



Česká metrologická společnost, z.s.
Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

Tel: 221 082 254, 606 957 233

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.spolky-csvts.cz/cms

Metodika provozního měření

MPM 5.1.1/01/25

Aspekty statistické regulace měření / srovnáváním

Podtitul

**Využití základního nástroje řízení kvality pro průběžnou
kontrolu výrobního/technologického procesu**

Praha
Říjen 2025

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2025

Číslo úkolu: VII/3/25

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět metodiky

Metodika řeší vhodnost použití základního nástroje řízení kvality, a to statistickou regulaci měřením nebo srovnáváním. Je to nástroj preventivní, který při správném použití odhalí trendy či jiné nesprávné řešení výroby dříve, než dojde k vyrobení neshodných výrobků, zmetků. Neřeší problémy ve výrobě pomocí výpočtu nejistot měření, ale přesto bude zdůrazněno, jak se má měření provádět, aby bylo možné kontrolovat shodu parametrů výrobku se specifikovanými požadavky.

2 Související normy a metrologické předpisy

Číslo normy	Název	
ČSN 01 0250	Statistické metody v průmyslové praxi. Všeobecné základy	[L1]
ČSN 01 0252	Statistické metody v průmyslové praxi II. Závislosti mezi náhodnými veličinami - korelace a regrese	[L2]
ČSN 01 0253	Statistické metody v průmyslové praxi III. Základní neparametrické metody	[L3]
ČSN IEC 61650	Techniky analýzy dat o bezporuchovosti - Postupy pro porovnání dvou konstantních intenzit poruch a dvou konstantních parametrů proudu poruch (událostí)	[L4]
ČSN ISO 16269-4	Statistická interpretace dat - Část 4: Detekce a ošetření odlehlých hodnot	[L5]
ČSN ISO 16269-7	Statistická interpretace údajů - Část 7: Medián - Odhad a konfidenční intervaly	[L6]
ČSN ISO 16269-8	Statistická interpretace dat - Část 8: Stanovení předpovědních intervalů	[L7]
ČSN ISO 10017	Management kvality - Návod ke statistickým technikám pro ISO 9001:2015	[L8]
ČSN ISO 5479	Statistická interpretace údajů - Testy odchýlení od normálního rozdělení	[L9]

ČSN 01 0222	Aplikovaná statistika. Testy odlehlosti výsledků pozorování	[L10]
ČSN 01 0223	Aplikovaná statistika. Pravidla stanovení odhadů a konfidenčních mezí pro parametry normálního a logaritmicko-normálního rozdělení. Případ úplných výběrů	[L11]
ČSN 01 0224	Aplikovaná statistika. Pravidla stanovení odhadů a konfidenčních mezí pro parametry Weibullova rozdělení	[L12]
ČSN 01 0230	Aplikovaná statistika. Analýza rozptylu	[L13]
ČSN ISO 5725-1	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 1: Obecné zásady a definice	[L14]
ČSN ISO 5725-2	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření	[L15]
ČSN ISO 5725-3	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 3: Mezilehlé míry preciznosti normalizované metody měření	[L16]
ČSN ISO 5725-4	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 4: Základní metody pro stanovení pravdivosti normalizované metody měření	[L17]
ČSN ISO 5725-5	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 5: Alternativní metody pro stanovení preciznosti normalizované metody měření	[L18]
ČSN ISO 5725-6	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 6: Použití hodnot měř přesnosti v praxi	[L19]
ČSN ISO 2854	Statistická interpretace údajů. Odhady a testy středních hodnot a rozptylů	[L20]
ČSN EN ISO 9001:2016	Systémy managementu jakosti – Požadavky	[L21]

ČSN ISO 10012:2003	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L22]
ČSN ISO 3534-1	Statistika - slovník a značky: Pravděpodobnost a obecné termíny	[L23]
ČSN ISO 3534-2	Statistika - slovník a značky: Statistické řízení jakosti	[L24]
ČSN ISO 7873	Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi	[L25]
ČSN ISO 22514	Statistické metody v managementu procesu - Způsobilost a výkonnost -3: 2010 Část 3: Studie výkonnosti stroje pro měřitelná data na diskrétních dílech -7:2014 Část 7: Způsobilost procesů měřen	[L26]
ČSN ISO 11462	Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – část 1: 2002 Prvky SPC – část 2: 2011 Katalog nástrojů a postupů	[L27]
ČSN ISO 7870	Regulační diagramy - 2: 2018 Shewhartovy regulační diagramy - 3: 2014 Přejímací regulační diagramy - 4: 2015 Regulační diagramy CUSUM	[L28]
VDA 5, 3. vydání, 2021	Procesy měření a zkoušení	[L29]
ČSN EN ISO/IEC 17025:2018	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L30]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření parametrů pro vytvoření regulačních diagramů při kontrole hromadné výroby měřením nebo srovnáváním je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, nebo certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

4.1 Charakteristika a princip statistické regulace

Statistická regulace je nejvýhodnější způsob kontroly mezioperační hromadné a sériové výroby. Statistický charakter metody se projevuje tím, že jak časový rozvrh kontrol, tak způsob výběru ke kontrole a rozhodování o kvalitě se řídí předpisy, založenými na předběžném rozboru uvažovaného výrobního procesu a na teoretických základech matematické statistiky.

Statistická regulace znamená **udržování** výrobního nebo technologického **procesu v ustáleném nebo požadovaném stavu**, představuje sledování a řízení výrobního procesu statistickými metodami tak, aby byla udržena jakost výrobků na žádoucí úrovni. Účelem regulace je určit podle výsledků kontroly malého počtu výrobků odebraných z výrobní dávky za určitý časový interval, zda působením nějakého systematického jevu nenastaly takové změny, které by ohrozily splnění požadavků na kvalitu.

Namátková kontrola, která je druhou možnou variantou mezioperační kontroly, je omezena nedostatkem soustavnosti v časovém rozvrhu i ve způsobu kontroly, nedostatkem objektivního rozhodování a evidence o provedené kontrole. Přitom nelze tvrdit, že by statistická regulace kladla větší nároky na kontrolora (který pouze plní jednoduchý předepsaný postup) ve výrobě než kontrola namátková. Statistická regulace má preventivní charakter, umožňuje zásah do výroby ještě před skutečným výskytem zmetků. V tom se liší od pooperační kontroly, která pouze konstatuje, jaká je kvalita dávky po již provedené operaci.

Statistická regulace procesu představuje zpětnovazební systém, který obsahuje čtyři prvky:

- **vlastní proces** jako úplnou kombinaci výrobců, dodavatelů, obsluhy, prostředí, zákazníků, materiálu a výrobních a měřicích metod,
- **informace o procesu** představuje znalost vlastního procesu, jeho proměnnosti a příčin proměnnosti,
- **opatření v procesu** taková, která minimalizují rozdíl nejdůležitějších znaků od technického zadání,
- **opatření na výstupu** znamená udržování výrobního nebo technologického procesu v ustáleném nebo požadovaném stavu, představuje sledování a řízení výrobního procesu statistickými metodami tak, aby byla udržena kvalita výrobků na žádoucí úrovni. Účelem regulace je určit podle výsledků kontroly malého počtu výrobků odebraných

z výrobní dávky za určitý časový interval, zda působením nějakého systematického jevu nenastaly takové změny, které by ohrozily splnění požadavků na kvalitu.

Proces je charakterizován výstupními regulovanými veličinami, které jsou náhodnými veličinami se známým rozdělením o neznámých parametrech. Víme, jaké hodnoty parametru rozdělení charakterizují požadovaný stav procesu. Podstatou statistické regulace je opakované rozhodnutí o tom, která situace nastává:

- 1) na regulovanou veličinu působí jen náhodné vlivy - proces je pod statistickou kontrolou,
- 2) na regulovanou veličinu působí i systematické vlivy - regulovaná veličina nemá parametry rozdělení trvale na požadovaných úrovních, není pod statistickou kontrolou.

Regulovanou veličinou mohou být:

- a) znaky kvality výrobku (rozměr, pevnost, tvrdost apod.),
- b) technologické parametry (chemické reakce, technologické zpracování, tepelné zpracování, hutnictví, sklářství...).

Prostředkem ke statistické regulaci, kam kontrolor zaznamenává výsledky své kontroly, je **regulační diagram**. Na vodorovné ose se nanáší časová pořadí jednotlivých kontrol, ve směru svislé osy hodnoty výběrových ukazatelů. Na regulačním diagramu jsou uvedeny **základní technické údaje** (závod, středisko, výrobní zařízení, název a číslo výrobku, číslo výkresu, výrobní operace, regulovaný znak jakosti, metoda regulace apod.), pod vlastním diagramem se zachycují údaje přidružených znaků kvality, časové údaje a případné závady ve výrobě. Další metodickou pomůckou jsou kontrolní postupy, které obsahují jak schematický návod kontrolních úkonů pro měření jednotlivých znaků kvality, tak i některé části předpisů regulace.

V každém regulačním diagramu jsou zřetelně vodorovnými přímkami vyznačeny **regulační meze**, které se stanoví podle zásad pro zvolenou metodu regulace. Regulační meze představují hodnoty (intervaly), v nichž se mají pohybovat výběrové ukazatele za předpokladu, že je proces stabilní. Regulační meze nejsou technickým předpisem a jsou srovnatelné s dolním a horním tolerančním rozměrem pouze v tom případě, že jde o regulaci jednotlivých hodnot. Regulační meze poskytují tedy určité kritérium pro posouzení stability výrobního procesu. Pracují tak, že dostane-li se výběrový ukazatel mezi regulační meze, pokládáme průběh výrobního procesu za uspokojivý z hlediska stabilizace. Překročí-li hodnota výběrového ukazatele tyto meze, znamená to, že stabilita je porušena.

Na základě zkušenosti z práce s regulačními mezemi vznikla další kritéria. Porušení stability indikuje např. situace, kdy dva nebo více ukazatelů jsou v blízkosti regulačních mezí nebo kdy uspořádání bodů je málo pravděpodobné (např. 8 hodnot za sebou stále na jedné straně od střední hodnoty). V takových případech je nutné hledat příčinu porušení stability a provést opatření, která zaručí návrat do stabilizovaného stavu.

Metody regulace se dělí podle způsobu a podle prostředků, jimiž se provádí kontrola sledovaného znaku. Při regulaci **měření** je znak vyjádřen spojitou kvantitativní veličinou, regulace **srovnáváním** užívá znaky kvalitativní.

Volba vhodných diagramů závisí také na rozsahu výběru v podskupině u regulace měřením a zda je (nebo není) rozsah n konstantní u neshodných jednotek nebo neshod u regulace srovnáváním.

V případě kvantitativních údajů se sestavují vždy 2 typy regulačních diagramů, zaměřené na ukazatele polohy (výběrový průměr, průměr podskupiny nebo medián) a ukazatele rozptýlení (rozpětí nebo výběrová směrodatná odchylka). U regulačních diagramů měřením se předpokládá normální rozdělení, které se má vždy ověřit.

Tab.4.1: Diagramy pro regulaci měření

měřitelné znaky kvality	
n (rozsah výběru v podskupině)	dvojice diagramů
1	ind. hodnoty X_i a klouzavé rozpětí R_{kl}
2 – 10	průměr podskupiny $\bar{X}$ a rozpětí R nebo medián Me a rozpětí R
více než 10	průměr podskupiny $\bar{X}$ a výběrová směrodatná odchylka s

V případě kvalitativních údajů se zjišťuje přítomnost (nebo naopak nepřítomnost) určitého znaku nebo vlastnosti. Vyhodnocuje se pouze 1 diagram, a to buď p -diagram (nebo np -diagram), který je založen na binomickém rozdělení nebo c -diagram (nebo u -diagram), který je založen na Poissonově rozdělení.

Tab.4.2: Diagramy pro regulaci srovnáváním

počitatelné znaky kvality		
	Je počet hodnot n v podskupině konstantní?	Vhodný diagram
neshodné jednotky	ano	np (počet neshodných jednotek v podskupině) p (podíl neshodných jednotek v podskupině)
	ne	p (podíl neshodných jednotek v podskupině)
neshody	ano	c (počet neshod v podskupině) u (průměrný počet neshod na jednotku v podskupině)
	ne	u (průměrný počet neshod na jednotku v podskupině)

Při stanovení regulačních mezí i jednotlivých metod regulace měřením je nutno vycházet ze skutečných vlastností výrobního zařízení a schopnosti dodržet technologické předpisy. Při regulaci měřením je sledován měřitelný znak kvality pomocí přesných měřidel; pro měření, kdy stačí pouze znalost, zda parametr výrobku vyhovuje nebo nevyhovuje, převažuje měření etalonem nebo měřicími přípravky (tj. při regulaci srovnáváním).

Regulační diagram jako grafický prostředek využívá principy statistických testů významnosti. Při aplikaci regulačních diagramů mohou nastat dva možné typy chyb (jako při testování hypotéz), a to:

- a) riziko zbytečného signálu - chyba 1. druhu (α), která nastává, pokud zůstane výrobní proces ve statisticky zvládnutelném stavu, ale hodnota výjimečně padne mimo regulační meze. Dojde k nesprávnému pokusu o hledání příčiny neexistujícího problému.
- b) naopak při riziku chybějícího signálu - chybě 2. druhu (β) je výrobní proces ve stavu statisticky nezvládnutelném, ale změřená hodnota je náhodou uvnitř regulačních mezí.

Před zahájením aplikace regulačního diagramu se provede:

1. volba znaku kvality,
2. analýza výrobního procesu, která stanoví:
 - druh a oblast příčin, které mohou způsobit nepravidelnost,
 - vliv nepřiměřených požadavků ve specifikaci,
 - způsob kontroly a oblast její působnosti,
 - ostatní faktory, které mohou ovlivnit výrobní proces,
3. volba logických podskupin, která závisí na podrobných znalostech výrobních podmínek. Při změnách vlastností podskupin lze analyzovat vlivy, které ke změnám vedly.
4. kontrolní intervaly a rozsahy výběrů nejsou obecně stanoveny, závisejí např. i na nákladech za odběr vzorků. Někdy je vhodnější odebírat větší počet menších podskupin v kratších časových intervalech, neboť lépe vyjadřuje změnu v kvalitě výrobního procesu.

Teorie regulačních diagramů rozlišuje dva typy variability:

a) **variabilita 1. typu**, působí-li na regulovanou veličinu jen náhodné vlivy, má regulovaná veličina stálé rozdělení pravděpodobnosti s parametry v požadovaných mezích. Výrobní proces je ve statisticky zvládnutelném stavu.

b) **variabilita 2. typu**, pokud na regulovanou veličinu působí i systematické vlivy, regulovaná veličina nemá parametry rozdělení pravděpodobnosti na trvale požadovaných úrovních. Příčiny mohou být v nehomogenitě materiálu, poškozeném nástroji, v nevhodných postupech nebo nepravidelnému chodu výroby. Tento typ představuje reálnou změnu ve výrobním procesu.

Regulace měřením předpokládá normální rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny, parametry vstupních regulačních podmínek jsou skutečná hodnota μ a směrodatná odchylka σ .

1) Stanoví se požadovaná úroveň střední hodnoty regulované veličiny;
volí se z vnějších technických požadavků nebo se odhaduje dlouhodobý průměr hodnot regulované veličiny

$$\mu_0 \approx \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (4.1)$$

2) Odhad rozptylu

a) z výběrové směrodatné odchylky

$$\sigma \approx s = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.2)$$

Pro dostatečnou přesnost odhadu je vhodné volit $m \geq 200$. Protože odhad veličin je součástí rozboru výrobního procesu, který není dosud ustálený, je obtížné získat časovou řadu o $m=200$ hodnotách, aby se neměnila v té době variabilita regulované veličiny. Proto se pro odhad volí k skupin po n hodnotách a předpokládáme, že v každé skupině (podskupině, výběru) je stejná variabilita:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (4.3)$$

Pro dostatečnou přesnost odhadu platí $k(n-1) \geq 200$.

b) Odhad σ pomocí průměrného výběrového rozpětí $\bar{R}$:

$$\sigma \approx \bar{R} / d_2 \quad (4.4)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (4.5)$$

kde

a $1/d_2$ je dáno v tabulce normy pro $2 \leq n \leq 10$.

Pro $n > 10$ se tento výpočet odhadu nepoužívá.

4.2 Etapy statistické regulace

Existují tyto etapy statistické regulace:

a) **přípravná etapa** – rozbor výrobního procesu:

zjišťujeme, zda proces je statisticky stabilní, tzn., že zjišťujeme příčiny eventuální nestability, zda a jak je možné proces stabilizovat. Použitými nástroji jsou histogramy, diagram stability ($\bar{x} \pm \sigma$).

b) **Vlastní regulace** obsahuje 2 (výjimečně 3) etapy:

1.etapa – uvedení procesu do požadovaného stavu (léčení procesu);

protože proces není ustálen a dochází často ke změně parametrů rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny a podmínek regulace.

Využívají se jednoduché regulační diagramy, analýza příčin (Ishikavův diagram, brainstorming) a testy zvláštních příčin.

1.etapa se využívá ke zpřesnění odhadu parametru rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny a k revizi požadavků kladených na proces.

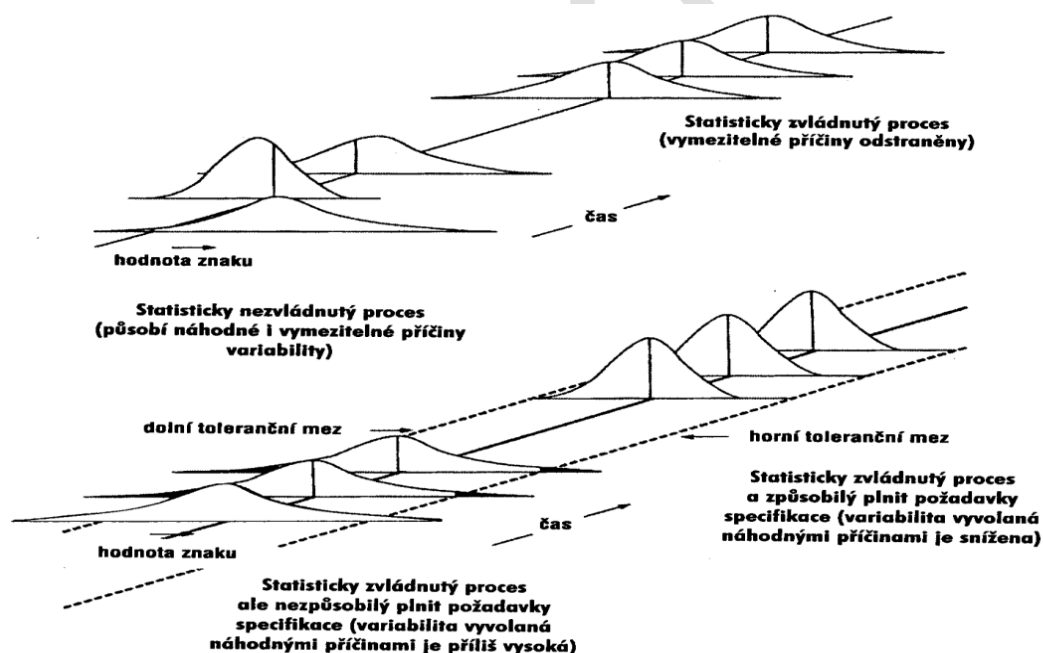
2.etapa – udržování procesu v požadovaném stavu:

pracuje se dlouhodobě se stálými regulačními diagramy, jejich úkolem je zjistit občasné výkyvy v procesu a vrátit proces do původního stavu (řízení musí být účinné a hospodárné).

Nástroje: diagram stability (regulační diagram) je prostředkem ke zjištění, zda je proces statisticky stabilní.

3.etapa – zlepšování procesu:

využívá nástroje jako v 1. etapě. Tato etapa bývá řazena do vyšších nástrojů ŘJ.



Obr. 4.1: Ukázka nastavení regulačních diagramů podle jednotlivých etap

4.3 Typy regulačních diagramů

Shewhartovy regulační diagramy

Shewhartovy regulační diagramy (nejčastěji používané diagramy) napomáhají při

zjišťování kolísání údajů, získaných z opakujících se dějů a umožňují kritéria pro odhalení jejich příčin. Shewhartův regulační diagram pracuje s údaji z výrobního procesu v přibližně pravidelných intervalech. Intervaly mohou být časové nebo kvantitativní. Obvykle se vytvářejí podskupiny stejných výrobků nebo stejných služeb, které mají stejné měřitelné jednotky a stejný rozsah podskupiny. (Je snazší vybrat a určit kvalitu 20 podskupin s 10 kusy výrobků než souboru 200 kusů výrobků najednou). V každé podskupině se určuje aritmetický průměr $\bar{X}$, rozpětí R , nebo směrodatná odchylka.

Existují Stewartovy diagramy:

- měřením, je-li regulovaná veličina spojitá,
- srovnáváním, je-li regulovaná veličina diskrétní

a pro jejich regulační diagramy existují 2 odlišné situace:

- a) základní hodnoty jsou stanoveny:** účelem je identifikovat, zda hodnoty z podskupin o n pozorováních se liší od hodnot základního souboru více než je možné náhodností. Hodnoty, které považujeme za hodnoty základního souboru (např. $\bar{X}_0, \sigma_0$), se stanovují vyšetřením předběžných údajů, které jsou typické pro analyzovaný proces,
- b) základní hodnoty nejsou stanoveny:** regulační diagramy pracují s údaji, které jsou z výběrů (např. $\bar{X}, \sigma$), kde kolísání hodnot může být způsobeno i jinými než náhodnými vlivy.

Diagram (viz obr. 4.2) se skládá z centrální přímky CL (obvykle průměrná hodnota některého sledovaného znaku) a dvou statisticky stanovených regulačních mezí, které se nazývají horní (UCL) a dolní (LCL) regulační mez.

Jak bylo již uvedeno, Shewhartův systém vyhodnocování statistické regulace pracuje pouze s chybou 1.druhu.

Shewhartovy regulační diagramy měřením

Regulační meze jsou ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od centrální přímky, kde σ je směrodatná odchylka příslušného souboru, z něhož se odebírají podskupiny. Variabilita uvnitř podskupiny se používá jako míra náhodného kolísání. K odhadu σ se použijí výběrové směrodatné odchylky s (nebo příslušná výběrová rozpětí). Hodnota σ nezahrnuje kolísání od jedné podskupiny ke druhé, ale pouze uvnitř podskupin. Možnost překročení mezí $\pm 3\sigma$ je u stabilizovaného procesu pouze 0,3 %, proto se tyto **meze** nazývají také **akční** (v regulačním diagramu jsou vyjádřeny zónou **A**).

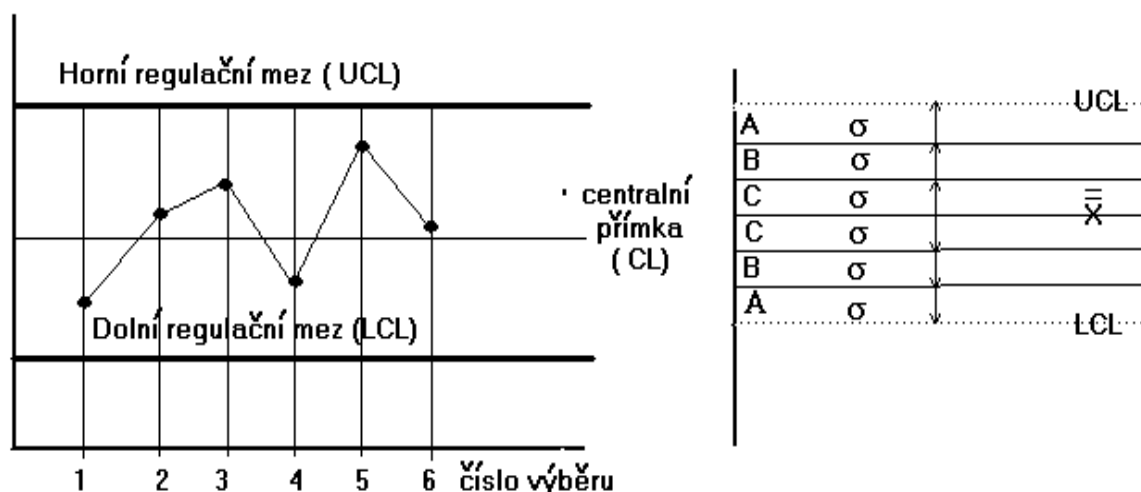
Často se do regulačních diagramů značí meze $\pm 2\sigma$, které se označují jako **meze varovné**, neboť každá výběrová hodnota, která padne mimo tyto meze, varuje, že výrobní proces může být statisticky nevládnutelný (vyznačeno jako zóna **B**).

Zóna **C** je v diagramu vyznačena v mezích $\pm \sigma$, naměřené výběrové hodnoty jsou v tomto intervalu s pravděpodobností 68.27 %.

Diagram průměru ukazuje, kde je centrován výrobní proces a udává stabilitu procesu, ukazuje nežádoucí kolísání mezi podskupinami z hlediska jejich průměrů.

Diagramy rozpětí nebo **směrodatných odchylek** představují kolísání uvnitř

podskupin, jsou ukazatelem variability výrobního procesu.



Obr. 4.2: Shewhartův regulační diagram

Na následujících obrázcích (viz obr. 4.3) je schematicky znázorněna skupina osmi doplňkových testů použitých pro interpretaci určitých seskupení v Shewhartových diagramech. Ačkoliv tento obrázek může být chápán jako základ skupin testů, ten, kdo dělá analýzu, by měl pohotově reagovat na každé zvláštní seskupení bodů, které by mohlo ukazovat na vliv vymezitelných příčin v příslušném výrobním procesu. Proto by tyto testy měly být chápány jako jednoduchá praktická pravidla pro zásah, kdykoliv se ukazuje přítomnost vymezitelných příčin. Náznak jakéhokoliv stavu specifikovaného v těchto testech je určitou předzvěstí přítomnosti vymezitelných příčin kolísání, které musí být diagnostikovány a opraveny.

Poznámka 1:

- Těchto osm testů bývá naprogramováno i v různých SW, které vyhodnocují statistickou regulaci.

Poznámka 2:

- Norma [L28] uvádí jen čtyři testy:

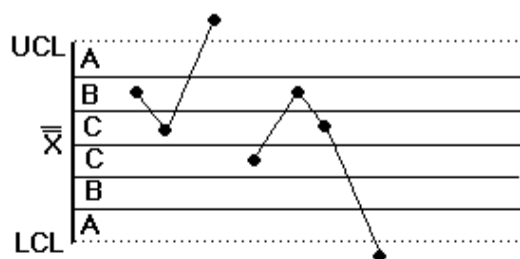
Test 1 ukazuje statisticky nezvládnutý stav.

Test 2 ukazuje, že střední hodnota procesu nebo variabilita se změnila vůči centrální přímce.

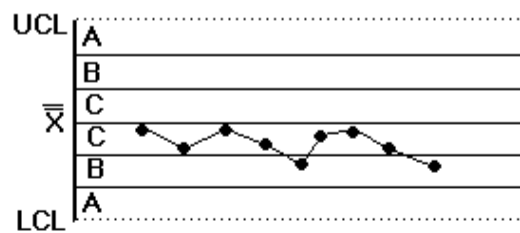
Test 3 ukazuje systematický lineární trend v procesu.

Test 4 ukazuje nenáhodné nebo cyklické seskupení.

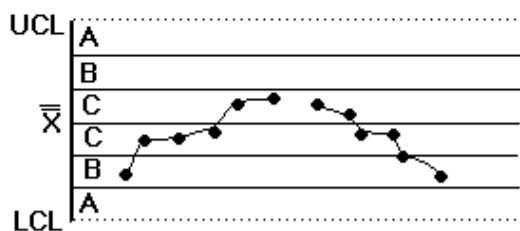
Tyto testy slučují vlastnosti v uvedených osmi testech.



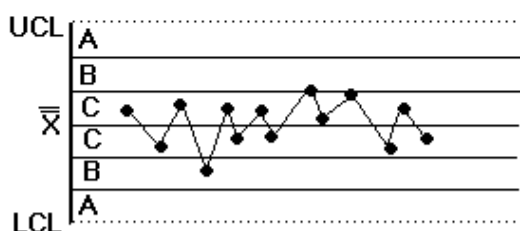
Test 1: Jeden bod leží za zónou A



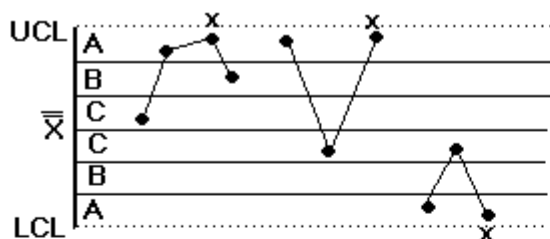
Test 2: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní



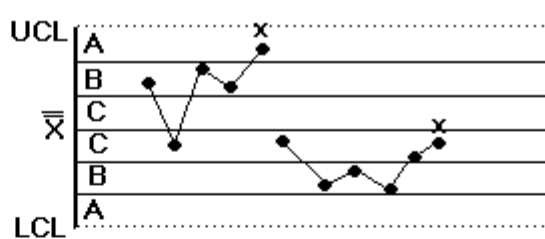
Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících



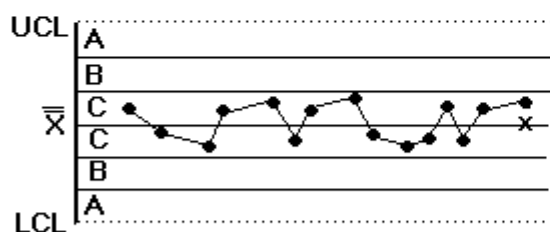
Test 4: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů



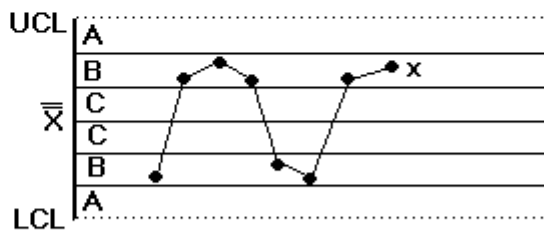
Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni



Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní



Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)



Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou avšak žádný bod neleží v zóně C

Obr.4.3: Testy seskupení pro vymezitelné příčiny kolísání

Shewhartovy regulační diagramy srovnáváním

Používají se pro zaznamenání přítomnosti (nebo nepřítomnosti) určité vlastnosti (znaku) na každé jednotce v podskupině a napočítává se, kolik jednotek tento znak vykazuje (nebo naopak nevykazuje).

Výsledkem je záznam do jednoho diagramu (předpokládá se rozdělení, které má jeden nezávislý parametr).

Pro binomické rozdělení se použije:

- diagram pro podíl neshodných jednotek (p) nebo
- diagram pro počet neshodných jednotek (np).

Pro Poissonovo rozdělení:

- diagram pro počet neshod (c) nebo
- diagram pro počet neshod na jednotku (u).

Tab. 4.3: Diagramy srovnáváním, když nejsou stanoveny základní hodnoty

Centrální příčka	Regulační meze 3σ
$\bar{p}$	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
$\bar{c}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$
$\bar{u}$	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$

Tab.4.4: Diagramy srovnáváním, když jsou stanoveny základní hodnoty

Centrální příčka	Regulační meze 3σ
$\bar{p}_0$	$\bar{p}_0 \pm 3\sqrt{\bar{p}_0(1-\bar{p}_0)/n}$
$n\bar{p}_0$	$n\bar{p}_0 \pm 3\sqrt{n\bar{p}_0(1-\bar{p}_0)}$
$\bar{c}_0$	$\bar{c}_0 \pm 3\sqrt{\bar{c}_0}$
$\bar{u}_0$	$\bar{u}_0 \pm 3\sqrt{\bar{u}_0/n}$

Kromě nejpoužívanějších Shewhartových diagramů existují i jiné typy, např. regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi, přejímací regulační diagramy, CUSUM diagramy, CCC diagramy aj.

4.4 Hodnocení způsobilosti procesu

Způsobilost výrobního/měřicího procesu je určena celkovým kolísáním zjišťovaných údajů, které je dáno pouze náhodnými příčinami. Dříve než je stanovena způsobilost procesu, musí být tento proces uveden do statisticky zvládnutého stavu. Pomocí X - a R -diagramů se identifikují tzv. vymezitelné příčiny kolísání. O statisticky zvládnutelném

procesu hovoříme, pokud je alespoň posledních 25 podskupin/hodnot ve statisticky zvládnutém stavu.

Určení indexů způsobilosti C_p , C_{pk} a C_{pm}

1. metoda klasická (platí pro normální rozdělení):

a) **Index způsobilosti C_p** charakterizuje možnosti procesu dané jeho variabilitou.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.6)$$

kde USL horní specifikační (toleranční) mez,
LSL dolní specifikační (toleranční) mez,
 σ směrodatná odchylka.

b) **Index způsobilosti C_{pk}** zohledňuje variabilitu i umístění hodnot znaku v tolerančním poli, charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze:

- je-li předepsána horní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (4.7)$$

- je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (4.8)$$

- jsou-li předepsané obě meze:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}, C_{pL}\} \quad (4.9)$$

kde μ je střední hodnota sledovaného znaku.

c) **Index způsobilosti C_{pm}** (Taguchiho index způsobilosti):

Pokud není variabilita charakterizována rozptylem kolem střední hodnoty ale kolem optimální hodnoty (která musí ležet ve středu tolerančního rozpětí):

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (4.10)$$

kde T je cílová hodnota tolerančního pole.

Pokud cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jen 1 toleranční mez, zavádí se index

$$C_{pm} = \min\left\{\frac{T - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{USL - T}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\} \quad (4.11)$$

Porovnání indexů C_{pm} a C_p umožní zjistit, nakolik je dosažený výsledek ovlivněn variabilitou hodnot a nakolik posunem střední hodnoty μ vůči cílové hodnotě T .

Tab.4.5: Hodnoty indexů C_p a C_{pk} v závislosti na tolerančních mezích (centrovaný proces)

Toleranční meze	Hodnota indexů C_p, C_{pk}	Pravděpodobnost vzniku neshodných jednotek při rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ [ppm]
$\mu \pm \sigma$	$\geq 0,333$	317 400
$\mu \pm 2\sigma$	$\geq 0,667$	45 600
$\mu \pm 3\sigma$	$\geq 1,00$	2 700
$\mu \pm 4\sigma$	$\geq 1,33$	63,4
$\mu \pm 5\sigma$	$\geq 1,67$	0,6
$\mu \pm 6\sigma$	$\geq 2,00$	0,002

Proces se považuje za způsobilý, dosahuje-li hodnota indexů alespoň 1,33. Některé firmy mají vyšší požadavky na způsobilost procesu (kdy μ je uprostřed tolerančního pole), např. při metodě „six sigma“.

2. metoda výpočtu C_p, C_{pk} s využitím kvantilů:

- je-li předepsána horní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - Q_{0,50}}{Q_{0,99865} - Q_{0,50}} \quad (4.12)$$

- je-li předepsána dolní toleranční mez:

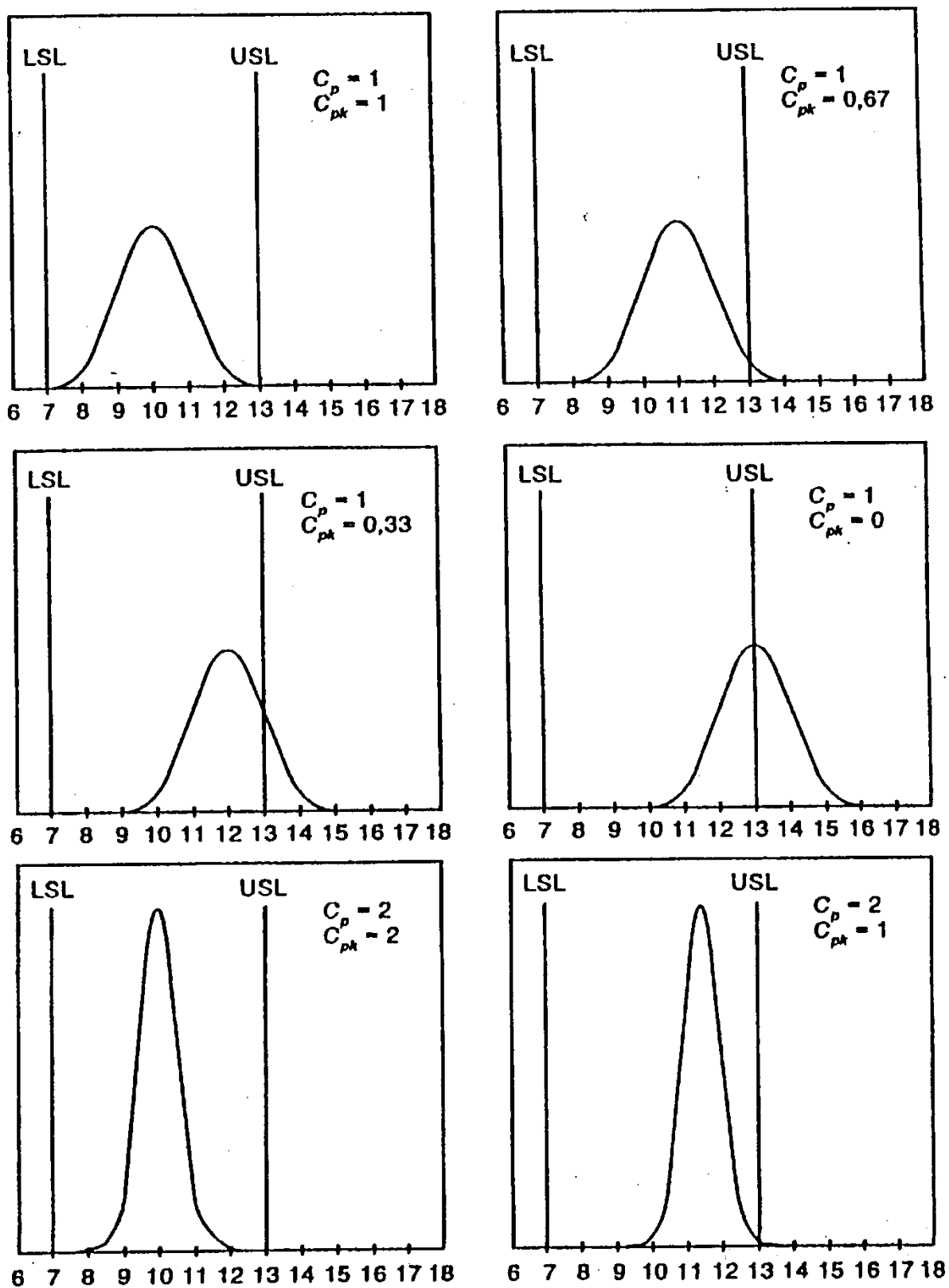
$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{Q_{0,50} - LSL}{Q_{0,50} - Q_{0,00135}} \quad (4.13)$$

- jsou-li předepsané obě meze:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}, C_{pL}\} \quad (4.14)$$

kde $Q_{0,50}$ je medián příslušného rozdělení, pro normální rozdělení je zároveň střední hodnotou.

Závěrem je nutné zdůraznit, že ukazatele způsobilosti jsou náhodnými veličinami, které mají své rozdělení hustoty pravděpodobnosti a konkrétní vypočtená hodnota se v daném procesu vyskytuje s určitou pravděpodobností při určité hladině významnosti.



Obr. 4.4: Příklady rozdělení hodnot sledovaného znaku v tolerančních mezích
a indexy C_p a C_{pk}

Ukazatelé výkonnosti P_p a P_{pk}

Zatímco ukazatelé způsobilosti C_p , a C_{pk} vycházejí z inherentní (krátkodobé) variability, ukazatel výkonnosti představuje dlouhodobou způsobilost procesu:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{TOT}} \quad (4.15)$$

kde σ_{TOT} je směrodatná odchylka, která se vztahuje k celkové variabilitě procesu.

Stejně jako u ukazatele způsobilosti i zde můžeme definovat ukazatele výkonnosti vztahující se k parametru polohy, a to v případě jednostranných mezí:

- je-li předepsána horní toleranční mez:

$$P_{pk} = P_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma_{TOT}} \quad (4.16)$$

- je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$P_{pk} = P_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{TOT}} \quad (4.17)$$

- jsou-li předepsané obě meze:

$$P_{pk} = \min\{P_{pU}, P_{pL}\} \quad (4.18)$$

Zavedení těchto ukazatelů vychází opět z předpokladu normálního rozdělení.

Porovnání ukazatelů způsobilosti C_p a výkonnosti P_p

Protože obecně platí $\sigma \leq \sigma_{TOT}$ a jen u procesu statisticky zvládnutého platí $\sigma = \sigma_{TOT}$, pak také za předpokladu normality platí

$$C_p \geq P_p \quad (4.19)$$

Odhady ukazatelů způsobilosti a výkonnosti

Pro stanovení odhadů ukazatele způsobilosti C_p popř. odhadů ukazatele výkonnosti P_p musíme stanovit z daného procesu pomocí naměřených dat odhady směrodatných odchylek σ popř. σ_{TOT} . V případě, kdy získaná naměřená data nemají normální rozdělení, pak původní předpoklady ztrácejí smysl, protože při stanovení ukazatele způsobilosti či výkonnosti při normálním rozdělení hustoty pravděpodobnosti se využívala směrodatná odchylka σ , popř. σ_{TOT} .

Pokud bylo rozdělení normální $N(\mu, \sigma^2)$, pak se v intervalu $\mu \pm 3\sigma$ vyskytuje 99,73 % hodnot.

Pokud naměřená data nevykazují normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, pak definujeme ukazatel výkonnosti opět pomocí kvantilů, ve jmenovateli bude kvantilové rozpětí s hustotou pravděpodobnosti

$$0,99870 - 0,00135 \cong 0,9973,$$

které pokrývá hodnoty znaku kvality stejně jako 6σ u normálního rozdělení:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{Q(0,99865) - Q(0,00135)} \quad (4.20)$$

Pokud bude ukazatel výkonnosti P_{pk} definován pomocí mediánu a kvantilů, bude mít použití jak pro normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, tak pro hodnocení dat, která normální rozdělení nevykazují:

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - Me}{Q(0,9987) - Me}, \frac{Me - LSL}{Me - Q(0,00135)}\right) \quad (4.21)$$

Další možností je vhodná transformace dat původních na data s normálním rozdělením.

Pokud bychom chtěli hodnotit **způsobilost měřidel**, která jsou použita při statistické regulaci, využijeme ukazatele C_g a C_{gk} :

$$C_g = \frac{0,2 T}{6 s} \quad (4.22)$$

$$C_{gk} = \frac{0,2 T - |\bar{x} - x_m|}{6 s} \quad (4.23)$$

Způsobilost strojů se provádí, pokud potřebujeme porovnat jednotlivé stroje, které používáme ve výrobním procesu; hodnotí se ukazateli C_m a C_{mk} .

a) výpočet ukazatelů pomocí aritmetického průměru a směrodatné odchylky:

Aritmetický průměr je odhadem střední hodnoty

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.24)$$

výběrová směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.25)$$

Výpočet ukazatele způsobilosti C_m je dán vztahem

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (4.26)$$

Ukazatel způsobilosti, je-li známa jen dolní toleranční mez:

$$C_{mL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \quad (4.27)$$

Ukazatel způsobilosti, je-li známa jen horní toleranční mez

$$C_{mU} = \frac{USL - \bar{x}}{3s} \quad (4.28)$$

Ukazatel způsobilosti C_{mk} je dán minimální hodnotou z údajů C_{mL} a C_{mU} .

$$C_{mk} = \min\{C_{mL}, C_{mU}\} \quad (4.29)$$

b) výpočet ukazatelů způsobilosti strojů C_m a C_{mk} pomocí mediánu Me a kvantilů (tato metoda je doporučována jako vhodnější) na hladině významnosti α :

$$C_m = \frac{USL - LSL}{Q_{1-\alpha/2} - Q_{\alpha/2}} = \frac{USL - LSL}{Q_{0,99865} - Q_{0,00135}} \quad (4.30)$$

kde Q je kvantil pro hladinu významnosti, obvykle $\alpha = 5\%$.

Je-li známa dolní toleranční mez

$$C_{mL} = \frac{Me - LSL}{Me - Q_{\alpha/2}} = \frac{Me - LSL}{Me - Q_{0,00135}} \quad (4.31)$$

Nebo je-li známa horní toleranční mez

$$C_{mU} = \frac{USL - Me}{Q_{1-\alpha/2} - Me} = \frac{USL - Me}{Q_{0,99865} - Me} \quad (4.32)$$

Ukazatel způsobilosti C_{mk} je dán minimální hodnotou z C_{mL} a C_{mU} .

$$C_{mk} = \min\{C_{mL}, C_{mU}\} \quad (4.33)$$

4.5 Přesnost měření a měřicích přístrojů

Přesnost celého měřicího procesu je souhrnem přesnosti měřidla, přesnosti měřicí metody a přesnosti operátora, který s měřidlem zachází. Je třeba zdůraznit všeobecný rys měření: měřicím zařízením a zvolenou metodou se na měřeném objektu určuje velikost jisté veličiny. Vlivem zpětného působení měřicího zařízení na měřený objekt dochází vždy ke změnám poměrů v měřeném objektu. To je důvod, proč nelze změřit pravou (skutečnou) hodnotu dané veličiny. Při každém reálném procesu měření dochází k chybám. S výsledky měření se pak musí zacházet vždy jako s náhodnými (přibližnými) hodnotami, a v tom smyslu je také zpracovávat.

4.6 Nejistoty měření

Nejistota měření (výsledku měření) je takový nezáporný parametr, který charakterizuje rozptýlení hodnot přiřazených k měřené veličině na základě určité použité informace. Nejistota se udává nejen u výsledku měření, ale i u parametrů měřidel, u hodnot použitých konstant, atd.

Nejistota měření se obecně skládá z mnoha složek. Základem určování nejistot je statistický přístup k vyhodnocení. Předpokládá se určité (např. normální) rozdělení pravděpodobnosti, které udává, jak se může měřená hodnota odchýlovat od skutečné (konvenční) hodnoty, popř. je uvedena pravděpodobnost, s jakou se skutečná hodnota může nacházet v intervalu daném nejistotou. Mírou nejistoty je **směrodatná odchylka**.

4.6.1 nejistoty typu A (značené u_A), které jsou způsobeny většinou náhodnými chybami, a určí se statistickou analýzou naměřených hodnot získaných za přesně definovaných podmínek měření. Zde se uplatňuje přístup matematicko-statistický.

4.6.2 nejistoty typu B (značené u_B) jsou způsobeny známými nebo odhadnutelnými příčinami. Stanoví se postupy, které nejsou přímo definovány ve standardu. U složitějších zařízení při požadování zvýšené přesnosti je nutné provést podrobný rozbor vzniku chyb a z nich stanovit nejistotu způsobem B. Příčin vzniku standardních nejistot hodnocených způsobem B může být více a výsledná standardní nejistota u_B je dána jejich geometrickým součtem. Pokud jsou zdroji nejistot různé veličiny, musíme stanovit koeficienty převodu (označované c nebo A) tak, aby všechny dílčí nejistoty měly stejné jednotky / rozměry.

Výpočet dílčích nejistot u_B závisí jen na pravděpodobnostním přístupu.

4.6.3 Kombinovaná standardní nejistota – u_C

je dána geometrickým součtem standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B.

Při normálním rozdělení hustoty pravděpodobnosti $N(\mu, \sigma^2)$ měřené veličiny za daných podmínek udává interval, ve kterém se vyskytuje pravá hodnota měřené veličiny s pravděpodobností $P = 68,27\%$:

$$u_X = \sqrt{u_{AX}^2 + u_{BX}^2} = \sqrt{u_{AX}^2 + \sum_{j=1}^m c_j^2 u_{Zj}^2} \quad (4.34)$$

4.6.4 Rozšířená (celková) nejistota – U

se zavádí, pokud je požadována větší pravděpodobnost výskytu skutečné hodnoty

$$U = k_U \cdot u_X, \quad (4.35)$$

kde k_U koeficient rozšíření (pokrytí) platí pro normální rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

Tab. 4.6: Hodnoty koeficientu rozšíření k_U v závislosti na intervalu rozdělení hustoty pravděpodobnosti $N(\mu, \sigma^2)$

Rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ pravděpodobnost P (%)	Koeficient rozšíření k_U (-)
68,27	1
95,45	2
99,00	2,58
99,73	3

V rámci WECC platí dohoda, že se používá $k_U = 2$, tzn., že skutečná hodnota se nachází v daném intervalu s pravděpodobností $P = 95\%$.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

5.1 Hlavní měřidla

Hlavní měřidla jsou ta, která měří veličinu vlastnosti příslušného dílu/produktu (např. posuvka délku, multimetr odpor, teploměr teplotu atd.).

Některé vlastnosti jsou společné pro všechny měřicí systémy:

- systém měření musí být statisticky stabilní; tzn., že působí jen náhodné příčiny,
- variabilita měřicího systému musí být menší oproti variabilitě výrobního procesu a specifikované toleranci. V opačném případě by měření nemělo smysl.
- Jednotlivá měření postupují v menších krocích v porovnání s variabilitou výrobního procesu a specifikovanou tolerancí, teoreticky přírůstkový krok měření nemá být větší než 0,1 z menší hodnoty technické tolerance a variability výrobního procesu.

- Statistické vlastnosti systému měření se mohou měnit v závislosti na vlastnostech měřeného produktu, jak je uvedeno již dříve, i největší variabilita systému měření musí být malá vůči variabilitě výrobního systému.

5.2 Pomocná měřidla a pomůcky

Pomocná měřidla umožňují provádět interní měření za stejných podmínek, popř. se používají k interní kontrole měřidla před a po měření.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Efektivní systém managementu měření zabezpečuje odpovídající způsobilost měřicího zařízení i procesů měření a je významný z hlediska dosažení odpovídající kvality produktu a řízení rizika nesprávných výsledků měření.

Cílem systému managementu měření je schopnost řídit na přijatelné úrovni rizika, že výstupem měřicího zařízení a procesu měření by mohly být nesprávné výsledky. Riziko nesprávných výsledků musí být udržováno na úrovni přijatelné pro stabilní a způsobilý výrobní proces. [L21] [L22] [L32]

V rámci systému managementu měření identifikovat dva základní procesy:

1. proces měření, kde za vstup lze považovat identifikaci a kvantifikaci požadavků zákazníka na měření a produkt, popis funkčních charakteristik procesu měření a za výstup lze považovat míru přesnosti (správnosti, shodnosti) změřeného výsledku, získaného v laboratoři nebo výrobním procesu;
2. proces metrologické confirmace měřicího vybavení, kde za vstup lze považovat metrologické požadavky zákazníka a metrologické charakteristiky měřicího vybavení a za výstup je považována metrologická confirmace měřicího zařízení.

7 Metrologické meze využití metody měření

Celý měřicí systém obsahuje přístroje, které měří danou veličinu. Způsob, jak je měřicí systém instalován a provozován, může mít v některých případech velký vliv na hodnotu sledované veličiny. Proto se musí na stanovišti obsluhy (kontrola operátorů) zachovávat standardní podmínky, tj. musí být zajištěny stejné montážní (instalace) a provozní podmínky, aby byla zajištěna minimalizace rozdílů.

U veličin, kde je hodnota závislá na okolní teplotě, musí být okolní teplota ve zkušebním prostředí podle příslušné normy.

Použité přístroje mají mít práh citlivosti, který v případě přímého měření umožní naměření nejméně 10-krát citlivěji hodnotu než je očekávaná variabilita měřicího procesu (např. možnost měření napětí voltmetrem s přesností $\pm 0,1$ V, je-li předpokládána variabilita procesu měření napětí řádově ± 1 V).

Metrologická confirmace musí zajistit, že metrologické charakteristiky měřicího zařízení budou splňovat metrologické požadavky na proces měření. Metrologické charakteristiky měřicího vybavení mohou být podle měřicího vybavení charakterizovány rozsahem,

chybou správnosti/přesností, stálostí, hysterezí, driftem, rozlišitelností, prahem citlivosti atd.

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Každý měřicí i kontrolní systém (viz §3 zákona 505/1990 Sb. O metrologii v platném znění a vyhláška č. 345/2002 Sb. v platném znění) musí být kontrolovány ověřením nebo kalibrací. U stanovených měřidel je doba ověření uvedena ve vyhlášce č. 345/2002 Sb..

8.1 Shromáždění informací o měřeném výrobku

Při řešení VDA musí mít měřené výrobky, měřicí systémy i prostředí a operátoři po celou dobu experimentu zajištěné konstantní podmínky. Musí být omezeny takové podmínky, které mají nepříznivý vliv na výsledky měření (např. změny hluku, vysoké/nízké teploty, silná elektrická nebo magnetická pole).

8.2 Definování kontrolních bodů a polohy pozorovatele

Při řešení regulačních diagramů pracují všichni operátoři ve stejné poloze vůči měřicímu zařízení i měřenému dílu.

8.3 Příprava měřené soustavy

Před měřením se připravuje plán řešení statistické regulace podle konkrétních podmínek (výběr měřicího přístroje/systému nebo kalibru, počet dílů v podskupině, četnost měření za hodinu, směnu apod.)

8.4 Příprava měřicího přístroje

Měření se provádí stanovenými nebo pracovními měřidly, (u statistické regulace srovnáváním kalibry), která mají platné ověření nebo kalibraci. Před měřením provádíme vizuální kontrolu přístroje a provede se v případě potřeby i interní kontrola nastavení přístroje.

9 Postup měření

9.1 Doplnkové měření

Toto měření se provádí pouze v případě, kdy je nutné doplnit nějaké chybějící informace.

9.2 Hlavní měření

Měření se provádí podle norem pro statistickou regulaci pro měření/srovnávání výrobků, dílů apod., při čemž nesmí být zanedbán požadavek, že měřidlo musí mít lepší rozlišitelnost než měřený parametr. Stanovení vhodnosti měřidla/kalibru je závislé na tom, podle jakého typu diagramu (měřením, srovnáváním) se kontrola výrobku provádí.

Zvolí se, zda se budou řešit regulační diagramy měřením (tab. 4.1) nebo srovnáváním (tab. 4.2) a vypočte se (nebo je dána) centrální přímka CL a regulační meze UCL a LCL. Využívají se etapy statistické regulace (odst. 4.2). Po grafickém znázornění se do grafu zaznamenávají hodnoty jednotlivých podskupin. Četnost a velikost podskupin je dána typem výroby a volí se po dohodě s konstruktory a technologi (tab. 4.1). Na grafu je vidět, zda je proces již ve statisticky zvládnutém stavu nebo je třeba ještě odstranit vymezipitelné příčiny (obr. 4.3) a splnit požadavky specifikace (pokud je ještě příliš vysoká variabilita). Je-li proces dlouhodobě ve statisticky zvládnutém stavu, může se proces zlepšovat a hodnotit pomocí ukazatelů způsobilosti a výkonnosti (odst. 4.4).

9.3 Vyhodnocení měření

Měření se vyhodnocuje obvykle některým validovaným software. Pokud není takový SW k dispozici, musí se postupovat podle jednotlivých vztahů, které jsou uvedeny v odst. 4.1, 4.4 a 4.6.

10 Stanovení nejistoty měření

10.1 Metodika stanovení nejistot měření

$$\text{Standardní nejistota } u_C = \sqrt{u_{kal}^2 + u_W^2 + u_{sys}^2} \quad (10.1)$$

kde u_{kal} nejistota kalibrace,
 u_W nejistota seřízení referenčního měřidla a opakované směrodatné odchylky (chyby),
 u_{sys} nejistota získaná ze systematických odchylek.

10.2 Příklad

Příkladem je řešení regulačních diagramů měřením, Pro dvojici regulačních diagramů se zde volí medián a rozpětí.

Pro výpočet regulačních mezí a vytvoření 2 regulačních diagramů použijeme Shewhartovy diagramy měřením, viz *tab. 4.1* (koeficienty A a D jsou zjištěny v tabulce normy [L28]).

Výsledky měření tloušťky slídových disků v 0,01mm

(k = 15 podskupin rozsahu n = 5 jednotek)

1	14	11	11	16	15	13	14	11	14	12	10	10	8	13	7
2	8	10	12	12	12	8	12	10	10	10	12	10	12	8	8
3	12	13	16	17	14	15	13	8	12	12	8	8	10	11	14
4	12	8	14	15	10	15	10	16	9	14	10	8	8	14	13
5	8	10	9	13	7	8	16	10	7	10	12	10	10	12	11
Me	12	10	12	15	12	13	13	10	10	12	10	10	10	12	11
R	6	5	7	5	8	7	6	8	7	4	4	2	4	6	7

Výpočet průměrné hodnoty Me:

$$\bar{Me} = (12 + 10 + 12 + \dots + 12 + 11) / 15 = 172 / 15 = 11,47$$

Výpočet průměrné hodnoty R:

$$\bar{R} = (6 + 5 + 7 + \dots + 6 + 7) / 15 = 86 / 15 = 5,73$$

Výpočet přirozených regulačních mezí pro Me:

$$UCL_{Me} = \bar{Me} + A_4(n) \bar{R} = 11,47 + 0,69 \cdot 5,73 = 15,42$$

$$LCL_{Me} = \bar{Me} - A_4(n) \bar{R} = 11,47 - 0,69 \cdot 5,73 = 7,52$$

$$CL_{Me} = \bar{Me} = 11,47$$

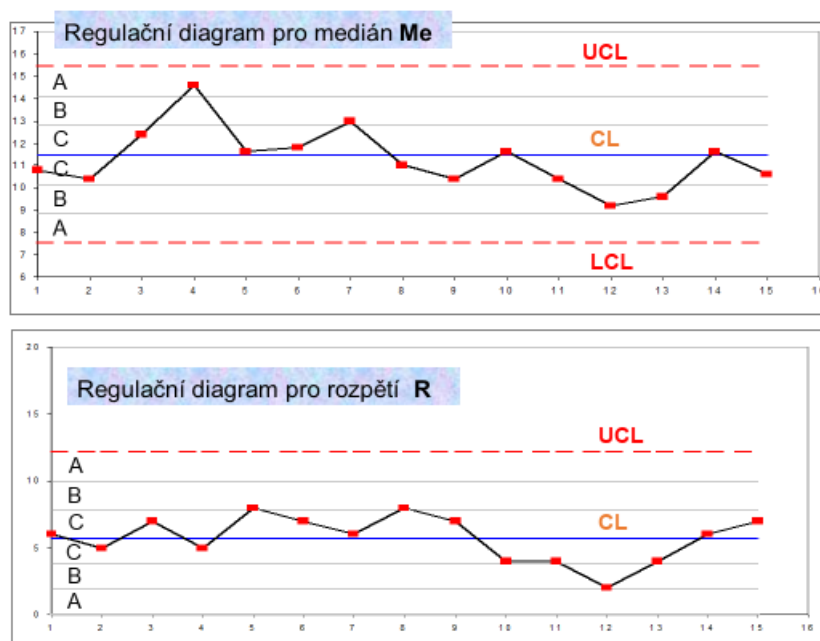
Výpočet přirozených regulačních mezí pro R:

$$UCL_R = D_4(n) \bar{R} = 2,114 \cdot 5,73 = 12,11$$

$$LCL_R = D_3(n) \bar{R} = 0 \cdot 5,73 = 0$$

$$CL_R = \bar{R} = 5,73$$

Vypočteno: $\bar{Me} = 11,47$ a $\bar{R} = 5,73$;vyhledáme: $A_4(5) = 0,69$; $D_4(5) = 2,114$; $D_3(5) = 0$



Ze zakreslených průběhů v obou diagramech je patrné, že proces je pod statistickou kontrolou (viz *obr.4.3*).

Nejistota kalibrace měřicího přístroje

$$u_{kal} = U_{kal} / k_{kal} = 0,026 / 2 = 0,013 \text{ mm}$$

Nejistota seřízení referenčního měřidla a opakované směrodatné odchylky (chyby)

$$u_W = 0,040 \cdot 0,577 = 0,031 \text{ mm}$$

Nejistota získaná ze systematických odchylek měřicího přístroje/systému

$$u_{sys} = 0,577 \cdot B_i = 0,577 (x_g - x_m) - 0,577 \cdot 0,0148 = 0,00854 \text{ mm}$$

Standardní nejistota $u_C = \sqrt{(169 + 961 + 72,93) \cdot 10^{-6}} = 34,68 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

11 Záznamy o měření

Protokol o provozním měření hodnot pro regulační diagramech má mít jedinečné kódové označení pro jeho jednoznačnou identifikaci. Jednotlivé strany protokolu mají být očíslovány.

Příklad struktury protokolu o provozním měření, viz níže.

A. Identifikační údaje

A1 Název projektu;

A2 Druh měření (měřené veličiny, typ měření);

- A3 Objednatel;
- A4 Zpracovatel;
- A5 Osoby provádějící měření;
- A6 Datum a čas měření.

B. Podklady

- B1 Seznam vstupních podkladů (projektová dokumentace, fotodokumentace);
- B2 Seznam použitých technických norem a právních předpisů.

C. Prostředí, okolí

- C1 Popis posuzovaného místa, měřidel, popř. operátorů;
- C2 Výrobky, na kterých se měření provádí (typ, označení, atd.).

D. Měřená soustava

- D1 Popis zdroje nebo zdrojů zahrnutých do referenčních hodnot;
- D2 Popis provozních podmínek.

E. Parametry prostředí

- E1 Popis meteorologických podmínek, pokud to měření vyžaduje (tlak, vlhkost);
- E2 Teplota prostředí.

F. Měřicí přístroje

- F1 Hlavní měřicí přístroje (podle druhu měřené veličiny, typ, výrobce, číslo, ověření nebo kalibrace);
- F2 Pomocné měřicí přístroje (teploměr, vlhkoměr apod.).

G. Měření

- G1 Stav měřené soustavy;
- G2 Typ měření, časové intervaly měření (referenční, dlouhodobý);
- G3 Měřené charakteristiky, u kombinovaných jejich složky;
- G4 Kontrolní měření;
- G5 Naměřené (popř. korigované) hodnoty (tabulka);
- G6 Nejistoty měření;
- G7 Stanovení požadovaných korigovaných hodnot s vyjádřením rozšířené nejistoty.

H. Vyhodnocení měření

- H1 Odstraní se všechna data, která obsahují nežádoucí události;
- H2 Provede se úprava neúplných nebo poškozených dat;
- H3 Stanoví se kombinovaná nejistota u jednotlivých charakteristik pro konkrétní měření;
- H4 Porovnání výsledků s požadavky legislativy;
- H5 Zhodnocení měření (zda vyhovuje/nevyhovuje měřicí systém/operátor pro daný druh měření);
- H6 Podpis zodpovědné osoby.

12 Péče o metodický postup

Originál metodického postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele nebo metrolog organizace.

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.