A\sigma_0$	$x_0 - A\sigma_0$	podiel nezhodných jednotiek $p_0$	$p_0$	$p_0 + 3\sqrt{p_0(1-p_0)}/n$	$p_0 - 3\sqrt{p_0(1-p_0)}/n$	
	rozpätie $R$	$R_0(d_2\sigma_0)$	$D_2\sigma_0$	$D_1\sigma_0$	počet nezhodných jednotiek $np_0$	$np_0$	$np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$	$np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$	
	štandardná odchýlka $s$	$s_0(c_4\sigma_0)$	$B_6\sigma_0$	$B_5\sigma_0$	počet nezhôd $c_0$	$c_0$	$c_0 + 3\sqrt{c_0}$	$c_0 - 3\sqrt{c_0}$	
	individuálne hodnoty $X$	$x_0$	$x_0 + \frac{3}{d_2} R_0$	$x_0 - \frac{3}{d_2} R_0$	počet nezhôd na jednotku $u_0$	$u_0$	$u_0 + 3\sqrt{u_0/n}$	$u_0 - 3\sqrt{u_0/n}$	
	kľzavé rozpätie $R_k$	$R_0$	$\frac{D_2}{d_2} s_0$	$\frac{D_1}{d_2} s_0$	A...B...C...D..., d2 - tabelované prepočítavacie koeficienty, tabuľka č.5				

Tabuľka 6. Prepočítacie koeficienty pre výpočet UCL, LCL pre RD (do  $n = 25$  sú v ISO 8258).

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	2,121	1,732	1,500	1,342	1,225	1,134	1,061	1,800	0,949
A <sub>2</sub>	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308
A <sub>3</sub>	2,659	1,954	1,628	1,427	1,287	1,182	1,099	1,032	0,975
A <sub>4</sub>	1,880	1,190	0,800	0,690	0,550	0,510	0,430	0,410	0,360
B <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,030	0,118	0,185	0,239	0,284
B <sub>4</sub>	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716
B <sub>5</sub>	-	-	-	-	0,029	0,113	0,179	0,232	0,276
B <sub>6</sub>	2,606	2,276	2,088	1,964	1,874	1,806	1,751	1,707	1,669
D <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	0,204	0,388	0,547	0,687
D <sub>2</sub>	3,686	4,358	4,698	4,918	5,078	5,204	5,306	5,393	5,469
D <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
D <sub>4</sub>	3,267	2,574	2,282	2,104	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777
C <sub>4</sub>	0,798	0,886	0,921	0,940	0,952	0,959	0,965	0,969	0,973
d <sub>2</sub>	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

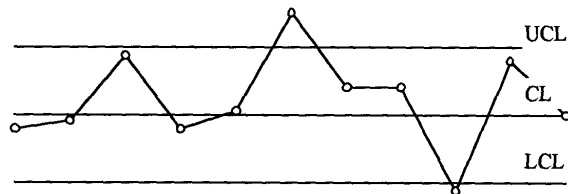
Rozebora regulačného diagramu sa vykonáva preto, aby sa dalo posúdiť, či je proces pod kontrolou, či je potrebný zásah do procesu, či nie sú regulačné medze príliš široké/úzke, atď.

V regulačných diagramoch - RD je šírka intervalu medzi UCL a LCL daná trojnásobkom štandardnej odchýlky príslušnej štatistickej charakteristiky. (Môže však byť urobená aj iná šírka (Floreková,

1985)). Predpokladá sa teda teoretická pravdepodobnosť,  $p = 99,73\%$ , neistota  $\alpha = 0,27\%$ , teda že z 10 000 údajov bude 9 973 hodnôt ležať vo vnútri a iba 27 mimo regulačných medzí. Niektorí „praktici“ odporúčajú vykresľovať okrem hraníc, získaných z trojnásobku štandardnej odchýlky (akčné hranice) aj tzv. varovné hranice - UWL/LWL, (Upper Warning Limit/Lower Warning Limit), vypočítané z dvojnásobku štandardnej odchýlky, teda pre  $p = 95,73\%$ ,  $\alpha = 4,27\%$ ,  $u = 2$ , ktoré upozorňujú na „snahu“ premennej „rozbiehať sa“, na zvyšujúcu sa variabilitu (Montgomery, 1985). Aplikácia RD sa spravidla v 1. etape začína posúdením ich priebehu (obr.č.18).

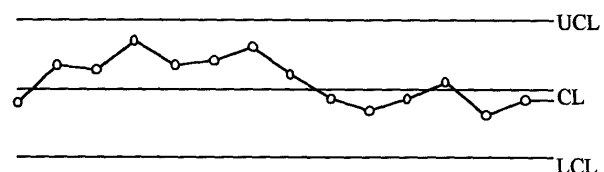
Obr.18 a.

Niektoré body sú mimo regulačných hraníc – proces mimo kontroly



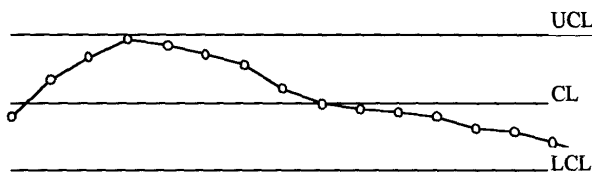
Obr.18 b.

Systematický odklon bodov jedným smerom od centrálnej čiary



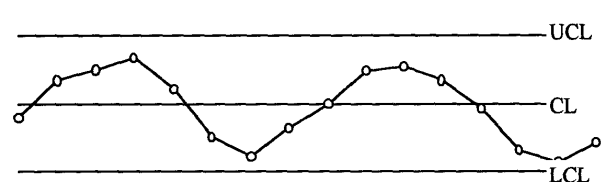
Obr.18 c.

Stúpajúca – klesajúca tendencia bodov – prítomnosť trendu



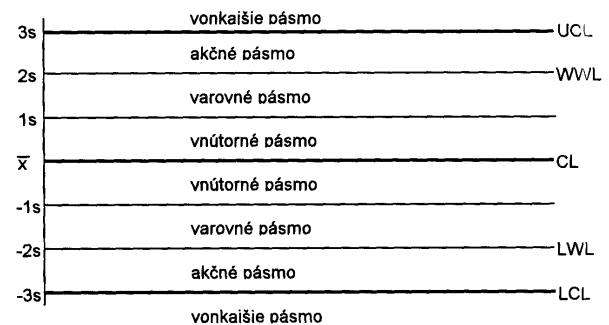
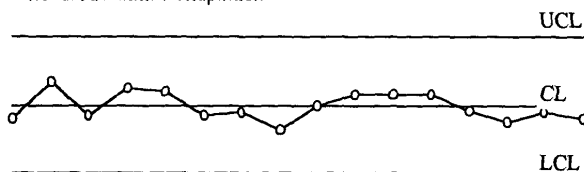
Obr.18 d.

V istých intervaloch spojnice bodov stúpa/klesá – prítomnosť periodicity



Obr.18 e.

Príliš veľká vzdialenosť regulačných medzí – proces ešte nemusí byť pod kontrolou – je potrebné zmeniť triedenie – nesúrodé dáta v skupinách



Obr.18 a-e. Rozbor regulačného diagramu.

Obr.19. Členenie šírky 6s regulačného diagramu pre aritmetický priemer na pásma.

Pri analýze regulačného diagramu sa v zmysle normy ISO 8258 uvažuje iba s tzv. chybou prvého druhu, ktorá vzniká vtedy, ak je sledovaný proces štatisticky zvládnutý, ale niektorá hodnota náhodou padne mimo vypočítané regulačné medze (obr.18-1), v dôsledku čoho sa môže nesprávne požadovať odstránenie príčiny neexistujúceho problému. Tento predpoklad má za následok, že podľa normy ISO 8258 je výpočet regulačných medzí jednoduchší, ale menej presný. (Pôvodná norma ČSN 010265 uvažovala aj s tzv. chybou druhého druhu, ktorá vzniká vtedy, ak je sledovaný proces v skutočnosti v štatisticky nezvládnutom stave, ale všetky body regulačného diagramu sú náhodou vo vnútri regulačných medzí.)

Aby sa predišlo chybám z nesprávnych záverov, odporúča sa pri praktickom hodnotení regulačných diagramov pre aritmetický priemer vykonať aj tzv. doplnkové testy pre určenie vymedziteľných príčin kolísania hodnôt v regulačnom diagrame. Pre praktickú analýzu polygónu hodnôt, vnesených do regulačného diagramu sa odporúča podrobnejšie členenie šírky regulačného diagramu pre aritmetický priemer do štyroch obojstranných pásiem (obr.19) a sledovanie hodnôt v jednotlivých pásmach.

Norma ISO 8258 odporúča testovať najmä nasledovné zoskupenia bodov v týchto pásmach:

1. Prítomnosť jednej hodnoty vo vonkajšom pásme.



2. Prítomnosť súvislého radu deviatich hodnôt vo vnútornom pásme.
3. Prítomnosť súvislého stúpajúceho alebo klesajúceho radu šiestich hodnôt.
4. Prítomnosť kolísania súvislého radu štrnástich hodnôt vo vnútornom a varovnom pásme.
5. Prítomnosť dvoch z troch za sebou idúcich hodnôt v akčnom pásme.
6. Prítomnosť štyroch z piatich za sebou idúcich hodnôt vo varovnom, alebo akčnom pásme.
7. Existencia súvislého radu pätnástich hodnôt vo vnútornom pásme.
8. Existencia súvislého radu ôsmich hodnôt vo varovnom pásme po oboch stranách stredovej čiary, ak žiadna z hodnôt neleží vo vnútornom pásme.

Každý, kto vykonáva analýzu regulačného diagramu, by mal na tieto špecifické zoskupenia hodnôt reagovať.

V 2. etape, po stabilizácii procesu sa snažíme o udržanie tohoto stavu, príp. o jeho zlepšenie. V tejto etape sa s výhodou používa C-E diagnostika a Pareto princíp určenia životne dôležitých príčin pre ich následnú elimináciu.

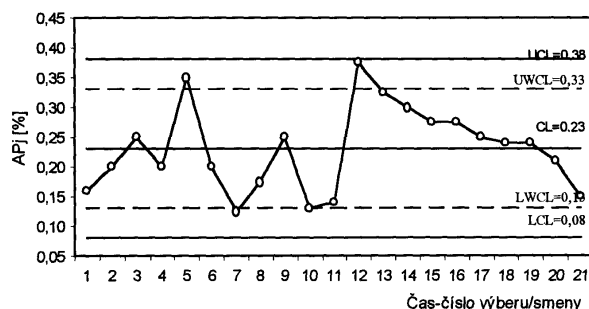
Po zvládnutí procesu sa vypočítava index spôsobilosti procesu - CPI - Process Capability Index =  $(UCL-LCL)/6s$ , príp. kritický index spôsobilosti procesu CCPI =  $(UCL-xp_0)/3s$ , resp.  $(xp_0-LCL)/3s$  (berie sa vždy menšia z hodnôt), s požiadavkou, aby tento bol  $\geq 1,33$ .

Pre aplikáciu RD je použitý ten istý súbor dát ako pre aplikáciu histogramu (časť 3) (Macejová et al., 1995), z prostého dôvodu, ukázať výhody aj nevýhody oboch prístupov na tých istých dátach.

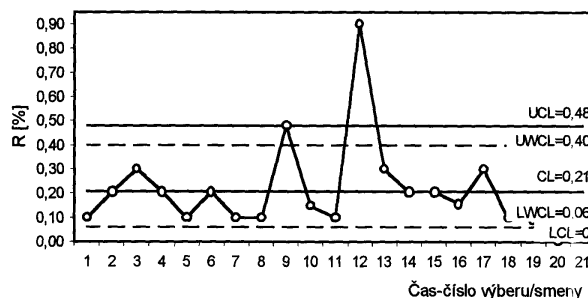
Hodnoty, získavané počas siedmich dní v trojsmennej prevádzke, s odberom každé dve hodiny,  $N = 7 \times 3 \times 4 = 84$ , teda  $k = 21$ ,  $n = 4$ , týkali sa zistenia, či je alebo nie je dodržaná podmienka maximálne prípustnej straty žíhaním  $NV = 0,5\%$  pri výrobku AKTIMAG KF. (Prekročenie tejto hodnoty znamená preradenie do nižšej kvalitatívnej triedy).

Do regulačného diagramu  $\bar{x}$  pre aritmetický priemer, obr.č.20, boli vynesené priemerné hodnoty  $k = 21$  výberových súborov.  $AP_j = \frac{\sum x_{ij}}{n}$ ,  $n = 4$ . Úroveň  $CL = \frac{\sum AP_j}{k} = 23\%$ , úroveň

$CL/LCL = CL \pm A_2$ .  $PR = 0,38 / 0,08\%$ , pri  $A_2 = 0,729$ , priemerné rozpätie  $PR = \frac{\sum R_j}{k} = 0,21$ , rozpätie jedného výberu  $R_j = R_{jmax} - R_{jmin}$ .



Obr.20. Regulačný diagram -  $\bar{x}$ .



Obr.21. Regulačný diagram - R.

Do regulačného diagramu R pre rozpätie (obr.č.21) boli vynesené priemerné hodnoty  $k = 21$  výberových rozpätí  $R_j$ . Úroveň  $CL = PR = 0,21\%$ , úroveň  $UCL = D_4.PR = 0,48\%$ , pri  $D_4 = 2,282$ , úroveň  $LCL = D_3.PR = 0\%$ , pri  $D_3 = 0$ .

Pri porovnaní oboch diagramov  $\bar{x}$  - R je zrejmé, že RD pre aritmetický priemer „skrýva“ vnútorné problémy jednotlivých rizikových výberov č.5 a č.12, pretože spriemernenie jednotlivých odberov počas smeny zabezpečuje, že všetky smenové - výberové aritmetické priemery sú v akčnom tolerančnom pásme. (Pri vynesení varovného pásma to už tak nie je). Okrem toho, od smeny č.12 až po smenu č.21 sa v RD prejavuje trend. V RD pre rozpätie sú rizikové výbery č.9 (aj vo varovnom pásme sú iba tieto dva výbery) a informujú o tom, že sledovaný proces nie je pod kontrolou, vyžaduje zásah, najneskôr po 12 smene.

Aj pri výpočte indexov spoľahlivosti vychádza, že proces nie je pod kontrolou, pretože hodnota CPI je 0,542 pri priemernej štandardnej odchýlke  $0,0968\% = 0,10\%$ . (Požiadavka na minimálnu hodnotu CPI je 1,33).

Okrem toho boli vypočítané výberové rozptyly a variačné koeficienty pre všetkých  $k = 21$  výberov (tab.č.7).

Tabuľka 7. Základné výberové charakteristiky  $k = 21$  výberov po  $n = 4$  hodnoty merania straty žíhaním [%].

Deň odberu	Číslo výberu (smeny)	Aritmetický priemer	Rozpätie výberu	Rozptyl výberu	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient
1	1	0,160	0,100	0,0023	0,0480	29,970
	2	0,200	0,200	0,0066	0,0812	40,620
	3	0,250	0,300	0,0166	0,1288	51,54!
2	4	0,200	0,200	0,0066	0,0812	40,620
	5	0,350	0,100	0,0033	0,0574	16,410
	6	0,200	0,200	0,0133	0,1153	57,66!
3	7	0,125	0,100	0,0025	0,0500	40,000
	8	0,175	0,100	0,0025	0,0500	28,570
	9	0,250	0,50!	0,0566	0,2379	95,16!!
4	10	0,130	0,140	0,0038	0,0616	47,420
	11	0,140	0,100	0,0023	0,0480	34,260
	12	0,375	0,90!	0,1554	0,3942	105,12!!
5	13	0,325	0,300	0,0225	0,1500	46,150
	14	0,300	0,200	0,0066	0,0812	27,080
	15	0,275	0,200	0,0091	0,0957	34,800
6	16	0,275	0,150	0,0041	0,0645	23,450
	17	0,250	0,300	0,0166	0,1288	51,54!
	18	0,240	0,100	0,0023	0,0480	19,980
7	19	0,240	0,080	0,0015	0,0387	16,140
	20	0,210	0,030	0,0002	0,0141	6,730
	21	0,150	0,100	0,0033	0,0574	38,290

Vo výberoch č.9 a č.12 sú neúmerne vysoké rozpätia, nízka presnosť, extrémne vysoký variačný koeficient. Údaje v týchto smenách mali byť okamžite prekontrolované, čo žiaľ pri existujúcom čase medzi odberom vzorky a jej vyhodnotením nebolo možné. Takto nie je možné zistiť, či tu bol prítomný zlý odber vinou pracovníka, alebo sa náhodne v odoberanom materiáli vyskytla extrémne neprípustná hodnota, alebo bol proces pálenia nestabilný z prevádzkových príčin.

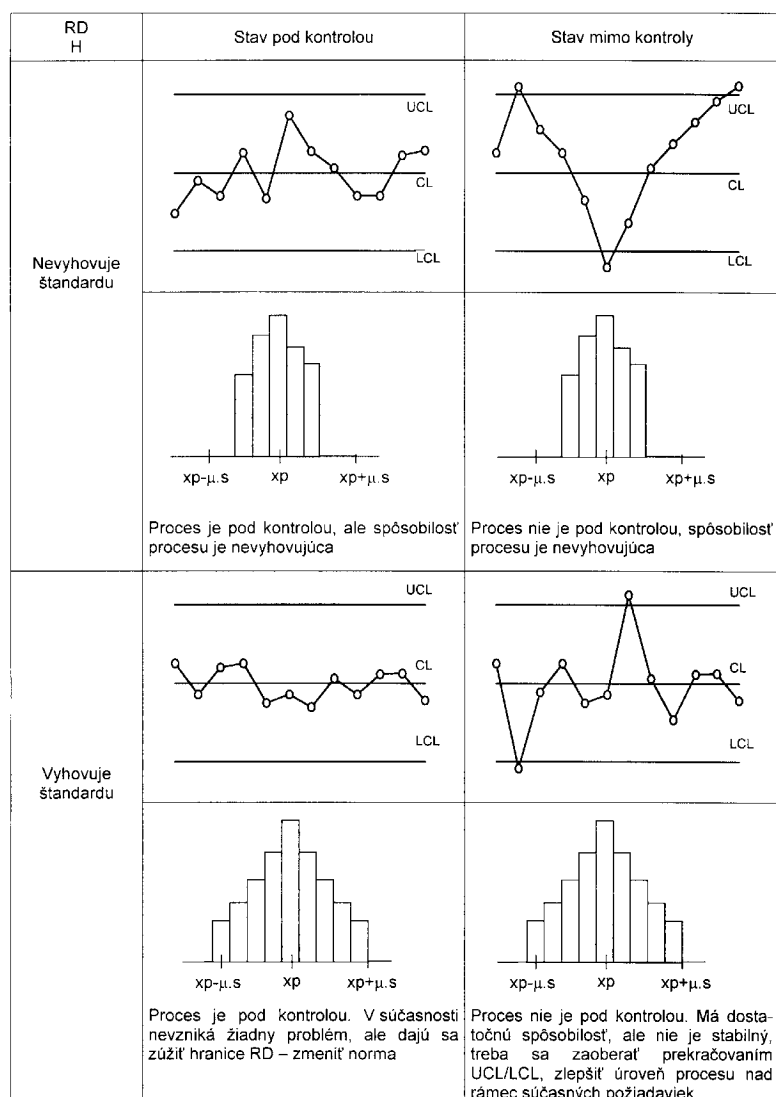
### Spoločné využívanie metód SPC

Stratégia zlepšovania (improvement) kvalitatívnych parametrov procesov vychádza z rozdielu medzi evolučnými zmenami v rámci životného cyklu produktu/služby a vytváraním nového produktu/služby, teda revolučnou zmenou (innovation).

Juranova trilógia kvality je založená na presvedčení, že v ďalšom PDCA Demingovom cykle bude početnosť výskytu negatívnych príčin nižšia, interval spoľahlivosti hodnotených parametrov užší, rozdiel medzi hornou a dolnou regulačnou medzou v regulačnom diagrame menší, index spôsobilosti procesu vyšší, ap.

V r.1981 uverejnil Fukuda (Quality Progress, 1981) návrh možnosti spojenia viacerých metód SPC, tzv. CEDAC systém (Cause and Effect diagram with the Addition of Cards), teda spojenie C-E diagnostiky či už s regulačnými diagramami - RD, histogramami - H, Paretovým diagramom - PD, Lorentzovou krivkou - LK, pričom ľavá vstupná, príčinná strana C-E diagramu sa dopĺňa okrem všeobecných kategórií príčin aj tzv. diagramami faktov - FC (Fact Cards) a diagramami zlepšení - IC (Improvement Cards). Po realizácii korekčných zásahov (IC), vykonaných na základe hodnotenia subpríčin (FC), sa na pravej, výstupnej, následkovej strane vytvorí nový RD/H/PD/LK, s kvalitatívne lepšími hodnotiacimi charakteristikami.

Iný, klasický spôsob súčasného porovnávania výsledkov hodnotenia toho istého parametra dvoma metódami je využívanie regulačných diagramov a histogramov/frekvenčných kriviek rozdelenia, aby sa zvýraznil časový priebeh - časový rad hodnôt a zákon rozdelenia týchto hodnôt, ako to znázorňuje obr.č.21 a zvýšila vypovedacia schopnosť oboch metód.



Obr.21. Súčasné využívanie regulačných diagramov a histogramov.

Motto:

**Nemusíme nič zlepšovať,  
prežitie nie je povinné.**

W.E. Deming

### Záver

Metódy SPC a ich aktívne využívanie sú neoddeliteľnou súčasťou implementácie filozofie procesného riadenia totálnej kvality, ktorá vedie k optimalizácii pracovných procesov, k neustálemu zlepšovaniu operácií, postupov a činností. Podrobné zoznámenie sa s pojmami a nástrojmi štatistického riadenia kvality v súlade s normami ISO radu 9000 umožňuje zaradiť do procesov nielen kontrolu kvality, ale aj hľadanie príčin nekvality a ich analýzou dospieť k rozhodnutiam, vedúcim k ich odstráneniu.

### Literatúra

- Banks, J.: Introduction to TQM. McGraw Hill, 1991.  
 Feigenbaum, A.: TQC. McGraw Hill, 1992.  
 Fiala a kol.: Řízení jakosti podle ISO 9000. 1995.  
 Floreková, Ľ.: Matematické modelovanie. ALFA Bratislava 1985.  
 Floreková, Ľ.: Možnosti využitia C-E diagramu pri analýze výrobných technologických procesov. Zb. XIV.sem. ASŘ Zlín, 1990, s. 44-51.  
 Floreková, Ľ.: TQM - proces neustáleho zlepšovania produkcie/služieb. Acta Montanistica Slovaca, 3/1996, s. 187-190.  
 Floreková, Ľ.: Possibilities of CEDAC - system by Quality Management. In: Prod. of the International Conference Modern Techniques of Start. Data Anal. and QC, TU Košice, 1996a, s. 89-94.  
 Floreková, Ľ.: Dom kvality - príležitosť pre technické vzdelávanie. In: Zb.sem. TEMPUS - EQUATU, ŽU - Žilina, 1997, s.27-32.  
 Floreková, Ľ.: Edukačný marketing a management: niektoré skúsenosti a poznatky. Academia, VIII, 2/97, s. 6-11.

- Quality Progress. *November 1981, pp. 14-19.*
- Gitlow, H., Gitlow, S., Oppenheim, A., & Oppenheim, R.: Tools and Methods for the Improvement of Quality. *Irwin, Boston 1989.*
- Hebák, P. & Hustopecký, J.: Průvodce moderními statistickými metodami. *SNTL Praha, 1990.*
- Hedvigová, I.: Programová podpora pre výučbu predmetu Systém riadenia kvality. *Dipl. práca, KRVP F BERG TU Košice, 1996, 82 s.*
- Hoffer, P.: Moving to Prevention: An Industry in Transition. *Quality Progress, Vol.18, No.4, 1985.*
- Ishikawa, K.: Guide to QC. *Tokyo/New York, 1983.*
- Ishikawa, K.: What is TQC? The Japanese Way. *Prentice Hall, 1985.*
- ISO-STN 8258: Shewhartove regulačné diagramy.
- James, P.: TQM. *Prentice Hall, 1996.*
- Juran, J.: Planning for Quality. *Free Press, 1988.*
- Karlöf, B. & Östblom, S.: Benchmarking. *Victoria Pbl. Praha, 1995.*
- Kasperkevičová, S.: Štatistická regulácia výrobného procesu. *Skrutkáreň, a.s., Stará Ľubovňa, Dipl.práca, KRVP F BERG TU Košice, 1997, s.75.*
- Macejová, A. & Urbánková, D.: Analýza problematiky systému riadenia kvality pre závod Magnezit, š.p. Košice. *Dipl.práca, KRVP, F BERG TU Košice, 1995, 101 s.*
- Messina, V.S.: SQC for manufacturing managers. *Wiley & Sons, 1987.*
- Montgomery, D.C.: Statistical Quality Control. *Wiley, 1985.*
- Munro-Faure, L. & M. : Implementing TQM, Pitman Pbl., 1990.
- Normy ISO 14000 – QSM.
- Normy ISO 9000 – ESM.
- Oakland, J.S.: TQM. *Butterworth/Heinemann, 1992.*
- Pitt, H.: SPC for the Rest of Us (A Personal Path to SPC). *Add. Wesley Pbl, 1992.*
- Příbyl, P.: Předpoklad kvality. *Ekonom 3/1995, s.42-3.*
- Richard, B.K., jr.: MIS + TQM = QIS. *Quality Progress, 4/1994, pp. 29-31.*
- Roman, D.: QIS, Key Part of Successfulness. *In: Proc. of the International Conference Modern Techniques of Start. Data Anal. and QC, TU Košice, 1996, s 76-82.*
- Ross, J.E.: Total Quality Management. *Kogan Page Lmt. 1994.*
- Vido, Š.: Analýza a projekt systému riadenia kvality pre SMZ, a.s., Jelšava. *Dipl.práca, KRVP FBERG TU Košice, 1995, 75 s.*
- Wadsworth, H.M, Stephens & Godfrey, A.B.: Modern Methods for Quality Improvement. *Wiley & Sons, 1986.*