

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

Václav Bumba; Jaroslav Pospíšil
Funkce přenosu kontrastu fotografických filmů

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol.
11 (1971), No. 1, 197--206

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119937>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1971

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

FUNKCE PŘENOSU KONTRASTU FOTOGRAFICKÝCH FILMŮ

VÁCLAV BUMBA A JAROSLAV POSPÍŠIL

(Předloženo dne 25. 6. 1969)

I. ÚVOD

Při zobrazování fotografickými objektivy je indikátorem obrazu fotografická emulze, která jej ovlivňuje. K přesnému charakterizování vlivu fotografické emulze na zobrazení je třeba znát její zobrazovací vlastnosti. Vhodným prostředkem je funkce přenosu kontrastu.

K měření je možno použít buď neperiodického předmětu (např. štěrbiny, břity apod.) (viz např. práce [1] až [3]) nebo periodického předmětu (testu), nejlépe se sinusovým průběhem jasu (viz např. práce [4] až [6]).

V tomto článku je referováno o měření funkce přenosu kontrastu fotografických emulzí při použití sinusového testu hustotního typu s plynule proměnnou prostorovou frekvencí.

2. ÚVAHY O POUŽITELNOSTI FUNKCE PŘENOSU KONTRASTU JAKO KRITÉRIA KVALITY FOTOGRAFICKÝCH EMULSÍ

Fotografická emulze je nelineární zobrazovací element, tj. výstupní signál (obrazová prostorová variace optické hustoty nebo propustnosti) je funkcí jak struktury vstupního signálu (předmětu), tak i jeho velikostí. To se obecně projevuje změnou tvaru výstupního signálu oproti vstupnímu signálu. Je-li vstupní signál periodický, pak nelinearita se projevuje produkováním dalších harmonických složek oproti Fourierovu spektru vstupního signálu [7].

Z matematického hlediska nelze Fourierovy transformace použít k analýze nelineárních soustav, proto je třeba při proměřování fotografických emulzí výsledky korigovat na jejich nelinearitu a teprve korigované výsledky lze analyzovat pomocí Fourierovy transformace, nebo je třeba zvolit takové osvětlovací a vyvolávací podmínky, aby vliv nelinearity byl prakticky zanedbatelný (viz práce [5] až [9]).

V souladu s prací [8] je možno funkci přenosu kontrastu fotografické emulze vztáhnout na první stupeň fotografického procesu, který je lineární a nezávislý na osvětlovacích a vyvolávacích podmínkách. Tento stupeň se nazývá stupněm optické

difuze a v něm je zobrazení ovlivněno rozptylem světla. Tento stupeň způsobuje, že obrazem bodu je ploška. Vstupní expozice se v tomto stupni přemění na tzv. efektivní expozici, která způsobí latentní obraz ve fotoemulsi.

Ostatní stupně fotografického procesu jsou více nebo méně nelineární v závislosti na osvětlovacích a vyvolávacích podmínkách (viz práce [8] až [10]). Typickou nelinearitou je druhý stupeň fotografického procesu, který lze pro měření funkce přenosu kontrastu vhodně vystihnout jeho modifikovanou charakteristickou křivkou $T = T(E)$, kde T značí obrazovou propustnost odpovídající efektivní expozici E (efektivní expozice E je dána součinem efektivního osvětlení a doby osvětlení). Tento stupeň se nazývá stupeň reprodukce efektivní expozice.

Dvoustupňový model fotografického procesu, popsáný v práci [8], je základní. Za přítomnosti okrajového efektu dostaneme třístupňový model fotografického procesu [10]. U barevného fotografického procesu k těmto zmíněným stupňům přistupuje ještě tzv. stupeň barevné reprodukce a stupeň barevného skvrnění [9]. Všechny tyto stupně jsou podle práce [9] lineární jen při vhodně zvolených osvětlovacích a vyvolávacích podmínkách a lze je tedy charakterizovat funkcemi přenosu kontrastu těchto stupňů a vzhledem k jejich kaskádnímu uspořádání je pak možno po korekci na nelinearitu druhého stupně fotografického procesu stanovit celkovou funkci přenosu kontrastu fotografické emulze.

Uvedené úvahy se vztahovaly na negativní fotografický proces při nekoherentním zobrazení. Pro vystižení pozitivního fotografického procesu, reprodukčního procesu, filtrace i zobrazení složenými emulsními soustavami nutno použít složitějšího rozčlenění těchto procesů (viz např. práce [11] a [12]).

3. TEORETICKÝ ROZBOR METODY PRO MĚŘENÍ FUNKCE PŘENOSU KONTRASTU NEGATIVNÍCH FOTOGRAFICKÝCH EMULSÍ PŘI POUŽITÍ SINUSOVÉHO TESTU

Úvahy budou vztaženy na nekoherentní zobrazení a dvoustupňový negativní fotografický proces.

Nechť sinusový test, který musí být hustotního typu, produkuje vstupní expozici

$$L(x) = L_0 + L_1 \cos 2\pi\sigma x. \quad (1)$$

Jeho obraz, vytvořený lineárním stupněm fotografického procesu, je určen konvolucí

$$E(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} E_d(x) L(x' - x) dx, \quad (2)$$

kde $E_d(x)$ je distribuční funkce obrazu přímky, příslušná expoziční době t .

Pomocí rovnice (1) lze konvoluci (2) po úpravě vyjádřit takto:

$$E(x') = L_0 E_{d_0} + L_1 E'_{d_1} \cos 2\pi\sigma x' + L_1 E''_{d_1} \sin 2\pi\sigma x', \quad (3)$$

kde

$$E_{d_0} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_d(x) dx,$$

$$E'_{d_1} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_d(x) \cos 2\pi\sigma x dx,$$

$$E''_{d_1} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_d(x) \sin 2\pi\sigma x dx.$$

Označíme-li

$$E_{d_1} = \sqrt{E_{d_0}^2 + E_{d_1}^{\prime 2}},$$

$$E_0 = L_0 E_{d_0}, \quad (4)$$

$$E_1 = L_1 E_{d_1}, \quad (5)$$

$$\Theta_e(\sigma) = \arctg \frac{E_{d_1}''}{E_{d_1}'},$$

pak je možno rovnici (3) napsat takto:

$$E(x') = E_0 + E_1 \cos [2\pi\sigma x' - \Theta_e(\sigma)].$$

V souladu s pracemi [7] a [8] lze pro lineární stupeň fotografického procesu psát:

$$E_{d_1}'' = 0$$

a tedy

$$\Theta_e(\sigma) = 0,$$

$$E_{d_1}'' = E_{d_1}',$$

takže

$$E(x') = E_0 + E_1 \cos 2\pi\sigma x', \quad (6)$$

neboli

$$E(x') = E_0 [1 + \gamma_0(\sigma) \cos 2\pi\sigma x'], \quad (7)$$

kde $\gamma_0(\sigma)$ je obrazový kontrast, příslušný lineárnímu stupni fotografického procesu:

$$\gamma_0(\sigma) = \frac{E_1}{E_0}. \quad (8)$$

Protože platí vztahy (4) a (5), je možno rovnici (8) vyjádřit takto:

$$\gamma_0(\sigma) = \gamma_p(\sigma) \tau_e(\sigma), \quad (9)$$

kde $\gamma_p(\sigma)$ je kontrast sinusového testu

$$\gamma_p(\sigma) = \frac{L_1}{L_0} \quad (10)$$

a $\tau_e(\sigma)$ je funkce přenosu kontrastu lineárního stupně fotografického procesu.

Výsledkem zobrazení je prostorové rozložení propustnosti $T(E_0, E_1, \sigma, x')$, odpovídající obrazu sinusového testu použitého při měření. Tato variace propustnosti je závislá na vyvolávacích a osvětlovacích podmínkách a je obecně neharmonická.

Vzhledem k tomu, že výsledný obraz bývá ovlivněn nelineárním stupněm fotografického procesu, je třeba v těchto případech z experimentálně získaných výsledků $T(E_0, E_1, \sigma, x')$ stanovit variaci $E(\sigma, x')$ efektivní expozice, aby bylo možno určit hledanou funkci přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)$.

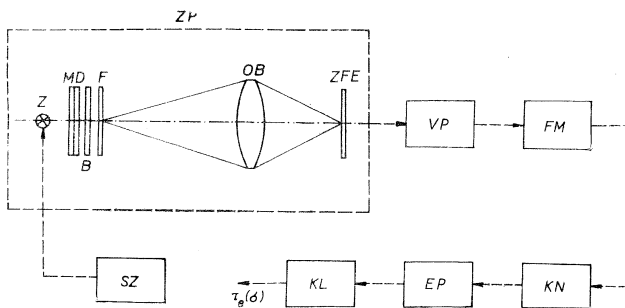
Přechod funkce $T(E_0, E_1, \sigma, x')$ na funkci $E(\sigma, x')$ je možno provést analyticky, je-li známo analytické vyjádření charakteristické křivky $T = T(E)$ (viz práce [7]) nebo lze použít rychlejšího a dostatečně přesného grafického způsobu převodu (viz práce [8]).

Získaná variace efektivní expozice umožňuje užitím vztahů (8) a (9) určit hledanou funkci přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)$, protože kontrast $\gamma_p(\sigma)$ testu je znám nebo se snadno stanoví.

Vliv nelinearity fotografické emulze na výsledky měření je zanedbatelný, zvolí-li se osvětlovací a vyvolávací podmínky tak, aby pracovní bod byl v lineární části charakteristiky a variace efektivní expozice zabírala jen její lineární část.

4. MĚŘENÍ FUNKCE PŘENOSU KONTRASTU NEGATIVNÍCH FOTOGRAFICKÝCH EMULSÍ POMOCÍ SINUSOVÉHO TESTU S PLYNULE PROMĚNNOU PROSTOROVOU FREKVENCÍ

K měření bylo použito experimentálního uspořádání vzniklého úpravou resolvo-
metru Foma a k vyhodnocování obrazů sinusového testu na proměřovaných foto-
grafických emulcích sloužil registrační fotometr typu Schnellphotometer GII mit



Obr. 1. Měřicí zařízení k zjišťování funkce přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)$ fotografických emulzí: ZP — zobrazovací soustava, Z — světelný zdroj, MD — difusní destička, B — barevný filtr, F — sinusový test hustotního typu s plynule proměnnou prostorovou frekvencí, OB — pomocný fotografický objektiv, ZFE — proměřovaná fotografická emulze, SZ — stabilizovaný zdroj k napájení světelného zdroje, FM — registrační fotometr. VP je blok označující vyvolávací proces, KN označuje případnou korekci nelinearity, EP značí výpočet $\tau(\sigma_e)$ a KL vystihuje výpočet $\tau_e(\sigma)$.

Standard Kompensationschreiber, Carl Zeiss Jena [13]. Postup měření a stavba měřícího uspořádání jsou vidět ze schematického obrázku 1. Sinusový test F, osvětlený světelným zdrojem Z, byl zobrazen přes pomocný fotografický objektiv OB do roviny proměřované fotografické emulze ZFE. Vyvolaný obraz sinusového testu na proměřované fotografické emulsi byl proměřován registračním fotometrem FM. Vzhledem k tomu, že realizovaný sinusový test vykazoval malé variace jasu (jeho propustnost je v rozsahu 2,8 % až 10,4 %) a vzhledem k tomu, že pracovní bod byl zvolen v lineární části charakteristiky $T = T(E)$, nebylo nutno korekci vlivu nelinearity proměřovaných fotografických emulzí provádět, neboť byl prakticky zanedbatelný. Bylo tedy možno předpokládat, že výsledná variace obrazové propustnosti je mírou rozložení efektivní expozice $E(\sigma, x')$ a z ní pak se určovaly hodnoty výsledné funkce přenosu kontrastu $\tau(\sigma)_e$.

Funkce $\tau(\sigma)_e$ v sobě zahrnuje jednak hledanou funkci přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)$, jednak frekvenční funkce elementů měřícího zařízení, které ovlivňují výsledky měření. Výsledky měření byly v realizovaném měřícím zařízení ovlivněny hlavně frekvenčním průběhem kontrastu $\gamma_p(\sigma)$ použitého sinusového testu a funkcemi přenosu kontrastu $\tau_{ob}(\sigma)$, $\tau_s(\sigma)$, $\tau_f(\sigma)$ pomocného fotografického objektivu, šterbiny fotometru a jeho optické soustavy. Ostatní vlivy byly zanedbatelné.

Vzhledem ke kaskádnímu uspořádání elementů měřícího zařízení, ovlivňujících výsledky měření, lze funkci $\tau(\sigma)_e$ vyjádřit rovnicí

$$\tau(\sigma)_e = \gamma_p(\sigma) \tau_{ob}(\sigma) \tau_e(\sigma) \tau_s(\sigma) \tau_f(\sigma),$$

z níž pro hledanou funkci přenosu kontrastu proměřované fotografické emulze plyne:

$$\tau_e(\sigma) = \frac{\tau(\sigma)_e}{\gamma_p(\sigma) \tau_{ob}(\sigma) \tau_s(\sigma) \tau_f(\sigma)}.$$

Sinusový test hustotního typu, kterého bylo použito při měření, byl vyroben ze sinusového testu plošného typu jeho promítnutím přes válcovou čočku do roviny vhodné fotoemulze způsobem podle práce [14]. Pro výrobu testu byl zvolen technický film Foma Repro P, em. č. 80231-1 (doba expozice 0,5 s, tovární vývojka Repro P, zpracování podle továrního návodu). Zvolené osvětlovací a vyvolávací podmínky zajistily zanedbatelný vliv nelinearity fotografické emulze na průběh propustnosti vyrobeného sinusového testu. Test byl realizován s minimální přesností 5 % v celém rozsahu jeho prostorových frekvencí (tj. od 0,0 č/mm do 2,45 č/mm). Základem pro určení funkce $\gamma_p(\sigma)$ byl vztah (10).

Pomocný fotografický objektiv byl typu Tessar 1 : 4,5, $f = 40$ mm, Carl Zeiss Jena. Jeho funkce přenosu kontrastu $\tau_{ob}(\sigma)$ byly stanoveny experimentálně snímací metodou opticko-elektrické Fourierovy analýzy přístrojem, realizovaným v závodě Meopta [15]. Funkce $\tau_s(\sigma)$ a $\tau_f(\sigma)$ byly stanoveny výpočtem metodou podle práce [16].

Celkové přičné zvětšení zobrazovací části měřícího zařízení na obr. 1 bylo

$$\beta = 2,064 \cdot 10^{-2},$$

takže bylo možno vyrobeného testu užít k měření funkce přenosu kontrastu v rozsahu 0–119 č/mm.

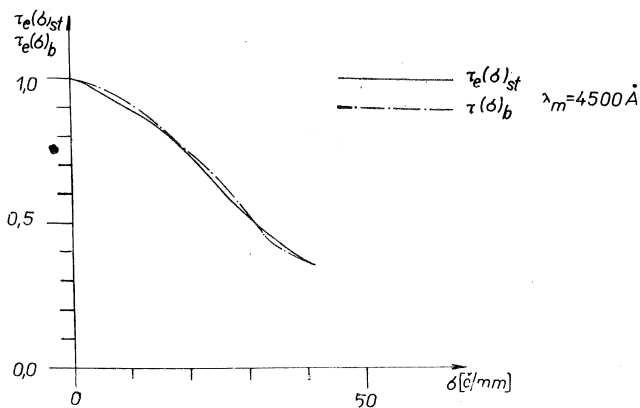
Popisovanou metodou byly proměřovány různé černobílé negativní fotografické emulze. V tomto článku jsou uvedeny výsledky měření funkce přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)_{st}$ fotografického filmu Fomapan 17, 17° DIN, em. č. 3820 popisovanou metodou se sinusovým testem pro vlnové délky světla $\lambda_m = 6400 \text{ \AA}$, $\lambda_m = 5325 \text{ \AA}$, a $\lambda_m = 4500 \text{ \AA}$. Tyto výsledky měření jsou srovnány s výsledky $\tau_e(\sigma)_b$ obdržnými metodou zobrazení břítem na proměřované fotografické emulsi za stejných zobrazovacích podmínek (princip metody s břítem je patrný z práce [3]). Na přesnost realizované metody vzhledem k metodě s břítem lze usuzovat z rozdílů

$$\Delta(\sigma) = \tau_e(\sigma)_{st} - \tau_e(\sigma)_b$$

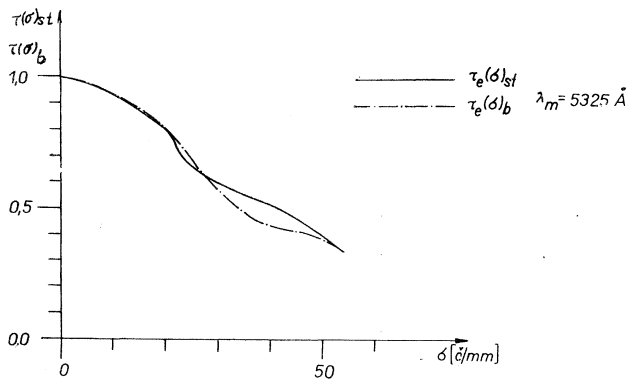
a z velikosti relativní chyby

$$\delta = 100 \left| \frac{\int_0^{\sigma_m} \Delta(\sigma) d\sigma}{\int_0^{\sigma_m} \tau_e(\sigma)_{st} d\sigma} \right|,$$

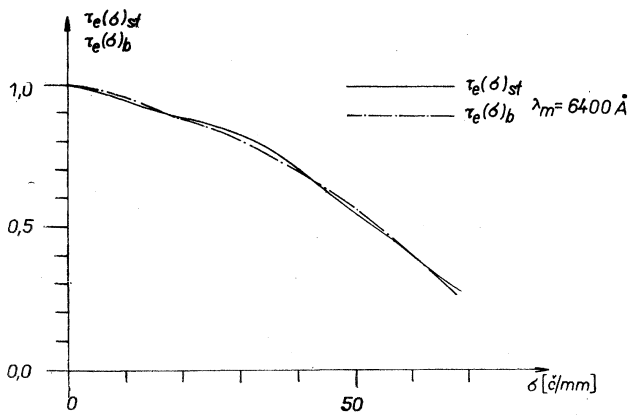
kde σ_m je maximální společná prostorová frekvence měřících rozsahů metody se sinusovým testem a s břítem.



Obr. 2. Funkce přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)_{st}$ a $\tau_e(\sigma)_b$ získané realizovanou metodou se sinusovým testem a srovnávací metodou s břítem pro vlnovou délku $\lambda_m = 4500 \text{ \AA}$ pro niž použitý barevný filtr má maximální propustnost.



Obr. 3. Výsledky měření $\tau_e(\sigma)_{st}$ a $\tau_e(\sigma)_b$ pro vlnovou délku $\lambda_m = 5325 \text{ \AA}$.



Obr. 4. Naměřené funkce přenosu kontrastu $\tau_e(\sigma)_{st}$ a $\tau_e(\sigma)_b$ pro světlo o vlnové délce $\lambda_m = 6400 \text{ \AA}$.

Hodnoty funkcí $\tau_e(\sigma)_{st}$, $\tau_e(\sigma)_b$, $\Delta(\sigma)$ a veličin δ jsou uvedeny v tabulkách 1 až 3, grafy funkcí $\tau_e(\sigma)_{st}$ a $\tau_e(\sigma)_b$ jsou na obrázcích 2 až 4. Veličiny δ byly stanoveny metodou měření ploch pomocí planimetru (viz práce [17]).

Tabulka 1: výsledky měření pro $\lambda_m = 6400 \text{ \AA}$

Poř. č.	σ [°/mm]	$\tau_e(\sigma)_{st}$	$\tau_e(\sigma)_b$	$\Delta(\sigma)$
1	0	1,000	1,000	0,000
2	5	0,980	0,995	-0,015
3	10	0,950	0,956	-0,006
4	15	0,915	0,914	0,001
5	20	0,880	0,878	0,002
6	25	0,865	0,843	0,022
7	30	0,830	0,812	0,018
8	35	0,780	0,763	0,017
9	40	0,725	0,695	0,030
10	45	0,640	0,621	0,019
11	50	0,555	0,571	-0,016
12	55	0,460	0,502	-0,042
13	60	0,415	0,414	0,001
14	65	0,360	0,308	0,052
δ [%]		2,04		

Tabulka 2: výsledky měření pro $\lambda_m = 5325 \text{ \AA}$

Poř. č.	σ [°/mm]	$\tau_e(\sigma)_{st}$	$\tau_e(\sigma)_b$	$\Delta(\sigma)$
1	0	1,000	1,000	0,000
2	5	0,975	0,975	0,000
3	10	0,930	0,930	0,000
4	15	0,883	0,883	0,000
5	20	0,803	0,803	0,000
6	25	0,660	0,692	-0,032
7	30	0,600	0,563	0,037
8	35	0,555	0,472	0,083
9	40	0,515	0,428	0,087
10	45	0,460	0,407	0,053
11	50	0,395	0,381	0,014
δ [%]		4,28		

Tabulka 3: výsledky měření pro $\lambda_m = 4500 \text{ \AA}$

Poř. č.	σ [č/mm]	$\tau_e(\sigma)_a$	$\tau_e(\sigma)_b$	$\Delta(\sigma)$
1	0	1,000	1,000	0,000
2	5	0,955	0,975	-0,020
3	10	0,900	0,913	-0,013
4	15	0,835	0,843	-0,008
5	20	0,745	0,752	-0,007
6	25	0,635	0,657	-0,022
7	30	0,530	0,543	-0,004
8	35	0,450	0,423	0,027
9	40	0,390	0,369	0,021
δ [%]		1,77		

5. ZÁVĚR

Z uváděných výsledků měření vyplývá, že realizovaná metoda se sinusovým testem dává v porovnání s výsledky získanými metodou s břítem užitečné výsledky. Měřicí rozsah, tj. rozsah prostorových frekvencí pro které je ještě zajištěna dostatečná přesnost výsledků měření ($|\Delta(\sigma)| \leq 0,05$) a jejich reprodukovatelnost závisí na přenosových vlastnostech elementů měřicího zařízení a na zrnitosti podkladu sinusového testu a proměřovaných fotografických emulzí. Jemnozrnější fotografické emulze dávají větší měřicí rozsah než hrubozrné fotoemulze. Průměrná hodnota měřicích rozsahů realizované metody pro běžné fotografické emulze a použité vlnové délky světla je 55 č/mm.

Metoda se sinusovým testem je principiálně jednoduchá a je vhodná nejen pro laboratorní, ale též pro provozní měření v továrnách na výrobu fotografických materiálů. Popisovaná metoda byla vyvinuta pro použití v továrně Fotochema, n. p., Hradec Králové.

LITERATURA

- [1] Higgins G. C., Perrin F. H.: Phot. Sci. and Eng., 2 (1958) 66.
- [2] Scott F., Scott R. M., Shack R. V.: Phot. Sci. and Eng. 7 (1963) 345.
- [3] Bumba V.: Acta UPOL-Fac. R. N. Tom 30 (1969) 55, 63.
- [4] Selwyn E. H. W.: Phot. J. 88 B (1948) 6.
- [5] Ingelstam E., Djurle E., Sjögren B.: J. Opt. Soc. Am. 46 (1956) 707.
- [6] Hendeberg L. O.: Arkiv for Fysik 16 (1959) 417 a 457.
- [7] Wilezynski J. S.: Proc. Phys. Soc. 77 (1961) 17.
- [8] Friese H.: Phot. Korr. 91 (1955) 69 a 92 (1956) 51 a 183.
- [9] Ooue Sh., Hatanaka I.: Jap. J. Appl. Phys. 4, Supl. 1 (1965) 203.

- [10] *Kelly D. H.*: J. Opt. Soc. Am. **50** (1960) 269.
- [11] *Röhler R.*: Optik **22** (1965) 174.
- [12] Ooue, Sh., Scientific Publications of the Fuji Photo Film Co. LTD **8** (1960) 8.
- [13] Schnellphotometer II und Standard-Kompensationsschreiber Gebrauchsanweisungen, Carl Zeiss Jena (1964).
- [14] *Lamberts L.*: J. Opt. Soc. Am. **49** (1958) 425.
- [15] *Cigánek B.*: Přístroj k měření komplexní funkce přenosu kontrastu. Závěrečná výzkumná zpráva ÚVOJM Přerov, 1964.
- [16] *Heiland W.*: Z. Instr. **75**, Heft 8 (1967) 252.
- [17] *Horák Z.*: Praktická fyzika, SNTL Praha (1958) 244.

Zusammenfassung

DIE KONTRASTÜBERTRAGUNGSFUNKTION DER PHOTOGRAPHISCHEN FILMEN

VÁCLAV BUMBA UND JAROSLAV POSPÍŠIL

In der Arbeit spricht man von einer Messungsmethode der Kontrastübertragungsfunktion der photographischen Emulsionen bei der nichtkohärenten Abbildung mit Hilfe des Sinustestes des Schwarzungstyps mit kontinuierlich veränderlichen Raumfrequenzen. Die Anwendungsmöglichkeit der Kontrastübertragungsfunktion als eines Kriteriums der Qualität der photographischen Emulsionen ist begrenzt, die theoretische Analyse der Abbildung mit zwei-stufigem Prozess ist durchgeführt und die experimentelle Anordnung zur Messung ist beschrieben. Weiter sind manche Resultate der Messungen mit realisierter Methode beschrieben und die Genauigkeit der Methode ist abgeschätzt.

Die Methode ist so realisiert, dass wir sie zur schnellen Kontrollmessungen mit einer genügenden Genauigkeit anwenden können.