

DESIGN HALOGENOVÝCH VÝBOJEK

(Vliv koroze elektrod na světelný tok a barevnou teplotu u halogenových výbojek)

Karel Chobot

VŠB – TU Ostrava Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Abstrakt

V článku je diskutován vliv koroze elektrod na světelný tok, barevnou teplotu a v neposlední řadě efekt kovů vzácných zemin Gd a Ta na světelné charakteristiky halogenové výbojky. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se množstvím Gd se zvyšuje světelný tok, barevná teplota a devitifikace hořáku, naproti tomu se snižuje koroze elektrod. Vyšší obsah Ta v hořáku halogenové výbojky stabilizuje rozptyl naměřených hodnot koroze elektrod a barevné teploty.

Úvod

Vývoj halogenových výbojek je komplexní disciplína, ve které jde zejména o naplnění požadavků zákazníka. Je však třeba znát použité materiály a jejich fyzikální a chemické vlastnosti. Chemické a fyzikální charakteristiky použitých materiálů se odráží v životnosti halogenové výbojky, a také v jejích vlastnostech, jako jsou světelný tok, barevná teplota a úroveň devitifikace.

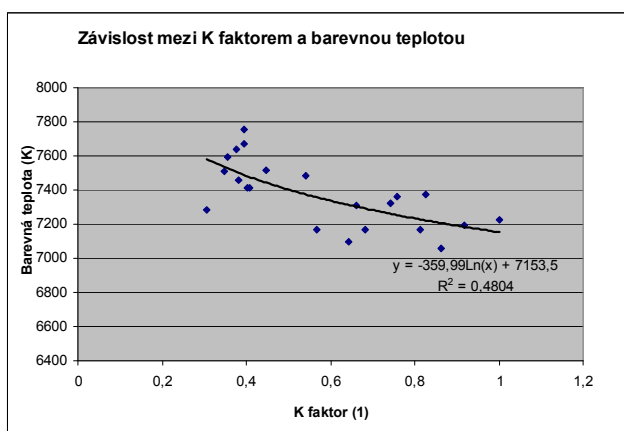
Během života výbojky jsou elektrody uvnitř hořáku v důsledku činnosti halogenového cyklu opotřebovávány. Proces opotřebování - koroze elektrod, lze popsat tzv. K faktorem. Je-li, K faktor blízký 1, pak je halogenová výbojka u konce svého života, blíží – li se K faktor 0, pak je výbojka na začátku své životnosti [1].

Experiment

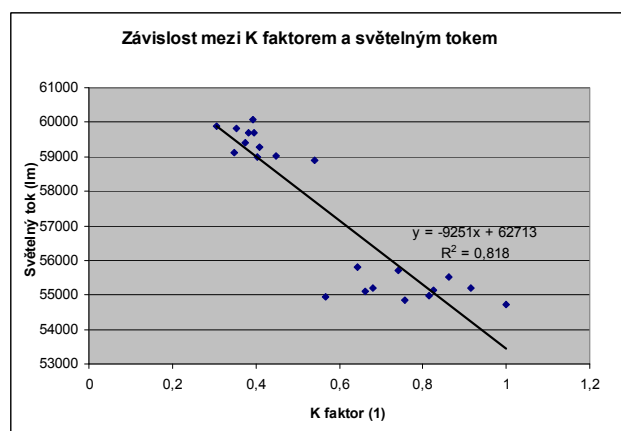
Testy byly provedeny na 4 druzích vzorků. Ve všech vzorcích byl stejný typ a obsah halogenidů, avšak různé množství kovů vzácných zemin, jak je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1. Množství a typ kovů vzácných zemin v náplni výbojky.

Vzorek	Gd (mg)	Ta (mg)
Série 1	0,24	0,24
Série 2	0,24	0,16
Série 3	0,36	0,16
Série 4	0,36	0,24



Obr.1. Závislost mezi K faktorem a barevnou teplotou, data z tabulky 2.



Obr.2. Závislost mezi K faktorem a světelným tokem, data z tabulky 2.

V tabulce 2 (v příloze) jsou uvedeny výsledky měření K faktoru, naměřená barevná teplota a světelný tok pro každou sérii po 600 hodinách zahoření výbojky. Výsledky uvedené v tabulce 2 jsou uvedeny na obrázcích 1 a 2, jako závislosti mezi K faktorem a světelným tokem a K faktorem a barevnou teplotou. Jedním z cílů měření bylo rozhodnout, která náplň testovaných hořáků nejlépe ovlivňuje charakteristiky výbojky: světelný tok a barevnou teplotu. Proto byla data z tabulky 2 podrobena t-testu [2,3]. Bylo tedy statisticky testováno, zda si jsou střední hodnoty světelného toku a barevné teploty u jednotlivých experimentů rovny:

$$\mu_{Série1} = \mu_{Série2}, \mu_{Série3} = \mu_{Série4}, \quad (1)$$

$$\mu_{Série2} = \mu_{Série3}, \mu_{Série1} = \mu_{Série4}$$

Testováním bylo zjištěno, že série 1 a 2 mají stejný světelný tok i barevnou teplotu. Výsledek analýzy t-testu je uveden v tabulce 3. Obdobně dopadlo testování pro série 3 a 4, jehož výsledek je uveden v tabulce 4. Série 2 a 3 se lišily pouze ve světelném toku, barevná teplota však byla stejná pro obě série, viz. tabulka 5. V tabulce 6, je uveden výsledek testování mezi sériemi 1 a 4, kde testování prokázalo rozdíl mezi sériemi, jak ve světelném toku, tak i v barevné teplotě.

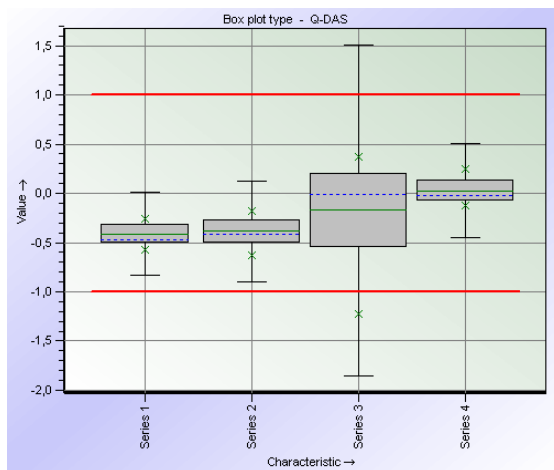
Zákazník požadoval výbojku se světelným tokem 51600 – 57200 lm a barevnou teplotou 6800 – 8200 K. Požadavky zákazníka byly porovnány s výsledky z tabulky 2, zda se naměřená data pohybují v tolerančním poli zákaznických požadavků. Toleranční pole požadavků zákazníka je na obrázcích 3 a 4 vyznačeno červenými liniemi.

Série, která nejlépe odpovídá požadavkům zákazníka na barevnou teplotu, je série 4 na obrázku 3. V porovnání se sérií 3, vykazuje série 4 mnohem menší variabilitu a dosahuje vyšší průměrnou hodnotu teploty barev než ostatní série.

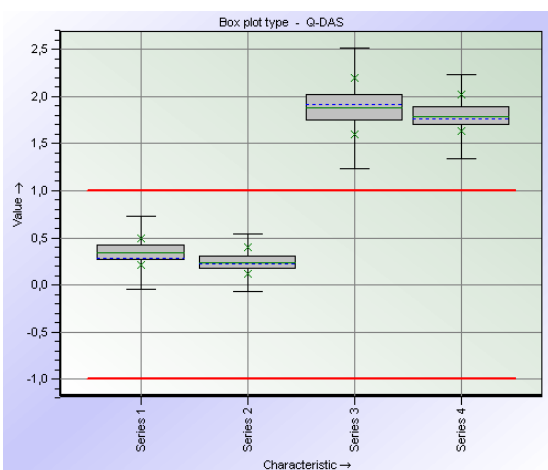
Z obrázků 4 je patrné, že světelný tok je mimo specifikaci zákazníka u vzorků sérií 3 a 4. Z hlediska světelného toku se jako nejlepší série jeví série 2, která v porovnání se sérií 1 sice průměrně dosahuje nižšího světelného toku, avšak její variabilita je menší, než je tomu v případě série 1.

Obrázek 5 zachycuje výsledky měření K faktoru u jednotlivých sérií. Jednoznačně nejlepší sérií s nejmenším K faktorem a tedy nejnižší korozí elektrod je série 4, ta vykazuje i nejmenší variabilitu naměřených hodnot.

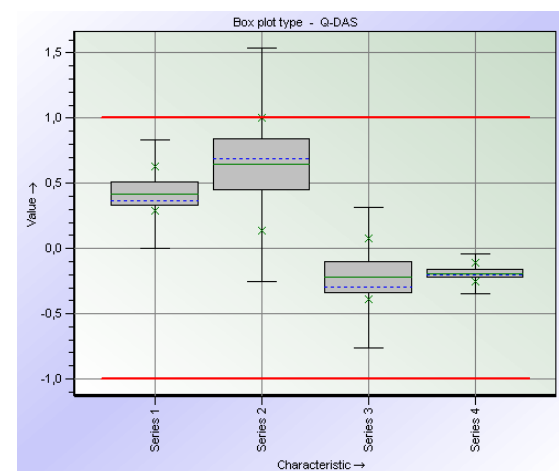
Během testů životnosti se po 600 hodinách vynořil problém s devitifikací skla hořáků výbojek. Devitifikace značně mění světelné charakteristiky hořáku a snižuje životnost výbojky. Úroveň devitifikace v jednotlivých sériích je součástí tabulky 2. Zhruba 5% skla hořáku bylo pokryto devitifikací u sérií 1 a 2. V případě sérií 3 a 4 byla úroveň devitifikace skla hořáků mnohem vyšší, a to 70 a 60%.



Obr. 3. Box ploty pro porovnání barevné teploty u jednotlivých sérií.



Obr. 4. Box ploty pro porovnání světelného toku mezi jednotlivými sériemi.



Obr. 5. Box ploty pro porovnání K faktoru stanoveného u jednotlivých sérií.

Diskuze

Vliv K faktoru na světelný tok a barevnou teplotu je zobrazený na obrázcích 1 a 2. Je patrné, že světelný tok lze vyjádřit jako lineární funkci K faktoru. Barevná teplota může být přibližně vyjádřena jako logaritmická funkce K faktoru. Problém je, že koroze elektrod, a tím i K faktor závisí na použitém typu směsi halogenidů a kovů vzácných zemin. Proto tato zjištění nelze chápat jako zákon. Nejspíše se budou měnit od výbojky k výbojce. A zde se otvírá prostor pro další výzkum. Velmi pravděpodobně bude možné predikovat vliv K faktoru na světelný tok a barevnou teplotu za použití Weibullovi distribuční funkce.

Experimentální výsledky ukázali, že s měnícím se množstvím kovů vzácných zemin, v tomto případě Gd a Ta, se mění i světelné charakteristiky výbojky. Pozitivní vliv na korozi elektrod má rostoucí množství Gd jako součásti náplně výbojky. Ze závěrů práce [1] nebylo patrné jaký vliv na korozi elektrod má měnící se množství Ta. Výsledky ukázaly (Obr.5), že s množstvím Ta souvisí variabilita K faktoru. Vyšší obsah Gd společně s vyšším obsahem Ta mají pozitivní efekt na K faktor, a tím i na korozi elektrod.

S rostoucím množstvím Gd roste světelný tok i barevná teplota. Vyšší množství Ta pozitivně ovlivňuje barevnou teplotu, protože snižuje variabilitu výsledků (Obr.3). Tentýž efekt Ta nebyl prokázán pro světelný tok (Obr.4). Vyšší obsah Gd způsobuje devitrifikaci skla hořáků (Tab. 2). Pro Ta nebyl tento vliv prokázán. Který design výbojky je tedy nejlepší a pro zákazníka nejvhodnější? Ačkoli série 3 a 4 dosahovali nejvyššího světelného toku, barevné teploty a nejnižší koroze elektrod, pro zákazníka bude nejlepší sérií série 1. Tato série ve všech případech světelně-technických parametrů splňovala požadavky zákazníka. Variabilita výsledků měření byla nízká, výbojky této série měli nízkou devitrifikaci, avšak je třeba počítat se sníženou životností z důvodu vysoké koroze elektrod.

Závěr

V článku je popsán vliv koroze elektrod na světelný tok a barevnou teplotu jako na charakteristiky designu výbojky. Byl vysvětlen vliv kovů vzácných zemin Gd a Ta jako součásti náplně hořáku na K faktor a na charakteristiky výbojky. Bylo ukázáno, že vyšší obsah Gd má pozitivní vliv na barevnou teplotu a světelný tok, jako i na korozi elektrod. Bylo ukázáno, že vyšší obsah Ta stabilizuje jak variabilitu K faktoru, tak i barevnou teplotu. Tento vliv Ta nebyl prokázán pro světelný tok a devitrifikaci hořáku. Bylo zjištěno, že vyšší obsah Gd zvyšuje devitrifikaci skla hořáku výbojek. V neposlední řadě byl ukázán přístup k designu výbojek.

Literatura

- [1] K. Chobot: Elektrodová koroze halogeových lamp, Magazin, Internetový časopis o jakosti, 2009, <http://fmfi10.vsb.cz/639/qmag/st13-cz.pdf>
- [2] Turčan, M. a kol.: Statistika, Ostrava 2002.
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/T-test>

Lektoroval:

Prof. RNDr. Josef Tošenovský, CSc.

Příloha

Tabulka 2. Výsledky měření po 600 hodinách.

Series	Maximum K faktoru pro lampu	Charakteristiky lampy		Devitrifikace baňky/ %
		Světelný tok / lm	Barevná teplota / K	
1.	0,8	54988	7167	5
	0,7	55694	7323	5
	0,7	55187	7166	5
	0,6	55796	7096	5
	0,7	55115	7310	5
2.	0,9	55521	7061	5
	0,6	54944	7166	5
	0,8	55126	7371	5
	1	54730	7225	zničena
	0,8	54844	7359	5
3.	0,9	55212	7192	5
	0,3	59890	7284	70
	0,4	59813	7595	70
	0,5	58892	7485	70
	0,4	59691	7757	70
	0,4	59116	7507	70
4.	zničena	60562	6642	zničena
	0,4	59413	7636	60
	0,4	60068	7670	60
	0,4	59690	7458	60
	0,4	58993	7414	60
	0,4	59274	7413	60
	0,5	59011	7514	0

Tabulka 3. Výsledky t-testu pro světelný tok a barevná teplotu, série 1 a 2.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Světelný tok 1 / lm	Světelný tok 2 / lm		Barevná teplota 1/ K	Barevná teplota 2/K
Stř. hodnota	55356	55129,4	Stř. hodnota	7212,4	7229,8
Rozptyl	132477,5	69002,8	Rozptyl	9880,3	17655,7
Pozorování	5	5	Pozorování	5	5
Pears. korelace	-		Pears. korelace	-0,46701	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0,919571982		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	0	4	Rozdíl	0	4
t stat	0,824877099		t stat	-0,19485	
P(T<=t) (1)	0,227895569		P(T<=t) (1)	0,427504	
t krit (1)	2,131846782		t krit (1)	2,131847	
P(T<=t) (2)	0,455791139		P(T<=t) (2)	0,855008	
t krit (2)	2,776445105		t krit (2)	2,776445	

Tabulka 4. Výsledky t-testu pro světelný tok a barevná teplotu, série 3 a 4.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Světelný tok 3 /K	Světelný tok 4 /K
Stř. hodnota	59480,4	59487,6
Rozptyl	200437,3	168412,3
Pozorování	5	5
Pears. korelace	0,023221512	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	4	
	-	
t stat	0,026821021	
P(T<=t) (1)	0,489943624	
t krit (1)	2,131846782	
P(T<=t) (2)	0,979887249	
t krit (2)	2,776445105	

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Barevná teplota 3/ K	Barevná teplota 4/ K
Stř. hodnota	7525,6	7518,2
Rozptyl	29681,8	15617,2
Pozorování	5	5
Pears. korelace	-0,43702	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	4	
t stat	0,065348	
P(T<=t) (1)	0,475516	
t krit (1)	2,131847	
P(T<=t) (2)	0,951033	
t krit (2)	2,776445	

Tabulka 5. Výsledky t-testu pro světelný tok a barevná teplotu, série 2 a 3.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Světelný tok 2/K	Světelný tok 3 /K
Stř. hodnota	55129,4	59480,4
Rozptyl	69002,8	200437,3
Pozorování	5	5
Pears. korelace	0,022386966	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	4	
	-	
t stat	18,92904215	
P(T<=t) (1)	2,29387E-05	
t krit (1)	2,131846782	
P(T<=t) (2)	4,58774E-05	
t krit (2)	2,776445105	

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Barevná teplota 2/ K	Barevná teplota 3/ K
Stř. hodnota	7229,8	7525,6
Rozptyl	17655,7	29681,8
Pozorování	5	5
Pears. korelace	0,668586	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	4	
t stat	-5,1142	
P(T<=t) (1)	0,003457	
t krit (1)	2,131847	
P(T<=t) (2)	0,006914	
t krit (2)	2,776445	

Tabulka 6. Výsledky t-testu pro světelný tok a barevná teplotu, série 1 a 4.

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

Dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu

	Světelný tok 1/K	Světelný tok 4/K		Barevná teplota 1/K	Barevná teplota 4/K
Stř. hodnota	55356	59487,6	Stř. hodnota	7212,4	7518,2
Rozptyl	132477,5	168412,3	Rozptyl	9880,3	15617,2
Pozorování	5	5	Pozorování	5	5
Pears. korelace	0,038957438		Pears. korelace	0,323937	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	4		Rozdíl	4	
		-			
t stat	17,17770878		t stat	-5,17641	
P(T<=t) (1)	3,36908E-05		P(T<=t) (1)	0,003311	
t krit (1)	2,131846782		t krit (1)	2,131847	
P(T<=t) (2)	6,73816E-05		P(T<=t) (2)	0,006623	
t krit (2)	2,776445105		t krit (2)	2,776445	