

Statistické řízení procesů

Modelling Smart Grids 2018
Modelling, Optimization and Detection Prague
September 20th, - 22 nd, 2018

Eliška Cézová

Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Úvod

Úlohou SPC je:

- Identifikovat (detekovat) přítomnost vymezitelné příčiny variability
- Odstranit vymežitelnou příčinu
- Zabezpečit ji proti následnému opakování

To se provádí formou

- regulačního diagramu (vhodného typu)
- lokálních opatření (obsluha, operátor v rozsahu jejich pravomocí)
- opatření v systému (spadají do zodpovědnosti managementu).

Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

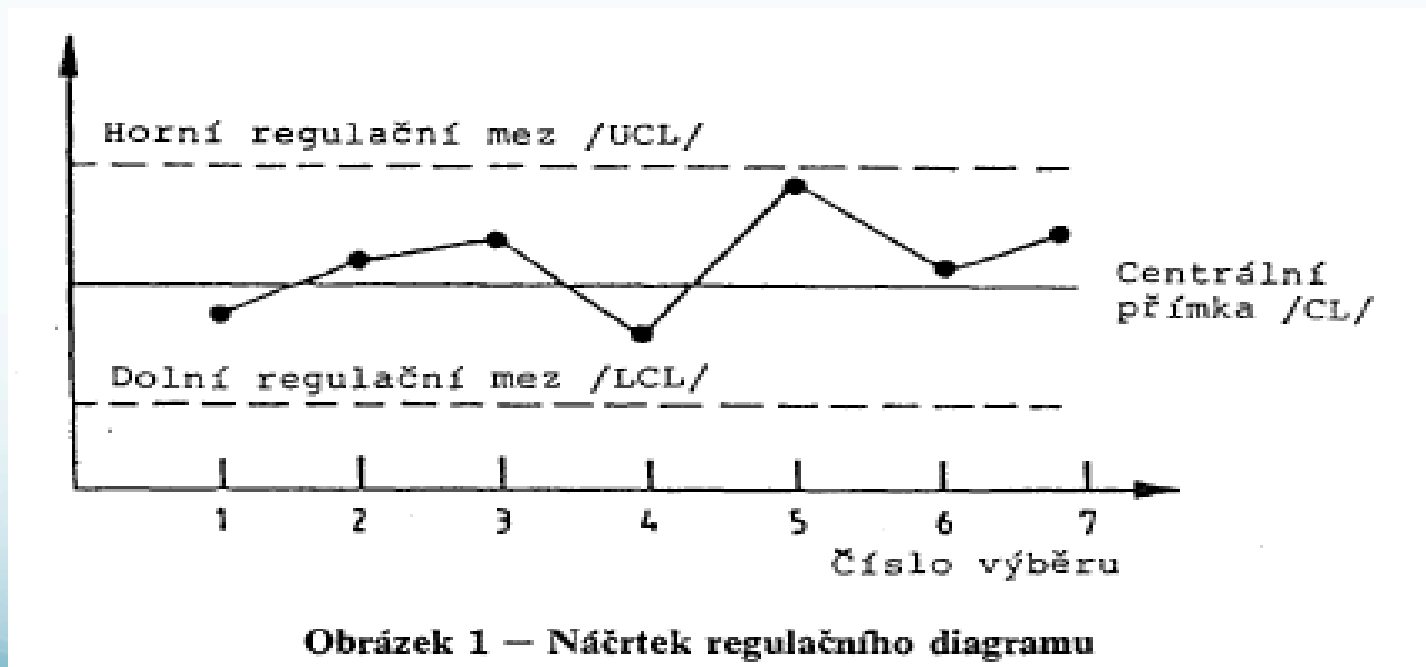
- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Shewhartův RD

Základní Shewhartův diagram vznikl v roce 1924, kdy byly vytvořeny základy SPC.



Typy Shewhartova RD

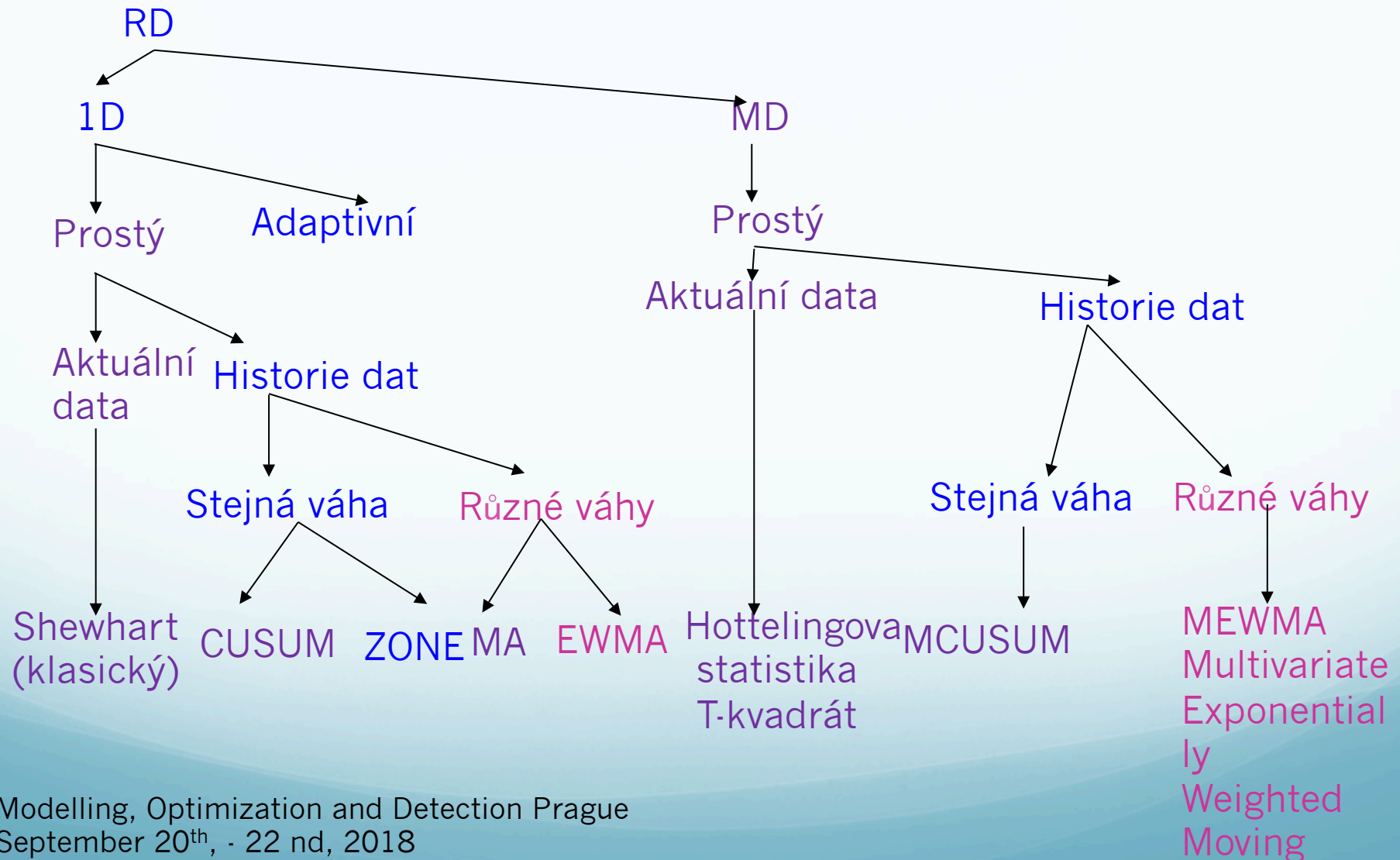
Základní typy Shewhartova RD (dle normy ČSN ISO 8258)

- Základní hodnoty jsou stanoveny
- Základní hodnoty nejsou stanoveny

RD měřením

- RD pro průměr (\bar{X}) a RD pro rozpětí (R) (zákl. hodnoty jsou i nejsou stanoveny)
- RD pro mediány (Me) (zákl. hodnoty nejsou stanoveny)
- RD pro individuální hodnoty (X) (zákl. hodnoty nejsou stanoveny)

Typy regulačních diagramů



EWMA

Dynamické regulační diagramy EWMA s jednokrokovou predikcí, kdy hodnoty regulované veličiny ve výrobním procesu mají následující vlastnosti:

- Nejsou nezávislé a vykazují pozitivní autokorelaci
- Jejich střední hodnota není konstantní, změny jsou pomalé

K překročení regulačních mezí může způsobit náhlá změna střední hodnoty. Informuje o statistickém zvládnutí procesu, jednak o dynamickém vývoji.

Výběr regulačního diagramu

Výběr regulačního diagramu závisí na různých faktorech:

- na citlivosti regulačního diagramu
- na změnách v procesu
- na výskytu korelovaných dat
- na počtu znaků jakosti sledovaných současně
- na korelaci mezi znaky jakosti

Fáze statistické regulace procesu

- Fáze přípravná
- Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu
- Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu
- Fáze vlastní statistické regulace procesu

Fáze statistické regulace procesu

Fáze přípravná

- Určit znak jakosti (nasákavost) nebo parametry procesu (teplota vypálení)
- Zvolit vhodnou metodu pro získání hodnot
- Určit kontrolní místa v procesu, aby kontrola a zásah byly provedeny, co nejdříve po signálu vzniku vymezitelné příčiny.
- Zvolit vhodný typ RD (střední hodnotu), provede se sběr a záznam dat a odhad parametrů sledované veličiny.

Fáze statistické regulace procesu

Fáze přípravná

- Zvolit délku intervalu v níž měříme hodnoty (u nízké stability měřit v kratších intervalech)
- Výběr velikosti rozsahu logické podskupiny (Větší rozsah je volen při požadavku na vyšší citlivost RD na změny procesu). Menší rozsah se volí z důvodů snížení ekonomických či časových nákladů. Používají se výběry o konstantní velikosti.

Fáze statistické regulace procesu

Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti
procesu

- Identifikace vymežitelných příčin
- Odstranění jejich působení
- Zabránění jejich opakování

Fáze statistické regulace procesu

Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu

- Identifikace vymežitelných příčin
- Odstranění jejich působení
- Zabránění jejich opakování

Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

- Je proces statisticky zvládnut?
- Vyhovuje výrobek požadavkům zákazníka?

Použijeme koeficienty způsobilosti

Fáze statistické regulace procesu

Fáze vlastní statistické regulace procesu

- Proces je statisticky zvládnutý a způsobilý
- Poruchy v jeho stabilitě se zjišťují pomocí vhodných typů regulačních diagramů
- Poruchy se identifikují a odstraňují

Obecný postup při konstrukci, analýze a používání RD

1. Volba regulované veličiny
2. Ověření požadovaných předpokladů o datech
3. Volba vhodného RD
4. Volba intervalu mezi jednotlivými inspekcemi
5. Volba rozsahu výběru (logických podskupin)
6. Sběr a záznam dat
7. Výpočet hodnot zvoleného testového kritéria pro jednotlivé výběry
8. Ověření a zajištění statistické zvládnutelnosti procesu
9. Ověření způsobilosti procesu
10. Vlastní regulace procesu

Charakteristiky kvality RD

ARL - average run length – průměrná délka běhu

ARL_0 – in-control average run length – průměrná délka běhu (pod kontrolou)

$ARL(\delta)$ – průměrná délka běhu vychýlená o δ

ATFS – average time to first signal – průměrná doba do prvního signálu

$ATFS_0$ – in-control average time to first signal – průměrná doba do prvního signálu (pod kontrolou)

ADEL – průměrné zpoždění

Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Statistický návrh RD

Bere do úvahy:

- a) ARL_0 pod kontrolou (MAX. co největší)
- b) ARL_1 mimo kontrolu (MIN. co nejmenší)

ARL závisí na všech řídicích proměnných

(V případě nezávislosti měření nezávisí na h - výběrovém intervalu.)

Řídící proměnné pro RD Shewhartova typu:

n – pevný rozsah výběru

h - výběrový interval

k - násobek sigma pro určení UCL a LCL

Výsledkem návrhu je:

- Rozsah výběru
- Regulační meze vybrané uživatelem

Statistický návrh RD

Řídící proměnné pro EWMU:

n – pevný rozsah výběru

h - výběrový interval

L_m – parametr regulační meze

λ_m a λ_u jsou vyhlazovací konstanty spojené s EWMA diagramy pro střední hodnotu (EWMA – m) a rozptyl (EWMA – u)

Statistický návrh RD

Řídící proměnné pro Zónový RD:

n – pevný rozsah výběru

h - výběrový interval

počet a šířky jednotlivých zón

počty skóre přiřazené jednotlivým zónám

Statistická optimalizace

Předmětem je optimalizační úloha při níž hledáme

Min. $ARL(\delta)$ při max. ARL_0 .

Přitom δ si musíme předem stanovit, citlivostní práh, který chceme co nejrychleji detekovat.

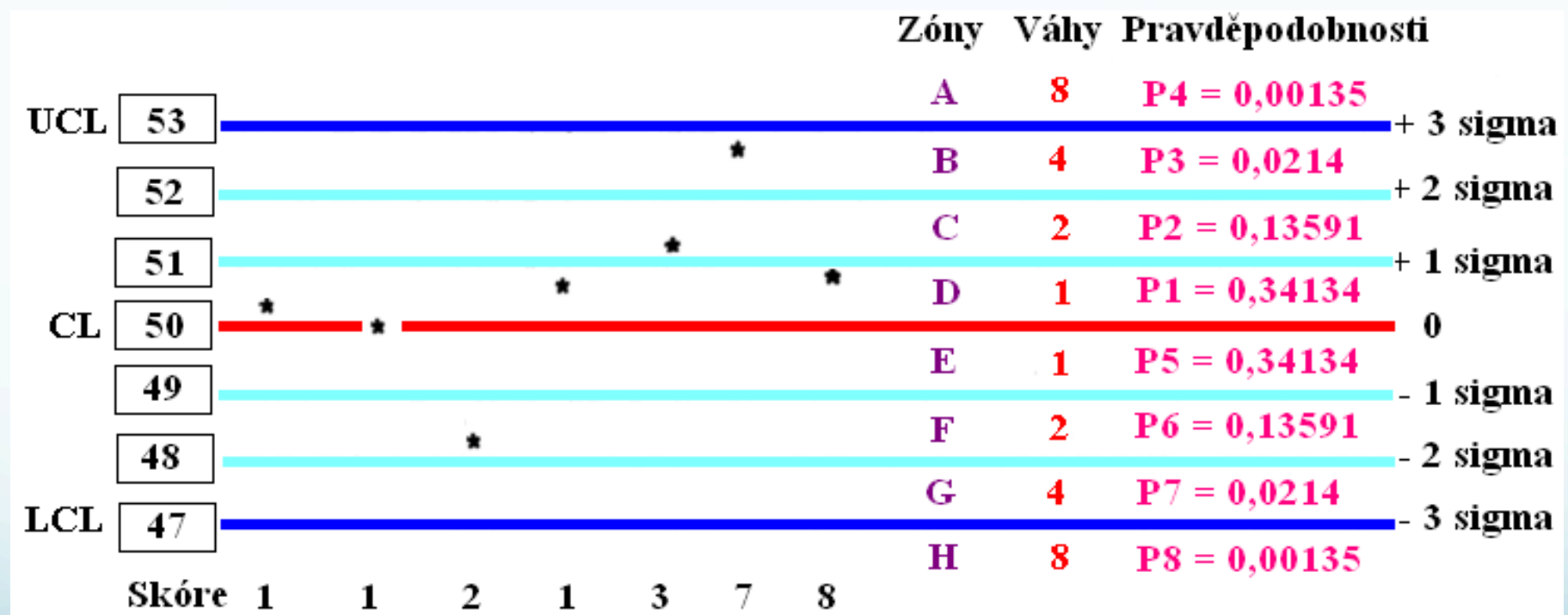
Tato úloha nemá analytické řešení, jedinou možností je numerické řešení.

Nejjednodušší případ je pro nezávislá, normálně rozdělená pozorování.

Dalším možností je využití markovských řetězců.

Př. Zónový diagram.

Zónový regulační diagram



Pravděpodobnosti přechodu

- $B = P[-3 \cdot s < Z < -2 \cdot s],$
- $C = P[-2 \cdot s < Z < -1 \cdot s],$
- $D = P[-1 \cdot s < Z < -s],$
- $E = P[s < Z < 1 \cdot s],$
- $F = P[1 \cdot s < Z < 2 \cdot s],$
- $G = P[2 \cdot s < Z < 3 \cdot s],$

Program v MATLABU

```
function[ar1] = ARL1(s)
k = [1 2 3]
sigma=1;
B = normcdf((-s-k(2))*sigma,0,sigma) - normcdf((-s-k(3))*sigma,0,sigma);
C = normcdf((-s-k(1))*sigma,0,sigma) - normcdf((-s-k(2))*sigma,0,sigma);
D = normcdf(-s*sigma,0,sigma) - normcdf((-s-k(1))*sigma,0,sigma);
E = normcdf((-s+k(1))*sigma,0,sigma) - normcdf(-s*sigma,0,sigma);
F = normcdf((-s+k(2))*sigma,0,sigma) - normcdf((-s+k(1))*sigma,0,sigma);
G = normcdf((-s+k(3))*sigma,0,sigma) - normcdf((-s+k(2))*sigma,0,sigma);
P = [0 0 0 0 0 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     D 0 0 0 0 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     C D 0 0 0 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     0 C D 0 0 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     B 0 C D 0 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     0 B 0 C D 0 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     0 0 B 0 C D 0 0 E F 0 G 0 0 0;
     0 0 0 B 0 C D 0 E F 0 G 0 0 0;
     0 0 0 0 B 0 C D 0 E F 0 G 0 0;
     0 0 0 0 0 B 0 C D 0 E F 0 G 0;
     0 0 0 0 0 0 B 0 C D 0 E F 0 G;
     0 0 0 0 0 0 0 B 0 C D 0 E F 0;
     0 0 0 0 0 0 0 0 B 0 C D 0 E F;
     0 0 0 0 0 0 0 0 0 B 0 C D 0 E;
     0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 B 0 C D 0]
AR= inv(eye(15) - P)
ARL= [0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0]*AR*[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]'
```

Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Ekonomická optimalizace

Statistická optimalizace sice vede k nejlepšímu návrhu parametrů RD z hlediska stability procesu a jeho pravděpodobnostních charakteristik tzn. minimalizujeme pravděpodobnosti chyb I a II druhu.

Ale na druhé straně nemusí být vždy efektivní z ekonomického hlediska.

Např. jsou-li náklady a inspekci příliš vysoké ve vztahu k případné ztrátě z nestabilního procesu může být efektivnější regulaci vůbec neprovádět.

A proces zastavit (seřídit) až ve chvíli, kdy detekují vadný výrobek na výstupu.

Modely pro ekonomickou optimalizaci RD

Duncan (1956) první navrhl ekonomický návrh X-RD.

Další návrhy byly od autorů:

Gibra (1975), Montgomery (1980), Vance (1983) a Ho a Case (1994)

Další autoři, kteří se zabývali návrhy pevných parametrů RD:

Saniga a Montgomery (1981), Rahim (1989), Costa (1993), Rahim a Costa (2000).

Modely pro ekonomickou optimalizaci RD

Řada autorů se zabývá změnami parametrů RD na základě zjištěného stavu, např. rozsahu vzorku, intervalu mezi inspekcemi či koeficientu regulačních mezí v tzv. adaptivních RD.

Ekonomický návrh (EN)

Proměnná rozsahu vzorku (VSS) Flaig (1991), Park a Reynolds (1994)

Proměnná intervalu vzorku (VSI) Das (1997), Das a Gosavi (1997), Bai a Lee (1998)

Proměnná rozsahu a intervalu vzorku (VSSI) Park a Reynolds (1999)

Proměnné parametrů (VP), kde všechny parametry jsou považovány za proměnné De Magalhaes (2001)

Ekonomický návrh (EN) RD

- Je založen na optimalizační úloze, kdy minimalizujeme náklady, které připadají v úvahu, ovlivňují hlavní parametry diagramů.
- Model je postaven na zobecnění nákladové funkce Lorenzen a Vance (1986), je aplikovatelný na různé typy diagramů.
- Model využívá kvadratickou ztrátovou funkci, kde náklady na vadný jednotky jsou vyšší s větším posunem ve střední hodnotě nebo rozptylu.(pro EWMA)
- V ekonomickém návrhu *X-bar* diagramu pozorujeme vztah mezi optimálním rozsahem výběru a velikostí posunu (Montgomery, 1980).
- Kratší výběrový interval pomáhá omezovat kvalitu souvisejících nákladů, které se zvětšují s velikostí posunu.

Duncanův nákladový model

- Náklady na výběr a kontrolu – předpoklad fixní náklad za inspekci, variabilní – závisí na rozsahu výběru a způsobu měření (5)
- Náklady na falešný alarm
- Náklady na vyhledání poruchy
- Náklady na vadné produkty
- Náklady na opravu procesu.

Duncanův model s Taguchiovou ztrátovou fcí

U ztrátového modelu se určují tyto parametry:

- Doby mezi jednotlivými inspekcemi
- Rozsah výběru
- Hladina regulační meze

Ztrátový model uvažuje ztrátu kvality díky variabilitě procesu, která není v Duncanově nákladovém modelu.

Model Lorenzen a Vance

$$ETC = \frac{\{C_0 / \lambda + C_1[h(ARL_1) - \tau + n.E + \gamma_1.T_1 + \gamma_2.T_2] + sY / ARL_0 + W + [(a + bn) / h][1 / \lambda - \tau + n.E + h(ARL_1) + \gamma_1.T_1 + \gamma_2.T_2]\}}{\{1 / \lambda + (1 - \gamma_1)s.T_0 / ARL_0 - \tau + n.E + h(ARL_1) + T_1 + T_2\}}$$

a – fixní náklady na inspekci

ETC - celkové očekávané náklady za jednotku času

b – jednotkové náklady na měření v rámci jedné inspekce

C_0 a C_1 jsou náklady na kvalitu pod kontrolou a mimo kontrolu

Y – náklady na vyšetření falešného alarmu

h – doba mezi inspekcemi

T_0 – očekávaná doba na vyhledání falešného alarmu

n – počet měření v rámci jedné inspekce

T_1 a T_2 – očekávaná doba na odhalení a opravení zjistitelné příčiny

E – doba potřebná k provedení jednoho měření a jeho zakreslení při inspekci

$\gamma_1 = 1$ jestliže vyhledávání probíhá za chodu procesu v ostatních případech 0

ARL_0 = průměrná délka běhu pod kontrolou

$\gamma_2 = 0$ jestliže proces je zastaven během opravy v ostatních případech 1

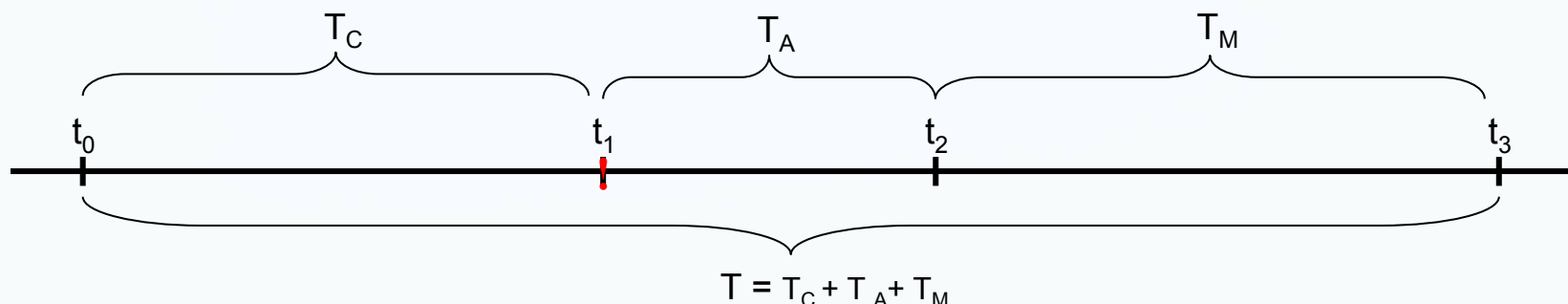
ARL_1 = průměrná délka běhu mimo kontrolu

W – náklady na určení zjistitelné příčiny

s – očekávaný počet inspekcí do výskytu zjistitelné příčiny

τ - očekávaná doba do výskytu zjistitelné příčiny

SPC jako proces obnovy



T – délka cyklu obnovy zahrnuje:

T_C – očekávaná doba procesu pod kontrolou

T_A – očekávanou dobu ke zjištění, zda je signál oprávněný

T_M – je očekávanou dobu k určení potřeb údržby a provedení údržby
ta je buď kompenzační (falešný poplach)
nebo operativní (oprávněný poplach)

ARL – je délka běhu počtu odběrů, které se uskuteční před signálem v regulačním diagramu

ARL_0 – průměrná délka běhu pod kontrolou

ARL_1 – průměrná délka běhu mimo kontrolu

Nákladová analýza

Délka cyklu $E(T)$ se skládá z doby:

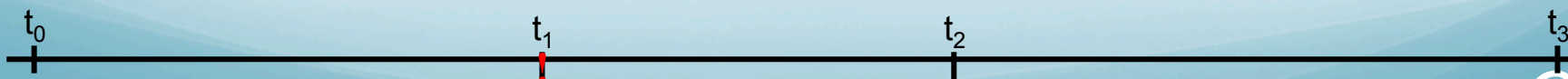
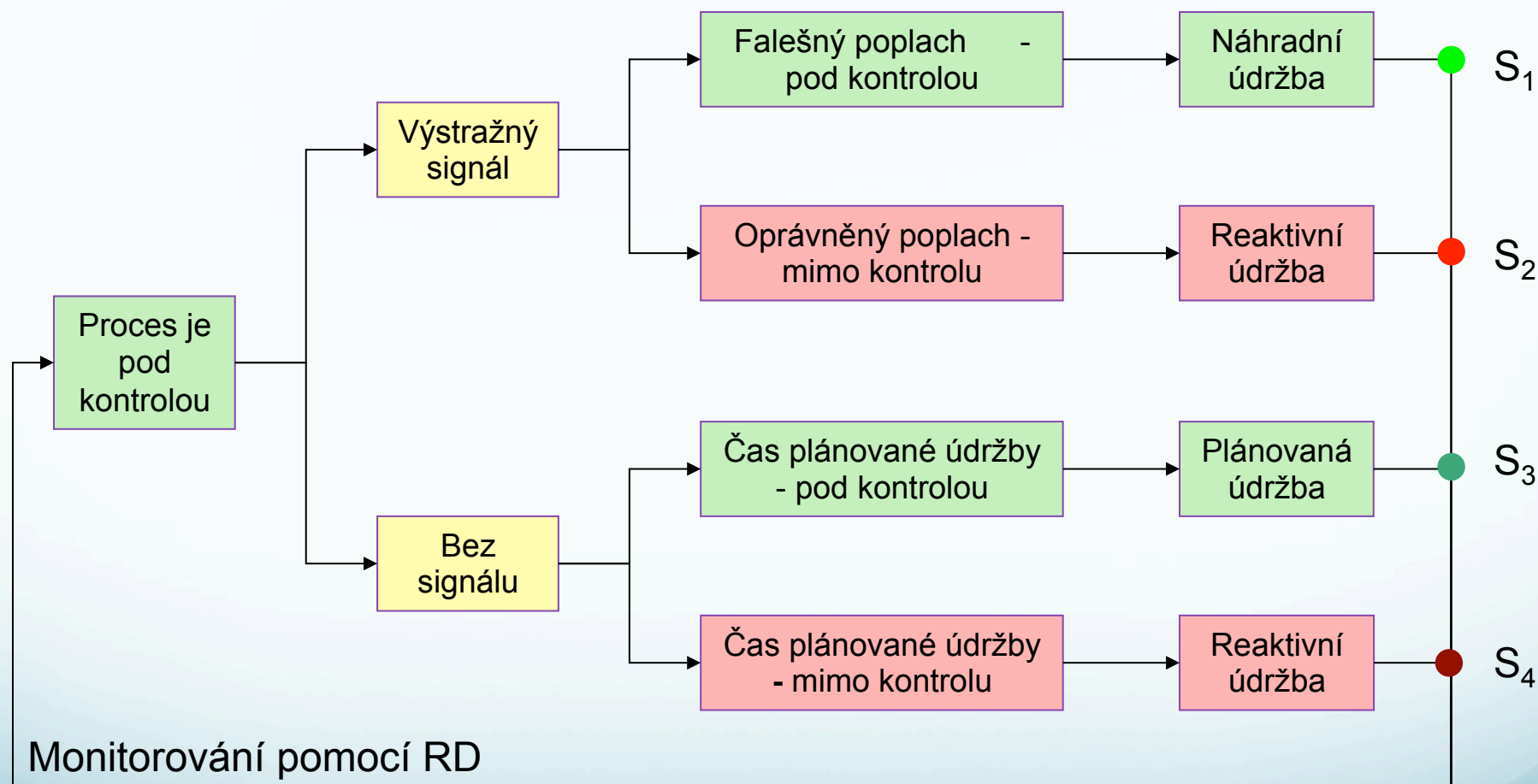
- pod kontrolou
- mimo kontrolu
- na údržbu

Náklady na cyklus $E(C)$ se stávají ze 3 částí:

- Nákladů na ztrátu kvality způsobené funkcí činností procesu
- Náklady na výběr
- Náklady na údržbu

Hodinový náklad $E(H) = E(C)/E(T)$

SPC jako proces obnovy



Náklady na cyklus obnovy

Model může být uvažován jako oceněný proces obnovy, a proto lze vyjádřit očekávaný hodinový náklad $E(H)$ jako

$$E[H] = \frac{E[C]}{E[T]}$$

kde

$$E[C] = E[C | S_1]P(S_1) + E[C | S_2]P(S_2) + E[C | S_3]P(S_3) + E[C | S_4]P(S_4)$$

$$E[T] = E[T | S_1]P(S_1) + E[T | S_2]P(S_2) + E[T | S_3]P(S_3) + E[T | S_4]P(S_4)$$

Tyto vztahy plynou z věty o úplné pravděpodobnosti.

Pravděpodobnosti scénářů

- $P(S_1) = \sum_{i=1}^k p_i^0 (1 - F(ih))$
- $P(S_2) = \sum_{i=1}^k [F(ih) - F((i-1)h)] \cdot \left(1 - \sum_{j=1}^{i-1} p_j^0\right) \sum_{l=1}^{k-i+1} p_l^1$
- $P(S_3) = (1 - F(kh)) - \sum_{i=1}^k p_i^0 (1 - F(ih))$
- $P(S_4) = F(kh) - \sum_{i=1}^k [F(ih) - F((i-1)h)] \cdot \left(1 - \sum_{j=1}^{i-1} p_j^0\right) \sum_{l=1}^{k-i+1} p_l^1$

T – délka cyklu obnovy

h – interval mezi odběry jednotlivých vzorků v hodinách

$F(t)$ – distribuční funkce doby do poruchy

k – počet odběrů do plánované údržby, která se provede v $(k+1)$ intervalu

p_i^0 – pravděpodobnost, že průměrná délka běhu pod kontrolou je rovna i

p_i^1 – pravděpodobnost, že průměrná délka běhu mimo kontrolu je rovna i

Délka cyklu obnovy

- $$E[T | S_1] = h \sum_{i=1}^k i p_i^0 (1 - F(ih)) + T_A + T_{M_c}$$

T – délka cyklu obnovy

h – interval mezi odběry jednotlivých vzorků v hodinách

n – rozsah výběru

ARL_0 – průměrná délka běhu pod kontrolou

p_i^0 – pravděpodobnost, že ARL_0 je rovna i

$F(t)$ – distribuční funkce doby do poruchy

T_A – očekávaná doba ke zjištění, zda je signál oprávněný

T_M – je očekávaná doba k určení potřeb údržby a provedení údržby;
ta je buď **kompenzační (C)**, operativní (R) nebo plánovaná (P)

Délka cyklu obnovy

$$\bullet \quad E[T | S_2] = \int_0^{kh} t f(t | (k+1)h) dt + h ARL_1 - \tau + nE + T_A + T_{M_R}$$

T – délka cyklu obnovy

h – interval mezi odběry jednotlivých vzorků v hodinách

n – rozsah výběru

E – je očekávaná doba pro výběr a zakreslení jedné položky do diagramu

k – počet odběrů do plánované údržby, která se provede v $(k+1)$ intervalu

ARL_1 – průměrná délka běhu mimo kontrolu

$f(t)$ – hustota rozdělení pravděpodobnosti doby do poruchy

T_A – očekávaná doba ke zjištění, zda je signál oprávněný

T_M – je očekávaná doba k určení potřeb údržby a provedení **operativní** údržby

τ – střední doba, která uplyne od posledního výběru před významnou příčinou (poruchou) od objevení významné příčiny a je dána vztahem

$$\tau = \sum_{i=0}^k \int_{ih}^{(i+1)h} (t - ih) f(t | k+1)h dt$$

Délka cyklu obnovy

- $E[T | S_3] = (k + 1)h + T_{M_P}$
- $E[T | S_4] = (k + 1)h + T_{M_R}$

T – délka cyklu obnovy
 h – interval mezi odběry jednotlivých vzorků v hodinách
 k – počet odběrů do plánované údržby, která se provede v $(k+1)$ intervalu
 T_M – je očekávaná doba k určení potřeb údržby a provedení **plánované** nebo **operativní údržby**

Náklady na cyklus

Náklady na cyklus sestávají ze 3 částí:

- Nákladů na ztrátu kvality způsobené funkcí činností procesu

C_0 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu mimo kontrolu

C_1 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu pod kontrolou

- Náklady na výběr

C_F - fixní náklad na celý výběr n vzorků

C_V - náklad pro výběr jednoho vzorku (pro celý výběr je náklad roven $n.C_V$)

- Náklady na údržbu

C_f – je náklad na zjištění falešného poplachu

C_c, C_R, C_P – náklad údržbu (kompenzační, operativní, plánovanou).

Předpokládá se, že $C_R > C_P > C_C$.

Náklady na cyklus

- $$E[C | S1] = C_1 \left[h \sum_{i=0}^k ip_i^0 (1 - F(ih)) + \gamma_C T_C \right] + (C_F + nC_V) \sum_{i=0}^k ip_i^0 (1 - F(ih)) + C_f + C_C$$

T_C – očekávaná doba ke zjištění a provedení kompenzační údržby

C_1 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu pod kontrolou

C_F - fixní náklad na celý výběr n vzorků

C_V - náklad pro výběr jednoho vzorku (pro celý výběr je náklad roven $n.C_V$)

C_f – je náklad na zjištění falešného poplachu

C_C, C_R, C_P – náklad údržbu (kompenzační, operativní, plánovanou)

$\gamma_C, \gamma_R, \gamma_P, \gamma_A$ – indikátorová proměnná, která se rovná 1, pokud výroba pokračuje v průběhu údržby (kompenzační, operativní, plánované) nebo potvrzení zjistitelné příčiny, v ostatních případech je rovna 0.

Náklady na cyklus

- $$E[C | S2] = C_1 \int_0^{kh} t f(t | (k+1)h) dt + C_0 (h ARL_1 - \tau + nE + \gamma_A T_A + \gamma_R T_R) + \frac{1}{h} E[T | S2] (C_F + nC_V) + C_R$$

C_0 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu mimo kontrolu

C_1 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu pod kontrolou

C_F - fixní náklad na celý výběr n vzorků

C_V - náklad pro výběr jednoho vzorku (pro celý výběr je náklad roven $n \cdot C_V$)

C_f – je náklad na zjištění falešného poplachu

C_c, C_R, C_P – náklad údržbu (kompenzační, operativní, plánovanou).

$\gamma_C, \gamma_R, \gamma_P, \gamma_A$ – indikátorová proměnná, která se rovná 1, pokud výroba pokračuje v průběhu údržby (kompenzační, operativní, plánované) nebo potvrzení zjištěné příčiny, v ostatních případech je rovna 0.

Náklady na cyklus



$$E[C | S3] = C_I[(k+1)h + \gamma_P T_P] + k(C_F + nC_V) + C_P$$

C_0 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu mimo kontrolu

C_1 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu pod kontrolou

C_F - fixní náklad na celý výběr n vzorků

C_V - náklad pro výběr jednoho vzorku (pro celý výběr je náklad roven $n \cdot C_V$)

C_f – je náklad na zjištění falešného poplachu

C_C, C_R, C_P – náklad údržbu (kompenzační, operativní, plánovanou).

$\gamma_C, \gamma_R, \gamma_P, \gamma_A$ – indikátorová proměnná, která se rovná 1, pokud výroba pokračuje v průběhu údržby (kompenzační, operativní, plánované) nebo potvrzení zjištěné příčiny, v ostatních případech je rovna 0.

Náklady na cyklus

- $$E[C | S_4] = C_1 \int_0^{kh} tf(t | (k+1)h) dt + C_0 \left[(k+1)h - \int_0^{kh} tf(t | (k+1)h) dt + \gamma_R T_R \right] + k(C_F + nC_V) + C_R$$

C_0 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu mimo kontrolu

C_1 – náklady na ztrátu kvality za jednotku času, kdy proces je ve stavu pod kontrolou

C_F - fixní náklad na celý výběr n vzorků

C_V - náklad pro výběr jednoho vzorku (pro celý výběr je náklad roven $n \cdot C_V$)

C_f – je náklad na zjištění falešného poplachu

C_c, C_R, C_P – náklad údržbu (kompenzační, operativní, plánovanou).

$\gamma_C, \gamma_R, \gamma_P, \gamma_A$ – indikátorová proměnná, která se rovná 1, pokud výroba pokračuje v průběhu údržby (kompenzační, operativní, plánované) nebo potvrzení zjistitelné příčiny, v ostatních případech je rovna 0.

Optimalizace nákladů

strategické proměnné: n^* - rozsah výběru

h^* - doba mezi výběry

L^* - šířka regulačních mezí v jednotkách

směrodatné odchylky

k^* - doba mezi plánovanou údržbou

Hledá se minimum hodinového nákladu $E(H)$ vzhledem k (n, h, L, k)

$$E[C | S1] = C_1 \left[h \sum_{i=0}^k ip_i^0 (1 - F(ih)) + \gamma_C T_C \right] + (C_F + nC_V) \sum_{i=0}^k ip_i^0 (1 - F(ih)) + C_f + C_C$$

Optimalizace nákladů

strategické proměnné:

n^* - rozsah výběru = 4

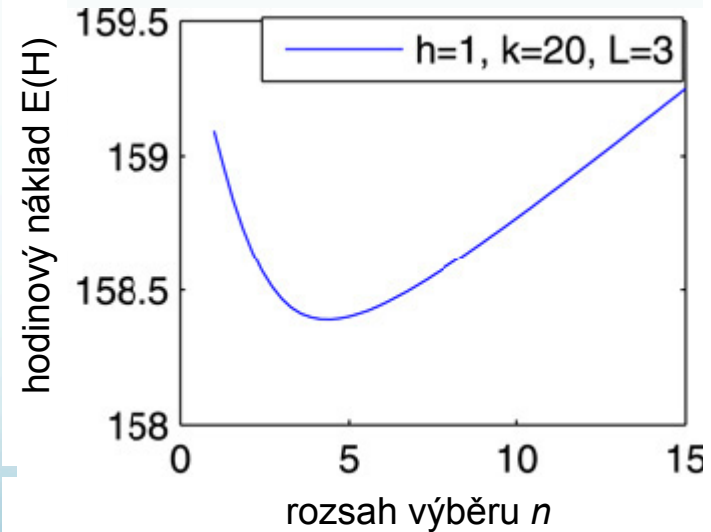
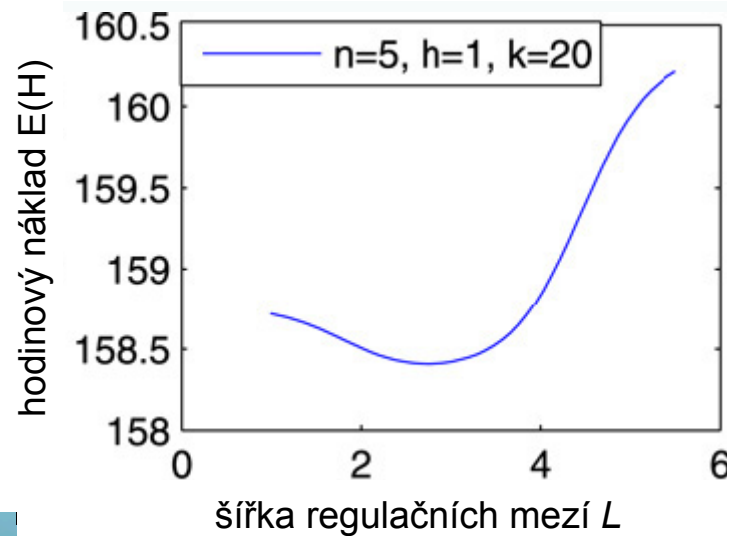
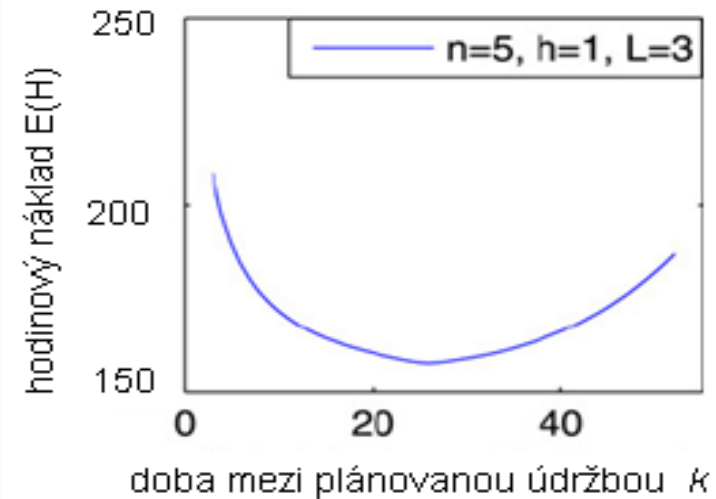
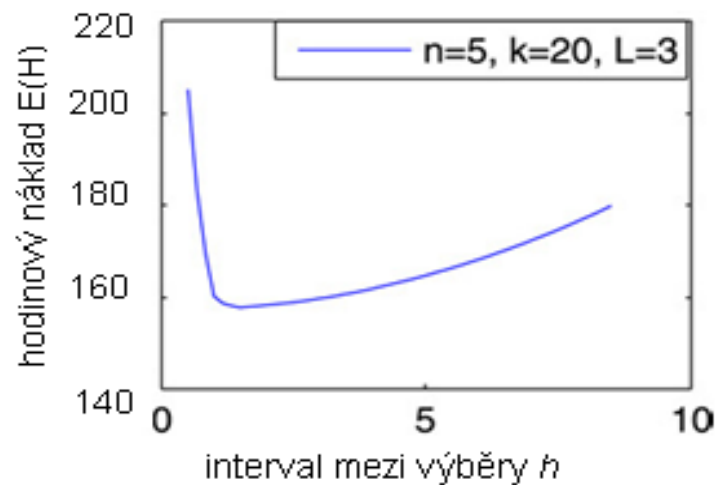
h^* - doba mezi výběry = 1,23

L^* - šířka regulačních mezí v jednotkách směrodatné odchylky = 2,91

k^* - doba mezi plánovanou údržbou = 22

Hledá se minimum hodinového nákladu $E(H) = 158,32$ vzhledem k (n, h, L, k)

Příklad



Obsah

1) Úvod

- Úloha regulačních diagramů

2) Výběr regulačních diagramů

- Typy regulačních diagramů

3) Výběr parametrů regulačních diagramů

- Statistická optimalizace
- Ekonomická optimalizace
- Statisticko-ekonomická optimalizace

Autoři ekonomicko- statistického návrhu (ESN) RD

Woodall (1986) – navrhl EN RD, který se zaměřuje pouze na náklady, ale opomíjí statistické vlastnosti. Na tomto příkladu ukazuje, že je třeba optimalizovat z obou hledisek ESN zároveň.

Saniga (1989) navrhl ESN RD.

Dalšími autory byli McWilliams (1994) Fortran program, Saniga (1995) ESN, Montgomery (1995) ESN (EWMA)

ESN pro VSSI X-diagramu Prabhu (1997)

ESN pro VP X-diagramu De Magalhaes (2002)

ESN pro adaptivní RD De Magalhaes (2002)

Ekonomicko-statistický návrh RD

- Strategií návrhu je maximalizovat čas mezi falešným poplachem a minimalizovat čas k detekování vzniku poruchy.

Řešení by mělo splňovat dvě omezení specifikovaná uživatelem:

- ARL_0 (tj. pod kontrolou) by mělo být větší než dolní mez
- $ARL(\delta)$ (tj. mimo kontrolu) by mělo být menší než horní mez

ESN má kratší výběrový interval (h)

ESN jsou více nákladné než prosté ekonomické návrhy.

Rozdíl nákladů mezi ekonomickým a ekonomicko-statistickým návrhem se snižuje, jak veličina posunu se zvyšuje.

Celková optimalizace se provádí pomocí Nelder-Meadovu metody a pomocí síťových hledání.

Cílem je maximalizovat ARL_0 a minimalizovat ztrátovou funkci zahrnující $ARL(\delta)$.

Použitá literatura:

- 1) ČSN ISO 8258: (1994) *Shewhartovy regulační diagramy*
- 2) Ali Saraie, (2007), *Economic-statistical design of MC1 control charts*, *Int J Adv manuf Technol* 32: 157-161
- 3) Johnes L.L., Case K.E., (1981) *Economic design of a joint X- and R-control chart*
- 4) Nelder and Mead, *A simplex method for function minimization*
- 5) Tolley O. G. and English J.R. (2001), *Economic designs of constrained EWMA and combined EWMA –X control schemes*, *IIE Transaction*, 33, 429-436
- 6) Duncan A.J. (1956) *The economic design of X charts used to maintain current control of a process. Journal of the American Statistical Association.* **51**. 228-242.
- 7) Lorenzen, T.J. and Vance, L.C. (1986) *The economic design of control charts: a unified approach. Technometrics*, **28**, 3-10.
- 8) Shewhart, W.A., *Economic control of Quality of Manufactured Product*,. New York: D.Van Nostrand Co., 1931
- 9) William H. Woodall (1990), "Performance of the zone control chart". *Commun. Statist.-theory meth.*,19(5), pp. 1581-1587
- 10) S.W. Roberts, (1996), "A Comparison of Some Control Chart Procedures". *Technometrics*, vol. 8, No.3, pp. 411-430
- 11) Woodall, W.H. (1986b), "Weaknesses of the Economic Design of Control charts," *Technometrics*, 28, 408-409

Použitá literatura:

- 1) John H. Reynolds, (1971), "The Run Sum Control Chart Procedure". Journal of Quality Technology, vol. 3, No.1, pp. 23-27
- 2) Western Electric Company, (1956), "Statistical Quality Control Handbook". First Edition, USA
- 3) James R. Evans, William M. Lindsay, (1993), "The Management and Control of Quality"., Second Edition, West publishing Company, USA
- 4) Donald J. Wheeler, (2004), "Advanced Topics in Statistical Process Control"., Second Edition
- 5) Douglas C. Montgomery, (2001), "Introduction to Statistical Quality Control"., Four Edition
- 6) Dohnal G. (2008), Regulační diagram, ale jaký?, REQUEST '08, CQR VUT Brno
- 7) Dohnal G., Cézová E. (2010), Bayesovské adaptivní regulační diagramy, CQR VUT Brno
- 8) Cézová E. (2008), Ekonomicko-statistický návrh regulačního diagramu, REQUEST 08, CQR VUT Brno

Děkuji za pozornost

eliskacqr@email.cz