

## Rozšířené regulační diagramy

Menu: QCExpert Rozšířené

Následující regulační diagramy jsou významným rozšířením možností nabízených Shewhartovými diagramy. Jsou doporučovány jako jejich alternativa nebo doplnění. Proti klasickým diagramům mají některé výhody a nevýhody. Nevýhodou je například obtížnější konstrukce a interpretace, výhodou především daleko (až řádově) větší citlivost na posunutí střední hodnoty (CUSUM), použitelnost i v případě dat s dlouhodobým kolísáním, trendem, nebo nekonstantním rozptylem (EWMA-dynamická modifikace). Pro současné sledování více parametrů v jediném diagramu je určen Hotellingův diagram.

### CUSUM

Menu: QCExpert Rozšířené CUSUM

Regulační diagram CUSUM v efektivní modifikaci podle Lucase (není nutné použití posuvné V-masky) se doporučuje především tam, kde je třeba rychle odhalit a detekovat posunutí střední úrovně procesu oproti předepsané centrální hodnotě. Tento diagram je založen na metodě kumulativních součtů odchylek od cílové střední hodnoty (anglicky CUMulative SUMs). Převažují-li významné odchylky na jednu stranu od centrální linie nad odchylkami na druhou stranu, indikuje diagram tuto skutečnost velmi rychle. O citlivosti diagramu rozhoduje parametr  $k$ , který může zadat uživatel v dialogovém panelu *Regulační diagram CUSUM*, viz Obrázek 1. Pokud je splněn předpoklad normality a nezávislosti dat, je tato metoda velmi účinná, ve srovnání se Shewhartovým diagramem  $\bar{X}$ -průměr nebo  $\bar{X}$ -individual stačí k odhalení odchylky o  $1 \sigma$  od centrální linie až 10x méně dat. Za porušení pravidel se považuje překročení mezí, které se zde nazývají rozhodné meze. Pokud ihned po překročení rozhodné meze provádíme zásah, můžeme použít techniku FIR. Tato technika umožní velmi rychlé ověření, zda byl zásah úspěšný tím, že posune následující bod diagramu těsně pod rozhodnou mez na té straně, kde došlo k překročení. Pokud pak po zásahu dojde k opětovnému překročení meze, zásah nevedl k nápravě.

### Data a parametry

Parametry regulačního diagramu CUSUM se zadávají v dialogovém panelu (viz Obrázek 1). V sekci *Násobek sigma* se zadá koeficient  $k$ , který udává jak velkou odchylku od předepsané základní linie má diagram indikovat. Obvyklé hodnoty jsou 1 nebo 0,5. Příliš nízký koeficient má za následek zvýšenou možnost výskytu falešných poplachů, vysoký koeficient snižuje efektivnost diagramu. Do pole *Mez* se zadává koeficient pro přísnost rozhodných mezí. Pro normální režim je doporučena hodnota 5, pro zpřísněný režim je doporučena hodnota 4. Tlačítkem *Vyber sloupce* se definují sloupce, z nichž se má diagram sestavit. Je-li vybrán více než jeden sloupec, jsou řádky považovány za použijí se pro konstrukci řádkové průměry. V sekci *Hodnota znaku* jsou tři možnosti zadání. Po zatržení políčka *Zadej ručně* je možno zadat předepsanou hodnotu z klávesnice. Nejsou-li zatržená políčka *Zadej ručně*, je možno tyto hodnoty vypočítat na základě dat pomocí tlačítka *Doporučené hodnoty*. Políčko FIR (Fast Initial Response - rychlá odezva) zaškrtneme, když chceme použít tuto techniku (viz předchozí odstavec).

**CUSUM** [X]

Název úlohy : Provoz A SPC

Násobek sigma pro  
 K = 0,4  
 Mez 5

Hodnota znaku  
 Základní linie  Zadat ručně  
 165  
 Směr. odchylka  Zadat ručně  
 1,6

Vyber sloupce

Časová osa  FIR (Rychlá odezva)

Časová osa

Doporučené  Načti parametry  Ulož parametry

Náповěda  Použít  Zpět  OK

Obrázek 1 Panel pro zadání parametrů diagramu CUSUM

## Protokol

Počet dat	Počet řádků, z nichž je diagram konstruován.
Cílová hodnota	Předepsaná centrální - cílová hodnota, případně střední hodnota vypočítaná z dat.
Cílová směr.odchylka	Předepsaná směrodatná odchylka, případně směrodatná odchylka vypočítaná z dat.
Detekovaný posun	Nastavená hodnota minimálního posunutí od cílové hodnoty, které se má detekovat.
Rychlá odezva (FIR)	Slovní informace (ano/ne), zda byla použita technika zrychlené odezvy.
Rozhodné meze +/-	Zadaná šířka rozhodných mezí
Počet překročení (+)	Počet indikovaných překročení horní rozhodné meze
Počet překročení (-)	Počet indikovaných překročení spodní rozhodné meze

## Graf

Diagram CUSUM

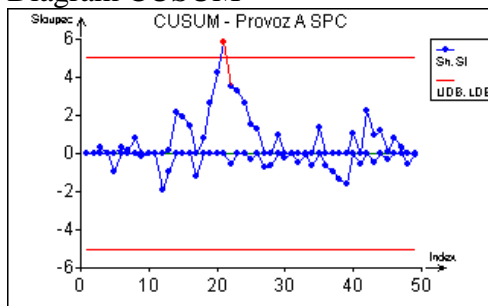


Diagram kumulativních součtů indikuje systematickou odchylku od určené centrální linie. Za porušení pravidel se považuje překročení nastavených rozhodných mezí.

## EWMA

Menu:	QCExpert	Rozšířené	EWMA
-------	----------	-----------	------

Diagram pro exponenciálně vážené klouzavé průměry EWMA (anglicky Exponentially Weighted Moving Average) se konstruuje pro hodnoty  $X_i = W \cdot x_i + (1 - W) \cdot X_{i-1}$ , kde  $W$  ( $0 < W < 1$ ) je váha určující citlivost na rychlou změnu střední hodnoty. Pro  $W = 1$  odpovídá diagramu X-průměr nebo X-individual. Čím je  $W$  menší, tím je průběh diagramu plynulejší a méně citlivý na rychlou změnu. Navíc tento modul umožňuje konstrukci modifikovaného dynamického diagramu EWMA, který je vhodný pro případ, kdy data ve shodě s povahou sledovaného procesu dlouhodobě kolísají nebo vykazují stálý trend a ostatní diagramy jsou nepoužitelné. Tato situace je indikována například významnými hodnotami autokorelačních koeficientů nebo trendu v základní statistice. Dynamický diagram respektuje dlouhodobé změny, trend a dlouhodobé změny rozptylu a identifikuje pouze krátkodobé, náhlé odchylky. Parametrem dynamického diagramu je Váha A v panelu, viz Obrázek 2. Diagram reziduí má ekvivalentní použití jako dynamický diagram.

## Data a parametry

Data jsou v jednom nebo více sloupcích. Je-li zadáno více sloupců, považují se jednotlivé řádky za podskupiny a diagram je konstruován z průměrů podskupin. V panelu EWMA Diagram, Obrázek 2, se zadává základní linie a směrodatná odchylka znaku. Není-li některá z těchto hodnot známa, není třeba ji zadávat, program ji vypočte z dat. Je-li zaškrtnuto políčko *Zadej ručně*, program provede výpočet se zadanou hodnotou. Není-li toto políčko zaškrtnuto, program zadanou hodnotu ignoruje a vypočítá ji z dat. Dále je třeba zaškrtnout alespoň jeden druh diagramu, zadat váhy  $W$  a  $A$ . Tlačítkem *Doporučené hodnoty* se v panelu nastaví obvyklé hodnoty. Není-li zaškrtnuto políčko *Zadej ručně*, doplní se i základní linie a směrodatné odchylky hodnotou vypočítanou z dat. Tlačítko *Ulož parametry* umožňuje uložení nastavených parametrů do souboru pro pozdější použití. Tlačítko *Načti parametry* umožní načtení dříve uložených parametrů ze souboru. Tlačítko OK spustí výpočet. Výsledkem je protokol a grafy regulačních diagramů.

Obrázek 2 Panel pro zadání parametrů diagramu EWMA

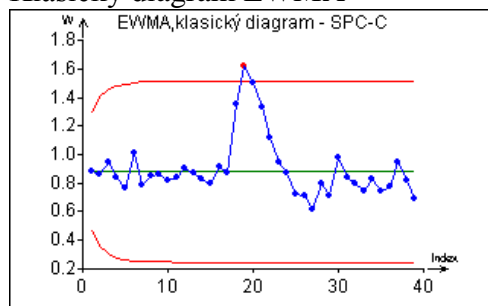
## Protokol

Počet dat	Počet řádků vstupních dat
Základní linie	Základní linie vypočítaná nebo zadaná v panelu, viz Obrázek 2.
Směrodatná	Směrodatná odchylka vypočítaná nebo zadaná v panelu, viz Obrázek 2.

odchylka	
Váha W pro EWMA	Váha pro konstrukci vážených průměrů zadaná v panelu.
Váha Alfa pro dynamické meze	Váha pro konstrukci dynamického diagramu EWMA.
Počet dat mimo klasické meze	Počet dat, které přesahují regulační meze diagramu EWMA.
Počet dat mimo dynamické meze	Počet dat, které přesahují regulační meze dynamického diagramu EWMA.
Počet reziduí mimo meze $\pm 3\sigma$	Počet dat, které přesahují regulační meze diagramu reziduí dynamického diagramu EWMA.
Střední kvadratická odchylka	Průměrný čtverec odchylky od základní linie.

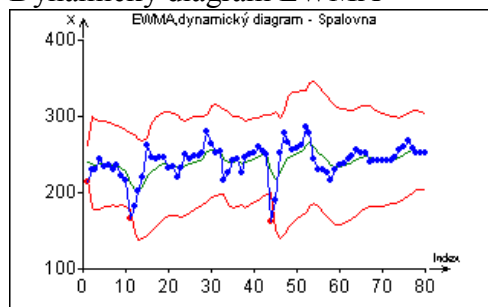
## Grafy

### Klasický diagram EWMA



Základní diagram s nekonstantními regulačními mezemi. Za porušení pravidel se považuje překročení mezí.

### Dynamický diagram EWMA



Dynamický regulační diagram EWMA respektuje pomalé změny střední hodnoty. Za porušení pravidel se považuje překročení regulačních mezí.

### EWMA, rezidua

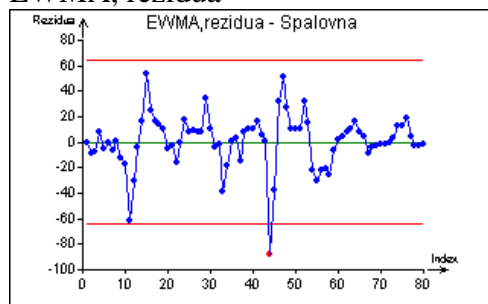


Diagram reziduí EWMA má podobný význam a vlastnosti jako dynamický diagram. Za porušení pravidel se považuje překročení regulačních mezí.

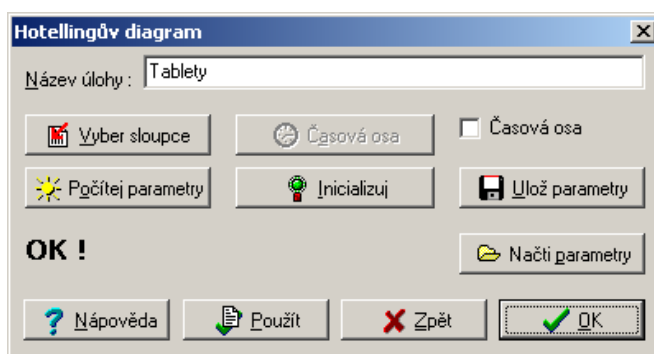
## Hotellingův diagram $T^2$

Menu: QCExpert | Rozšířené | Hotellingův diagram

Hotellingův regulační diagram se používá pro procesy, při nichž je třeba sledovat více znaků jakosti (měřených proměnných) současně. Tento modul počítá s daty bez opakování, je tedy vícerozměrnou obdobou diagramu X-individual. Pro taková data lze použít také současně konstrukce klasických Shewhartových diagramů X-individual, avšak jen za předpokladu, že měřené proměnné jsou nekorelované, tedy když jsou jejich párové korelační koeficienty statisticky nevýznamné, což lze ověřit modulem Korelace. Hotellingův diagram je pak prakticky ekvivalentní náhrada jednotlivých Shewhartových diagramů. Výhodou Hotellingova diagramu je pak ve zobrazení všech sledovaných proměnných v jediném grafu. Prokáže-li se však významná korelace mezi proměnnými, je použití izolovaných Shewhartových i jiných diagramů nesprávné a mělo by být použito diagramu Hotellingova. V Hotellingově diagramu se vynáší normovaná vzdálenost od centrální hodnoty vzhledem ke korelační matici dat (tzv. Mahalanobisova vzdálenost). Tato vzdálenost je vždy kladná (nanejvýš nulová) a respektuje vliv vzájemné závislosti jednotlivých znaků jakosti. Hotellingův diagram nemá spodní regulační mez.

### Data a parametry

Data pro konstrukci regulačního diagramu jsou ve sloupcích, v každém sloupci je jedna proměnná. Řádky s chybějícími hodnotami některé proměnné budou při výpočtu ignorovány.



Obrázek 3 Dialogový panel pro použití Hotellingova diagramu

### Nastavení parametrů regulačního diagramu

Parametry regulačního diagramu se získají z úseku procesu, o němž víme, nebo na základě zkušenosti předpokládáme, že je v požadovaném ustáleném stavu. Tlačítkem *Vyber sloupce* se vyberou data z tohoto úseku procesu. Tlačítkem *Reset* se zruší případné parametry předchozího diagramu a tlačítkem *Počítej* se provede výpočet a nastavení středních hodnot a kovarianční matice. Po výpočtu je možno parametry definující analyzovaný proces uložit do souboru pro pozdější využití pomocí tlačítka *Ulož parametry*. Tlačítkem *OK* se spustí výpočet. Základní linie je dána vypočítaným vektorem středních hodnot vypočítaným z dat pod statistickou kontrolou. Variabilita je dána celou kovarianční matici procesu, vypočítanou z dat pod statistickou kontrolou. Vektor středních hodnot je součástí protokolu, kovarianční matici lze získat pomocí menu - *QCExpert* - *Prohlížeč* - *Hotellingův diagram*.

### Použití regulačního diagramu

Jsou-li parametry diagramu k dispozici z předchozích dat v souboru, provede se pouze načtení těchto parametrů tlačítkem *Načti parametry* a tlačítkem *OK* se provede výpočet.

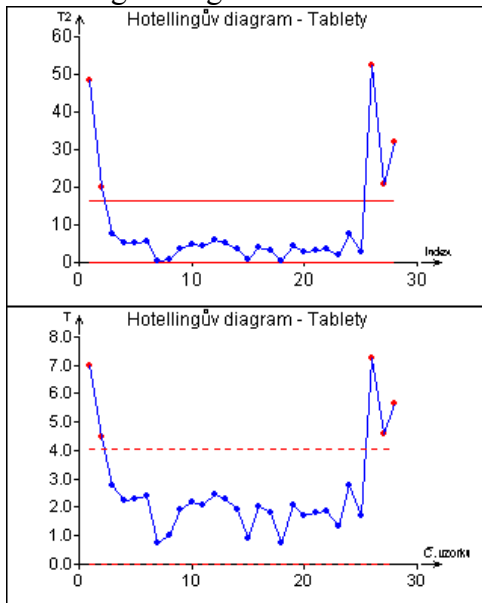
### Protokol

Název sloupce	Názvy sloupců vstupních dat.
Cílové hodnoty	Cílové střední hodnoty vypočítané z referenčních dat nebo načtené ze

Skutečné hodnoty	souboru parametrů. Střední hodnoty jednotlivých sloupců dat.
<b>Parametry diagramu</b> LCL, UCL	Spodní a horní regulační mez, spodní mez je vždy nula.
<b>Překročení UCL</b> Čas Číslo Hodnota	Tabulka dat, která překročila regulační mez. Čas dat, která překročila regulační mez. Čísla dat, která překročila regulační mez. Hodnota statistik $T^2$ , které překročily regulační mez.

## Grafy

### Hotellingův diagram



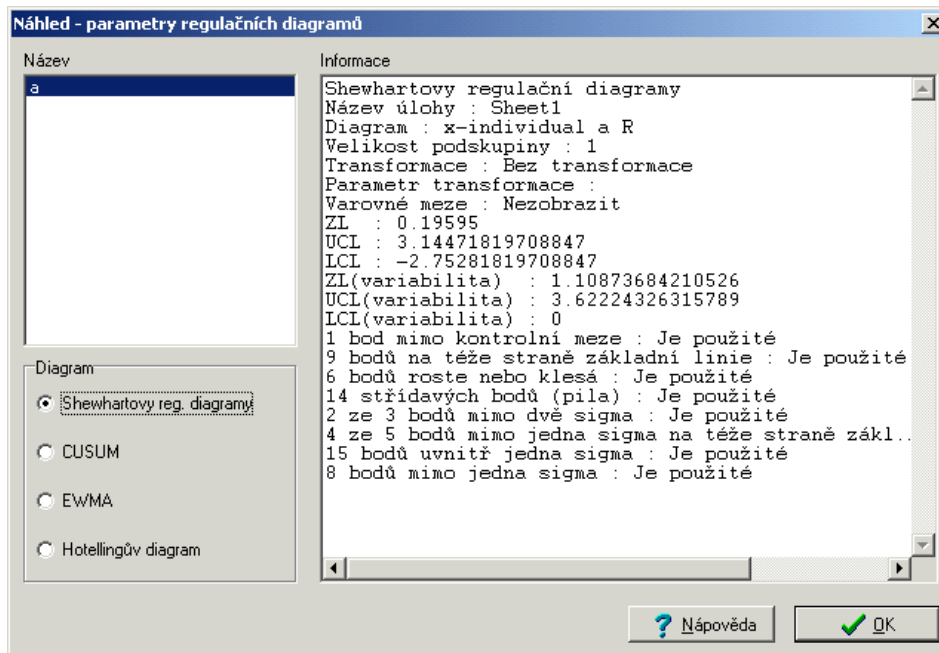
Graf představuje vzdálenosti všech veličin od základní linie vyjádřené pomocí normované hodnoty Hotellingovy statistiky  $T^2$ . Spodní mez Hotellingova diagramu je vždy nula, dosažení spodní meze se nepovažuje za chybu. Horní mez je dána kvantilem chi-kvadrát rozdělení a závisí na počtu proměnných. Kontroluje se překročení této meze.

Tento graf je pouze alternativním zobrazením prvního grafu. Liší se tím, že místo  $T^2$  se zobrazují statistiky  $T$ , tedy odmocnina z  $T^2$ . Výhodou této modifikace je lepší viditelnost struktury dat pod regulační mezí v případě výrazných překročení regulační meze. Je-li některá hodnota  $T$  mnohem větší než regulační mez, je druhá mocnina  $T^2$  tak vysoká, že ostatní data jsou obtížně rozlišitelná. Částečně je tato skutečnost patrná i z uvedené ilustrace.

## Náhled parametrů

Menu:	QCExpert	Rozšířené	Náhled parametrů
-------	----------	-----------	------------------

Náhled parametrů zobrazí obsah uložených nastavení regulačních diagramů Shewhartova, Cusum, Ewma a Hotellingova. V okénku *Název* se objeví všechny regulační diagramy uložené v aktivním pracovním adresáři. V pravé části okna jsou uvedeny uložené hodnoty pro tento diagram. Pod jedním názvem diagramu lze uložit parametry každého diagramu ze čtyř typů regulačního diagramu. Text v pravém okně lze editovat a měnit, případně kopírovat pouze v tomto dialogovém okně, obsah uložených parametrů se tím neovlivní. Okno náhledu parametrů je čistě informativní a neprovádí žádný výpočet ani jinou akci.



Obrázek 4 Panel s parametry regulačních diagramů

U jednotlivých druhů diagramu se zobrazí následující informace:

**Shewhartovy regulační diagramy** – druh diagramu (průměr, individual, np, p, c, u), velikost podskupiny, transformace pro asymetrické rozdělení její parametr, je-li použita, základní linie (ZL) a regulační meze (UCL, LCL) pro měřenou hodnotu a pro variabilitu.

**Regulační diagram CUSUM** – hodnota parametru  $k$ , koeficient pro rozhodnou mez, základní linie, použitá hodnota  $\sigma$  a informace o režimu FIR.

**Regulační diagram EWMA** – hodnota parametru  $w$ , koeficient  $a$ , základní linie, použitá hodnota  $\sigma$ .

**Regulační diagram Hotelling** – Dimenze regulačního diagramu (počet sloupců)  $M_0$ , vektor střední hodnoty (počet prvků vektoru odpovídá  $M_0$ ), kovarianční matice.

## Dynamické diagramy

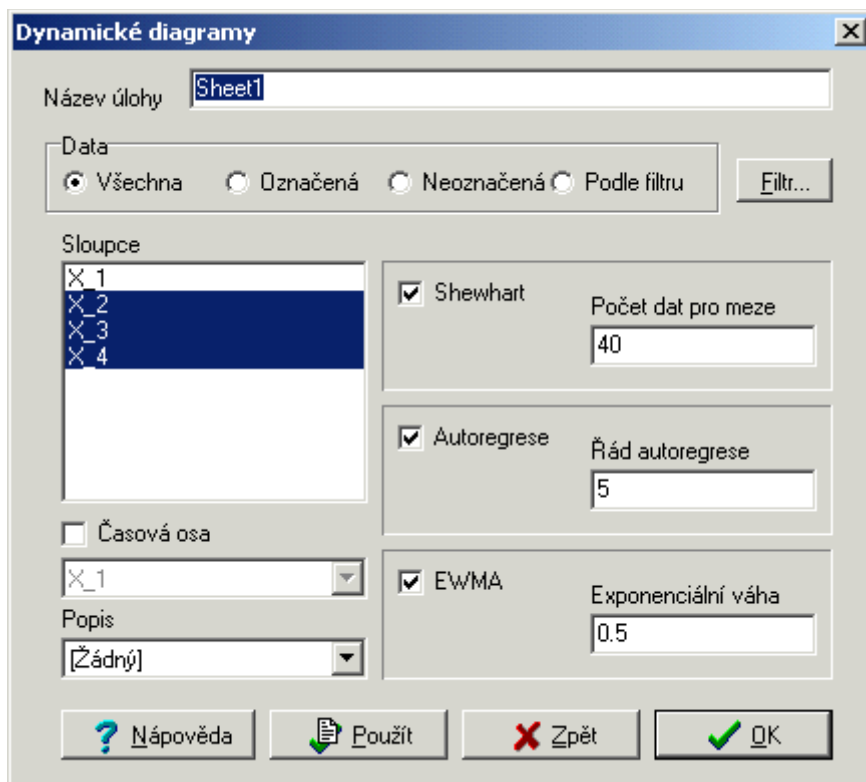
Menu:	QCExpert	Dynamické diagramy
-------	----------	--------------------

Tento modul slouží k rychlé diagnostice jednorozměrných procesů současně třemi regulačními diagramy. Umožní uživateli porovnat výsledky těchto tří diagramů pro dané procesy a zvolit vhodný diagram pro identifikaci problémů v procesech. Modul nabízí konstrukci Shewhartova diagramu pro individuální hodnoty (X-individual), autoregresního regulačního diagramu a dynamického diagramu EWMA. Tyto diagramy lze požívat nezávisle na diagramech popsanych v předchozích odstavcích. Jsou méně pracné, umožňují diagnostiku více různých procesů (sloupců) současně, nicméně plně nenahrazují podrobnější analýzu pomocí výše zmíněných speciálních modulů.

## Data a parametry

Vstupními daty jsou naměřené hodnoty sledovaných znaků jakosti v jednotlivých sloupcích. Počet hodnot v jednotlivých sloupcích může být různý, sloupce se analyzují samostatně. V poli Sloupce se vyberou sloupce s daty a zvolí se typ diagramu. Diagramy lze volit nezávisle, vybrané typy diagramu se sestrojí vždy pro všechny vybrané sloupce.

U jednotlivých typů regulačních diagramů se zadávají parametry, které platí pro všechny analyzované sloupce:



Obrázek 5 Panel s parametry regulačních diagramů

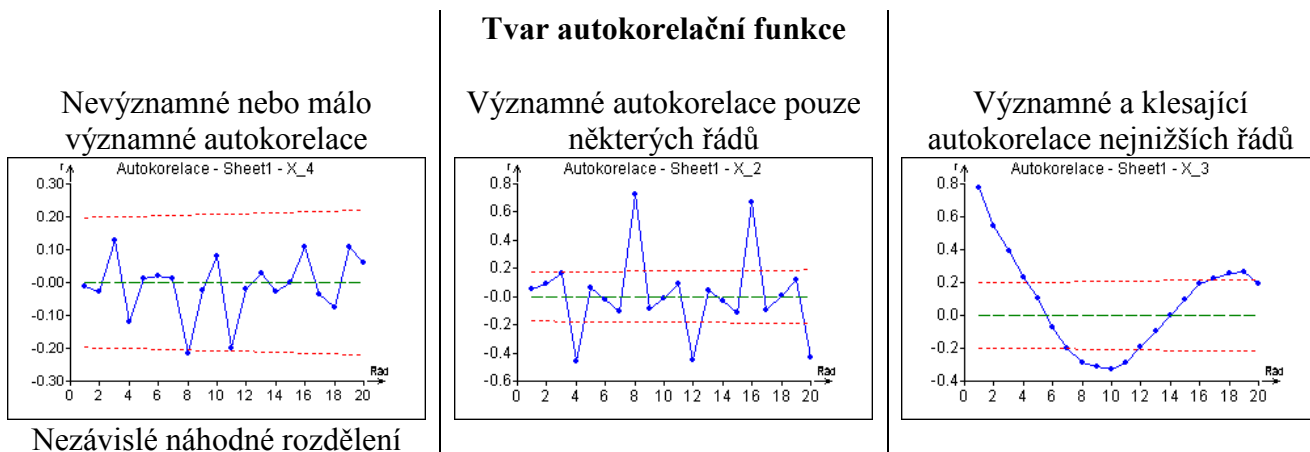
*Shewhart – Počet dat pro meze:* počet řádků od začátku sloupce (od prvního řádku), z nichž se vypočítají regulační meze a centrální linie. Další řádky jsou pak do zakreslované do diagramu již nemají na tyto meze vliv.

*Autoregrese – Řád autoregrese:* Řád  $R$  autoregresního modelu  $AR(R)$ . Autoregresní koeficienty se počítají ze všech dat ve sloupci. Počet dat musí být nejméně  $R+2$ . Doporučená hodnota  $R$  je 2 až 10.

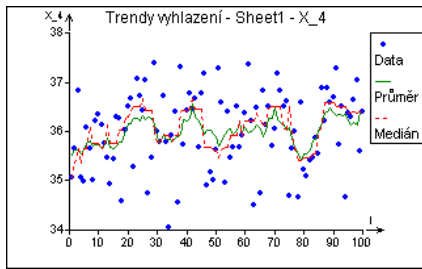
*EWMA – Exponenciální váha:* Hodnota váhy  $W$ . Doporučené hodnoty  $W$  jsou zhruba od 0.05 do 0.3.

Po zaškrtnutí políčka *Časová osa* lze vybrat sloupec s časem měření, který je pak společný pro daný řádek a všechny diagramy. Sloupec *Popis* umožní identifikaci bodu v interaktivním grafu.

Následující tabulka ilustruje diagnostiku povahy procesu modulem *Základní statistika*, doporučený typ příslušného regulačního diagramu. V každém sloupci je vždy příklad jednoho typického procesu, jeho autokorelační funkce, vyhlazený průběh a příslušný diagram.

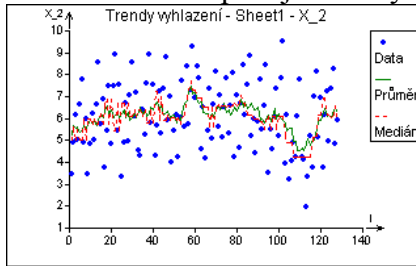




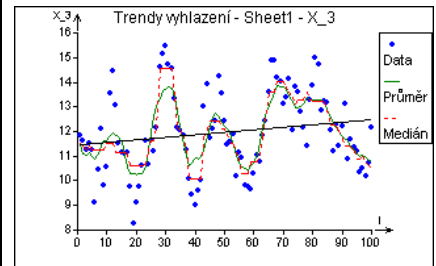


## Ilustrace průběhu měření

### Pravidelně se opakující vzory

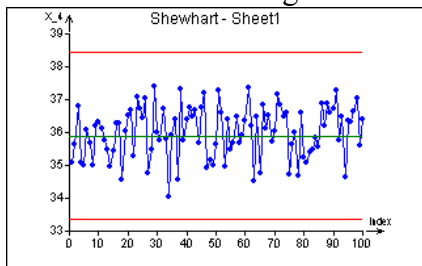


## Nepravidelné pomalé kolísání, lineární trend

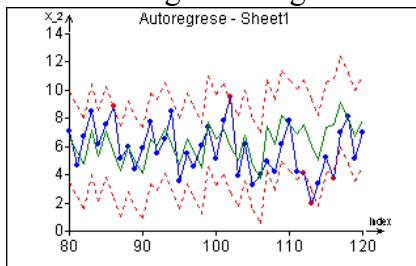


## Doporučené diagramy

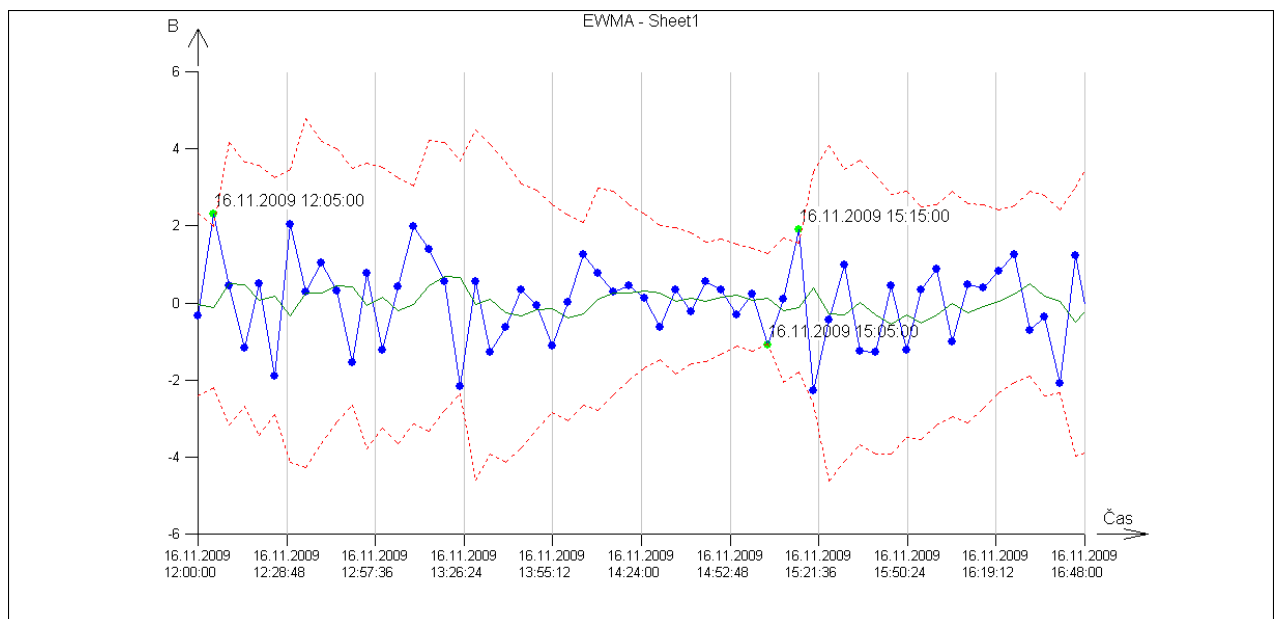
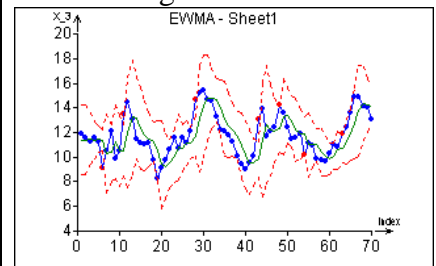
### Shewhartův diagram



### Autoregresní diagram



### Diagram EWMA



Obrázek 6 Identifikace označených bodů v interaktivním grafu