Degradace účinnosti galvanizačního zdroje výstupním vedením

Ing. Vlastimil Vrátný, Ing. Lukáš Krahulík
DEHOR-elspec. Litvínov s.r.o.

Vzhledem k všeobecně neustálým snahám o snižování energetické náročnosti se výrobci napájecích zdrojů pro galvanotechniku stále snaží zvyšovat účinnost svých výrobků. Bohužel se často setkáváme se situací, kdy naprosto vynikající účinnost napájecího zdroje degraduje výstupní stejnosměrné vedení ke galvanizační vaně. Takové vedení dokáže snížit účinnost celku řádově o desítky procent!

Proces galvanického pokovování je založen na poměrně velkých stejnosměrných proudech a malých napětích přiváděných do zboží zavěšeného v galvanizační lázni. Na stejnosměrné vedení od napájecího zdroje ke galvanizační vaně je tedy kladen náročný požadavek na velké proudové zatížení s minimálním napěťovým úbytkem. Situace na vedení je dána Ohmovým zákonem.

$$R = \frac{U}{I}$$

kde R je pro naše vedení součet odporu materiálu vedení a všech přechodových odporů na spojích. Příčný odpor tvořený svodem mezi vodiči lze za běžných podmínek zanedbat a dále jej neuvažujeme.

$$R = R_{MAT} + R_{sp1} ... + R_{spx}$$

R_{MAT} je pro různé materiály různý. Nejčastěji se používá jako materiálu pro vedení hliník nebo měď. R_{MAT} vypočteme z délky, průřezu a měrného odporu materiálu vedení.

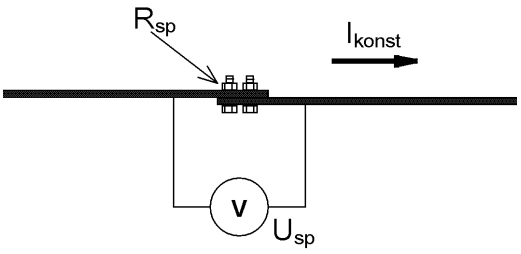
$$R_{MAT} = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

Dle tabulek je udáván měrný odpor materiálu při 20°C následovně:

	Měď	Hliník
Měrný odpor ρ [Ω.mm^2/m]	0,0175	0,0282

Přechodové odpory na spojích R_{spi} jsou proměnné a obtížně přímo měřitelné. Jejich hodnotu zjistíme nepřímo výpočtem pomocí Ohmova zákona ze změřeného proudu a napětí.

$$R_{spi} = \frac{U_{spi}}{I_{spi}}$$



Účinnost vedení (%) zjistíme z poměru výkonů

$$\eta_V = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$$

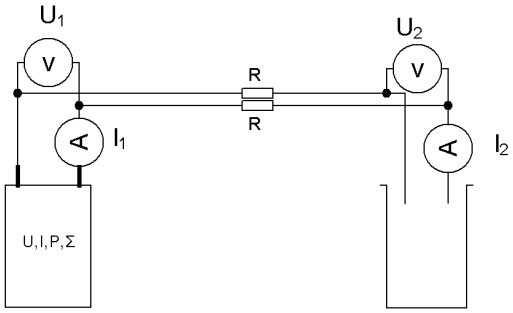
kde P_1 je výkon zdroje a P_2 je výkon na vaně. Výkony spočítáme z napětí a proudu.

$$P_i = U_i \cdot I_i$$

Celková účinnost zdroje s vedením k vaně je pak

$$\eta_{celk} = \frac{\eta_v \cdot \eta_z}{100}$$

kde η_z je štítková účinnost zdroje



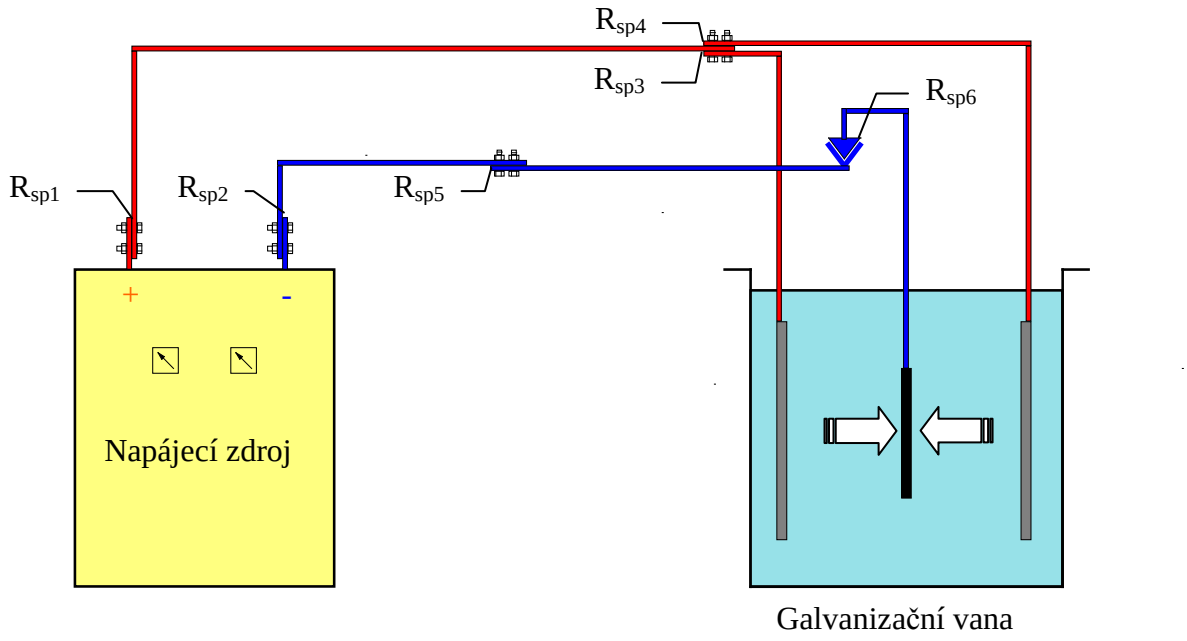
Pokud se podíváme na celkovou situaci zdroj – galvanizační vana, pak vidíme, že elektrický proud je v galvanotechnice použit pouze jako nosič nanášeného materiálu. V ideálním případě tedy chceme, aby tekl proud galvanizační lázní při nulovém napětí. Tedy aby úbytky na vedení, spojích, závěsech, lázni a zboží byly nulové. Neboť ztrátový výkon roste s napětím při konstantním požadovaném proudu.

$$P_{ztr} = U \cdot I_{konst}$$

a napěťový úbytek roste z Ohmova zákona s odporem

$$U = R \cdot I_{konst}$$

Každý úbytek ze jmenovaných lze tedy optimalizovat velikostí odporu. Dále se budeme zabývat pouze ztrátovým výkonem na vedení. Výkonové ztráty v lázni dále neřešíme.



Návrh vedení:
Chceme připojit zdroj 1000A/10V k galvanizační vaně vzdálené 10m. Štítková hodnota účinnosti zdroje je 90%. Jaká bude účinnost vedení a celková účinnost sestavy zdroj-vedení pro měděný pas průřezu 10x100mm, hliníkový pas 10x100mm (počet spojů 14) a kabel CY 4x240mm^2.

$$R_{MAT} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0{,}0175 \cdot 20}{1000} = 0{,}00035\Omega,$$

R_{spi} stanovíme z praxe pro nové Cu vedení na 7μΩ a pro Al 11,3 μΩ

$$R = R_{MAT} + 14 \cdot R_{spi} = 0{,}00035 + 14 \cdot 0{,}000007 = 0{,}000448\Omega$$

$$U_v = R \cdot I = 0{,}000448 \cdot 1000 = 0{,}448V$$

$$P_{ztr} = U \cdot I = 0{,}448 \cdot 1000 = 448W$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 10 \cdot 1000 = 10kW$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 9{,}552 \cdot 1000 = 9.552kW$$

$$\eta_V = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{9{,}552}{10} \cdot 100 \approx \underline{\underline{95{,}5\%}}$$

$$\eta_{celk} = \frac{\eta_v \cdot \eta_z}{100} = \frac{95{,}5 \cdot 90}{100} \approx \underline{\underline{86\%}}$$

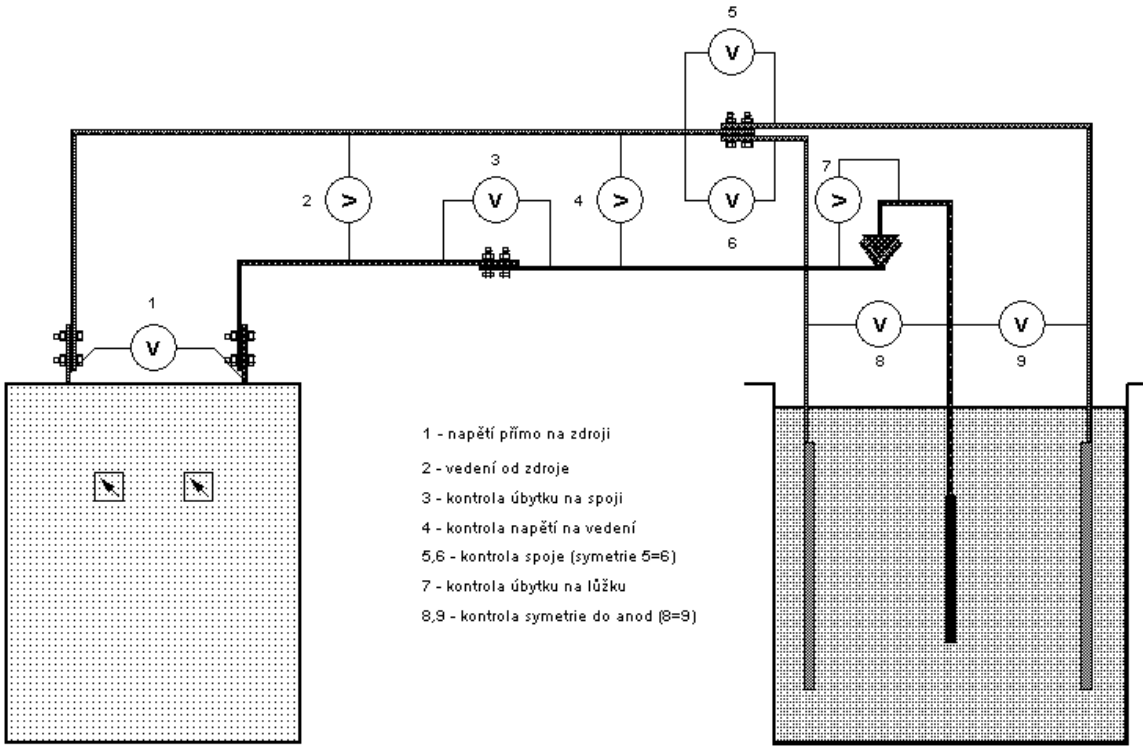
Obdobně vypočteme ostatní, výsledky jsou v následující tabulce.

Materiál	počet spojů	η vedení [%]	η celku [%]	P_{ztr} [W]
Cu 10x100	14	95,5	86	448
Al 10x100	14	92,8	83,5	722
Cu 4x240	4	96,1	86,5	393

Z předchozích výpočtů vyplývá, že nejlepších výsledků vedení se dosáhne za pomocí měděných kabelů. Vedení má pouze čtyři spoje a to na dobře přístupných místech, je tedy minimalizována možnost vzniku přechodového odporu, navíc jsou spoje dobře kontrolovatelné. Výhodou je i velká flexibilita vedení. Určitou nevýhodou je minimální poloměr ohybu vedení vůči průřezu vodiče, nižší proudové zatížení a také podstatně vyšší pořizovací cena.

Prevence:
Pokud máme dobře navržené a fungující vedení je dobré je v pravidelných intervalech kontrolovat. Zejména je potřeba neustále kontrolovat a čistit pohyblivé spoje (jako jsou dosedací lůžka na vanách). Šroubované spoje čistíme až po zjištění zvýšeného přechodového odporu, který zjišťujeme buď voltmetrem, nebo termokamerou. Pokud se jedná o vedení holými pasy je potřeba kontrolovat uchycení pasů izolačními držáky, zda nedochází k jejich vypalování, či uvolnění. Případný zkrat na vedení by mohl způsobit úraz nebo požár, popř. poškození napájecího zdroje. Stejně tak je u holých pasů potřeba zabránit jejich zkratování např. klíčem, šroubovákem, či jiným kovovým předmětem. U vedení řešeného kabely je potřeba kontrolovat kvalitu izolace a to zda nejsou vodiče tepelně přetěžovány, neboť hrozí požár od izolace vodičů, dále kontrolujeme upevnění kabelových ok a jejich přechod do kabelu. Je zapotřebí zabránit vnikání nečistot a vlhkosti mezi žílu kabelu a její izolací, jinak hrozí nekontrolovatelná koroze uvnitř kabelu.

a) Kontrola vedení voltmetrem
Jedná se o nejjednodušší a nejrychlejší zjištění stavu vedení. Změříme napětí na napájecím zdroji a poté na závěsu se zbožím na vaně. Měření provádíme při stanoveném známém proudu. Změřený úbytek mezi zdrojem (1) a vanou (8,9) vypovídá o stavu vedení. Můžeme jej porovnávat s teoreticky vypočteným nebo s naposledy změřeným. Pokud zjistíme zvýšený úbytek, tak postupně dalšími měřeními (2,3,4,5,6,7) diagnostikujeme místo závady.



Nevýhodou této metody je, že voltmetr musí být dobře nakontaktován na vedení, aby nevznikalo zkreslení.

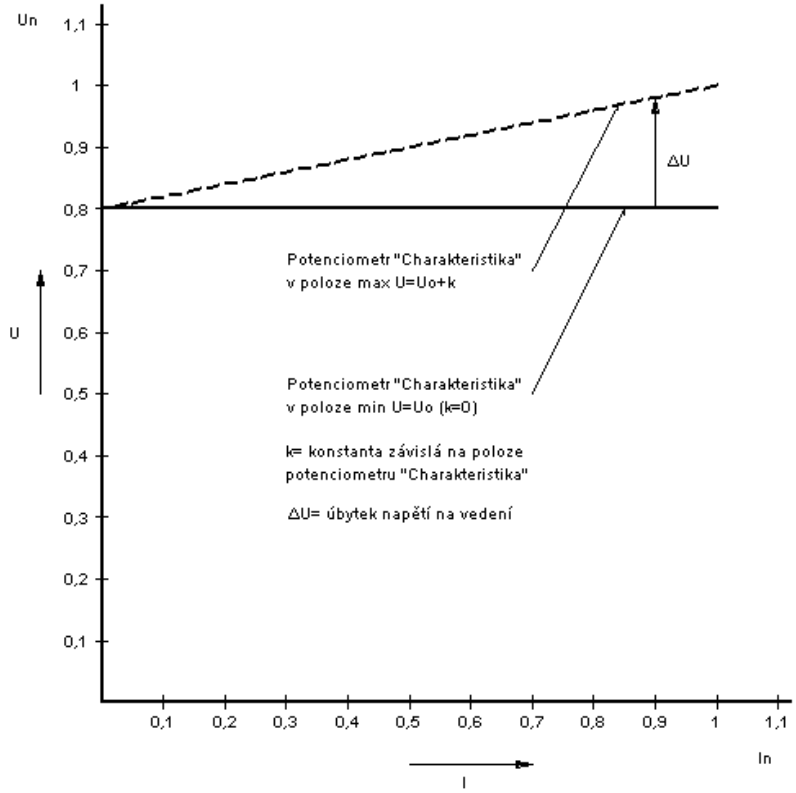
b) Kontrola vedení termokamerou
Tato metoda kontroly má výhodu v bezkontaktnosti měření. Jednoduše se nasnímají všechny místa spojů při daném proudu ve vedení a podle teploty se vyhodnotí. Dobře je ze snímků s časovým odstupem vidět vývoj přechodových odporů a jejich zahřívání. Nevýhodou je, že z prostorových důvodů nelze někdy nasnímat všechna místa vedení. Navíc to, že spoje mají správnou teplotu, ještě neznamená, že vedení je v pořádku. Může nastat typ poruchy spoje, který termokamera nezjistí a to např. spoj úplně přerušený oxidací (viz obr).

2 x úplně nevodivé spoje na Al pasnici 10x100

c) Kontrola proudu klešťovým ampérmetrem
Klešťovým ampérmetrem lze zjistit nesymetrii proudů na přívodech do anod a např. zkrat způsobený na vedení. Lze také dobře zjišťovat přechodové odpory jednotlivého zavěšeného zboží u hromadného závěsu.

Kompenzace úbytku na vedení
Kompenzace úbytku na vedení slouží k vytvoření požadovaného napětí na konci vedení (u vany) bez ohledu na úbytek na vedení. Lze jej realizovat dvěma způsoby:

1. Kompenzace úbytku na vedení úpravou voltampérové charakteristiky, tak aby zdroj kompenzoval úbytek napětí na vedení. U tyristorových zdrojů typu galfont je pro toto nastavení potenciometr s názvem „Charakteristika“. Tento způsob kompenzace vyžaduje opakované nastavení a je závislý na stavu vedení.



2. Kompenzace úbytku na vedení změnou měřícího bodu napětí. Tento způsob kompenzace spočívá ve zpětnovazebním měření napětí v místě, kde požadujeme nastavené napětí (tj. na konci vedení u vany), tím se úbytek napětí na vedení zahrne do regulační odchylky zdroje a kompenzuje se přímo v regulaci zdroje. Takováto kompenzace není zcela závislá na stavu vedení a dobře kryje změny ve stavu vedení. Nevýhodou této kompenzace je, že potřebuje podél vedení další dva měřící vodiče a že při poruše vedení zdroj přestane regulovat.

V praxi se nejčastěji používá kombinace obou způsobů kompenzace úbytku.

Závěr:

Jak jsme se přesvědčili, není účinnost napájecího zdroje jediným důležitým článkem při energetických úsporách v galvanotechnice. Ztrátový výkon na vedení k vaně není nepříznivý jen na účinnost celku, ale nese sebou problémy i s chlazením prostor, ve kterých je umístěno. Na nekontrolovaných přechodových odporech může dojít k neřízenému vyvíjení tepla či dokonce vzniku požáru. Proto je vhodné před instalací zdroje věnovat řádnou pozornost návrhu vhodného vedení k vaně a po uvedení do provozu doporučuji řídit se výše popsanými preventivními opatřeními.