

Vyhodnocování výsledků měření

Technické parametry a kalibrační listy (2. část – dokončení)

Ing. Jiří Sajner, JHS Elektro

Správné postupy vyhodnocování měření

V další části příspěvku je pozornost věnována správným postupům vyhodnocování naměřených hodnot při revizích elektrických zařízení. Výchozím materiálem jsou výsledky nedávno uskutečněné ankety, které jsou velmi překvapivé vzhledem k tomu, že se této problematice věnovalo mnoho času i úsilí na aktivech a v odborných článcích.

Základním cílem ankety bylo upozornit všechny uživatele měřicích přístrojů na správný postup při vyhodnocování výsledků měření s tím, že si **zásadně uvědomí, jaké mají jejich používané přístroje vlastnosti** a jaké jsou možné nejistoty (chyby) měřicího přístroje na prahových hodnotách specifikovaných v příslušných normách. A to nejen ve vztahu k posuzování předřazeného jištění při měření impedance vypínací smyčky, ale i při všech ostatních měřeních, např. při posuzování vybavovacího proudu a doby u proudových chráničů. **Tedy jakou největší hodnotu může mít předřazený jisticí prvek v případě posuzování hodnoty impedance vypínací smyčky, aby s připočtením pracovní nejistoty (chyby) přístroje bylo možné výsledek měření vyhodnotit ještě jako vyhovující.**

Toto zásadní připomenutí bylo načasováno také mj. z důvodu blízkého se **termínu ukončení platnosti oprávnění pro revize elektrických zařízení vyplývajícího ze zákona č. 124/2000 Sb.** a předpokladu, že tato problematika bude předmětem i posuzování správných postupů revizních techniků při výměně oprávnění, kdy se kontroluje i obsah vystavených revizních zpráv. Ostatně tato problematika je aktuální stále a není platná jen v období přezkušování revizních techniků.

V článku uveřejněném v odborných časopisech, který výsledky ankety vyhodnotil, bylo mj. podrobně vysvětleno, jak by měli revizní technici při vyhodnocování výsledků správně postupovat. Byla připomenuta příslušná základní ustanovení norem řady ČSN EN 61557, přičemž se vysvětlení týkalo především aplikací základní nejistoty (chyby) a pracovní nejistoty (chyby).

Pro názornost byl uveden příklad údajů jednoho z přístrojů, které by měl obsahovat každý návod k obsluze měřicího přístroje. Cílem tohoto příkladu bylo upozornit především na **správnou aplikaci pracovní nejistoty (chyby) v příslušných pásmech jmenovitých rozsahů**, a tedy upozornit, že rozsah zobrazení je sice od 0,01 Ω s rozlišením 10 m Ω , ale pozor – již jmenovitý rozsah je

rozdělen do tří pásem a vlastní jmenovitý rozsah je až od 0,15 Ω , neboť až od této hodnoty, nikoliv od hodnoty 0,01 Ω , jsou výrobem přístroje zaručeny pracovní a základní nejistota (chyba).

Uváděné jmenovité hodnoty revizní technika informují, že příslušné nejistoty (chyby) se vztahují pouze k uvedeným hodnotám napětí a frekvence. Z toho mj. vyplý-



Obr. 2. Měřicí přístroj Profifitest 0100S-II-O+

vá, při jakém napětí sítě je možné měřit impedanci smyčky. Pracovní a základní nejistota (chyba) jsou u tohoto přístroje (příkladu) vztahovány ke třem pásmům jmenovitého rozsahu. Je to takto obvykle uváděno proto, že je **velmi složité dosáhnout při nastavování (justování) přístroje během jeho výroby lineární průběh nejistoty (chyby) pro celé pracovní pásmo**. Nicméně některé přístroje mají tento údaj uváděn pro celé pracovní pásmo, a tak je třeba při následné kalibraci přístroje požádat kalibrační laboratoř o ověření uváděných údajů a z výsledků pak vyvodit odpovídající závěry.

Z rozdílu údajů pracovní a základní nejistoty (chyby) vyplývá, jak je důležité tyto nejistoty (chyby) rozlišovat, neboť při nesprávné aplikaci připočtení nejistoty (chyby) by vyhodnocení naměřených údajů, zejména v blízkosti mezních hodnot, mohlo způsobit, že se předřazené jištění bude nesprávně považovat ještě za vyhovující.

Pozn.:

Většinou jsou v technických parametrech k přístroji uvedeny pouze některé údaje, např. je uveden údaj chyba měření bez bližší identifikace a není jasné, zda jde o nejistotu (chybu) pracovní nebo základní. Často chybí i údaj o jmenovitém pracovním rozsahu, který vlastně uživateli definuje pracovní pásmo přístroje s definovanými nejistotami (chybami). V tomto případě je nezbytné důrazně si od dodavatele přístroje vyžádat doplnění všech předepsaných údajů, aby bylo možné vůbec s přístrojem kvalifikovaně pracovat.

Bez uvedení jmenovitých pracovních rozsahů a pracovních nejistot (chyb) není možné výsledky měření věrohodně vyhodnocovat.

Velmi často totiž dochází k záměně údajů o rozsahu zobrazení a jmenovitého pracovního rozsahu. Revizní technici často nesprávně použijí údaj o rozsahu zobrazování jako údaj, od kterého již mohou měření vyhodnocovat.

Jak tedy postupovat při vyhodnocování údajů?

Jsou-li k dispozici přístroje s analogovým zobrazováním, tak se jako základní hodnota pro vyhodnocování bere vždy nejbližší větší hodnota údaje, který je vyznačen na stupnici přístroje. K té se pak připočítá příslušná pracovní nejistota (chyba) uvedená v technických podkladech.

U přístrojů s digitálním vyhodnocováním se k zobrazené hodnotě připočítá příslušná pracovní nejistota (chyba), která je obvykle uváděna v procentech a jejíž součástí je ještě údaj uvedený v digitech (D) – je-li tato nejistota (chyba) vůbec uvedena.

Byla-li zobrazena právě hodnota přesně na rozhraní uvedených dvou pásem jmenovitých rozsahů, kdy jedno pásmo končí např. hodnotou 0,5 Ω a druhé také začíná hodnotou 0,5 Ω , použije se logicky vždy větší nejistota (chyba) z uvedených rozsahů pracovních pásem.

Je-li údaj o rozlišení např. 10 m Ω , pak i když jsou pracovní pásma uvedena např. 0,15 až 0,5 Ω a 0,5 až 1,0 Ω , a ne přesněji 0,15 až 0,50 Ω a 0,50 až 1,00 Ω , tak revizní technik i přes tuto nepřesnost matematicky přesného záznamu musí aplikovat připočet nejistoty (chyby) se zaokrouhlením na dvě desetinná místa a připočet nejistoty (chyby) v digitech vždy až na druhém místě za desetinnou čárkou, protože má jasné uvede-

no rozlišení 10 mΩ. Nesprávně by k údajům 0,5 Ω připočítával pracovní nejistotu (chybu) zaokrouhlenou na jedno desetinné místo a nejistotu (chybu) v digitech připočítával rovněž na první místo za desetinnou tečkou. **Správně by však údaje měly být uvedeny vždy tak, aby byl jednoznačně stanoven rozsah, tedy např. 0,15 až 0,49 Ω a 0,50 až 0,99 Ω.**

Nemá-li uživatel přístroje dostatečné informace nebo si důsledně nezjistí základní údaje pro vyhodnocení, tj. jmenovitý pracovní rozsah (pásmo), pro které je definována jak základní, tak pracovní nejistota (chyba), a s tím také důležitou informaci o rozlišení v těchto rozsazích, může dojít k nesprávnému vyhodnocení měření.

Příklad 1:

Jeden revizní technik nesprávně vyhodnotil, že by interval výsledku pro další vyhodnocování při uvedené pracovní nejistotě ve tvaru $\pm 10\% \text{ NH} + 5\text{D}$ a při zobrazení údaje na přístroji 1 Ω byl, po připočtení pracovní nejistoty (chyby), v rozmezí 1,4 až 1,6 Ω. Nevzal totiž v úvahu informaci o rozlišení přístroje v úrovni 10 mΩ, tj. zobrazení na dvě desetinná místa, a vycházel pouze z toho, že přiřazení pracovní nejistoty (chyby) bylo uvedeno pro pásmo 0,5 až 1,0 Ω. Chybějící nula (0) za údajem 1,0 Ω jej vedla k tomu, že k údajům 1,0 připočetl nejistotu (chybu) 10 %, tj. 0,1 Ω, dostal tak 1,1 Ω a po připočtení 5D se dostal k hodnotě 1,6 Ω. Pak od hodnoty 1,0 Ω odečetl zmíněných 10 %, tj. 0,1 Ω, a dostal tak 0,9 Ω a po připočtení 5D mu vyšla hodnota 1,4 Ω. Při respektování rozlišení 10 mΩ by však horní hranice intervalu byla jiná, neboť k údajům 1,0 Ω je třeba správně přičíst 10 % z této hodnoty, tj. 0,1 Ω, a k součtu 1,1 Ω ještě na druhé desetinné místo 5D, což by znamenalo výslednou horní hranici 1,15 Ω, se kterou by se pak posuzovala dovolená hodnota ve vztahu k předřazenému jistění.

V praxi se většinou postupuje při vyhodnocování impedance smyčky tak, že se vyhodnocuje pouze hodnota horního intervalu. Připomeňme si, že výše uvedené údaje o pracovní nejistotě (chybě) ve tvaru $\pm 10\% \text{ NH} + 5\text{D}$ je nesprávně (neúplně) uveden; správně by měl být ve tvaru $\pm(10\% \text{ NH} + 5\text{D})$.

Příklad 2:

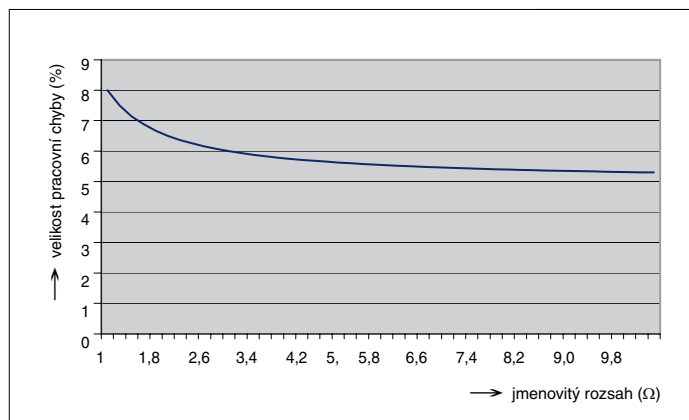
V tabulce je popsán příklad 2 po korekci nepřesností či nesprávností včetně upřesnění údajů o pracovní nejistotě (chybě) tak, aby vyhověly požadovaným kritériím podle ČSN EN 61557 i formám matematického zápisu. V příkladu 2 (viz tab.) jsou již pásma jmenovitých rozsahů definována tak, aby nebyl revizní technik na rozpacích, který údaj o pracovní nejistotě (chybě) má respektovat. Správně je uveden i údaj o pracovní nejistotě (chybě) s tím, že byly doplněny závorky za rozptylem (znaménkem \pm). Protože je pracov-

ní nejistota (chyba) uvedena s rozptylem \pm , je možné vypočítat interval, ve kterém může být údaj pro vyhodnocování naměřených hodnot. Pracovní nejistota (chyba) je v příkladu 2 uvedena zápisem $\pm(10\% \text{ NH} + 2\text{D})$. Znamená to, že vyhodnocovací údaj je v rozmezí $-10\% \text{ NH} - 2\text{D}$ až $+10\% \text{ NH} + 2\text{D}$. Při výpočtu nejistoty (chyby) se vždy údaje zaokrouhlují směrem nahoru na údaj odpovídající rozlišení – tedy např. při rozlišení 10 mΩ se nejdříve vypočítá údaj pracovní nejistoty (chyby) v procentech zaokrouhlí na druhé desetinné místo směrem nahoru a pak se připočte ještě příslušná nejistota (chyba) v digitech (je-li uvedena).

Zobrazí-li přístroj 0,15 Ω, činí 10 % ze zobrazeného údaje naměřené hodnoty 0,015 Ω. Po zaokrouhlení je tato hodnota 0,02 Ω. Pro horní interval výsledku (sečteno) to je 0,17 Ω. Následně se ještě připočte hodnota 2D, tj. celkem 0,19 Ω. Pro dolní interval se odečte od údaje 0,15 Ω nejdříve

asi 26,67 % (výsledek se získá tak, že se údaj 0,04 Ω dělí 0,0015 Ω, což je 1 % ze zobrazeného údaje 0,15 Ω), a je tedy v dovoleném rozptylu maximální nejistoty (chyby). Obdobně lze vidět, že i v dalším pásmu se pracovní nejistota (chyba) pohybuje v dovolené toleranci $\pm 30\%$. Na obr. 3 je pro názornost uveden ještě průběh pracovní nejistoty (chyby) v procentech pro pásmo 1,00 až 9,99 Ω. I v tomto pásmu se pracovní nejistota (chyba) pohybuje v dovolené toleranci $\pm 30\%$.

Vlastní vyhodnocování měření je možné vykonávat vždy jen v pásmu jmenovitého rozsahu, kde je výrobcem zaručena odpovídající pracovní nejistota (chyba). Mimo toto pásmo není výrobcem zaručena pracovní nejistota (chyba) požadovaná ČSN EN 61557. Tedy nezaměřovat jmenovitý rozsah a rozsah zobrazení.



Obr. 3. Pracovní nejistota (chyba) v rozsahu 1,00 až 9,99 Ω

Tabulka k příkladu 2 – správné vyhodnocení měření

Měřená veličina	Rozsah zobrazení	Rozlišení	Jmenovité hodnoty	Jmenovitý rozsah	Pracovní nejistota	Základní nejistota
Z_{sm}	0,01 až 9,99 Ω	10 mΩ	$U_n = 120/230 \text{ V}$ $f_n = 50/60 \text{ Hz}$	0,15 až 0,49 Ω	$\pm(10\% \text{ NH} + 2\text{D})$	$\pm 3\text{D}$
				0,50 až 0,99 Ω	$\pm(10\% \text{ NH} + 3\text{D})$	$\pm(4\% \text{ NH} + 3\text{D})$
				1,00 až 9,99 Ω	$\pm(5\% \text{ NH} + 3\text{D})$	$\pm(3\% \text{ NH} + 3\text{D})$

0,02 Ω, což je 0,13 Ω, a po odečtení 2D je tedy konečná hodnota 0,11 Ω. Z celkového výsledku pak vyplývá, že se může konečný údaj pro vyhodnocení pohybovat v rozmezí 0,11 až 0,19 Ω. Pro další vyhodnocování je však třeba pro impedanci vypínací smyčky vzít údaj větší (horší), tj. 0,19 Ω. Obdobně se pro přechodový odpor bere pro vyhodnocování vždy horní interval, pro izolační odpory pak dolní interval.

Co dál?

Nyní je nezbytné zkontrolovat, zda se podle ČSN EN 61557 pohybuje tento údaj v toleranci maximální nejistoty (chyby) $\pm 30\%$. Rozdíl mezi zobrazeným údajem na přístroji a připočtenou pracovní nejistotou (chybou) je 0,04 Ω. Ve vztahu k údajům 0,15 Ω je hodnota nejistoty (chyby) v úrovni

Nyní si již může revizní technik zpětně vypočítat, až do jakých hodnot předřazeného jistění může výsledky vyhodnocovat.

Problematika kalibrace, pracovní a základní nejistoty (chyby) měřicího přístroje je podrobněji vysvětlena v příkladu 3, který je odpovědí na dotaz jednoho revizního technika.

Příklad 3:

Otázka:

„Prosím o sdělení souvztažnosti mezi kalibračním listem a pracovní chybou měřicího přístroje nejvhodněji na praktickém příkladu. Přístroje se kalibrují za referenčních podmínek. A co s pracovní chybou, jak si odvodím případné nepřesnosti v jednotlivých rozsazích pro pracovní chybu. Pokud to nelze, tak k čemu kalibrace, z níž odvodím chybu, tedy referenční? A pokud to jde, tak jak?“

Odpověď:

Kalibrační list udává, jaké hodnoty byly u měřicího přístroje zobrazeny při kalibraci v jednotlivých kalibračních bodech. Kalibrace se vykonává v akreditované laboratoři za referenčních podmínek. Kalibrační body jsou přitom přesně (etalonově) určené veličiny, které přístroj, jehož kalibrace probíhá, měří. Referenční podmínky znamenají, že soubor veličin, které mohou mít na výsledek měření vliv (teplota, poloha přístroje, napájecí napětí atd.) je udržován v určitých (definovaných, obvykle velmi úzkých) mezích. Kalibraci se obvykle dokládá, že základní nejistota (chyba) přístroje (tj. chyba za referenčních podmínek) není překročena. Kalibraci se tedy v kalibračních bodech porovnává hodnota etalonu s hodnotou, kterou udává měřicí přístroj. Kalibrační body jsou vybrané body, v nichž se předpokládá největší nejistota (chyba) měření. Jsou-li hodnoty naměřené při kalibraci v tolerančním pásmu základní nejistoty (chyby) udané výrobcem, bere se základní nejistota (chyba) také za základ pro výpočet pracovní nejistoty (chyby) přístroje. Co se týká přístroje pro měření za účelem ověřování bezpečnosti v nízkonapěťových sítích, počítá se jejich pracovní nejistota (chyba) podle ČSN EN 61557. **Vzorce pro výpočet pracovní nejistoty (chyby) uvedené v ČSN EN 61557 jsou určeny pro výrobce přístrojů. Uživatel nemá možnost si sám vypočítat či stanovit pracovní nejistotu (chybu) na základě základní nejistoty (chyby). Nemá možnost zajistit podle normy působení všech předepsaných vlivů, na jejichž základě je pak možné pracovní nejistotu (chybu) stanovit. To musí vždy zabezpečit výrobce přístroje a prokázat.** Je-li při kalibraci některý údaj měřicího přístroje mimo toleranční pásmo základní nejistoty (chyby) udané výrobcem, měl by se měřicí přístroj znovu justovat (seřídít), aby se výsledky jeho měření za referenčních podmínek pohybovaly v mezích daných základní nejistotou (chybou) udávanou výrobcem. Jinak by si musel uživatel přístroje vyžádat u výrobce prostřednictvím svého dodavatele informace o tom, s jakou pracovní nejistotou (chybou) musí počítat. Opakované justování přístroje je možné většinou pouze u výrobce přístroje. Jen v některých případech lze justování zajistit u servisních laboratoří, které jsou schopny následně vykonat kalibraci.

Jak bylo již zmíněno, pracovní nejistota (chybu) určuje výrobce. Jakým způsobem toto dělá, je zřejmé z příkladu 4.

Příklad 4:

Kalibrační bod při měření odporu je např. 0,298 Ω. Hodnota, kterou měřicí přístroj ukázal při měření této hodnoty za referenčních podmínek v akreditované laboratoři, byla 0,294 Ω. Absolutní nejistota (chyba) měřicího přístroje je v tomto bodě tedy -0,004 Ω, relativní nejistota (chyba) -1,34 %. Základní nejistota (chyba) udaná výrobcem je $A = \pm 4 \%$ – výrobce k této chybě dospěl jako k největší zjištěné nejistotě (chybě) v jednotlivých kalibračních bodech. Těto relativní základní nejistotě (chybě) udané výrobcem odpovídá po zaokrouhlení pro daný bod absolutní základní nejistota (chyba) $\pm 0,012 \Omega$. Porovnáním uvedených hodnot je zřejmé, že při měření v daném bodě je údaj přístroje v tolerančních základní nejistoty (chyby). Nalézají-li se i v ostatních testovacích bodech hodnoty zobrazené měřicím přístrojem v pásmu vymezeném základní nejistotou (chybou), lze konstatovat, že měřicí přístroj je z hlediska přesnosti měření v pořádku. To znamená, že přesnost přístroje za referenčních podmínek vyhovuje údajům výrobce o základní nejistotě (chybě).

Od této základní nejistoty (chyby) pak výrobce (nikoliv uživatel přístroje) odvozuje pracovní nejistotu (chybu), tj. maximální možnou nejistotu (chybu) měření, kterou přístroj má za jakýchkoliv (tedy i těch nejnepříznivějších) pracovních podmínek.

Např. v testovacím bodě 0,298 Ω zjišťuje změny údajů měřicího přístroje pro měření odporu vlivem změn definovaných pracovních podmínek uvedených v části 4 normy ČSN EN 61557:

- vlivem různých teplot:
 - při 0 °C se naměří hodnota 0,311 Ω, odkud $E1 = +0,013 \Omega$,
 - při 35 °C se naměří hodnota 0,283 Ω, odkud $E1 = -0,015 \Omega$;
- vlivem změn polohy:
 - při změně o +90° se naměří hodnota 0,320 Ω, odkud $E2 = +0,022 \Omega$,
 - při změně o -90° se naměří hodnota 0,310 Ω, odkud $E2 = +0,012 \Omega$;
- vlivem změn napájecího napětí:
 - při napětí 85 % se naměří hodnota 0,314 Ω, odkud $E3 = +0,016 \Omega$,
 - při napětí 110 % se naměří hodnota 0,279 Ω, odkud $E3 = -0,019 \Omega$.

Pozn.:

Označení číselníků neodpovídá značení jednotlivých vlivů podle normy a je zde použito pouze jako příklad výpočtu.

Při uvedených měřeních zůstávají všechny veličiny kromě té, jejíž vliv se sleduje, na úrovni referenčních podmínek. Největší z uvedených změn se dosadí do vzorce pro výpočet pracovní nejistoty (chyby), čímž vyjde pracovní nejistota (chyba) pro daný bod v ohmech:

$$B = \pm(|A| + 1,15\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2}) = \pm(0,012 + 1,15\sqrt{0,015^2 + 0,022^2 + 0,019^2}) = 0,0496 \Omega$$

Pro získání uvedené pracovní nejistoty (chyby) v procentech s tolerancí \pm se podělí hodnota B konvenční (smluvní) hodnotou a vynásobí se 100 %.

Protože pracovní nejistota (chyba) se vztahuje k naměřené hodnotě, dosadí se za konvenční smluvní hodnotu právě měřená hodnota odporu 0,298 Ω. Tak se pro daný bod získá hodnota pracovní nejistoty (chyby):

$$B = \pm \frac{0,0496}{0,298} \cdot 100 \% = 16,64 \%$$

Takže pro daný testovací bod je možné prohlásit, že v něm je (po zaokrouhlení) pracovní nejistota (chyba) 17 %. Obdobná měření jednotlivých vlivů a výpočet pracovní nejistoty (chyby) se vykonávají v dalších testovacích bodech. Některý vliv se může ověřovat i více měřeními v jednom testovacím bodě. Největší vypočítaná pracovní nejistota (chyba) se udává jako procentuální pracovní nejistota (chyba).

Z uvedených skutečností vyplývá, že revizní technik nemá možnost si z údajů o základní nejistotě (chybě) odvodit hodnotu pracovní nejistoty (chyby). Při opakované kalibraci v akreditované laboratoři se porovnávají údaje měřicího přístroje s měřenou hodnotou. Na základě tohoto porovnání se prokazuje, zda je dodržena základní nejistota (chyba) přístroje. Je-li tomu tak, má se za to, že je dodržena i pracovní nejistota (chyba) přístroje, kterou určil výrobce. Dodržení pracovní nejistoty (chyby) se již pravidelnou kalibrací neověřuje.

Revizní technik by si měl uvědomit, že obdržením kalibračního dokladu po pravidelné kalibraci ještě nemusí být vše v pořádku.

Výsledky z kalibračního dokladu si musí revizní technik sám porovnat s technickými parametry přístroje, tedy konkrétně to, zda hodnoty uvedené základní nejistoty (chyby) přístroje nejsou větší než údaje uvedené v kalibračním listu. Případně o to může požádat kalibrační laboratoř. ☒

In this paper the author tries to repeat again the basic information about the principles in the process of evaluation of measurement results. This issue has been discussed many times before but according to the author's experiences there are still some uncertainties about it. For this reason, he shows in this paper in more detailed way what is important, what shall be taken into account and what is to avoid as well as what the applicable standards are etc. So a user or an electrical engineer can in the practical way learn on a few examples how to evaluate the measurement results in the right way. In addition, the author also pays attention to a new established terminology that is incorporated in the set of rules ČSN EN 61557-1-10.