

SOFTWAREVÁ PODPORA VYHODNOCOVÁNÍ ANALÝZY SYSTÉMŮ MĚŘENÍ ATRIBUTIVNÍCH ZNAKŮ KVALITY

*Ing. Pavel Klaput, Ph.D.; Ing. Radka Hýlová
Katedra managementu kvality, VŠB-TU Ostrava
E-mail: pavel.klaput@vsb.cz*

Resumé

Tento článek se zabývá analýzou systému měření atributivních znaků kvality. Popisuje nejčastěji používané metody a jejich výsledné ukazatele, pomocí kterých se hodnotí přijatelnost hodnoceného systému měření, resp. kontroly. Hlavním cílem článku je představení aplikace vytvořené v prostředí MS Excel a popis jejich hlavní funkce a předností. Představeny jsou rovněž nejdůležitější funkce a postupy zajišťující automatické výpočty dílčích a finálních ukazatelů metod používaných pro hodnocení přijatelnosti atributivních systémů kontroly. Opomenut nebyl ani popis slabých stránek vytvořené aplikace a směr dalšího zlepšování.

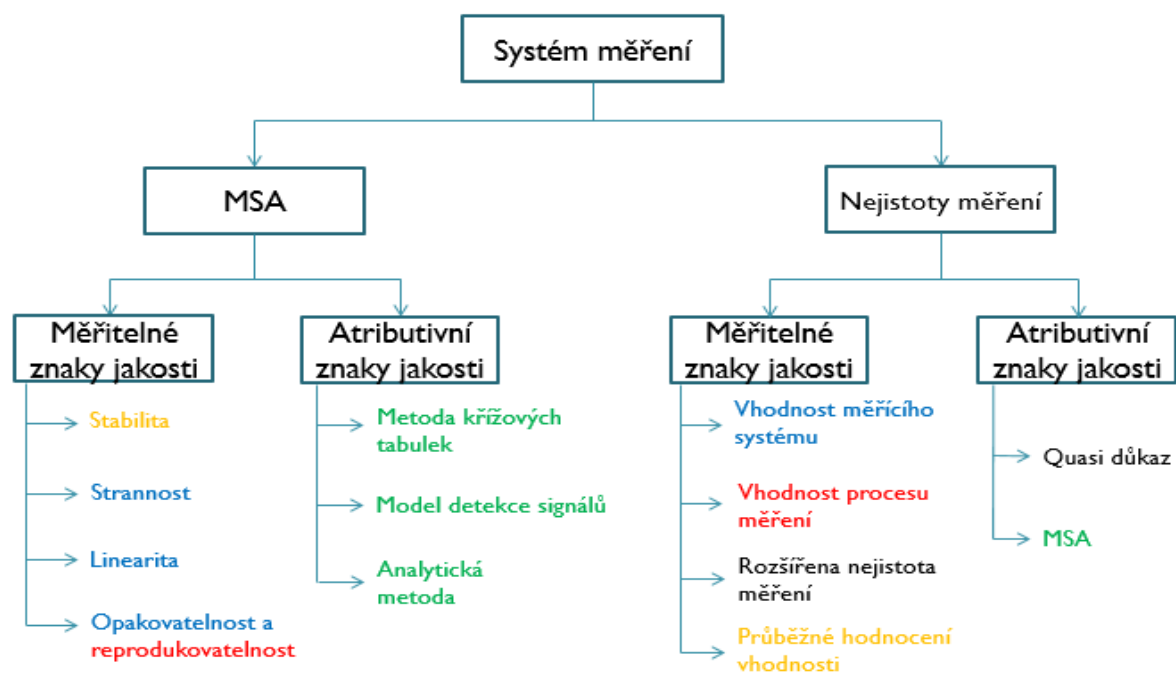
Abstract

This paper deals with the measurement system analysis of attribute quality characteristics. It describes the most commonly used methods and their main indicators, which are used for evaluation of the measurement resp. control system quality. The main goal of this paper is to introduce the application created in MS Excel and a description of their main features and advantages. Presented are also the most important functions and procedures to ensure automatic calculation of partial and final indicators of the methods used to evaluation of attributive control systems acceptability. The description of the weaknesses of the created application and the direction of further improvement were also omitted.

Úvod

Samotné měření je považováno za jednu z nejdůležitějších a nejzásadnějších součástí aktivit každé organizace. Produkty musí být před dodáním zákazníkovi měřeny, aby bylo zajištěno, že požadavky na produkty budou splněny. Při navrhování nových produktů musí být měřeny komponenty a prototypy, aby se zjistila jejich vhodnost. V metodice postupného zlepšování úrovně kvality DMAIC, která je integrální součástí metody Six Sigma, je měření také zdůrazněno, a proto tvoří samostatnou fázi procesu. Pokud by bylo primárním cílem

podniku pouze vyrábět produkty nejvyšší kvality, prováděla by se pouze měření diskretních znaků kvality. V tomto případě by systém měření poskytoval nejlepší informace o kvalitě vyráběných produktů. Vzhledem k tomu, že výrobní organizace klade velký důraz na ziskovost, je nutné vyvážit požadavky na kvalitu, náklady a čas tak, aby byly vedle ziskovosti organizace především maximálně uspokojeny požadavky zákazníka. U analýzy systému měření je potřeba vždy nejprve začít převodem požadavků zákazníka na znaky kvality. Tyto znaky kvality mohou být založeny na subjektivních kvalitativních neboli atributivních datech (např. stanovení shodných a neshodných produktů) nebo objektivních kvantitativních datech (např. počet závad). Mezi nejznámější metody hodnocení přijatelnosti systémů měření atributivních znaků kvality patří metody, které jsou uvedeny v metodických příručkách MSA a VDA 5 [1], [2]. Přijatelnost atributivních systémů měření lze hodnotit dle metodiky MSA prostřednictvím tří metod (obr. 1).



Obr. 1. Vybrané metodické přístupy k hodnocení kvality systému měření [3]

Naproti tomu, metodika VDA 5 uvádí dvě metody hodnocení přijatelnosti atributivních systémů měření. Jedná se o model detekce signálů (převzato z metodiky MSA) a Bowkerův test jež je součástí metody Quasi-důkazu vhodnosti systému měření. Velkou nevýhodou této metody je nemožnost posouzení shody mezi hodnocením operátorů a referenční hodnotou. Naopak, za výhodu této metody lze považovat možnost jasného rozhodnutí o vhodnosti (přijatelnosti) systémů měření (shoda mezi operátory) na základě vyhodnocení Bowkerova

testu. V případě využití metody křížových tabulek není vždy snadné, resp. možné, jasně vyhodnotit přijatelnost systému měření atributivních znaků kvality [4].

Vyhodnocení přijatelnosti systému měření atributivních znaků kvality pomocí software MS Excel

Na základě podrobné analýzy vybraných softwarových produktů byla v prostředí MS Excel vytvořena komplexní aplikace pro hodnocení kvality systémů měření atributivních znaků kvality. Hlavním účelem této aplikace je poskytnutí co možná nejkompaktnějšího pohledu na současný stav posuzovaného systému měření, resp. kontroly. Pro naplnění tohoto účelu bylo definováno několik oblastí (kritérií), jež by měla vytvořená aplikace splňovat. Jedná se zejména o tyto oblasti:

- Provedení analýzy systému měření atributivních znaků kvality pomocí všech relevantních metod.
- Přehledná prezentace všech relevantních numerických výstupů.
- Přehledná prezentace všech relevantních grafických výstupů.
- Validace vytvořené aplikace pomocí vzorových dat a vybraného software.

V následujícím textu je postupně představen způsob, jakým byly výše uvedené oblasti realizovány. Volba metody vyhodnocení kvality systému měření atributivních znaků kvality je závislá na těchto faktorech:

- a) Možnosti zjištění referenčního hodnocení kontrolovaných vzorků, resp. dílů.
- b) Možnosti zjištění referenčních hodnot (spojitá proměnná) daného znaku kvality.
- c) Požadavcích zainteresovaných stran.
- d) Znalosti tolerančních mezí.

V praxi není možné vyhodnotit kvalitu systému měření atributivních znaků kvality díky jednomu typu vstupních dat, pomocí všech představených metod (obr. 1). Pro použití analytické metody je nutné mít k dispozici odlišný formát vstupních údajů než pro ostatní představené metody. Naopak pro další tři představené metody se používá stejný způsob výběru a kontroly určitého množství vzorků/dílů. Následné použití těchto metod je pak omezeno pouze komplexností dostupných údajů.

Ve vytvořené aplikaci se nachází jedna vstupní oblast, do které se vkládají výsledky kontroly vzorků, resp. dílů pro tyto metody:

- Quasi-důkaz – Bowkerův test

- Metoda křížových tabulek
- Metoda detekce signálu

V případech, kdy budou do aplikace vloženy pouze výsledky kontroly alespoň dvou operátorů, bez znalosti referenčního hodnocení, bude vyhodnocen pouze Bowkerův test (Quasi-důkaz) a dostupné výstupní ukazatele metody křížových tabulek.

Pokud bude navíc vloženo i referenční hodnocení (diskrétní proměnná) všech kontrolovaných vzorků, bude provedeno kompletní vyhodnocení Bowkerova testu a kompletní vyhodnocení metody křížových tabulek.

V případě, kdy budou do aplikace vloženy rovněž referenční hodnoty (spojitá proměnná) kontrolovaných vzorků a toleranční meze daného znaku kvality, dojde rovněž k vyhodnocení kvality systému měření atributivních znaků kvality pomocí metody model detekce signálu. Druhá vytvořená vstupní oblast bude použita v případě vložení dat pro vyhodnocení opakovatelnosti a strannosti měření, resp. kontroly pomocí analytické metody. Přehledně je použití různých metod vyhodnocení kvality systému měření atributivních znaků kvality v závislosti na formátu vstupních dat zobrazeno v tabulce 1.

Tab. 1 Způsob vyhodnocení v závislosti na formátu vstupních dat

Metoda vyhodnocení	Formát vstupních hodnot			
	Hodnocení operátorů bez ref. hodnocení	Hodnocení operátorů s ref. hodnocením	Hodnocení operátorů s ref. hodnotami a tolerancí	Data pro analytickou metodu
Quasi-důkaz	Úplné vyhodnocení	Úplné vyhodnocení	Úplné vyhodnocení	X
Metoda křížových tabulek	Částečné vyhodnocení	Úplné vyhodnocení	Úplné vyhodnocení	X
Model detekce signálu	X	X	Úplné vyhodnocení	X
Analytická metoda	X	X	X	Úplné vyhodnocení

Numerické výstupy

Stejně jako v případě použitých metod vyhodnocení je i množství vyhodnocených výstupních ukazatelů kvality systému měření atributivních znaků kvality závislé na komplexnosti a formátu vstupních údajů. Důležitým faktorem může rovněž být požadavek zainteresovaných stran na množství výstupních ukazatelů. Ne vždy je totiž nutné zaobírat se

všemi dostupnými výstupními ukazateli. Mezi další faktory ovlivňující požadavky na numerické a grafické výstupy patří zejména:

- Náročnost jejich výpočtu.
- Znalost pracovníků provádějících vyhodnocení analýzy.
- Dostupnost všech potřebných údajů.
- Důležitost analýzy/systému kontroly.
- Použitý software

Protože účelem vytvoření aplikace v prostředí MS Excel bylo především poskytnutí komplexního pohledu na kvalitu zkoumaného systému měření, resp. kontroly, bylo použito co možná největší množství výstupních ukazatelů všech výše uvedených metod vyhodnocení. Limitujícím faktorem byly pouze možnosti aplikace MS Excel a znalosti autorů tohoto článku. Výčet všech dostupných výstupních ukazatelů v závislosti na použité metodě vyhodnocení je zobrazen v tabulce 2.

Tab. 2 Vyhodnocované výstupní ukazatelé

VDA 5 (2. vydání)		MSA (4. vydání)	
Quasi-důkaz	Model detekce signálu	Metoda křížových tabulek	Analytická m.
<ul style="list-style-type: none"> - Test dle Bowkera - testování stat. významnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - % GRR 	<ul style="list-style-type: none"> - Kappa – shoda mezi operátory - Kappa – shoda mezi operátory a referenčním hodnocením - Účinnost sys. měř. - RCHS, RZS 	<ul style="list-style-type: none"> - Strannost – test stat. významnosti - Opakovatelnost sys. Měř.

Při výpočtu všech numerických výstupních ukazatelů byly použity vzorce aplikace Excel 2016, bez použití maker. Příklad výpočtu testového kritéria Bowkerova testu je uveden v obrázku 2.

Test symetrie dle Bowkera				Vyhodnocení shody operátorů
Operátoři	T	K	Hypotéza	
Operátor A vs B	3	7,815	H0	Hodnocení obou operátorů je shodné
Operátor A vs C	2	7,815	H0	Hodnocení obou operátorů je shodné
Operátor B vs C	4,333333	7,815	H0	Hodnocení obou operátorů je shodné

$KDYŽ(D6+E5=0;0;(((D6-E5)^2)/(D6+E5)))+KDYŽ(D7+F5=0;0;(((D7-F5)^2)/(D7+F5)))+KDYŽ(E7+F6=0;0;(((E7-F6)^2)/(E7+F6)))$

Obr. 2 Výpočet testového kritéria Bowkerova testu

Grafické výstupy

V praxi je často opomíjena, či přímo ignorována analýza grafických výstupů prováděných analýz systému měření. I když je větší pozornost zákonitě věnována grafickým výstupům analýz systému měření měřitelných (spojitá proměnná) znaků kvality, také v případě analýzy systému měření atributivních znaků kvality by neměla být analýza grafických nástrojů opomíjena. Část z těchto grafických nástrojů je zaměřena na grafickou prezentaci numerických výsledků použitých metod vyhodnocení. Rovněž ve vytvořené aplikaci je tato forma prezentace numerických výsledků použita. Nejčastěji se jedná o barevné odlišení výsledných hodnot dle klasifikace přijatelnosti systému měření, či hodnocení shody v hodnocení operátorů mezi sebou, nebo mezi operátory a referenčním hodnocením. Příklad takovéto vizualizace je zobrazen na obrázku 3, jež představuje vyhodnocení shody operátorů s referenčním hodnocením. Dle klasifikace uvedené v metodické příručce MSA [1] je dobrá shoda hodnocení operátora vůči referenčnímu hodnocení podbarvena zeleně, a naopak nedostatečná shoda podbarvena červeně.

Kappa - hodnocení shody mezi operátory	
Dvojice operátorů	Kappa
Operátor A vs Operátor B	0,86
Operátor A vs Operátor C	0,78
Operátor B vs Operátor C	0,79

Kappa - hodnocení mezi operátory a referenci	
Operátor vs Ref	Kappa
Operátor A vs Ref	0,88
Operátor B vs Ref	0,92
Operátor C vs Ref	0,77

Účinnost shody operátora vůči sobě	
Operátor A	84%
Operátor B	90%
Operátor C	80%

Účinnost shody operátora vůči referenci	
Operátor A	84%
Operátor B	90%
Operátor C	80%

Účinnost shody operátorů mezi sebou	
	78%

Účinnost shody operátorů vůči referenční hodnotě	
	78%

Počet neshodných vzorků	
	16

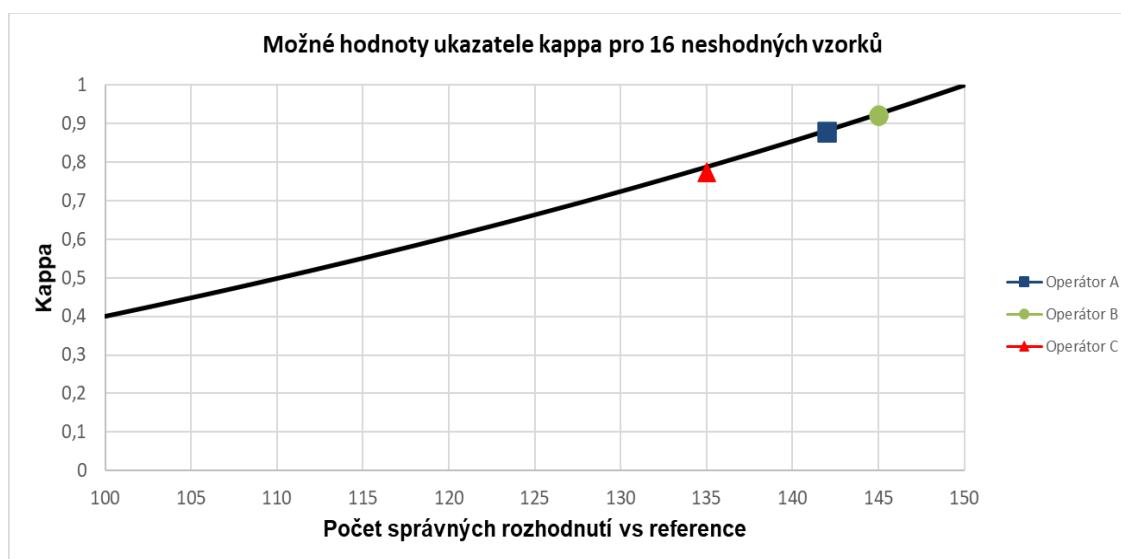
Rizika		
Operátor	RCHS	RZS
Operátor A	6,25%	4,90%
Operátor B	6,25%	1,96%
Operátor C	12,50%	8,82%

$\kappa = 0,75 \div 1$ dobrá až vynikající shoda
 $\kappa = 0 \div 0,4$ špatná shoda

Obr. 3 Příklad vizualizace hodnocení shody pomocí metody křížových tabulek.

Kromě vizualizace numerických výsledků, se ve vytvořené aplikaci nachází grafické nástroje, jejichž účelem je přehledné zhodnocení přijatelnosti hodnoceného systému měření, resp. kontroly. Jedná se o tyto grafické nástroje:

- Křivku výkonnosti měřidla (analytická metoda).
- Zobrazení „šedých“ oblastí (model detekce signálu).
- Křivku možných hodnot ukazatele kappa v závislosti na počtu správných rozhodnutí (obr. 4).



Obr. 4 Křivka možných hodnot ukazatele kappa

Validace vytvořené aplikace

Každá nově vytvořena aplikace by měla být před svým prvním použitím validována. Účelem této validace je ověření správnosti numerických a grafických výstupů vytvořené aplikace. K tomuto účelu byla použita vzorová data z metodických příruček MSA a VDA 5 a software Minitab 18 a Statgraphics Centurion 18 [1], [2]. Oba softwarové produkty poskytují široké možnosti, co se týče numerických a grafických výstupů metod používaných k hodnocení kvality systému měření atributivních znaků kvality. Data použitá k validaci pochází z příruček MSA a VDA 5 a jedné z nejznámějších knižních publikací [1], [2], [5]. Proces validace vytvořené aplikace probíhal ve dvou krocích, kdy byly v prvním kroku po první validaci odstraněny nalezené chyby, týkající se především výpočtů pravděpodobností používaných v analytické metodě. V druhém kroku byla opravená aplikace validována pomocí stejných vzorových dat. V tomto kroku byly již všechny numerické a grafické výstupy téměř shodné s výstupy získanými pomocí výše uvedeného software. Zanedbatelné rozdíly vyskytující se u některých hodnot jsou způsobeny různou mírou zaokrouhlování.

I přes provedenou validaci nelze zcela ošetřit dvě slabá místa (stránky) vytvořené aplikace, a proto je nutné na ně upozornit. První slabé místo se netýká přímo samotné aplikace, ale způsobu zadávání výsledků kontroly (0 nebo 1) do vytvořené aplikace. Protože výsledky kontroly je nutné do vstupní oblasti dat zadávat ručně (popřípadě zkopírovat), bude vždy existovat možnost chybného zápisu, resp. přepisu hodnot příslušných pracovníkem. V případě tří operátorů, padesáti kontrolovaných vzorků a tří opakování kontroly (metoda křížových tabulek, model detekce signálu) je nutné do tabulky zadat celkem 450 hodnot (0 nebo 1). Při takovémto množství zadávaných hodnot může být riziko chybného zápisu velmi velké, a proto je vždy vhodné provést kontrolu zadaných hodnot. Pro snadnější orientaci a větší přehlednost vstupních tabulek byly oblasti dat pro jednotlivé operátory barevně odlišeny pomocí různého stínování a různých tlouštěk mřížky.

Druhé slabé místo vytvořené aplikace se týká některých přidaných numerických a grafických výstupů. Tyto nástroje (obr. 4 a obr. 5) byly k vyhodnocení analýzy systému měření atributivních znaků kvality metodou křížových tabulek přidány na základě poznatků získaných při řešení dřívějších projektů specifického výzkumu na Katedře managementu kvality FMT VŠB-TU Ostrava [6].

Vstupní údaje		Stanovení šíře šedých oblastí	
LSL	0,45	d LSL	0,024135
USL	0,55	d USL	0,023448
		d AVG	0,023792
		% GRR	23,79%

Systém měření je podmíněně přijatelný

Číslo vzorku	Ref. Hodno.	Hodnocení operátor
50	0,409238	-
49	0,412453	-
48	0,427687	-
47	0,437817	-
46	0,446697	-
45	0,449696	X
44	0,45231	X
43	0,454518	X
42	0,46241	X
41	0,465454	X
40	0,470832	+
39	0,476901	+
38	0,477236	+
37	0,483803	+
36	0,484167	+
35	0,486379	+
34	0,487613	+
33	0,488184	+

Obr. 5 Barevné rozlišení zón – Model detekce signálů

Z tohoto důvodu není možné provést jejich validaci pomocí softwarových produktů analyzovaných v této práci. Vytvořené grafické výstupy však představují pouze doplňkové informace a nerozhodují o celkovém hodnocení přijatelnosti posuzovaného systému měření atributivních znaků kvality [7]. I přes výše uvedené slabé stránky, resp. problémové oblasti, lze vytvořenou aplikaci považovat za validovanou. V případě jakýchkoliv změn ve vytvořené aplikaci bude potřeba proces validace opakovat.

Závěr

V rámci tohoto článku byla představena jednoduchá aplikace v prostředí MS Excel sloužící k hodnocení přijatelnosti (kvality) systému měření atributivních znaků kvality. Pro toto vyhodnocení je možné aplikovat všechny metody popsané ve dvou základních metodických příručkách MSA a VDA 5. I přes validaci vytvořené aplikace, existují slabá místa, resp. nevýhody vyplývající jak ze samotné povahy shromažďovaných údajů, tak z omezení použitého softwarového prostředí. Při dalším vývoji aplikace bude brán zřetel především na nová vydání metodických příruček analýz systémů měření a rozšíření vypovídací schopnosti numerických a grafických výstupu použitých metod hodnocení přijatelnosti systémů měření atributivních znaků kvality.

Tento článek byl zpracován v rámci projektu specifického výzkumu č. SP2019/62, který byl řešen na Fakultě materiálově-technologické, VŠB-TU Ostrava za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

Použitá literatura

- [1] *Analýza systémů měření (MSA)*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. 231 s. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [2] *VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů*. 2. vyd., Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. 168s., ISBN 978-80-02-02307-4.
- [3] HÝLOVÁ, R. *Softwarová podpora vyhodnocování analýzy systémů měření atributivních znaků kvality*. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, Katedra managementu kvality, 2019. 81s.
- [4] LUBOJACKÁ, A. *Vyhodnocování projekce extrudovaných profilů na měřicím zařízení Keyence*. Bakalářská práce. VŠB – TU Ostrava, Katedra kontroly a řízení jakosti, 2013. 44s.
- [5] MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control. 6th ed.* Hoboken: N.J.: Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-16992-6.
- [6] KLAPUT, P., VYKYDAL, D. *Effect of the number of non-conforming samples on the Kappa indicator values*. In MATEC Web of Conferences. Volume 183. Paříž : EDP Sciences, 2018.
- [7] PAČAIOVÁ, H., SINAY, J., TURISOVÁ, R., HAJDUOVÁ, Z., MARKULÍK, Š., 2017. *Measuring the qualitative factors on copper wire surface*. Measurement, 109, s. 359-365.