

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



Pojem **neurčitost** byl zaveden německým fyzikem Wernerem Heisenbergem (1901–1976), a postupně pronikl do většiny vědních oborů. Platí, že čím přesněji určíme jednu z konjugovaných vlastností, tím méně přesně lze určit druhou, a to bez ohledu na to, jak přesné máme přístroje.

Rakouský matematik, narozený v Brně, Kurt Gödel dokázal, že princip neurčitosti, resp. neúplnosti, může být k užtku i v matematice. Gödelovy věty o neúplnosti představovaly radikální změnu představ o možnostech matematiky. Dlouhou dobu byla matematika považována pro svoji přesnost za dokonalý vzor pro ostatní vědy. Gödel díky matematické logice odvodil a dokázal mimo jiné větu „existence nejistoty je neodstranitelnou součástí matematiky“. Předmětem sporů mezi vědci je i otázka, zda tato věta neplatí i pro jiné obory, než je matematika, viz známý Einsteinův aforismus: „Čím lépe matematické zákony popisují realitu, tím méně jsou přesné a čím jsou přesnější, tím hůře popisují realitu“ [1.11].

Od této doby se začala v matematice objevovat celá řada zobecnění, ať už se jedná o teorii množin nebo teorii míry. Klasická teorie množin nabyła zobecnění v teorii fuzzy množin, zde zmiňme Zadehův princip inkompability: „S rostoucí složitostí systému klesá naše schopnost formulovat přesná a významná tvrzení až k jistému prahu, za nímž jsou přesnost a relevance vzájemně se vylučujícími charakteristikami“ [1.12]. Pojmem „**fuzzy systém**“ rozumíme systém, jehož proměnné (jedna nebo některé z nich) nabývají hodnot (stavů), které nejsou definovány ostrými čísly, ale jsou definovány slovními hodnotami (fuzzy množinami). Tyto proměnné jsou tedy jazykové proměnné.

Měření každé fyzikální veličiny je provázáno jistou neurčitostí. Její příčina tkví v konečné rozlišovací schopnosti každého skutečně reálného měřicího přístroje, kterým tuto veličinu měříme. Proto výsledkem měření nemůže být reálné číslo, protože reálné číslo má nekonečný počet desetinných míst. To nejsme schopni přečíst, ani zaznamenat nebo s ním dále pracovat. Díky rozlišovací schopnosti libovolného měřicího přístroje dochází ke kvantování, které je průvodním jevem skutečného pozorování a měření reálných dějů. Neurčitost, která je důsledkem konečné rozlišovací schopnosti jakéhokoliv skutečného měřicího přístroje, se nazývá **vynucená neurčitost**.

Obdobně byla zobecněna zmíněná klasická **teorie míry**, a to rozšířením o různé typy neaditivních měř. V současné době se nalézají stále nové typy neaditivních měř a fuzzy množin, čímž roste rozmanitost teorie neurčitosti [1.11], [1.12]. Této problematice se týká i vědní obor metrologie, která je základem jednotného a přesného měření v oblastech vědy, průmyslu, hospodářství i státní správy.

V současné době je rozvíjen tzv. **paradigmatický přístup** ve vztahu k vývoji vědeckého poznání. Jeho zakladatelem je americký vědec Thomas Samuel Kuhn (1922–1996), který ve svém nejslavnějším díle „Struktura vědeckých revolucí“ vysvětluje vývoj vědy pomocí tzv. vědeckých revolucí, při nichž dochází k přehodnocování základů dosavadních poznatků. Tím, že jedinec nebo skupina odborníků jsou schopni upoutat svými obecně uznávanými vědeckými výsledky skupinu budoucích odborníků, přechází

nová odborná veřejnost k novému paradigmatu, tzn. modelu nového řešení daného problému.

Významným teoretikem v oblasti komunikace, teorie řízení a informatiky byl Claude Elwood Shannon (1916–2001), absolvent MIT, který se během svého života zabýval jak studiem matematických vztahů (zejména práce v oblasti genetiky), tak pracoval i v různých aplikačních oborech a na hranicích mezi nimi začal budovat teorii informace. Tomuto vědci se často stávalo, že znovu objevil již některé dříve známé principy, které většinou definoval precizněji (např. vzorkovací teorém). Jeho hlavním přínosem do **teorie informace** je zavedení pojmu entropie do matematiky a informatiky. Informační **entropie** je logaritmus počtu stavů, ve kterých se systém (řídící nebo měřicí) může nacházet.

Mírou neurčitosti je veličina – informační **entropie** H , která je funkcí převrácené hodnoty pravděpodobnosti P výskytu náhodného jevu

$$H = f\left(\frac{1}{P}\right). \quad (1.2.1)$$

Neurčitost náhodného jevu klesá s rostoucí pravděpodobností jeho výskytu. Neurčitost jistého jevu (nastane s pravděpodobností $P = 1$) je rovna nule. Neurčitost prázdného jevu (nastane s pravděpodobností $P = 0$) je nekonečně velká.

Množství informace $I(X)$ obsažené ve zprávě je rovno míře neurčitosti zprávy – entropii $H(X)$, která se přijetím zprávy odstraní. Je tedy nepřímo úměrná pravděpodobnosti $P(X)$ výskytu daného jevu obsaženého ve zprávě X

$$I(X) = H(X) = f\left[\frac{1}{P(X)}\right]. \quad (1.2.2)$$

Shannon zavedl v definičním vztahu pro informaci logaritmus o základu 2, takže dostáváme vztah

$$I(X) = H(X) = \log_2 \left[\frac{1}{P(X)} \right] = -\log_2 P(X). \quad (1.2.3)$$

Jednotkou množství informace je bit [b] nebo později zavedený shannon [Sh]. Jeden bit je nejmenší množství informace, kterou zpráva může obsahovat. Tuto informaci nese zpráva o jevu, který obsahuje dva stavy se stejnou pravděpodobností výskytu.

S využitím kapacity informačního kanálu Shannon formuloval několik dalších důležitých teorémů. Lze uvést též Shannonův index, který se používá k měření rozmanitosti dat.

Jak uvádí autor prof. George J. Klír (*1932, český vědec dlouhodobě působící v USA) „Stále častěji se ukazuje, že se lze na problematiku neurčitosti a nejistot dívat v širších souvislostech, např. z pohledu zobecněné teorie informace“ [1.1], [1.10], [1.11].

Metrologie je vědní a technický obor, který se v širším smyslu zabývá měřením. V užším slova smyslu je to disciplína, která se zabývá zajišťováním jednotnosti a přesnosti (tj. shodnosti a správnosti) měření. Obsahem metrologie jsou zejména měřicí jednotky (soustava jednotek a jejich realizace pomocí etalonů), vlastnosti měření (metody, zpracování výsledků, teorie chyb a nejistot), vlastnosti měřidel a měřicích přístrojů. Metrologie se zabývá také stanovením fyzikálních a technických konstant.

Věda o měření (metrologie) představuje systematické zkoumání, organizaci a využití vhodných metod, pomocí kterých se shromažďují informace z okolního světa.

3.1 Členění metrologie

Vědu o měření je možné rozdělit do dvou základních skupin, a to:

I) oblast teorie měření

- teorie veličin studuje vlastnosti sledovaného jevu, objektu nebo procesu s cílem optimalizace množství získané informace,
- teorie modelování soustav se zabývá vytvořením vhodného modelu, který obsahuje potřebné vlastnosti,
- teorie a diagnostika chyb a nejistot, problémy testování a simulace,
- teorie odhadu umožňuje získat konkrétní náhradu prvotních chybějících informací, zkoumá modely náhodných vlivů, které zatěžují dané měření tak, že někdy nemůžeme získat „přesný“ výsledek. Zabývá se také zákonitostmi, které umožňují vybrat hypotézu zabezpečující minimální chybu měření.

II) oblast měřicí techniky

zahrnuje veškeré technické prostředky, kterými získáváme informace ze sledovaného objektu (tzn. sběr, převod, přenos, zpracovávání, vyhodnocení, záznam a zobrazení informace).

Klasifikace měřidel znamená do jisté míry totéž co jejich třídění, tedy řazení těchto objektů do skupin podle jistých hledisek, ale současně také posuzování způsobilosti pro určitý účel. Z tohoto pohledu hovoříme také o kategorizaci měřidel. K metrologické kvantifikaci potřebujeme měřicí prostředky. Měřicí prostředek představuje fyzicky vše neživé, co potřebujeme k provedení měření.

Měřicí prostředky dělíme na

1. **Měřidla** – zařízení používaná k měření buď samostatně nebo ve spojení s dalšími přídatnými zařízeními tvoří ucelená měřicí zařízení nebo systémy, které slouží k měření,
 - 1.1 **míra** – měřidlo, kterým lze během jeho používání reprodukovat trvalým způsobem jednu nebo více známých hodnot dané veličiny, při jehož používání nedochází

k pohybu žádné z jeho funkčních částí (např. závaží, odměrný válec, délková měřidla),

- **míra soběstačná** (např. odměrný válec, délková měřidla) a **nesoběstačná** (např. závaží),
- **míra s jednou** (např. závaží) nebo s **více** (např. délková měřidla) **hodnotami**.

1.2 **měřicí přístroje** – zpravidla se používají k přeměně veličiny měřené (např. neelektrické) na jinou (elektrickou) veličinu, která je s měřenou veličinou vázána známým vztahem, a používají se pro indikaci, registraci nebo regulaci této veličiny,

1.3 **měřicí transduktory** (transformátory) – měřicí prostředky, kterými měníme jednu hodnotu nějaké veličiny v jinou hodnotu téže veličiny (např. pokud zanedbáme vliv ztrát, předpokládáme, že měřicí transformátor má konstantní výkon na primární i sekundární straně, a proto se součin napětí a proudu nemění, i když se změní hodnota některé z veličin).

2. **Pomocná měřicí zařízení** – technické prostředky, které sice k finálnímu měřicímu úkonu neslouží, ale jsou k provedení měření zapotřebí (např. spojovací elementy, usměrňovače, termostaty, stabilizátory, ovládací členy, SW pro řízení měřicích systémů).

Metrologii lze členit podle řešených problémů na dílčí disciplíny

- a) **Teoretická (vědecká) metrologie** řeší teoretické otázky měření (např. teorie fyzikálních veličin) a dělí se dále podle metrologických veličin nebo podle měřicích metod.
- b) **Aplikovaná (praktická) metrologie** se zabývá měřením určité veličiny (např. metrologie teploty, metrologie času) nebo měřením v určitém oboru (metrologie elektrických veličin, strojírenská, chemická, lékařská apod.).
- c) **Obecná metrologie** se zabývá problémy, které jsou společné všem oborům měření bez ohledu na jednotlivé měřené veličiny (např. soustava SI, zpracování a posuzování výsledků, problémy chyb a nejistot měření, obecné problémy měřicí soustavy, hodnocení způsobilosti měřidel, obecné vlastnosti a kategorizace měřicích prostředků).
- d) **Legální metrologie** souvisí s legálními aspekty metrologického charakteru, zajišťuje měrový pořádek vyhlášením měřicích jednotek, stanovováním měřicích metod a příslušným dohledem, což provádí pomocí měřicích předpisů právně-technického charakteru.
- e) **Státní metrologie** je zabezpečována úřady řízenými státem.
- f) **Podniková metrologie** se zabývá řešením této problematiky v organizacích. Řeší v konkrétních podmínkách podniku zabezpečování metrologického pořádku v rámci jejich systému kvality.

Rozdělení etalonů z hlediska uspořádání

Skupinový etalon – používá se tam, kde je horší časová stálost; výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem hodnot jednotlivých etalonů (použití u tlaku, sekundárních etalonů elektrického odporu, elektrického napětí).

Samostatný etalon – má dostatečnou časovou stálost po celou dobu intervalu kalibrace; jeho hodnota není závislá na ovlivňujících podmínkách a časově proměnných vlastnostech.

POZNÁMKA: *Na příslušném stupni nebývá jediný etalon, ale zpravidla několik (kromě základního etalonu i jeho kopie, u primárních etalonů je nazýváme svědecké kopie).*

3.8.2 Návaznost etalonů a měřidel

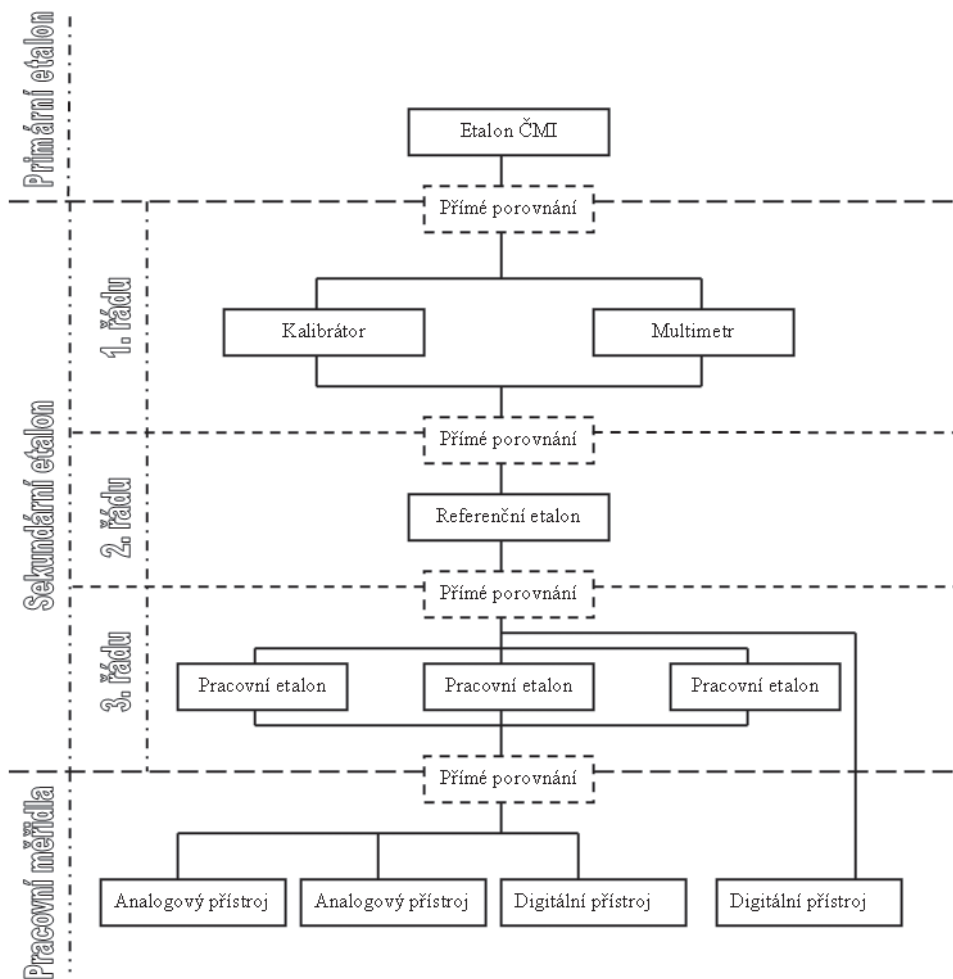
Návaznost je vlastnost měřidla prokázat vztah k příslušným etalonům, od nejbližšího vyššího až po státní, a to pomocí nepřerušného řetězce porovnávání.

Návaznost se vypracovává zvláště pro každou fyzikální nebo technickou veličinu. Ukazuje, jak je zajištěna návaznost měřidel jednotlivých veličin na primární etalony.

Návaznost měřidel se skládá z grafické a textové části, grafickou část (viz obr. 3.1) tvoří tři úrovně:

- a) pole primárních etalonů,
 - b) pole sekundárních etalonů,
 - c) pole pracovních měřidel.
- řády sekundárních etalonů jsou uváděny vertikálně, nejvýše je postaven sekundární etalon prvního řádu,
 - pole sekundárních etalonů s příslušnými vazbami na pracovní měřidla musí podávat úplnou a jednoznačnou informaci o použitých měřicích přístrojích (jednoznačná identifikovatelnost),
 - pole pracovních měřidel má obsahovat nejčastěji používaná měřidla seskupená dle druhu, přesnosti a měřicího rozsahu.

Textová část – doplňuje a upřesňuje údaje grafické části; má obsahovat úplný název, podrobnou specifikaci určení návaznosti, vazby na části schémat návaznosti jiných veličin, apod. Jsou popsány etalony různých řádů, pracovní měřidla různých druhů, rozsahů, přesností a metody přenosu hodnoty jednotky dané veličiny z měřidel výše postavených na měřidla níže postavená.



Obr. 3.1 Obecné schéma návaznosti měřidel

3.8.3 Etalonáž základních jednotek SI soustavy

Po rozdělení ČSFR v r. 1993 na dva samostatné státy bylo nutné vybudovat a vyba-vit postupně nové pracoviště primární etalonáže ČR. Český metrologický institut zve-řejňuje na svých stránkách státní etalony včetně jejich vlastností a garantovanou nejistotou. Číselné označení etalonu doplňuje kód, který charakterizuje postavení eta-lonu [3.16]:

- ECM – schválený a vyhlášený etalon ČR,
- ECR – etalon ČMI, referenční pro ČR,

4.1 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.

Obecně platí požadavek měření, že absolutní chyba $\Delta \rightarrow 0!$, jinak by měření nemělo smysl.

4.1.1 Rozdělení chyb podle příčiny vzniku

- a) **Chyby metody** (Δ_m , δ_m) jsou většinou korigovatelné, neboť jde o systematické chyby (způsobené volbou postupu měření, provedením zapojení, apod.), které vznikají vzájemným působením měřicího přístroje a měřeného obvodu:
 - zapojením přístroje do obvodu se připojí do obvodu přídavný rezistor, kondenzátor nebo cívka (podle charakteru daného měřicího přístroje),
 - měřicí přístroj koná v obvodu práci, a proto odebírá energii z měřeného signálu. Spotřeba přístroje bývá udána výrobcem ve watttech, VA, Ω/V , apod.).
- b) **Chyby měřicích přístrojů** (základní a přídavné) jsou dány vlastnostmi přístrojů a nedokonalostí jejich výroby i vlivem okolí.
 - Základní chyby měřicích přístrojů jsou zahrnuty v třídě přesnosti. Je to maximální dovolená chyba (MPE), pokud se přístroj používá podle pokynů a za podmínek udaných výrobcem (teplota, tlak, a vlhkost vzduchu, cizí elektromagnetické pole, poloha, druh měřených veličin apod.).
 - Pokud nejsou nebo nemohou být dodrženy podmínky stanovené výrobcem, dochází k přídavným chybám, které mohou i několikanásobně převýšit chyby základní.
- c) **Chyby členů měřicího obvodu** jsou způsobeny nepřesnostmi vyrovnání a kalibrace etalonů (napětí, odporu, kapacity). Pro velmi přesná měření je udána největší dovolená odchylka od jmenovité hodnoty (absolutní nebo relativní).
- d) **Chyby způsobené rušivými vlivy** jsou obtížně korigovatelné. Tyto chyby způsobují rušivá napětí, kapacitní a induktivní vazby, odpory vodičů apod.
- e) **Chyby čtení** jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaj měřicího přístroje.
- f) **Celkové chyby měření** jsou výsledkem většího počtu dílčích chyb.

4.1.2 Rozdělení chyb podle zdrojů

Tyto chyby se dělí na objektivní, protože jsou způsobené objektivními příčinami a na chyby subjektivní, které jsou zaviněné obsluhou.

4.1.3 Rozdělení chyb podle způsobu výskytu

- a) chyby systematické (soustavné),
- b) chyby náhodné (nahodilé),
- c) chyby hrubé (omyly).

Při opakování téhož experimentu mají **systematické chyby** stále stejné matematické znaménko, zůstávají konstantní nebo se mění předvídatelným způsobem. Teoreticky můžeme tyto chyby eliminovat buď zavedením početních korekcí při zpracování výsledků měření, nebo úpravou měřicího systému, tj. odstraněním příčin vzniku této chyby či zavedením potřebné korekční veličiny. Prakticky jsou ovšem systematické chyby korigovatelné jen tehdy, známe-li příčiny a zákonitosti jejich vzniku nebo pokud je můžeme s jistou přesností určit kontrolním měřením. Obvykle jsou způsobeny členy v měřicím řetězci a měřicí metodou (např. spotřebou přístrojů, nepřesností etalonů, vlivem teploty, kmitočtu atp.). V praxi se ale setkáváme se systematickými chybami, které mohou být značně velké a přitom nejsou korigovatelné. To nastává, pokud není k dispozici přesnější kontrolní metoda a nelze-li ani teoretickým rozbohem bezpečně určit příčiny systematické chyby. Referenční hodnotou veličiny pro systematickou chybu měření je pravá (nebo konvenční) hodnota veličiny nebo naměřená hodnota veličiny etalonu.

Příčiny **náhodných chyb** nejsou známé a jejich vliv lze zmenšit pouze opakovaným měřením za stejných měřicích podmínek. Při opakovaných měřeních se tyto chyby mění nepředvídatelným způsobem. Jsou způsobeny např. nepravidelným kolísáním teploty, změnou odporu vlivem oteplení vodiče průchodem proudem atd. Při opakování měření jsou tyto chyby rozloženy při normálním rozdělení symetricky kolem pravé (nebo konvenční) hodnoty veličiny. Referenční hodnotou veličiny pro náhodnou chybu měření je aritmetický průměr, který se získá teoreticky z nekonečného počtu opakovaných měření téže měřené veličiny.

Chyby hrubé (omyly) dosahují někdy takové velikosti, že zcela zkreslí a znehodnotí výsledek. Zpravidla jsou snadno rozeznatelné od ostatních chyb, a proto je nutné vyloučit je ze souboru naměřených hodnot.

V hromadné a sériové výrobě se pro kontrolu kvality procesu používá statistická regulace a pro předávání výrobků statistická přejímka. Obě metody využívají matematicko-statistických principů. Důležitou podmínkou je správný výběr kontrolovaných entit, tedy vzorkování.

6.1 Charakteristika a princip statistické regulace

Statistická regulace udržuje výrobní technologický proces v ustáleném nebo požadovaném stavu, kontroluje a řídí proces 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. Statistická regulace má preventivní charakter, umožňuje zásah do výroby ještě před skutečným výskytem neshodných výrobků.

Proces je charakterizován výstupními regulovanými veličinami, které jsou z hlediska matematické statistiky náhodnými veličinami se známým rozdělením o neznámých parametrech. 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 tedy pod statistickou kontrolou.

Prostředkem ke statistické regulaci je **regulační diagram**. V každém regulačním diagramu jsou 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 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 (vymezené příčiny, viz dále). 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 **měřením** je znak vyjádřen spojitou kvantitativní veličinou, regulace **srovnáváním** užívá znaků kvalitativních.

Dále se metody regulace dělí podle toho, jakého výběrového ukazatele bylo použito. Při volbě metody je nutno vycházet z požadavků na přesnost a účinnost kontroly uvažovaného znaku jakosti.

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

V případě kvantitativních údajů se sestavují 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 měření se předpokládá normální rozdělení.

Tab. 6.1 Diagramy pro regulaci měření

měřitelné znaky jakosti	
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. 6.2 Diagramy pro regulaci srovnáváním

počítatelné znaky jakosti		
	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 měření je nutno vycházet ze skutečných vlastností výrobního zařízení a schopnosti dodržet technologické předpisy. Při regulaci měření je sledován měřitelný znak jakosti pomocí přesných měřidel; pro regulaci srovnáváním stačí pouze znalost, zda výrobek vyhovuje nebo nevyhovuje.

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 zvládnutém 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 nezvládnutém, ale změřená hodnota je náhodou uvnitř regulačních mezí. Riziko chyby 2. druhu je opět funkcí 3 faktorů, a to šíře regulačních mezí (USL – LSL), rozsahu výběru (n) a stupně, do něhož regulační proces vstupuje jako statisticky nezvládnutelný.

Shewhartův systém vyhodnocování pracuje pouze s chybou 1. druhu.

Teorie regulačních diagramů rozlišuje dva typy variability

- a) variabilitu 1. typu, působí-li na regulovanou veličinu jen náhodné vlivy, má regulovaná veličina stále rozdělení pravděpodobností s parametry v požadovaných mezích. Výrobní proces je ve statisticky zvládnutelném stavu.
- b) variabilitu 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 nepravidelném chodu výroby. Tento typ představuje reálnou změnu ve výrobním procesu.

Příčiny statistické nestability se prověřují vhodnými testy statistických hypotéz. 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 μ_0

volí se z vnějších technických požadavků nebo se odhaduje dlouhodobý průměr hodnot regulované veličiny

$$\mu_0 \approx \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i. \quad (6.1.1)$$

2. Odhad rozptylu σ

- a) z výběrové směrodatné odchylky

$$\sigma \approx s = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}. \quad (6.1.2)$$

Pro dostatečnou přesnost odhadu je třeba volit $m \geq 200$. Protože odhad veličin je součástí rozboru výrobního procesu, který není dosud ustálený, je obtížné získat časo-

vou řadu o $m = 200$ hodnotách, aby se neměnila v té době variabilita regulované veličiny. Proto se pro odhad σ volí k skupin po n hodnotách a předpokládáme, že v každé skupině (podskupině, výběru) je stejná variabilita (tj. 40×5 hodnot nebo 50×4 hodnoty v podskupině)

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}. \quad (6.1.3)$$

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

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

$$\sigma \approx \bar{R} / d_2, \quad (6.1.4)$$

kde

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i, \quad (6.1.5)$$

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

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

Etapy statistické regulace

Statistická regulace výrobního procesu (SPC) se řeší v následujících etapách.

a) Přípravná etapa se zabývá rozбором výrobního procesu

Zde zjišťujeme, zda proces je statisticky způsobilý, tzn., že zjišťujeme příčiny eventuální nestability, zda a jak je možné proces stabilizovat.

Použité nástroje: histogramy, diagram stability ($\bar{x} \pm \sigma$).

b) Vlastní regulace obsahuje dvě dílčí etapy

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

Tato etapa nastává, pokud proces není ustálen a dochází často ke změně parametrů rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny a podmínek regulace.

Použité nástroje: využívají se jednoduché regulační diagramy, analýza příčin (Ishikavův diagram, brainstorming) a testy zvláštních příčin.

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), který je prostředkem ke zjištění, zda je proces statisticky stabilní.

c) Zlepšování procesu: využívá nástroje jako v 1. etapě. Tato etapa bývá řazena do vyšších nástrojů řízení kvality.