

Vysoká škola: strojí a textilní Fakulta: strojí
Katedra: v Liberci Školní rok: 1985/86
materiálu a strojírenské
metalurgie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Pavel NEVYHOŠTĚNÝ
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Manipulace s laserovým paprskem a jeho diagnostika

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte podrobnou rešerši ve smyslu názvu práce
2. Navrhněte jednoduché realizační výstupy dané problematiky
3. Pokuste se o experimentální ověření některého z návrhů.

V 200/86 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

V 186 S

KAM / SM

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

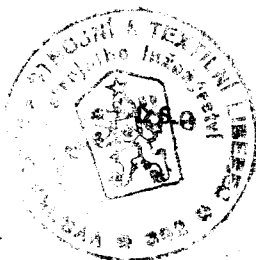
Seznam odborné literatury:

- /1/ Seriál článků "Werstoffbearbeitung mit Laserbestrahlung"
s časopisu Feinwerhtechnik und Messtechnik
- /2/ Další časopisecké články vyhledané v Ref. žurnalu - Metallurgija
a dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Nosek

Datum zadání diplomové práce: 9.9.1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23.5.1986



Alaxin
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Vedoucí katedry

Alaxin
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Děkan

v Liberci dne 3.9. 1985

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

O b o r 2 3 - 0 7 - 8

S t r o j í r e n s k á t e c h n o l o g i e

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

MANIPULACE S LASEROVÝM PAPERSEM
A JEHO DIAGNOSTIKA.

K M M - 192

Pavel NEVYHOŠTĚNÝ

Vedoucí diplomové práce : Ing. Vladimír NOSEK
VŠST Liberec

Konzultant : RNDr. Lubomír SODOMKA, CSc
KFy - VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran	:	68
Počet tabulek	:	15
Počet obrázků	:	51
Počet příloh	:	-
Počet výkresů	:	-

P r o h l á š e n í .

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.



Pavel NEVYHOŠTĚNÝ

Jivina, 22. května 1986

O B S A H

str.

	Seznam použitých zkratk a symbolů	1
1.	<u>Úvod</u>	2
2.	<u>Teoretická část</u>	4
2.1	Obecně k odrazu světla	4
2.2	Polarizace světla při odrazu na kovech	9
2.3	Odraz laserového záření na kovech	13
2.4	Detektory CO ₂ laserového záření	18
3.	<u>Experimentální část</u>	20
3.1	Výběr a příprava vzorků	20
3.2	Drsnost povrchu	23
3.3	Migrace manganu	30
	Vyhodnocení experimentu	35
3.4	Vliv laserového záření na drsnost povrchu	36
	Zhodnocení experimentu	43
3.5	Měření odrazivosti laserového záření	45
	Postup měření	48
	Diskuse dosažených výsledků	65
4.	<u>Závěr</u>	67
	Seznam použité literatury	68

Seznam použitých zkratek a symbolů.

ω	 úhlová frekvence
φ	 fázový rozdíl
A_x	 amplituda
A	 absorpce
ε	 úhel dopadu
ε'	 úhel lomu
ε''	 úhel odrazu
ε_0	 permitivita vakua
$\bar{\varepsilon}$	 hlavní úhel dopadu
μ	 permabilita
μ_0	 permabilita vakua
γ	 vodivost prostředí
L	 Lorentzovo číslo
λ	 vlnová délka, tepelná vodivost
Q	 energie, úhel dopadu
P	 výkon
R_a	 střední aritmetická odchylka drsnosti povrchu
$\bar{R}_a$	 průměrná střední aritmetická odchylka drsnosti povrchu
$R_{a_{\max}}$	 maximální odchylka drsnosti povrchu
R	 odrazivost
$\bar{R}$	 průměrná hodnota odrazivosti

Ostatní zkratky a symboly jsou vysvětleny přímo
v příslušné textové části.

1. Ú V O D

Objev laserů patří k největším úspěchům vědy a techniky v tomto století. Pronikání laserových přístrojů a systémů do různých oblastí průmyslové výroby pokračuje a počet aplikačních možností se stále rozšiřuje.

Mimořádný vzestup využití laserů pro technologické účely byl v nejvyspělejších státech jako je Japonsko, USA, NSR a SSSR zaznamenán v osmdesátých letech.

Stranou samozřejmě nestojí ani naše Československá socialistická republika. Současný stav vývoje je zatím sice zaměřen převážně fyzikálně experimentálním směrem, což do-
svědčují i výsledky výzkumných prací, prezentovaných na vnitrostátních konferencích. Tyto výsledky zahrnují fyziku laserů, konstrukční a provozní otázky laserů, jejich užití ve fyzice, metrologii, měřicí technice včetně holografie, ve spektroskopii, optoelektronice, sdělovací technice, v technologii dřeva, skla a diamantů, v chemii, biologii lékařství, při ochraně životního prostředí a v malé míře i v oblasti fyziky kovů. Pole uplatnění je tedy mimořádně široké. V praktických aplikacích však náš průmysl laserového záření využívá jen v některých odvětvích, především v elektrotechnice, papírenském, dřevařském a sklářském průmyslu. A samozřejmě ve výzkumu a vývoji laserových soustav. Zde je třeba se zaměřit na vývoj technologických aplikací pro strojírenství.

Ve světových prognózách rozvoje strojírenské technologie je laser nazýván technologií XXI. století. Proto musí být výzkum a vývoj laserů a laserových zařízení na předním místě v programech rozvoje vědy a techniky v nastávajícím období. Vlastní výzkum a vývoj však není rozhodujícím činitelem intenzifikace ekonomiky. Musí urychleně následovat i další fáze, to je výroba a užití.

Nutnost zkracovat lhůty řešení a realizace výzkumných a vývojových úkolů, aby výsledky byly srovnatelné se světovou úrovní a byly urychleně uplatněny ve výrobě zazněla v jednáních XVII. sjezdu KSČ, XXVII. sjezdu KSSS i jednáních

sjezdů ostatních bratrských stran. V takové formulaci je i úkol zakotven ve schváleném sjezdovém materiálu „ HLAVNÍ SMĚRY HOSPODÁŘSKÉHO A SOCIÁLNÍHO ROZVOJE ČSSR NA LÉTA 1986 – 1990 A VÝHLED DO ROKU 2000 “.

Ze socialistických zemí je ve vývoji laserů nejdále SSSR. Ovšem intenzívně se lasery a jejich technologickými aplikacemi zabývají i ostatní členské státy RVHP. Pozoruhodných výsledků v seriové výrobě CO₂ jednotek o výkonu 0,5 kW až 2,5 kW pod typovým označením CHEBR dosahuje BLR.

Je nutno si ovšem uvědomit, že stranou světového rozvoje laserové technologie nestojí ani kapitalistické státy. Počet používaných výkonových laserů pro technologické účely dosáhl již v roce 1983 hodnoty cca 6000 ks a roční přírůsteky mají značně strmou charakteristiku. Nemůžeme však nevidět i jiný směr, v němž zejména USA rozvíjejí výzkum elementárních částic hmoty, jaderné technologie, kvantové mechaniky a dalších vědeckých disciplín. Právě použití kvantových zbraní, působících úzkým svazkem elektromagnetického záření různých délek jsou vedle částicových zbraní hlavními ničivými prostředky, a jejichž nasazením se uvažuje v programu „ hvězdných válek “. A generátory elektromagnetického záření jsou nejčastěji lasery různých typů, z nichž nejvíce rozpracované jsou v USA chemické lasery ; vyvinuté však mají i lasery elektronové a rentgenové.

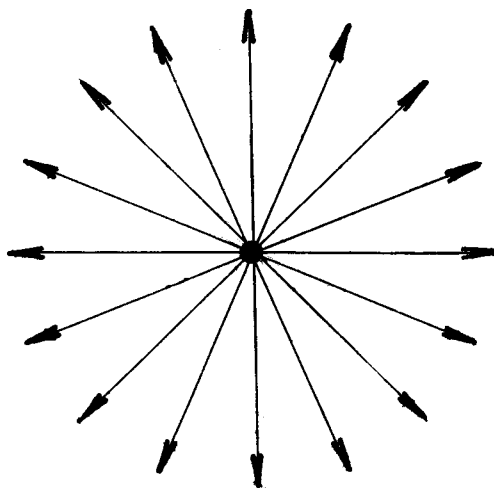
Jsem však přesvědčen, že síla světového mírového hnutí je tak velká, aby dokázala zneužití laserů k podobným šíleným plánům čelit. A já jsem naopak rád, že moje práce s laserovým paprskem může být skromným přínosem k rozvoji progresivních technologií pro mírové účely.

2. TEORETICKÁ ČÁST.

2.1 Obecně k odrazu světla.

Podle Maxwellovy teorie je světlo svou podstatou elektromagnetické vlnění o dvojím charakteru : korpuskulárním, který se projevuje v krátkovlnné části spektra a vlnovém, projevujícím se v dlouhovlnné části spektra. Vlnová podstata světla nám umožňuje vysvětlit takové optické jevy, jako je ohyb, odraz, interference světla; jiné lze dokázat pouze na základě jeho korpuskulární povahy (fotoelektrický jev). Vyložení všech optických jevů tedy vyžaduje používání obou představ.

Světlo je jako elektromagnetické vlnění charakterizováno dvěma vždy vzájemně kolmými vektory, intenzitou elektrického a magnetického pole. Tato okolnost nám umožňuje uvažovat při studiu optických jevů jen jednu z obou intenzit a to intenzitu elektrického pole. Promítneme-li vektor intenzity elektrického pole do roviny kolmé na směr šíření světla, bude příslušný průmět obsahovat vektory všech možných azimutů, jak je schematicky znázorněno na obr. 1.



Obr. 1. Kmitosměry obyčejného světla

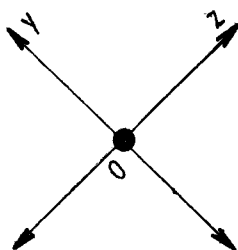
Existují však určité prostředky (odraz, lom, úplný odraz, dvojlom, selektivní absorpce, rozptyl), kterými lze

srovnat všechny vektory do jedné roviny (obr. 2.) Světlo se pak stává lineárně polarizovaným.



Obr. 2. Kmitosměry lineárně polarizovaného světla

Předpokládejme, že se určitým směrem šíří dva lineárně polarizované paprsky, jejichž kmitosměry leží ve dvou vzájemně kolmých rovinách y a z , jak je naznačeno na obr. 3.



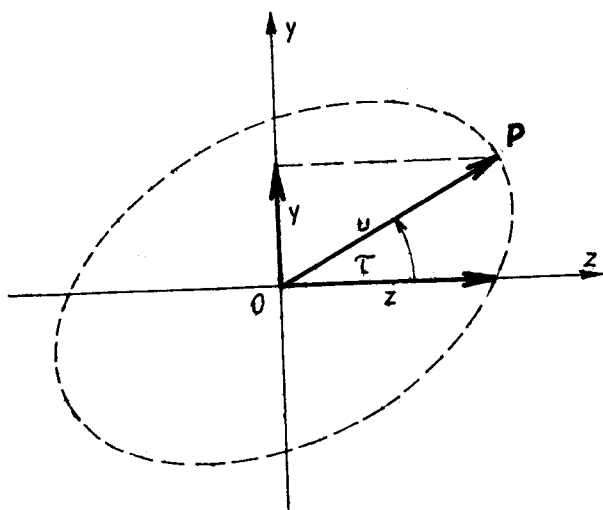
Obr. 3. K elipticky polarizovanému světlu

Nechť A_1 , A_2 značí jejich amplitudy a φ jejich fázový rozdíl. Pak můžeme světelné stavy ve směru y a z vystihnout rovnicemi :

$$\begin{aligned} y &= A_1 \cdot \sin \omega t \\ z &= A_2 \cdot \sin (\omega t - \varphi) \end{aligned} \quad (1)$$

Je-li fázový rozdíl φ stálý, na čase nezávislý, pak se obě vlnění spolu skládají; při tom okamžitá výchylka u výsledného vlnění je rovna vektorovému součtu výchylek ve směru y a z . Pak podle obr. 4. platí

$$u = \sqrt{y^2 + z^2} \quad \text{tg } \tau = \frac{y}{z} \quad (2)$$



Obr. 4. Výsledná křivka elipticky polarizovaného světla

Z toho vyplývá, že jak výchylka u tak i azimut τ výsledného vlnění jsou závislé na čase t , takže toto výsledné vlnění není obecně lineárně polarizované. Bod P tedy mění svoji polohu a obecně opisuje kolem bodu O určitou křivku, jejíž tvar obdržíme vyloučením času t z rovnic (1). Získáme tak rovnici elipsy o středu O ve tvaru

$$\frac{y^2}{A_1^2} + \frac{z^2}{A_2^2} - 2 \frac{y}{A_1} \frac{z}{A_2} \cdot \cos \varphi = \sin^2 \varphi \quad (3)$$

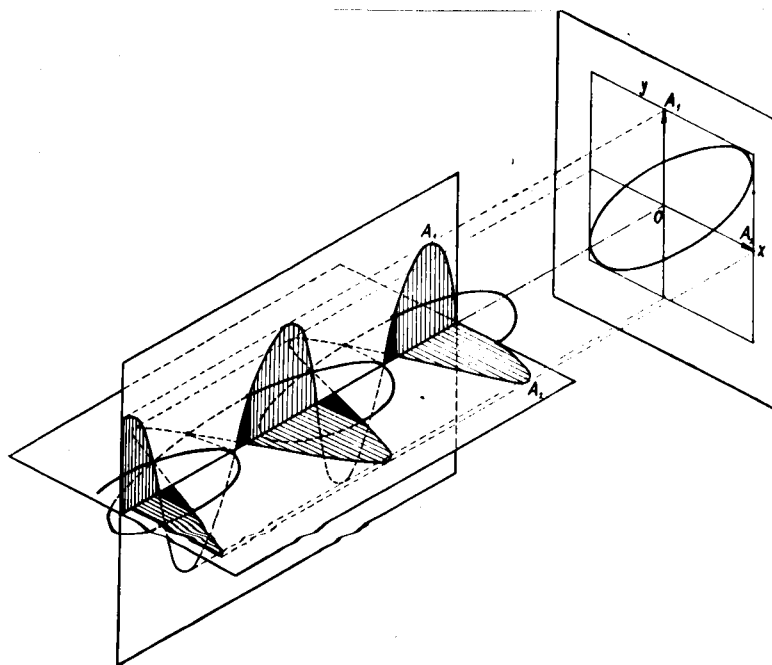
Její odvození je provedeno v literatuře [1]. Bod P tedy opisuje elipsu a proto se výsledné světlo nazývá elipticky polarizované. Křivka, kterou opisuje koncový bod světelného vektoru závisí na fázovém rozdílu φ . V případě, že $A_1 = A_2 = A$ a $\varphi = (2k - 1) \cdot \frac{\pi}{2}$, přičemž $k=1,2,3,\dots$, dostaneme rovnici kružnice ve tvaru:

$$y^2 + z^2 = A^2 \quad (4)$$

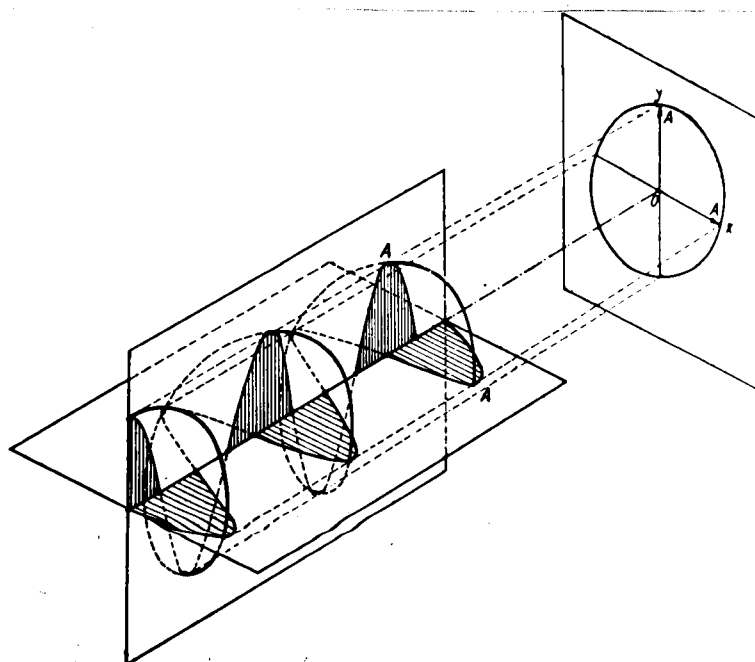
Takové světlo se pak nazývá kruhově polarizované. Je-li $\varphi = k \cdot \pi$, kde $k=0,1,2,\dots$, pak rovnice (3) nabývá tvaru:

$$\left(\frac{y}{A_1} \pm \frac{z}{A_2} \right)^2 = 0 \quad (5)$$

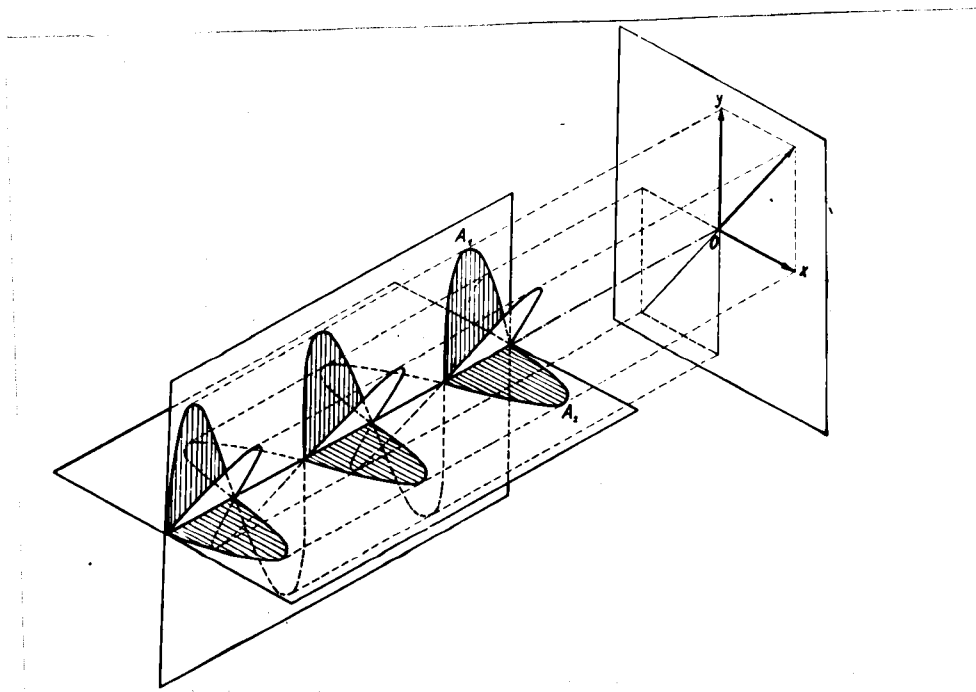
To znamená, že výsledné světlo je opět lineárně polarizované, přičemž jeho kmitosměr pro sudá k splývá s přímkou $\frac{y}{A_1} - \frac{z}{A_2} = 0$ a pro lichá k s přímkou $\frac{x}{A_1} + \frac{z}{A_2} = 0$. Z toho je patrné, že jak elipticky tak i kruhově polarizované světlo je možné převést na lineárně polarizovaná světla. Uvedené tři případy skládání dvou vzájemně kolmých světelných kmitů jsou znázorněny na obr. 5., 6., 7.



Obr. 5. K elipticky polarizovanému světlu.



Obr. 6. Ke kruhově polarizovanému světlu.



Obr. 7. K lineárně polarizovanému světlu

Odrazem se zpravidla světlo polarizuje jen částečně. Má-li nastat polarizace úplná, musí mít úhel dopadu určitou hodnotu ξ_p , která plyne ze zákona Brewsterova :

$$\operatorname{tg} \xi_p = \frac{n'}{n} \quad (6)$$

kde n značí index lomu prostředí, kterým se šíří světelný paprsek a n' značí index lomu, příslušný dané látce. Poně-
vadž index lomu n závisí na vlnové délce, je polarizační úhel pro světlo různých vlnových délek odlišný. Z toho vyplývá, že úplná polarizace odrazem může nastat pouze pro monochromatické světlo. Dále je možné použitím Malusova zákona /1/ dojít k závěru, že polarizované světlo se odráží jen tehdy, když se jeho kmity dějí v rovině kolmé k rovině dopadu.

2.2 Polarizace světla při odrazu na kovech.

Jevy spojené s odrazem světla na kovech nejlépe vysvětluje elektromagnetická teorie, podle níž optické vlastnosti kovů jsou dány jejich vodivostí. Současně s velkou absorpcí jsou kovy charakterizovány i značnou odrazivostí. Paprsek odražený od kovu není úplně polarizován, ať dopadne pod jakýmkoliv úhlem, neplatí zde Brewsterův zákon. Při odrazu světla od povrchu kovů vzniká mezi složkou s kmitosměrem v rovině dopadu a složkou s kmitosměrem v rovině kolmé k rovině dopadu určitý fázový rozdíl. Lineárně polarizovaný paprsek po odrazu na kovu je polarizován elipticky, což je obecně platné pro všechny kovy.

Podle elektromagnetické teorie souvisí optické vlastnosti kovů s přítomností volných elektronů, které kovy obsahují. Dopadnou-li elektromagnetické vlny na kov, uvedou se tyto elektrony do vynucených kmitů /1/. Jimi vytvořené vlny se skládají s dopadajícími, takže procházející vlna je úplně zrušena a všechno světlo se odráží jako v případě anomální disperze. Tato nastává jen tehdy, považujeme-li kov za ideálně dobrý vodič, který neklade průchodu proudu odpor. Část energie dopadající vlny se v kovu přeměňuje na teplo; tato část bude tím větší, čím je menší elektrická vodivost kovu. Odražená část je tedy tím větší, čím lépe vede kov proud. V souvislosti s tím Hagen a Rubens dokázali, že pro dlouhovlnné infračervené světlo o vlnových délkách asi 0,01 mm odrazivost různých kovů souhlasí s hodnotami, které lze vypočítat z elektrické vodivosti.

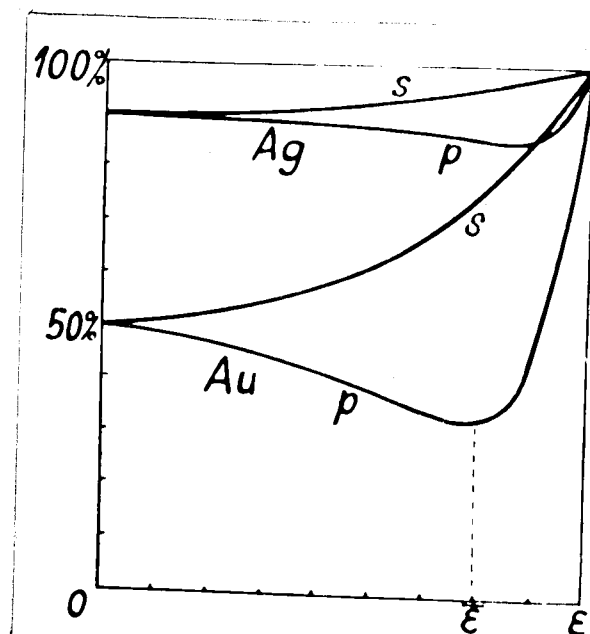
Odrzivost kovů závisí na několika aspektech a to :

- 1) vodivosti kovů
- 2) vlnové délce dopadajícího světla
- 3) intenzitě dopadajícího světla
- 4) úhlu dopadu
- 5) úpravě plochy - drsnosti povrchu

Při měření odrazivosti kovů je vhodné rozložit dopadající světelný vektor $\vec{E}$ na dvě složky, jednu $\vec{E}_p$ s kmitosměrem rovnoběžným s rovinou dopadu, druhou $\vec{E}_s$ s kmitosměrem k ní kolmým. Závislost odrazivosti na úhlu dopadu pro stříb-

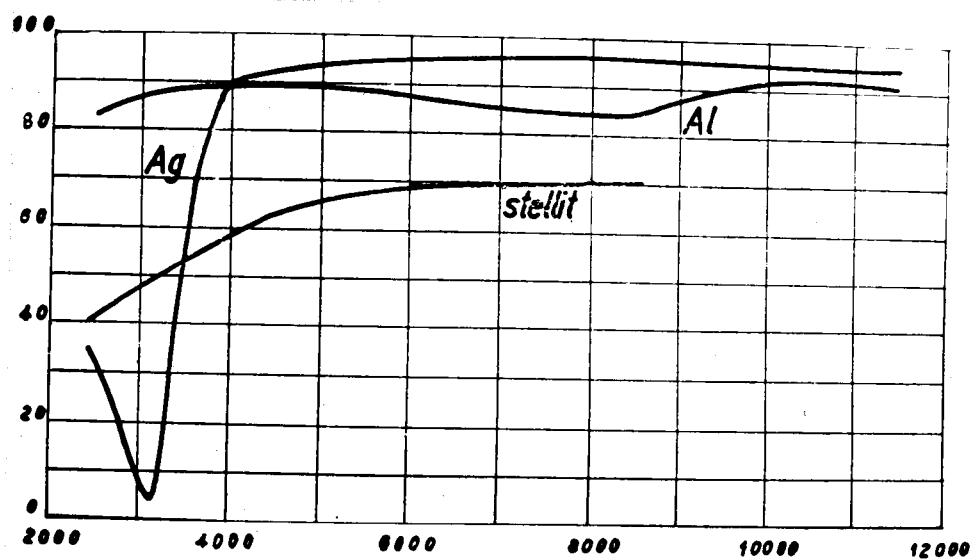
no a pro zlato podává obr. 8., uvedený v /1/.

Obr. 8.
Odrazivost kovů
v závislosti na
úhlu dopadu



Na tomto obrázku jsou znázorněny křivky odrazivosti pro složky p a s vektoru $\vec{E}$ pro oba kovy. Vyplývá z něj, že odrazivost je větší pro kovy při kolmém dopadu a že je relativně menší minimum pro určitý úhel $\bar{\epsilon}$, který se nazývá hlavním úhlem dopadu.

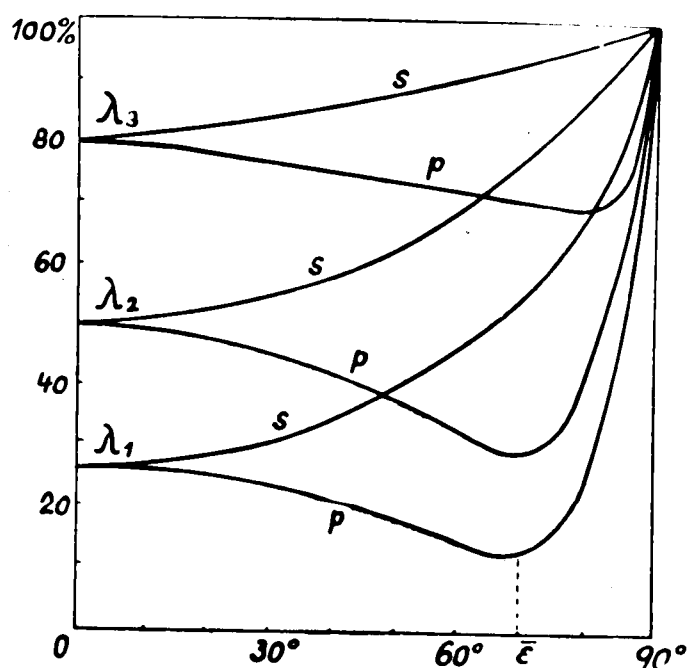
Na obr. 9., uvedeném v /1/ je ukázáno, jak se mění odrazivost kovů při kolmém dopadu s vlnovou délkou.



Obr. 9. Závislost odrazivosti kovů při
kolmém dopadu na vlnové délce.

Přes nepravidelnosti při krátkých vlnových délkách všechny kovy velmi dobře odrážejí v oblasti infračervené.

Na obr. 10 je znázorněna změna odrazivosti mědi v závislosti na úhlu dopadu pro vlnové délky $\lambda_1 = 298 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 450 \mu\text{m}$, $\lambda_3 = 630 \mu\text{m}$. Složky p dopadajících kmitů procházejí minimem při úhlu $\varepsilon = \bar{\varepsilon}$.



Obr. 10. Změna odrazivosti mědi v závislosti na úhlu dopadu při různých vlnových délkách

V případě velkých vlnových délek jsou volné elektrony v kovu příčinou jak velké odrazivosti, tak velké absorpce. Pro krátké vlnové délky, charakteristické pro laserové záření, se stávají obvodové elektrony důležitým faktorem, působícím snížení odrazivosti a absorpce. Uvažujeme-li jen volné elektrony, je odrazivost kovu dána přibližně vzorcí

$$R_p = \left(\frac{A_p''}{A_p} \right)^2 = \frac{\left(n - \frac{1}{\cos \varepsilon} \right)^2 + k^2}{\left(n + \frac{1}{\cos \varepsilon} \right)^2 + k^2} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{A_s''}{A_s} = \frac{(n - \cos \varepsilon)^2 + k^2}{(n + \cos \varepsilon)^2 + k^2} \quad (8)$$

kde A_p a A_s jsou amplitudy dopadajících kmitů, A_p'' a A_s'' amplitudy odražených kmitů, n index lomu, k je index absorpce a ξ úhel dopadu.

Při kolmém dopadu je $\xi = 0$, takže dostáváme odrazivost ve tvaru

$$R_p = R_s = R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (9)$$

Předešlé výsledky jsou zdůvodněny v literatuře /1/ na základě Maxwellovy teorie, pomocí níž je také možné odvodit vztahy pro n a k .

$$n = \sqrt{\frac{\mu}{2} \cdot \left(\left(\xi^2 + \frac{c^4 \gamma^2 \mu_0^2}{\omega^2} \right)^{1/2} + \xi \right)^{1/2}} \quad (10)$$

$$k = \sqrt{\frac{\mu}{2} \cdot \left(\left(\xi^2 + \frac{c^4 \gamma^2 \mu_0^2}{\omega^2} \right)^{1/2} - \xi \right)^{1/2}} \quad (11)$$

Veličiny n a k se nazývají optické konstanty kovu. Z výsledků též vyplývá, že vztahy platné pro dielektrikum se převedou ve vztahy platné pro kov, když nahradíme index lomu dielektrika komplexním indexem lomu $n - ik$ /1/

2.3 Odraz laserového záření na kovech.

Odrazivost a absorpce I R laserového záření se může popsat teorií klasické elektrodynamiky. Laserové záření přitom interaguje jen s volnými elektrony, které se téměř bez setrvačné energie pohybují v elektrickém poli laserového světla. Toto platí nejen pro plynová plasma, ale i pro pevné látky. /2/

Podle pásové teorie se elektrony v nezaplněných pásech pevné látky (vodivostní pás) chovají téměř jako klasické volné elektrony. Poněvadž volné elektrony v časovém průběhu nemohou přijímat z elektrického střídavého pole energii, mají kolize elektronů v plynu s atomy a v pevných látkách s mřížkovými poruchami a fonony zvláštní význam. /2/

Užitím Maxwell-Drudeovy teorie /2/ je možné odvodit absorpční koeficient, který platí jak pro pevné látky (kovy) tak i pro plasmu (laserově indukovanou). Následný popis platí jen v I R spektrální oblasti $\lambda > \lambda_L$.

Z vlnové rovnice pro šíření elektromagnetických vln a pohybové rovnice pro elektrony plyne obecný tvar absorpčního koeficientu a indexu lomu. /2/

$$\alpha = \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\left(1 - \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right)^2 + \left(\frac{v_c}{\omega} \cdot \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right)^2 \right)^{1/2} - \left(1 - \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (12)$$

$$n = \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\left(1 - \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right)^2 + \left(\frac{v_c}{\omega} \cdot \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right)^2 \right)^{1/2} + \left(1 - \frac{\omega_p^2}{v_c^2 + \omega^2} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (13)$$

kde je α - absorpční koeficient

n - index lomu

ω_p - frekvence plasmy

v_c - kolizní frekvence elektronu

ω - laserová frekvence (pro CO₂ laser
= $1,78 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$)

Typické hodnoty těchto veličin pro kov jsou /2/

$$10^{16} < \omega_p \text{ [s}^{-1}] < 10^{17}$$

$$10^{13} < v_c \text{ [s}^{-1}] < 10^{15}$$

Označíme-li A jako stupeň absorpce pro kov, pak lze odrazivost R laserového záření pro kov definovat takto: /2/

$$R = 1 - A \quad (14)$$

$$R = \frac{(-1 + n)^2 + \alpha^2}{(1 + n)^2 + \alpha^2} \quad (15)$$

Pro $\omega < \omega_c$ lze reflexi aproximovat Hagen-Rubensovým vztahem: /2/

$$R = 1 - 2 \sqrt{\frac{2 \epsilon_0 \cdot \omega}{\sigma_0}} \quad (16)$$

$$A = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \epsilon_0 \cdot \omega}{\sigma_0}} \quad (17)$$

kde je σ_0 vodivost stejnosměrného proudu a ϵ_0 permitivita vakua.

Odrazivost závisí na teplotě součásti. Se vzrůstající teplotou se zvyšuje hustota fononů v pevné látce a tím i frekvence kolize elektron - fonon ω_{ph} : /2/

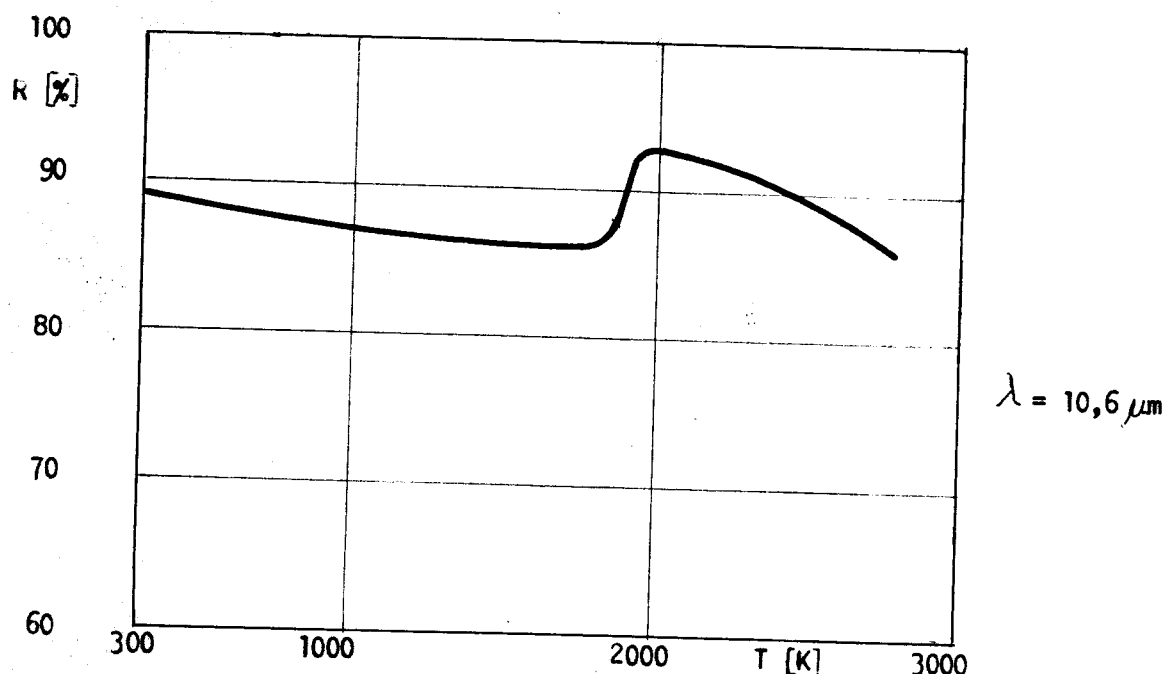
$$\omega_c = \omega_{ph} + \omega_{st} \quad (18)$$

kde ω_{st} je kolizní frekvence elektron - mřížková porucha.

Podle Debyeova modelu je mezi ω_{ph} a teplotou T lineární závislost. Poněvadž tepelná vodivost $\lambda(T)$ je pro mnoho kovů známa až k teplotě vypařování, můžeme pomocí Wiedeman - Franzova vztahu přepočítat teplotní závislost kolizní frekvence elektronů : /2/

$$\omega_c(T) = \omega_p^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{L}{\lambda(T)} \cdot T \quad (19)$$

kde L je Lorentzovo číslo. Teplotní závislost odrazivosti pro ušlechtilou ocel je znázorněna na obr. 11. /2/



Obr. 11 . Teplotní závislost odrazivosti pro ušlechtilou ocel

V [3/ je uvedena teplotní závislost odrazivosti ve tvaru

$$R = 1 - A$$

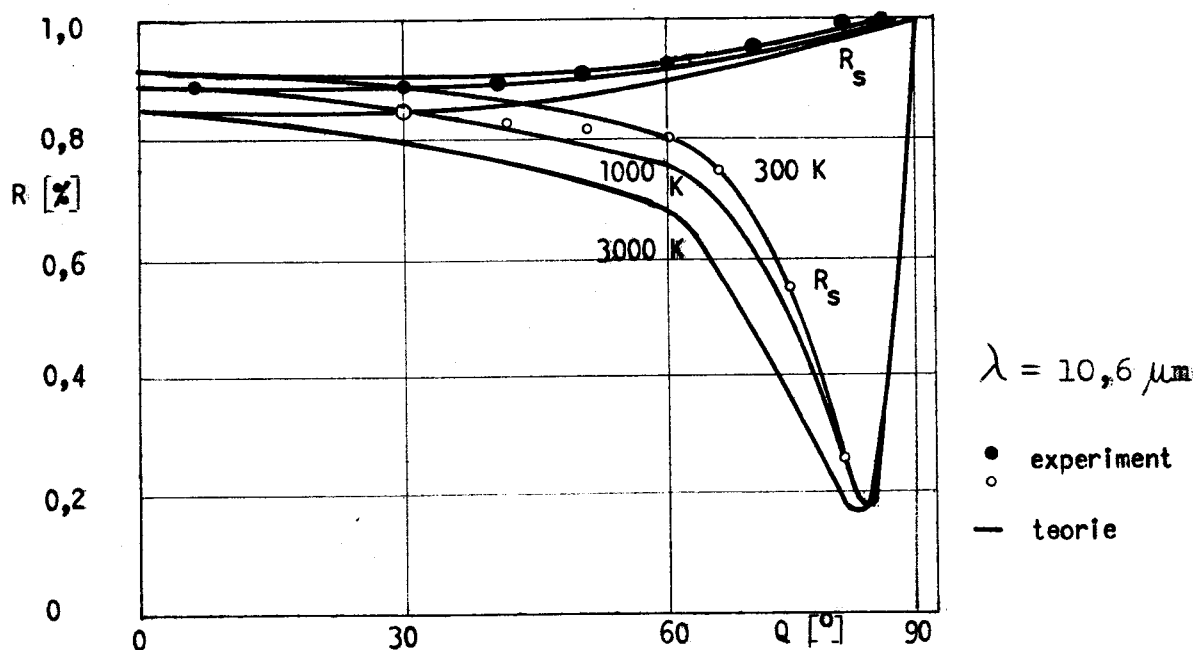
$$A = a_0 + b \cdot T$$

(20)

$$a_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{v_0}{c} \quad b = \frac{\Omega}{2\pi\delta_0 \cdot T}$$

kde v_0 je rychlost volného elektronu, c - rychlost světla, δ_0 - vodivost, Ω - frekvence plasmy.

Tyto výpočty platí pro ideální povrchy. Se vzrůstající hodnotou drsnosti povrchu a oxidačního stupně povrchu odrazivost prokazatelně klesá. /2/ U některých ocelí se může na základě strukturní změny při stoupající teplotě vyskytnout změna kolizní frekvence elektronů. Toto je zpravidla spojeno s přírůstkem pohltivosti, což má význam především u laserového kalení. Pro záření nedopadající kolmo k povrchu součásti závisí reflexe na polarizačním směru světla. Na obr. 12 je znázorněna závislost reflexe na úhlu dopadu pro různé směry polarizace a teploty součásti pro ocel při vlnové délce záření $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ /2/



Obr. 12. Závislost reflexe na úhlu dopadu pro různé směry polarizace a teploty součásti pro ocel.

Pro laserové řezání se udává v řezné spáře úhel od 75° do 85° . To je mezi jiným důvod, proč při laserovém řezání závisí jakost řezu na polarizaci, vztažené ke směru řezu.

V tab. 1. je uveden koeficient reflexe (při plném odražení je roven 1) pro neokysličené povrchy různých kovů a různé vlnové délky laserového záření. /4/

Tab. 1.

laser	argon $\lambda=0,488\mu\text{m}$	rubín $\lambda=0,6943\mu\text{m}$	neodymový krystal $\lambda=1,06\mu\text{m}$	C - O ₂ $\lambda=10,6\mu\text{m}$
Au	0,415	0,930	0,981	0,975
Ag	0,952	0,961	0,964	0,984
Cu	0,437	0,831	0,901	0,984
Mo	0,455	0,498	0,512	0,945
Al	-	-	0,733	0,790
Cr	-	0,555	0,570	0,930
Fe	-	0,575	0,650	0,924
Ni	0,597	0,676	0,741	0,941

Zmenšení množství odraženého záření lze také dosáhnout nanesením různých povrchových vrstev s malými koeficienty odrazu. Přesáhne-li intenzita laserového záření hodnotu 10^5 W cm^2 , dochází tím obvykle ke vzniku laserem indukované plasmy, s čímž je spojen jev tzv. abnormální absorpce. /2/

2.4 Detektory CO₂ laserového záření.

Detektory kontinuálního CO₂ laserového záření lze rozdělit do skupiny kvantových detektorů (detektory Ge - Cu, Hg - Cd - Te) a tepelných detektorů (bolometr, pyroelektrické detektory, detektory s termoelektrickou baterií). V tabulce 2. jsou sestaveny některé typické provozní parametry těchto detektorů. /7/

Tab. 2. Typické provozní parametry detektorů pro kontinuální záření CO₂ laserů.

T y p	Doba náběhu $T [s]$	Detektivnost $\left[\frac{cm.Hz^{1/2}}{W} \right]$	Provozní teplota T_{op} [K]
Kvantové detektory :			
Ge - Cu	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-10}$	4 (chlazení tek.helium)
Hg - Cd - Te	$20 \div 50 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^9$	77 (chlazení tek.dus.)
Tepelné detektory			
Bolometr	$10^{-3} \div 10^{-2}$	$2 \cdot 10^8$	300
termoelektr. bat.	$10^{-3} \div 10^{-2}$	$2 \cdot 10^8$	300
pyroelektrické	$10^{-5} \div 10^{-6}$	$5 \cdot 10^8$	300

V kvantových detektorech se využívá vnitřní fotoefekt v polovodičích k průkazu záření a dosahuje se časové rozlišení až do nanosekundového řádu. Bolometrové detektory sestávají z tenkých odporových vrstev závislých na teplotě na chladicím tělese. Doba náběhu těchto detektorů se omezuje tepelnými časovými konstantami na několik milisekund. /7/

Detektory na principu termoelektrické baterie jsou sestaveny z většího počtu tenkých na sobě ležících kotoučů různých kovů. Kovové kotouče jsou zapojeny jako termočlánky. Při ozáření se vytvoří v tomto termočlátku teplotní gradient, který vytváří napětí proporcionální absorbovanému výkonu. Tyto detektory nalézají použití jako přístroje na měření výkonu pro kontinuální laserové záření do 5 kW. Časová konstanta těchto detektorů leží v sekundovém řádu.

Pyroelektrické detektory vytvářejí při ozáření proud, proporcionální změně teploty pyroelektrického materiálu v čase. U frekvencí nad tepelnou hraniční frekvenci detektoru (typicky 10 až 100 Hz) je tento proud proporcionální intenzitě absorbovaného laserového záření, t.j. kontinuální záření musí být s frekvencí vyšší než je tepelná hraniční frekvence. Horní hraniční frekvence detektoru závisí na vnějším elektrickém zapojení. Činí typicky 0,1 až 1 MHz. /7/

S uvedenými detektory se dají provádět podle poměru plochy detektoru k průřezu paprsku časově rozlišená měření celkového výkonu nebo výkonu v některém bodě průřezu paprsku. Pro místně rozlišená měření se musejí použít systémy rozkladu nebo vychýlení paprsku.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.

Cíl práce spočíval v ověření metody měření odrazivosti laserového záření u kovů pomocí termoelektrického snímače, pro různé druhy ocelí a neželezných kovů na vzorcích s odlišnou povrchovou úpravou (drsností povrchu). Dalším úkolem experimentální části bylo zhodnotit vliv tohoto záření na migraci manganu a změnu drsnosti povrchu u vybraných ocelí.

3.1 Výběr a příprava vzorků.

Aby bylo možno posoudit vliv chemického složení ocelí na odrazivost laserového záření byl výběr vzorků proveden tak, aby vybrané druhy charakterizovaly svým chemickým složením nejběžněji používané třídy ocelí. Skupina uhlíkových konstrukčních ocelí byla zastoupena druhem 10 216 a 11 500, skupina konstrukčních ušlechtilých ocelí druhy 13 240, 15 260, 17 153 a skupina nástrojových ocelí druhem 19 312. V tab.3. jsou uvedeny příklady použití, vlastnosti a chemické složení jednotlivých ocelí.

Pro porovnání hodnot odrazivosti byly vybrány i druhy neželezných kovů a jejich slitin a sice měď 42 30 03, dural 42 42 01 a mosaz 42 32 23. Jejich chemické složení a příklady použití jsou uvedeny v tab 4.

Tab 4. Chemické složení a příklady použití
vybraných neželezných kovů a jejich slitin

označení materiálu	druh	chemické složení [%]	použití
42 30 03	měď	Cu 99,75	tvářené výrobky, konstr.mat. ve strojír.
42 32 23	mosaz (automat.) Ms 58 Pb	56 až 59 Cu 1 až 3 Pb zbytek Zn	kontakty šrouby
42 42 01	dural	Al-Cu4-Mg	mechanicky namáhané souč.letadel

Tab. 3. Chemické složení a příklady použití vybraných ocelí.

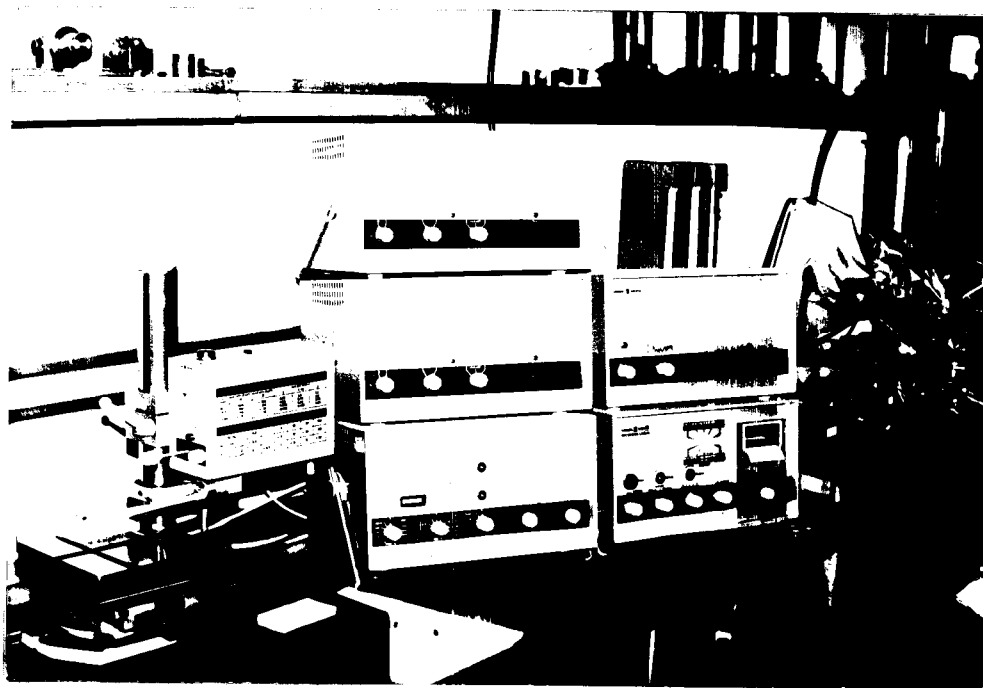
označení oceli	druh oceli	chemické složení [%]	příklady použití
10 216	uhlíková	nezaručuje se	stavební ocel
11 500	uhlíková zušlechtitel.	max. 0,28 C	tvářené výrobky
13 240	mangano- křemíková k zušlech- tování	0,33 až 0,40 C 1,10 až 1,40 Mn 1,10 až 1,40 Si max 0,04 P max 0,04 S max 0,07 (P+S)	střed.namáh. stroj.souč. součásti určené k zušlechtov.
15 260	mangano- chromo- vanadová k zušlechtov.	0,47 až 0,55 C 0,70 až 1,00 Mn max 0,40 Si 0,90 až 1,20 Cr 0,10 až 0,20 V max 0,04 P max 0,04 S max 0,07 (P+S)	velmi namáh. stroj.souč. zalomené hřídele velmi namáh. stroj.souč. k zušlech- tování
17 153	chromová žáruvzdorná ferritická (nekalitelná ferromagnet.)	max 0,20 C max 1,00 Mn max 1,50 Si 23,0 až 27,0 Cr max 2,00 Ni max 0,035 P max 0,035 S	žáruvzdorná ocel do tepl. 1100°C po použití při vyšších teplotách se stává křehká za studena
19 312	manganová	0,75 až 0,90 C 1,8 až 2,15 Mn max 0,4 Si 0,1 až 0,25 V	nástrojová ocel ke ka- lení v oleji při 740°C až 780°C závitníky výstružníky

Polotovarem pro zhotovení vzorků ve tvaru kruhových terčíků o ϕ 20 mm a tloušťce 2mm byly tyče kruhového průřezu. Jednotlivé terčíky byly z tyče upíchnuty na hrotovém soustruhu. Soustružený povrch byl získán již při výrobě vzorku jemným soustružením povrchu před upíchnutím terčíku. Předepsaná hodnota drsnosti povrchu činila $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Broušený povrch s požadovanou drsností $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ byl dosažen na rovinné brusce s magnetickým upínacím stolem. Leštěný povrch s požadovanou drsností $R_a = 0,025 \mu\text{m}$ byl získán postupným ručním leštěním terčíků, upnutých ve zvláštním přípravku na metalografickém papíře o jemnosti 280, 400 a 600. Doleštění bylo provedeno na metalografické leštičce s použitím leštící emulze. K značení vzorků byla použita ruční číslicová razidla.

3.2 Drsnost povrchu.

Měření drsnosti povrchu vzorků bylo provedeno na měřicím zařízení firmy HOMMEL - WERKE, vybaveným indukčním snímačem TFE-100. Indukční snímač vysílá údaje o tvaru povrchu do vyhodnovacího zařízení TESTER TT, které informace zpracuje a poskytne přímo údaj o střední aritmetické odchylce R_a a o max. odchylce R_{max} . Součástí přístroje je i lineární rekorder, zaznamenávající graficky tvar reliéfu povrchu. Měření bylo u všech vzorků prováděno dráhou 2 mm, CUT OFF = 0,75. Přístroj je fotograficky zachycen na obr. 13. Naměřené hodnoty střední aritmetické odchylky R_a jsou uvedeny v tab. 5.

Obr. 13. Měřicí zařízení TESTER TR-3
firmy HOMMEL-WERKE.



Tab. 5. Naměřené hodnoty střední aritmetické odchylky R_a (μm)

číslo měření		1	2	3	$\bar{R}_a$ [μm]	σ [μm]	c_x [%]
druh	povrchová úprava	R_a [μm]	R_a [μm]	R_a [μm]			
10 216	soustruženo	2,800	3,200	2,950	2,9833	0,20207	6,7731
10 216	broušeno	0,250	0,230	0,240	0,2400	0,01000	4,1676
10 216	leštěno	0,025	0,024	0,025	0,0247	0,00058	2,3482
11 500	soustruženo	2,300	3,000	2,550	2,6167	0,35473	13,5562
11 500	broušeno	0,350	0,310	0,320	0,3267	0,02082	6,3728
11 500	leštěno	0,026	0,029	0,027	0,0273	0,00153	5,6044
13 240	soustruženo	0,800	0,850	0,790	0,8133	0,03215	3,9553
13 240	broušeno	0,320	0,360	0,330	0,3367	0,02082	6,1835
13 240	leštěno	0,024	0,027	0,025	0,0253	0,00153	6,0474
15 260	soustruženo	0,650	0,750	0,680	0,6933	0,05132	7,4023
15 260	broušeno	0,290	0,260	0,270	0,2733	0,01528	5,5909
15 260	leštěno	0,058	0,057	0,055	0,0567	0,00153	2,6984
17 153	soustruženo	1,450	1,250	1,300	1,3333	0,10408	7,8062
17 153	broušeno	0,700	0,780	0,750	0,7433	0,04041	5,4366
17 153	leštěno	0,038	0,035	0,038	0,0370	0,00173	4,6757
19 312	soustruženo	0,580	0,550	0,550	0,5600	0,01732	3,0928
19 312	broušeno	0,280	0,260	0,290	0,2767	0,01528	5,5222
19 312	leštěno	0,018	0,017	0,018	0,0177	0,00058	3,2768
mosaz	soustruženo	2,050	2,650	2,400	2,3667	0,30139	12,7346
mosaz	broušeno	0,420	0,360	0,380	0,3867	0,03055	7,9002
mosaz	leštěno	0,025	0,028	0,024	0,0210	0,00300	14,2861
měď	soustruženo	2,100	2,750	2,350	2,4000	0,32787	13,6613
měď	broušeno	0,320	0,350	0,300	0,3233	0,02517	7,7853
měď	leštěno	0,018	0,020	0,022	0,0200	0,00200	10,0000
dural	soustruženo	2,800	2,400	2,550	2,5833	0,20207	7,8222
dural	broušeno	0,290	0,330	0,280	0,2852	0,00730	2,5596
dural	leštěno	0,026	0,028	0,023	0,0257	0,00252	9,8054

Existují hypotézy /9/, které předpokládají, že během obrábění, broušení a zvláště leštění se porušuje krystalická struktura povrchové zony a vznikají amorfni vrstvy. Pro ověření těchto hypotéz a také za účelem získání reliéfu povrchu byl u vzorků proveden příčný řez. Vyleštěním a naleptáním plochy příčného řezu byly získány struktury a tvary reliéfů.

Na obr. 14 je znázorněn řez ocelí 10 216 se soustruženým povrchem, na obr. 15 s broušeným povrchem a na obr. 16 s povrchem leštěným. Totéž je uvedeno na obr. 17., 18., 19. pro ocel 11 500 a na obr. 20., 21. a 22. pro ocel 13 240.

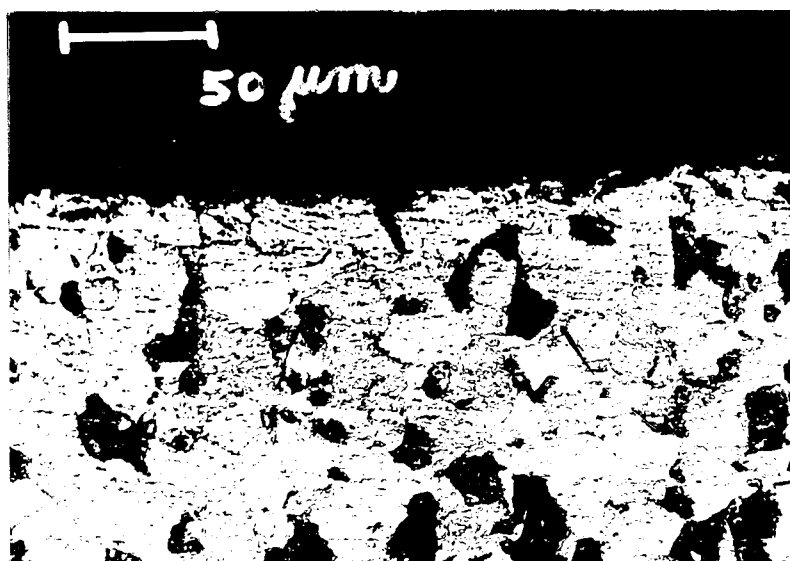
Přítomnost amorfni vrstvy nebyla při použitém způsobu naleptání a zvětšení jednoznačně prokázána.

Obr. 14. Příčný řez ocelí 10 216 se soustruženým povrchem.



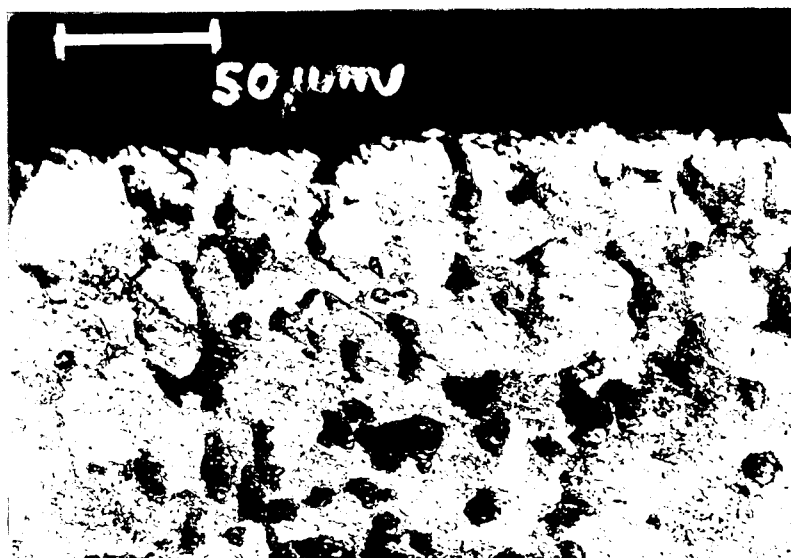
Zvětšeno 200 x, leptáno 2 % HNO_3

Obr. 15. Příčný řez ocelí 10 216 ,
s broušeným povrchem.



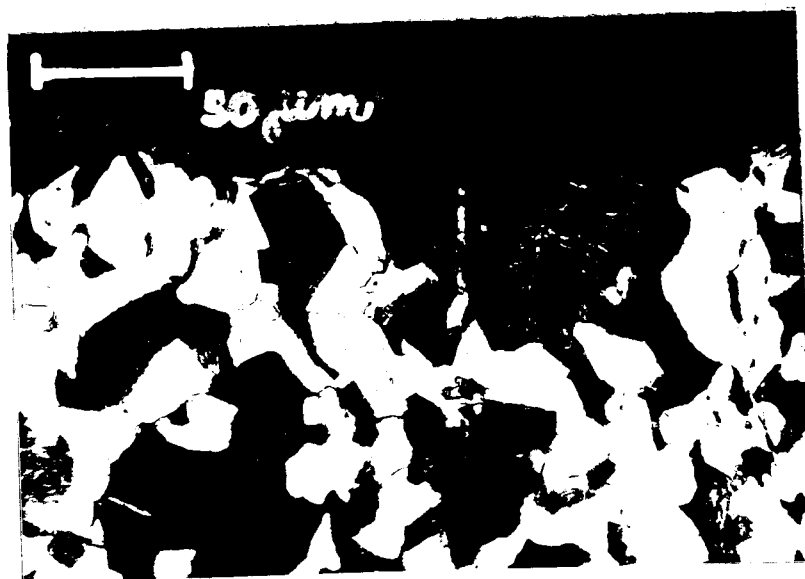
Zvětšeno 200 x, leptáno 2 % HNO_3

Obr. 16. Příčný řez ocelí 10 216
s leštěným povrchem.



Zvětšeno 200 x, leptáno 2 % HNO_3

Obr. 17. Příčný řez ocelí 11 500
se soustruženým povrchem.



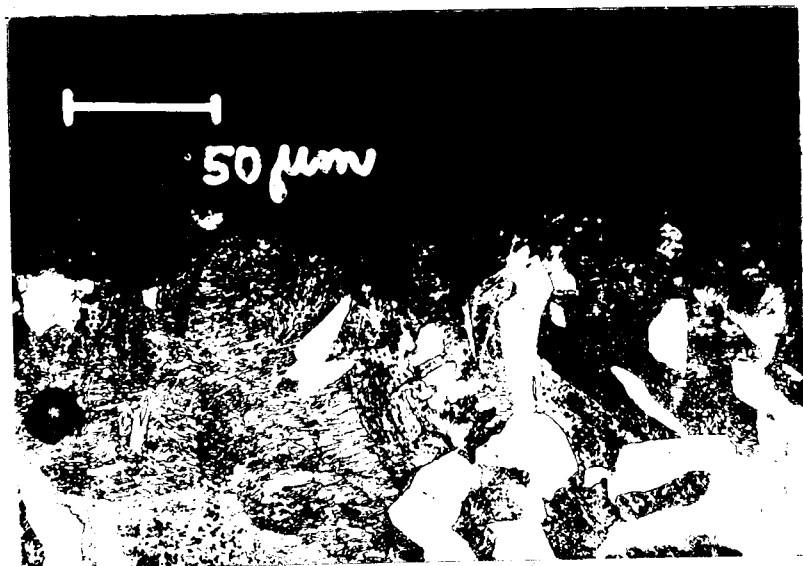
Zvětšeno 200 x. leptáno 2 % HNO_3

Obr. 18. Příčný řez ocelí 11 500
s broušeným povrchem.



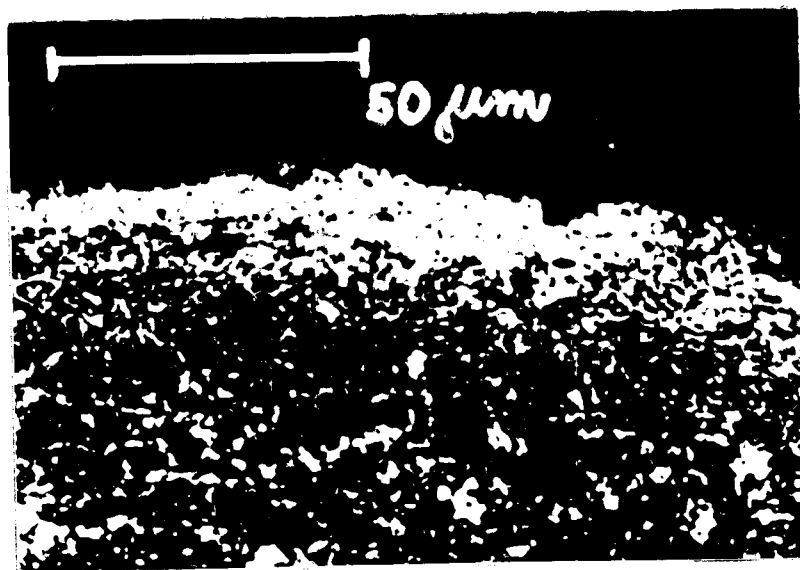
Zvětšeno 200 x, leptáno 2 % HNO_3

Obr. 19. Příčný řez ocelí 11 500
s leštěným povrchem.



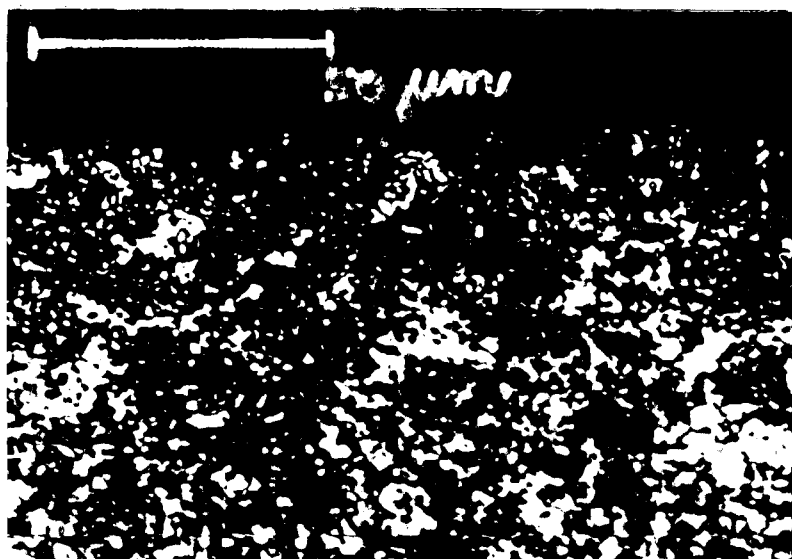
Zvětšeno 200 x, leptáno 2 % HNO_3

Obr. 20. Příčný řez ocelí 13 240
se soustruženým povrchem.



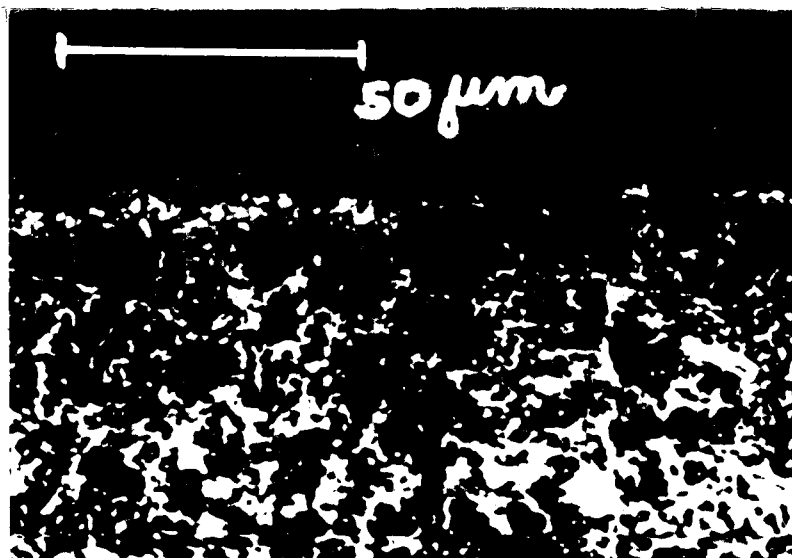
Zvětšeno 500 x, leptáno nitalem

Obr. 21. Příčný řez ocelí 13 240
s broušeným povrchem.



Zvětšeno 500 x, leptáno nitalem

Obr. 22. Příčný řez ocelí 13 240
s leštěným povrchem.



Zvětšeno 500 x, leptáno nitalem

3.3 Migrace manganu.

Cílem tohoto úkolu experimentální části bylo zjistit vliv laserového záření na migraci manganu v oceli. Zadání tohoto úkolu vyplynulo z možností provedení měření obsahu manganu na přístroji firmy LECO (USA). Přístroje této firmy jsou určeny pro rychlé stanovení obsahu základních prvků ve slitinách železa.

Měření bylo uskutečněno na přístroji XR - 24, který slouží ke stanovení obsahu manganu v železe, oceli, strusce a v jiných železných a neželezných materiálech metodou rentgenové fluorescence. Rentgenové záření vycházející z rtg-trubice dopadá přímo na zkoušený vzorek. Toto primární záření vniká cca 0,5 minuty do povrchu vzorku a absorbuje se tam. Energie tohoto záření vystupuje pak jako sekundární, resp. fluorescenční záření ze vzorků. Detektorem je vyhodnocováno jen to fluorescenční záření, jehož vlnová délka přísluší manganu. Analyzátor XR-24 tak poskytne přímý údaj o obsahu manganu za 60 sec. Rozsah stanovení 0,01 až 10 % Mn s přesností $\pm 0,02$ pro interval 0 až 1% Mn a $\pm 1\%$ pro obsah manganu větší než 1%.

Výpočet hloubky proniknutí rentgenového záření.

Výpočet byl proveden dle: /5/

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_t} \right) = \mu \cdot t \quad (21)$$

$$t = \frac{\ln \left(\frac{I_0}{I_t} \right)}{\mu} \quad (22)$$

kde μ je lineární absorpční koeficient, I_0 je intenzita dopadajícího záření, I_t je intenzita prošlého záření.

Lineární absorpční koeficient μ lze vyjádřit ve tvaru :

$$\mu = \mu_h \cdot \rho \quad (23)$$

kde μ_h je hmotový absorpční koeficient, lze ho určit pomocí

tabulky uvedené v /6/. Vlnovou délku záření λ_k určíme ze vztahu :

$$\lambda_k = \frac{1,23}{U [\text{kV}]} = \frac{1,23}{30} = \underline{0,041 \text{ nm}}$$

Nejbližší hodnota v tabulce je $\lambda_{k2} = 0,05 \text{ nm}$, pro níž je možné odečíst hodnotu $\mu_n = 7,6 \text{ cm}^2/\text{g}$. Velikost hloubky proniknutí záření je za předpokladu, že velikost prošlého záření I_t je 1% z I_0 a $\rho_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$:

$$t = \frac{\ln 100}{7,6 \cdot 7,8} = 0,077685 \text{ cm} = \underline{0,77685 \text{ mm}}$$

Měření obsahu manganu bylo prováděno u jednoho vzorku celkem 6x a to 3x pro neopracovanou a 3x pro opracovanou plochu. Výsledky jsou uvedeny v tab. 6.

Za účelem zvýšení absorpčního koeficientu byly vzorky opatřeny vrstvou černého matového laku. Po přípravě byly vzorky ozářeny pulsním ^{jednovlnným} laserem PERUN A4 o vlnové délce záření $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ ve FÚ ČAV v Praze. Bylo použito svazku fokusovaného na průměr vzorku t.j. 20 mm. Délka pulsu byla u všech vzorků konstantní, a to 150 μs . Množství vyzářené energie a výkony použité pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v tab. 7.

Po ozáření byl opět u vzorků proveden rozbor obsahu manganu stejným způsobem. Naměřené hodnoty jsou seřazeny v tab. 8.

Tab. 6. Naměřené hodnoty obsahu manganu u neozářených vzorků.

druh ocel	povrchová úprava	obsah Mn v [%] neopracov. strana	$\bar{x}$ [%]	δ [%]	c_x [%]	obsah Mn v [%] opracov. strana	$\bar{x}$ [%]	δ [%]	c_x [%]	číslo vzorku
10 216	soustruženo	0,94 0,93 0,90	0,923	0,02082	2,255	0,96 0,97 0,96	0,963	0,00577	0,599	1
11 500	soustruženo	0,63 0,61 0,62	0,620	0,01000	1,612	0,60 0,63 0,64	0,623	0,02082	3,340	4
13 240	soustruženo	1,16 1,16 1,14	1,153	0,01155	1,001	1,24 1,15 1,21	1,200	0,04583	3,819	4
15 260	soustruženo	2,04 2,01 2,00	2,016	0,02082	1,032	2,11 2,07 2,12	2,100	0,02646	1,260	1
17 153	soustruženo	0,67 0,64 0,68	0,663	0,02082	3,138	0,67 0,67 0,65	0,663	0,01155	1,741	5
19 312	soustruženo	2,02 2,05 2,06	2,043	0,02082	1,019	2,05 2,08 2,15	2,093	0,05132	2,451	4
10 216	broušeno	0,92 0,91 0,96	0,930	0,02646	2,845	0,94 0,93 0,97	0,946	0,02082	2,199	2
11 500	broušeno	0,56 0,57 0,55	0,560	0,00816	1,458	0,62 0,64 0,62	0,626	0,01155	1,843	2
13 240	broušeno	1,14 1,19 1,11	1,146	0,04041	3,525	1,24 1,24 1,20	1,226	0,02309	1,883	2
15 260	broušeno	1,93 1,88 1,93	1,913	0,02887	1,509	1,89 1,94 1,92	1,916	0,02517	1,313	1
17 153	broušeno	0,68 0,72 0,60	0,696	0,02082	2,988	0,77 0,72 0,73	0,740	0,02646	3,576	1
19 312	broušeno				n e h o d n o c e n o					
10 216	leštěno	0,95 0,93 0,96	0,946	0,01528	1,614	0,99 1,04 1,06	1,030	0,03606	3,501	1
11 500	leštěno	0,57 0,56 0,56	0,563	0,00577	1,020	0,64 0,66 0,66	0,653	0,01155	1,767	2
13 240	leštěno	1,15 1,15 1,20	1,166	0,02887	2,474	1,27 1,31 1,24	1,273	0,03512	2,758	1
15 260	leštěno	1,99 1,93 1,95	1,956	0,03055	1,561	2,07 2,14 2,06	2,090	0,04359	2,086	1
17 153	leštěno	0,69 0,66 0,69	0,680	0,01732	2,547	0,72 0,76 0,70	0,726	0,03055	4,204	3
19 312	leštěno	1,92 1,90 1,96	1,926	0,03055	1,586	2,00 2,07 2,05	2,040	0,03606	1,767	2

Tab. 7. Použitá energie a výkony pro ozáření jednotl. vzorků.

druh oceli	povrchová úprava	Q [J]	p [W]	číslo vzorku
10 216	soustruženo	60,0	400 000	
10 216	broušeno	74,1	494 000	2
10 216	leštěno	79,5	530 000	1
11 500	soustruženo	79,8	532 000	4
11 500	broušeno	80,1	534 000	2
11 500	leštěno	78,6	524 000	2
13 240	soustruženo	78,9	526 000	4
13 240	broušeno	67,8	452 000	2
13 240	leštěno	77,7	518 000	1
15 260	soustruženo	78,6	524 000	1
15 260	broušeno	76,8	512 000	1
15 260	leštěno	76,8	512 000	1
17 153	soustruženo	71,1	474 000	5
17 153	broušeno	78,3	522 000	1
17 153	leštěno	76,8	512 000	3
19 312	soustruženo	77,0	513 333,3	
19 312	broušeno	-	-	
19 312	leštěno	72,0	480 000	

Tab. 8. Naměřené hodnoty obsahu manganu u ozářených vzorků.

druh oceli	povrchová úprava	obsah Mn v [%] neopracov. strana	$\bar{x}$ [%]	δ [%]	c_x [%]	obsah Mn v [%] opracov. strana	$\bar{x}$ [%]	δ [%]	c_x [%]	číslo vzorku
10 216	soustruženo	0,97 0,96 0,92	0,950	0,02645	2,784	0,96 1,03 0,96	0,983	0,04041	4,109	1
11 500	soustruženo	0,61 0,62 0,59	0,607	0,01528	2,517	0,59 0,60 0,62	0,603	0,01527	2,531	4
13 240	soustruženo	1,13 1,20 1,16	1,163	0,03512	3,019	1,20 1,22 1,24	1,222	0,02000	1,639	4
15 260	soustruženo	2,00 2,05 2,05	2,033	0,02887	1,420	2,20 2,15 2,12	2,156	0,04041	1,874	1
17 153	soustruženo	0,71 0,71 0,66	0,693	0,02887	4,164	0,72 0,72 0,75	0,734	0,01732	2,373	5
19 312	soustruženo	2,02 1,96 2,06	2,013	0,05033	2,500	2,15 2,14 2,10	2,136	0,02646	1,242	4
10 216	broušeno	0,92 0,94 0,95	0,936	0,01528	1,631	0,96 0,95 0,95	0,953	0,00577	0,605	2
11 500	broušeno	0,57 0,56 0,55	0,560	0,01000	1,786	0,61 0,61 0,62	0,613	0,00577	0,941	2
13 240	broušeno	1,13 1,13 1,13	1,130	0,00000	0,000	1,15 1,16 1,17	1,162	0,01000	0,862	2
15 260	broušeno	1,97 1,96 2,01	1,980	0,02646	1,336	2,06 2,04 2,06	2,053	0,01155	0,562	1
17 153	broušeno	0,70 0,70 0,72	0,706	0,01155	1,634	0,73 0,75 0,75	0,743	0,01155	1,554	1
19 312	broušeno									
n e h o d n o c e n e										
10 216	leštěno	0,94 0,92 0,92	0,926	0,01155	1,246	1,01 0,99 0,98	0,993	0,01528	1,538	1
11 500	leštěno	0,57 0,57 0,60	0,580	0,01732	2,986	0,64 0,60 0,59	0,610	0,02646	4,338	2
13 240	leštěno	1,16 1,16 1,15	1,156	0,00577	0,499	1,21 1,26 1,21	1,226	0,02887	2,354	1
15 260	leštěno	1,91 1,96 1,95	1,940	0,02646	1,364	2,07 2,07 2,13	2,090	0,03464	1,657	1
17 153	leštěno	0,72 0,70 0,71	0,710	0,01000	1,408	0,72 0,77 0,75	0,746	0,02517	3,371	3
19 312	leštěno	1,96 2,01 2,00	1,990	0,02646	1,330	2,04 2,12 2,04	2,066	0,04619	2,235	2

Vyhodnocení experimentu.

Po porovnání výsledků uvedených v tabulkách 6. a 8. je zřejmé, že nelze stanovit zákonitost migrace manganu v oceli vlivem laserového záření pro použitý výkon laseru. Odchyšky obsahu manganu v měřené povrchové vrstvě jsou před a po ozáření velmi malé a spadají svojí velikostí do chyby měření. Určité rozdíly však lze vypočítat z uvedených hodnot obsahu manganu pro opracovanou a neopracovanou plochu v tab. 6. Porovnáním hodnot lze dospět k závěru, že s téměř 100% platností se obsah manganu v povrchové vrstvě opracované plochy zvýšil oproti obsahu manganu v povrchové vrstvě neopracované plochy. Je tedy možné předpokládat, že během obrábění, broušení a leštění došlo v měřené povrchové vrstvě o tloušťce 0,776 mm vlivem tepelných a mechanických procesů k zvýšení obsahu manganu. Zvýšení obsahu manganu u soustružených povrchů činí řádově 0,01%, broušením dále vzrůstá a max. přírůstek je u leštěných povrchů, kde činí řádově 0,1%. Maximální zvýšení obsahu manganu bylo zaznamenáno u leštěného povrchu oceli 15 260, kde činí 0,134%.

3.4 Vliv laserového záření na drsnost povrchu.

Podnětem pro uskutečnění tohoto experimentu byl předpoklad, že vlivem energie laserového záření o velké intenzitě dopadající na povrch kovů dochází k natavení povrchu a tím k zaoblení reliefu a změně maximální odchylky drsnosti Ra_{max} .

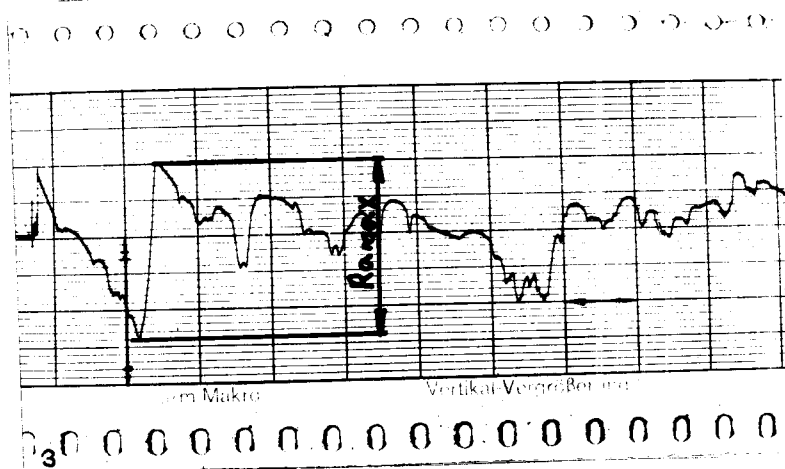
Vyhodnocení experimentu spočívalo v porovnání max. odchylek drsnosti povrchu Ra_{max} neozářených vzorků a vzorků ozářených He-Ne laserem, použitých v experimentu „migrace manganu“. Energie a výkony, kterými bylo ozáření jednotlivých vzorků provedeno, jsou uvedeny v tab. 7. K porovnání maximálních odchylek drsnosti povrchu Ra_{max} bylo použito grafických záznamů z lineárního rekorderu přístroje TESTER TR - 3. Hodnocení bylo provedeno na ocelích třídy 10 216 a 17 153. Grafické záznamy drsnosti povrchu ozářených a neozářených vzorků jsou uvedeny na obr. 22 až 33. Pro snadné porovnání jsou grafické záznamy pro neozářené a ozářené vzorky uvedeny hned za sebou. Na jednotlivých obr. jsou vyznačeny maximální odchylky Ra_{max} .

Parametry použité pro zhotovení grafických záznamů drsnosti povrchu byly :

soustružené povrchy	- podélné zvětšení 1 cm ~ 100 μ m vertik. zvětšení 1 cm ~ 3 μ m
broušené povrchy	- podélné zvětšení 1 cm ~ 100 μ m vertik. zvětšení 1 cm ~ 1 μ m
leštěné povrchy	- podélné zvětšení 1 cm ~ 100 μ m vertik. zvětšení 1 cm ~ 0,1 μ m

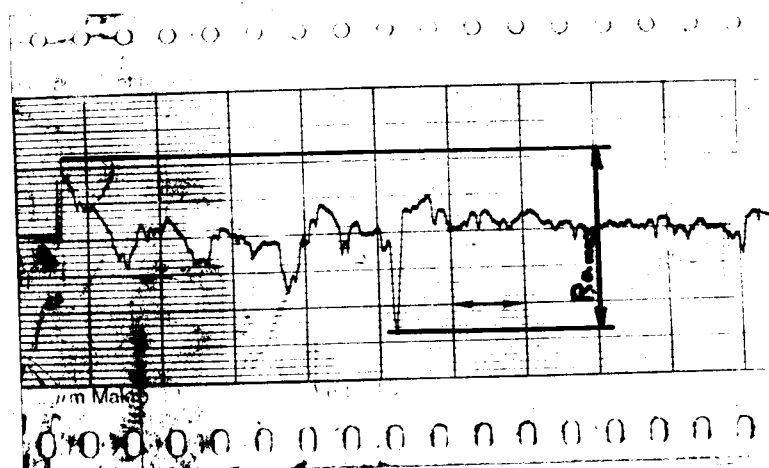
Měření bylo prováděno drážhou 2 mm, CUT OFF = 0,75 .
Zjištěné hodnoty maximální odchylky Ra_{max} pro oceli 10 216 a 17 153 jsou uvedeny v tab. 9.

Obr. 22. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 10 216
Soustružený povrch



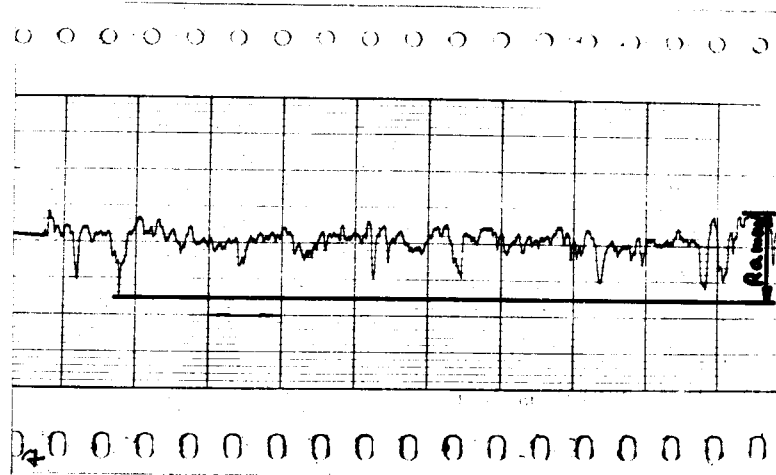
$$Ra_{\max} = 7,2 \mu\text{m}$$

Obr. 23. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 10 216
Soustružený povrch



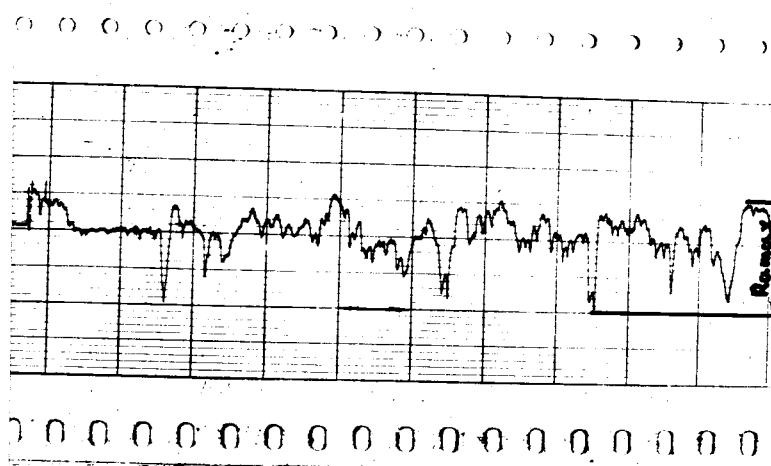
$$Ra_{\max} = 7,5 \mu\text{m}$$

Obr. 24. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 10 216
Broušený povrch



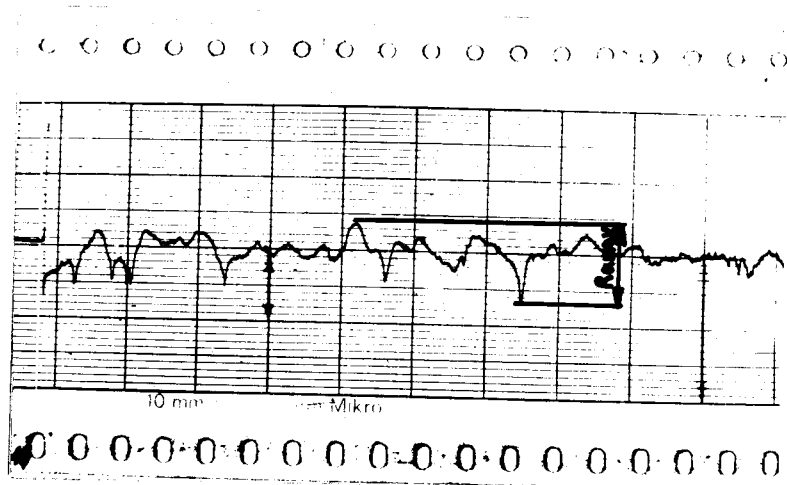
$$Ra_{\max} = 1,35 \mu\text{m}$$

Obr. 25. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 10 216
Broušený povrch



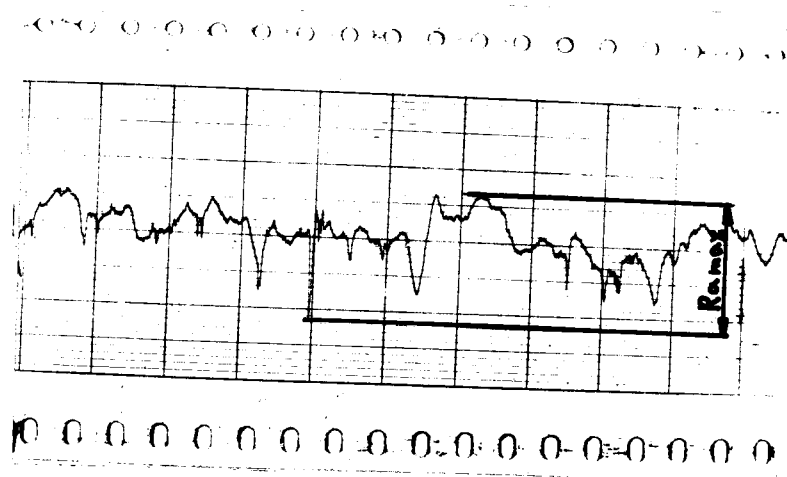
$$Ra_{\max} = 1,6 \mu\text{m}$$

Obr. 26. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 10 216
Leštěný povrch



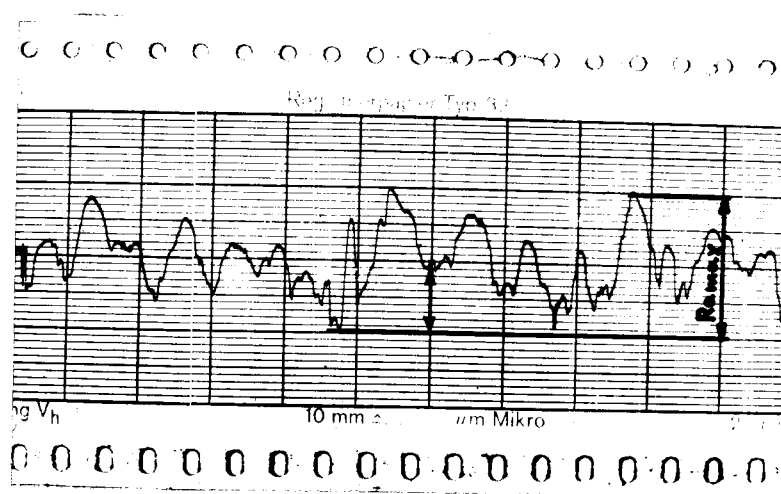
$$Ra_{\max} = 0,10 \mu\text{m}$$

Obr. 27. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 10 216
Leštěný povrch



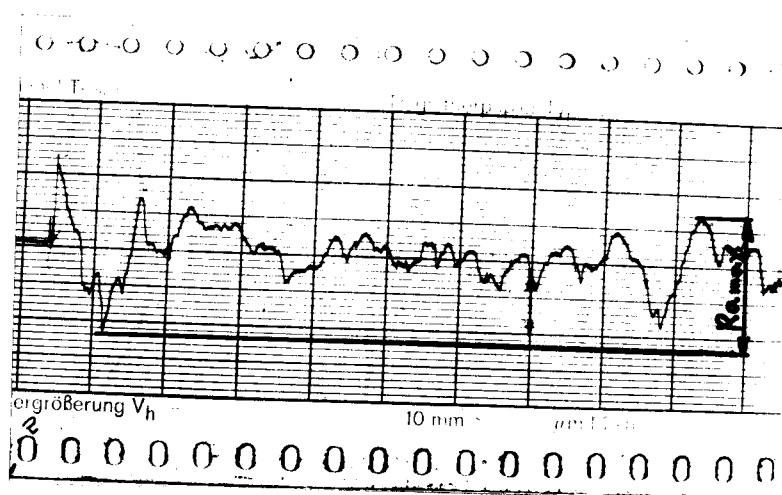
$$Ra_{\max} = 0,18 \mu\text{m}$$

Obr. 28. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 17 153
Soustružený povrch



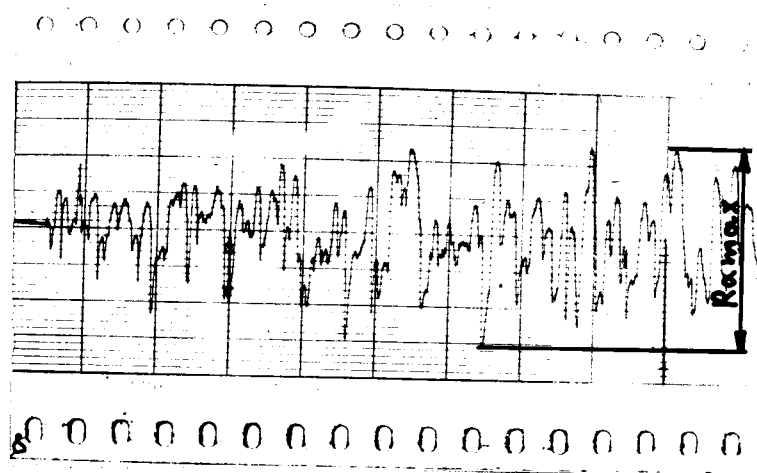
$$Ra_{\max} = 6 \mu\text{m}$$

Obr. 29. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 17 153
Soustružený povrch



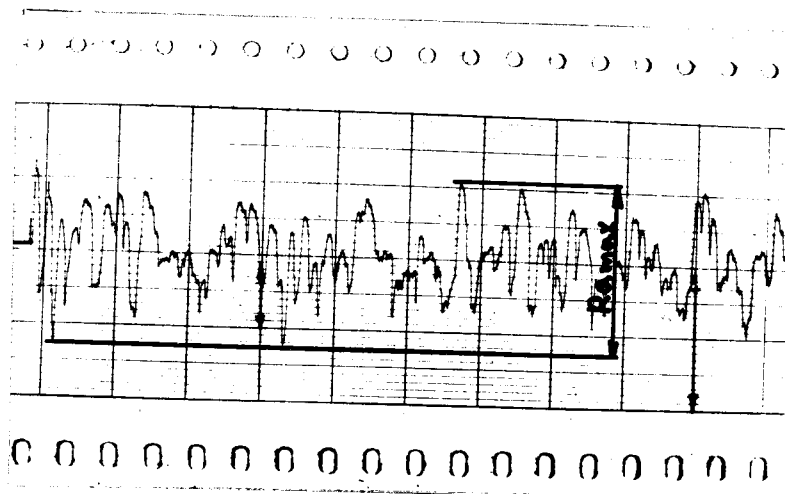
$$Ra_{\max} = 5,4 \mu\text{m}$$

Obr. 30. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 17 153
Broušený povrch



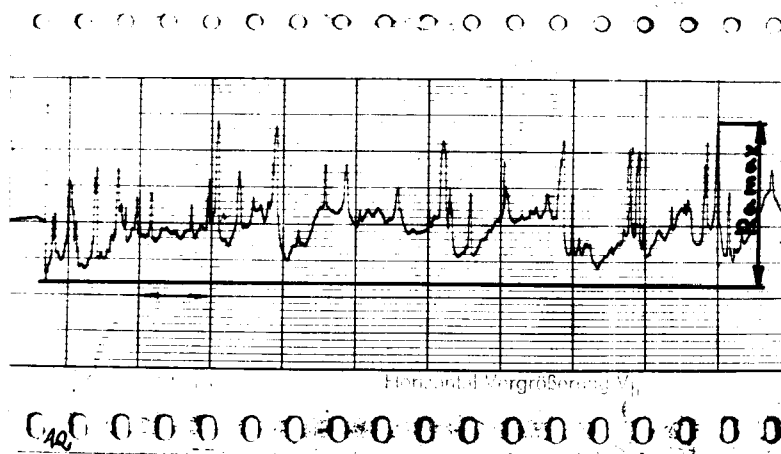
$$Ra_{\max} = 2,8 \mu\text{m}$$

Obr. 31. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 17 153
Broušený povrch



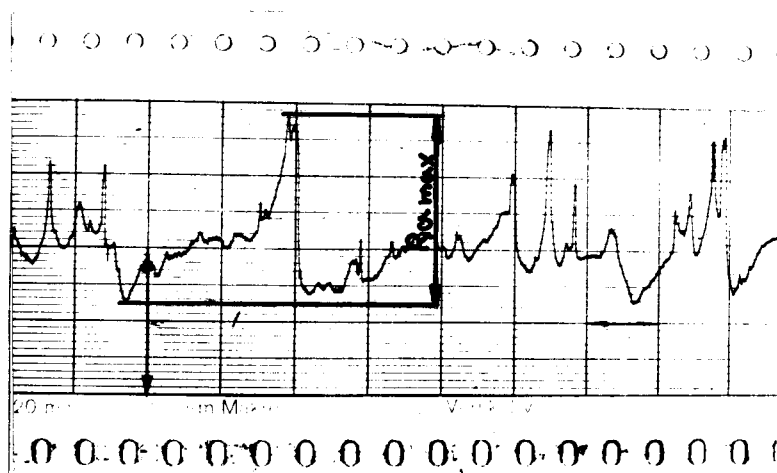
$$Ra_{\max} = 2,3 \mu\text{m}$$

Obr. 32. Grafický záznam drsnosti povrchu
neozářeného vzorku oceli 17 153
Leštěný povrch



$$Ra_{\max} = 0,22 \mu\text{m}$$

Obr. 33. Grafický záznam drsnosti povrchu
ozářeného vzorku oceli 17 153
Leštěný povrch



$$Ra_{\max} = 0,26 \mu\text{m}$$

Tab. 9. Hodnoty maximálních odchylek drsnosti Ra_{max} pro neozářené a ozářené povrchy ocelí 10 216 a 17 153

Druh oceli	Povrchová úprava	Neozářený povrch Ra_{max} [μm]	Ozářený povrch Ra_{max} [μm]
10 216	soustruženo	7,2	7,5
17 153	soustruženo	6,0	5,4
10 216	broušeno	1,35	1,6
17 153	broušeno	2,8	2,3
10 216	leštěno	0,10	0,18
17 153	leštěno	0,22	0,26

Zhodnocení experimentu.

Z uvedených obr. nevyplyvá podstatná změna v charakteru tvaru reliefu. Porovnáme-li tvar reliefu leštěného ozářeného a neozářeného povrchu oceli 17 153, je zde patrna jistá odlišnost. Tu lze vysvětlit tím, že ocele třídy 17 mají již poměrně velkou tvrdost, což má za důsledek špatnou jakost leštěného povrchu. To dokazuje i vyšší hodnota Ra leštěného povrchu této oceli, než je tomu u méně ušlechtilých ocelí. Špatná jakost leštěného povrchu s sebou nese i různou jakost a tvar povrchu na různých místech. K posouzení a potvrzení domněnky, že odlišnosti v tvaru reliefu byly způsobeny laserovým zářením, by bylo třeba provést větší počet měření.

Po porovnání výsledků experimentu „migrace manganu“ a tohoto experimentu jsem došel k závěru, že laserové záření o použité intenzitě nemělo na zkoumané vlastnosti povrchu podstatný vliv. Lze to vysvětlit tím, že i když bylo

použito při ozáření vzorků poměrně velkých výkonů, energie byla rozložena na celou plochu vzorku, takže intenzita záření byla již podstatně menší a záření tak nemělo na jakost povrchu zjistitelný vliv. Tento závěr potvrzuje i příčný řez vzorkem ozářené oceli 10 216 se soustruženým povrchem. Kdyby absorbované teplo bylo tak velké, že by došlo k natažení povrchu, vlivem vysokého teplotního gradientu by vznikla charakteristické laserovaná struktura. Absorbované teplo sice způsobilo odpaření naneseného černého laku, ale feriticko-perlitická struktura oceli zůstala i u povrchu nezměněna, což je zřejmé z obr. 34.

Obr. 34. Struktura ozářeného vzorku oceli 10 216 se soustruženým povrchem.



Zvětšeno 200x, leptáno 2% HNO_3

Účinek laserového záření by se projevil zvýšením mikrotvrdosti. Měření s. Ryšlavého, který na ozářených vzorcích prováděl měření mikrotvrdosti však tuto skutečnost nepotvrzuje.

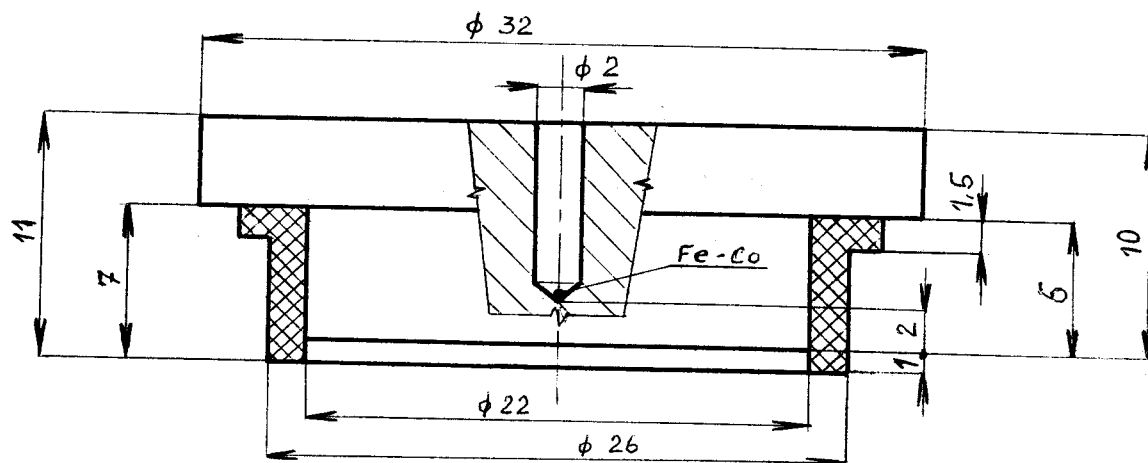
3.5 Měření odrazivosti laserového záření.

Cílem tohoto experimentu bylo provést měření odrazivosti laserového záření na kovech v závislosti na jejich chemickém složení a drsnosti povrchu. Dalším úkolem bylo ověření použitelnosti navržené metody měření odrazivosti pomocí termoelektrických snímačů.

Měření bylo prováděno na vzorcích oceli a neželezných kovů (jejich slitin) s různou povrchovou úpravou (drsností povrchu). Příprava vzorků viz kap. 3.1. K měření byl použit CO_2 laser TKG 241 československé výroby o max. výkonu 50 W. Pro měření odrazivosti bylo k dispozici kalorimetrické zařízení navržené viz /7/. Protože nejmenší nastavitelný stálý výkon laseru byl asi 10 až 15 W a nebylo zatím k dispozici vhodné zařízení na zeslabení svazku paprsků, nebylo kalorimetrického zařízení konstruovaného na podstatně menší výkon možné použít. Z tohoto důvodu byly navrženy dva shodné termoelektrické snímače.

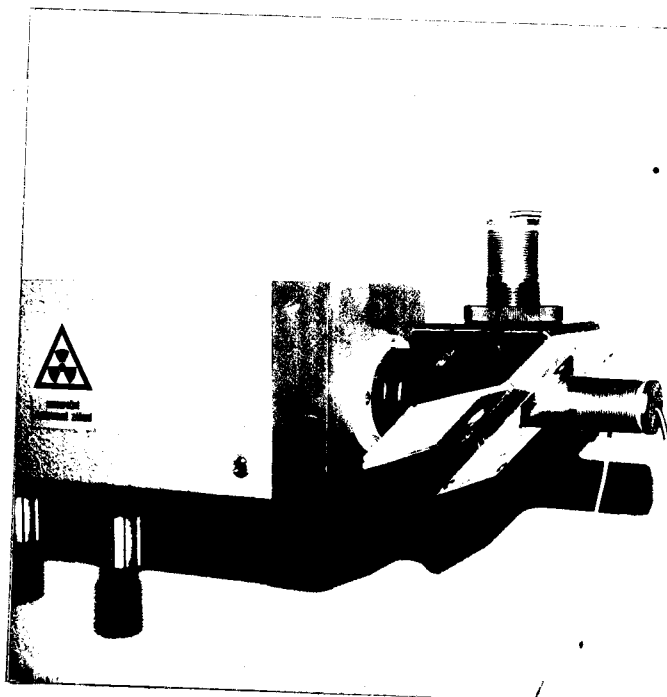
Tělo termoelektrického snímače bylo vyrobeno z grafitu, který je charakterizován poměrně dobrou tepelnou vodivostí. Abychom tepelně izolovali tělo snímače od zařízení v kterém bylo umístěno, styčná plocha byla opatřena teflonovou izolací. Do těla snímače, 2 mm pod povrch na který dopadalo laserové záření, byl umístěn termočlánek Fe-Co. Na vývody termočlánu byly připájeny prodlužovací vodiče. Schema termoelektrického snímače i s uvedenými rozměry je provedeno na obr. 35.

Obr. 35 Schema termoelektrického snímače.



K měření odrazivosti byla použita část kalorimetrického zařízení, opatřená lyžinou s vybráními pro umístění vzorků, otvorem pro přímý průchod svazku a vývody pro přímý a odražený svazek paprsků. Do těchto vývodů byly však místo kalorimetru zasunuty termoelektrické snímače. Jejich umístění je znázorněno na obr. 36.

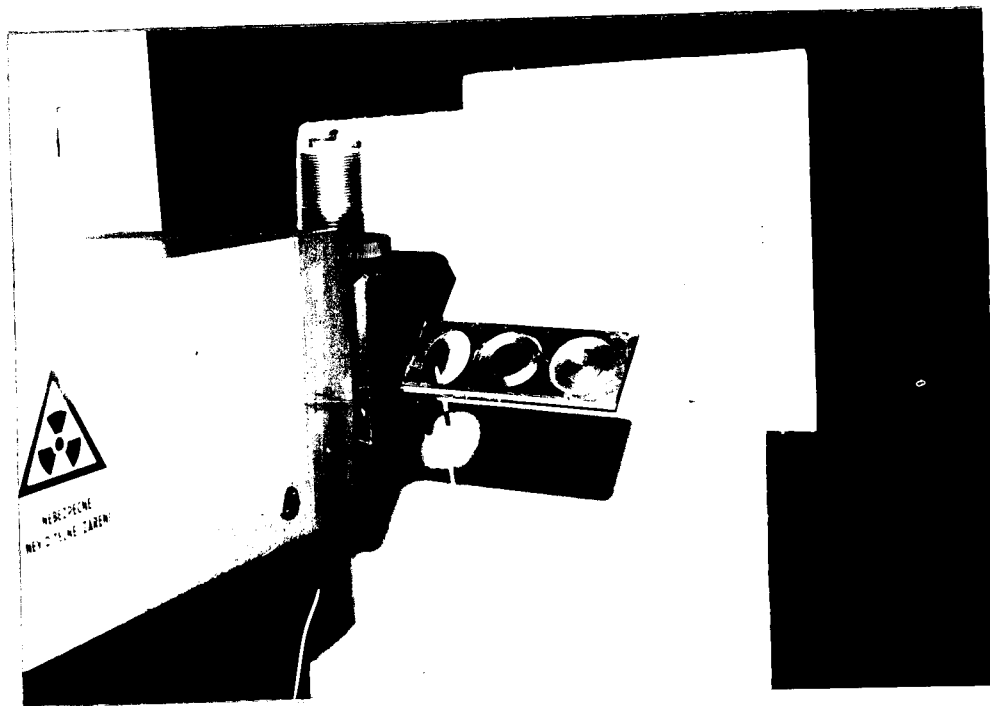
Obr. 36. Umístění termoelektrických snímačů.



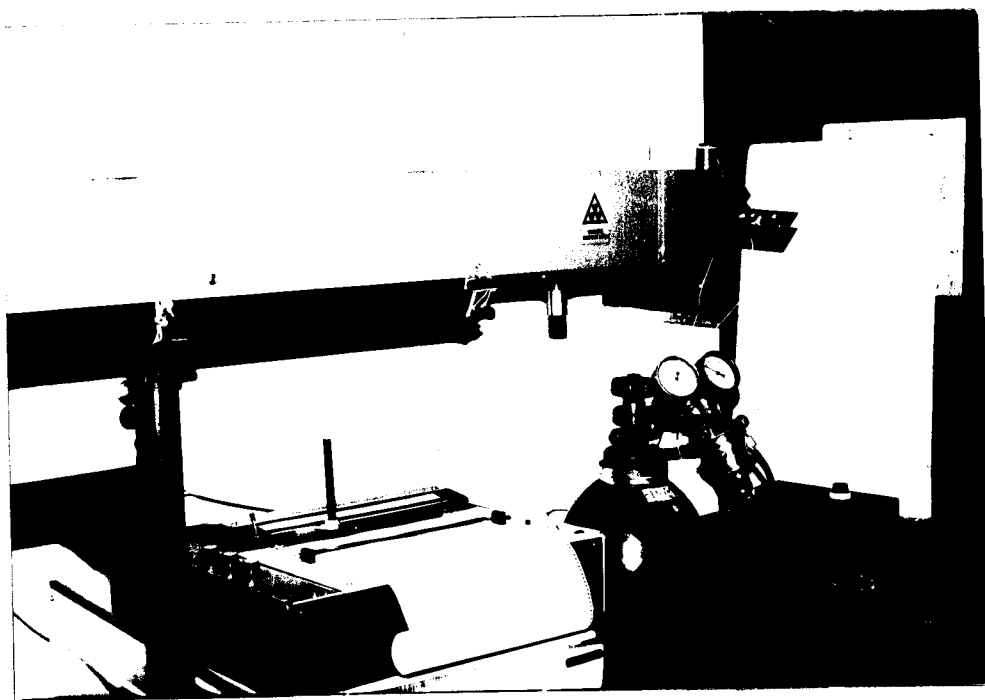
Umístění vzorků na posuvné lyžině bylo provedeno přesně do středu k tomu určených vybrání pomocí roztokového lepidla zn. PUROCEL. Na upevněný vzorek tak dopadal celý svazek paprsků, jehož průměr činil 10 mm. Umístění vzorků je zřejmé z obr. 37.

V záznamu signálů z termoelektrických snímačů bylo použito lineárního potenciometrického rekorderu OH - 814 / 1 firmy RADELKIS Budapešť. Celkové uspořádání laserového pracoviště je uvedeno na obr. 38.

Obr. 37. Umístění vzorku na posuvné lyžině.



Obr. 38. Celkové uspořádání laserového pracoviště.



Před započítím měření byla provedena kontrola shodnosti vyrobených termoelektrických snímačů, které byly označeny IV a V. Z obr. 39. je zřejmé, že křivky získané ohřevem snímačů plnou intenzitou saserového záření I_0 nejsou zcela shodné. Příčinou jsou zřejmě nepřesnosti v hloubce uložení termočlánku. Proto byl z důvodu co největší přesnosti měření používán pouze jeden termoelektrický snímač (IV). I za cenu časových ztrát vzniklých jeho chlazením před opakováním měření.

Postup měření.

Měření mohlo být zahájeno nejdříve 2 hod. po spuštění laseru, kdy se již ustálil tepelný režim rezonátoru a výkon laseru se stabilizoval. Generátor laseru byl nastaven na hodnoty $U = 15,8 \text{ kV}$, $I = 20 \text{ mA}$, což odpovídá výkonu laseru 10 až 15 W. Protože vlivem kolísání síťového napětí byl výkon laseru značně nestabilní, bylo nutné měření provádět v odpoledních a večerních hodinách, kdy bylo síťové napětí poměrně stálé.

Pro každý druh oceli byly k dispozici tři vzorky s různou povrchovou úpravou. Po jejich nalepení na posuvnou lyžinu a zaschnutí lepidla mohlo začít vlastní měření. Na vývod pro přímý průchod paprsků byl nasazen termoelektrický snímač a jeho vývody zasunuty do vstupu rekorderu. Před nasazením snímače však musel být svazek paprsků zasunutím lyžiny do polohy „ odraz “ usměrněn do druhého vývodu. Na rekorderu byl nastaven rozsah 10 mV a rychlost posuvu 100 cm/hod. Pro všechna měření byla nastavena pevná nulová poloha jezdce rekorderu pomocí připojeného galvanometru. Po nastavení nulové polohy započalo vlastní měření zasunutím lyžiny do polohy „ přímý průchod “ a spuštěním posuvu rekorderu. Během měření bylo třeba kontrolovat hodnoty, nastavené na generátoru laseru a případné odchylky vyrovnávat. Po ustálení teploty (cca 12 min.) bylo měření ukončeno. Paprsek byl opět nasměrován zasunutím lyžiny do polohy „ odraz “, rekorder vypnut, grafický záznam vrácen do výchozí polohy, termoelektrický snímač pomocí kleští vyjmut a chlazen na kovovém stole. Když jeho teplota klesla natolik, že napětí odpovídalo pevné nule nastavené na galvanometru, byl

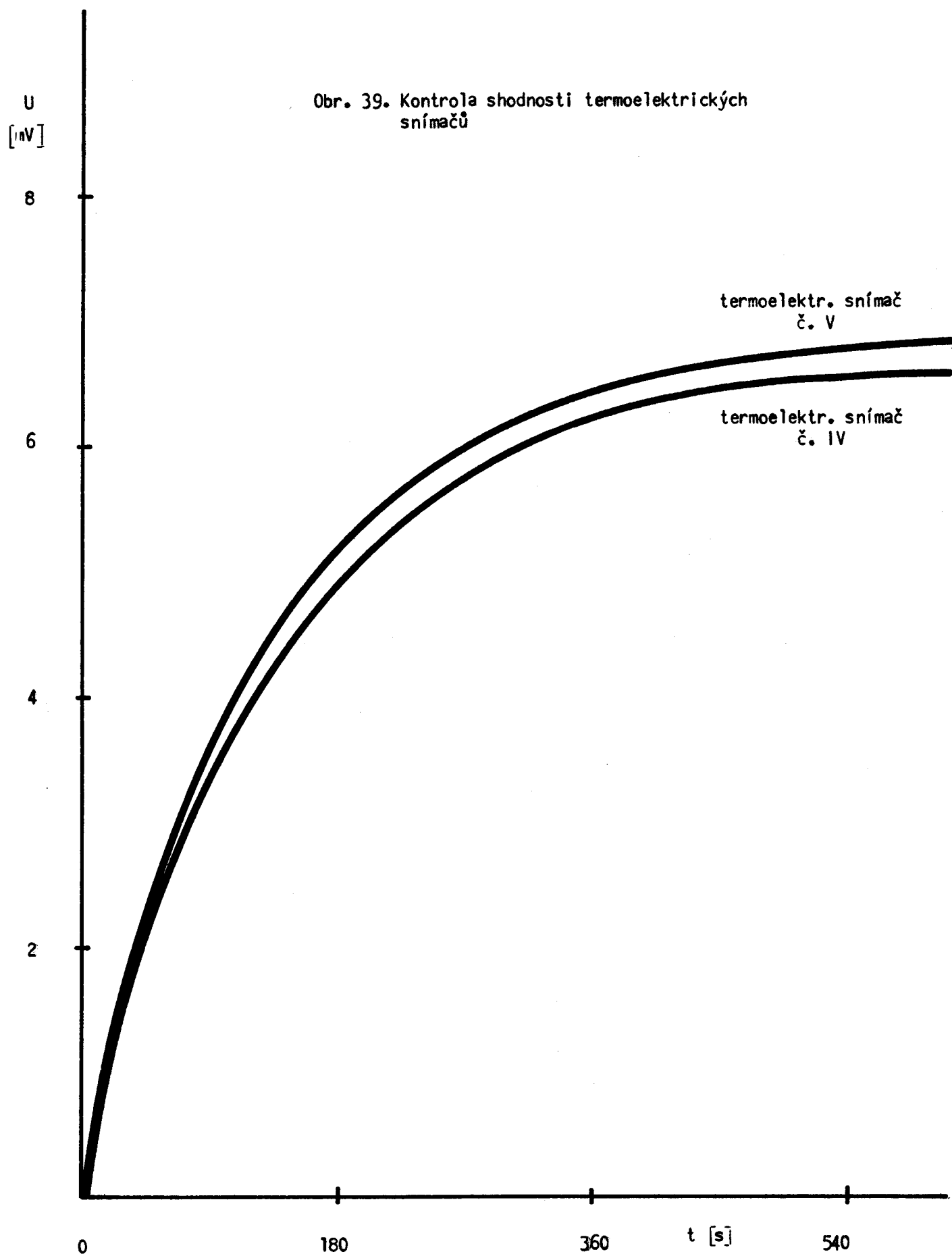
paprsek nasměrován na přímý průchod a termoelektrický snímač zasunut do vývodu pro odražený paprsek. Zasunutím lyžiny do polohy pro odraz leštěného vzorku a spuštěním rekorderu bylo zahájeno měření odrazu. Po ustálení teploty byl paprsek nasměrován opět na přímý průchod, rekorder zastaven a vrácen do výchozí polohy, termoelektrický snímač vyjmut a chlazen. Stejným způsobem bylo měření opakováno pro broušený a soustružený povrch. Tím byla získána grafická závislost, kde křivka průběhu napětí termoelektrického snímače, pro přímý průchod označená I_0 , představovala 100 % hodnotu. Příslušné křivky průběhu napětí termoelektr. snímače pro odraz leštěného, broušeného a soustruženého povrchu pak znázorňovaly procento odrazivosti pro daný povrch vzhledem k 100 % hodnotě. Celé toto měření bylo prováděno pro každý druh kovu celkem 3 x a z výsledku pak stanoveny průměrné hodnoty.

Na obr. 40 až 52 jsou uvedeny graficky závislosti napětí termoel. snímače na čase pro oceli 10 216, 11 500, 13 240 a dural 42 42 01. Měření odrazivosti pro oceli 15 260, 17 153, 19 312 a měď 42 30 03 prováděl s. Ryšlavý. Měření odrazivosti mosazi 42 32 23 nebylo z časových důvodů provedeno. Na jednotlivých obr. I_0 značí intenzitu přímého paprsku, křivky odpovídající intenzitě odraženého paprsku jsou označeny názvem příslušné povrchové úpravy. Dále jsou v každém grafu vyneseny střední hodnoty, vypočtené z příslušných tří měření. Napětí termoel. snímače uvedené v mV je třeba brát jako poměrné číslo, neboť nebylo provedeno cejkování termočlánků !

Naměřené hodnoty odrazivosti pro příslušné kovy a povrchové úpravy jsou uvedeny v tab. 11., 12., 13., 14., kde jsou vypočítány i střední hodnoty a pro porovnání uvedeny i hodnoty střední aritmetické odchylky drsnosti povrchu R_a .

Hodnoty napětí termoelektrického snímače byly pro výpočet odečítány v čase $t = 576$ s.

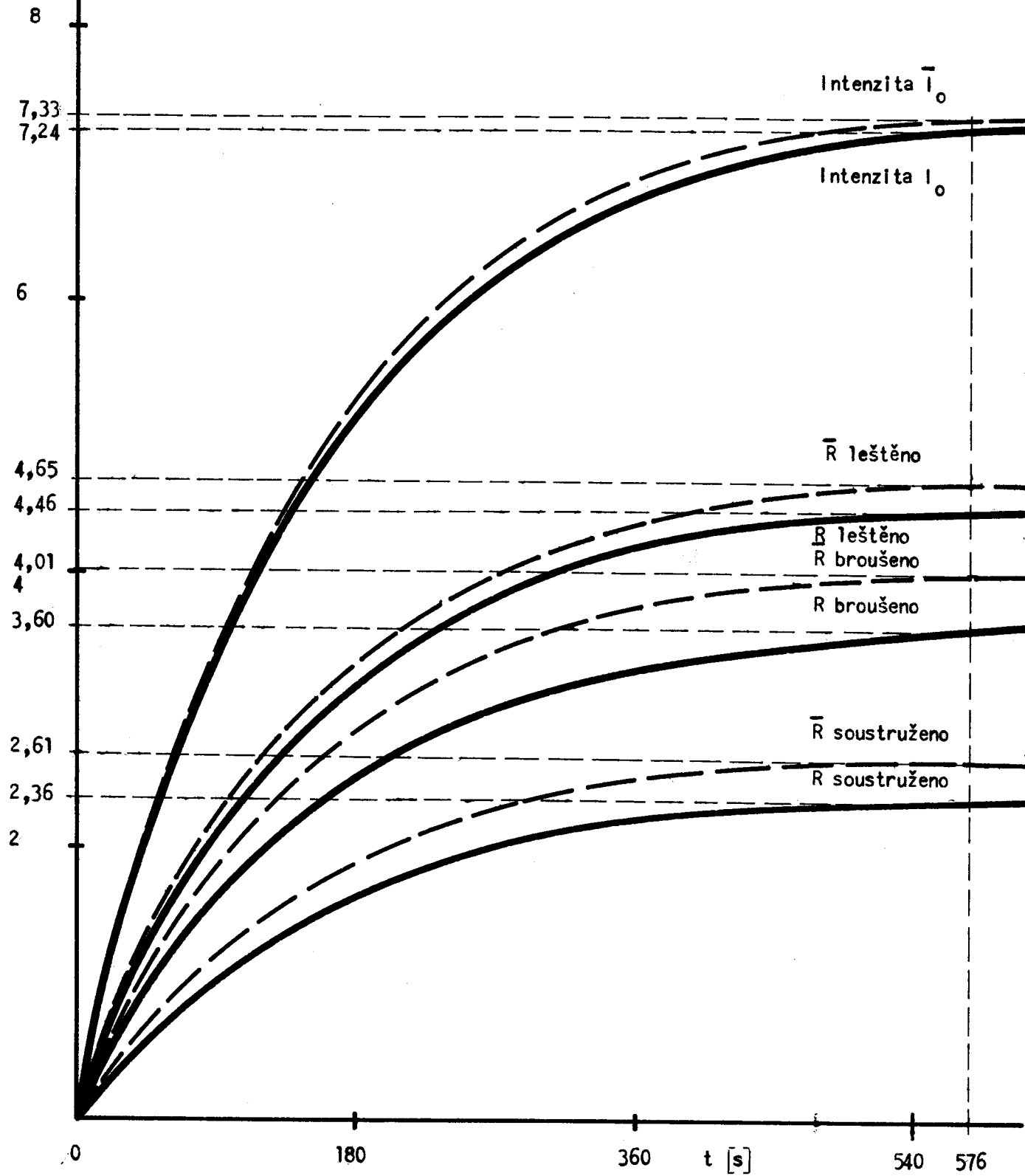
Obr. 39. Kontrola shodnosti termoelektrických snímačů



R
[mV]

Obr. 40. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 10 216

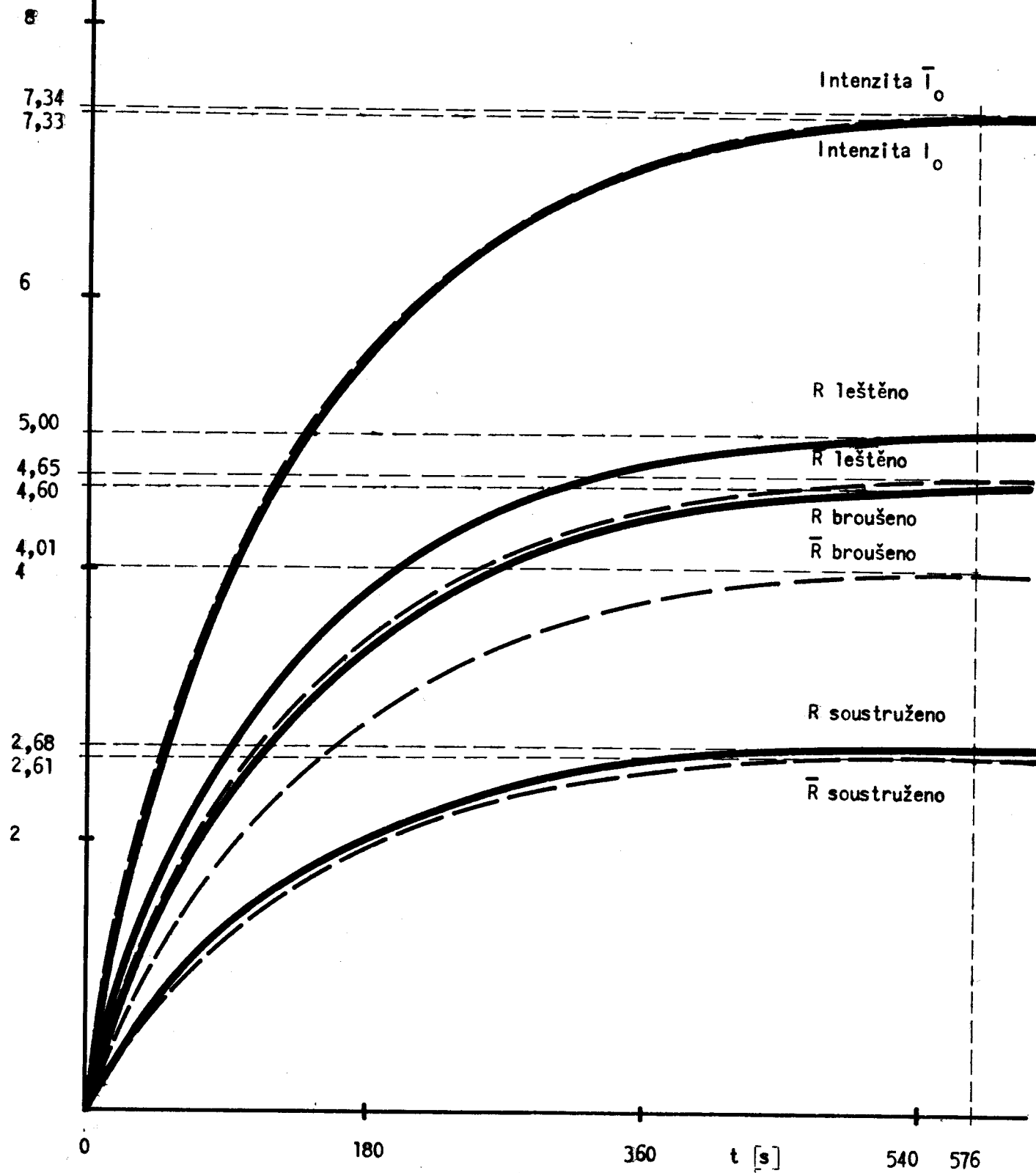
Měření č. 1.



R
[mV]

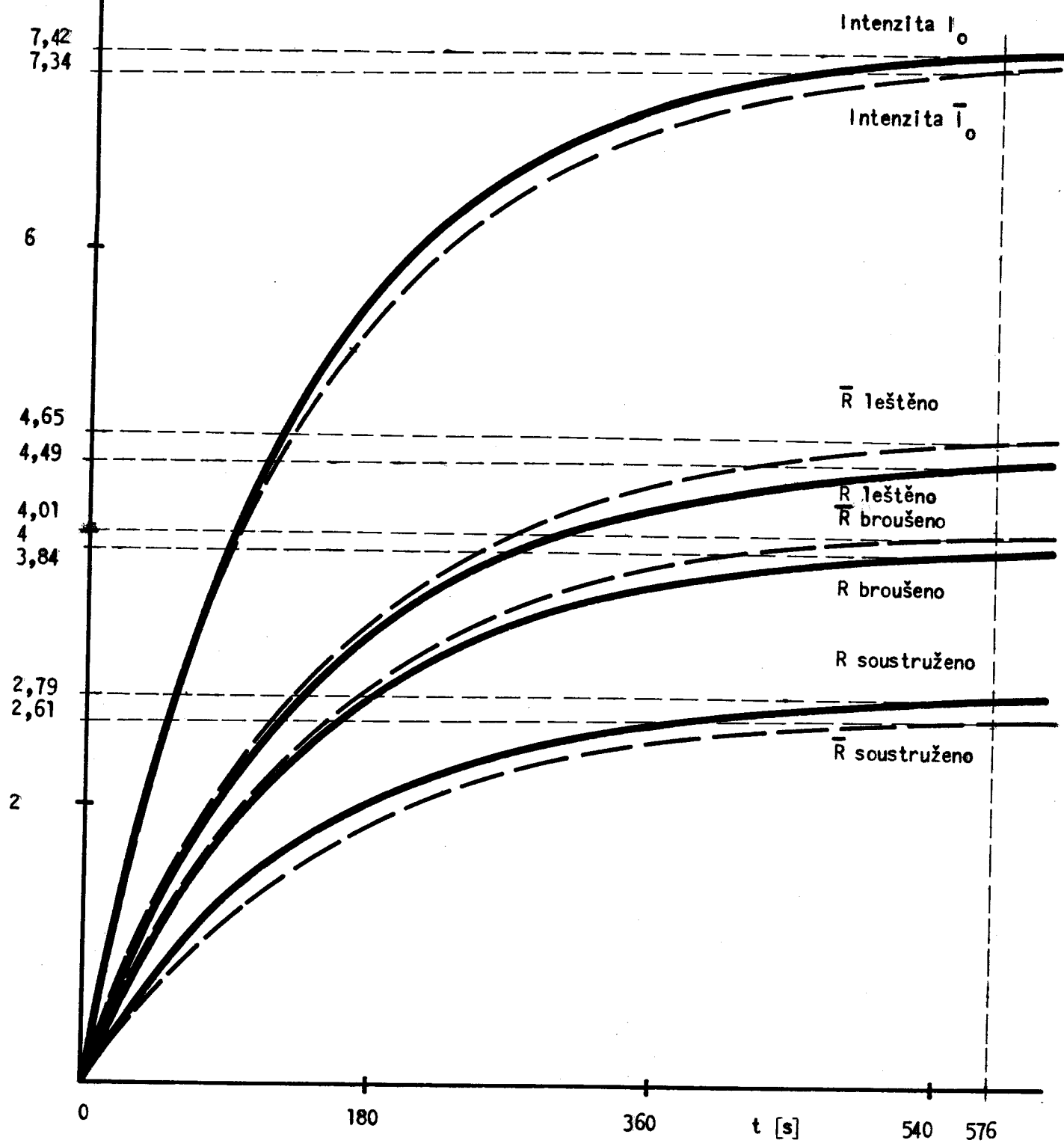
Obr. 41. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 10 216

Měření č. 2.



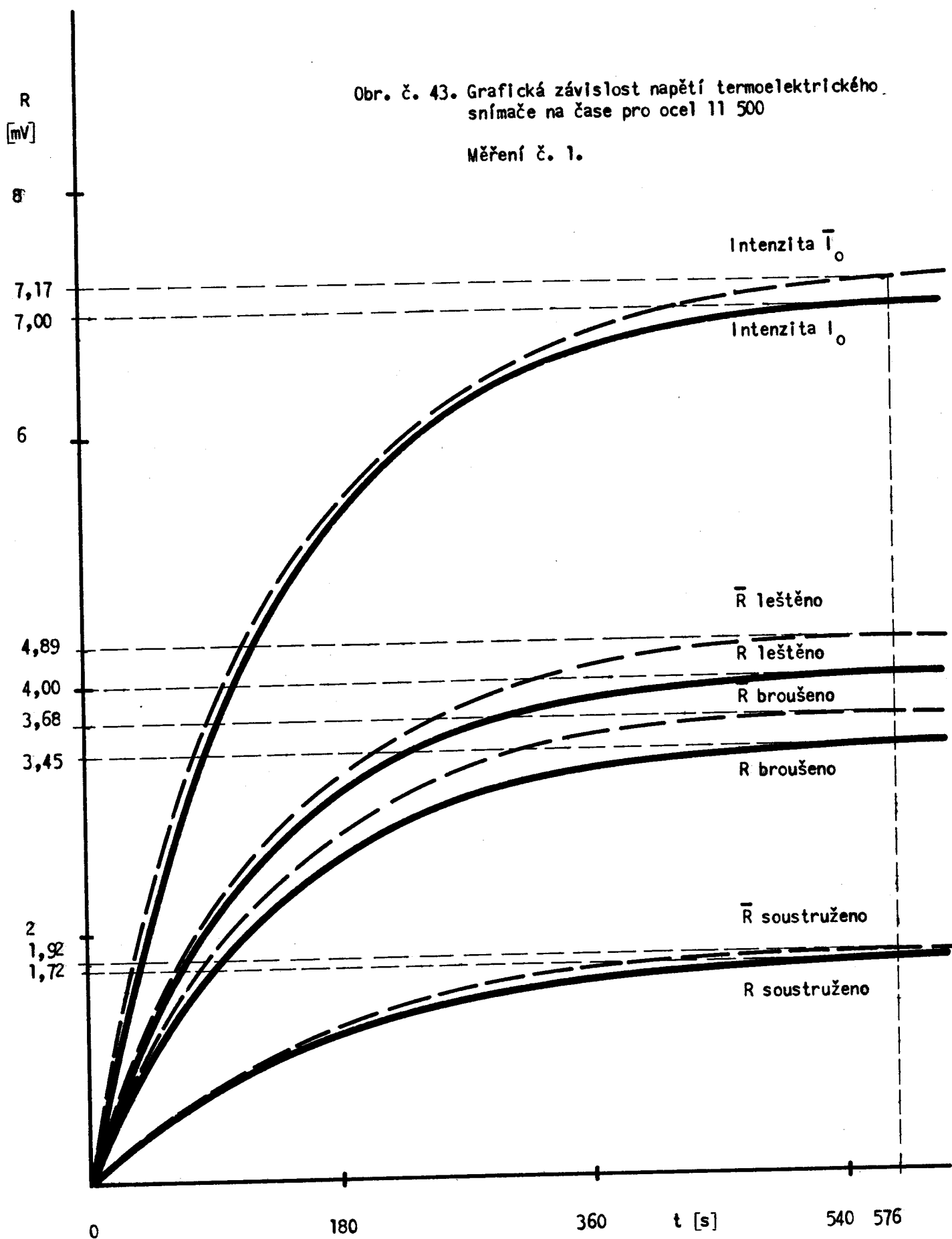
Obr. č. 42. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače, na čase pro ocel 10 216

Měření č. 3.



Obr. č. 43. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 11 500

Měření č. 1.



R
[mV]

Obr. 44. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 11 500

Měření č. 2.

8

7,36

7,17

6

4,41

4,29

4

3,84

3,68

2,36

2

1,92

0

180

360

t [s]

540

576

Intenzita I_0

Intenzita $\bar{I}_0$

R leštěno

R leštěno

R broušeno

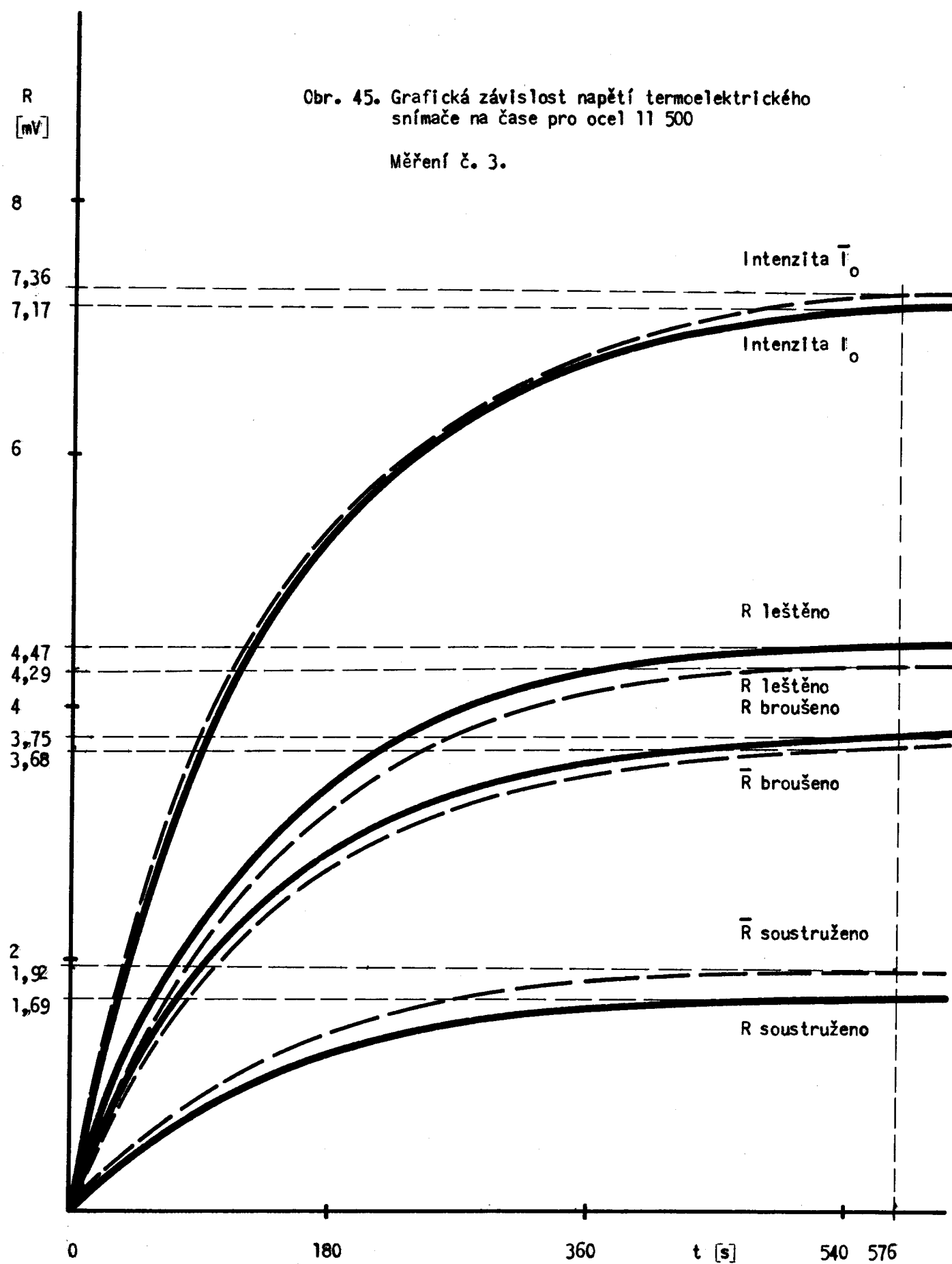
$\bar{R}$ broušeno

R soustruženo

$\bar{R}$ soustruženo

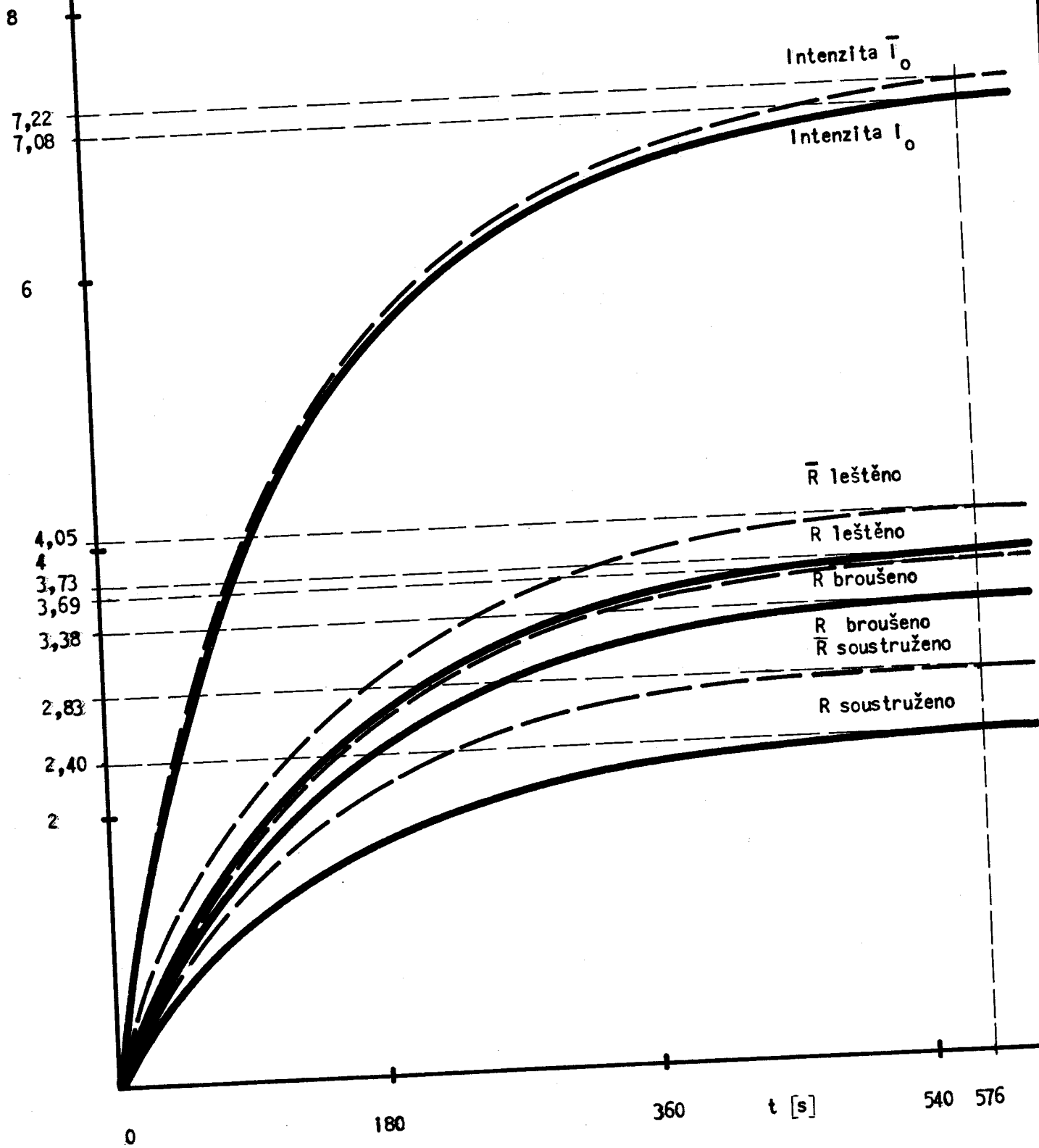
Obr. 45. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 11 500

Měření č. 3.

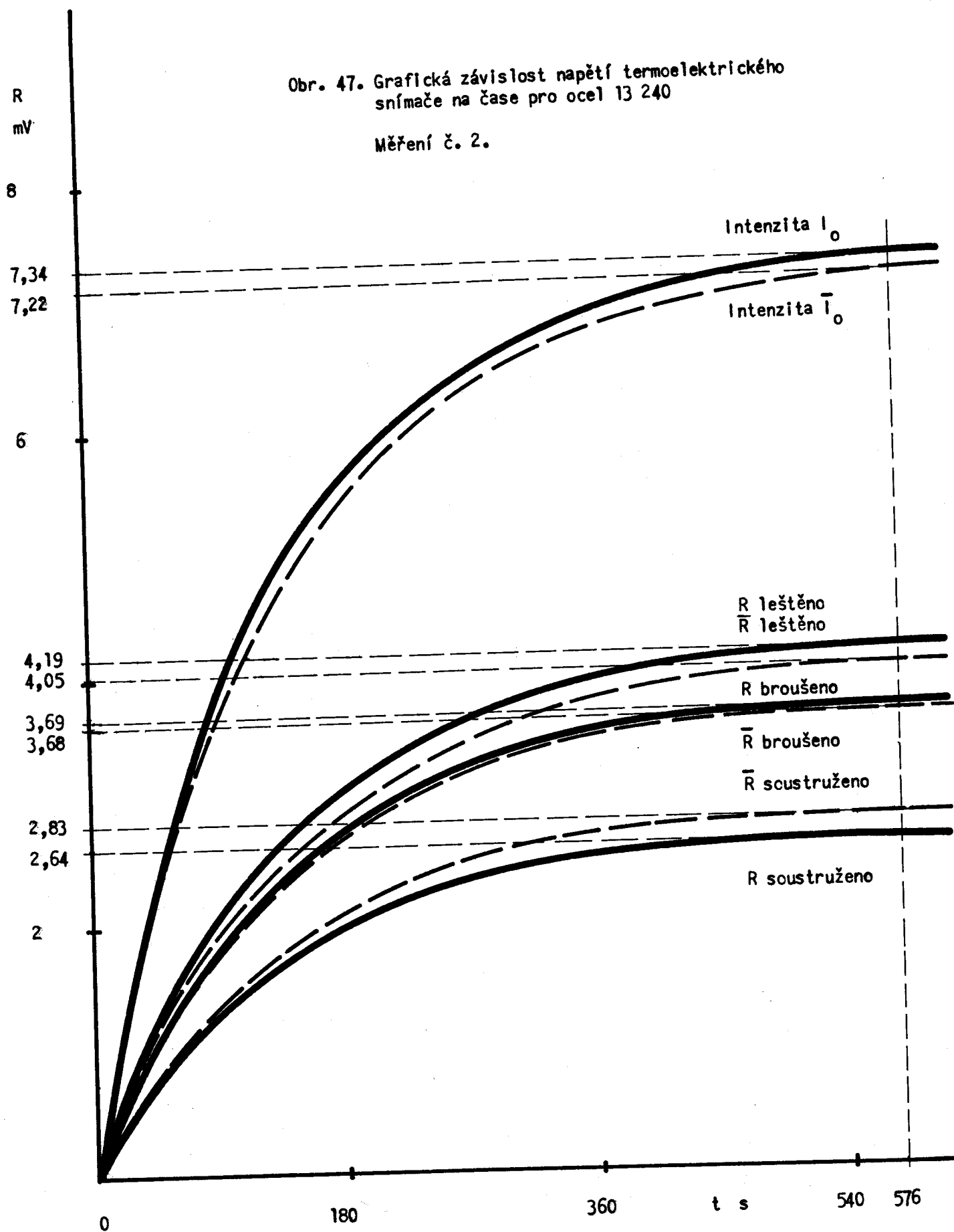


Obr. 46. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 13 240

Měření č. 1.



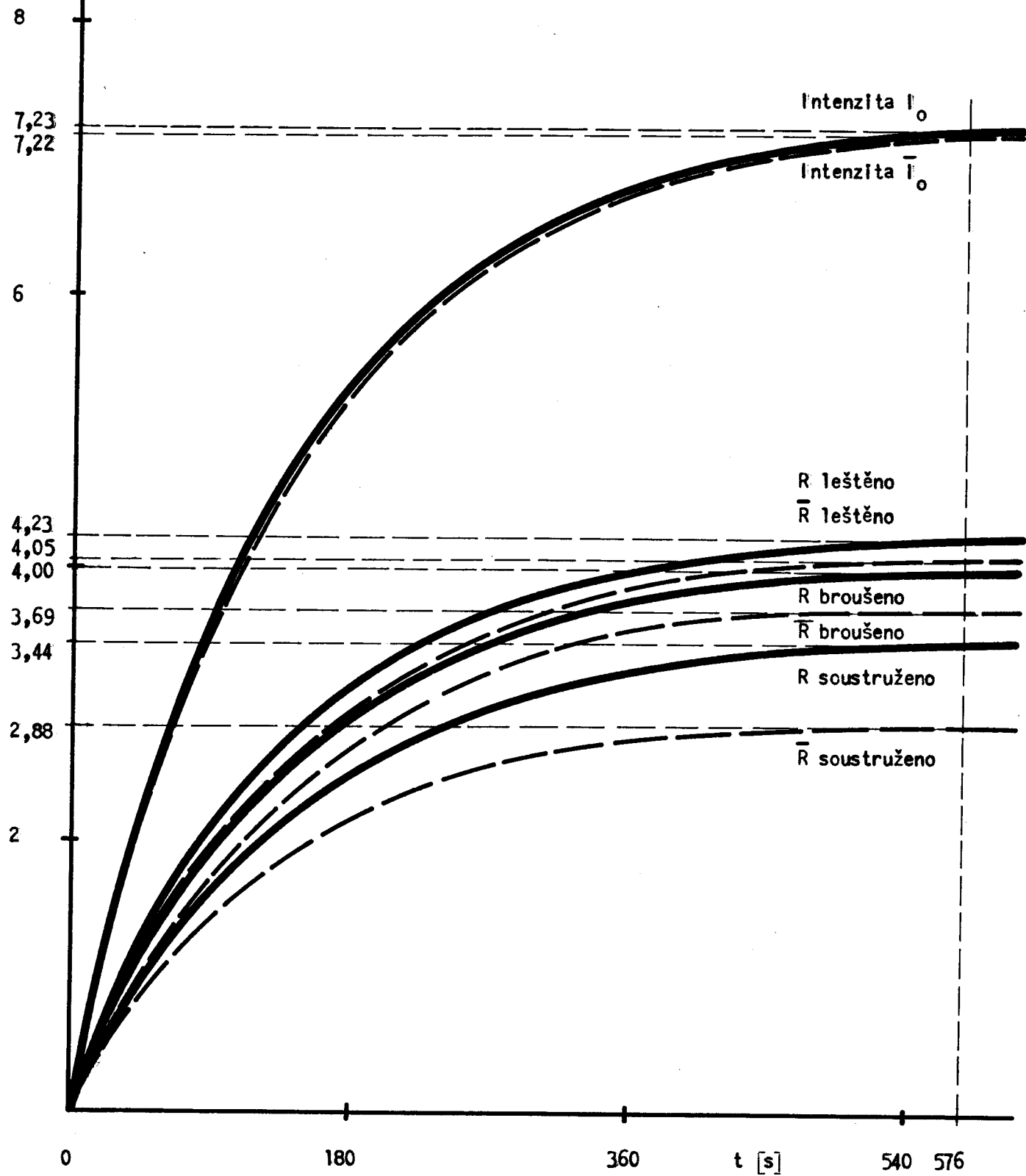
Obr. 47. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 13 240
Měření č. 2.



R
[mV]

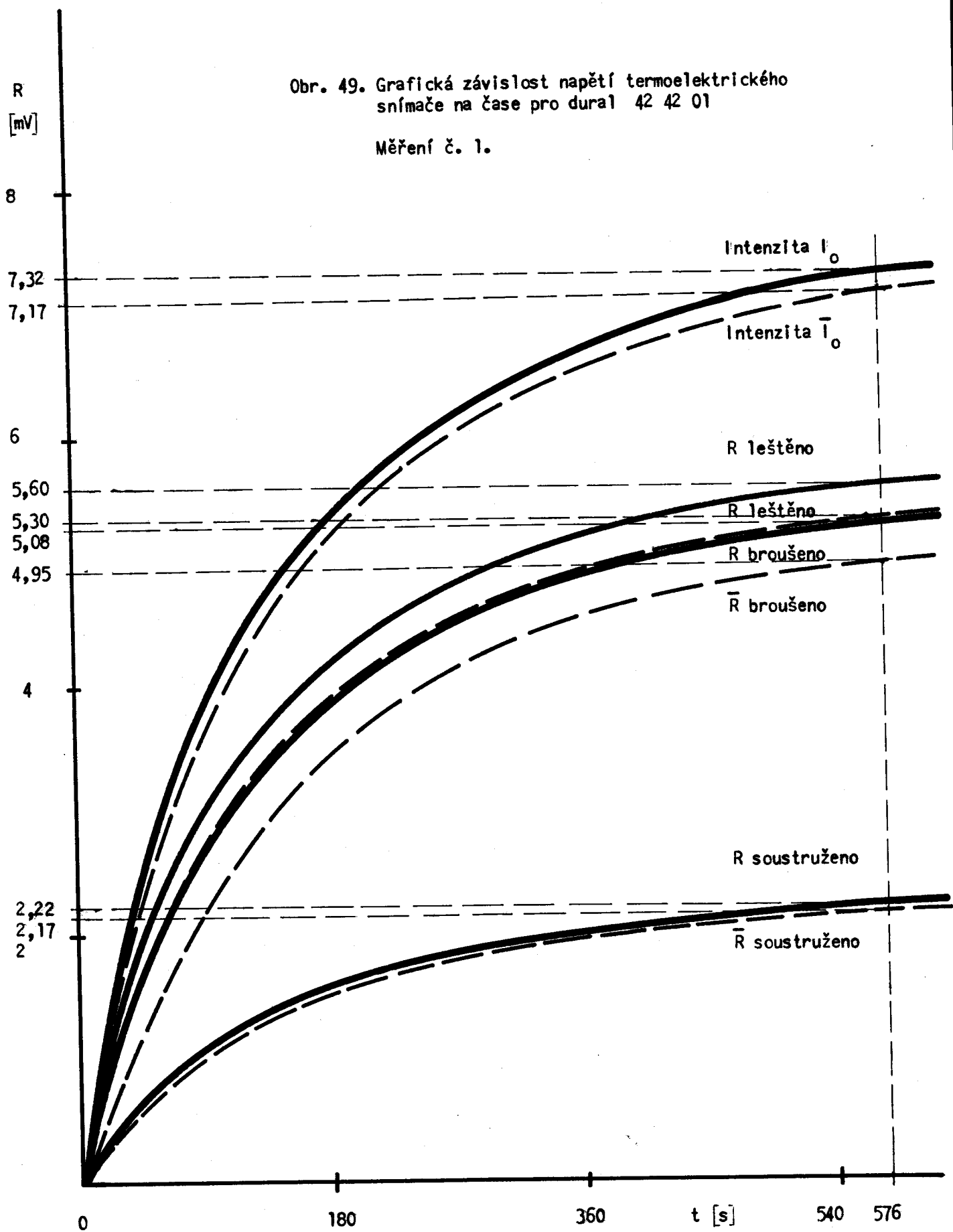
Obr. 48. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro ocel 13 240

Měření č. 3.



Obr. 49. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro dural 42 42 01

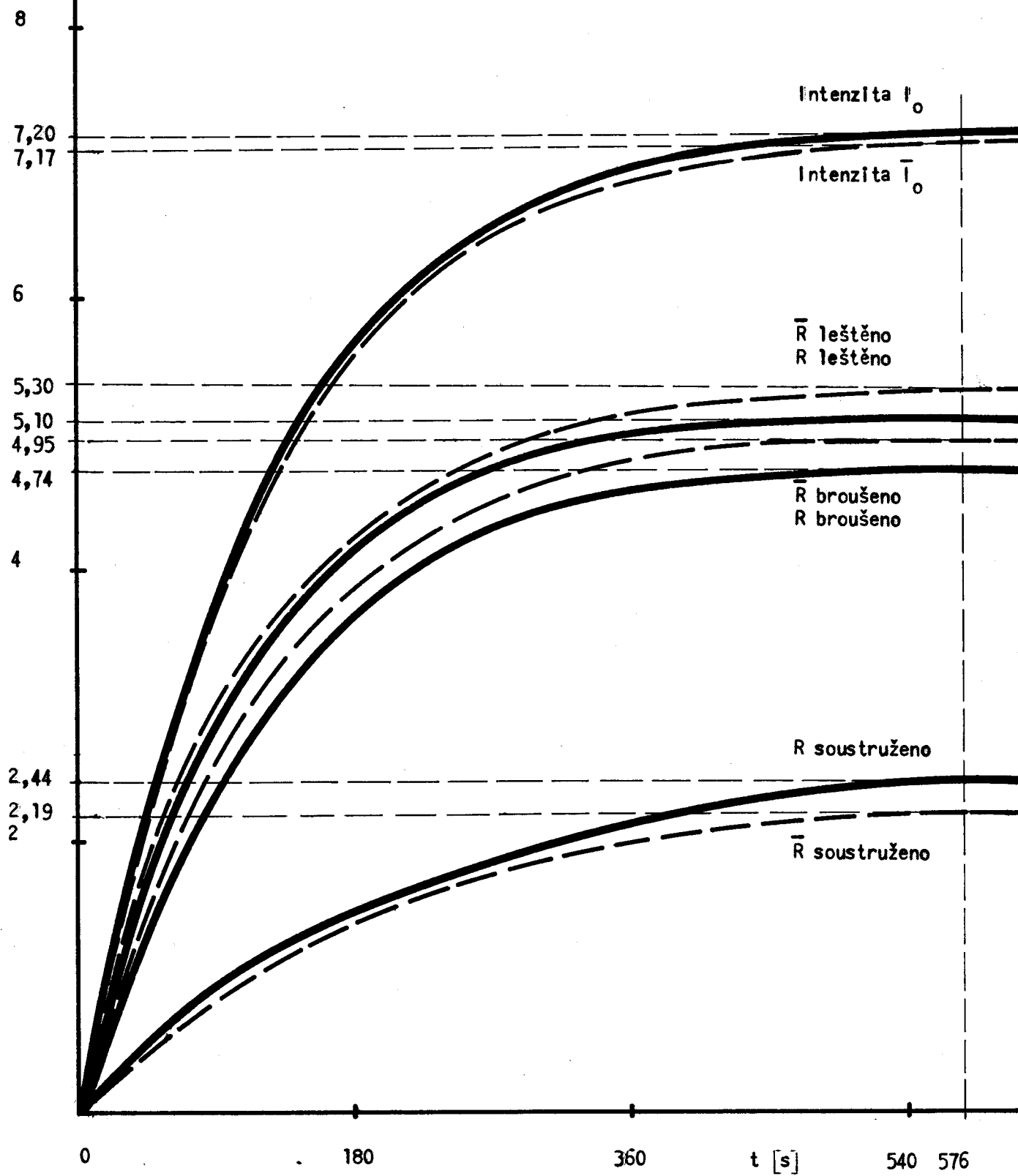
Měření č. 1.



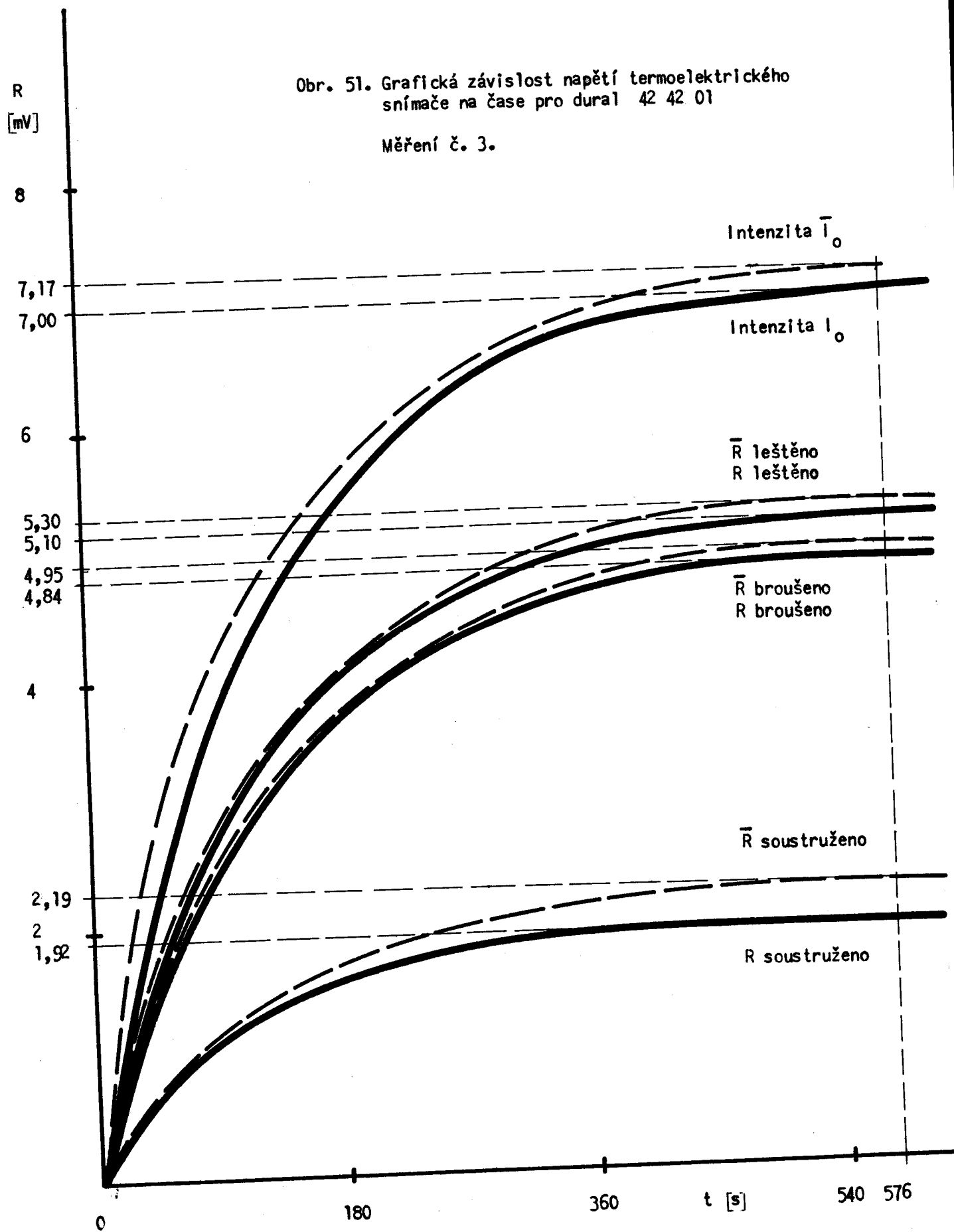
R
[mV]

Obr. 50. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro dural 42 42 01

Měření č. 2.



Obr. 51. Grafická závislost napětí termoelektrického
snímače na čase pro dural 42 42 01
Měření č. 3.



Tab. 11.

Naměřené hodnoty odrazivosti
pro ocel 10 216

Číslo měření	1			2			3			c_x [%]
	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R_a [μm]	$\bar{R}$ [mV]	$\bar{R}$ [%]	
Intenzita I ₀	7,24	100	7,34	100	7,42	100	—	7,33	100	0
leštěný povrch	4,46	61,60	5,00	68,12	4,49	60,54	0,0247	4,65	63,42	0
Broušený povrch	3,60	49,72	4,60	62,67	3,84	51,75	0,2400	4,01	54,71	6,472
Soustružený povrch	2,36	32,60	2,68	36,51	2,79	37,60	2,9833	2,61	35,57	12,730
										7,393

Tab. 12.

Naměřené hodnoty odrazivosti
pro ocel 11 500

Číslo měření	1			2			3			c_x [%]
	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R_a [μm]	$\bar{R}$ [mV]	$\bar{R}$ [%]	
Intenzita I ₀	7,00	100	7,36	100	7,16	100	—	7,17	100	0
leštěný povrch	4,00	57,14	4,41	59,95	4,47	62,46	0,0273	4,29	59,85	4,447
Broušený povrch	3,45	49,26	3,84	52,17	3,75	52,37	0,3267	3,68	51,27	3,395
Soustružený povrch	1,72	24,57	2,36	32,01	1,69	23,63	2,6167	1,92	26,74	7,169

Tab. 13.

Naměřené hodnoty odrazivosti
pro ocel 13 240

Číslo měření	1		2		3		$\bar{R}_a$ [μm]	$\bar{R}$ [mV]	$\bar{R}$ [%]	δ [%]	c_x [%]
	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]					
Intenzita I_0	7,08	100	7,34	100	7,23	100	—	7,22	100	0	0
Leštěný povrch	3,73	52,65	4,19	57,05	4,23	58,53	0,0253	4,05	56,08	3,058	5,454
Broušený povrch	3,38	47,74	3,69	50,25	4,00	55,33	0,3367	3,69	51,11	3,867	7,566
Soustružený povrch	2,40	33,90	2,64	35,97	3,44	47,58	0,8133	2,83	39,15	7,374	18,834

Tab. 14.

Naměřené hodnoty odrazivosti
pro dural 42 42 01

Číslo měření	1		2		3		$\bar{R}_a$ [μm]	$\bar{R}$ [mV]	$\bar{R}$ [%]	δ [%]	c_x [%]
	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]	R [mV]	R [%]					
Intenzita I_0	7,32	100	7,20	100	7,00	100	—	7,17	100	0	0
Leštěný povrch	5,60	76,50	5,10	70,83	5,20	74,29	0,0257	5,30	73,87	2,858	3,869
Broušený povrch	5,28	72,13	4,74	65,83	4,84	69,14	0,2852	4,95	69,03	3,151	4,565
Soustružený povrch	2,22	30,33	2,44	33,89	1,92	27,43	2,5833	2,19	30,55	3,236	10,591

Diskuse dosažených výsledků.

Při hodnocení vlivu chemického složení oceli a drsnosti povrchu na odrazivost laserového záření jsem vycházel z tab. 15., kde je u příslušných vzorků uvedena kromě střední hodnoty odrazivosti také hodnota střední aritmetické odchylky $\bar{R}_a$. Tabulka je doplněna i o výsledky měření s. Ryšlavého.

Hodnocení vlivu chemického složení na odrazivost laserového záření je obtížně proveditelné v důsledku nestejné kvality povrchu u vzorků se shodnou povrchovou úpravou. Hodnocením vzorků s leštěným povrchem, kde jsou nejmenší rozdíly v kvalitě povrchu, lze učinit závěr, že nejmenší odrazivost vykazuje ocel 19 312. Tato ocel má z použitých druhů největší obsah uhlíku a jak dokládají hodnoty uvedené v tab. 6. i největší obsah manganu. Naopak oceli s větší odrazivostí, oceli třídy 10 216, 11 500 a 17 153 mají obsah těchto prvků daleko menší. Na tomto základě lze sice stanovit předpoklad, že uhlík a mangan mají na optické vlastnosti ocelí nepříznivý vliv, ale k potvrzení této hypotézy by bylo nutné provést daleko větší počet měření. Naopak přímá závislost odrazivosti na elektrické vodivosti byla potvrzena měřeními pro měď a dural. Měď, po stříbře nejlepší vodič elektrického proudu, zde vykazuje největší hodnotu odrazivosti. Větší odrazivost než oceli má i dural.

Potvrzen byl i předpoklad, že odrazivost kovů přímo závisí na drsnosti povrchu, t.j. že s vzrůstající hodnotou drsnosti povrchu se odrazivost zmenšuje. Hodnocení odrazivosti kovů s hlediska použité technologie povrchové úpravy je zajímavé, protože odrazivost leštěných povrchů se od odrazivosti povrchů broušených příliš neliší. Nahrazení leštění povrchu jemným broušením při výrobě optických elementů by jistě znamenalo značný ekonomický přínos.

Tab. 15. Hodnoty odrazivosti pro různé kovy
a drsnost povrchu.

druh kovu	povrchová úprava	R [%]	$\bar{R}_a$ [μm]
ocel 10 216	soustruženo	35,57	2,9833
ocel 11 500	soustruženo	26,74	2,6167
ocel 13 240	soustruženo	39,15	0,8133
ocel 15 260	soustruženo	42,15	0,6933
ocel 17 153	soustruženo	29,51	1,3333
ocel 19 312	soustruženo	37,65	0,5600
měď 423003	soustruženo	35,24	2,4000
dural 424201	soustruženo	30,55	2,5833
ocel 10 216	broušeno	54,71	0,2400
ocel 11 500	broušeno	51,27	0,3267
ocel 13 240	broušeno	51,11	0,3367
ocel 15 260	broušeno	51,70	0,2733
ocel 17 153	broušeno	38,47	0,7433
ocel 19 312	broušeno	48,62	0,2767
měď 423003	broušeno	63,96	0,3233
dural 424201	broušeno	69,03	0,2852
ocel 10 216	leštěno	63,42	0,0247
ocel 11 500	leštěno	59,85	0,0273
ocel 13 240	leštěno	56,08	0,0253
ocel 15 260	leštěno	56,37	0,0567
ocel 17 153	leštěno	57,63	0,0370
ocel 19 312	leštěno	51,66	0,0177
měď 423003	leštěno	77,75	0,0200
dural 424201	leštěno	73,87	0,0257

4. Z Á V Ě R .

Při hodnocení vlivů laserového záření na migraci manganu v oceli a změnu jakosti povrchu jsem dospěl k negativním výsledkům, což bylo způsobeno tím, že ozáření vzorků bylo provedeno nedostačující intenzitou. Aby došlo k potřebnému efektu, bylo by nutné použít většího výkonu laseru nebo více fokusovaného svazku paprsků. Měřeními byla prokázána použitelnost navržené metody měření odrazivosti pomocí termoelektrických snímačů. Zde je však nutné konstatovat, že tato metoda je značně zdlouhavá a naměřené hodnoty odrazivosti jsou výsledkem působení několika faktorů ovlivňujících odrazivost. Je to zejména teplota (ohřátí vzorků) a intenzita záření (kolísání výkonu laseru). Vyloučení těchto faktorů by znamenalo podstatně zkrátit dobu měření, což by se dalo řešit použitím termoelektrického snímače s nižší tepelnou kapacitou, zhotoveného na př. z mědi. Bylo prokázáno, že odrazivost laserového záření se se vzrůstající drsností povrchu zmenšuje. Bylo by zajímavé stanovit grafickou závislost odrazivosti na drsnosti povrchu měřeními prováděnými na sadě vzorků s odstupňovanou drsností povrchu. Naměřené hodnoty odrazivosti jsou platné pro úhel dopadu 45° . Z toho důvodu nebylo možné porovnání s výsledky uvedenými v dostupné literatuře, kde jsou uvedeny hodnoty odrazivosti pro kolmý dopad záření.

Závěrem bych chtěl poděkovat svému konsultantovi s.RNDr. L. Sodomkovi, CSc za náměty a vedení při zpracování experimentální části diplomové práce, vedoucímu práce s.Ing. V. Noskovi za výběr vhodné literatury a pomoc při teoretickém zvládnutí úkolu, s. Ing. J. Horynovi, CSc za cenné rady a připomínky při vyhodnocování výsledků a konečně i ostatním pracovníkům katedry za ochotu a pomoc při prováděných měřeních.

Barbela Nemphosová

Seznam použité literatury.

- / 1 / Fuka, J., Havelka, J. : Optika a atomová fyzika, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1961.
- / 2 / Beyer, E., Wissenbach, K., Herziger, G. : Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung, Teil 4 - Absorption von CO₂-Laserstrahlung während der Bearbeitung, Feinwerktechnik & Messtechnik 92 (1984) 3.
- / 3 / Bonč-Bruevič, A.M., Imas, A.J., Romanov, G.S., Libenson, M.N., Malcev, L.N. : Izmenenie otryazatelnoj sposobnosti metallov za vremja dejstvija impulsa OKG, Žurnal techničeskoj fiziki, Tom XXXVIII, v.5, 1968.
- / 4 / Primenenija laserov, překlad z anglického LASER APPLICATIONS, Izdatelstvo " Mir ", Moskva, 1974.
- / 5 / Sodomka, L. : Rentgenová difraktologie pevných látek, SNTL, Praha, 1960.
- / 6 / Kaebler, M.F. : HANDBOOK OF X - RAYS, MC Graw Hill, NEW YORK, 1977.
- / 7 / Loosen, P., Bakowsky, L., Herziger, G. : Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung, Teil 3 - Diagnostik von CO₂-Laserstrahlung hoher Leistung, Feinwerktechnik & Messtechnik 92 (1984) 1.
- / 8 / Gašperčík, J. : Diplomová práce VŠST Liberec, 1985.
- / 9 / Szwedowski, A. : Vliv technologie výroby optických elementů NaCl na jejich práci s impulsními lasery CO₂, Jemná optika a mechanika 8/84, SNTL, Praha.