VYSOKONAPĚŤOVÁ ZKOUŠKA IZOLACÍ
Porovnání různých zkušebních metod ke zjišťování pórovitosti

Obsah

Úvod
1. Stabilita nastaveného zkušebního napětí
2. Zvýšení jistoty měření klouzavými výboji
3. Zbytkové náboje na povlaku
4. Nedestruktivní zkouška materiálu
5. Namáhání materiálu
6. Zkoušení materiálů s vodivými příměsmi
7. Bezpečnost

Úvod

Pro vyloučení přítomnosti pórů v izolačních povlacích na elektricky vodivých objektech (např. trubky, cisterny, nádrže) se jako úspěšná a bezpečná metoda již řadu let osvědčuje vysokonapěťová zkouška.

Při zkoušení pórovitosti pomocí vysokého napětí lze rozlišovat tři různé typy zkušebních přístrojů:

- **zkušební přístroje s impulsním vysokým napětím (přístroje ELMED Isotest)**
- zkušební přístroje s stejnosměrným napětím
- zkušební přístroje se střídavým napětím

V následujícím textu porovnáme tyto rozdílné koncepce na základě nejdůležitějších kriterií. Vysvětlíme jejich výhody a nevýhody na základě řešení otázek relevantních pro praxi.

1. Stabilita nastaveného zkušebního napětí

Jako orientační hodnota pro volbu zkušebního napětí platí např. podle DIN 30672:

$U_{zkuš}$ = 5 kV / mm + 5 kV

Příklad: U továrního obalu z PE, silného 3 mm, se má ověřit bezpórovitost.

=> $U_{zkuš}$ = 3 mm x 5 kV / mm + 5 kV = 20 kV

(Výše uvedený orientační vzorec pro zkušební napětí platí pro pracovní rozsah 20 – 25 kV, přičemž udaná hodnota dává dostatek tolerance pro odchylky vlivem vlhkosti, tlaku vzduchu apod.).

Otázka: Lze zkoušet znečištěné nebo vlhké zkušební objekty?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné napětí**	**střídavé napětí (50-60 Hz)**
stabilní zkušební napětí i při znečištění a vlhkosti zkušebního objektu	Při silnějším zatížení se již nedosahuje nastaveného zkušebního napětí. Zkušební napětí se zhroutí.	Nedosahuje se již nastaveného zkušebního napětí. Napětí se zhroutí.
Zdůvodnění: Elektronická regulační automatika přístrojů *ELMED*-Isotest zajišťuje konstantní zkušební napětí i při silnějším zatížení (např. větší, vlhké trubky). Tím zaručuje bezpečné zjištění vad (trhlin, průchozích pórů).	**Zdůvodnění:** Pro vysokonapěťové zkoušky stejnosměrným napětím stanoví VDE velmi nízké mezní hodnoty výkonu. Z toho vyplývá maximální hodnota proudu 12 mA. Zvýšení při silnějším zatížení není možné.	**Zdůvodnění:** Pro vysokonapěťové zkoušky střídavým napětím stanoví VDE z bezpečnostních důvodů také velmi nízké mezní hodnoty výkonu. Z toho vyplývá maximální efektivní hodnota střídavého proudu 3 mA. Zvýšení při silnějším zatížení není možné.

2. Zvýšení jistoty měření klouzavými výboji

Klouzavé výboje jsou vidět při zkoušení vysokým napětím jako jiskry, které vycházejí od zkušební elektrody k vadnému místu a mohou být až několik centimetrů dlouhé.

Pomocí klouzavých výbojů lze najít póry s větší jistotou, a to i ve větší vzdálenosti od zkušební elektrody, než jakou v zásadě dovoluje hodnota nastaveného zkušebního napětí. (viz bod 1 Stabilita nastaveného zkušebního napětí**)**

Platí to i pro oblasti
- po straně (viz otázka Rychlost zkoušení)
- pod (viz otázka Překrývání) zkušební elektrodou

Délka klouzavých výbojů je mj. závislá na okolních podmínkách jako např.:
- vlhkost vzduchu
- vlhkost zkoušeného objektu
- druh (strmost) a výška zkušebního napětí
- materiál obalu.

Otázka: Co se stane při zkoušce obalů
- s překrývajícími se částmi
- se šikmými póry
- při vyšších rychlostech zkoušení (> 25 cm/s) ?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné napětí**	**střídavé napětí (50-60 Hz)**
Optimální jistota měření díky silným klouzavým výbojům	Klouzavé výboje se netvoří. Jisté měření nelze realizovat.	Tendence k tvorbě klouzavých výbojů je jen velmi malá. Uvedené zkušební situace nelze uspokojivě vyřešit.
Zdůvodnění: Jednopólové krátkodobé impulsy klouzavé výboje silně zvýhodňují (fyzikální příčinou je změna intenzity elektrického pole).	**Zdůvodnění:** Při použití stejnosměrného napětí jako zkušebního napětí je sklon k tvorbě klouzavých výbojů jen velmi malý.	**Zdůvodnění:** Při použití střídavého napětí je sklon k tvorbě klouzavých výbojů jen poměrně malý.

3. Zbytkové náboje na povlaku

Při zkoušení izolovaných potrubí, cisteren apod. je důležité zohlednit, jestli se zkoušené objekty elektricky nabíjejí.

Otázka: Existuje nebezpečí elektrického úderu při doteku zkoušeného objektu?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné napětí**	**střídavé napětí (50-60 Hz)**
Při zkoušení jednopólovými krátkodobými impulsy – trvání impulsů cca 1/1.000.000 s – je při správné manipulaci zbytkový náboj zanedbatelný.	Nebezpečí silných elektrických rázových výbojů tělem zkoušejícího.	Problém zbytkových nábojů je zanedbatelný.
Zdůvodnění: Zkušební napětí je na zkoušeném objektu jen velmi krátce (poměr trvání periody frekvence impulsů k trvání impulsu je cca 4000). Při dosažení zkušebního napětí se impulsní energie odvádí zabudovaným kulovým jiskřištěm.	**Zdůvodnění:** Při zkoušení izolovaných objektů vysokým stejnosměrným napětím zůstávají na zkoušených plochách i při krátkém trvání zkoušky vždy zbytkové náboje.	**Zdůvodnění:** Neustálou změnou polarity zkušebního napětí nemůže na zkoušeném objektu vzniknout náboj.

4. Nedestruktivní zkouška materiálu

Zkoušení materiálů vysokým napětím patří do kategorie nedestruktivních zkoušek materiálu, pokud se nepřekročí kritická mezní hodnota – průrazné napětí. Důležitou veličinou je v této souvislosti rázový činitel.

Rázový činitel je poměr průrazného napětí krátkých vysokonapěťových impulsů $\mathbf{U_{peak}}$ k výšce průrazného střídavého napětí se sinusovým průběhem $\mathbf{U_{AC}}$:

$$\text{rázový činitel} = \frac{\mathbf{U_{peak}}}{\mathbf{U_{AC}}}$$

($\mathbf{U_{peak}}$ (krátké vysokonapěťové impulsy); $\mathbf{U_{AC}}$ (střídavé napětí se sinusovým průběhem, 50 Hz))

Rázový činitel u různých zkušebních objektů:

- se sintrovanou PE izolací cca 2,5
- s izolací z extrudovaného polyetylénu cca 3,5 – 3,8

Pokud se při zvolené zkušební metodě (s impulsním vysokým napětím!) uplatní tento rázový činitel, kritické zkušební napětí se tímto činitelem násobí (např. x 3,8), aniž by to vedlo k poškození materiálu.

* Průrazné napětí
Elektrické průrazné napětí je (efektivní) hodnota střídavého napětí se sinusovým průběhem, při níž dochází k proražení materiálu.

Otázka: Jak bezpečná je zkouška, když

- se omylem nastaví příliš vysoké zkušební napětí
- izolace je na některých místech tenčí, než je předepsáno, nebo obsahuje vzduchové bubliny
- u materiálu izolace s velkým podílem sazí nebo grafitu se na některých místech tvoří sazové můstky o síle obalového materiálu ?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné napětí**	**střídavé napětí (50-60 Hz)**
Nedestruktivní zkouška materiálu impulsním vysokým napětím.	Vypálení sazových můstků u vodivých příměsí.	Při překročení přípustného napětí je nebezpečí narušení obalového materiálu.
Zdůvodnění: Díky využití rázového činitele je vždy k dispozici dostatečná bezpečnostní rezerva. Při velmi krátkém trvání impulsu nedochází k vypalování sazových můstků. V jednotlivých případech silně vodivých izolací je nutné testovací měření.	**Zdůvodnění:** Dlouho setrvávající zkušební napětí způsobuje vypalování sazových můstků a tím vznik dalších vadných míst.	**Zdůvodnění:** Hodnota průrazného napětí je při použití střídavého napětí ve srovnání s impulsním napětím o faktor 2-3 (rázový činitel) nižší.

5. Namáhání materiálu

Otázka: Namáhá zkouška vysokým napětím dodatečně materiál izolace?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné napětí**	**střídavé napětí (50-60 Hz)**
Jednopólové krátkodobé vysokonapěťové impulsy vyvolávají jen minimální namáhání materiálu.	Silné zatížení izolace materiálu.	Silné zatížení obalového materiálu.
	Zdůvodnění: V porovnání s impulsní zkouškou zde působí vysoké stejnosměrné napětí po dlouhou dobu a představuje pro materiál značnou zátěž.	**Zdůvodnění:** Neustálé střídání polarizace elektrického pole zatěžuje obalový materiál (vznik dipólu) a podporuje např. tepelné průrazy.

6. Zkoušení materiálů s vodivými příměsmi

Proud protékající sazemi, grafitem nebo i nečistotou a vlhkostí může být tak vysoký, že jeho hodnotu již nelze jednoznačně odlišit od proudu způsobeného vadným místem.

Otázka: Namáhá zkouška vysokým napětím dodatečně materiál izolace?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné a střídavé napětí (50-60 Hz)napětí**
Zkouška je obecně možná. V jednotlivých případech silně vodivých izolací je nutné testovací měření.	Při vysoké příměsi sazí a grafitu v obalu již není použití možné.
Zdůvodnění: U zkušebních přístrojů s krátkodobými impulsy v rozsahu 1/100.000 s stačí energie impulsů k tomu, aby se i u obalů s vodivými příměsmi dosáhlo jednoznačné detekce pórů.	**Zdůvodnění:** U těchto přístrojů se pro detekci pórů měří celkový svodový proud. Zkušební energie nepostačí a zkušební napětí se zhroutí (viz bod 1. Stabilita nastaveného zkušebního napětí).

7. Bezpečnost

Otázka: Je při manipulaci s vysokým napětím zaručena bezpečnost?

impulsní vysoké napětí (*ELMED*-Isotest)	**stejnosměrné a střídavé napětí (50-60 Hz)napětí**
Impulsy v rozsahu mikrosekund nespadají pod působnost směrnice VDE 0104.	Pro provoz přístrojů se stejnosměrným a střídavým napětím stanoví směrnice VDE kvůli možnosti náhodného dotyku velmi nízké mezní hodnoty.
Přístroje *ELMED*-Isotest dosahují hodnot o faktor 5 nižších než je maximální hodnota proudu pro práh bolestivosti, stanovená Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC), a dokonce o faktor 1000 nižších než hodnota, která u člověka může vyvolat životu nebezpečnou fibrilaci srdečních komor (viz publikaci ICE č. 479/2 „Působení jednosměrných impulsních proudů s krátkým trváním“). **Přístroje *ELMED*-Isotest nepodléhají předpisům pro vysokofrekvenční přístroje.**	Bezpečnosti, která z toho vyplývá, se pak dosahuje jen za cenu nevýhod omezené zkušební energie, popsaných v bodě 1.

Slovníček:

Klouzavý výboj
Při zkoušce vysokým napětím vzniká elektrické pole. Část tohoto pole se tvoří na povrchu zkoušeného kusu. Tam je poznat podle tenkých, ve tmě dobře viditelných jisker, které klouzající po povlakovém materiálu.

Kulové jiskřiště
Zařízení vysokonapěťové techniky k měření nebo stabilizaci vysokých napětí. Skládá se ze dvou koulí určité velikosti a z definovaného materiálu, s nastavitelnou vzdáleností. Tato vzájemná vzdálenost obou koulí určuje, jaké napětí je zapotřebí k tomu, aby mezi koulemi došlo k průrazu vzduchu (jiskře) mezi nimi.

Formy napětí
Zásadní rozlišovací znak druhů napětí. Podle časového průběhu napětí se rozlišuje stejnosměrné a střídavé napětí.
Střídavé napětí je taková forma napětí, kterou najdeme i u obyčejného síťového napětí. Název odkazuje na stálé střídání kladného a záporného pólu, jako u baterie, u které se neustále mění kladný a záporný pól.
Stejnosměrné napětí si zachovává svou zpravidla kladnou polaritu. Toto napětí dodávají baterie a akumulátory.

Jednopólové impulsní vysoké napětí
Z výše popsaných definic „vysokého napětí“ a „formy napětí“ lze snadno odvodit pojem jednopólového impulsního vysokého napětí.
Jde o krátká zvýšení napětí, která se vždy nacházejí na určité stále stejné straně nulové linie, tedy nemění svoji polaritu.