

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Regulační diagramy řešené SW QI Analyst

**vedoucí práce: doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.
autor: Pavel Tvrdý**

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel TVRDÝ**
Osobní číslo: **E11N0042P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Regulační diagramy řešené SW QI Analyst**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Charakterizujte regulační diagramy jako statistický nástroj řízení kvality.
2. Vypracujte přehled platných norem pro regulační diagramy.
3. Vypracujte modelové příklady pro jednotlivé typy regulačních diagramů.
4. Charakterizujte SW QI Analyst, jeho možnosti a vybrané příklady regulačních diagramů řešte tímto SW.
5. Zhodnoťte kvalitu řešení regulačních diagramů získaných oběma způsoby.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Tůmová O., Pirich D.: Základní nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky, vyd. ZČU Plzeň 2003
2. Tůmová O.: Metrologie a hodnocení procesů, BEN Praha 2009
3. Regulační diagramy, platné normy ČSN ISO
4. manuál SW QI-Analyst

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Cílem diplomové práce Regulační diagramy řešené SW QI Analyst je zhodnotit kvalitu provedeného řešení tímto programem, předvést jeho funkce a zpracovat několik příkladů. V úvodu práce jsou charakterizovány regulační diagramy jako statistický nástroj řízení kvality, je zde vypracován i přehled platných norem v této oblasti. V další části se práce zabývá programem QI Analyst, jeho možnostmi a jsou zde zpracovány modelové příklady, pomocí uvedeného software. Konec práce je věnován zhodnocení kvality řešení regulačních diagramů oběma způsoby.

Klíčová slova

Regulační diagramy, QI analyst, statistická regulace, normy, řízení kvality, SPC, Shewhart

Abstract

Main goal of this master thesis Control charts solved in QI Analyst software is to evaluate the quality of results made with this program, to demonstrate its functions in few examples. In the introduction, control charts are characterized as a statistical quality management tool, an overview of the applicable standards in this area is drawn. The next part of the thesis deals with the program QI Analyst, its possibilities and then model examples are processed, using given software. End of this work is devoted to the evaluation of the solution quality of control charts using both methods.

Key words

Control charts, QI analyst, statistical process control, standards, quality control, SPC, Shewhart

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.5.2013

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především mé vedoucí diplomové práce, paní doc. Ing. Olze Tůmové, CSc. za pomoc a věcné rady v průběhu tvorby práce. Rád bych také poděkoval Ing. Lukáši Kupkovi, PhD. a Ing. Markétě Růžkové za jejich pomoc při řešení některých komplikací. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za podporu, kterou mi poskytovali po dobu studia.

Obsah

ÚVOD	1
SEZNAM SYMBOLŮ	2
1 CHARAKTERISTIKA REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ JAKO NÁSTROJE ŘÍZENÍ KVALITY	3
1.1 TYPY REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ	6
1.1.1 Shewhartovy regulační diagramy	6
1.1.2 Přejímací regulační diagramy	11
1.1.3 Regulační diagram nastavení procesu	11
1.1.4 Regulační diagramy pro kumulovaný součet CUSUM	11
1.1.5 Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi	13
1.1.6 Regulační diagramy typu EWMA	13
1.1.7 Regulační diagramy CCC	15
1.1.8 Regulační diagramy ARIMA	16
1.1.9 Hotellingův diagram pro více znaků	16
1.2 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI	17
1.2.1 Ukazatel c_p	17
1.2.2 Ukazatel c_p	17
1.2.3 Ukazatel c_{pm}	17
1.2.4 Ukazatel c_{pkm}	18
1.3 UKAZATEL VÝKONNOSTI PROCESU	18
1.3.1 Ukazatel p_p	18
1.3.2 Ukazatel p_{pk}	18
2 PŘEHLED PLATNÝCH NOREM PRO REGULAČNÍ DIAGRAMY	19
2.1 ČSN ISO 7870-1 REGULAČNÍ DIAGRAMY – ČÁST 1: VŠEOBECNÉ POKYNY	19
2.2 ČSN ISO 11462-1 – SMĚRNICE PRO UPLATŇOVÁNÍ STATISTICKÉ REGULACE PROCESU (SPC) – ČÁST I: PRVKY SPC	19
2.3 ČSN ISO 21747 – STATISTICKÉ METODY – UKAZATELE VÝKONNOSTI A ZPŮSOBILOSTI PROCESU PRO MĚŘITELNÉ ZNAKY KVALITY	19
2.4 ČSN ISO 7966 – PŘEJÍMACÍ REGULAČNÍ DIAGRAMY	19
2.5 ČSN ISO 7873 – REGULAČNÍ DIAGRAMY PRO ARITMETICKÝ PRŮMĚR S VÝSTRAŽNÝMI MEZEMI	20
2.6 ČSN 01 0266 – ZVLÁŠTNÍ TYPY STATISTICKÉ REGULACE – METODA KUMULOVANÝCH SOUČTŮ	20
2.7 ČSN ISO 8258 – SHEWHARTOVY REGULAČNÍ DIAGRAMY	20
3 QI ANALYST	21
3.1 CHARAKTERISTIKA	22
3.2 MOŽNOSTI	23
4 MODELOVÉ PŘÍKLADY PRO JEDNOTLIVÉ TYPY REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ	25
4.1 PŘÍKLAD VÝPOČTU DIAGRAMŮ MĚŘENÍM, CHEMICKÁ VÝROBA, MĚŘENÍ KOAGULÁTU	25
4.1.1 Hodnoty	26
4.1.2 Příklad výpočtu	26
4.1.3 Hodnocení diagramů	27
4.1.4 Jednotlivé diagramy	28
4.1.5 Diagramy bez vynechání odlehlých hodnot	33
4.2 PŘÍKLAD VÝPOČTU DIAGRAMŮ MĚŘENÍM, CHEMICKÁ VÝROBA, MĚŘENÍ SUŠINY	34
4.2.1 Hodnoty	34
4.2.2 Hodnocení diagramů	34
4.2.3 Jednotlivé diagramy	35
4.3 PŘÍKLAD VÝPOČTU DIAGRAMŮ MĚŘENÍM, CHEMICKÁ VÝROBA, MĚŘENÍ VIZKOZITY	40
4.3.1 Hodnoty	40
4.3.2 Příklad výpočtu	41
4.3.3 Hodnocení diagramu	41
4.3.4 Jednotlivé diagramy	42
4.4 PŘÍKLAD VÝPOČTU DIAGRAMŮ SROVNÁVÁNÍM, VÝROBA SOUČÁSTEK	49

4.4.1	Hodnoty.....	49
4.4.2	Příklad výpočtu.....	50
4.4.3	Hodnocení diagramu.....	50
4.4.4	Diagram.....	51
4.5	PŘÍKLAD VÝPOČTU DIAGRAMŮ SROVNÁVÁNÍM, VÝROBA SOUČÁSTEK.....	52
4.5.1	Hodnoty.....	52
4.5.2	Příklad výpočtu.....	53
4.5.3	Hodnocení diagramu.....	53
4.5.4	Diagram.....	54
5	HODNOCENÍ KVALITY ŘEŠENÍ REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ ZÍSKANÝCH OBĚMA	
	ZPŮSOBY.....	55
	ZÁVĚR.....	56
	POUŽITÁ LITERATURA.....	57
	PŘÍLOHY.....	1
	ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY.....	1
	PŘÍLOHA 1 SOUČINITELE PRO REGULAČNÍ MEZE SHEWHARTOVÝCH DIAGRAMŮ.....	2

Úvod

V současné době se většina běžných výrobků lidské spotřeby vyrábí ve velkém množství kusů a tedy sériově. Protože disponujeme pouze omezenými zdroji, jež je třeba vhodně využít, snažíme se zabránit plýtvání. Nežádoucí mrhání zásobami je nepříjemné z mnoha rozličných důvodů. Pro výrobce je zejména důležité, že prodražuje produkci a tím ovlivňuje případnou pozici na trhu, která je do značné míry určena cenou výrobku. Jedním z jeho typů je také výroba zmetků, jež nedosahují požadované kvality. Její sledování je tedy nasnadě. Vhodnou cestou k dosažení cílené kvality je například využití regulačních diagramů, jež mohou zásadně ovlivnit celkový proces. Existuje několik typů takovýchto diagramů, jež mají široké spektrum využití. Většina jich podléhá platným mezinárodním normám, jsou využívány již poměrně dlouho. Pro výpočet a nákres diagramů lze využít moderní počítačové techniky. Software totiž dokáže přesněji a hlavně rychleji vykreslit vše potřebné, ideálně dokonce v reálném čase. Jedním z mnoha programů, používaných k tomuto účelu je *QI Analyst*, popisovaný v této práci. Práce se zabývá popisem jednotlivých druhů diagramů, jež se v praxi používají. Popisuje jejich vlastnosti a způsob konstrukce, s ohledem na normy. Ty jsou v práci také stručně popsány. V práci je také zpracováno několik příkladů, ilustrujících jednotlivé diagramy a jejich tvorbu a to jak pomocí zmíněného software, tak ručně.

Práce má za hlavní cíl demonstrovat možnosti zpracování diagramů v uvedeném programu. Dílčími cíly je zpracování stručného přehledu používaných diagramů, včetně souvisejících norem a také zpracování příkladů, jež lépe demonstují funkce software. Pro srovnání je také uvedeno vypracování stejných příkladů ručně, s ohledem na platné normy.

Téma diplomové práce jsem zvolil převážně proto, že mne oblast výroby zajímá již dlouhou dobu a práce s diagramy je jeden z mnoha úkonů, se kterými se v budoucnu pravděpodobně setkám.

Seznam symbolů

k	Počet podskupin
\bar{x}	Průměrná hodnota znaku
$\sigma^2(X)$	Rozptyl
σ	Směrodatná odchylka
n	Rozsah podskupiny
X_i	Hodnoty měřeného znaku kvality
s	Výběrová směrodatná odchylka
\bar{s}	Průměrná hodnota výběrové směrodatné odchylky
R	Rozpětí v podskupině
\bar{R}	Průměrná hodnota rozpětí v podskupině
Me	Medián v podskupině
\overline{Me}	Průměrná hodnota mediánu v podskupině
μ	Střední hodnota
μ_0, σ_0	Základní hodnoty (stanovené)
UCL	Horní regulační mez
LCL	Dolní regulační mez
CL	Centrální přímk
UTL	Horní mezní hodnota
LTL	Dolní mezní hodnota
p	Podíl neshodných jednotek ve skupině o rozsahu n
\bar{p}	Průměrná hodnota podílu neshodných jednotek ve skupině o rozsahu n
np	Počet neshodných jednotek v podskupině rozsahu n
$n\bar{p}$	Průměrná hodnota počtu neshodných jednotek v podskupině rozsahu n
\bar{c}	Průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách
u	Počet neshod na jednotku v podskupině
\bar{u}	Průměrná hodnota počtu neshod na jednotku v podskupinách
ACL	Přejímací regulační meze
APL	Vyhovující úroveň procesu
RPL	Nevyhovující úroveň procesu nebo oblast nevyhovujících procesů
α	Riziko, že proces bude posouzený chybně jako nevyhovující
β	Riziko, že proces bude posouzený chybně jako vyhovující

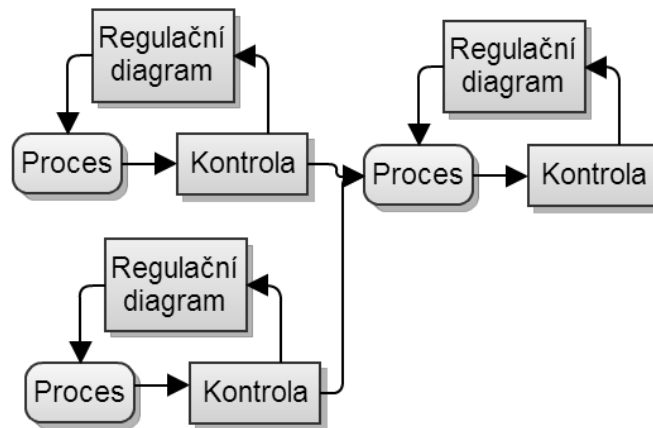
1 Charakteristika regulačních diagramů jako nástroje řízení kvality

Variabilita procesů je důležitým a sledovaným pojmem. Bude-li mít jeden proces nízkou variabilitu, tak i přes to, že bude mít vyšší střední hodnotu než druhý, lze jej považovat za lepší, protože bude statisticky pod kontrolou. Ke sledování variability se využívá regulačních diagramů. Regulační diagramy, patřící mezi jeden ze sedmi základních nástrojů řízení kvality, zobrazují statistický ukazatel pro řadu výběrů, který je v určitém uspořádání zakreslen do tohoto diagramu. Slouží k vizuálnímu posouzení kontroly nad procesem a tedy posouzení, zdali se proces chová tak, jak se očekává. Mohou tak pomoci k zlepšení procesu, nedají však odpověď, jak nad ním získat kontrolu. Slouží tedy k posouzení stability procesu. A tedy k odpovědi na otázku zda proces funguje jako stabilní systém s náhodnými vlivy působícími v malém rozsahu (systém s inherentní variabilitou) označovaný též jako proces ve „statisticky zvládnutém stavu“, případně zda dochází ke zlepšení či zhoršení tohoto stavu. Působí zde široká škála neidentifikovatelných příčin, z nichž se každá na celkové variabilitě podílí zanedbatelnou složkou. Součet příspěvků náhodných příčin je chápán jako přirozený rys procesů a jejich působení je trvalé a relativně předvídatelné. Vlivem náhodných příčin se poloha ani variabilita sledovaných znaků kvality prakticky nemění. Omezit jejich celkové působení lze jen nežádoucími radikálními zásahy do výrobního procesu (změna technologie, změna výrobního zařízení atd.). Dále proces mohou ovlivňovat variability zvláštní (vymežitelné) příčiny variability, které vyvolávají změny, jež vedou k nežádoucí reálné změně výrobního procesu. Jejich působení je náhodné a nepředvídatelné. Příčiny tedy mohou být dvojího druhu, a to:

Nepředvídatelné: nepředstavují přirozené chování procesu a měly by být odstraněny

Předvídatelné: jejich působení je dáno fyzikální podstatou daného procesu (otupování nástroje, zanášení filtru). Lze je omezit, ale ne odstranit.

Pojmem stabilita je myšleno míra schopnosti zachovat určité parametry výstupu procesu. Např. výroba stejných, nebo alespoň co nejvíce podobných součástek. V sériové a hromadné výrobě se jedná o podstatný parametr. Jsou založeny na normálním rozdělení pravděpodobnosti. Účelem je posouzení, zdali variabilita parametru je způsobena náhodným kolísáním nebo speciálními příčinami (nastavení měřidla, změna parametru atp.). V Obr. 1 lze vidět, že regulační diagram představuje zpětnou vazbu pro proces, spolu s výstupní kontrolou.



Obrázek 1 Regulační diagram a zpětná vazba

Dále pak mohou být použity ke sledování trendů, iterací a cyklů chování systému a tak určovat předpověditelnost systému a předpovídat, zda systém vyhoví stanoveným požadavkům. Také se používají k identifikaci a případné eliminaci nepříznivých vlivů, k poskytnutí zpětné vazby pro nastavení procesu a při posuzování výkonnosti systému měření. Regulační diagram poskytuje uživatelům on-line pohled na chování procesu a jeho výhodou je jednoduchost jeho konstrukce a snadnost jeho užití.

Kromě sledování stability procesu mohou být diagramy využity také k rozhodování o přijetí procesu. Je-li statisticky zvládnutý, je možné učinit rozhodnutí, zdali výstupní proces splňuje nebo nesplňuje požadavky. Tento případ popisuje norma ISO 7966 a také kapitola zaměřená na přijímací regulační diagramy. Typický regulační diagram obsahuje centrální přímkou zohledňující úroveň, kolem níž lze očekávat kolísání zakreslované charakteristiky. Kromě toho také dvě přímkou určující regulační meze, čili předepsané pásmo, ve kterém bude zakreslovaná statistika náhodně rozložena. Nachází-li se statistika vně regulačních mezí, může být proces statisticky nezvládnutým. Regulační diagram dává pouze upozornění, že může být přítomna vymežitelná příčina variability.

Opatření:

- a) uskutečnit šetření s cílem stanovit zdroj vymežitelných příčin variability, odstranit ho nebo snížit jeho vliv v budoucnu
- b) nastavit proces
- c) pokračovat v procesu na základě hodnocení rizika
- d) zastavit proces nebo prodiskutovat omezující opatření, dokud nedojde k nápravě
- e) tam kde má ukazatel zvláštní příčiny pozitivní charakter tuto zvláštní příčinu zachovat

Někdy se do diagramu umisťují také výstražné meze. Pokud se statistika nachází vně výstražných mezí ale uvnitř regulačních, znamená to, že se proces sice nachází ve zvládnutém stavu a nepotřebuje tedy žádná opatření, ale je nutné mu věnovat pozornost. Mohlo totiž dojít k ovlivnění zvláštní příčinou. Někdy se tyto meze také nazývají akční, protože je na místě začít jednat a zvýšit rozsah příštího výběru nebo zkrátit časový interval a stanovit, jestli se proces nějak změnil. Jedná-li se o přejímací regulační diagram, mohou být další meze použity jako rozhodovací kritérium pro posouzení procesu.

Při posuzování mohou nastat dva různé druhy chyb.

Chyba prvního druhu označuje stav, kdy je proces na základě dat nesprávně identifikován, jako statisticky nezvládnutý na základě čehož jsou provedena různá opatření. Proces je ale ve skutečnosti ovlivněn pouze náhodnými příčinami a nezvládnutý tedy není. Riziko vzniku této chyby se nazývá α .

Chyba druhého druhu označuje stav, kdy je proces naopak nesprávně identifikován jako statisticky zvládnutý a opatření se neprovedou. Proces ale je již ovlivněn zvláštní příčinou, regulační diagram to ale ještě nezobrazuje. Riziko vzniku této chyby se nazývá β .

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [8] [9] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [25] [26] [29] [37] [40] [45] [49]

1.1 Typy regulačních diagramů

Výběr regulačního diagramu závisí na různých faktorech. Zejména na citlivosti regulačního diagramu, změnách v procesu, výskytu korelovaných dat, portu znaků kvality sledovaných současně, na korelaci mezi znaky kvality. Každý z diagramů má tedy mírně jiné určení, někdy je ale doporučeno k odhalení nesrovnalostí využít i více typů současně. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [8] [9]

1.1.1 Shewhartovy regulační diagramy

Základní Shewhartův diagram byl vytvořen již v roce 1924, kdy byly položeny základy statistické regulace. W.A. Shewhart z Bell Telephone Laboratory sestrojil diagram pro posouzení příčin variability výrobního procesu.

Do diagramu se zaznamenávají údaje v pravidelných intervalech. Ty mohou být časové, například hodina, nebo kvantitativní, například dávka. Obvykle se podskupiny skládají z výrobků nebo služeb se stejnými jednotkami a stejným rozsahem podskupiny. Z každé této podskupiny se získá jedna nebo více charakteristik. Diagram je potom grafem znázorňujícím dané charakteristiky podskupiny oproti jejich pořadovému číslu. Základ diagramu tvoří centrální přímka, znázorňující referenční či očekávanou hodnotu, často aritmetický průměr. Při regulaci procesu se obvykle jedná o dlouhodobou hodnotu, stanovenou empiricky z předchozích zkušeností s procesem, nebo o hodnotu uvedenou v technickém zadání. Další součástí jsou regulační meze a to horní UCL a dolní LCL. Tyto určují, do jaké oblasti by naměřená data měla spadat, interval, kde se pohybují charakteristiky znaku. Jsou určeny vzdáleností 3σ na každou stranu centrální přímky, kde σ je směrodatná odchylka sledovaného parametru souboru, z něhož jsou vybrány podskupiny. Charakterizuje variabilitu uvnitř podskupiny, která je použita jako míra náhodného kolísání. Je-li proces ve statisticky zvládnutém stavu, uvnitř regulačních mezí 3σ bude přibližně 99,7 % všech hodnot v podskupině. To znamená, že mimo regulační meze bude bod ležet v průměru ve třech případech z tisíce, neboli s pravděpodobností 0,3 %. V praxi se někdy používá součinitel 3,09, aby se získalo pravděpodobnosti 0,1 % a tedy jeden nesprávný případ z tisíce. Shewhart ovšem zvolil číslo 3 z toho důvodu, aby to nevedlo ke snaze uvažovat přesné pravděpodobnosti. Pravděpodobnost překročení mezí 3σ z náhodných příčin se považuje za minimální, a proto by se při objevení takového bodu mělo zasáhnout. Z toho důvodu se tyto meze označují jako akční. Někdy se do diagramu zakreslují také meze 2σ . Tyto se označují jako varovné a slouží k upozornění na možnost hrozby statisticky nezvládnutého procesu.

Shewhartův diagram neuvažuje chybu druhého druhu. V dané situaci je obtížné získat na ni smysluplný odhad nákladů. Při mezích 3σ je velikost chyby prvního druhu 0,3 %.



Obrázek 2 Typy regulačních diagramů

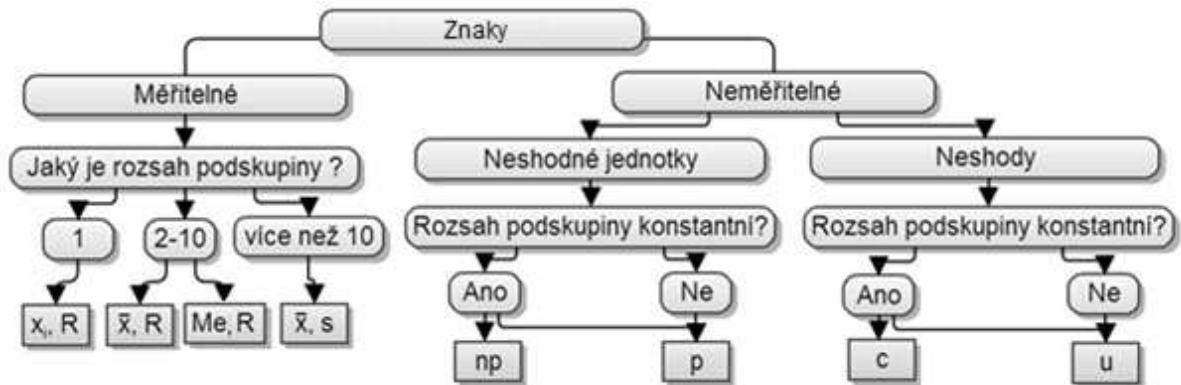
Padne-li hodnota mimo regulační meze nebo vytváří-li hodnoty neobvyklá seskupení poukazující na vymezené příčiny kolísání, není proces nadále považován za statisticky zvládnutý. Proces se musí zastavit nebo upravit, dokud se chyba nezjistí a neodstraní. Jak bylo naznačeno výše, pro chybu prvního druhu nemůže být zjištěna vymezená příčina. Musí se tedy dovést, že bod vně značí málokdy se vyskytující jev mající za následek hodnotu ležící mimo meze, ačkoliv je proces zvládnut. Výrobní proces musí být statisticky zvládnutým, ještě než jsou stanoveny stálé parametry regulačních diagramů. Regulační meze získané z nezvládnutého procesu by totiž vedly k chybným závěrům. Použití diagramu předpokládá normalitu rozdělení dat, konstantní střední hodnotu a rozptyl a nezávislost, čili nekorelovanost dat. Je zaměřený především na odlišení mezi kolísáním způsobeným náhodnými příčinami a zvláštními příčinami. Existují dva typy regulačních diagramů. Měření a a regulační diagramy srovnáním: Pro každý typ je dále třeba zjistit typ parametrů, jsou-li nebo nejsou-li stanoveny základní hodnoty. Těmi je myšleno specifikované požadavky, nebo hodnoty uvedené v technickém zadání.



Obrázek 3 Volba typu regulačního diagramu

Postup konstrukce regulačního diagramu:

- 1) Příprava dat – volba části procesu
- 2) Určení střední hodnoty a směrodatné odchylky
- 3) Ověření předpokladů pro konstrukci
- 4) Konstrukce, získání CL, UCL a LCL
- 5) Vynášení dalších dat do diagramu
- 6) Evidence vymezených příčin kolísání a jejich odstranění



Obrázek 4 Volba typu regulačního diagramu

Vzorce pro výpočet mezí RD

Pokud základní hodnoty nejsou stanoveny, čili neznáme μ, σ , je Shewhartův regulační diagram určen dle vzorců v prvním sloupci v tabulce 1 a 2. Záměrem je odhalit, jestli pozorované hodnoty kolísají v rozmezí větším, než by bylo možné přisoudit náhodě. Tato kolísání způsobená jinými než náhodnými vlivy lze odhalit regulačními diagramy založenými na údajích shromážděných z výběrů.

Pokud základní hodnoty známe, čili je známé μ, σ , spočtou se hodnoty pro tvorbu diagramu dle druhého sloupce tabulky 1 a 2. Principem je identifikace rozdílu pozorované hodnoty v podskupině o několika pozorováních, oproti základním zadaným hodnotám. Rozdíl mezi diagramy s hodnotami známými a s diagramy bez udání těchto hodnot je v poloze střední hodnoty a kolísání výrobního procesu. Hodnoty stanovené mohou být získané empiricky na základě zkušeností nebo na základě předpisu základních hodnot. Ty by měly být získány na základě předběžných údajů, které lze důvodně považovat za určující pro všechny údaje budoucí. Také by měly brát v potaz variabilitu. Tyto regulační diagramy jsou používány hlavně během výroby.

1.1.1.1 Regulační diagramy měřením

Většinu výrobních procesů je možné měřit. Naměřené hodnoty vypovídají více o procesu, není známo pouze, jestli je výrobek shodný či neshodný, ale také o kolik. Není k tomu třeba specifikací. Regulační diagram pro průměr, rozpětí nebo směrodatnou odchylku jsou obvykle připravovány a analyzovány ve dvojicích. Jeden pro polohu a druhý pro rozmezí výrobního procesu (nejčastěji dvojice \bar{X} a R).

Někdy není možné pracovat s podskupinami, ať už z důvodu nemožnosti opakování pozorování nebo existence pouze jediné hodnoty. Tehdy je nutné využít individuální údaje pro regulaci procesu a s nimi regulační diagram pro individuální hodnoty X. Regulační meze jsou založeny na míře kolísání získané z klouzavých rozpětí dvou pozorování. Tyto diagramy nejsou tak citlivé na změny jako \bar{X} a R, někdy může být lepší využít tyto.

Tabulka 1 Regulační diagramy měřením

Statistika	Základní hodnoty nejsou stanoveny		Základní hodnoty jsou stanoveny	
	Centrální přímka	UCL a LCL	Centrální přímka	UCL a LCL
\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$ nebo $\bar{X} \pm A_3 \bar{s}$	X_0 nebo μ_0	$X_0 \pm A\sigma_0$
R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	R_0 nebo $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$
s	\bar{s}	$B_4 \bar{s}, B_3 \bar{s}$	s_0 nebo $C_4 \sigma_0$	$B_6 \sigma_0, B_5 \sigma_0$
Individuální hodnota X	\bar{X}	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$	X_0 nebo μ_0	$X_0 \pm 3\sigma_0$
Klouzavé rozpětí R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	R_0 nebo $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$

Posledním druhem jsou diagramy pro medián a rozpětí. Jsou alternativou k diagramům \bar{X} a R, nevyžadují tolik výpočtů a jsou tedy jednodušší. Centrální přímka pro diagram pro medián je určena průměrem mediánů podskupin. Analogicky je centrální přímka pro rozpětí určena jako průměrná hodnota rozpětí R v podskupinách. U diagramu pro medián se meze spočtou dle vzorců:

$$UCL_{Me} = \overline{Me} + A_4 \bar{R} \quad (1.1)$$

$$LCL_{Me} = \overline{Me} - A_4 \bar{R} \quad (1.2)$$

Pro rozpětí zase jako:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (1.3)$$

$$UCL_R = D_3 \bar{R} \quad (1.4)$$

1.1.1.2 Regulační diagramy srovnáváním

Tyto diagramy sledují přítomnost nebo nepřítomnost určitého znaku u každé jednotky podskupiny. Nejvíce jsou sledovány takové, které ovlivňují chování výrobku nebo služby. Sleduje se počet neshod nebo neshodných jednotek. Oproti diagramům měření stačí pouze jeden diagram. Pro výpočty je důležitá stejnost rozsahu výběru, mění-li se, je třeba spočítat regulační meze vždy znovu.

Tabulka 2 Regulační diagramy srovnáváním

Statistika	Základní hodnoty nejsou stanoveny		Základní hodnoty jsou stanoveny	
	Centrální přímka	3σ regulační meze	Centrální přímka	3σ regulační meze
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	n_0	$p_0 \pm 3 \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	u_0	$u_0 \pm 3 \sqrt{\frac{u_0}{n}}$

Trend

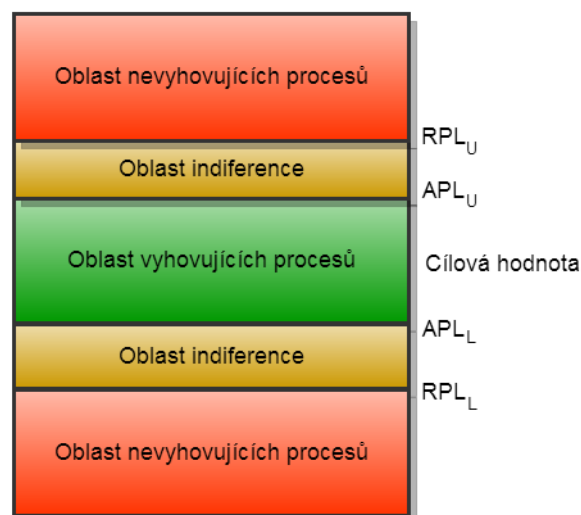
Ze studie uskutečněné v Německu bylo zjištěno, že většina procesů v průmyslu při dlouhodobém sledování nepodléhá normálnímu ani jiným rozdělení. Většina procesů totiž vykazuje změny v chování střední hodnoty, rozptylu nebo obojího. Toto chování upřednostňuje regulační diagramy s rozšířenými regulačními mezemi. Při krátkém pozorování (do 500 údajů) však Shewhartovy diagramy vyhoví. Obecně platí, že je nutné znát proces z dlouhodobého hlediska. Toto chování procesu však ovlivní i koeficient způsobilosti, který je třeba nahradit tzv. koeficientem výkonnosti. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [8] [9] [15] [22] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [42] [43] [44] [46] [49]

1.1.2 Přejímací regulační diagramy

Jsou zaměřené především na hodnocení, zdali se ukazatel nachází v tolerančním poli, zda je proces vyhovující. Slučují v sobě část statistické regulace a prvky statistické přejímky. Na rozdíl od ní se však zabývá především otázkou, zdali je proces vyhovující. Na rozdíl od běžných regulačních diagramů musí být proces statisticky zvládnutý především z hlediska variability uvnitř podskupiny. Předpokládá se, že vymezené příčiny vyvolávající posuny v úrovních procesu, jsou dostatečně malé a bylo by příliš nákladné je regulovat, aby proces byl vyhovující. Tento diagram je založen na Shewhartově, ale je možné se posunout vně regulačních mezí. Regulační diagram obsahuje 5 oblastí. Uprostřed se nachází oblast vyhovujících výrobků, zdejší procesy mají riziko menší než α že budou nevyhovující. Vně leží oblast obsahující výrobky vyhovující, ale zároveň naznačující nutnost dohledu.

Zde jsou procesy s velkou pravděpodobností $(1-\alpha)$, považovány za vyhovující. Tato oblast je také z vnějšku ohraničena poslední oblastí, za ní jsou všechny procesy naprosto nevyhovující.

[38]



Obrázek 5 Oblasti přejímacího regulačního diagramu

1.1.3 Regulační diagram nastavení procesu

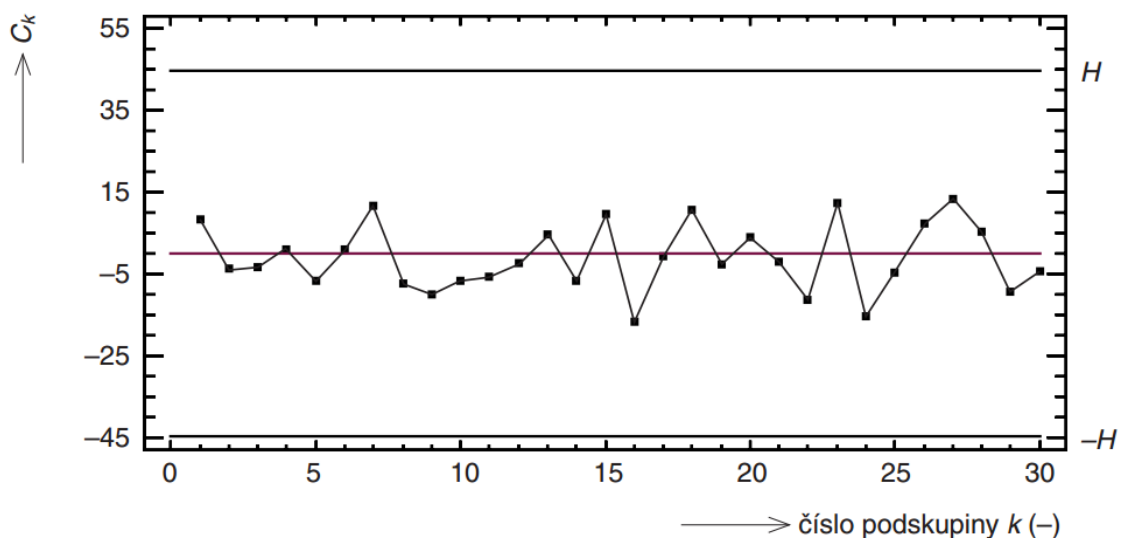
Používaný k predikci budoucího průběhu procesu, nenastane-li žádná změna. Nebo ke kvantifikaci změny vedoucí k udržení procesu v daných mezích. [37]

1.1.4 Regulační diagramy pro kumulovaný součet CUSUM

Tento diagram navrhnul v roce 1954 E. S. Page. Je v něm zakreslen kumulovaný součet odchylek po sobě jdoucích výběrových hodnot od referenční hodnoty. Cílem je detekovat posuny v úrovni zakreslovaného ukazatele. Vyznačuje se vysokou citlivostí na malé změny v posunu střední hodnoty procesu a názorností. Oproti Shewhartovým diagramům je detekce

až o řád rychlejší. Nejvíce se hodí pro procesy, kde jsou odchylky malé, ale trvalé. Uplatňuje se především při udržování procesu ve statisticky zvládnutém stavu. Používá se při regulaci měření, když má regulovaná veličina normální rozdělení pravděpodobnosti, nebo při regulaci srovnáváním, když je regulovanou veličinou počet vadných prvků z výběru, či počet vad na definovaném objektu.

Diagram se konstruuje tak, že se na ose x chronologicky zaznamenává pořadí výběru a na ose y hodnota testového kritéria C_k . Tento diagram může být jedno i oboustranný. V diagramu figuruje tzv. cílová hodnota μ_0 , sčítané odchylky od ní jsou buď horní C^+ , nebo dolní C^- cusumy, podle toho, jestli odchylka cílovou hodnotu přesahuje, nebo je pod ní. Při čtení diagramu se uvažuje, že jestliže je proces stále na hodnotě μ_0 , jsou body v diagramu přibližně rovnoběžné s osou x. Jestliže by nastala náhlá změna střední hodnoty a tato by byla trvalá, všechny následující body v diagramu budou náhodně rozprostřené okolo přímky nerovnoběžné s osou x. Jestliže není střední hodnota stabilní, budou body diagramu rozprostřené okolo stoupající či klesající křivky. [15] [19] [22] [23] [28] [29] [39] [47]



Obrázek 6 CUSUM diagram (převzato z [47])

V samotném diagramu nelze rozeznat, jestli se jedná o odchylku náhodnou, nebo o odchylku signalizující vymežitelnou příčinu. Proto je třeba jej doplnit o rozhodovací kriteria, dvěma základními jsou V-mask a interval $\pm H$. V-mask je obzvláště užitečná na pracovištích bez výpočetní techniky, k jejímu použití totiž nejsou třeba a kontrola diagramu je velmi jednoduchá. Intervalu rozhodných mezí $\pm H$ se využívá u Lucasovy modifikace CUSUM diagramu, kde o citlivosti diagramu rozhoduje uživatel pomocí parametru k .

Pro individuální hodnoty na základě původního měřítka je Cusum C_n definován jako:

$$C_n = \sum_{j=1}^n (x_j - \mu) \quad (1.5)$$

Na základě normalizovaného čtení tak, aby střední hodnota $x=0$ a směrodatná odchylka $\sigma=1$:

$$S_n = \sum_{j=1}^n U_j = \sum_{j=1}^n \frac{(x_j - \mu)}{\sigma} \quad (1.6)$$

Cusum C_n je v podstatě cusum S_n vynášený v jednotkách σ - směrodatné odchylky čtení.

1.1.5 Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi

Jsou mnohem citlivější na pozvolné změny než Shewhartovy regulační diagramy. Jsou založeny na výpočtu aritmetického průměru z výběru. Mají akční a výstražné meze. Předpokladem je normální rozdělení. Centrální přímka odpovídá střední hodnotě ukazatele kvality pro seřízený proces, odpovídá μ_0 .

Výstražné meze se spočtou jako:

$$\mu_0 \pm \frac{B_2 \sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.7)$$

Akční meze je možné získat ze vzorce:

$$\mu_0 \pm \frac{B_1 \sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.8)$$

Tímto postupem vznikne pět oblastí, kde se statistika může nacházet. Oblast Cílová, ležící mezi výstražnými mezemi. Oblasti výstražné, nacházející se mezi výstražnými a akčními mezemi. A oblasti akční, nacházející se vně akčních mezí.

Padne-li bod do akčních oblastí, znamená to, že proces není ve statisticky zvládnutém stavu a je třeba zjednat nápravu. Padne-li určitý počet po sobě jdoucích bodů do výstražné oblasti, je to opět signál, že je proces ve statisticky nezvládnutém stavu. Veškeré hodnoty lze získat na základě znalosti procesu z tabulek příslušné normy. [41]

1.1.6 Regulační diagramy typu EWMA

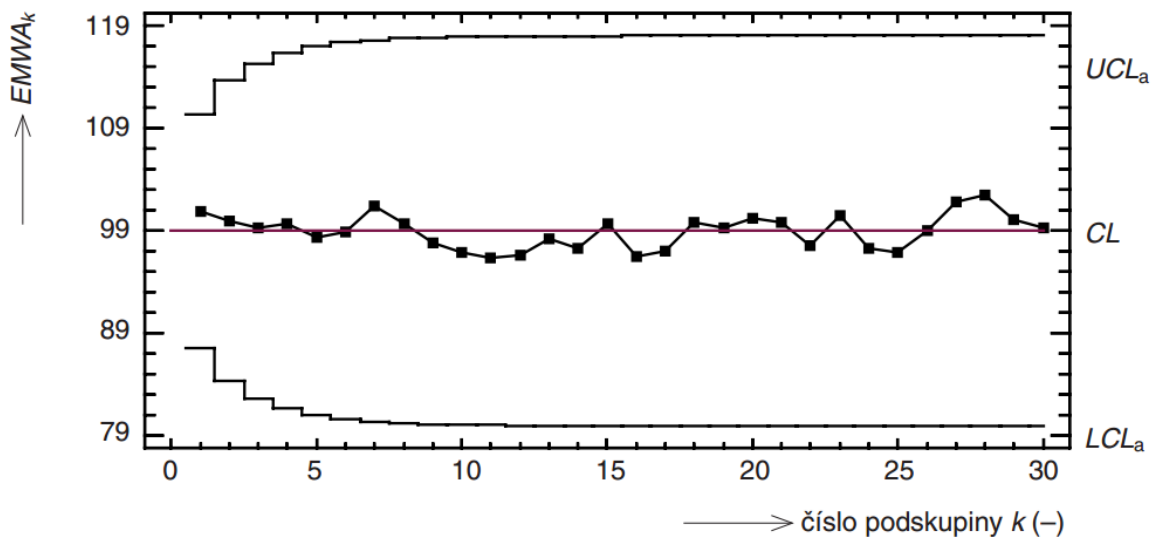
Diagramy EWMA (exponenciálně vážený klouzavý průměr) lze stejně jako metodu CUSUM využít pro jednostrannou i oboustrannou regulaci a jedná se o diagramy s neomezenou nerovnoměrnou pamětí. Všechny hodnoty jsou zprůměrovány a jsou jim přiřazeny váhy, které exponenciálně klesají z přítomnosti do minulosti. Průměrné hodnoty jsou tedy ovlivňovány více výkonem současného procesu, než minulostí. Výhodou tohoto diagramu je schopnost dostatečně rychle detekovat malé posuny ve střední hodnotě procesu. Jeho nevýhodou je naopak neefektivní reakce na velké změny ve střední hodnotě. Platné signály o možném

posunu ve střední hodnotě procesu se objevují pouze ve formě bodů mimo regulační meze. Zobrazované body jsou korelované a detekce zvláštních příčin založena na analýze seskupení není vhodná.

Pro sestavení těchto diagramů je významný parametr λ (nabývající hodnot od 0 do 1), pokud je tato hodnota rovná 1, pak testovací kritérium diagramu EWMA je shodné testovacím kritériem Shewhartova diagramu, tedy největší váha je dána poslední naměřené hodnotě. Pokud je tato hodnota blízká nule, pak se vlastnosti diagramu EWMA shodují s vlastnostmi CUSUM. S CUSUM diagramem jsou v podstatě ekvivalentní ve schopnosti detekce zvláštních příčin, EWMA lze použít i pro predikci příští střední hodnoty procesu v následujícím časovém období. Tím lze diagramy využít jako signál pro seřízení procesu, nejsou však vhodné pro zlepšení procesu. S výhodou je možné je využít v takových procesech, kde dochází k odchýlkám, aniž by se jednalo o poruchu. [15] [19] [23] [28] [29] [47] [49]

Dělí se na:

- klasický diagram EWMA pro výběrové průměry – v případě, kdy dochází k malým, trvalým změnám
- dynamický diagram EWMA – s jednokrokovou predikcí; v případech, kdy proces vykazuje autokorekci



Obrázek 7 EWMA diagram (převzato z [47])

1.1.7 Regulační diagramy CCC

Pokud se proces nachází ve stavu s velmi malým podílem neshodných jednotek, jsou dle praxe Shewhartovy regulační diagramy p a np nepřilíš vhodné. Vyžadují totiž příliš velké rozsahy výběrů a statistická stabilita je posuzována až po kontrole celého výběru. Nedostatečně velký výběr může vést k chybám, kdy je za stabilní určen pouze proces bez neshodných jednotek, a také znemožňuje zaznamenání významných zlepšení procesu. Obdobné problémy jsou spojeny i s diagramy c a u . Z tohoto důvodu se začaly využívat diagramy pracující s počtem shodných jednotek, tzv. CCC diagramy. Ty se zabývají celkovým počtem shodných jednotek mezi dvěma po sobě jdoucími neshodnými. Předpokládají geometrické rozdělení náhodné proměnné. Centrální přímkou a zároveň její střední hodnota se spočtou dle:

$$CL = \bar{n} = \frac{1}{p_r} \quad (1.9)$$

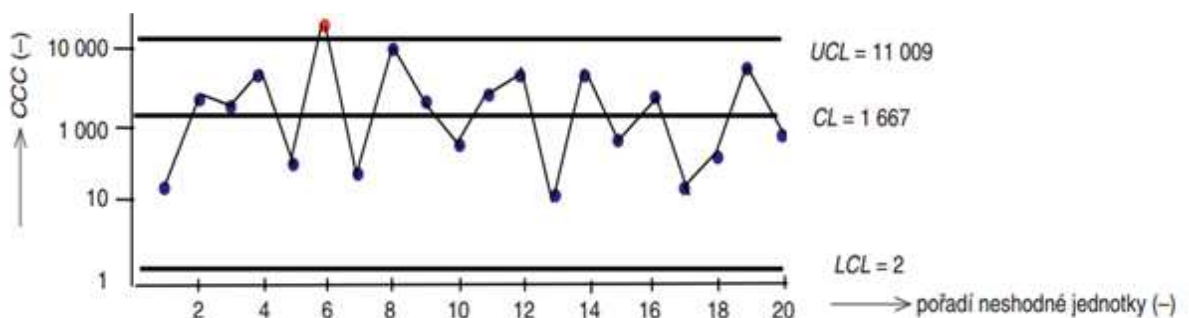
Kde \bar{n} je průměrný počet shodných jednotek před zaznamenáním další neshodné jednotky.

A p_r je pravděpodobnost výskytu neshodné jednotky. Hodnoty LCL a UCL jsou stanoveny:

$$UCL = \frac{\ln \frac{\alpha}{2}}{\ln(1 - p_r)} \quad (1.10)$$

$$LCL = \frac{(1 - \ln \frac{\alpha}{2})}{\ln(1 - p_r)} \quad (1.11)$$

Posuzování je samozřejmě odlišné oproti standardním regulačním diagramům. Bod ležící nad horní regulační mezí předpokládá zlepšení procesu, bod ležící pod dolní regulační mezí zase jeho zhoršení. Do diagramu, který se obvykle konstruuje v logaritmickém měřítku, se vyznačuje hodnota kumulovaného součtu počtu shodných jednotek při zjištění neshody. V tu chvíli se také tento součet vynuluje. Zjednodušením diagramu vznikne diagram CCC-r, který počítá s kumulovaným součtem neshodných jednotek do výskytu r -té jednotky. Tyto diagramy se také vhodně integrují do diagramů CUSUM a EWMA, které jsou ještě citlivější. [15] [31] [32] [33] [34] [47]



Obrázek 8 Regulační diagram CCC (převzato z [47])

1.1.8 Regulační diagramy ARIMA

Klasické Shewhartovy regulační diagramy předpokládají, že naměřené hodnoty nejsou vzájemně korelované. Tento jev se často vyskytuje například u chemických procesů. Okamžitě způsobí selhání diagramu. Řešením je použití regulačního diagramu ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), ten je založen na principu nalezení vhodného modelu časové řady a použití klasického regulačního diagramu na rezidua tohoto modelu. Užívají se tzv. Boxovy-Jenkinsovy stochastické modely. Při hledání modelu ARIMA je třeba nezapomínat na určení odlehlých hodnot, jež mohou ovlivnit volbu modelu.

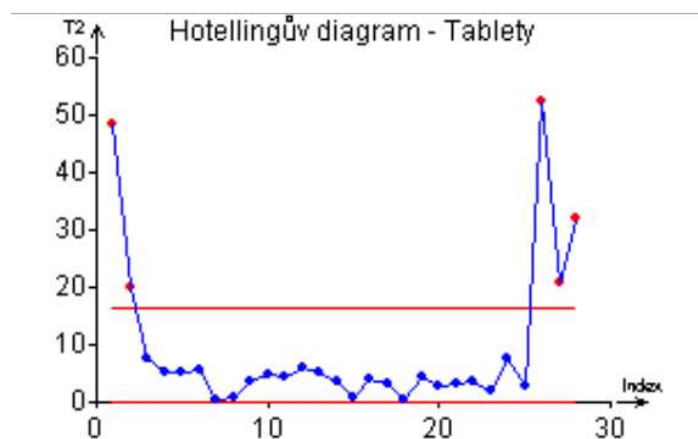
Postup tvorby diagramu je takový, že se nejprve najde vhodný ARIMA model a rezidua se zpracují standardním diagramem (Shewhartův, CUSUM, EWMA). [30] [47]



Obrázek 9 Postup tvorby diagramu ARIMA

1.1.9 Hotellingův diagram pro více znaků

Tento diagram pro více proměnných rozšiřuje možnosti klasického Shewhartova diagramu. Zaznamenává více proměnných současně v jednom diagramu. Také je spolehlivý, i pokud jsou hodnoty korelované. Dvourozměrná statistika totiž odhalí případné překročení i tam, kde to Shewhartův diagram nezvládne. Konstrukce Hotellingova diagramu předpokládá vícerozměrné normální rozdělení. [15] [19] [23] [25] [29]



Obrázek 10 Hotellinguv diagram (převzato z [23])

1.2 Hodnocení způsobilosti

Jedná se o několik druhů ukazatelů, jež napovídají, do jaké míry se daří dodržet předepsané regulační meze diagramu. Všechny ukazatele jsou vyjádřeny jediným číslem. Jsou používány především pro jednoduché posouzení procesu, někdy se o nich uvažuje jako o tzv. „známce“ z kvality. Jedno číslo však samozřejmě nepostačí, diagram je mnohem více vypovídající. Je třeba uvažovat vždy stejný druh indexu, které navíc mají určitý interval spolehlivosti. Tyto ukazatele v podstatě porovnávají skutečný proces s ideálním, nebo s předpisem. Respektive porovnávají poměru mezi skutečnou a předepsanou variabilitou. Tyto indexy jsou velmi náchylné na to, zdali jsou regulační meze stanoveny z reálných dat. Pro určení lze říci, že je-li jeho hodnota větší než 1, proces vyhovuje a je způsobilý. Někdy se také uvažuje s číslem 1,33, jež určuje mez mezi střední a vysokou způsobilostí. Dále se také používá mez 1,5, jež je určující pro nový proces, nebo také mez 2, používaná v Six Sigma.

1.2.1 Ukazatel c_p

Jedná se o jeden z nejjednodušších a také jeden z prvních indexů. Předpokládá stabilní proces s normálním rozdělením. Nevýhodou je, že určuje pouze variabilitu vůči mezím. Spočte se jako:

$$c_p = \frac{UCL - LCL}{6\sigma} \quad (1.12)$$

Interval spolehlivosti, ve kterém se index nachází je ovlivněn počtem dat, použitých k výpočtu. Větší počet dat zúží interval a tím pozitivně ovlivní index způsobilosti, zvětší jej.

1.2.2 Ukazatel c_{pk}

Tento index řeší největší vadu předchozího, jež nesleduje posun střední hodnoty. Tento ukazatel je vždy přísnější než c_p a někdy může být i záporný. Spočte se jako:

$$\hat{c}_{pk} = \frac{\min(UCL - \bar{x}; \bar{x} - LCL)}{3s} \quad (1.13)$$

1.2.3 Ukazatel c_{pm}

Někdy se mu také říká Taguchiho, dle svého autora, jež jej vymyslel v roce 1985. Index způsobilosti c_{pm} pracuje i s odchylkou střední hodnoty, je vždy kladný. Je přísnější než c_p . Předpokládá, že zvýšení směrodatné odchylky je stejně chybné, jako stejná odchylka od předepsané hodnoty. Spočte se jako:

$$\hat{c}_{pm} = \frac{UCL - LCL}{6 \cdot \sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (1.14)$$

1.2.4 Ukazatel c_{pkm}

Zřídka používaný index, vymyšlený v roce 1992, je kombinací indexů c_{pk} a c_{pm} . Je používán tehdy, je-li střední hodnota jiná od předepsané. Spočte se jako:

$$\hat{c}_{pkm} = \frac{\min(\bar{x} - LCL; UCL - \bar{x})}{6 \cdot \sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}} = \frac{c_{pk}c_{pm}}{c_p} \quad (1.15)$$

[9] [15] [16] [20] [22] [29] [35] [36] [43] [48]

1.3 Ukazatel výkonnosti procesu

Tento index se obvykle snaží potvrdit, že vybraný vzorek splňuje požadavky odběratele. Od indexu způsobilosti se liší tím, že se uvažuje o specifické dávce. Vzorek dávky musí být dostatečně velký, aby správně reprezentoval její variabilitu. Typickým příkladem, kde se tyto ukazatele používají, je krátký, předběžný běh procesu. Pokud bude proces statisticky zvládnutý, nebudou se indexy způsobilosti a výkonnosti téměř lišit. Jejich vzorce se od indexů způsobilosti liší pouze tím, že pracují s totální směrodatnou odchylkou. Je doporučeno je používat pro procesy statisticky nezvládnuté. U těchto ukazatelů ovšem nelze odvodit statistické vlastnosti odhadů a některé zdroje je doporučují nepoužívat. Pouze pokud lze získaná data bez ohledu na podskupiny popsat nějakým druhem rozdělení.

1.3.1 Ukazatel p_p

Je definován jako:

$$p_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (1.16)$$

1.3.2 Ukazatel p_{pk}

Je definován jako:

$$p_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\hat{\sigma}}, \frac{\mu - LSL}{3\hat{\sigma}} \quad (1.17)$$

[15] [16] [43]

2 Přehled platných norem pro regulační diagramy

V této části práce jsou uvedeny normy, jež se zabývají regulačními diagramy a nastíněn jejich obsah. Regulační diagramy ARIMA, CCC a Hotellingovy diagramy nejsou zatím normou ošetřeny. Do norem platných pro regulační diagramy by bylo možné zahrnout i normy týkající se statistické regulace procesu a jiné, to ale není účelem této práce a tak zde uvedeny nejsou.

2.1 ČSN ISO 7870-1 Regulační diagramy – Část 1: Všeobecné pokyny

Tato norma popisuje různé druhy používaných regulačních diagramů, například Shewhartovy, nebo přejímací a to včetně postupu jejich aplikace a volby vhodného diagramu. K tomu objasňuje všeobecně používané značky a pojmy.

2.2 ČSN ISO 11462-1 – Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – Část1: Prvky SPC

Norma ČSN ISO 11462-1:2002 se zabývá základními pojmy, objasňuje co je to vlastně proces a jaké jsou jeho prvky. Dále se orientuje na objasnění cílů a organizace SPC. Zabývá se podmínkami a prvky systému statistické regulace procesu. Také obsahuje základní slovník pojmů.

2.3 ČSN ISO 21747 – Statistické metody – Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu pro měřitelné znaky kvality

Mezinárodní norma ČSN ISO 21747 se zabývá charakterizováním postupů pro stanovení statistik pro určení způsobilosti procesu a charakteristiky procesu. Je zde uvedeno osm různých typů procesů, jež se volí na základě těchto statistik. Každý typ je zde dostatečně určen a jsou uvedeny statistické hodnoty a vzorce. Norma pojednává výhradně o spojitých znacích kvality a je použitelná v jakémkoliv odvětví.

2.4 ČSN ISO 7966 – Přejímací regulační diagramy

Tato norma vysvětluje použití přejímacích regulačních diagramů, jež se používají, je-li záměrem přejímání procesu. Aby je bylo možno správně použít, je nejprve nutné předběžné zavedení Shewhartova regulačního diagramu a zabezpečení regulace variability procesu. Je zde popsáno, jakým způsobem se určuje rozsah výběru, akční meze a rozhodovací kritéria. To vše je ilustrováno na příkladech, umožňujících lepší pochopení aplikace přejímacích regulačních diagramů a jejich tvorby.

2.5 ČSN ISO 7873 – Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi

Norma ČSN ISO 7873 vysvětluje postup konstrukce regulačních diagramů pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi. Standardní diagramy, obsahující pouze akční meze nebývají dostatečně citlivé na zbytečné zásahy do procesu. Z toho důvodu se zavádí výstražné meze, kdy je oproti Shewhartově regulačnímu diagramu dosaženo výrazně vyšší citlivosti. Norma také obsahuje příklady jejího použití.

2.6 ČSN 01 0266 – Zvláštní typy statistické regulace – Metoda kumulovaných součtů

Norma ČSN 01 0266 se zabývá zvláštním typem regulačního diagramu – metodou kumulovaných součtů. Tato metoda je vhodná tam, kde jsou Shewhartovy diagramy málo citlivé, je několikrát citlivější a názorně ukazuje výchyly ve stabilitě procesu. Je vhodná obzvláště tehdy, je-li malé riziko zbytečného signálu α a dochází-li ke změnám náhle a tyto změny nějakou dobu trvají. Předpokládá normální rozdělení, a že je proces uveden do stabilního stavu. Norma se zabývá tvorbou diagramu při regulaci měřením a srovnáváním.

Přílohy objasňují některé články a také obsahují příklady, které celou metodu používají.

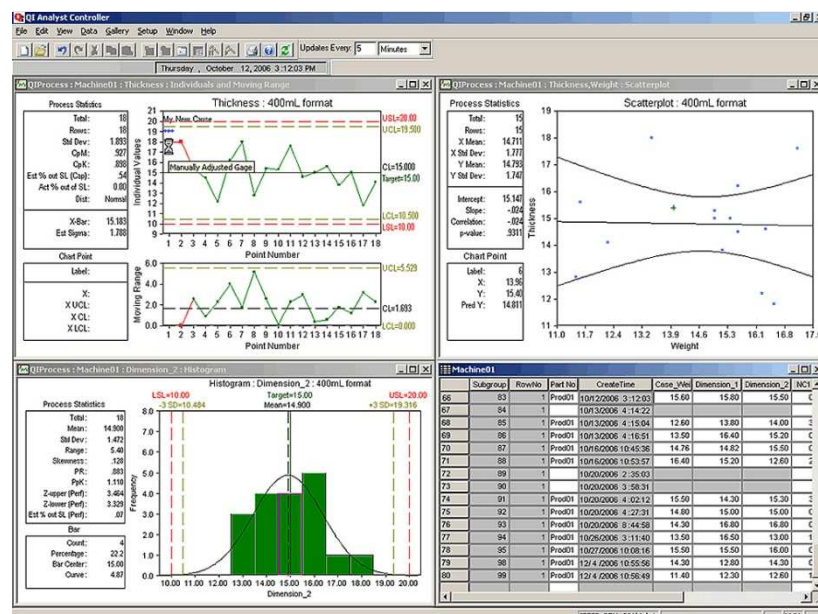
2.7 ČSN ISO 8258 – Shewhartovy regulační diagramy

V této normě jsou objasněny Shewhartovy regulační diagramy jako metoda statistické regulace výrobního procesu. Zabývá se principem jejich konstrukce a také způsobem interpretace výsledků. Na příkladech jsou přehledně ukázány všechny typy jednotlivých Shewhartových diagramů.

3 QI analyst

Program QI Analyst umožňuje v reálném čase sledovat procesy, statisticky je vyhodnocovat a předvídat případné budoucí problémy. Data si ukládá do běžné databáze, odkud jsou okamžitě použitelná pro analýzy všem za interesovaným pracovníkům. Také je však schopen pracovat s daty z externích zdrojů. Díky možnosti práce s daty v reálném čase tvoří komplexní řešení v oblasti SPC. QI Analyst je vybaven výkonnými analytickými nástroji, které mohou využít nejen členové podnikového týmu pro řízení kvality, ale např. i výrobní operátoři, technologové apod.

Nabízené analytické nástroje obsahují velké množství regulačních diagramů, histogramy, Paretovy diagramy, porovnávání výrobních dat pomocí testů vymežitelných příčin, generování výstražných hlášek (alarmů) aj. Podrobné analýzy ukážou skutečné chování výrobních procesů a na jejich základě lze vykonávat správné zásahy do výroby ve správném čase.



Obrázek 11 Prostředí QI Analyst (převzato z [12])

Konfigurovatelná alarmová hlášení upozorní na jakoukoli nepřírozenou odchylku v údajích, aby se dané problémy mohly okamžitě vyřešit. Když dojde k porušení definovaných pravidel, QI Analyst může dát zprávu například i na vyhledávací zařízení (pager) nebo zaslat zprávu elektronickou poštou (e-mail). O všech důležitých problémových situacích tak mohou být odpovědní pracovníci informováni prakticky okamžitě, aby mohli ihned zpětně reagovat pro zajištění plynulého a bezzmetkového provozu výrobních linek. [3] [7] [10] [11] [12] [13] [14]

3.1 Charakteristika

Program umožňuje zpracování široké škály SPC diagramů a to jak v reálném čase, tak z historických dat. Nabízí dokonce i možnost upozornění na překročení mezí. Data lze jak zadávat, tak načítat z databází, jiných souborů, či měřidel. Samozřejmostí je integrace do zdrojů aplikace Industrial Application Server. Program také umožňuje rozšířený přístup k datům v InTouch HMI a Wonderware Historian. Tvorba diagramů a konfigurace je rychlá a umožňuje nastavit vlastní pravidla. Program je v několika jazyčné verzi, čeština však chybí. QI Analyst umožňuje centrálně konfigurovat systém i definovat preferenční nastavení pro různé uživatele. Tím, že jsou veškeré informace, od nastavení preferencí a uživatelských profilů až po údaje pro přihlášení do systému, umístěny v centrální databázi, stačí systém nastavit pouze jednou. Pro každého pracovníka lze nastavit jeho vlastní uživatelské rozhraní systému QI Analyst tak, že když se přihlásí do systému, automaticky se objeví pro něj potřebné regulační diagramy, navážou se datová spojení a začne se s vykreslováním dat i detekcí vzniku alarmových stavů. Pružný zabezpečovací systém povoluje každému uživateli přístup pouze k těm funkcím, které potřebuje.



Obrázek 12 Jedna z možností distribuce SW (převzato z [7])

QI Analyst 8.0 se skládá z:

Controller:

Plně vybavená aplikace pro počítače umožňující všechny základní SPC aktivity (vkládání dat, vytváření grafů, statistické výpočty, hodnocení pravidel a alarmy), stejně jako kompletní nastavení, konfiguraci a správu. Alespoň jeden Controller je vyžadován pro každou síť. Controller je doporučen pro zkušené uživatele, inženýry kvality a správce. Controller může běžet na specifickém zařízení (PC) souběžně nebo na terminálové službě serveru.

Workstation:

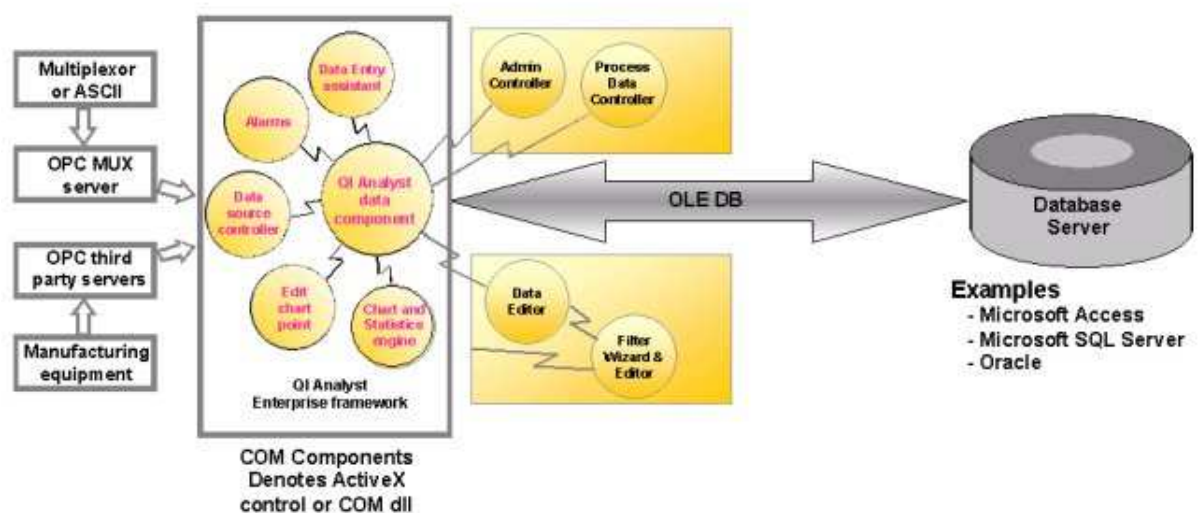
Obvykle se používá na základní řídicí úrovni, přímo v provozu. Workstation umožňuje základní SPC aktivity, jako je vkládání dat, grafy, statistické výpočty, hodnocení pravidel a alarm. Workstation může také běžet na určitém zařízení (PC) současně, nebo na terminálové službě serveru. [7] [10] [11] [12] [13] [14]

3.2 Možnosti

Program nabízí všechny standardní SPC diagramy, dohromady více jak 20 analytických nástrojů, jež mohou pomoci proniknout do průběhu výrobních procesů probíhajících v reálném čase a tím dosáhnout efektivnějších rozhodnutí, či větší přehlednosti:

Kvantitativní diagramy	Kvalitativní diagramy	Speciální diagramy a analýzy
Průměr podskupiny X a rozpětí nebo σ	p	Běh
Individuální hodnoty X a klouzavé rozpětí	np	Histogram (rozložení dat)
Klouzavý průměr a rozpětí nebo sigma	c	Korelační diagram, korelogram, tečkový graf
Regulační diagramy kumulovaných součtů (CUSUM)	u	Paretův diagram neshod, příčin, akcí nebo porušení pravidel
Regulační diagramy exponenciálně vážených klouzavých průměrů (EWMA).	Počet chyb na milion příležitostí (DPMO)	

Data se do programu zadávají a nastavují manuálně pomocí přehledného tabulkového editoru, nebo automaticky přes nástroj Data Entry Assistant. Veškerá data jsou pak ukládána do standardních typů databází, jako je Microsoft Access, Microsoft SQL Server nebo Oracle. Automatický sběr dat se z hlediska uživatele jeví pohodlnější a rychlejší variantou, která navíc zajišťuje funkčnost programu v reálném čase. Potřebné hodnoty lze číst buď prostřednictvím OPC, nebo přímo z měřicího zařízení. Pro druhý způsob je připravena komunikace pro celkem devět různých zařízení (např. Mitutoyo). Automatický sběr dat může ukládat hodnoty cyklicky, kdy se data ukládají v pravidelných časových intervalech, nebo se ukládá každá změna sledované hodnoty. Vzhledem k architektuře uložených databází založených na principu klient-server, je každý zainteresovaný uživatel schopný okamžitě získat požadovaný vzorek dat téměř vždy a na jakémkoliv místě s přístupem k serveru, na kterém jsou data uložena. Program QI Analyst ukládá vzorky sledovaných veličin do tabulek dat. Každá tabulka může obsahovat více sledovaných veličin, ovlivňujících konečnou kvalitu výrobků. U každé veličiny lze samozřejmě nastavit toleranční meze a další základní parametry, které jsou důležité pro pozdější analýzu. Velkou výhodou je, že při sledování a analýze je možné pracovat současně s veličinami z více tabulek, dokonce i z více databází. Pro pohodlné seznámení s prostředím QI Analyst nabízí firma Wonderware online výukový kurz, který vysvětluje základní funkčnost také na praktických příkladech. Program bohužel není zpětně kompatibilní. [3] [7] [10] [11] [12] [13] [14]



Obrázek 13 Schéma fungování QI Analyst (převzato z [7])

4 Modelové příklady pro jednotlivé typy regulačních diagramů

Pro vypracování jednotlivých příkladů byl mimo software QI Analyst využit software MS Excel, jež představuje alternativní možnost pro zpracování statistických dat. Nachází se téměř na každém počítači a je nejjednodušším a dostupným pomocníkem pro práci s daty. Pro tyto příklady představuje ruční řešení, jelikož bez pomoci software se v praxi nepracuje. S programem QI Analyst byla bohužel spojeno několik neduhů, které ve výsledku zapříčinily nemožnost efektivního využití jeho nejnovější verze, která odmítla číst data ze zdrojového souboru. Bylo proto nutné využít verze starší, konkrétně verze 3.5.2, která byla zakoupena Katedrou technologií a měření v rámci grantu FRVŠ ČR č.1604/2002. Data jsou získána ze skutečných výrobních podniků, z důvodu ochrany interních informací jsou však anonymizována. Je zde zpracováno několik příkladů, na nichž jsou předvedeny některé diagramy, uvedené v kapitole 1. Část z nich však nebylo možné vypracovat, protože je SW QI Analyst neumí. Každý příklad obsahuje oba diagramy, jak vytvořené pomocí MS Excel, tak i pomocí QI Analyst, který je vždy uveden jako první.

4.1 Příklad výpočtu diagramů měřením, chemická výroba, měření koagulátu

První příklad je z chemické výroby, jež se zabývá výrobou disperzí. Hodnoty jsou měřeny individuálně. Proto není možné využít grafy pro průměr a rozpětí a průměr a směrodatnou odchylku, ani graf EMWA průměrů.

Jedná se o měření koagulátu, kdy se vždy odváží určité množství vzorku a prolije vhodně zvoleným sítem. Zvážený zůstatek na sítu je naměřená hodnota. Měření provádí různé laborantky a každý vzorek charakterizuje jednu várku, které jsou průměrně 2 denně. Nulová hodnota je čistě teoretická a prakticky není možné ji dosáhnout.

4.1.1 Hodnoty

Tabulka 3 Hodnoty koagulátu

Č. měř.	Koagulát	Č. měř.	Koagulát	Č. měř.	Koagulát	Č. měř.	Koagulát	Č. měř.	Koagulát
1	0,0083	19	0,0046	37	0,0073	55	0,0078	73	0,006
2	0,0033	20	0,0095	38	0,0013	56	0,0054	74	0,0082
3	0,0375	21	0,0113	39	0,0073	57	0,0046	75	0,0062
4	0,0075	22	0,0054	40	0,0072	58	0,0032	76	0,0037
5	0,0053	23	0,008	41	0,0058	59	0,002	77	0,0038
6	0,0034	24	0,0066	42	0,0137	60	0,005	78	0,0021
7	0,0058	25	0,0066	43	0,0039	61	0,0038	79	0,001
8	0,003	26	0,0051	44	0,0035	62	0,0047	80	0,0047
9	0,0036	27	0,0023	45	0,0029	63	0,0045	81	0,0067
10	0,005	28	0,0023	46	0,0027	64	0,005	82	0,0074
11	0,0028	29	0,0096	47	0,0055	65	0,0045	83	0,0031
12	0,001	30	0,0094	48	0,0083	66	0,006	84	0,011
13	0,0025	31	0,0065	49	0,0056	67	0,0044	85	0,0048
14	0,0414	32	0,0072	50	0,0035	68	0,0058		
15	0,0048	33	0,0085	51	0,0054	69	0,0024		
16	0,0034	34	0,0058	52	0,0036	70	0,0084		
17	0,0082	35	0,0054	53	0,0061	71	0,0051		
18	0,0032	36	0,007	54	0,0027	72	0,0037		

4.1.2 Příklad výpočtu

V tomto příkladu byly vynechány čtyři odlehlé hodnoty, otestované dle pravidla $\pm 4s$. Diagram rozpětí může odhalit nestabilitu v podskupinách, diagram individuálních hodnot zase variabilitu mezi podskupinami. Z toho důvodu se R_{kl} diagram vytváří jako první. Nejdříve je třeba spočítat průměr ze všech hodnot v dávce \bar{X} a průměr klouzavých rozpětí \bar{R} . Tento výpočet velmi usnadní tabulkový procesor jako je například MS Excel, výpočet se provede dle následujících vzorců:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (4.1)$$

kde X_{1-n} jsou naměřené hodnoty, a

$$\bar{R} = \frac{R_2 + R_3 + \dots + R_n}{(n - 1)} \quad (4.2)$$

kde R_{2-n} jsou klouzavá rozpětí mezi naměřenými hodnotami.

Ta se spočtou jako absolutní hodnota rozdílu mezi dvěma po sobě jdoucími hodnotami. Po dosazení naměřených hodnot se získají následující:

$$\bar{X} = 0,0030$$

$$\bar{R} = 0,0019$$

Základní hodnoty pro klouzavé rozpětí R jsou tyto:

$$CL = \bar{R} = 0,0019,$$

$$UCL = D_4\bar{R} = 3,267 \cdot 0,0019 = 0,0062073,$$

$$LCL = D_3\bar{R} = 0 \cdot 0,0019 = 0$$

Koeficienty $D_{3,4}$ jsou získány z tabulky 2 v normě ČSN ISO 8258, obsažené v příloze této práce. Pro rozsah podskupiny menší než 7 se LCL nezakresluje. Základní hodnoty pro regulační diagram individuálních hodnot X:

$$CL = \bar{X} = 0,0030$$

$$UCL = \bar{X} + E_2\bar{R} = 0,0030 + 2,66 \cdot 0,0019 = 0,008054$$

$$LCL = \bar{X} - E_2\bar{R} = 0,0030 - 2,66 \cdot 0,0019 = 0,002054$$

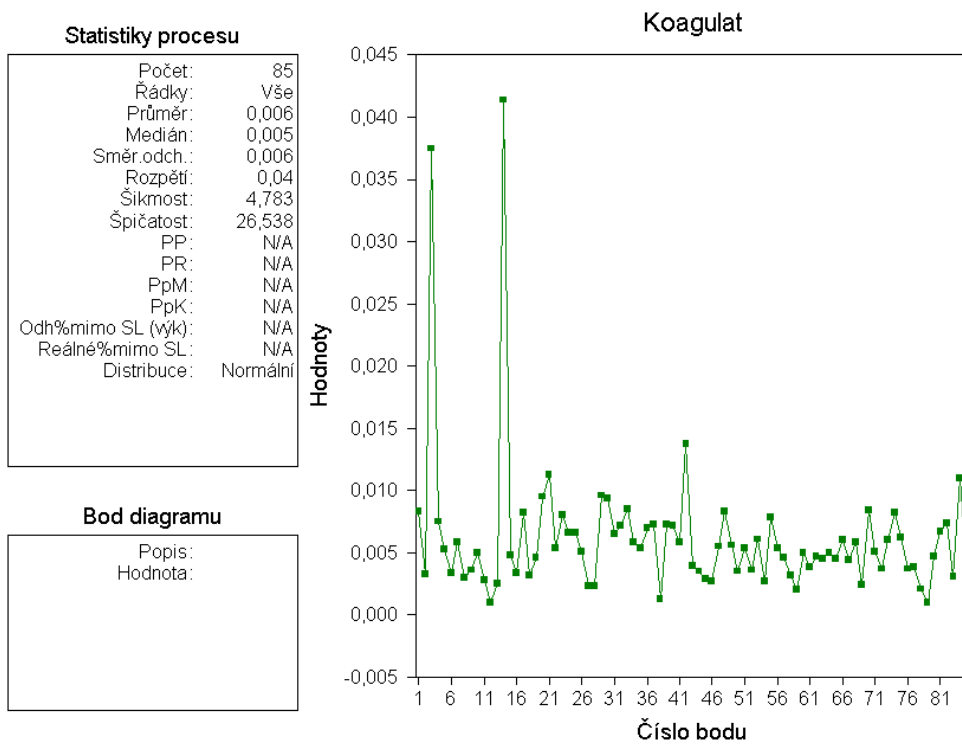
Kde koeficient E_2 je získán stejně jako koeficienty předchozí. Po výpočtu mezí se regulační diagram zakreslí a posoudí.

4.1.3 Hodnocení diagramů

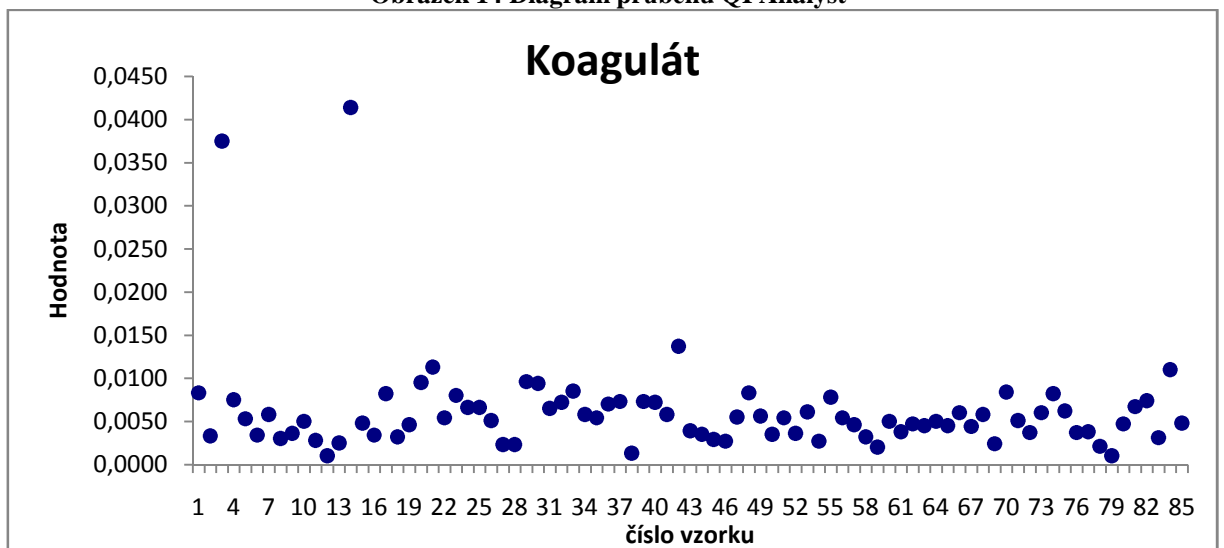
Diagram je značně zvlněn a jak je patrné z diagramu průběhu, obsahuje několik odlehlých hodnot. Ty mohou být způsobeny nekvalitní vstupní surovinou, obsluhou výrobního zařízení či chybou laborantky. Pro výpočet mezí byly otestovány a poté vynechány, pro ilustraci jsou však uvedeny také diagramy bez jejich vynechání ve výpočtu.

Histogram nemá ideální tvar, což znamená, že na proces působí příliš mnoho vlivů, jež ho ovlivňují. Jeho průběh je také ovlivněn odlehlými hodnotami, jedná se o asymetrický diagram s izolovanými hodnotami. V diagramech se vyskytují porušení testů. Všechny případy porušení testů je třeba vyšetřit a podle zjištěných příčin přímo v provozu zajistit vhodnou nápravu. Z výroby bylo zjištěno, že porušení znamenající zmenšení hodnot bylo způsobeno použitím jemnějších a dražších filtrů. Celkově jsou diagramy ve statisticky nezvládnutém stavu. Protože se jedná o veličinu, jejíž měření pracuje s velkou chybou, praxe ukazuje, že je výhodnější proces jen mírně korigovat, jinak ponechat ve stávajícím stavu.

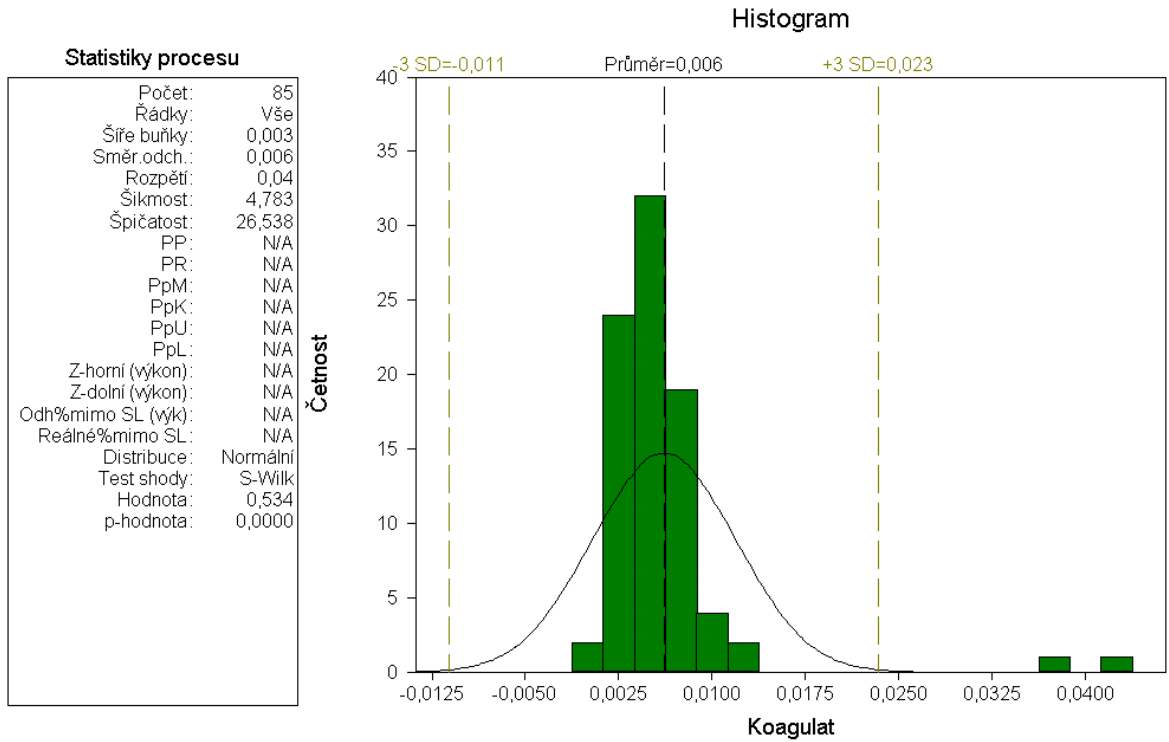
4.1.4 Jednotlivé diagramy



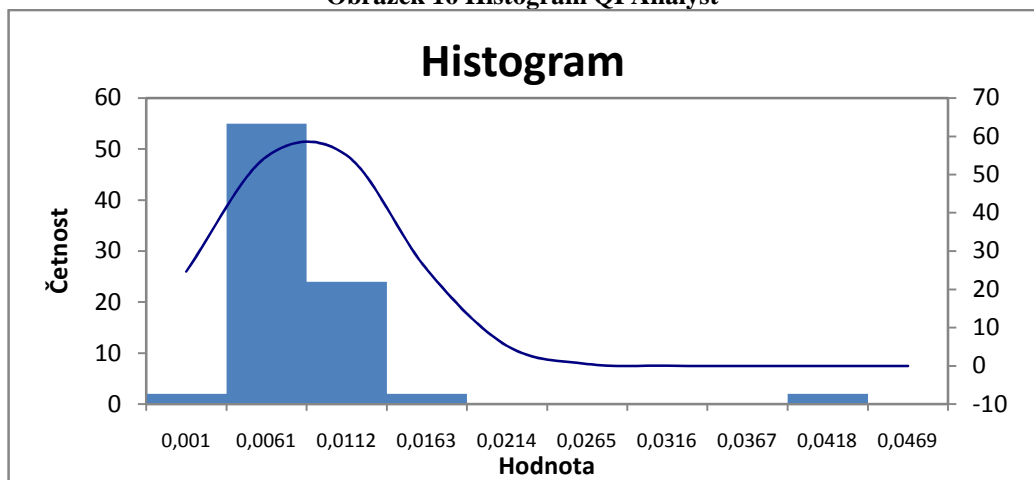
Obrázek 14 Diagram průběhu QI Analyst



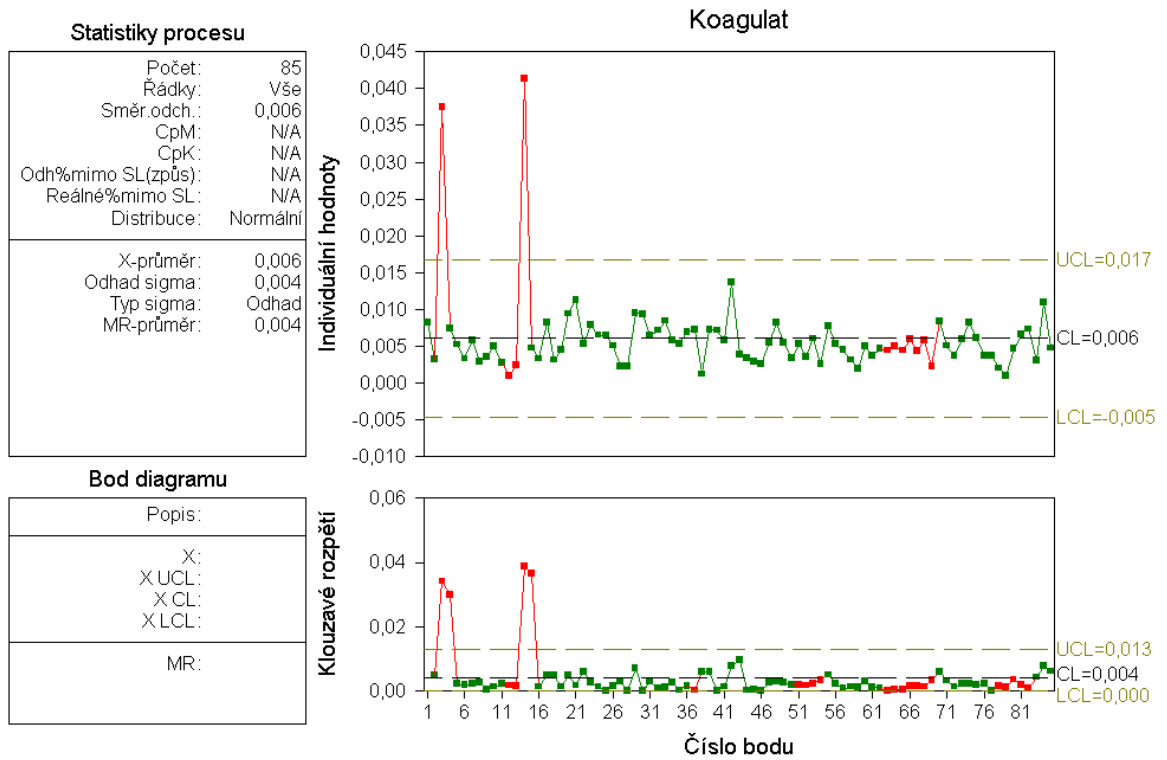
Obrázek 15 Diagram průběhu MS Excel



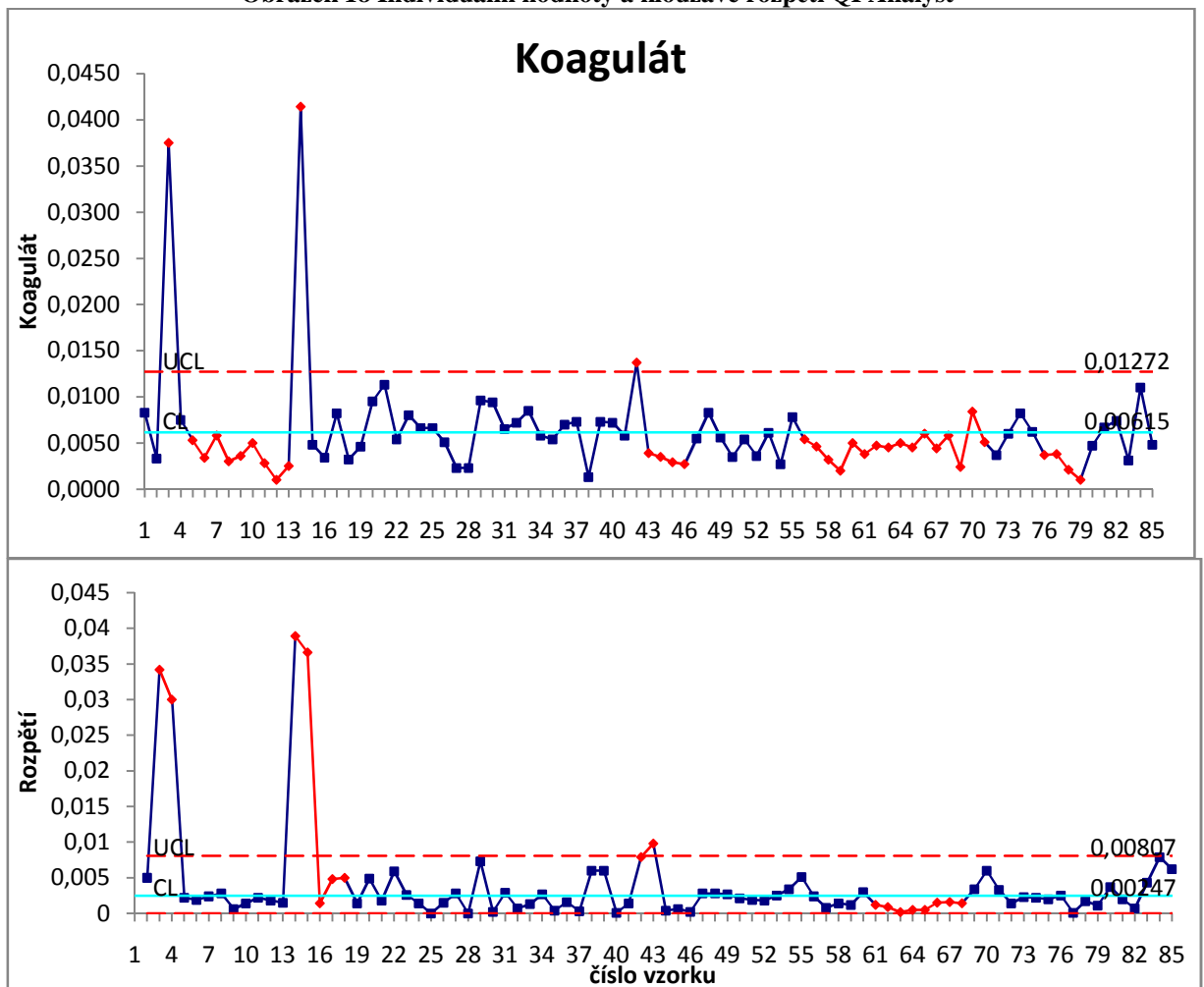
Obrázek 16 Histogram QI Analyst



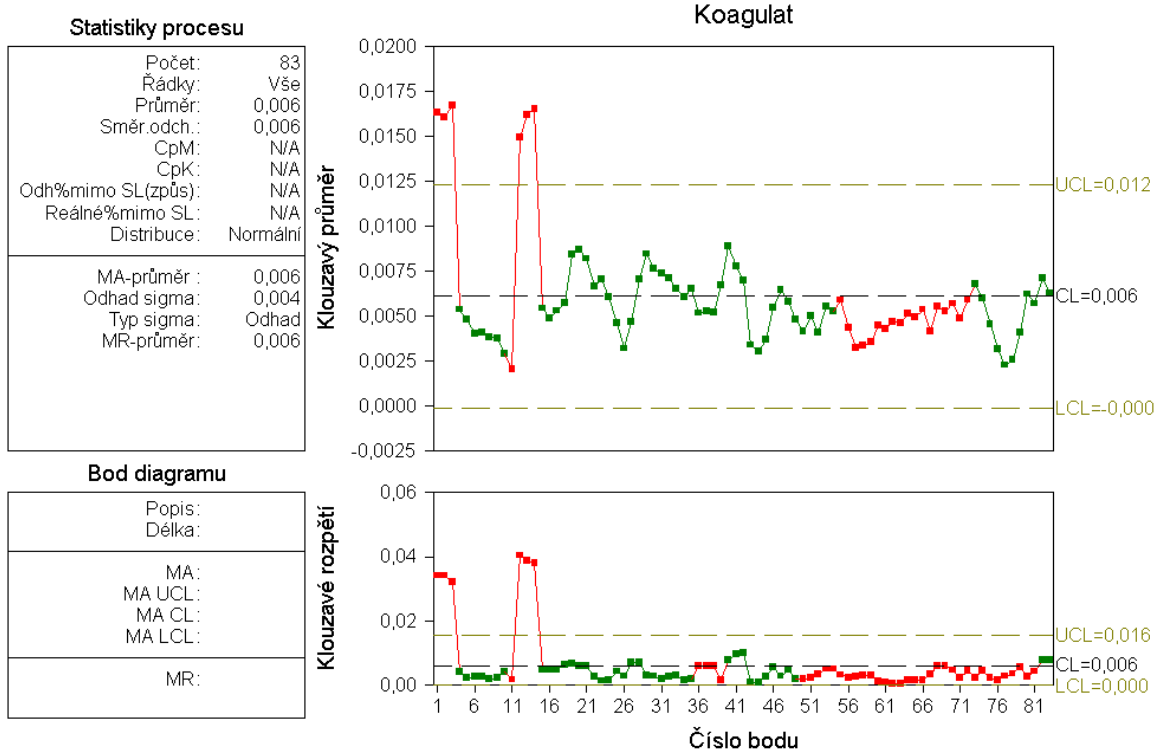
Obrázek 17 Histogram MS Excel



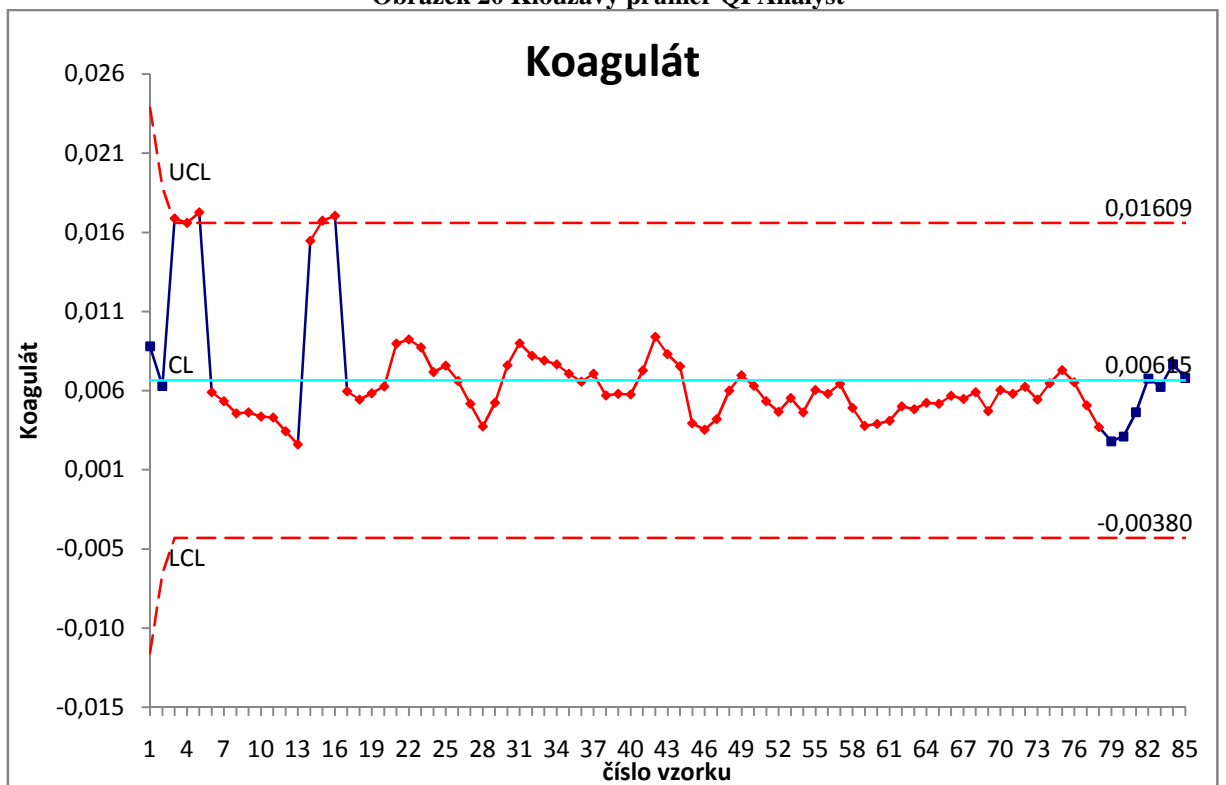
Obrázek 18 Individuální hodnoty a kluzavé rozpětí QI Analyst



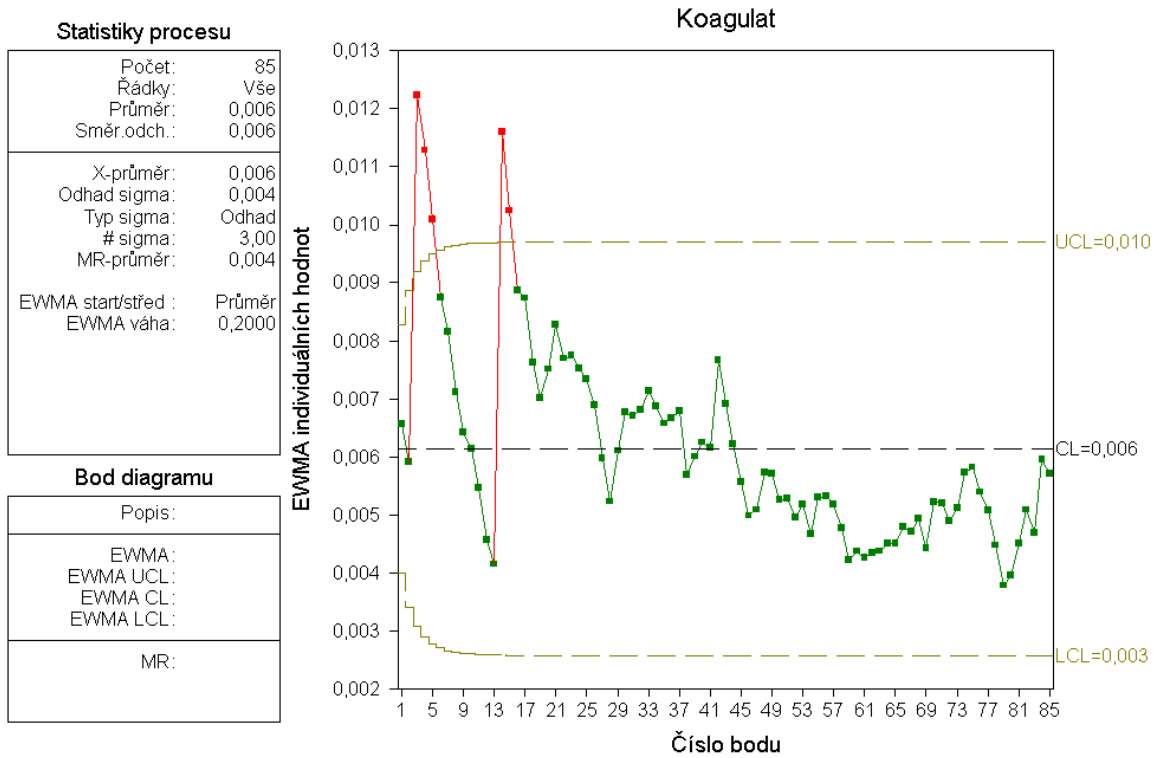
Obrázek 19 Individuální hodnoty a kluzavé rozpětí MS Excel



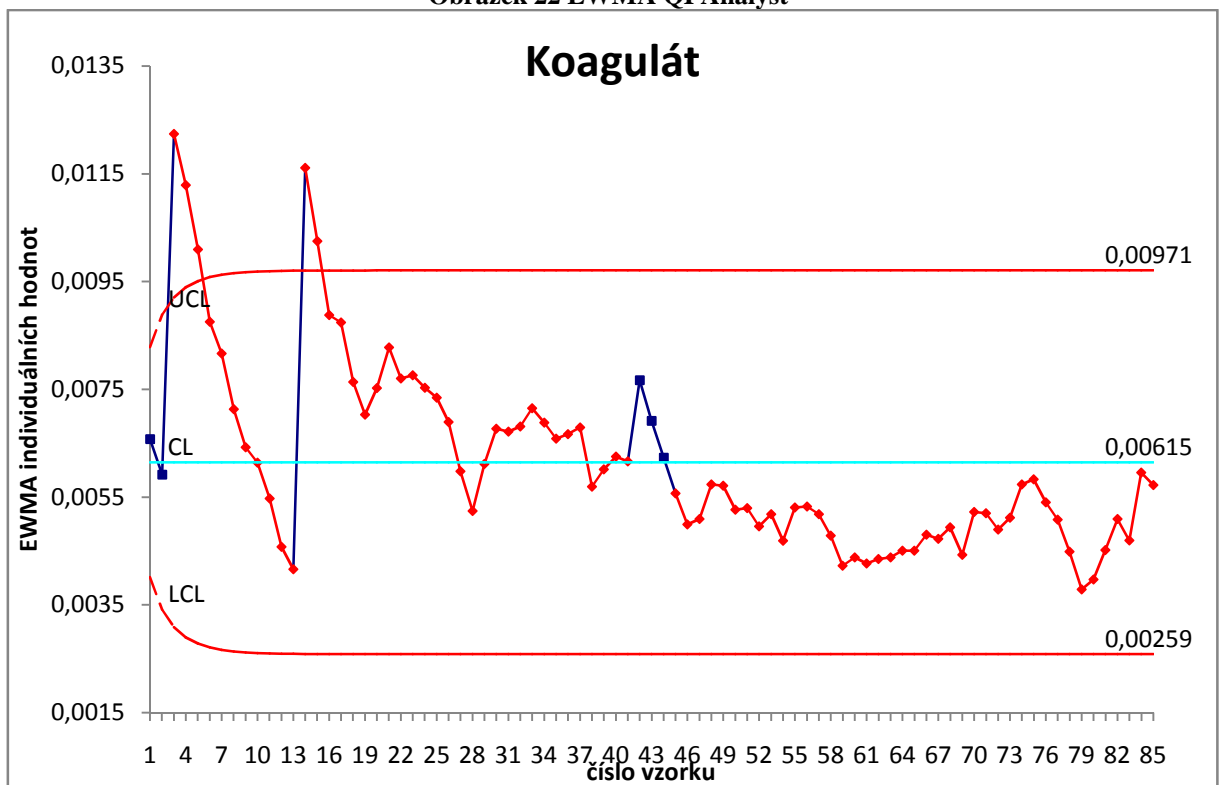
Obrázek 20 Klouzavý průměr QI Analyst



Obrázek 21 Klouzavý průměr MS Excel

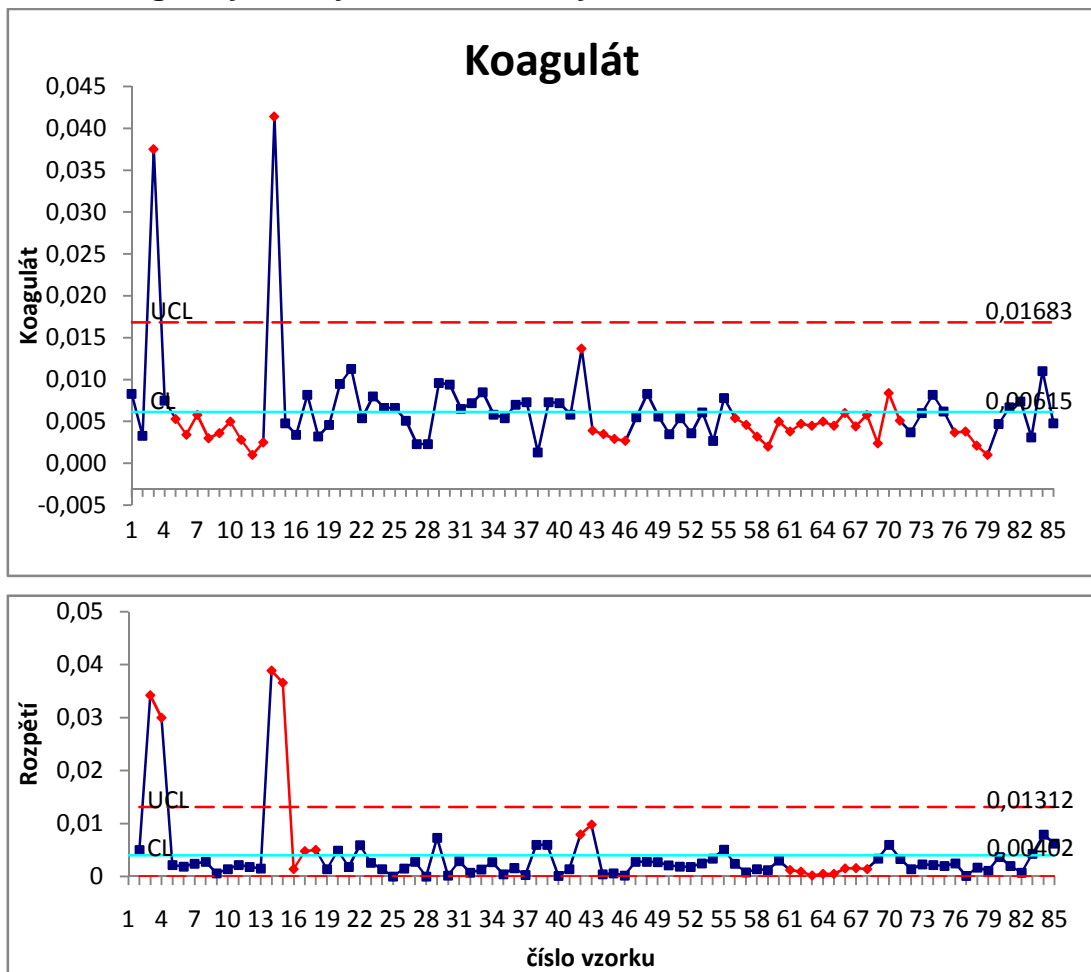


Obrázek 22 EWMA QI Analyst



Obrázek 23 EWMA MS Excel

4.1.5 Diagramy bez vynechání odlehlých hodnot



Obrázek 24 Individuální hodnoty a klouzavé rozpětí bez vynechání odlehlých hodnot

Při nevynechání odlehlých hodnot je nepříznivě ovlivněn průměr a směrodatná odchylka a další ukazatele, což ovlivní vypovídající schopnost takového diagramu. V tomto případě posun mezí interpretaci příliš neovlivní, diagram stále zůstane statisticky nezvládnutým.

4.2 Příklad výpočtu diagramů měření, chemická výroba, měření sušiny

Druhý příklad je ze stejné výroby jako předchozí. Hodnoty jsou opět měřeny individuálně. Jedná se o měření sušiny, kde naměřené hodnoty reprezentují vážený zbytek vzorku disperze po sušení. Měření provádí několik laborantek pro každou dávku, kterých se vyrábí za den několik. Odběratel požaduje, aby hodnoty byly v určitém rozmezí, základní hodnoty jsou neznámé. Proto není možné využít grafy pro průměr a rozpětí a průměr a směrodatnou odchylku, ani graf EMWA průměrů. Protože se jedná o téměř totožný výpočet, je část s ukázkou výpočtu zbytečná a tedy vynechána.

4.2.1 Hodnoty

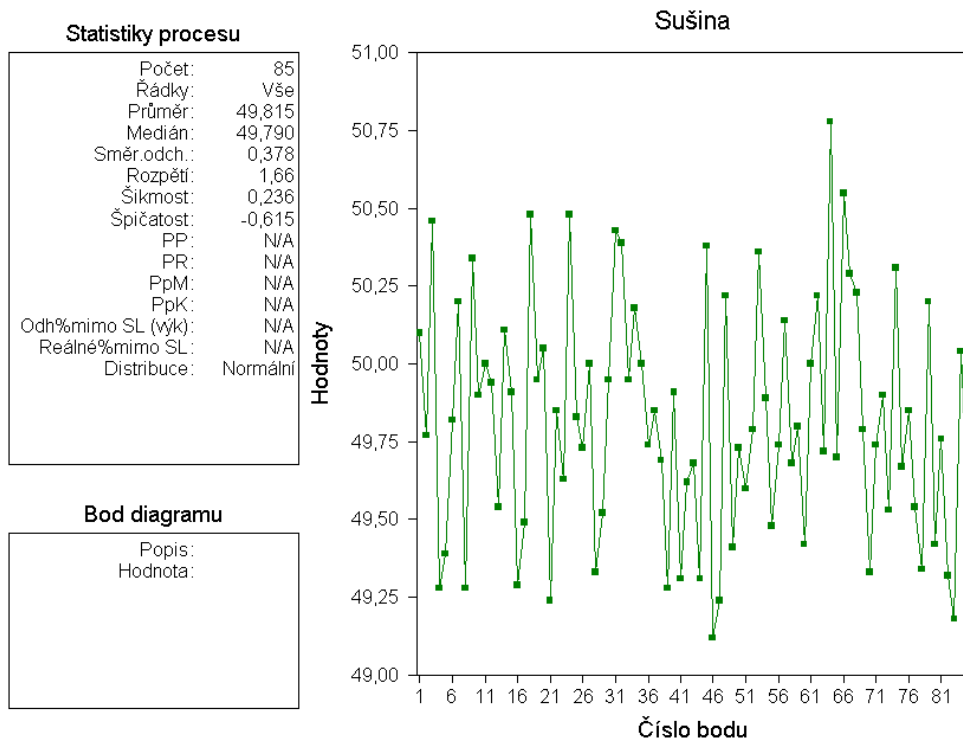
Tabulka 4 Hodnoty sušiny

Číslo měření	Sušina	Číslo měření	Sušina	Číslo měření	Sušina	Číslo měření	Sušina
1	50,1	23	49,63	45	50,38	67	50,29
2	49,77	24	50,48	46	49,12	68	50,23
3	50,46	25	49,83	47	49,24	67	50,29
4	49,28	26	49,73	48	50,22	68	50,23
5	49,39	27	50	49	49,41	69	49,79
6	49,82	28	49,33	50	49,73	70	49,33
7	50,2	29	49,52	51	49,6	71	49,74
8	49,28	30	49,95	52	49,79	72	49,9
9	50,34	31	50,43	53	50,36	73	49,53
10	49,9	32	50,39	54	49,89	74	50,31
11	50	33	49,95	55	49,48	75	49,67
12	49,94	34	50,18	56	49,74	76	49,85
13	49,54	35	50	57	50,14	77	49,54
14	50,11	36	49,74	58	49,68	78	49,34
15	49,91	37	49,85	59	49,8	79	50,2
16	49,29	38	49,69	60	49,42	80	49,42
17	49,49	39	49,28	61	50	81	49,76
18	50,48	40	49,91	62	50,22	82	49,32
19	49,95	41	49,31	63	49,72	83	49,18
20	50,05	42	49,62	64	50,78	84	50,04
21	49,24	43	49,68	65	49,7	85	49,65
22	49,85	44	49,31	66	50,55		

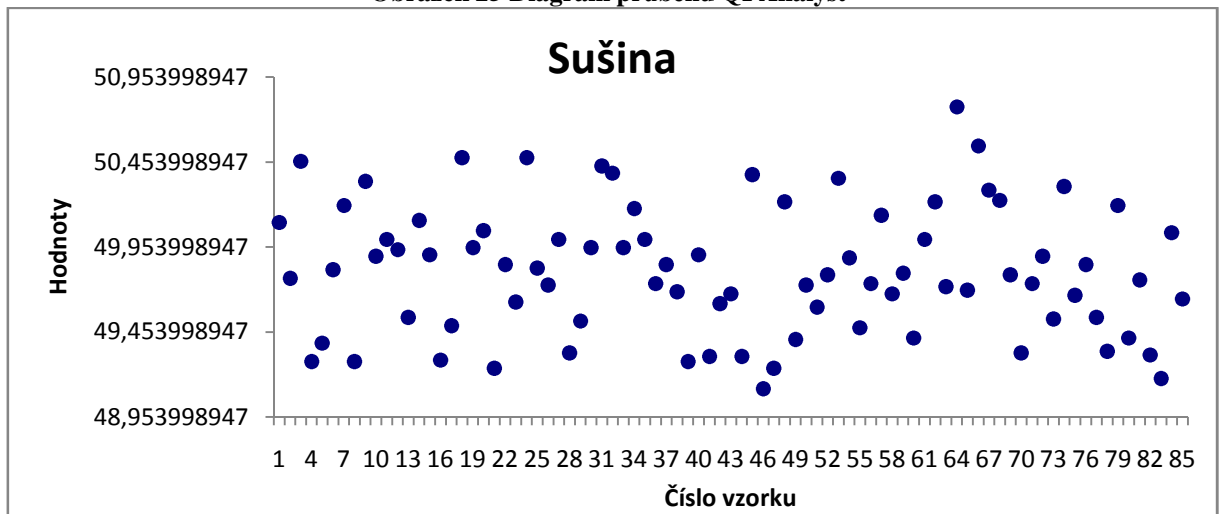
4.2.2 Hodnocení diagramů

V tomto procesu se nevyskytují odlehlé hodnoty, jedná se o veličinu, jež se reguluje snadněji. Nevyskytuje se žádný trend, proces se zdá být statisticky zvládnutý až na ojedinělé porušení pravidel. Toto je vidět i na asymetrickém histogramu, naznačujícím působení vymezených příčin. Proces je silně závislý na další veličině, viskozitě, se kterou koreluje. Úpravy této veličiny ji tedy mohou ovlivnit, což může být příčinou zvláštních příčin variability. Podle diagramu průběhu se v procesu pravděpodobně vyskytuje kolísání dle harmonického průběhu. Všechny vymezené příčiny se musí vyšetřit a odstranit.

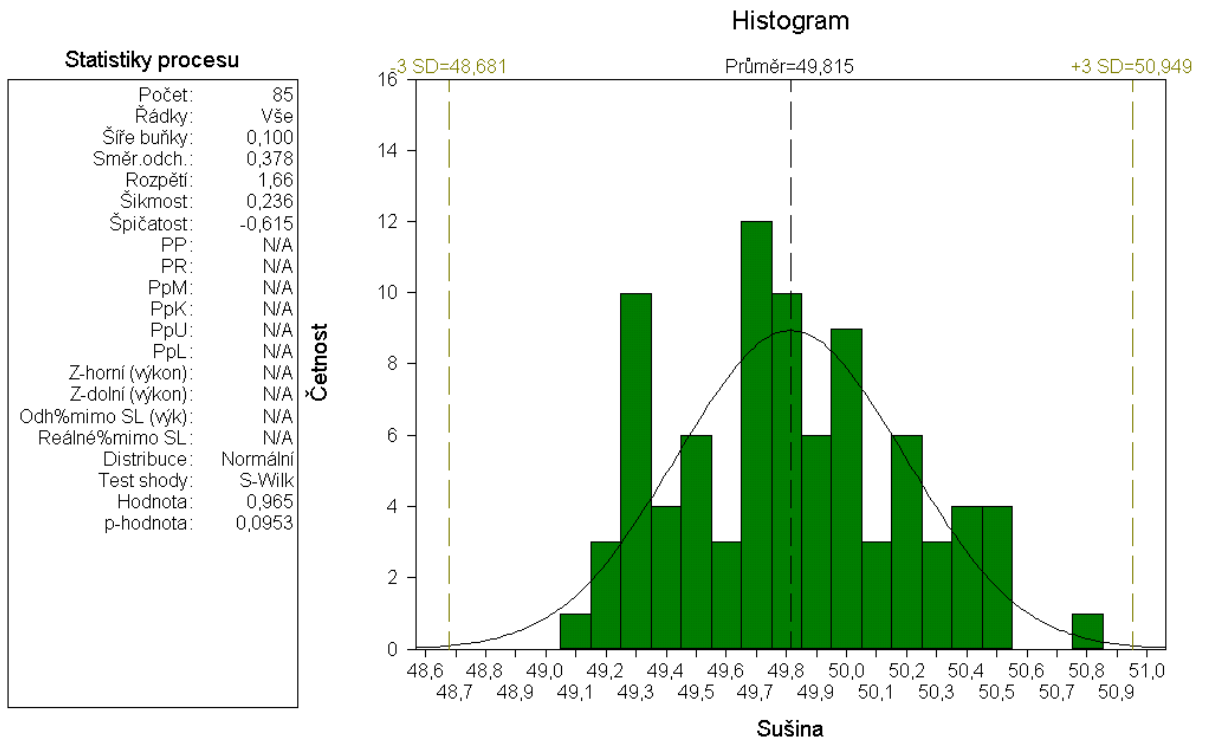
4.2.3 Jednotlivé diagramy



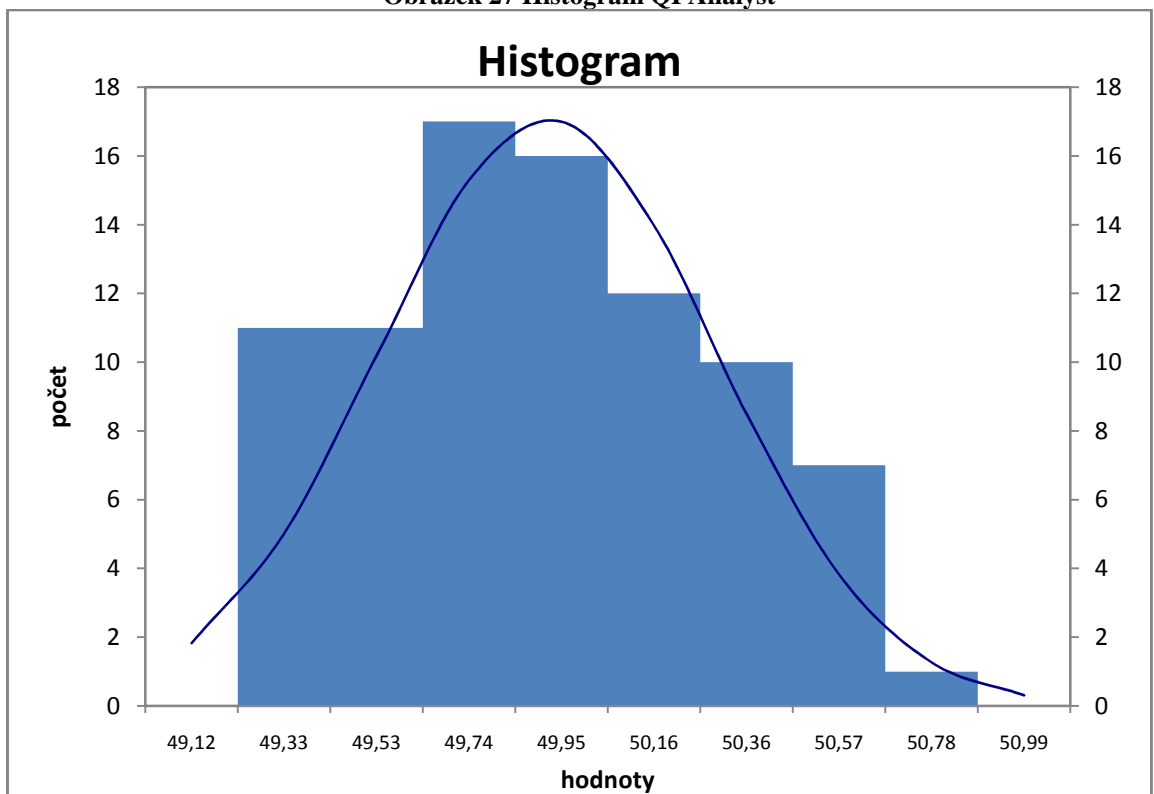
Obrázek 25 Diagram průběhu QI Analyst



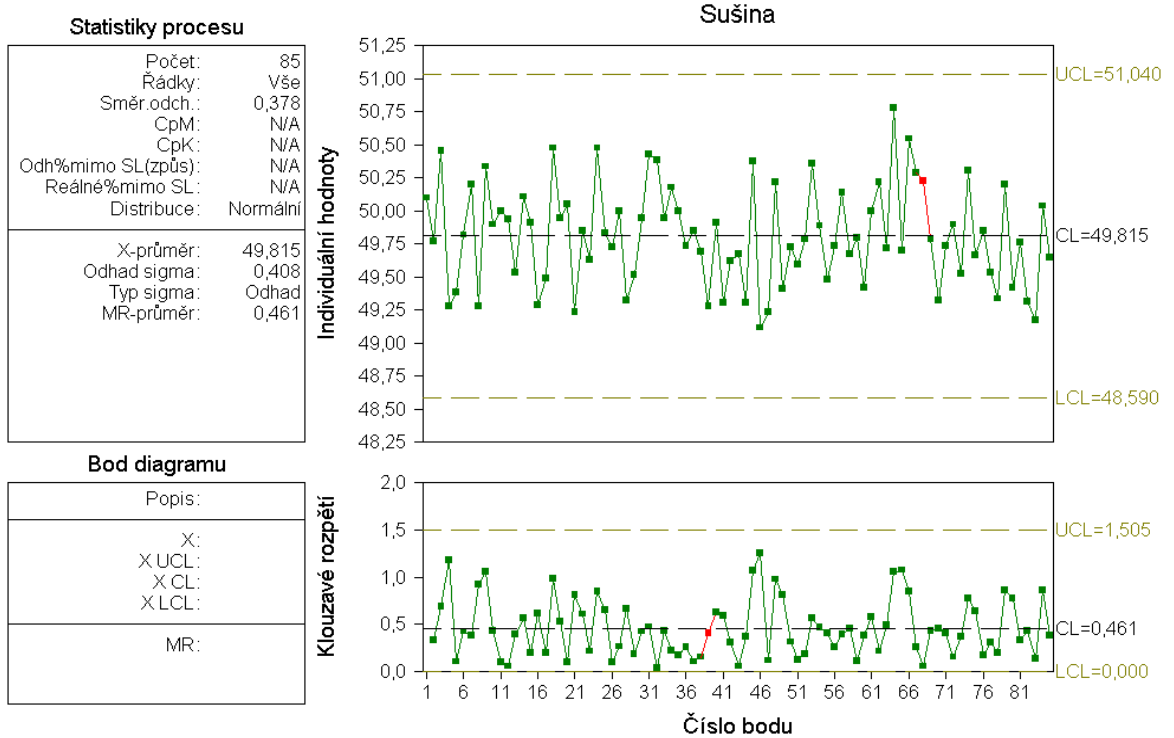
Obrázek 26 Diagram průběhu MS Excel



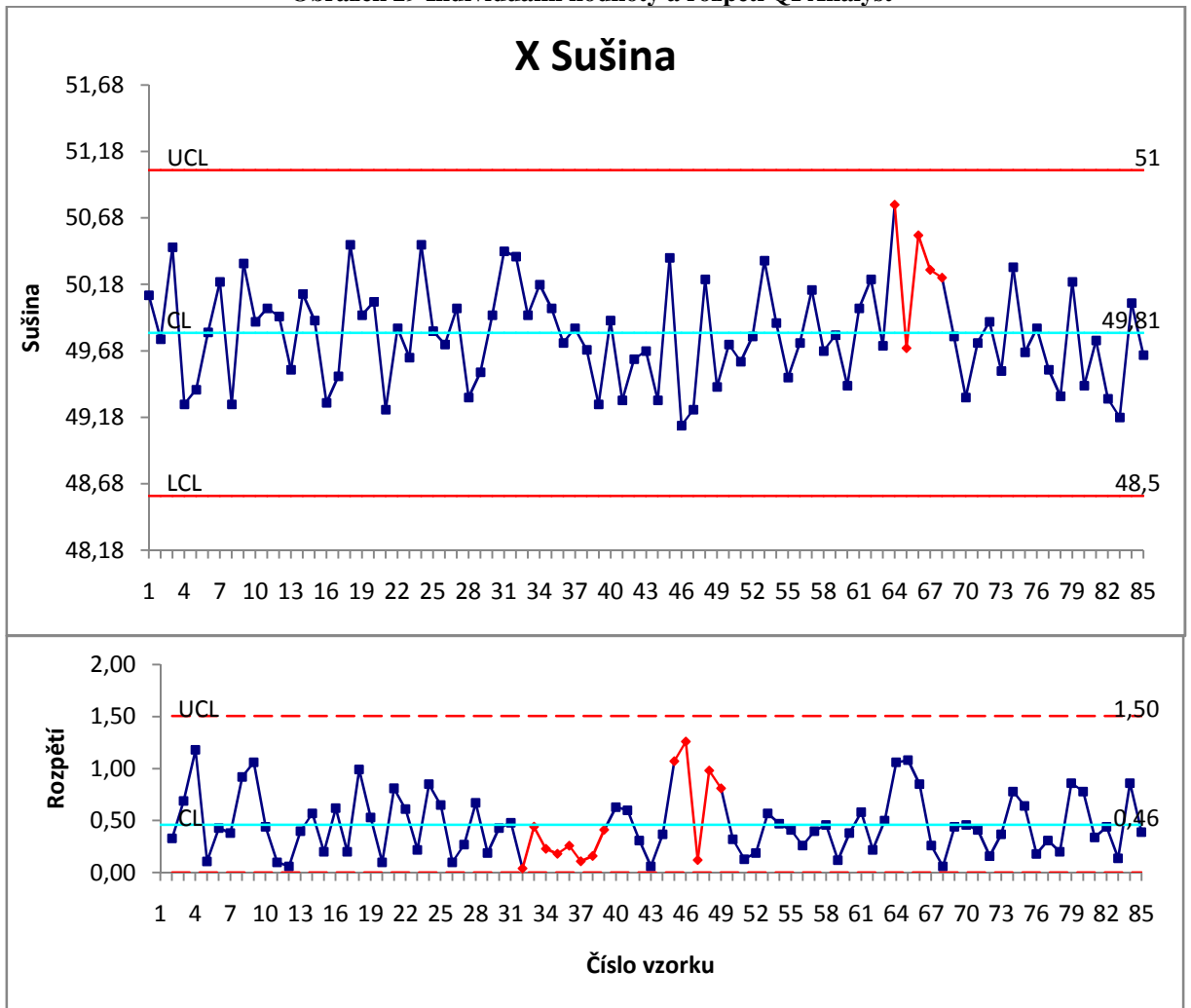
Obrázek 27 Histogram QI Analyst



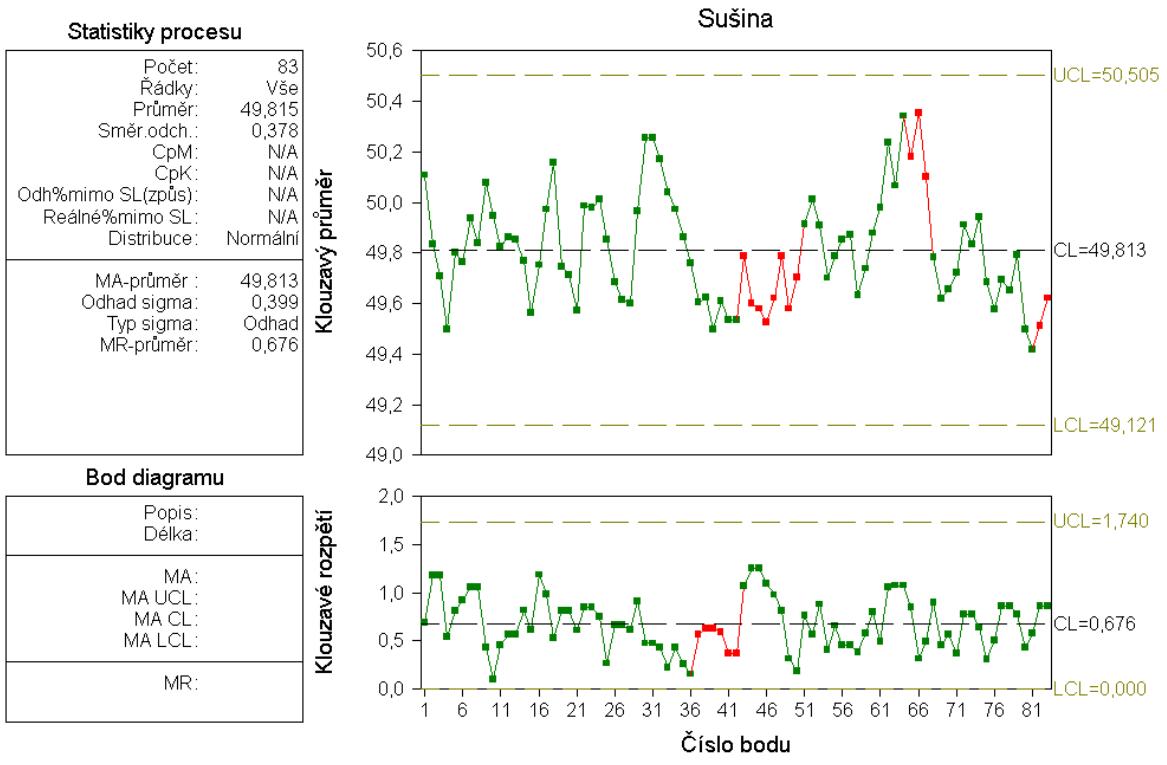
Obrázek 28 Histogram MS Excel



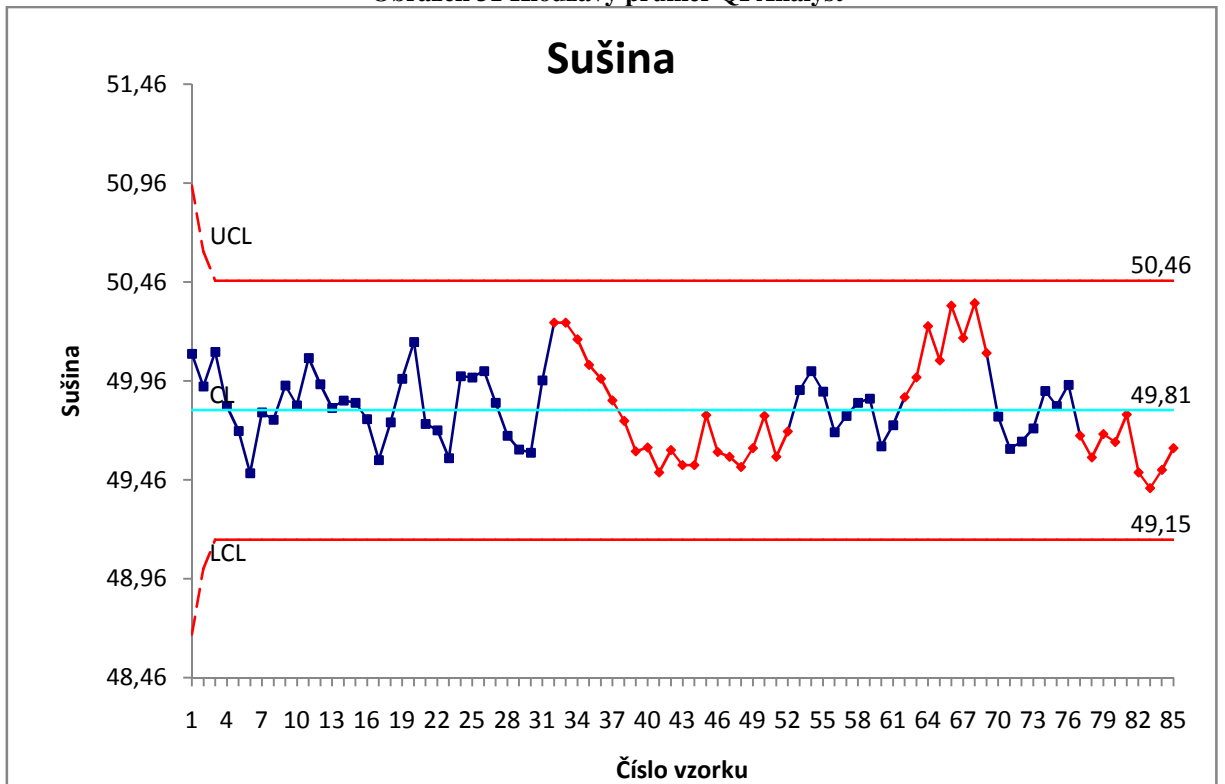
Obrázek 29 Individuální hodnoty a rozpětí QI Analyst



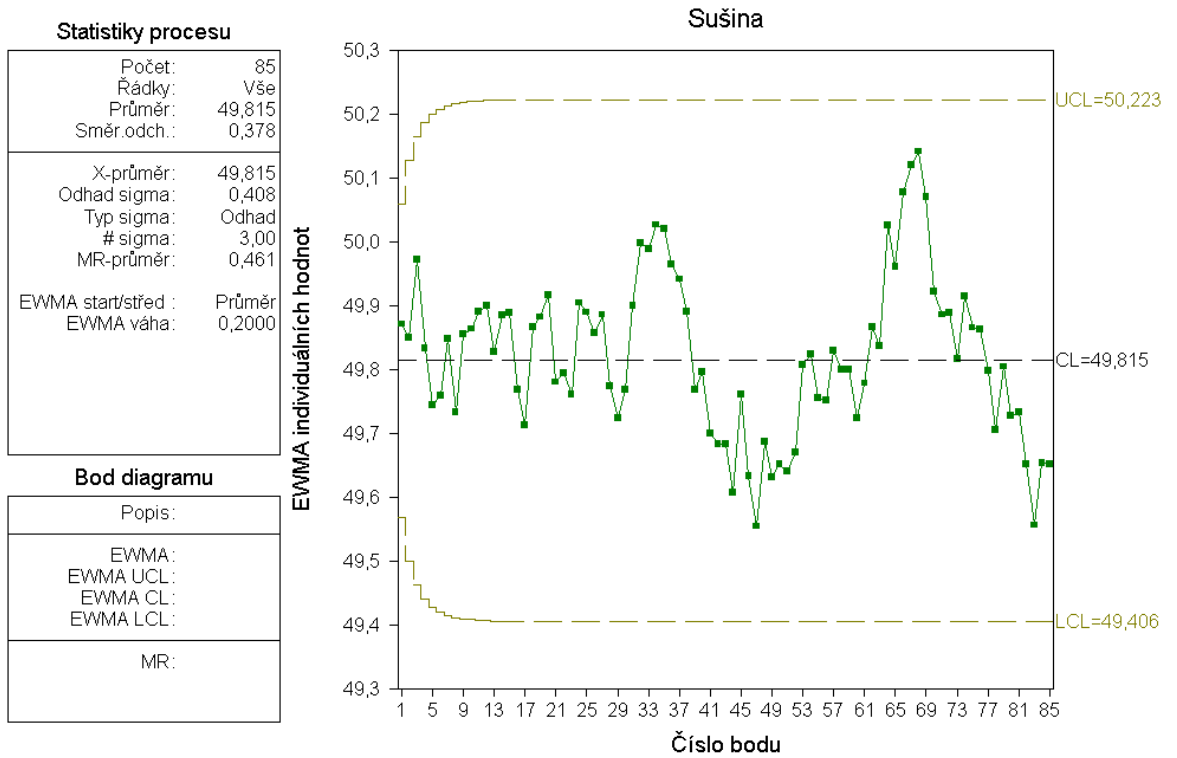
Obrázek 30 Individuální hodnoty a klouzavé rozpětí MS Excel



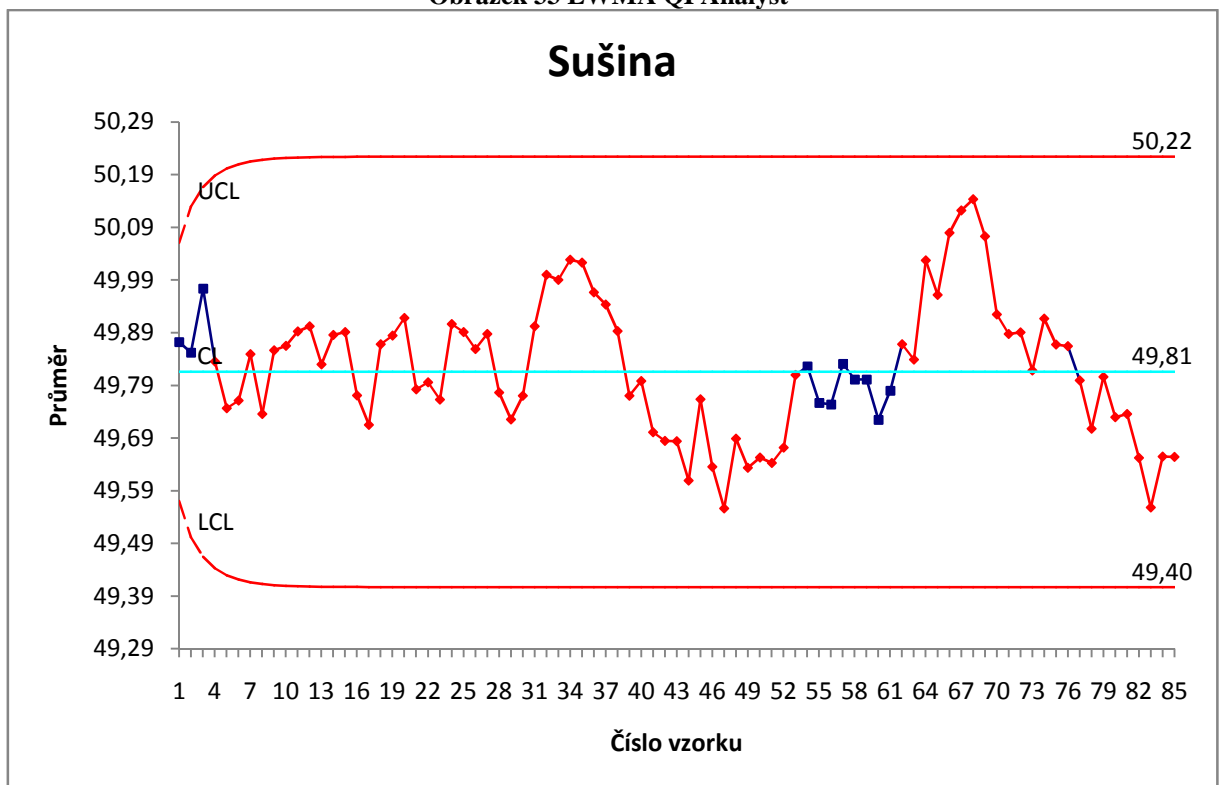
Obrázek 31 Klouzavý průměr QI Analyst



Obrázek 32 Klouzavý průměr MS Excel



Obrázek 33 EWMA QI Analyst



Obrázek 34 EWMA MS Excel

4.3 Příklad výpočtu diagramů měřením, chemická výroba, měření viskozity

Jedná se o stejnou výrobu jako ve všech předchozích příkladech. Je zde měřena viskozita, což je pro výrobu disperzí velmi důležitý atribut. Měření provádí několik laborantek současně, pomocí rotačního viskozimetru. Tato veličina závisí na jiné veličině, sušině, její úpravy tedy ovlivní i tuto. U každé dávky se provede čtyřnásobné měření při celkovém počtu 85 výběrů. Je proto možné sestavit i diagramy, jež se v předchozích případech nedalo vytvořit.

4.3.1 Hodnoty

Tabulka 5 Hodnoty viskozity

Číslo podsk.	Viskozita				Číslo podsk.	Viskozita				Číslo podsk.	Viskozita			
	X1	X2	X3	X4		X1	X2	X3	X4		X1	X2	X3	X4
1	1100	905	1040	1170	29	1090	1190	1310	1220	57	1190	1130	1180	990
2	1240	1152	1150	1120	30	1280	1120	1030	1230	58	1250	1080	1230	1030
3	1130	1220	935	1130	31	1260	1000	1220	1120	59	1120	1020	1080	1420
4	1000	1085	920	1170	32	1570	1220	1030	1110	60	1050	1230	1150	1270
5	1040	1250	815	1050	33	1120	1180	1220	1220	61	1010	1030	1030	1150
6	1150	1080	1110	1220	34	1180	1220	1220	1180	62	1230	1130	1000	1110
7	935	1555	1430	1010	35	1340	1040	1130	1110	63	1110	1050	1190	1220
8	920	1145	1145	1310	36	1200	1340	1130	1420	64	1160	1030	1260	1250
9	815	920	920	1420	37	1260	905	1050	1180	65	1060	1220	1080	1030
10	1220	1130	1200	905	38	1180	1160	1190	1140	66	1230	1230	1050	1110
11	1010	1310	1260	915	39	1080	1000	1170	1180	67	1030	1260	1050	1160
12	1200	1420	1120	1050	40	1350	1240	1120	1030	68	1150	1110	1080	1160
13	1090	905	1180	1050	41	1190	1130	1080	1130	69	1110	1130	1220	1060
14	1230	915	1340	1270	42	1170	1020	1130	1050	70	1220	1230	1555	1160
15	1080	1020	1280	905	43	1120	1180	1080	1250	71	1180	1000	1145	1000
16	1150	1110	1260	990	44	1180	1290	1030	1030	72	1000	1000	920	1000
17	1020	1420	1270	1030	45	1280	1050	1220	1220	73	1090	1130	1120	1130
18	1310	1040	1200	905	46	1090	1250	1180	1220	74	1130	1020	1090	990
19	1420	1050	1260	1570	47	1210	1090	1180	1250	75	1120	1340	1130	1030
20	1270	1240	1250	1180	48	1220	1090	1080	1050	76	1080	990	1120	1230
21	905	905	1120	1080	49	1130	1050	1220	1000	77	990	1230	1030	850
22	1110	1040	1050	1350	50	1130	1080	1190	1190	78	1030	1220	1220	1000
23	1240	1240	1110	1050	51	1170	1130	1250	1250	79	1230	1220	1000	1230
24	1420	1430	1430	1080	52	1050	1110	1280	1230	80	1030	1230	1130	1110
25	1290	1570	1000	1130	53	1050	1160	1220	1000	81	1220	1220	1190	1160
26	1160	1110	1260	1430	54	1050	1000	1030	850	82	1180	1160	1170	1060
27	1430	1430	1150	1050	55	1020	1260	1120	1180	83	850	1120	1120	1120
28	1110	1110	1020	1080	56	1000	1080	1220	1080	84	1140	1230	1420	1200
										85	1180	1340	1290	1260

4.3.2 Příklad výpočtu

Protože nejsou stanoveny základní hodnoty, je nejprve nutné spočítat průmky dle normy. To se provede tak, že se vypočte průměrná hodnota průměrů v podskupinách a průměr z rozpětí, poté je možné zakreslit R diagram.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum \bar{X} = 1144$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum R = 249,5$$

Před zakreslením R diagramu je třeba spočítat průmky.

$$CL = \bar{R} = 249,5$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2,282 \cdot 249,5 = 569,3$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0$$

Protože je n menší než 7, LCL se nekonstruuje. Hodnoty součinitelů jsou opět jako v prvním příkladu v příslušné normě a také v příloze. Nyní se sestrojí diagram pro průměr.

$$CL = \bar{\bar{X}} = 1144$$

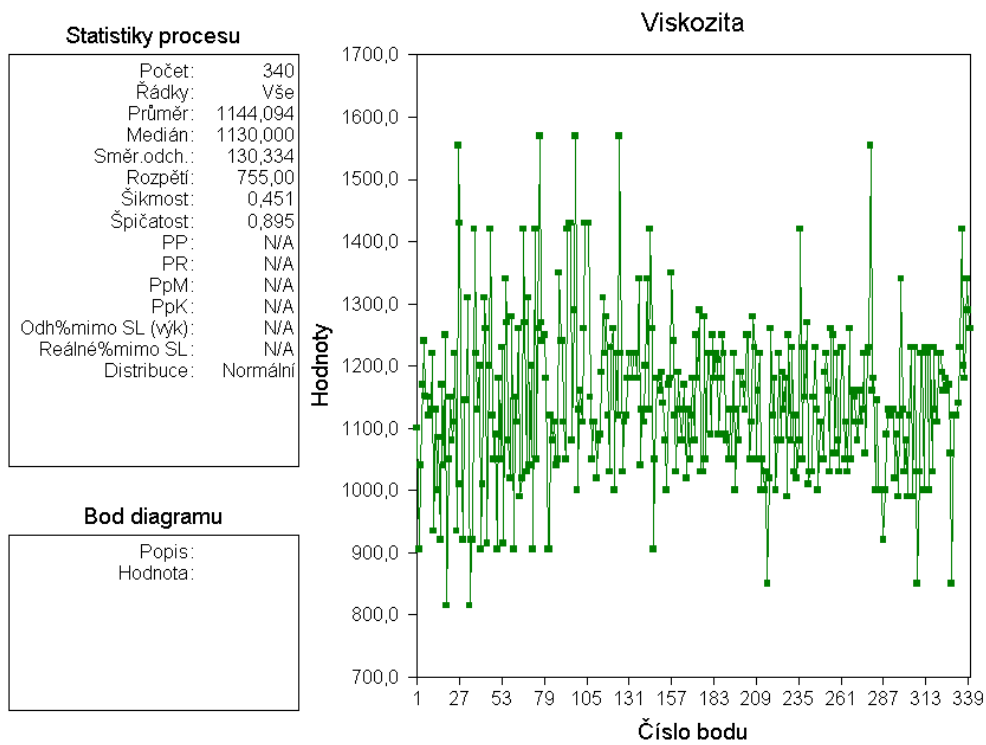
$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 1144 + 0,729 \cdot 249,5 = 1325,8$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 1144 - 0,729 \cdot 249,5 = 962,3$$

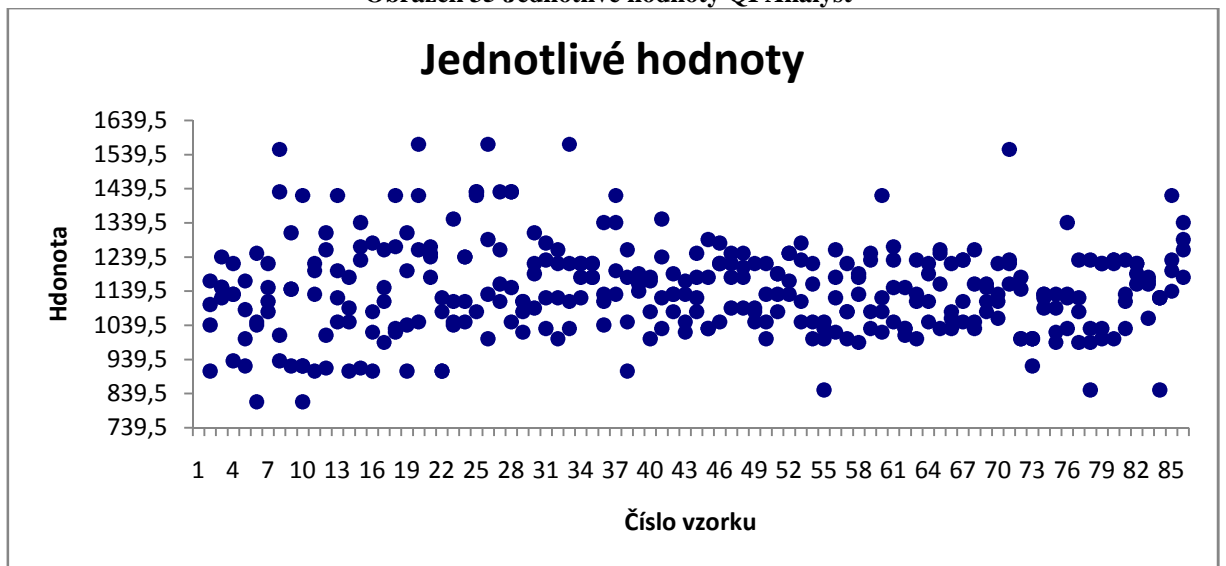
4.3.3 Hodnocení diagramu

Již první pohled na histogram, který je hřebenového typu naznačí, že je proces ovlivněn i jinými než náhodnými příčinami. Příčinou porušení testů v tomto procesu mohou být například jiné vlastnosti vstupní suroviny. Z praxe je také známé, že často proces nepříznivě ovlivní předchozí znečištění reaktoru, přesněji jeho nedůkladné vyčištění, kde zbytek předchozí disperze má specifický vliv na disperzi novou, a to oběma směry. Odlehlé hodnoty mohou být způsobeny například chybou navážky. Všechny diagramy obsahují několik porušení testů, proces není statisticky zvládnutý. Jejich příčiny je třeba nalézt a provést náležitá opatření.

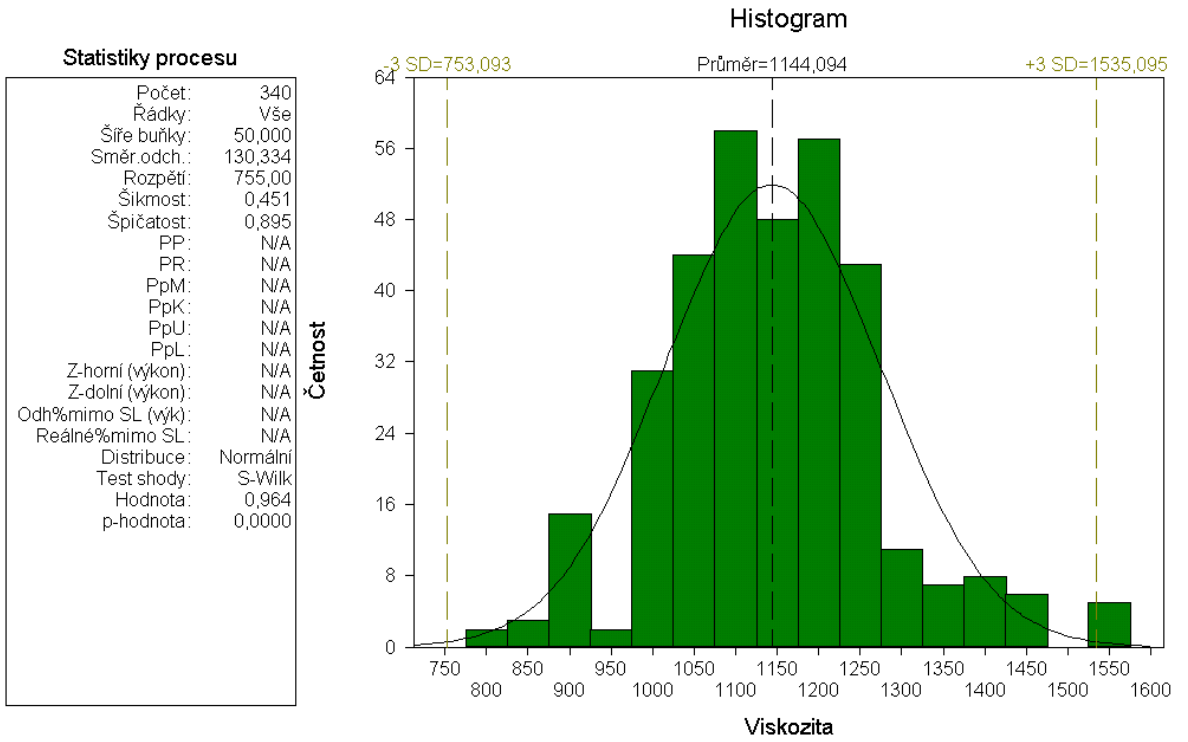
4.3.4 Jednotlivé diagramy



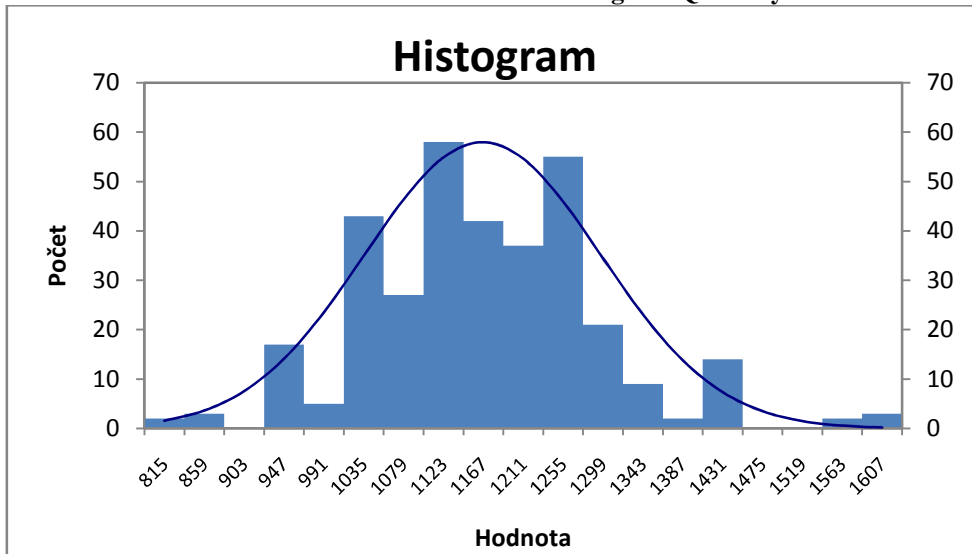
Obrázek 35 Jednotlivé hodnoty QI Analyst



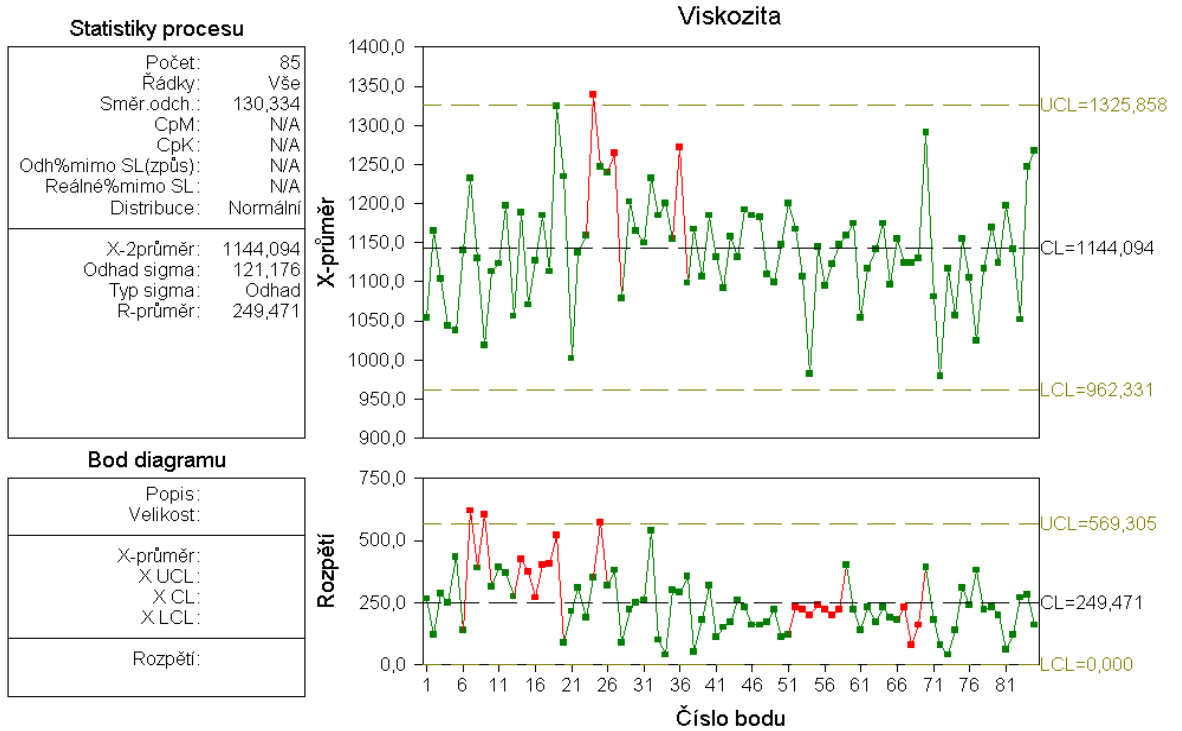
Obrázek 36 jednotlivé hodnoty MS Excel



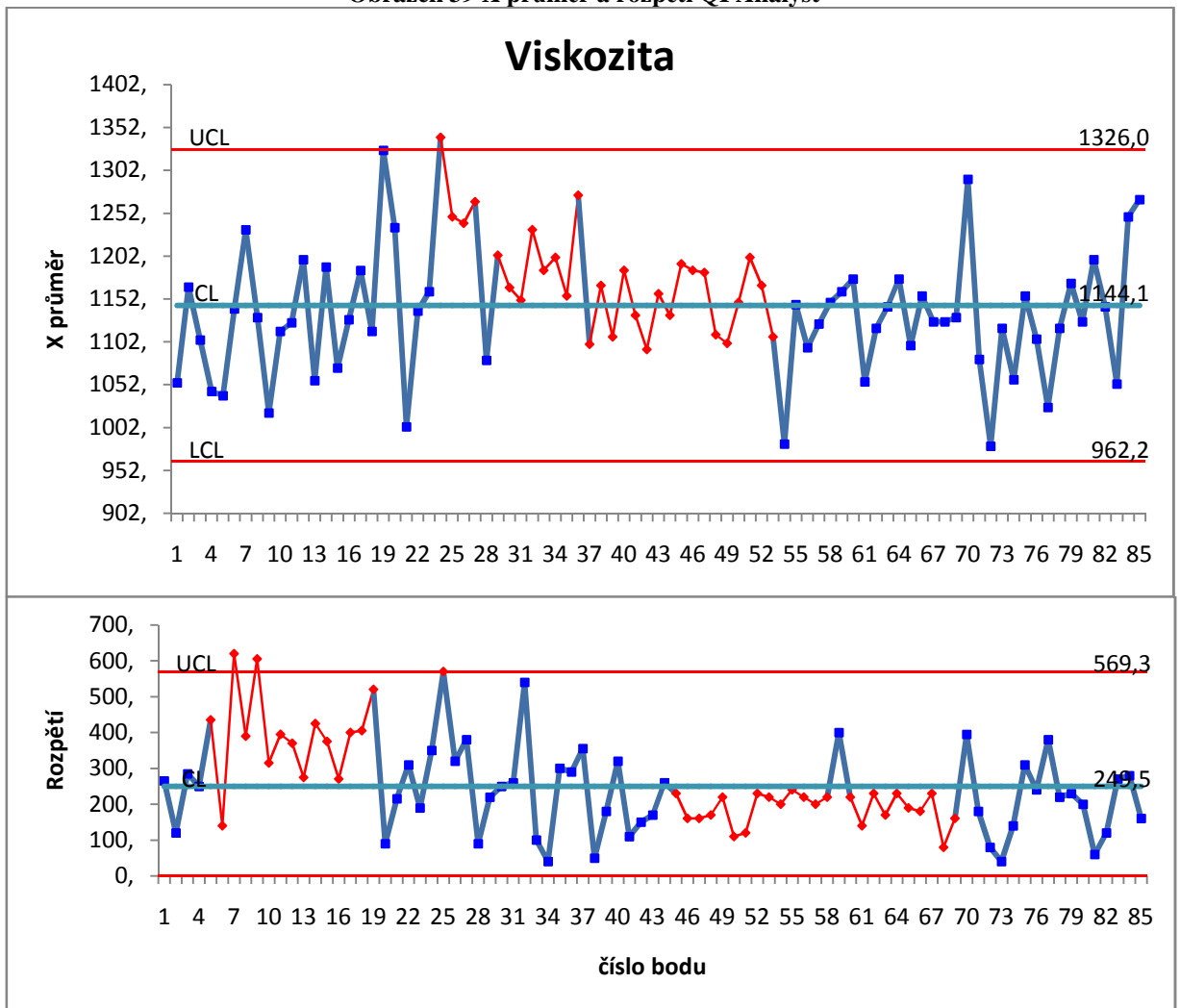
Obrázek 37 Histogram QI Analyst



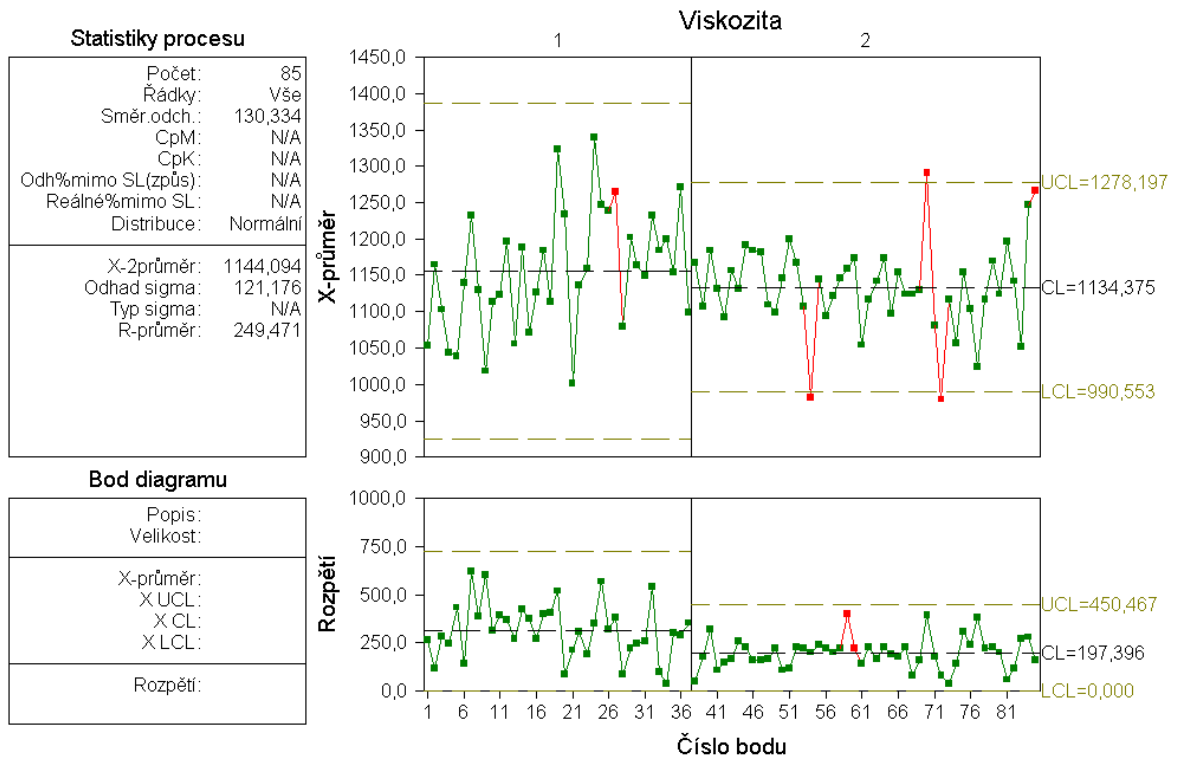
Obrázek 38 Histogram MS Excel



Obrázek 39 X průměr a rozpětí QI Analyst

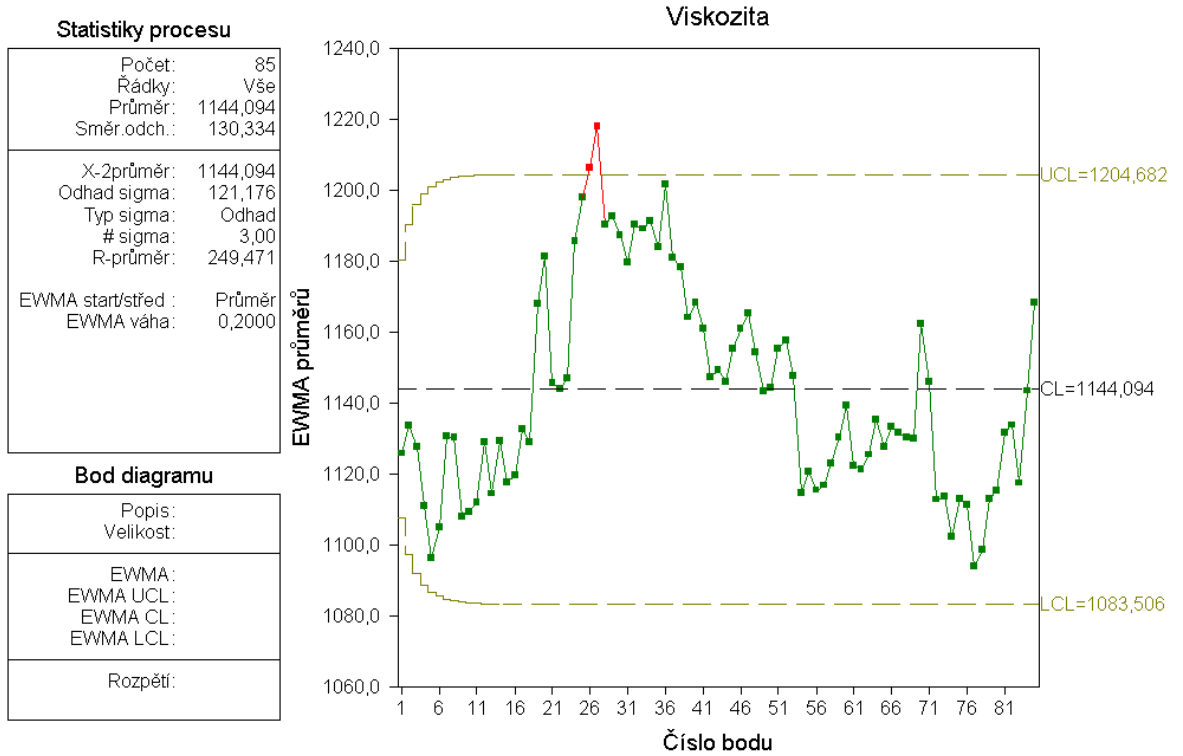


Obrázek 40 X průměr rozpětí MS Excel

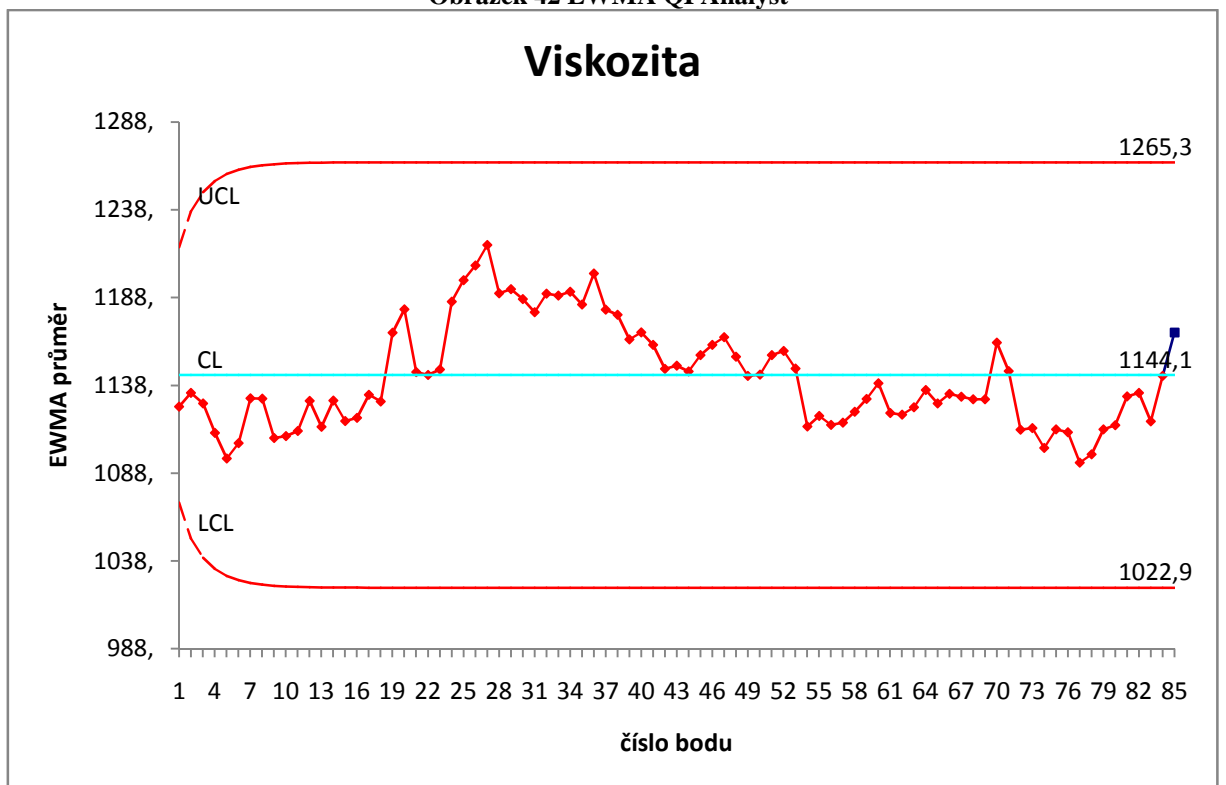


Obrázek 41 X průměr a rozpětí s užitím pásem, QI Analyst

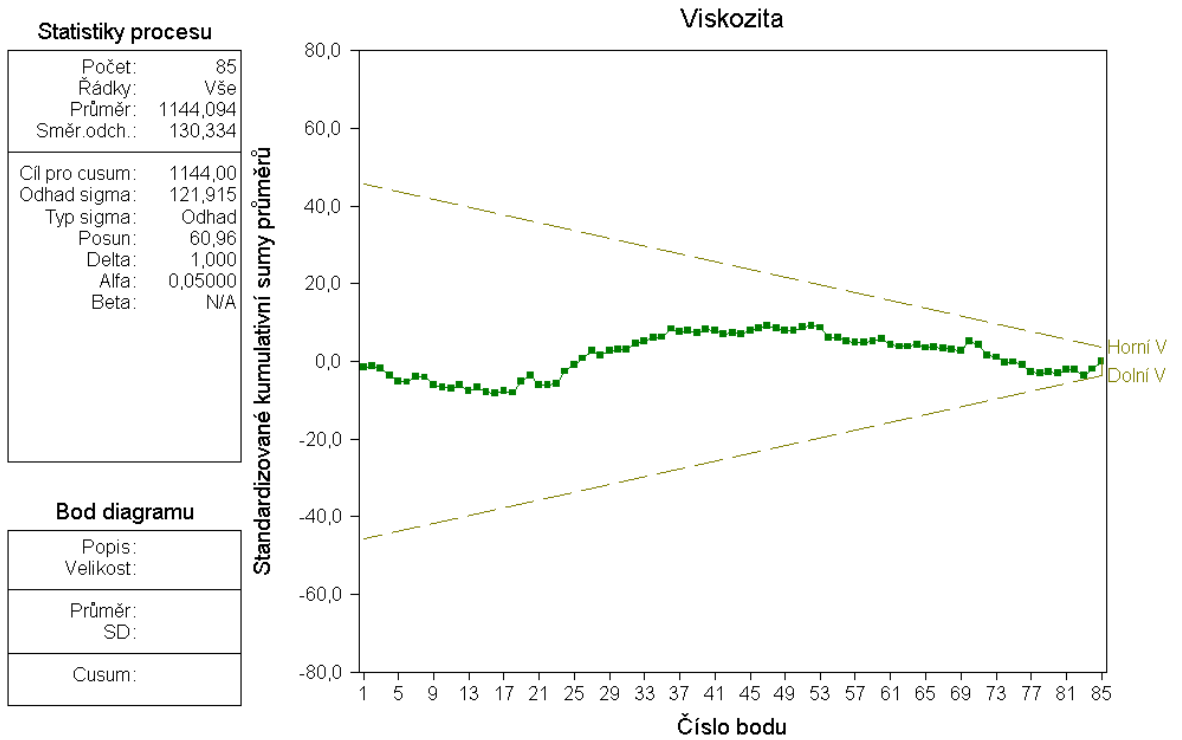
Tento diagram byl rozdělen užitím pásem. To je vhodné, pokud dojde k nějaké dlouhodobé změně procesu, například ke změně dodavatele, metody atd. Taková změna proces ovlivní natolik, že v podstatě vzniknou dva, nebo i více rozdílných procesů. Počítání mezí a nahlížení na proces jako na jeden je poté nevhodné. V tomto případě užití pásem a rozdělení procesu má výrazný vliv na diagram rozpětí, kde je vidět rozdílné chování obou polovin. Diagram však stále zůstane statisticky nezvládnutým.



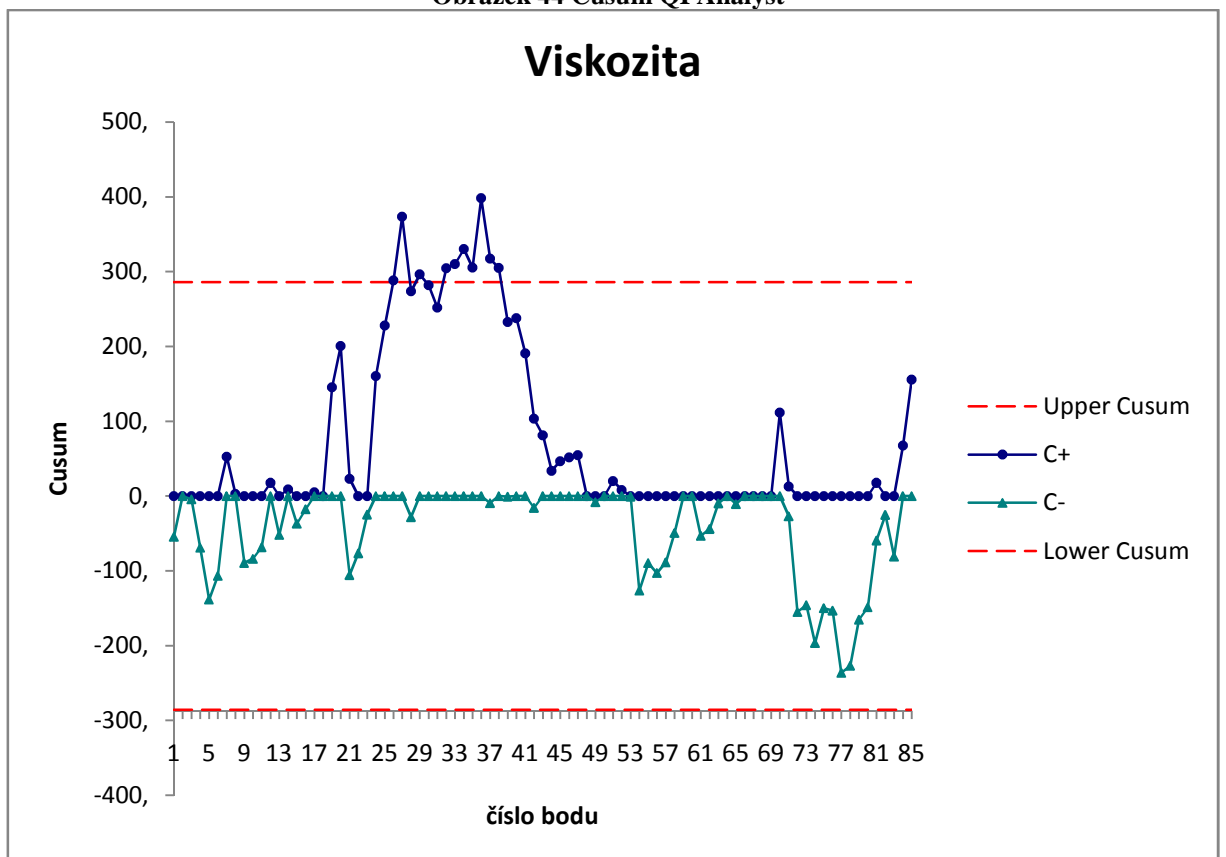
Obrázek 42 EWMA QI Analyst



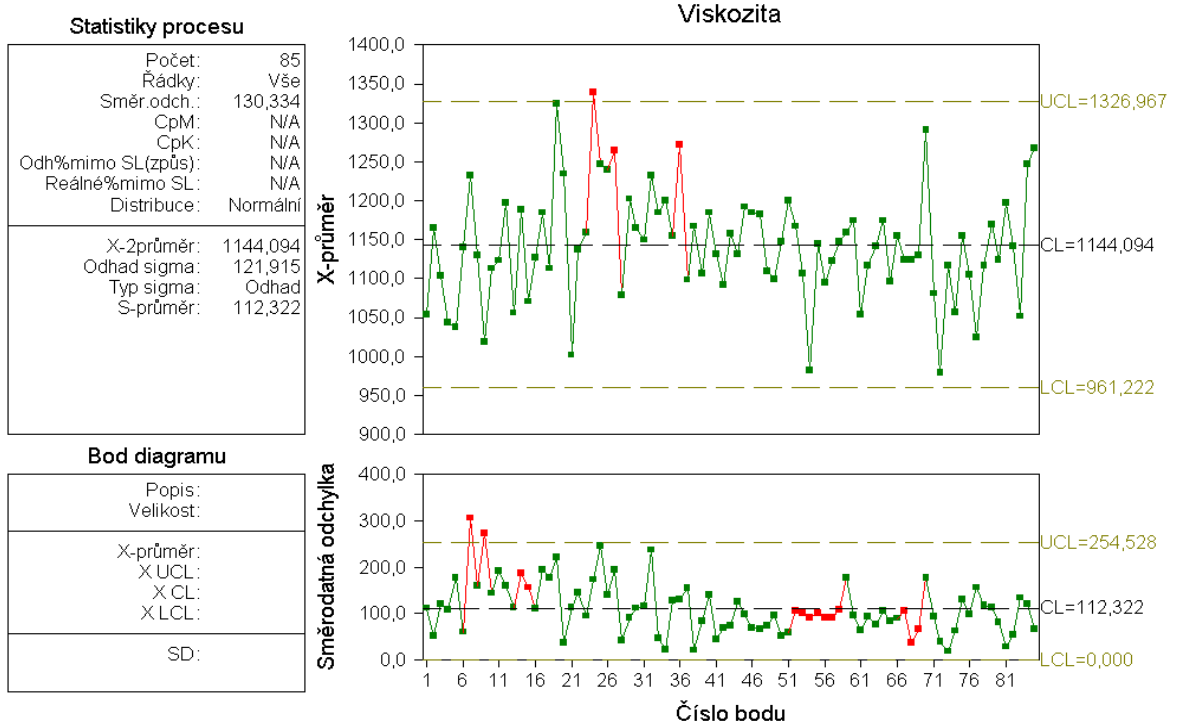
Obrázek 43 EWMA MS Excel



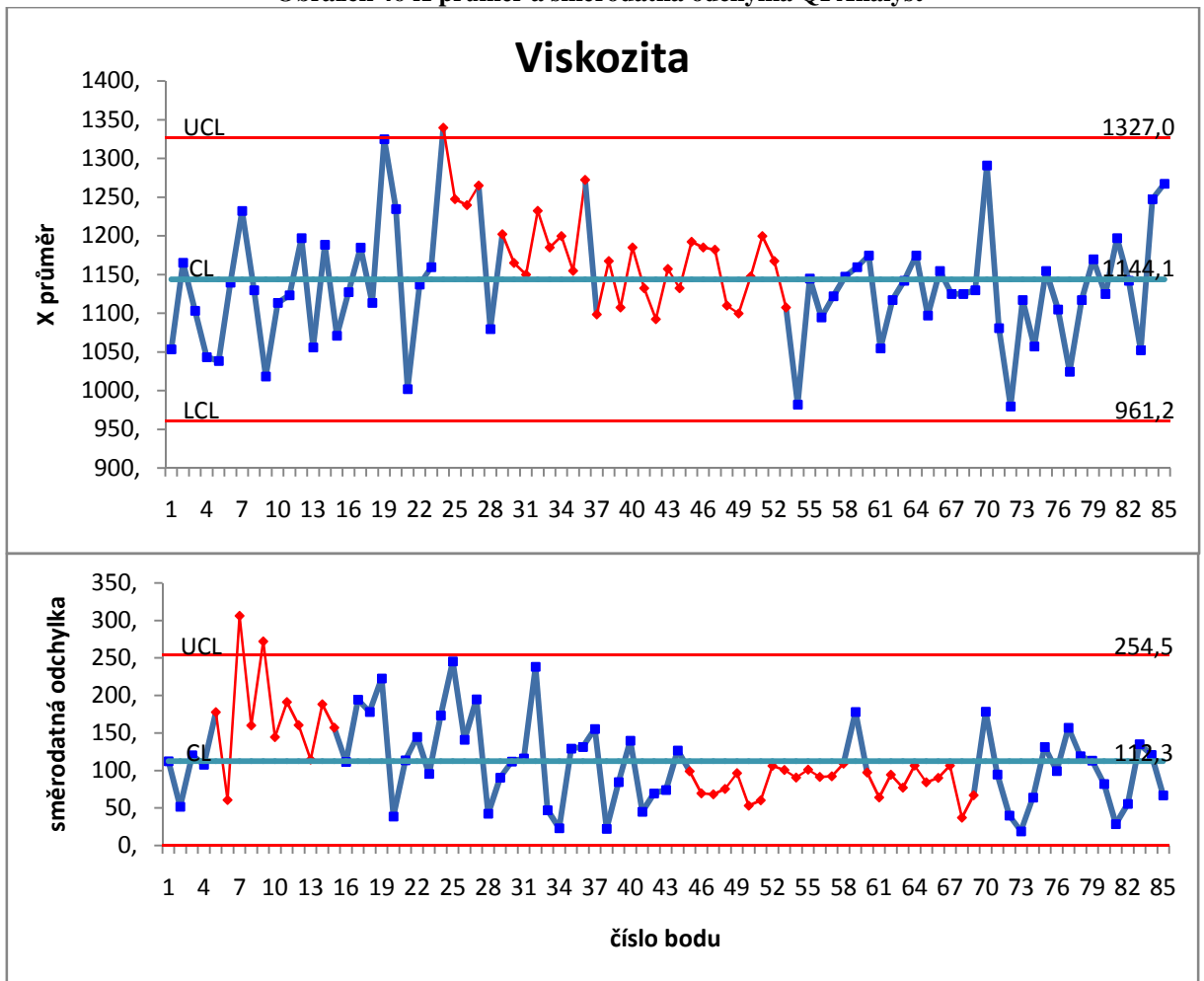
Obrázek 44 Cusum QI Analyst



Obrázek 45 CUSUM MS Excel



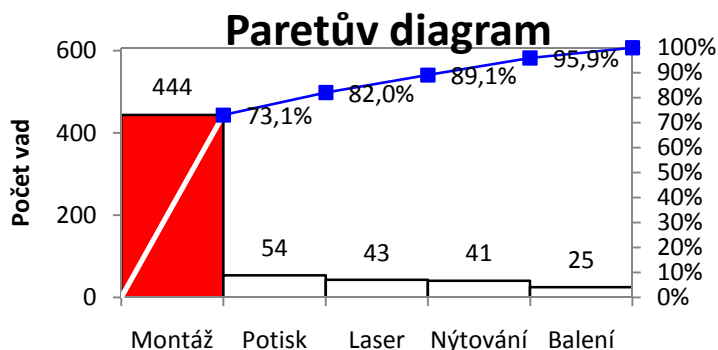
Obrázek 46 X průměr a směrodatná odchylka QI Analyst



Obrázek 47 X průměr a směrodatná odchylka MS Excel

4.4 Příklad výpočtu diagramů srovnáním, výroba součástek

Jedná se o elektrotechnickou výrobu konektorů, jež procházejí linkou a mohou mít několik typů vad. Jednotlivé typy vad jsou znázorněny v Paretově diagramu. Každá dávka prochází stoprocentní kontrolou. Jednotlivé dávky mají různou velikost, podle objednávky odběratele. Protože je velikost dávky variabilní, je možné použít pouze diagram p.



Obrázek 48 Paretův diagram různých typů vad

4.4.1 Hodnoty

Tabulka 6 Hodnoty p diagram

Číslo dávky	Bezvadné	Vadné	Celkem	Číslo dávky	Bezvadné	Vadné	Celkem
1	321893	9	321902	25	22402	4	22406
2	24333	6	24339	26	27416	6	27422
3	71815	2	71817	27	27999	4	28003
4	235730	4	235734	28	53613	166	53779
5	33528	13	33541	29	33539	11	33550
6	29196	2	29198	30	35610	5	35615
7	32900	12	32912	31	23818	104	23922
8	20555	6	20561	32	24422	20	24442
9	25759	39	25798	33	26035	15	26050
10	31916	10	31926	34	24831	5	24836
11	34134	28	34162	35	29780	5	29785
12	22930	4	22934	36	24428	6	24434
13	21459	3	21462	37	7118	11	7129
14	29187	7	29194	38	31274	11	31285
15	36419	6	36425	39	22570	2	22572
16	30560	4	30564	40	37918	9	37927
17	157579	1	157580	41	21603	7	21610
18	157579	1	157580	42	27153	3	27156
19	31126	6	31132	43	32978	2	32980
20	19797	2	19799	44	35850	3	35853
21	31483	8	31491	45	22894	13	22907
22	33634	5	33639	46	21877	7	21884
23	30076	2	30078	47	56683	2	56685
24	37021	4	37025	48	13238	2	13240

4.4.2 Příklad výpočtu

V tomto příkladě nejsou základní hodnoty známe. Postup výpočtu je následující:

$$CL = \bar{p} = \frac{9 + 6 + \dots + 2}{321902 + 24335 + \dots + 13240} = 0,00027 = 0,27 \%$$

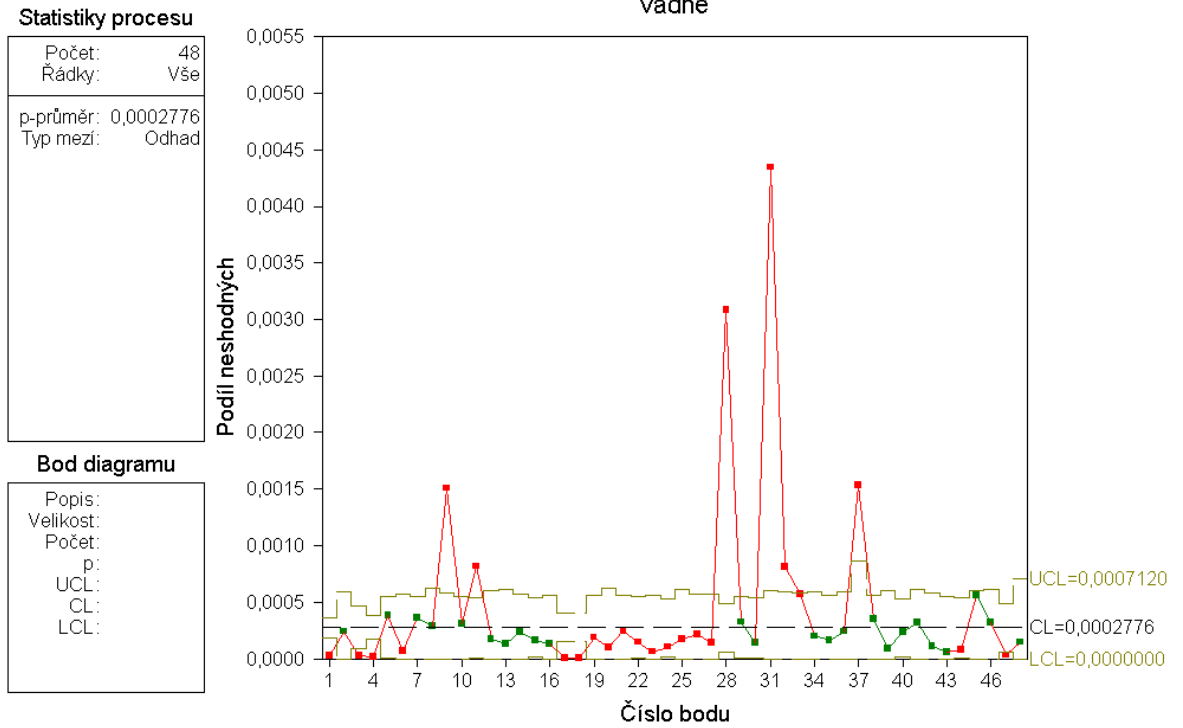
$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0,00027 + 3 \sqrt{\frac{0,00027(1 - 0,00027)}{321902}} = 0,00035$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0,00027 - 3 \sqrt{\frac{0,00027(1 - 0,00027)}{321902}} = 0,00018$$

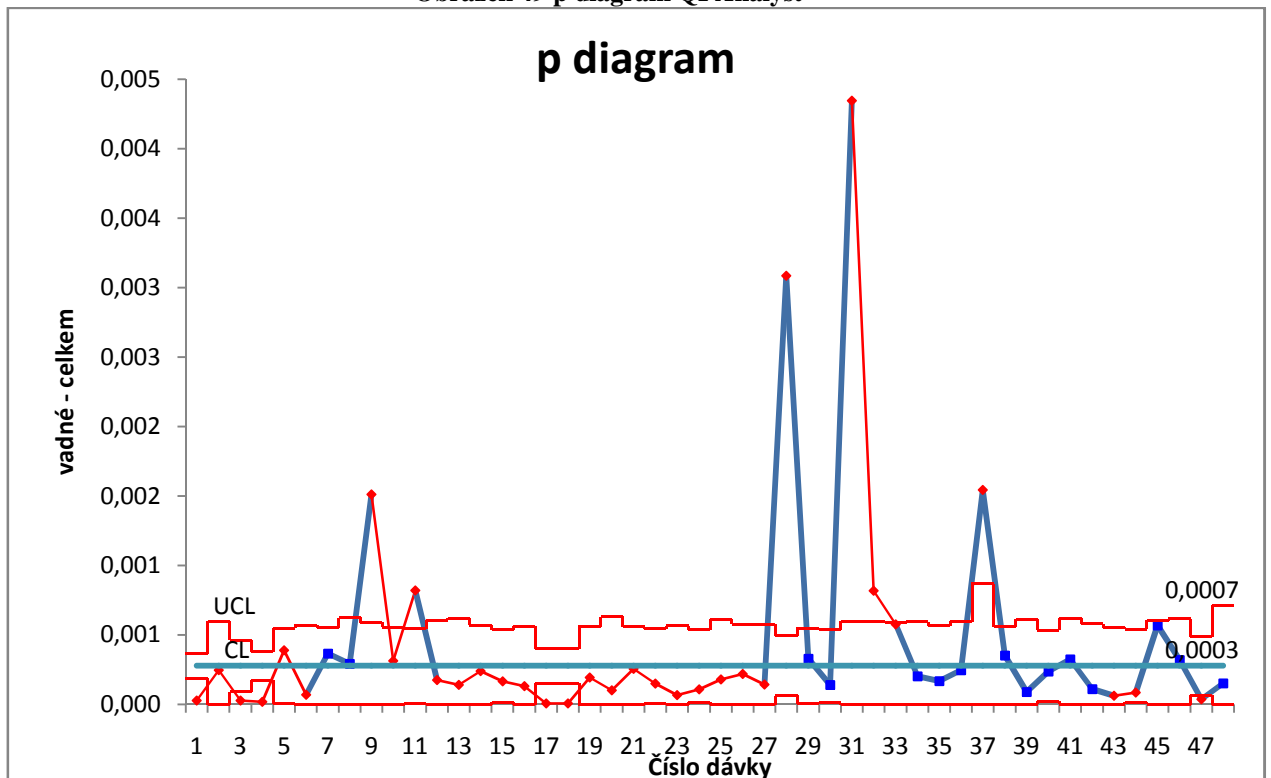
4.4.3 Hodnocení diagramu

Diagram obsahuje několik odlehlých hodnot, ty byly způsobeny poruchou stroje, jež nebyl správně seřízen. Dále diagram obsahuje několik porušení testů, zejména za sebou jdoucí body pod, nebo nad centrální linií. Tento stav byl pravděpodobně způsoben jiným nastavením stroje, například zkušenějším, či naopak méně zkušeným mechanikem. Celkově se proces zdá být statisticky nezvládnutý a je proto třeba zjistit příčiny tohoto stavu a odstranit je.

4.4.4 Diagram



Obrázek 49 p diagram QI Analyst



Obrázek 50 p diagram MS Excel

4.5 Příklad výpočtu diagramů srovnáním, výroba součástek

Tento příklad se zabývá stejnou výrobou jako předchozí. Na lince jsou vyráběny odolné konektory, které procházejí automatickou stoprocentní kontrolou, linka sama kontroluje jejich těsnost. Protože zpracovává vždy stejně velikou dávku, je rozsah výběru sejně velký, je proto možné využít i np diagram. Protože byl p diagram konstruován již v minulém případě, nebude znovu tvořen.

4.5.1 Hodnoty

Tabulka 7 Hodnoty np diagram

Číslo podsk.	Počet kontrolovaných konektorů	Počet neshodných konektorů	Číslo podsk.	Počet kontrolovaných konektorů	Počet neshodných konektorů
1	5000	18	21	5000	18
2	5000	14	22	5000	14
3	5000	15	23	5000	15
4	5000	11	24	5000	10
5	5000	12	25	5000	15
6	5000	14	26	5000	10
7	5000	15	27	5000	15
8	5000	14	28	5000	18
9	5000	15	29	5000	13
10	5000	14	30	5000	10
11	5000	11	31	5000	15
12	5000	11	32	5000	15
13	5000	8	33	5000	13
14	5000	11	34	5000	17
15	5000	10	35	5000	18
16	5000	14	36	5000	16
17	5000	10	37	5000	16
18	5000	14	38	5000	11
19	5000	20	39	5000	17
20	5000	10	40	5000	15

4.5.2 Příklad výpočtu

Hodnoty se pro diagram spočtou následujícím způsobem:

$$CL = n\bar{p} = \frac{18 + 14 + \dots + 15}{40} = 13,8$$

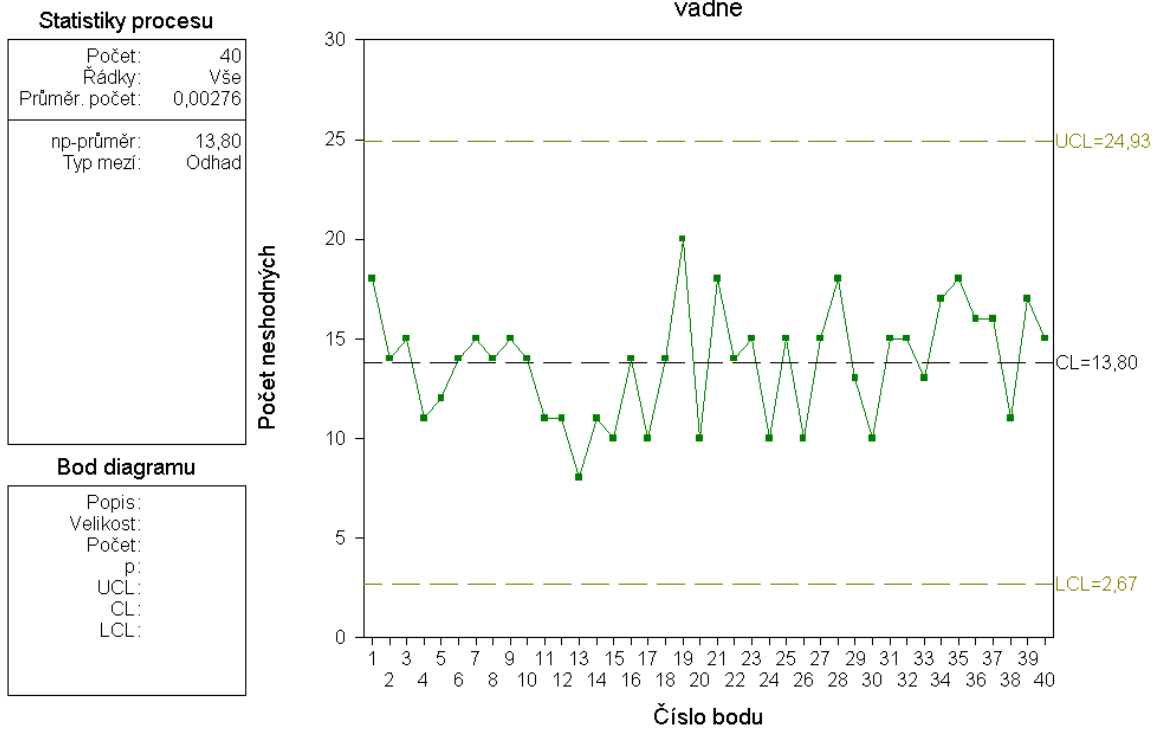
$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} = 13,8 + 3\sqrt{13,8(1 - 0,00276)} = 24,9$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} = 13,8 - 3\sqrt{13,8(1 - 0,00276)} = 2,6$$

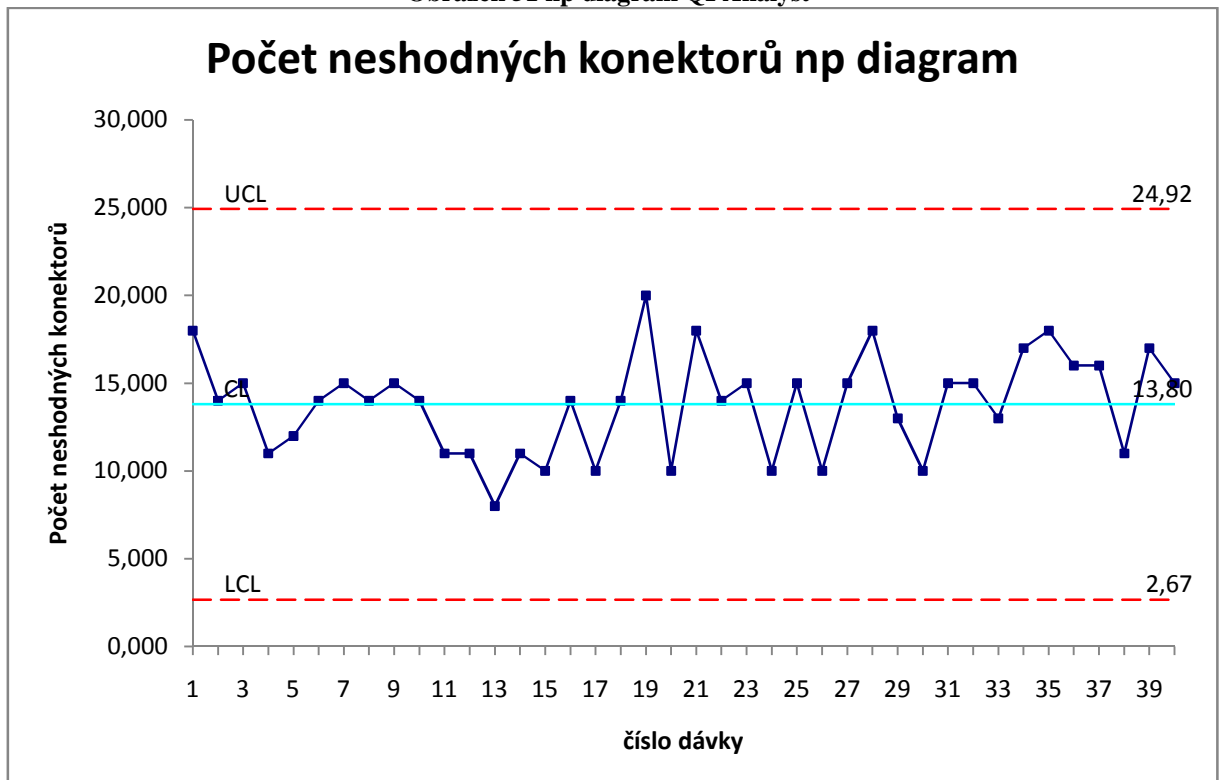
4.5.3 Hodnocení diagramu

Diagram je statisticky v pořádku a proces je tedy statisticky zvládnutý. V počátku procesu měl proces nižší střední hodnotu, pak se však ustálil. Linku obsluhuje vícero mechaniků, jev mohl být opět způsoben rozdílným nastavením linky v různých částech procesu. Tento proces je v pořádku a není nutné do něj zasahovat. Změny, které by vedly k možné nižší zmetkovosti, by si vyžádaly nové nastavení procesu a jiné nákladné zásahy.

4.5.4 Diagram



Obrázek 51 np diagram QI Analyst



Obrázek 52 np diagram MS Excel

5 Hodnocení kvality řešení regulačních diagramů získaných oběma způsoby

Práce s programem *QI Analyst* je velmi jednoduchá a po chvíli zvyku dokonce intuitivní. V praxi programy podobného typu značně urychlují práci a usnadňují kontrolu kvality. Velkým podílem tedy přispívají k optimalizaci nákladů a zlepšování výroby celkově. Provádět opakovaně složitý výpočet dle normy ručně je totiž náročné, následující konstrukce regulačních diagramů bez použití počítače samozřejmě také. Praxe ve výrobě se dnes bez počítačů prakticky neobejde, vhodný software je nezbytný. Většina dnešních počítačů má nainstalovaný nějaký kancelářský balíček, obsahující tabulkový procesor, například *MS Excel*, či jiné. I v něm je možné diagramy konstruovat, nabízí tak alternativu ke specializovaným programům. Protože je součástí zmíněných kancelářských balíčků, jedná se o řešení v podstatě zdarma. Z tohoto důvodu je také pro dané potřeby hojně využíván. Na rozdíl od specializovaných programů je však třeba nejprve vytvořit potřebné vzorce, popřípadě makra. Příprava souborů pro vhodné zpracování diagramu není snadná a technik, zpracovávající tyto soubory, se také musí zaplatit. Ani po vytvoření souboru, vložení dat a konstrukci diagramů není vyhráno, udělat chybu je velice snadné a neznalý uživatel může při manipulaci se souborem zanést do diagramu chybu. Navíc mají tabulkové procesory mnohá omezení, způsobující například nestabilitu při větším množství dat. Diagramy navíc není možné tvořit v reálném čase, ani automaticky po sběru dat z měřidla. Není-li těmto nedostatkům přisuzována důležitost, vyniká specializovaný program také v nepřeberných možnostech dalších nastavení diagramů, exportu, atp. Jednoduchá úprava mezí, rozdělení diagramu na segmenty popřípadě jiná úprava je třeba v *MS Excel* ručně obtížně vytvořit.

Jeho největší výhodou je však právě jednoduchost a pomoc případnému uživateli, jež nemusí být expertem přes software, ani v oboru řízení kvality. Pokud je totiž lokalizován do jeho jazyka, nemusí znát složitou tvorbu vzorců, normy, ani pokročilou práci s tabulkovým procesorem či kalkulačkou, program vše udělá za něj a pohodlně přednese výsledky. Pokud je program napojen na měřidlo, případně databázi, ze které data sám získává, kontroluje již uživatel pouze předem připravenou obrazovku s vybranými diagramy.

Diagramy vytvořené software *QI Analyst* samozřejmě odpovídají diagramům vytvořeným dle norem. Stejně tak i diagramy tvořené pomocí *MS Excel*.

Závěr

Regulační diagramy jsou hojně používanou pomůckou, uplatňovanou v oblasti řízení kvality. Tvorba diagramů je náročná a tuto práci dnes značně usnadňuje software. Ačkoliv je možné využít tabulkových procesorů, práce s nimi je neefektivní, zdoluhavá a pro nepříliš zkušeného uživatele i mnohdy náročnější, než tvorba diagramů ručně. Řešení poskytované specializovaným programem je rychlejší, jednodušší a nabízí více možností práce s výsledky. Otázkou samozřejmě je finanční náročnost koupě tohoto software, případný technik, který by byl nucen vytvořit vstupní soubory ve zvoleném tabulkovém procesoru by s touto případnou tvorbou strávil poměrně velké množství času. Pokud by byl zaplacen za svoji práci s ohledem na čas, je dost dobře možné, že by se specializovaný software vyplatil i v menších firmách, kde nejsou regulační diagramy a statistické řízení procesů využívány příliš často. Tam, kde jsou takřka denním chlebem, bývá takový program takřka samozřejmostí.

Diplomová práce měla za cíl přehledně popsat jednotlivé typy používaných regulačních diagramů a nastínit další oblasti týkající se této problematiky. Další částí bylo vytvořit několik vhodných příkladů, které by jednotlivé typy ilustrovaly. Data pro jednotlivé příklady byly získány z reálných výrobních podniků. K tvorbě diagramů bylo využito popisovaného software QI Analyst. Dalším využitým programem byl MS Excel, jež v této práci zastupoval ruční řešení. Program QI Analyst ve své nejnovější verzi bohužel selhal a neumožnil načtení dat získaných z různých výrobních podniků. Ani po kontaktování technické podpory a vyzkoušení jiného počítače se tento problém nepodařilo odstranit. Náhradním řešením tak bylo použití verze starší. Tato komplikace poukazuje na fakt, že případná investice do specializovaného SPC software může být dlouhodobá, neboť ani program starý více než 15 let není nepoužitelný a většině požadavků bez problémů vyhoví.

Největším přínosem práce je možnost srovnání kvality a náročnosti dosažení výsledků pomocí různých řešení a také vypracované ukázkové příklady. Dalším případným rozšířením práce by mohlo být zpracování dalších příkladů, nebo jejich vypracování v jiném programu, který nebyl použit. Například v nejnovější verzi QI Analyst, Statistica, Palstat CAQ či jiné. Software pro statistickou kontrolu procesů je velké množství, některé jsou i z České republiky. Případně by také bylo přínosné zpracování vhodných maker pro program MS Excel, které by případnému dalšímu uživateli zjednodušily tvorbu nových diagramů.

Použitá literatura

- [1] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2003, 153 s. ISBN 80-704-3247-0
- [2] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. Metrologie a hodnocení procesů. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 231 s. ISBN 978-80-7300-249-7
- [3] MICHÁLEK, Jiří. SPSS QI Analyst 3.5: SPSS QI Analyst DB 3.5, Uživatelská příručka k české verzi programu. Praha: SPSS CR, 1999
- [4] KOTAS, Pavel. Využití SW programu QI Analyst při řešení systému jakosti. Plzeň, 2005. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.
- [5] JANEČEK, Zdeněk. Management jakosti. 2. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2007, ii, 143 s. ISBN 978-80-7043-621-9
- [6] HORÁLEK V.: Shewhartovy regulační diagramy a jejich aplikace. [Sborník semináře "Použití statistické regulace v systému zabezpečování jakosti dle norem ISO řady 9000".], ČSJ Praha 1992, str. 7–49
- [7] Getting started with QI analyst. Wonderware [online]. 2003 [cit. 2013-3-15]. Dostupné z: <http://trainweb.wonderware.com/getstartqia/index.htm>
- [8] SKOPALÍK, Slavomír. Elektlabs: Modul SPC - regulační diagramy. [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.elektlabs.cz/demomasa/spc/doc/index.html>
- [9] MILDE, David. Regulační diagramy (RD): Control Charts. In: [online]. 2004 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/intranet/rd-1285145679.pdf>
- [10] JARKA, Jaroslav. Wonderware QI Analyst: Software pro sledování a řízení kvality výrobních procesů. Automa. 2001, č. 7. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33613
- [11] Wonderware QI Analyst. Automatizace. 2004, roč. 47, 7-8, s. 470.
- [12] Wonderware QI Analyst Software. Invensys Wonderware [online]. [cit. 2012-12-17]. [9] Dostupné z: <http://global.wonderware.com/EN/Pages/WonderwareQIAnalystSoftware.aspx>
- [13] PANTEK. QI Analyst: Software pro sledování a řízení kvality výrobních procesů (SPC) [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.pantek.cz/produkty/qi-analyst/>
- [14] ACREA. Wonderware - QI Analyst: Mějte řízení kvality výrobních procesů pod kontrolou [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.acrea.cz/wonderware-qianalyst.htm>
- [15] KUPKA, Karel. Statistické řízení jakosti. Pardubice: TriloByte, 1997, 191 s. ISBN 80-238-1818-X.
- [16] MICHÁLEK, Jiří. Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu. [online]. [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/request/request2006/sbornik/michalek.pdf>
- [17] TRÁVNIČKOVÁ, DANA. REGULAČNÍ DIAGRAM V KLINICKÉ LABORATOŘI. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://katedry.fmmi.vsb.cz/639/qmag/st08-cz.htm>
- [18] TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Montanex, Ostrava 2000. ISBN 80-7225-040-X. 362 s
- [19] BARTOŠ, Vladimír. Příručka k vnitřní kontrole kvality. Editor Luděk Šprongl. Praha: Česká společnost klinické biochemie, Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně, 2008?, 108 s. ISBN 978-80-254-1130-8.

- [20] KOCOUREK, Vladimír. Kvalita v laboratorní a kontrolní praxi: Část: Statistické nástroje pro řízení kvality, SPC. Praha, 2013. Dostupné z: http://web.vscht.cz/kocourev/files/QA_SPC-print.pdf
- [21] BLAŽKOVÁ, Lenka. Moderní řízení kvality: Grafické metody pro kontrolu procesů. IT SYSTEMS. 2011, roč. 2011, č. 5. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/moderni-rizeni-kvality.htm>
- [22] JMP. QUALITY AND RELIABILITY METHODS [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://www.jmp.com/support/help/Quality_and_Reliability_Methods.shtml#690125
- [23] TRILOBYTE. Rozšířené regulační diagramy. Dostupné z: http://www.trilobyte.cz/downloadfree/qcemanual/extended_charts.pdf
- [24] TRILOBYTE. Shewhartovy regulační diagramy. Dostupné z: <http://www.trilobyte.cz/downloadfree/qcemanual/shewhart.pdf>
- [25] ROČKOVÁ, Kateřina. Monitorování defektů ve tkaninách pomocí Hotellingova regulačního diagramu a analýzy hlavních komponent [online]. Liberec, 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.kht.tul.cz/items/A-DP/dp2010/Rockova.pdf>. Diplomová práce. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA TEXTILNÍ. Vedoucí práce prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
- [26] RICHTEROVÁ, Silvie. Využití statistických metod ve výrobním procesu společnosti Tegü VUKO, spol. s r.o. [online]. Zlín, 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14105/richterov%C3%A1_2010_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky. Vedoucí práce Ing. Martin Kovářik.
- [27] KUPKA, Lukáš. Výběr vhodného regulačního diagramu pro řízení jakosti výroby. Elektrotechnika a informatika 2004, ZČU v Plzni. s. 45-48. ISBN 80-7043-299-3.
- [28] KUBERNÁT, Václav a Lukáš KUPKA. Aplikace příkladů z normy ČSN ISO 8258 Shewhartovy regulační diagramy do programu QC.Expert 2.5. Electroscope [online]. 2008, roč. 2008, č. 2 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://ek702p10-ket.fel.zcu.cz/images/PDF/Rocnik2008/cislo2_2008/r0c1c4.pdf
- [28] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. Regulační diagramy s pamětí. In: Počítače v měření, diagnostice a řízení: sborník XXI. semináře ASŘ '98, Ostrava 22. květen 1998 = Computers on Measurements, Diagnostics and Control : proceedings of the XXIth seminary ASR '98 [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 1998 [cit. 2013-05-03]. ISBN 80-7078-559-4. Dostupné z: <http://akce.fs.vsb.cz/1998/asr98/Sbornik/nosk-ova/nosk-ova.htm>
- [29] BARBORA, Světlíková. STATISTICKÁ REGULACE VÝROBNÍHO PROCESU VE FIRMĚ [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/16183/Diplomov%C3%A1_20pr%C3%A1ce%20ve%20ve%C5%99ejn%C3%A1.pdf?sequence=1. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu.
- [30] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. Statistická regulace procesů při autokorelovaných datech. Automa [online]. 2008, roč. 2008, č. 10 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37926
- [31] PHAM, Hoang. Springer handbook of engineering statistics. New York: Springer Online, 2007. ISBN 978-184-6284-519.
- [32] CHEN, Y.K. a C.Y. CHEN. Cumulative Conformance Count Charts with Variable Sample Sizes. In: International Journal of Trade, Economics and Finance [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. 3, 3. Dostupné z: <http://www.ijtef.org/papers/197-CF02007.pdf>
- [33] XIE, M. Improving Process Control Techniques for Near Zero-Defects Processes. Research News, Faculty of Engineering, National University of Singapore [online]. 1996 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.eng.nus.edu.sg/EResnews/9602/feb96p11b.html>

- [34] CHENG, Chuen-Sheng a Pei-Wen CHEN. The Design of Cumulative Count of Conforming Chart with Supplementary Runs Rules. Nusa Dua, Bali, 2008. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.knu.edu.tw/lecture/%E6%AD%B7%E5%B9%B4%E6%95%99%E5%AD%B8%E8%B3%87%E6%96%99/2008%20APIEMS\(BALI\)/PAPER/27-225.pdf](http://www.knu.edu.tw/lecture/%E6%AD%B7%E5%B9%B4%E6%95%99%E5%AD%B8%E8%B3%87%E6%96%99/2008%20APIEMS(BALI)/PAPER/27-225.pdf)
- [35] TOŠENOVSKÝ, Josef. Hodnocení způsobilosti technologického procesu. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://katedry.fmmi.vsb.cz/639/qmag/st02-cz.htm>
- [36] ŠLAICHOVÁ, Eva. Hodnocení způsobilosti procesu. 2012. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://multiedu.tul.cz/~eva.slaichova/multiedu/5_prednaska_Hodnoceni_zpusobilosti_procesu.pdf
- [37] ČSN ISO 7870-1. Regulační diagramy - Část 1: Všeobecné pokyny. 2010.
- [38] ČSN ISO 7966. Přejímací regulační diagramy. 1995.
- [39] ČSN 01 0266. Zvláštní typy statistické regulace. Metoda kumulovaných součtů. 1985.
- [40] ČSN ISO 11462-1. Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) - Část 1: Prvky SPC. 2002.
- [41] ČSN ISO 7873. Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi. 1995.
- [42] ČSN ISO 8258. Shewhartovy regulační diagramy. 1994.
- [43] TŮMOVÁ, Olga. Přednášky z předmětu KET/RJTD
- [44] MICHÁLEK, Jiří. Nový pohled na Shewhartovy regulační diagramy. Automa [online]. 2001, 7-8 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070110.pdf>
- [45] ŠKOP, Michal. Od regulačních diagramů k Six Sigma. Automa [online]. 2001, 7-8 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/SixSigma.pdf>
- [46] ZMLÁTILÍK, Jiří. Konstrukce a analýza regulačních diagramů typu c pro regulaci srovnáním. Automatizace. 2008, roč. 51, č. 1. [cit. 2013-05-03].
- [47] NOSKIEVIČOVÁ, Darja a Kateřina BRODECKÁ. Statistická regulace procesu pro Lean Six Sigma. Automa [online]. 2011, č. 6 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43758.pdf>
- [48] ALEŠ, Zdeněk a Václav LEGÁT. Analýza způsobilosti procesů a výrobních zařízení. 2010. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://tf.czu.cz/~legat/>
- [49] Statistická regulace procesu. 2007. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://podfuck.net/dokumenty/stazeni_souboru/1296/RASP_statisticka_regulace_procesu.pdf

Seznam obrázků, tabulek

OBRÁZEK 1 REGULAČNÍ DIAGRAM A ZPĚTNÁ VAZBA	4
OBRÁZEK 2 TYPY REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ	7
OBRÁZEK 3 VOLBA TYPU REGULAČNÍHO DIAGRAMU	7
OBRÁZEK 4 VOLBA TYPU REGULAČNÍHO DIAGRAMU	8
OBRÁZEK 5 OBLASTI PŘEJÍMACÍHO REGULAČNÍHO DIAGRAMU	11
OBRÁZEK 6 CUSUM DIAGRAM (PŘEVZATO Z [47])	12
OBRÁZEK 7 EWMA DIAGRAM (PŘEVZATO Z [47])	14
OBRÁZEK 8 REGULAČNÍ DIAGRAM CCC (PŘEVZATO Z [47])	15
OBRÁZEK 9 POSTUP TVORBY DIAGRAMU ARIMA	16
OBRÁZEK 10 HOTELLINGUV DIAGRAM (PŘEVZATO Z [23])	16
OBRÁZEK 11 PROSTŘEDÍ QI ANALYST (PŘEVZATO Z [12])	21
OBRÁZEK 12 JEDNA Z MOŽNOSTÍ DISTRIBUCE SW (PŘEVZATO Z [7])	22
OBRÁZEK 13 SCHÉMA FUNGOVÁNÍ QI ANALYST (PŘEVZATO Z [7])	24
OBRÁZEK 14 DIAGRAM PRŮBĚHU QI ANALYST	28
OBRÁZEK 15 DIAGRAM PRŮBĚHU MS EXCEL	28
OBRÁZEK 16 HISTOGRAM QI ANALYST	29
OBRÁZEK 17 HISTOGRAM MS EXCEL	29
OBRÁZEK 18 INDIVIDUÁLNÍ HODNOTY A KLOUZAVÉ ROZPĚTÍ QI ANALYST	30
OBRÁZEK 19 INDIVIDUÁLNÍ HODNOTY A KLOUZAVÉ ROZPĚTÍ MS EXCEL	30
OBRÁZEK 20 KLOUZAVÝ PRŮMĚR QI ANALYST	31
OBRÁZEK 21 KLOUZAVÝ PRŮMĚR MS EXCEL	31
OBRÁZEK 22 EWMA QI ANALYST	32
OBRÁZEK 23 EWMA MS EXCEL	32
OBRÁZEK 24 INDIVIDUÁLNÍ HODNOTY A KLOUZAVÉ ROZPĚTÍ BEZ VYNECHÁNÍ ODLEHLÝCH HODNOT	33
OBRÁZEK 25 DIAGRAM PRŮBĚHU QI ANALYST	35
OBRÁZEK 26 DIAGRAM PRŮBĚHU MS EXCEL	35
OBRÁZEK 27 HISTOGRAM QI ANALYST	36
OBRÁZEK 28 HISTOGRAM MS EXCEL	36
OBRÁZEK 29 INDIVIDUÁLNÍ HODNOTY A ROZPĚTÍ QI ANALYST	37
OBRÁZEK 30 INDIVIDUÁLNÍ HODNOTY A KLOUZAVÉ ROZPĚTÍ MS EXCEL	37
OBRÁZEK 31 KLOUZAVÝ PRŮMĚR QI ANALYST	38
OBRÁZEK 32 KLOUZAVÝ PRŮMĚR MS EXCEL	38
OBRÁZEK 33 EWMA QI ANALYST	39
OBRÁZEK 34 EWMA MS EXCEL	39
OBRÁZEK 35 JEDNOTLIVÉ HODNOTY QI ANALYST	42
OBRÁZEK 36 JEDNOTLIVÉ HODNOTY MS EXCEL	42
OBRÁZEK 37 HISTOGRAM QI ANALYST	43
OBRÁZEK 38 HISTOGRAM MS EXCEL	43
OBRÁZEK 39 X PRŮMĚR A ROZPĚTÍ QI ANALYST	44
OBRÁZEK 40 X PRŮMĚR ROZPĚTÍ MS EXCEL	44
OBRÁZEK 41 X PRŮMĚR A ROZPĚTÍ S UŽITÍM PÁSEM, QI ANALYST	45
OBRÁZEK 42 EWMA QI ANALYST	46
OBRÁZEK 43 EWMA MS EXCEL	46
OBRÁZEK 44 CUSUM QI ANALYST	47
OBRÁZEK 45 CUSUM MS EXCEL	47
OBRÁZEK 46 X PRŮMĚR A SMĚRODATNÁ ODCHYLKA QI ANALYST	48
OBRÁZEK 47 X PRŮMĚR A SMĚRODATNÁ ODCHYLKA MS EXCEL	48
OBRÁZEK 48 PARETŮV DIAGRAM RŮZNÝCH TYPŮ VAD	49
OBRÁZEK 49 P DIAGRAM QI ANALYST	51
OBRÁZEK 50 P DIAGRAM MS EXCEL	51
OBRÁZEK 51 NP DIAGRAM QI ANALYST	54
OBRÁZEK 52 NP DIAGRAM MS EXCEL	54
TABULKA 1 REGULAČNÍ DIAGRAMY MĚŘENÍM	9
TABULKA 2 REGULAČNÍ DIAGRAMY SROVNÁVÁNÍM	10
TABULKA 3 HODNOTY KOAGULÁTU	26
TABULKA 4 HODNOTY SUŠINY	34
TABULKA 5 HODNOTY VIZKOZITY	40
TABULKA 6 HODNOTY P DIAGRAM	49
TABULKA 7 HODNOTY NP DIAGRAM	52

Přílohy

PŘÍLOHY CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY **CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.**
PŘÍLOHA 1 SOUČinitele pro regulační meze Shewhartových diagramů **CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.**

Elektronické přílohy

Elektronickou přílohou jsou zdrojové soubory ve formátu MS Excel a QI Analyst. Jedná se o 5 souborů, jeden ke každému příkladu. Každý soubor je uložen jak ve formátu *.xls tak i novějším *.xlsx, kvůli komptabilitě. QI Analyst je zastoupen formátem *.spc, podporujícím verzi 3.5.

Příklad 1, chem výroba, koagulát.xlsx

Příklad1.spc

Příklad 2, chem výroba, susina.xlsx

příklad2.spc

Příklad 3, chem výroba, viskozita.xlsx

Příklad3.spc

Příklad 4, elektrovýroba.xlsx

Příklad4.spc

Příklad 5, elektrovýroba.xlsx

Příklad4.spc

Příloha 1 Součinitele pro regulační meze Shewhartových diagramů

Rozsah podskupiny n	Součinitele pro regulační meze											Součinitele pro centrální průměr			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,797 9	1,253 3	1,128	0,886 5
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886 2	1,128 4	1,693	0,590 7
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921 3	1,085 4	2,059	0,485 7
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940 0	1,063 8	2,326	0,429 9
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,951 5	1,051 0	2,534	0,394 6
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959 4	1,042 3	2,704	0,369 8
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965 0	1,036 3	2,847	0,351 2
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969 3	1,031 7	2,970	0,336 7
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,972 7	1,028 1	3,078	0,324 9
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	1,025 2	3,173	0,315 2
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,977 6	1,022 9	3,258	0,306 9
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	1,021 0	3,336	0,299 8
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	1,019 4	3,407	0,293 5
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982 3	1,018 0	3,472	0,288 0
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	1,016 8	3,532	0,283 1
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	1,015 7	3,588	0,278 7
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985 4	1,014 8	3,640	0,274 7
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986 2	1,014 0	3,689	0,271 1
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	1,013 3	3,735	0,267 7
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,987 6	1,012 6	3,778	0,264 7
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988 2	1,011 9	3,819	0,261 8
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,988 7	1,011 4	3,858	0,259 2
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989 2	1,010 9	3,895	0,256 7
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,989 6	1,010 5	3,931	0,254 4

Součinitele pro regulační meze Shewhartových diagramů (převzato z [42])