

10

KONTROLA A ŘÍZENÍ JAKOSTI

Vzorová úloha 10.1 *Aplikace regulačního diagramu pro průměry a směrodatné odchylky.* Při konstrukci diagramu "x s pruhem" se vychází z průměrů a směrodatných odchylek tzv. logických podskupin. Aby bylo možné sledovat jak úroveň procesu, tak i průběh jeho variability, je nutné používat dva diagramy. První je založen na průměrech (diagram x s pruhem), druhý na směrodatných odchylkách (diagram s). Typickou strukturu dat uvádí následující tabulka. Ze vzorku představujícího jeden bod regulačního diagramu se vypočítá aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

Data: Data pro konstrukci diagramu "x s pruhem" a s jsou obvykle v tabulce tvaru

x_1	x_2	x_3	...	x_n	Průměr	Směr. odch.
x_{11}	x_{21}	x_{31}	...	x_{n1}	\bar{x}_1	s_1
x_{12}	x_{22}	x_{32}	...	x_{n2}	\bar{x}_2	s_2
x_{13}	x_{23}	x_{33}	...	x_{n3}	\bar{x}_3	s_3
...
x_{1m}	x_{2m}	x_{3m}	\bar{x}_m	...
					\bar{x}	\bar{s}

Ukázka dat pro konstrukci regulačního diagramu "x s pruhem" a s:

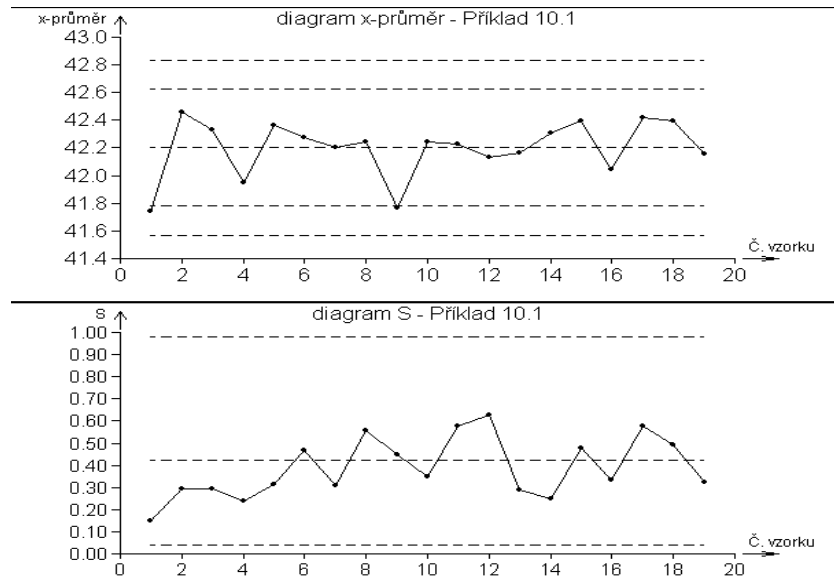
<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A4</i>	Průměr	Sm. odch.
41.56	41.82	41.90	41.68	41.740	0.151
42.05	42.44	42.69	42.66	42.460	0.295
42.31	42.42	42.65	41.95	42.333	0.292
41.87	41.68	42.25	41.99	41.948	0.239
42.47	42.66	41.92	42.41	42.365	0.315
42.95	41.95	42.25	41.96	42.278	0.469
42.43	42.51	41.92	41.95	42.203	0.311
41.62	42.89	42.49	41.99	42.248	0.557
41.36	41.68	41.63	42.41	41.770	0.449
41.96	42.66	42.41	41.96	42.248	0.347
42.97	41.95	42.37	41.63	42.230	0.579
41.36	41.99	42.86	42.31	42.130	0.627
41.96	42.41	42.41	41.87	42.163	0.288
42.44	41.94	42.37	42.47	42.305	0.247

41.76	42.64	42.86	42.31	42.393	0.478
41.72	42.09	42.49	41.87	42.043	0.335
42.59	43.00	41.63	42.47	42.423	0.575
42.47	41.75	42.41	42.95	42.395	0.493
42.12	41.72	42.37	42.43	42.160	0.323
				42.202	0.388

Řešení: Vyčíslí se základní linie a regulační meze diagramu "x s pruhem". Nestranný odhad směrodatné odchylky s se získá z průměru směrodatných odchylek. Hodnoty LCL a UCL zde představují 0.135 % a 99.865 % kvantily. Interval (LCL , UCL) tak vymezuje 99.73 % očekávaných naměřených dat. Pravděpodobnost překročení regulačních mezí je tak malá (0.27 %), že považujeme překročení za indikaci poruchy procesu. Vyčíslí se rovněž základní linie a regulační meze diagramu s . Při výpočtu regulačních mezí pro směrodatnou odchylku jsme využili kvantilů, které odpovídají pravidlu $3s$. Symbol $c_a^2(n)$ označuje a -kvantil χ^2 -rozdělení s n stupni volnosti. Hodnoty těchto kvantilů pro $n = 1$ až 20 jsou uvedeny v příloze. Jsou také běžně dostupné na kalkulačkách, v tabulkových procesorech (např. funkce CHINV v Excelu), statistickém softwaru (např. QC-Expert, nebo funkce chisq v S-Plus) a podobně. Tabulka uvádí hodnoty faktoru c_4 pro velikosti podskupiny $n = 2$ až 19.

Hodnoty faktoru c_4 pro $n = 2$ až 19

n	$c_4(n)$	n	$c_4(n)$
2	0.79788	11	0.97535
3	0.88623	12	0.97756
4	0.92132	13	0.97941
5	0.93999	14	0.98097
6	0.95153	15	0.98232
7	0.95937	16	0.98348
8	0.96503	17	0.98451
9	0.96931	18	0.98541
10	0.97266	19	0.98621



Obr. 10.1 Regulační diagram "x s pruhem" (horní část) a s (dolní část).

Závěr: Výsledný diagram je uveden na obr. 10.1.

Vzorová úloha 10.2 Aplikace diagramu R

Diagram R pro rozpětí (angl. range) lze použít jako alternativu diagramu s. Rozpětí podskupiny je rozdíl největší a nejmenší hodnoty v podskupině, $R_i = x_{\max,i} - x_{\min,i}$. S omezenou přesností lze R použít pro výpočet odhadu směrodatné odchylky. Pro data v následující tabulce lze pak konstruovat diagramy "x s pruhem" a R s podobnými vlastnostmi jako mají diagramy "x s pruhem" a s.

Data: Data pro konstrukci diagramu "x s pruhem" a R

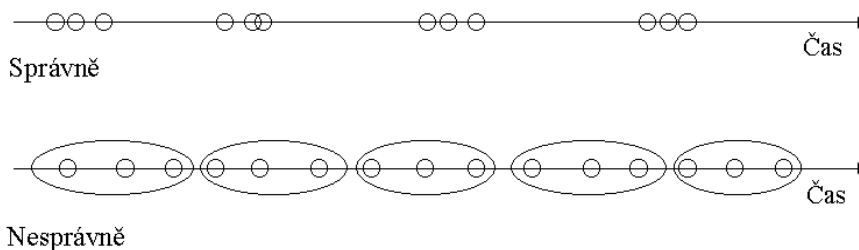
x_1	x_2	x_3	...	x_n	Průměr	Rozpětí
x_{11}	x_{21}	x_{31}	...	x_{n1}	\bar{x}_1	R_1
x_{12}	x_{22}	x_{32}	...	x_{n2}	\bar{x}_2	R_2
x_{13}	x_{23}	x_{33}	...	x_{n3}	\bar{x}_3	R_3
...
x_{1m}	x_{2m}	x_{3m}	\bar{x}_m	...
					\bar{x}	\bar{R}

Pro diagram "x s pruhem" bude základní linie a regulační meze vyčísleny dle vztahů $UCL = \bar{x} + A_2\bar{R}$, $CL = \bar{x}$, $LCL = \bar{x} - A_2\bar{R}$ a dále d_2 , d_3 , D_3 , D_4 a A_2 jsou tabelované koeficienty, když přibližné hodnoty uvádí tabulka:

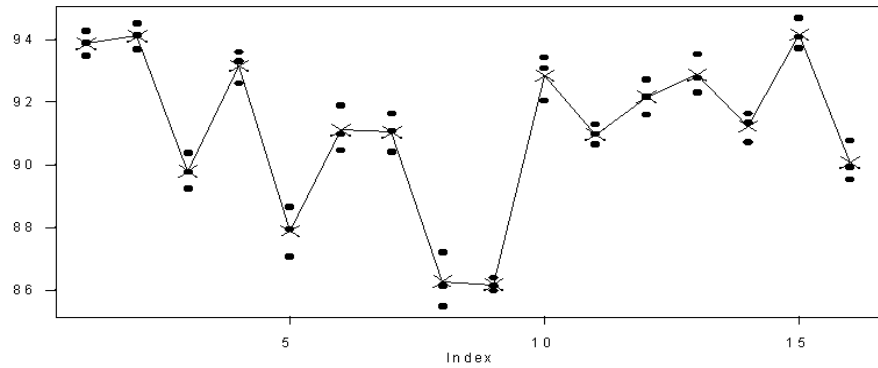
Koeficienty pro diagramy x s pruhem a R:					
n	d_2	d_3	D_3	D_4	A_2
2	1.128	0.853	0	3.269	1.881
3	1.693	0.888	0	2.574	1.023

4	2.059	0.880	0	2.282	0.729
5	2.326	0.864	0	2.114	0.577
6	2.534	0.848	0	2.004	0.483
7	2.704	0.833	0.076	1.924	0.419
8	2.847	0.820	0.136	1.864	0.373
9	2.970	0.808	0.184	1.816	0.337
10	3.078	0.797	0.223	1.777	0.308
11	3.173	0.787	0.256	1.744	0.285
12	3.258	0.778	0.284	1.716	0.266
13	3.336	0.770	0.308	1.692	0.249
14	3.407	0.763	0.328	1.672	0.235
15	3.472	0.756	0.347	1.653	0.223
16	3.532	0.750	0.363	1.637	0.212
17	3.588	0.744	0.378	1.622	0.203
18	3.64	0.739	0.391	1.609	0.194
19	3.689	0.734	0.403	1.597	0.187
20	3.735	0.729	0.414	1.586	0.180

Řešení: Diagramy používající rozpětí místo směrodatné odchylky jsou méně efektivní (zvláště pro větší podskupiny), neboť využívají informace pouze o dvou hodnotách z celé podskupiny. Pro $n = 10$ je efektivita (přesnost) odhadu R jen 85 % ve srovnání se směrodatnou odchylkou s . V případě $n = 2$ je efektivita R stejná jako s . Diagram R má tedy opodstatnění v případě diagramu pro individuální hodnoty. Rozpětí má výhodu jednoduchého výpočtu ve srovnání se směrodatnou odchylkou, což může mít význam, není-li možno použít počítače. *Racionální podskupina* je pojem, který má zásadní význam pro správnou funkci diagramu "x s pruhem". Nevhodná volba podskupiny může mít za následek vážné problémy až selhání Shewhartova diagramu. Podskupina je obvykle opakované měření procesní veličiny odpovídající jednomu časovému okamžiku. Časový rozsah jednotlivých hodnot podskupiny se nerozlišuje, proto je vhodné, aby časový rozsah měření v rámci podskupiny byl malý ve srovnání s časovým intervalem mezi podskupinami (obr. 10.2).



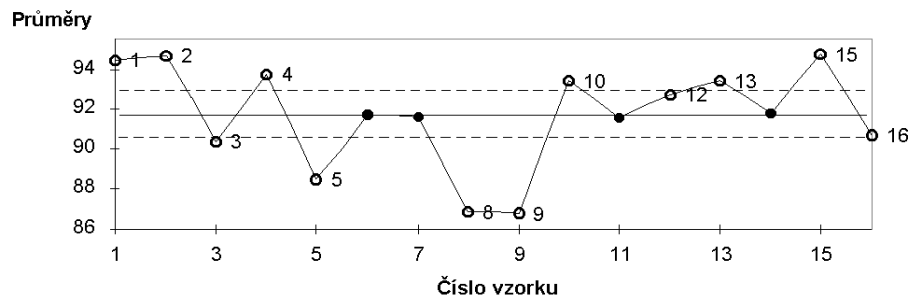
Obr. 10.2 Správná a nesprávná volba racionálních podskupin.



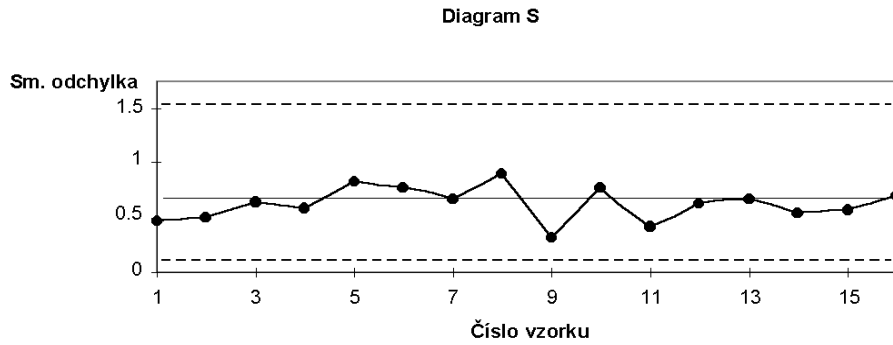
Obr. 10.3 Malá variabilita uvnitř podskupin, graf individuálních hodnot.

Zároveň však musíme dbát na to, aby hodnoty v podskupině odrážely dostatečně variabilitu měřené veličiny. Nedodržení této podmínky má za následek zúžení regulačních mezí a nepoužitelnost regulačního diagramu. Důsledek takové situace je znázorněn na obrázcích 10.3 až 10.5. Pro návrh podskupiny je důležité pochopení funkce diagramů "x s pruhem" a s . První indikuje především změny mezi jednotlivými podskupinami, kdežto druhý především změny a nestabilitu uvnitř podskupiny. Významná výhoda použití průměru podskupiny místo jednotlivých hodnot, na niž se často zapomíná, je výrazně lepší normalita dat, zvláště pro větší podskupiny ($n > 5$) díky platnosti centrální limitní věty. V některých případech je opakování měření těžko proveditelné (např. u destruktivních zkoušek), příliš nákladné, nebo časově náročné (např. chemické analýzy, zkoušky životnosti). Volba podskupin může být obtížná a násilná. Pak lze doporučit spíše použití diagramu pro individuální hodnoty, popřípadě regulačních diagramů CUSUM nebo EWMA.

Diagram x-průměr



Obr. 10.4 Diagram "x s pruhem" při příliš malé variabilitě uvnitř podskupiny pro data z obr. 10.3.



Obr. 10.5 Diagram s pro data z obr. 10.3.

Vzorová úloha 10.3 Aplikace regulačního diagramu pro jednotlivé hodnoty

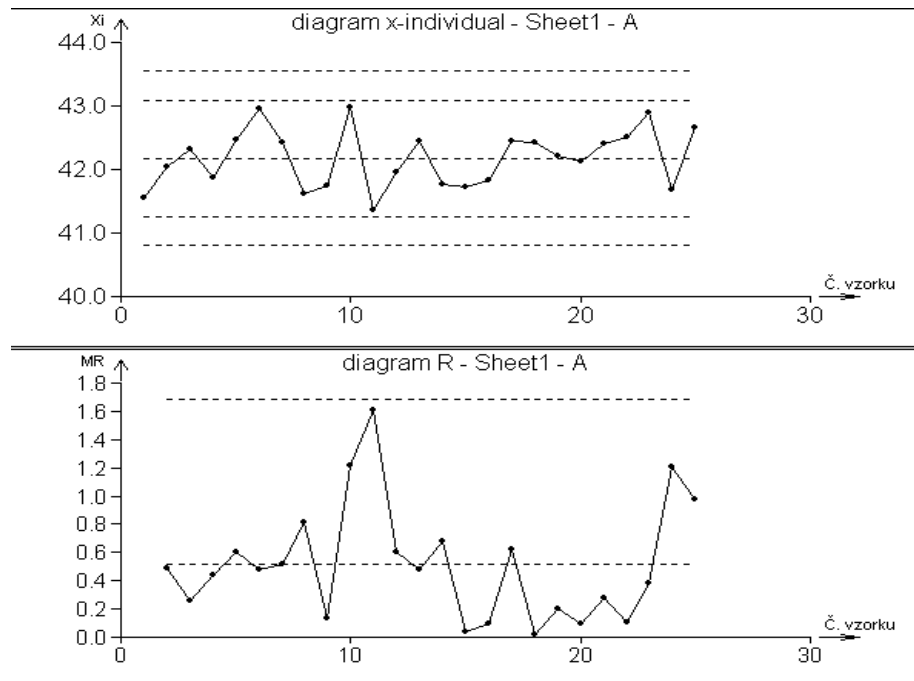
x . V případech, kdy z nějakého důvodu není účelné stanovování podskupin, lze použít Shewhartův diagram pro jednotlivé hodnoty x_i , zvaný také “ x -individual”. Místo průměrů podskupin se pracuje přímo s naměřenými hodnotami x_i .

Data: Příklad dat pro konstrukci diagramu “ x -individual” a MR

i	x_i	MR_i	i	x_i	MR_i
1	41.56	-	14	41.76	0.68
2	42.05	0.49	15	41.72	0.04
3	42.31	0.26	16	41.82	0.10
4	41.87	0.44	17	42.44	0.62
5	42.47	0.60	18	42.42	0.02
6	42.95	0.48	19	42.22	0.20
7	42.43	0.52	20	42.12	0.10
8	41.62	0.81	21	42.40	0.28
9	41.75	0.13	22	42.51	0.11
10	42.97	1.22	23	42.89	0.38
11	41.36	1.61	24	41.68	1.21
12	41.96	0.60	25	42.66	0.98
13	42.44	0.48			
				$\bar{x} = 42.175$	$\overline{MR} = 0.515$

Řešení: Jako příslušný diagram pro variabilitu se používá R -diagram popsáný v předchozím odstavci. Místo rozpětí podskupiny se však použijí rozpětí mezi po sobě následujícími hodnotami. Tato hodnota se nazývá klouzavé rozpětí a označuje se MR (angl. moving range) a vyčíslí se dle vztahu $MR_i = \bar{x}_i - x_{i-1}$. První hodnota MR_1 se nedefinuje. Statistické vlastnosti klouzavého rozpětí jsou stejné jako u rozpětí podskupiny pro $n = 2$. Koeficient d_2 má hodnotu 1.128. Pro základní linii a regulační meze diagramu X_i se použijí vztahy $UCL = \bar{x} + 3 \overline{MR}/d_2$, $LCL = \bar{x} - 3 \overline{MR}/d_2$, $CL = \bar{x}$ a pro diagram MR bude $UCL = D_4 \overline{MR}$, $CL = \overline{MR}$, $LCL = 0$. Koeficient D_4 je zde 3.269.

Závěr: Potíž s diagramem MR je v tom, že tyto vztahy platí pro nezávislé hodnoty R . Klouzavá rozpětí však nezávislá nejsou, pro výpočet MR_i a MR_{i-1} se použila společná hodnota x_{i-1} . Pro normálně rozdělené hodnoty x je autokorelační koeficient r_{MR} zhruba roven 0.22. Z tohoto důvodu někteří autoři nedoporučují diagram MR konstruovat.



Obr. 10.7 Regulační diagram “x-individual” (horní část) a MR (dolní část).

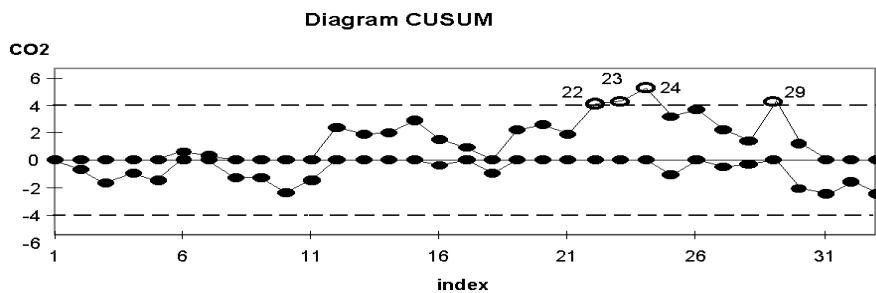
Vzorová úloha 10.4 *Lucasova modifikace regulačního diagramu CUSUM*

Regulační diagram CUSUM v efektivní modifikaci podle Lucase z roku 1976 (není nutné použití posuvné V-masky) se doporučuje především tam, kde je možné využít počítač a kde není k dispozici papírová V-mask, popř. příslušný nomogram. Tento diagram je rovněž založen na metodě kumulativních součtů odchylek od cílové střední hodnoty. 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 zadává uživatel. Hodnota parametru K udává, na jak velké posunutí v jednotkách s má diagram reagovat. Pokud je splněn předpoklad normality a nezávislosti původních dat, je tato metoda velmi účinná. Za porušení pravidel se považuje překročení mezi $\pm h$, 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 pod rozhodnou mez na té straně, kde došlo k překročení. Pokud pak po zásahu dojde k opětovnému překročení meze, zásah nevedl k nápravě. Použití techniky FIR je patrné z obrázků 10.19 a 10.20. Do diagramu se vynášejí hodnoty $S_H(i)$ a $S_L(i)$, kde $S_H(0) = S_L(0) = 0$. Za K se nejčastěji volí 0.5. Pro konstrukci rozhodných mezí se používá $h_j = 4$, nebo $h_j = 5$. Následující tabulka ukazuje hodnoty ARL

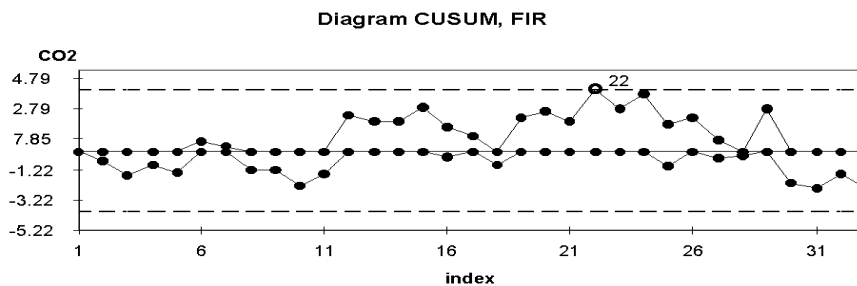
tohoto diagramu ve srovnání se Shewhartovým diagramem (bez uplatnění pravidel pro zvláštní případy).

Porovnání ARL u dvou diagramů, CUSUM a Shewhartova regulačního

Posunutí, s	ARL		
	$h = 4$	$h = 5$	Shewhart
0	168	465	370
0.25	74.2	139	281
0.5	26.6	38.0	155
0.75	13.3	17.0	81.2
1	8.38	10.4	43.9
1.5	4.75	5.75	15.0
2	3.34	4.01	6.30
2.5	2.62	3.11	3.20
3	2.19	2.57	2.00



Obr. 10.19 Diagram CUSUM bez FIR.



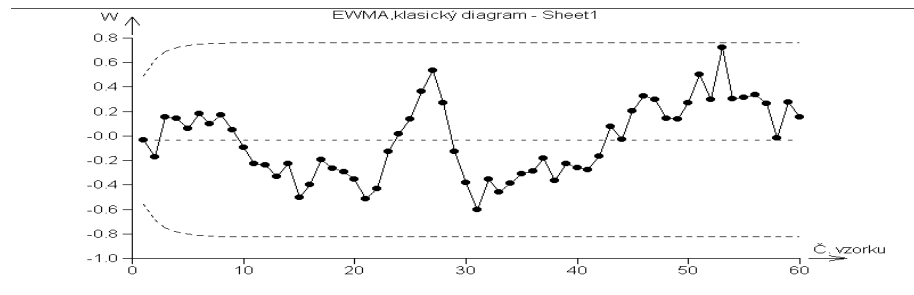
Obr. 10.20 Diagram CUSUM ze stejných dat jako v obr. 10.19, ale s technikou FIR.

Vzorová úloha 10.5 Aplikace diagramů exponenciálně vážených klouza-vých průměrů, EWMA

Diagram EWMA je zkratkou anglického Exponentially Weighted Moving Average, exponenciálně vážené klouza-vé průměry, zvané někdy také exponenciální zapominání. Jeho použití je podobné jako u Shewhartových diagramů. Každý bod diagramu W_j je váženým průměrem nově naměřené hodnoty x_j , případně průměru podskupiny velikosti N a posledního zaznamenaného bodu diagramu W_{j-1} . Základním volitelným parametrem

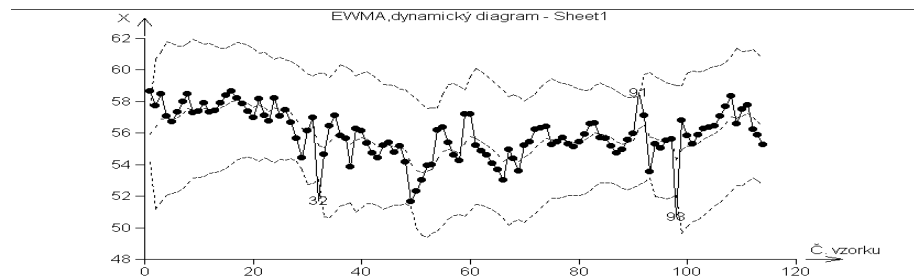
diagramu EWMA je právě váha r , která může nabývat hodnot mezi 0 a 1. Hodnota $r = 1$ odpovídá Shewhartově diagramu, čím nižší je r , tím pomaleji reagují vynášené hodnoty W_j na lokální změny sledovaného procesu. Vhodnou volbou parametru r lze diagram nastavit tak, aby nereagoval na lokální odchylky od předepsané hodnoty tak rychle jako diagram Shewhartův. Používá se tedy s výhodou tam, kde k takovým odchylkám dochází, aniž by se jednalo o poruchu. Na druhé straně má diagram tendenci zvýraznit systematickou dlouhodobější odchylku tím, že se vrací zpět k předepsané hodnotě pomaleji než vlastní měřená veličina. Tato vlastnost je tím výraznější, čím je r menší.

Řešení: Různí autoři se rozcházejí v doporučených hodnotách pro r . Obvykle se hodnota r volí mezi 0.15 a 0.4, nejčastěji $r = 0.25$. Podobně jako u spline lze k určení r pro daná data použít metody minimální střední kvadratické chyby predikce *MEP*. K určení regulačních mezí se využívá odhad rozptylu W_j . Vzhledem k přibližně normálnímu rozdělení W_j lze pro konstrukci regulačních mezí použít pravidlo 3 sigma. Takto definované meze pak odpovídají mezím v Shewhartově diagramu. Mají-li data normální rozdělení s konstantním rozptylem a střední hodnotou, je pravděpodobnost překročení mezí asi 0.25 %.



Obr. 10.21 Klasický diagram EWMA s nekonstantními regulačními mezemi.

Závěr: Výhodná je modifikace diagramu EWMA nazývaná *dynamický diagram EWMA* s jednokrokovou predikcí střední hodnoty a rozptylu. Tato modifikace je určena pro autokorelovaná data a umožňuje konstrukci regulačního diagramu pro procesy s nekonstantní střední hodnotou a nekonstantním rozptylem. Překročení regulačních mezí způsobí pouze náhlá změna střední hodnoty nebo zvýšení rozptylu. Pomalé změny procesu jsou tolerovány. Váhový parametr α se volí 0.05.

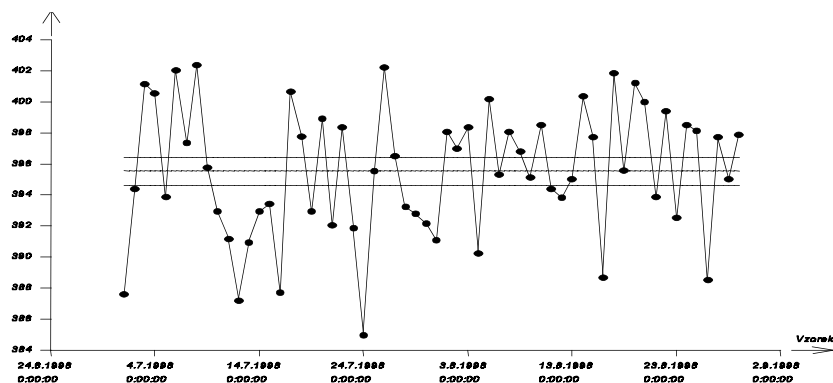


Obr. 10.22 Dynamický regulační diagram EWMA dovoluje pomalé změny střední hodnoty a rozptylu.

Vzorová úloha 10.6 Kontrola tavby v metalurgickém provozu regulačním diagramem

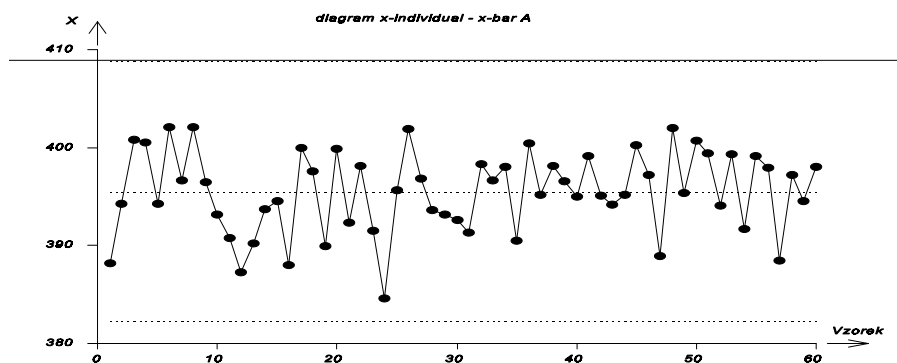
Na úloze C10.1 ukážeme kontrolu tavby v metalurgickém provozu regulačním diagramem, kdy z každé tavby byly odebrány 3 vzorky. Z těchto trojic se má sestrotit Shewhartův regulační diagram "x s pruhem". Vysvětlete jeho nepoužitelnost a navrhněte řešení.

Řešení: Vypočítáme $CL=395.518$; $LCL = 394.603$; $UCL = 396.434$ a sestrojíme regulační diagram, do něhož zakreslíme příslušné průměry, obr. 10.23.



Obr. 10.23 Diagram "x s pruhem".

Řešení: Téměř všechny body jsou mimo regulační meze. Regulační meze se konstruují na základě variability uvnitř podskupiny, která musí být srovnatelná s variabilitou mezi skupinami. Vyčíslíme-li tyto variability pomocí směrodatné odchylky, vyjde pro podskupinu hodnota 0.305, použitá ke konstrukci regulačních mezí, a mezi podskupinami hodnota 4.202.



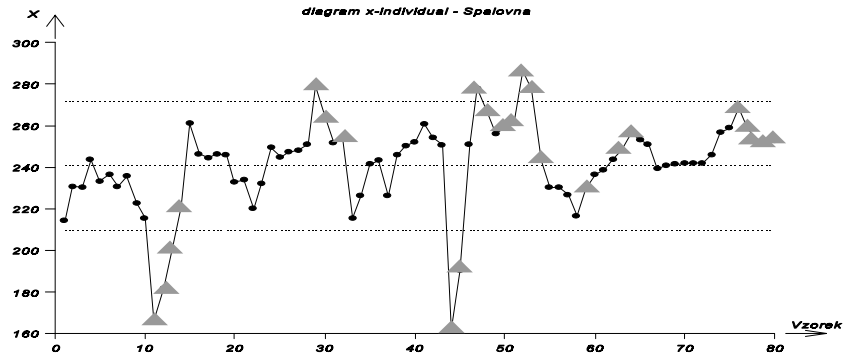
Obr. 10.24 Diagram "x-individual".

Závěr: Není třeba F -testu shody rozptylů, abychom viděli řádový rozdíl, který způsobil nereálnost regulačních mezí. Možnou příčinou tohoto stavu byl chybný odběr vzorku pouze z jednoho místa, což může snížit reprezentativnost podskupiny. Pokud byla tato možnost vyloučena, bylo by zřejmě výhodnější použít diagram pro individuální hodnoty, což by navíc ušetřilo zbytečné odběry, které z hlediska regulačního diagramu přinášely jen málo informace. Diagram "x-individual" je na obr. 10.24.

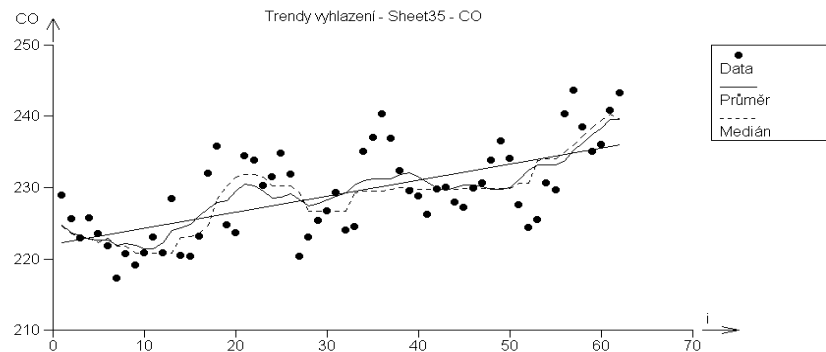
Vzorová úloha 10.7 Chemická analýza složení plyných zplodin

Na úloze C10.2 ukážeme chemickou analýzu složení plyných zplodin, která má být monitorována pomocí regulačního diagramu s cílem detekovat odchylky od statistické stability.

Řešení: Protože se jedná o individuální hodnoty bez opakování, bylo by formálně možné použít diagramu "x-individual". Jako centrální linii lze použít průměr dat, $CL = 240.9$, a regulační meze lze vypočítat z klouzavého rozpětí, $UCL = 271.9$; $LCL = 209.8$. Po konstrukci mezí a doplnění dat získáme následující diagram, obr. 10.25.

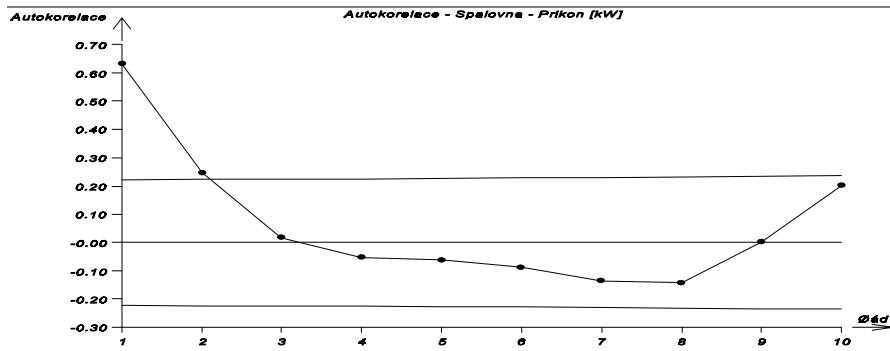


Obr. 10.25 Diagram "x-individual".



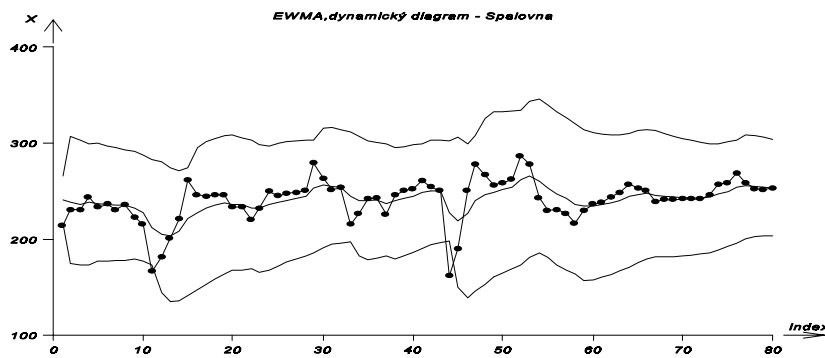
Obr. 10.26 Data s vyznačeným trendem a vyhlazením.

Několikrát překročení regulačních mezí je snad ještě možné vysvětlit poruchami nebo jiným hrubým porušením stability, avšak vysvětlení pro dalších 15(!) dat, která porušují podmínky dané zvláštními případy uvnitř regulačních mezí, je nutno hledat v porušení některého z předpokladů o datech pro konstrukci regulačních diagramů. V grafu na obr. 10.26 je zřejmý statisticky významný lineární trend znázorněný přímkou a kolísání hodnot, které je typické pro autokorelovaná data. Tento předpoklad potvrzuje i graf autokorelace na obr. 10.27, kde autokorelační koeficient prvního a druhého řádu je statisticky významný. Lze tedy konstatovat, že statistickým modelem našich dat s největší pravděpodobností není nezávislé normální rozdělení s konstantní střední hodnotou, jak to vyžaduje konstrukce Shewhartova diagramu "x-individual".



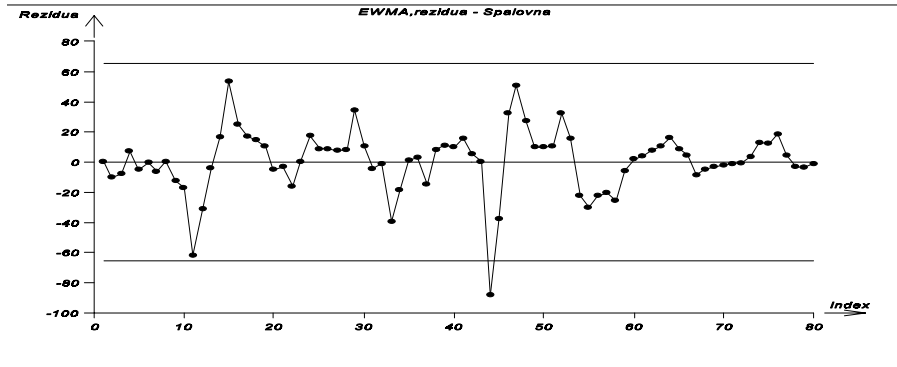
Obr. 10.27 Graf autokorelácie s mezinámami významnosti korelačných koeficientů.

Regulačním diagramem, který připouští autokorelaci i nekonstantnost střední hodnoty, může být například některý model časové řady jako autoregrese AR , klouzavý průměr MA . V praxi často je používán dynamický diagram EWMA s jednokrokovou predikcí obr. 10.28, případně rezidua tohoto diagramu, obr. 10.29.



Obr. 10.28 Dynamický diagram EWMA s jednokrokovou predikcí.

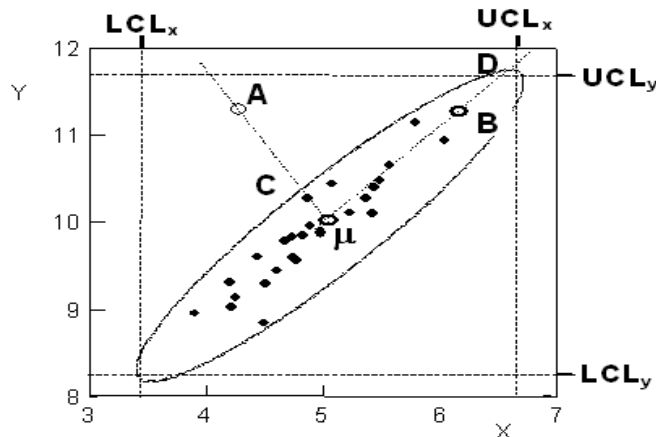
Závěr: Oba poslední diagramy ukazují dva hlavní problémy: bod 11 a bod 44, na něž je třeba se zaměřit při interpretaci. Ostatních 45 problémů detekovaných diagramem "x-individual" jsou zřejmě důsledkem závislosti a trendu v datech. Tento závěr však neznamená, že závislosti nebo trendy v datech se není třeba zabývat. Pokud by se podařilo autokorelaci technologicky vysvětlit a odstranit, dosáhli bychom snížení variability, zvýšení indexu způsobilosti, a tím zlepšení jakosti o faktor $0(1 - r^2)$, tedy v tomto případě zhruba o 25 %, protože autokorelační koeficient 1. řádu je $r_1=0.632$.



Obr. 10.29 Diagram EWMA, rezidua.

Vzorová úloha 10.8 Aplikace Hotellingova regulačního diagramu

Tabulka představuje dvourozměrná data X a Y (plné body), která jsou poměrně silně korelována. Hodnoty UCL a LCL představují regulační meze Shewhartových diagramů, které by se konstruovaly zvlášť pro X a pro Y .



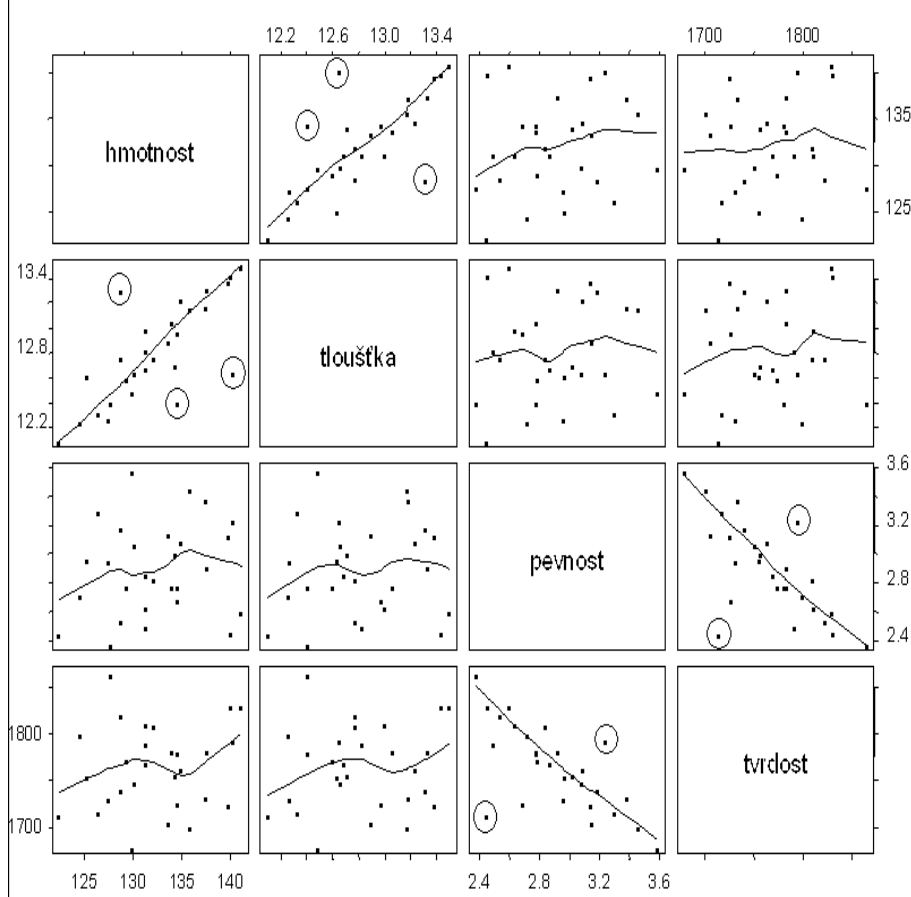
Obr. 10.30 Podstata Hotellingovy statistiky pro korelovaná data.

Předpokládáme-li, že data představují výběr z dvourozměrného normálního rozdělení, pak lze určit eliptickou oblast odpovídající 99.73 % intervalu spolehlivosti dat, tedy oblast, jejíž překročení má pravděpodobnost 0.27 %, což odpovídá kontrolním mezím regulačního diagramu. Bod **B** se nachází uvnitř této elipsy i uvnitř mezí LCL a UCL . Bod **A** je však daleko mimo přípustnou oblast dat, je tedy krajně nepravděpodobný a v Hotellingově diagramu vyvolá výrazné překročení horní meze. Kdybychom však bod **A** zaznamenali v obou Shewhartových diagramech, nacházel by se uvnitř mezí a tato výrazná porucha by byla ignorována. Monitorujte statistickou stabilitu fyzikálních parametrů tablet ve farmaceutickém provozu.

Data:

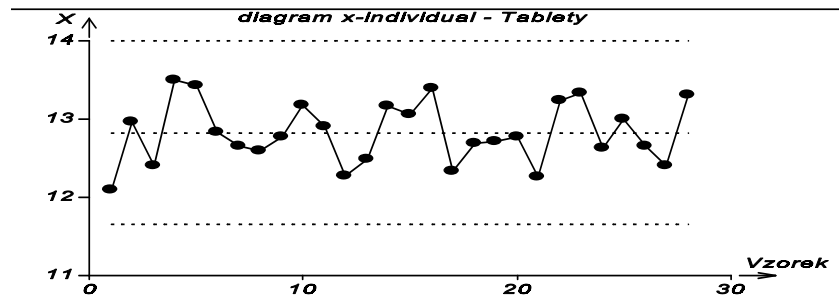
Hmotnost	Tloušťka	Pevnost	Tvrдост
122.4	12.10	2.45	1715
...
128.7	13.31	3.19	1741

Řešení: Tabulka představuje data z lisovny tablet, kde se měřila hmotnost, tloušťka, pevnost a tvrdost. Na obrázcích 10.32 až 10.35 jsou klasické Shewhartovy diagramy pro jednotlivé veličiny. Tyto diagramy nesignalizují žádnou podstatnou odchylku. Na obr. 10.36 je Hotellingův diagram pro všechny čtyři veličiny, který odhaluje výrazné překročení regulační meze na začátku a na konci směny. Obr. 10.31 ukazuje, že měřené veličiny spolu výrazně korelují (tvrdost - pevnost, hmotnost - tloušťka).

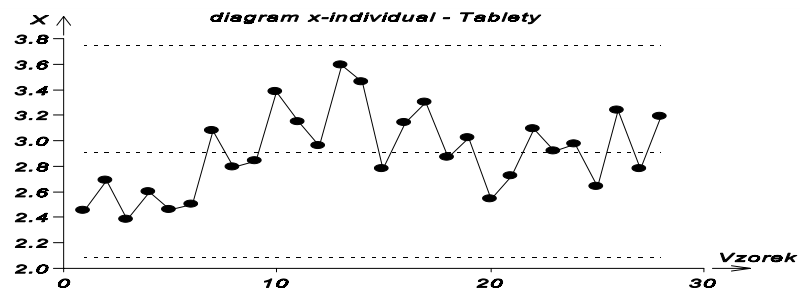


Obr. 10.31 Korelační struktura dat z lisovny (párové korelační).

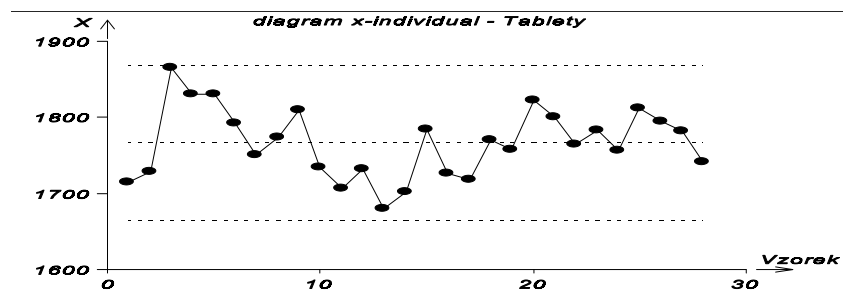
Na následujících čtyřech Shewhartových diagramech, obrázky 10.32 až 10.35, se neprojevily žádné problémy. V párových rozptylových grafech jsou však patrné body, které se vymykají převažujícímu trendu, na obr. 10.31 jsou označeny kroužkem. Tyto body jsou odhaleny pouze Hotellingovým diagramem - obr. 10.36.



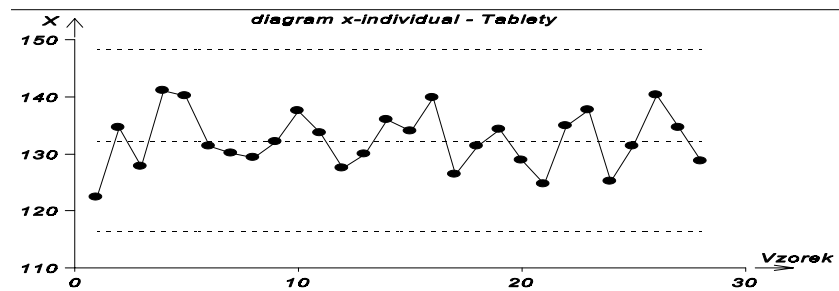
Obr. 10.32 Regulační diagram "x-individual" pro tloušťku.



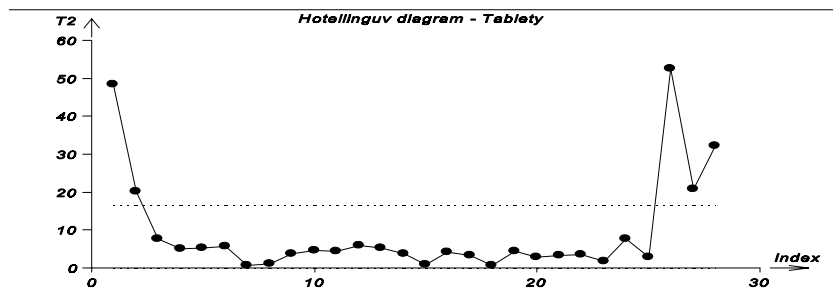
Obr. 10.33 Regulační diagram "x-individual" pro pevnost.



Obr. 10.34 Regulační diagram "x-individual" pro tvrdost.



Obr. 10.35 Regulační diagram "x-individual" pro hmotnost.



Obr. 10.36 Hotellingův diagram pro všechny parametry.

Závěr: Hotellingův diagram jednoznačně odhalil dva fatální body na začátku a tři fatální body na konci směny, které odpovídají zakroužkovaným bodům v obr. 10.31. Shewhartovy diagramy zcela selhaly a žádné fatální body nenalezly.