

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: KVS

Fakulta: textilní

Školní rok: 1966/67

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro S. Richter Gerd

odbor obráběcí stroje

Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomní úkol:

- Název tématu: I. Navrhněte konstrukci jednostupňového termočláňkového přijímače záření.
- II. Navrhněte černé těleso pro cejchování tepelných přijímačů.
- III. Ocejchujte tento přijímač na černé těleso.

Pokyny pro vypracování:

- IV. Dle možností zjistěte závislost výstupního signálu tohoto přijímače v závislosti na vzdálenosti vyhřívané desky.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1952 - Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1952 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

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

V 110/66 S

Rozsah grafických laboratorních prací: Výkresová dokumentace tepelného přijímače
černého tělesa.

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran textu.

Seznam odborné literatury: Výzkumná zpráva ČSAV Praha.
Technická fyzika Z. Horák.
Mc. Cruse-Glauchlin, Infra red Technologie 1962
London.

Vedoucí diplomní práce: Ing. Milan Kyncl C. Sc.

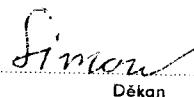
Konsultanti: Doc. Ing. Dr. Jaromír Cihelka,
Doc. Ing. Dr. Zdeněk Ryska, oba ČVUT Praha, Dejvice.

Datum zahájení diplomní práce: 26. IX. 1966

Datum odevzdání diplomní práce: 5. XI. 1966

L. S.


Vedoucí katedry


Děkan

v Liberci

dne 24. VIII. 1966

1964

V této práci je věnována pozornost termoelektrickému jevu, na základě kterého byl zpracován návrh jednostupňového termočláňkového bolometru.

Aby bylo možné nejen tento bolometr oceňovat, ale i celou řadu dalších tepelných přijímačů záření, bylo navrženo konstrukční uspořádání černého tělesa, jakožto zdroje přesně definovatelného záření.

Při řešení těchto úkolů se vychází z fyzikální postaty měření teploty, jsou probrány základní zákony o vyzařování teplých těles, v této souvislosti základní typy detektorů záření.

Na závěr následuje hodnocení navržené konstrukce bolometru a černého tělesa.

1.0 Ú v o d .

Daná práce řeší jeden z problémů sledovaných na Ústavu parních generátorů, je součástí techniky infračerveného záření a spadá do oboru bezdotykového měření teploty.

Otázka bezdotykového měření teploty není nová. Již na začátku tohoto století se objevují první přijímače infračerveného záření. Detektory infračerveného záření jsou založeny na různých fyzikálních jevech, vznikajících při absorpci záření hmotou. Pro technickou praxi jsou důležité tyto jevy: termoelektrické, fotoelektrické, luminiscenční, fotochemické a další. Těchto jevů je využito pro konstrukci různých typů detektorů infračerveného záření.

V současné době se věnuje otázkám bezdotykového měření teploty stále více pozornosti neboť nachází uplatnění v nejrůznějších odvětvích průmyslu, kde je zapotřebí měřit teplotu pohybujícího se tělesa. Jako příklad lze uvést ze strojírenské technologie měření teploty drátu při protahování nebo v textilní technologii měření teploty tkanin v procesu sušení a fixace.

2.0 V z n i k i n f r a č e r v e n é h o z á ř e n í a j e h o z d r o j e .

Elementárními zdroji infračerveného záření jsou atomy a molekuly látky. Atom se skládá podle Rutherfordova modelu z jádra a slupek. Na slupkách jsou nositelé záporného náboje, elektrony, které krouží kolem jádra. Energie elektronů je tím větší, čím dále je elektron od jádra. Má-li se elektron vzdálit od jádra, musí k tomu odněkud získat energii. Má-li se k jádru přiblížit, uvolní energii podle okolností ve formě záření. Takové uvolnění může však podle kvantové fyziky nastat jen po zcela určitých částicích. Podle toho mohou tedy elektrony kroužit jen po drahách, jež mají od jádra zcela určitou vzdálenost. Každá taková dráha je tedy energetickou hladinou. Dáme-li elektronu energii /absorpcí záření nebo nárazem hmot. částice/, může se dostat na dráhu jinou, podle velikosti zdělené energie. Atom je pak ve vzbuze-
ném stavu. V tomto stavu může setrvat nejvýše jen asi miliontinu vteřiny, pak elektron spadne po stupních nebo přímo zpět na původní dráhu. Ener-
gie, která se uvolní v jednotlivých stupních toho-
to sestupu se vyzařuje po kvantech. Vznikne tedy

záření s kvanty určité energie, tedy záření zcela určitého kmitočtu, po případě vlnové délky. Podobné poměry platí i pro molekuly, kde infračervené záření, v podstatě elektromagnetické vlnění, vzniká též jejich vibračními a rotačními kmity.

Podle formy energie, ze které je hrazena energie záření, možno rozdělit zdroje infračerveného záření na dvě skupiny:

1. zdroje teplotní
2. zdroje luminiscenční

Zdroje teplotní

U těchto zdrojů je záření hrazeno zvýšenou teplotou. Teplotním zdrojem záření je teoreticky každé těleso jehož teplota je vyšší než 0°K . Tyto zdroje vysílají obecně záření všech vlnových délek elektromagnetického spektra, avšak s velmi různou energií. Jako technické zdroje přicházejí v úvahu převážně látky tuhé, žhavené na přiměřeně vysokou teplotu.

Zdroje luminiscenční

U těchto zdrojů je záření buzeno absorpcí jiného záření, spádem napětí ve výbojové dráze nebo jinými příčinami, kromě zvýšení teploty. Jako technické zdroje přicházejí v úvahu výhradně elektrické výbojky.

3.0 Fyzikální podstata měření teploty infračerveného záření.

Pro nás mají největší význam paprsky, které jsou vyzařovány zahřátými tělesy. Vlnová délka takových paprsků /elektromagnetických vln/ leží v oboru viditelném $/\lambda = 0,4 \mu \text{ až } 0,8 \mu /$ a v oboru infračerveném $/\lambda = 0,8 \mu \text{ až } 0,4 m /$. Při teplotách řádově stovky $^{\circ}\text{C}$ se uplatní jen infračervené paprsky. Jejich oblast rozdělujeme na blízký infračervený obor /od $0,75 \mu$ do $2,5 \mu /$, na střední infračervený obor /od $2,5 \mu$ do $25 \mu /$ a na vzdálený infračervený obor /od 25μ výše/.

Dopadají-li na těleso za 1 s. energie U_0 , nechť U_A se pohltí, U_R se odrazí a U_T projde tělesem. Platí:

$$U_A + U_R + U_T = U_0 \quad [1]$$

nebo

$$\frac{U_A}{U_0} + \frac{U_R}{U_0} + \frac{U_T}{U_0} = \alpha + \rho + \tau = 1 \quad [2]$$

kde α = poměrná pohltivost záření

ρ = poměrná odrazivost záření

τ = poměrná propustnost záření

α, ρ, τ jsou bezrozměrné veličiny, jejichž velikost se pohybuje od 0 do 1.

Těleso, které dokonale pohlcuje, nazveme absolutně černým. U něho platí $\alpha = 1$, z čehož plyne $\rho = \tau = 0$. Těleso, které dokonale odráží, nazýváme zrcadlovým. Pro něj platí $\rho = 1$ a tudíž $\alpha = \tau = 0$. Těleso, které propustí dokonale teplo, nazýváme dokonale propustným. Pro něj platí $\tau = 1$ a $\alpha = \rho = 0$.

Těleso může získat od okolí právě tolik tepla /obecně energie/, aby byl kompenzován úbytek energie spotřebovaný na jeho vlastní vyzařování. V tomto případě má těleso jistou charakteristickou teplotu T . Nebude-li těleso dostávat z vnějška tolik energie kolik samo vyzařuje, bude tuto energii brát na úkor své vnitřní energie. Víme, že vnitřní energie tělesa je úměrná jeho teplotě. Ta bude tudíž klesat, až nastane rovnovážný stav. Ukazuje se dále, že zahřáté těleso nevysílá stejné množství energie pro různé vlnové délky vysílaného záření. Proto je nutno zavést tzv. monochromatické vyzařování H_λ , což je množství energie vyzařované v intervalu vlnových délek $\lambda, \lambda + d\lambda$. Obdobně můžeme definovat poměrnou spektrální pohltivost. Kirchhoffův zákon nám říká, že poměr $\frac{H_\lambda}{\alpha_\lambda}$ pro libovolné těleso je pouze funkcí λ a T . Pro absolutně černé těleso $\alpha_\lambda = 1$ je monochromatické vyzařování pouze funkcí λ a T .

Tvar této funkce je dán Planckovým zákonem.

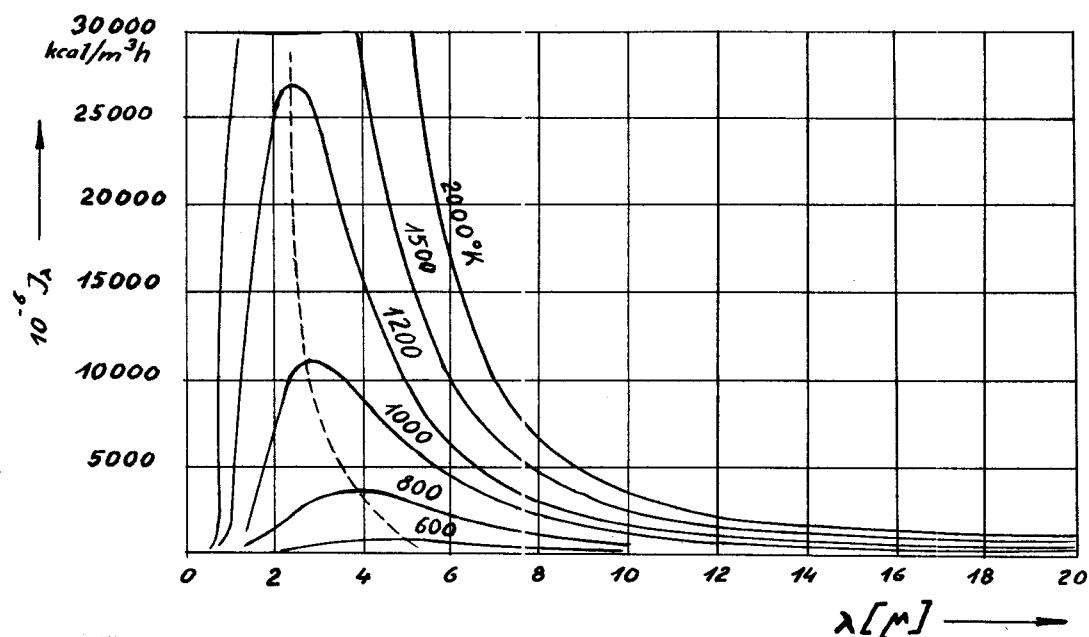
$$H_{\rho\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad [Wm^{-3}] \quad [3]$$

kde $c_1 = / 3,7413 \pm 0,0002 / \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2$

$c_2 = / 1,43880 \pm 0,00007 / \cdot 10^{-2} \text{ m deg.}$

jsou radiační konstanty.

Výhodné je užít grafického znázornění.



Obr. 1. Závislost intenzity záření J na vlnové délce /Planckův zákon/.

Pro každou konstantní teplotu obdržíme jednu křivku - izotermu obr. 1. Izotermy jsou nesymetrické, zvonovité křivky, jež na straně krátkovlnné spadají příkře, kdežto na straně dlouhovln-

né pozvolně. Každá izoterma pro vyšší teplotu leží zcela nad izotermou pro teplotu nižší. Na obr. 1 je rovněž vidět, jak se posouvají maxima izoterm se vzrůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám. Tuto souvislost vyjadřuje Wienův zákon posuvu, který lze psát ve tvaru:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \quad [4]$$

kde b je konstanta s číselnou hodnotou

$$b = 2,89782 \cdot 10^{-3} \text{ m deg.}$$

Intenzita vyzařování dokonale černého tělesa je dána integrálem

$$H_{e0} = \int_0^{\infty} H_{\lambda} \cdot d\lambda = \sigma_0 T^4 \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad [5]$$

kde $\sigma_0 = / 5,6687 \pm 0,001 / 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ deg}^{-4}$

je hodnota Stefanovy - Boltzmanovy konstanty.

Toto je známý Stefan - Boltzmanův zákon. V technické praxi se však nesetkáváme s dokonale černými tělesy, ale s tzv. šedými tělesy. Pro tato platí:

$$0 < \alpha < 1, \quad 0 < \rho < 1, \quad 0 < \tau < 1$$

pro šedá tělesa píšeme Stefan - Boltzmanův zákon ve tvaru:

$$H_e = \sigma T^4; \quad \sigma < \sigma_0 \quad [6]$$

Příčemž šedým tělesem je i přijímací terčík bolometru, jehož ploška, na kterou dopadá tepelné záření není dokonale černá.

Poměr:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{H_e}{H_{0\lambda}} = \epsilon_r \quad [7]$$

se nazývá poměrná sálavost. Známe-li ϵ_r můžeme vypočítat intenzitu vyzařování H_e tělesa podle vztahu:

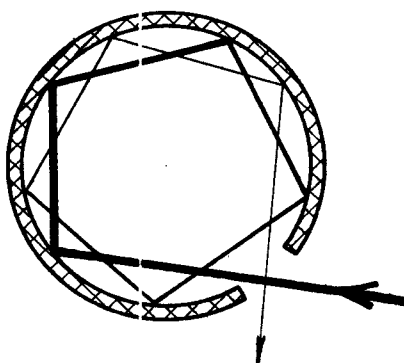
$$H_e = \epsilon_r \sigma_0 T^4 \quad [Wm^{-2}] \quad [8]$$

Ze Stefan - Boltzmanova zákona je zřejmé, že lze stanovit teplotu tělesa T měřením vyzařované energie. Ta se měří různými detektory, v našem případě bolometrem citlivým v příslušné infračervené oblasti. Mezi tělesem a detektorem je vzduch, který obsahuje vodní páry. Infračervené záření procházející touto atmosférou se částečně pohlcuje a rozptyluje. Absorpce a rozptyl jsou selektivní děje /závisí na vlnové délce/ a není jim v této práci věnována bližší pozornost.

4.0 Č e r n é t ě l e s o .

Jak již bylo ve statí 3.0 řečeno, pak černým tělesem je takové, pro které platí, že poměrná pohltivost záření $\alpha = 1$.

Dokonale černých těles v přírodě není, ale můžeme je vyrobit uměle. Zavádí se do teoretických úvah jako představa sloužící k odvození základních zákonů záření. Přibližná realizace



Obr. 2. Realizace absolutně černého tělesa.

dokonale černého tělesa je naznačena na obr. 2. Je to všestranně uzavřená černá dutina, která je malým otvorem spojena s okolním prostorem. Paprsek zářivé energie vstupuje otvorem do dutiny a při dopadu na její stěnu se jeho energie z části pohltí a z části odrazí. Odražený paprsek znovu

dopadá na stěnu dutiny a celý děj se mnohokrát opakuje. Přitom se téměř veškerá zářivá energie vstupujícího paprsku dutinou pohltí. Pohltivost dutiny $\alpha \rightarrow 1$ a proto jí můžeme považovat za přibližnou realizaci dokonale černého tělesa. Udržujeme-li absolutně černé těleso, znázorněné na obr. 2 na teplotě T pak z jeho otvoru vystupuje přesně definované teplotní záření.

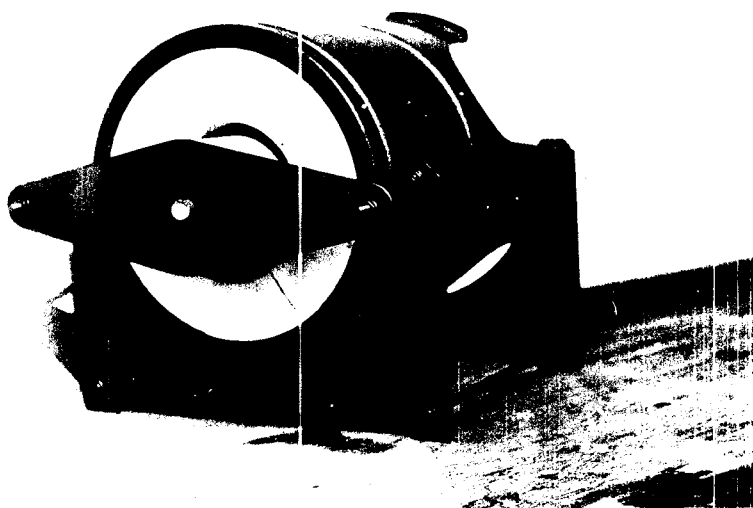
Absolutně černé těleso se nehodí jako technický zdroj infračerveného záření, slouží však jako zdroj záření pro měřicí účely.

4.1 V š e o b e c n ě s m ě r n i c e p r o k o n s t r u k c i .

Vystupující záření se bude tím více blížit záření absolutně černého tělesa, čím menší bude plocha otvoru vůči ploše povrchu dutiny, čím menší bude odrazivost stěn dutiny /opatřují se proto vrstvou černě/ a čím více odrazů bude muset vykonat paprsek vstupující do dutiny otvorem na jejích stěnách, než opět vystoupí tímto otvorem z dutiny. K těmto požadavkům přistupuje ještě požadavek přesně stejné teploty dutiny.

4.2 Vlastní konstrukce černého tělesa.

Při konstrukci černého tělesa byla použita malá elektrická pec na tavení kovů. Do jejího otvoru je vsunut zářič kulového tvaru. Zářič je vyroben ze dvou polovin z nichž jedna má otvor pro vývod měřícího termočlánku a druhá otvor pro vlastní záření. Před tímto otvorem jsou uloženy v pouzdře další tři clony, což je v podstatě světelný labirint. Zářič včetně clon a pouzder je vyroben z vhodné ohnivzdorné keramiky. Černé těleso je zobrazeno na obr. 3.

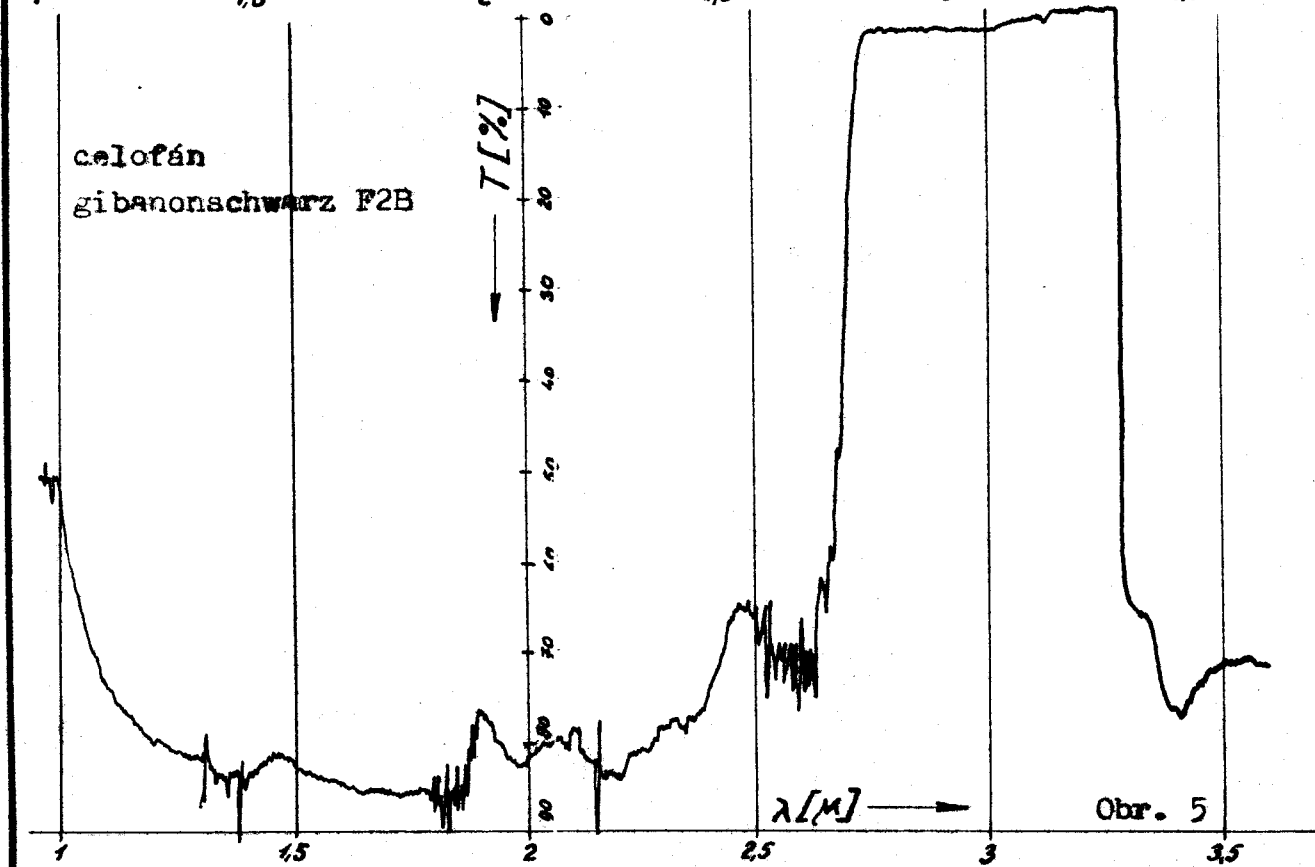
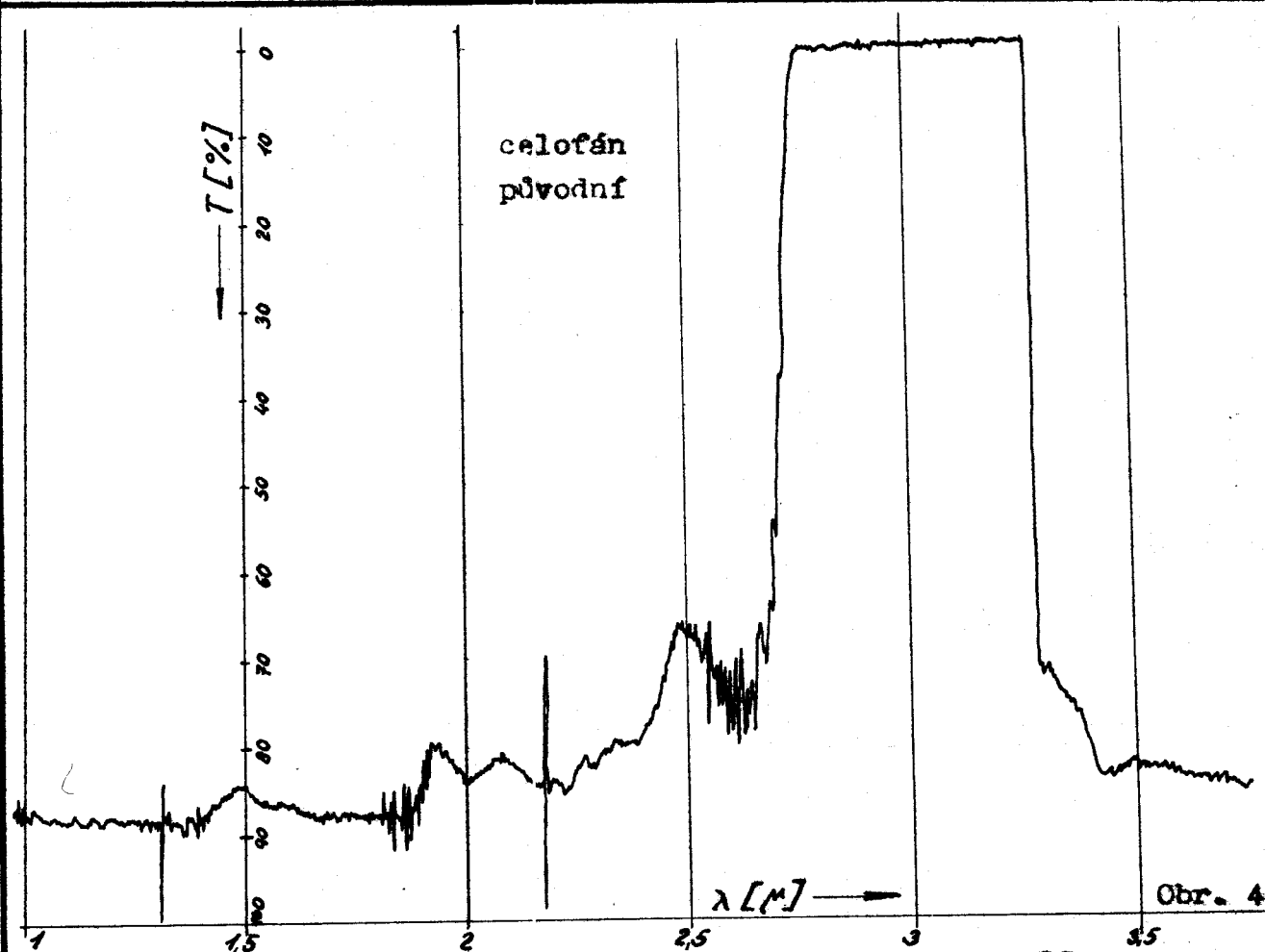


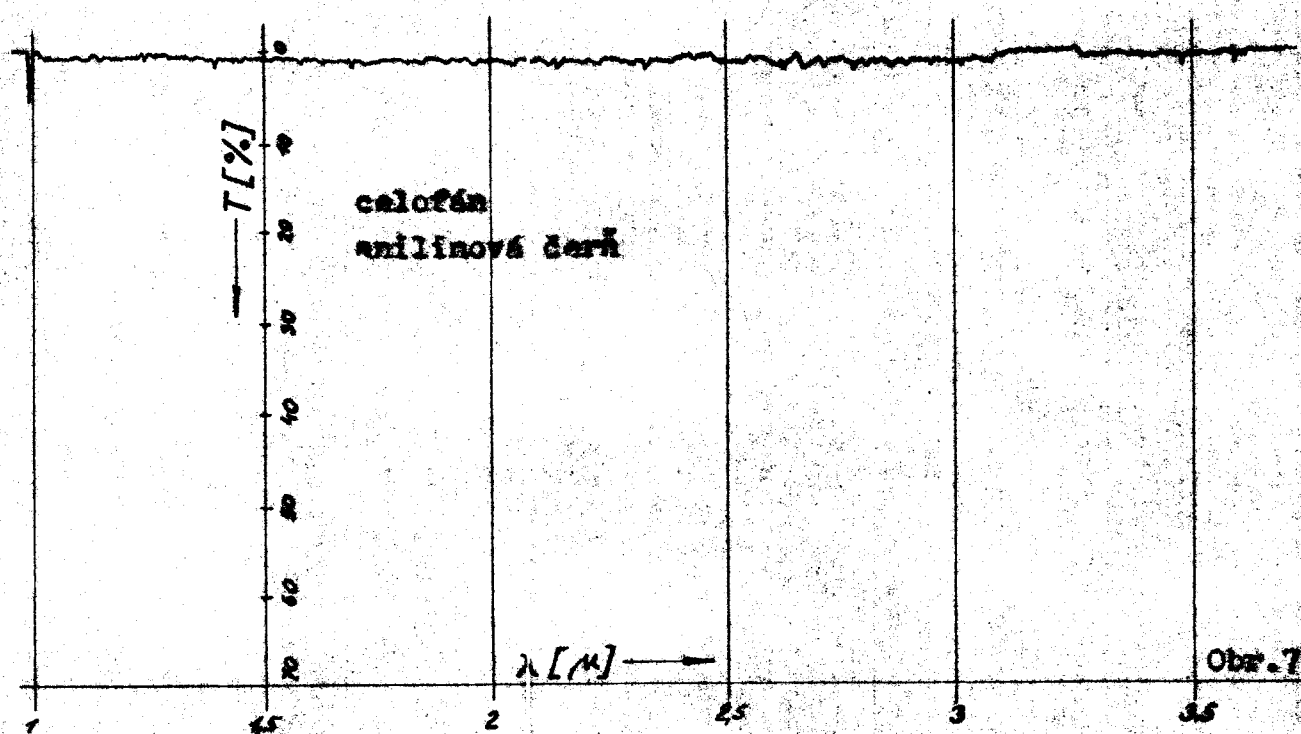
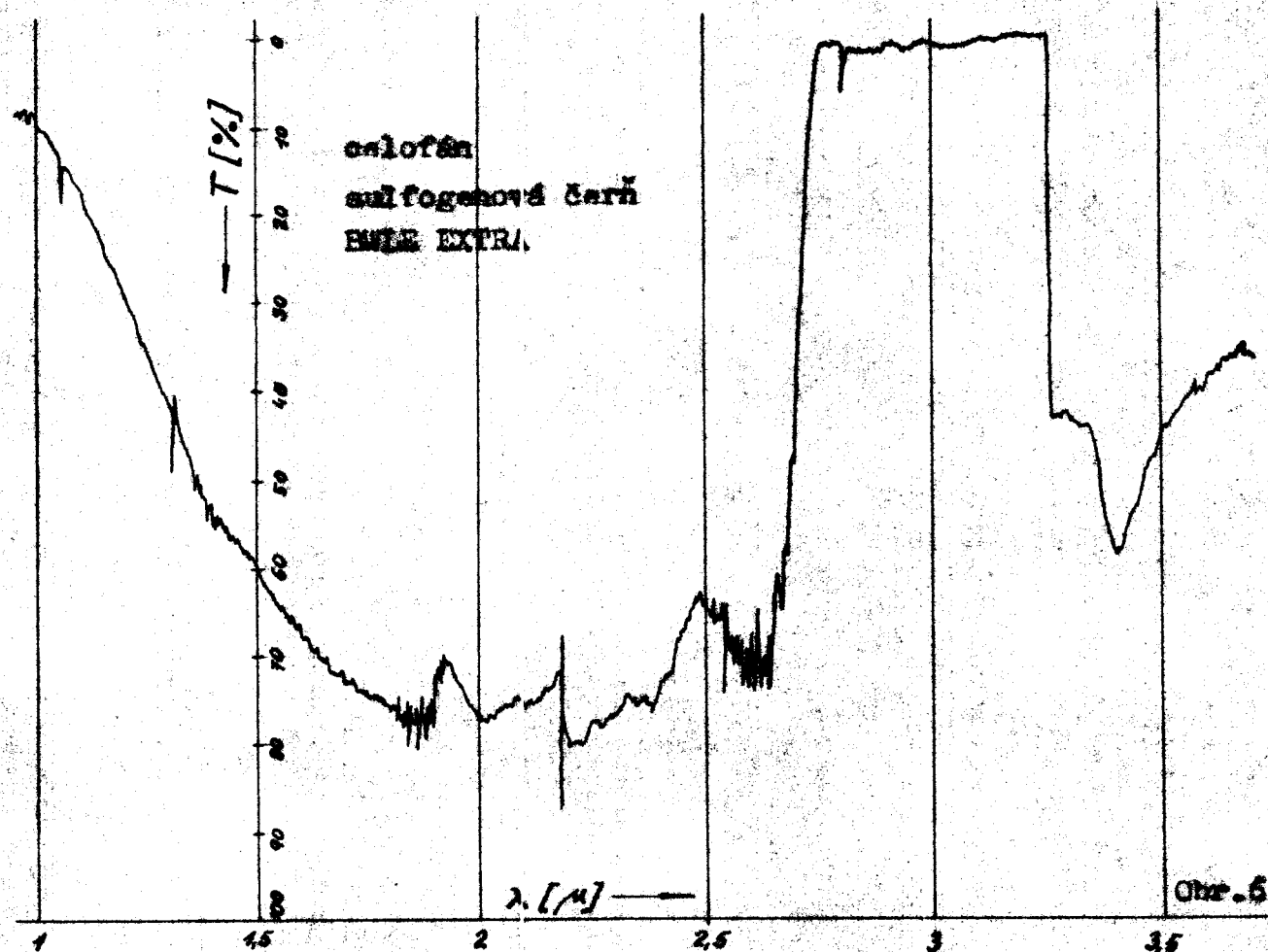
Obr. 3 - Černé těleso

Aby se zmenšila odrazivost stěn dutiny byl zářič včetně clon a pouzder opatřen vrstvou černě. Ze samotné konstrukce vyplývá, že druh černě nehraje důležitou roli, nicméně byla sledována i tato otázka. Účelem bylo nalézt čern, která je černá i v infračervené oblasti, kteroužto podmínku některé černě nesplňují, jak je patrné z obrázků 4, 5, 6, 7. Tyto ukazují transmissi tří zvolených černí, nanesených na celofánovou fólii. Z obrázků je patrné, že nejlepší čern je anilínová čern, která má v infračervené oblasti absolutní pohltivost.

Celé černé těleso je postaveno na podstavci, aby bylo v horizontální poloze. V příloze je kompletní výkresová dokumentace. Černého tělesa je možno použít až do teplot 1000°C . Při ohřívání bylo zjištěno, že ohřev z teploty 20°C na teplotu 1000°C trvá čtyři hodiny.

Použití černého tělesa pro cejchování bolometru je uvedeno v kapitole 7.1.





5.0 P ř e h l e d d e t e k t o r ů
z á ř e n í

Údaje přijímačů založených na fotochemických, fotoelektrických jevech, na vyhasínání nebo vzplanutí fosforescence jsou závislé mimo jiné i na vlnové délce dopadajícího záření. Jsou to tedy přijímače selektivní. V současné době pro detekci infračerveného záření se tyto přijímače nehodí. Pro tento případ se hodí pouze přijímače založené na oteplení nějaké hmoty, které je vyvolané absorpcí záření. Tyto přijímače jsou nezávislé na vlnové délce dopadajícího záření, jsou neselektivní. Zůstaneme-li u těchto přijímačů, pak ty, které přicházejí pro náš případ v úvahu, jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1.

Typ tepelného přijímače	Druh použitého teploměru
Bolometr	odporový
Termoelektrický článek	termoelektrický
Golayův článek	plynový

Z celé řady požadavků kladených na tepelné přijímače dva nejdůležitější jsou zcela proti-

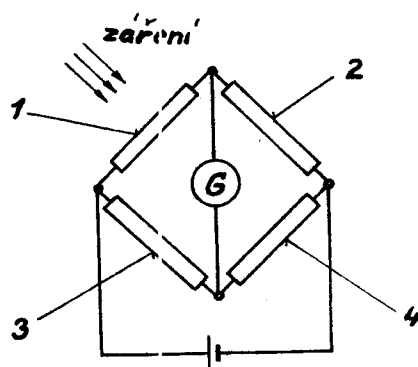
chůdné. Je to požadavek veliké citlivosti a co nejmenší časové konstanty. Z ostatních požadavků můžeme uvést: dlouhou životnost, odolnost proti teplotě, odolnost proti vlhkosti, odolnost proti otřesům, lacinou výrobu, jednoduché příslušenství, snadno zpracovatelný výstupní signál.

Požadavek neselektivity může splnit pouze p povrch dokonale černý pro všechny vlnové délky . Vzhledem k požadavku malé časové konstanty musí být tepelná kapacita vrstvičky černě nepatrná. Z tohoto požadavku vyplývá nutnost, aby byla její tepelná vodivost co největší.

Všimněme si nyní některých typů tepelných přijímačů.

5.1 B o l o m e t r k o v o v ý .

Je to zařízení na detekci infračerveného záření, založený na principu změny odporu některých látek, jestliže jsou ohřáty. Představitelem této skupiny může být bolometr znázorněný na obr.8. Na tomto obrázku značí 1 - proužek na který dopadá záření, 2 - proužek kompenzační, 3,4 - vyrovnávací odpory můstku.



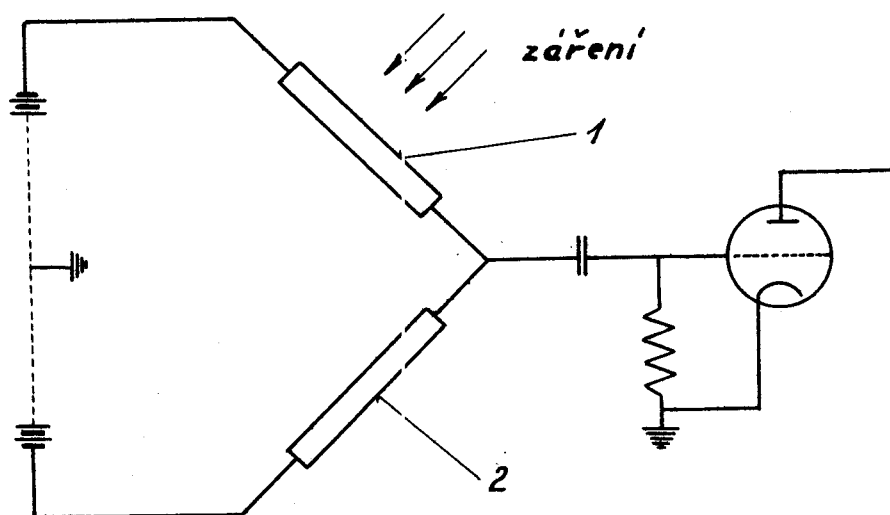
Obr. 8. Schéma zapojení bolometru.

Pro zvýšení citlivosti a vyloučení vlivu proudění okolního vzduchu umisťují se bolometrické proužky do vyčerpané baňky. Jako citlivých odporových proužků se dnes u bolometrů užívá nikl, platina a též zlato. Odporové proužky se nejčastěji zapojují do Wheatsonova můstku obr. 8.

Starší typy bolometrů, tzv. bolometry stejnosměrné pracují vesměs se stejnosměrným zářením, kdežto novější, tzv. bolometry střídavé se zářením střídavým. Jejich střídavý signál je zesilován elektronkovými zesilovači a zpracován zapisovacími přístroji.

5.2 Bolometr polovodičový.

Tento bolometr je založen na jevu, že odpor polovodičů se vzrůstající teplotou se zmenšuje. Termistorových proužků se zde rovněž používá většinou v můstkovém zapojení. Jeden z proužků je přímo měřicím elementem a druhý zastává funkci kompenzačního elementu, stíněného před zářením obr. 9. Do obou větví jsou vložena stejná napětí, ale opačné polaritě. Na obr. 9 značí 1 - měřicí bolometrický proužek, 2 - srovnávací bolometrický proužek.



Obr. 9. Termistorový bolometr v můstkovém zapojení.

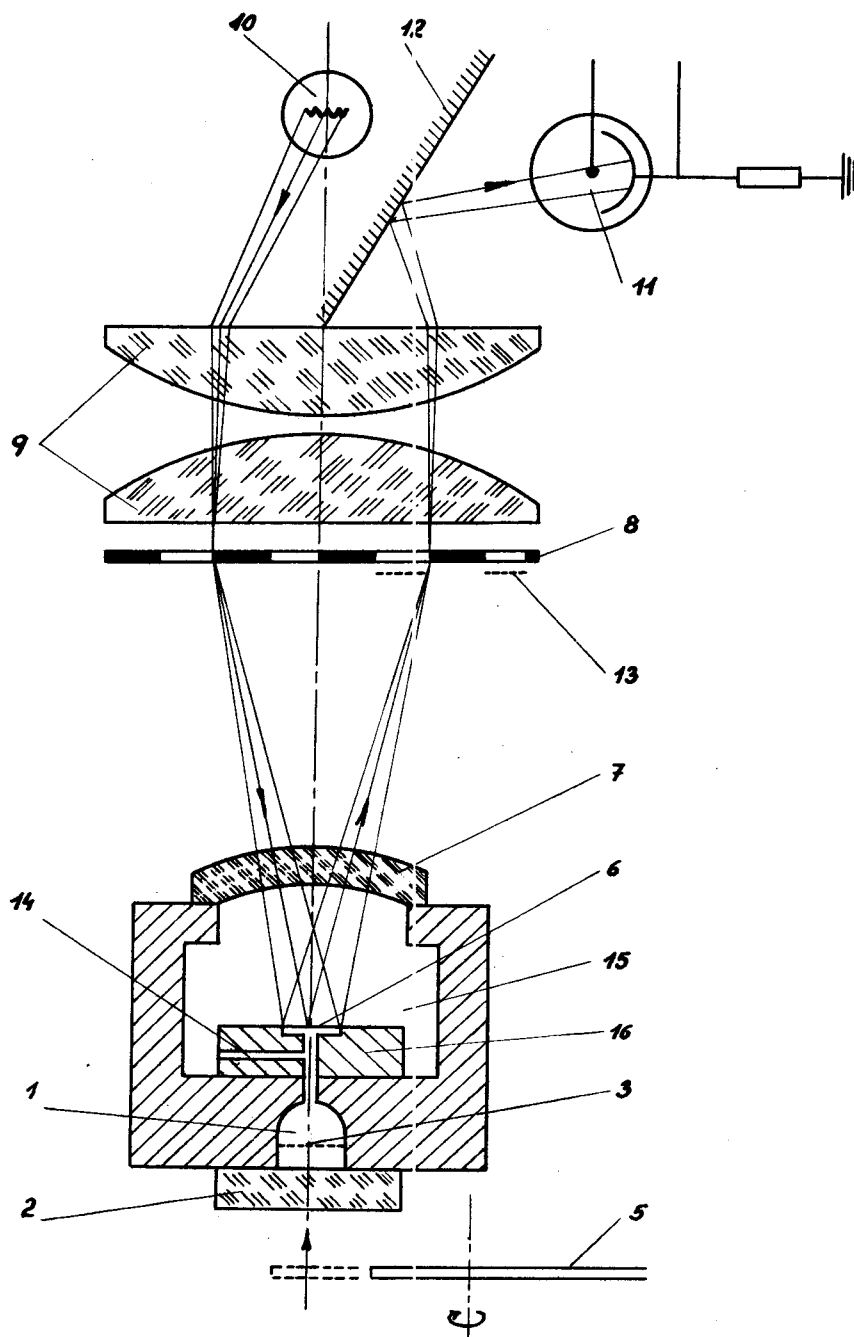
5.3 Golayův pneumatický
detektor

Mezi nejcitlivější neselektivní přijímače patří Golayův pneumatický detektor. Tento detektor je v podstatě plynovým teploměrem, jak je zobrazeno na obr. 10. Na tomto obrázku značí:

1 - tlaková komůrka, 2 - okénko, 3 - absorpční membrána, 4 - měření infračerveného záření, 5 - rotační clona, 6 - reflexní zrcadlo, 7 - čočka, 8 - mřížka, 9 - kondenzor, 10 - žárovka, 11 - fotocela, 12 - zrcadlo, 13 - obrázek hořejší poloviny mřížky, 14 - vyrovnávací kapilára, 15 - prostor oddělený od atmosféry, 16 - držák reflexního zrcadla.

Článek pracuje v podstatě takto: záření vstupující do první komůrky vstupním okénkem je absorbováno vrstvou černě. Tím se ohřívá plyn v komůrce. Plyn se teplotou rozepne, vyduje se jedna strana komůrky uzavřená pružnou membránou tvořící zrcadlo. Aby pracoval detektor při různých teplotách okolí, je prostor před a za zrcadlem propojen kapilárou. Deformace zrcadla jsou měřena optickou soustavou, která je uspořádána tak, že nedopadá na fotočlánek žádné záření, tvoří-li

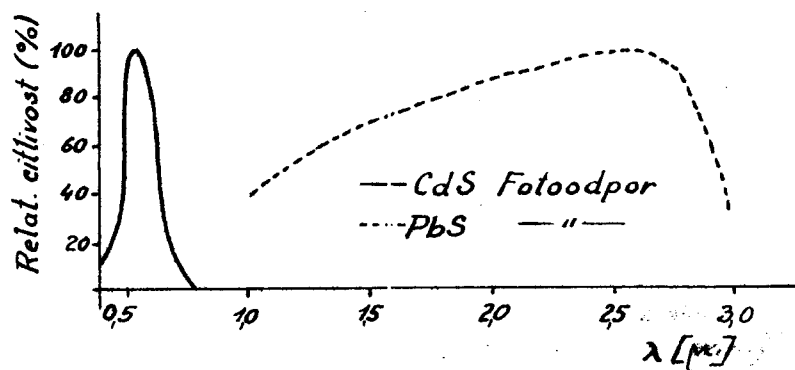
zrcadlo membrány rovinu. Je-li zrcadlo vypouklé, záření vycházející ze zdroje dopadá na fotočlánek po projití optickou soustavou. V důsledku rytmu dopadajícího záření střídavé napětí na výstupu z fotoelektrického člunku je zesilováno elektronkovým zesilovačem.



Obr. 10. Golayův pneumatický detektor.

5.4 Fotoo d p o r y .

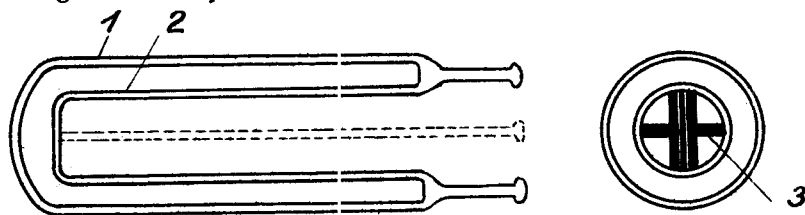
Tento detektor patří k selektivním detektorům. Mezi selektivní přijmače patří např. CdS, nebo PbS vyráběné fy. Carl Zeiss Jena. Nejdůležitějším parametrem rozhodujícím o vhodnosti, či nevhodnosti použití CdS nebo PbS fotoodporů pro bezdotykové měření teploty je její rozdělení relativní spektrální citlivosti v závislosti na vlnové délce λ , jak je znázorněno na obr. 11.



Obr. 11. Rozdělení relativní spektrální citlivosti na vlnové délce.

Tyto fotoodpory jsou základní součástí zařízení pro bezdotykové měření teploty využívající modulaci infračerveného záření, které má velmi malou časovou konstantu. Na obrázku 12 je znázorněn fotoelektrický článek PbS fy. British Thomson - Houston. Na tomto obrázku značí:

1 - vnější obal, 2 - vnitřní válec, 3 - elektrody.



Obr. 12. Odporový fotoelektrický článek PbS
fý. British Thomson - Houston.

Zařízení s použitím fotoodporu je schopné měřit velmi rychlé změny teploty a je rovněž ve stádiu prototypu zkoušeno na Ústavu parních generátorů.

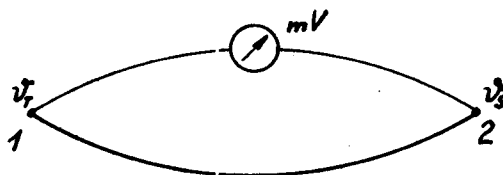
5.5 Termoelektrické články v š e o b e c n ě .

Vzhledem k tomu, že v zadání práce je navržení jednostupňového termočlánekového přijímače záření, je této stati věnována větší pozornost.

Podstatou termoelektrického přijímače záření je termoelektrický snímač, založený na jevu, který objevil počátkem minulého století akademik Epinus. Jestliže v obvodě obrázek 13 složeném ze dvou různých vodičů a spojených mezi sebou v bodech 1 a 2 budeme ohřívat jeden z těchto bodů, vznikne v obvodě termoelektrická síla, která je funkcí rozdílu teploty spojených míst vodičů.

$$U = (\alpha_A + \alpha_B)(\vartheta_T - \vartheta_S) \quad [mV] \quad [9]$$

Tento termoelektrický obvod, složený ze dvou vodičů se nazývá tepelný článek. Místo spojení nazýváme pracovními a volnými konci tepelného článku.



Obr. 13. Termoelektrický článek.

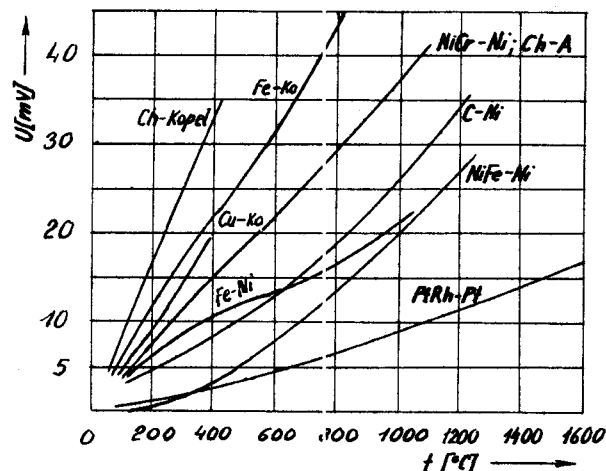
Vznik termoelektrického napětí si můžeme vysvětlit teorií, podle níž se vodiče rozdělují na vodiče typu n a p. Vodiče typu n obsahují většinou nosiče záporných elektrických nábojů - elektrony, kdežto vodiče typu p pouze nosiče kladných nábojů. Vodiče typu n a p se navzájem liší způsobem přemísťování elektrických nábojů ve vodiči, je-li na něm teplotní rozdíl. Vodič typu n při zahřátí uvolňuje část elektronů, které nejsou pevně vázány. Tyto uvolněné elektrony putují vodičem k jeho chladnějšímu konci, který nabíjejí záporně. Jelikož velikost celkového náboje ve vodiči je stálá, jeví se úbytek na teplejším konci jako kladný a naopak se jeví chladnější konec jako záporný. Vodič typu p má při stejném smyslu teplotního rozdílu polaritu

obrácenou, tj. chladnější konec se jeví kladný. Pohyb elektronů trvá dokud jej nezabrzdí elektrostatické pole, které se vytvoří mezi elektrony a zbylými anionty. V okamžiku vyrovnaného stavu vzniká vlivem potenciálního rozdílu pohyb elektronů opačným směrem, tj. od studeného konce k teplému. Pohyb elektronů se děje pouze uvnitř vodiče, vystoupení elektronů z vodiče zabráňuje tzv. potenciálová překrada vytvořená ionty krystalové mříže. Jsou-li však dva různé kovy v dokonalém vodivém styku, mohou elektrony z kovu s nižší potenciálovou překradou přestupovat do kovu s vyšší potenciálovou překradou a vytvořit tak elektrický proud v termoelektrickém článku ze dvou různých vodičů. Na tomto principu jsou založeny termoelektrické teploměry, kterých se běžně užívá k měření teploty.

5.5.1 Termoelektrické články pro měření teplot.

Termoelektrický článek je tvořen dvěma vodiči z různých materiálů, které jsou na jednom konci vodivě spojeny. Tento spoj se nazývá měřicí konec. Jestliže je teplota měřicího konce různá od teploty

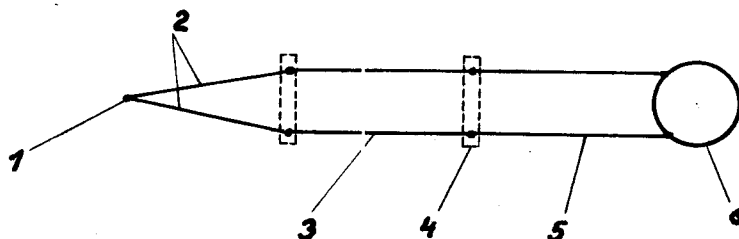
srovnávacích konců vzniká v termoelektrickém článku termoelektrické napětí. Při určité teplotě měřícího konce a srovnávacích konců ukazuje termoelektrický článek jmenovitou velikost termoelektrického napětí, které jsou udány pro jednotlivé termoelektrické články. Termoelektrické napětí hlavních termoelektrických článků v závislosti na teplotě měrného konce při teplotě srovnávacího konce 0°C jsou na obr. 14.



Obr. 14. Termoelektrické napětí hlavních termoelektrických článků v závislosti na teplotě měrného konce /teplota srovnávacího konce 0°C /.

K prodloužení termoelektrických článků z drahých kovů se používá tzv. kompenzačního vedení. Toto kompenzační vedení bývá nejčastěji pro nízké teploty z mědi, pro větší teploty z železa. Skutečné provedení termoelektrického článku je na obr. 15. Na tomto obr. značí: 1 - měrný konec,

2 - termoelektrický článek, 3 - kompenzační vedení,
4 - srovnávací konec, 5 - spojovací vedení,
6 - měřicí přístroj.



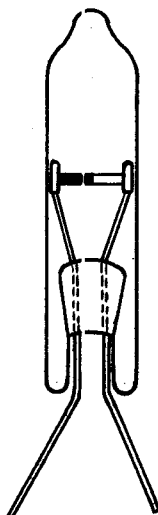
Obr. 15. Termoelektrický článek v uspořádání
pro měření teplot.

5.5.2 Z h o t o v e n í m ě r n ě h o k o n c e

Spoje článků jsou zhotoveny několika způsoby: mechanicky, svařováním, pájením a pokovováním. Tvar spojů závisí na provedení a na průměru spojovaných drátů. Zvláště tenké dráty, používané pro přesné měření při různých výzkumných pracích, vyžadují zvláštní technologii spojování. Spoje těchto článků lze vytvořit pouze svařováním, mechanické spojení vzhledem k malému průměru nezaručuje dobrý styk kovových ploch. K svařování se nejčastěji používá kondenzátorová svářečka. Svary se provádějí na tupo.

5.6 Termoelektrické články pro měření záření.

Tyto termočlánky pracují se stálým zářením a nazýváme je proto stejnosměrnými. Pro větší citlivost se termoelektrické články vyrábějí jako vakuové obr. 16. Pro infračervenou oblast je nutné, aby vstupní okénko propouštělo záření v požadovaném rozsahu vlnových délek. Toto okénko bývá vyrobeno např. z kalium - bromidu. Někdy se spojuje více takových termoelektrických článků do série. Mluvíme pak o termoelektrickém sloupu.



Obr. 16. Vakuový termoelektrický článek.

6.0 Tepelně dynamický problém.

Uvažujme tepelný přijímač, jehož tepelná kapacita je C $[J \text{ deg}^{-1}]$ a jehož ztráta tepla do okolí je L $[W \text{ deg}^{-1}]$. Na přijímač nechť dopadá časově stálý zářivý tok ϕ W , který vyvolá v čase τ zvýšení teploty přijímače Δt . Pro tento tepelně dynamický problém platí diferenciální rovnice:

$$C \cdot \frac{d \Delta t}{d \tau} + L \Delta t = \phi \quad [10]$$

označíme-li nyní

$$C = C_1, \quad t = y, \quad d = dx, \quad L = C_2, \quad \phi = C_3 \\ y_0 = 0, \quad x_0 = 0$$

můžeme rovnici 10 napsat ve tvaru:

$$C_1 \frac{dy}{dx} + C_2 y = \frac{C_3}{C_1} \quad [11]$$

z toho obdržíme

$$\frac{dy}{dx} + \frac{C_2}{C_1} y = \frac{C_3}{C_1} \quad [12]$$

Označíme-li $\frac{C_2}{C_1} = P$, $\frac{C_3}{C_1} = Q$ obdržíme diferenciální rovnici prvního řádu lineární s konstantními koeficienty ve tvaru

$$y' + P y = Q \quad [13]$$

kde P, Q jsou konstanty. Tuto rovnici vyřešíme metodou variace konstanty. Řešení rovnice 13 vede ke tvaru

$$y = e^{-\int P dx} \left(\int Q \cdot e^{\int P dx} \cdot dx + k \right) \quad [14]$$

Po dosazení příslušných hodnot obdržíme řešení

$$\Delta t = \frac{\phi}{L} + K \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_k}}$$

Pro nulové podmínky platí

$$0 = k + \frac{\phi}{L}, \quad K = -\frac{\phi}{L}$$

takže po úpravě

$$\Delta t = \frac{\phi}{L} \left(1 - e^{-\frac{L}{C} \tau} \right) \quad [15]$$

kde

$$\Delta t_{\infty} = \frac{\phi}{L}, \quad \tau_k = \frac{C}{L}$$

Rovnice 15 určuje vzrůst teploty, dopadající na přijmač zářivý tok. Vzrůst teploty dosáhne určité ustálené hodnoty Δt_{∞} pro $\tau = \infty$ čas $\tau = \tau_k$, za který dosáhne přírůstek teploty přijímače asi 63 % této ustálené hodnoty, se nazývá tepelná konstanta tepelného přijímače. Tato konstanta je charakteristická pro rychlost, s jakou přijmač reaguje. Někdy se zavádí i jiné časové konstanty,

např. čas τ_{99} , za který dosáhne přírůstek teploty systému 99% z ustálené hodnoty Δt_{∞} . Z rovnice [15] lze odvodit vztah pro τ_{99} .

$$\Delta t = \Delta t_{\infty} - \Delta t_{\infty} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_k}}$$

odtud

$$e^{\frac{\tau}{\tau_k}} = \frac{\Delta t_{\infty}}{\Delta t_{\infty} - \Delta t}$$

jelikož pro τ_{99} hodnota $\frac{\Delta t_{\infty}}{\Delta t_{\infty} - \Delta t} = 100$

obdržíme výsledek

$$\tau_{99} = \tau_k \cdot \ln 100 = 4,605 \cdot \tau_k \quad [16]$$

Obdobně plyne z rovnice [10], nedopadá-li na přijímač žádné záření a má-li pro $\tau = 0$ oproti okolí rozdíl teplot Δt_0 , vztah, podle kterého se bude přijímač ochlazovat.

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot e^{-\frac{L}{C} \tau}$$

Za dobu $\tau = \tau_k$ se tedy přijímač ochladí asi na 37%, popř. za čas $\tau = \tau_k$ na 1% počáteční teploty.

Z tohoto rozboru je patrna obtížnost konstrukce tepelných přijímačů. Má-li být citlivost co největší, pak poměr $\frac{\Delta t_{\infty}}{\beta} = \frac{1}{L}$ má mít maximální hodnotu. Má-li přístroj co nejrychleji reagovat, pak hodnota $\tau_k = \frac{C}{L}$ má mít co nejmenší hodnotu.

7.0 Konstrukce jednoduchého termoelektrického přijímače záření.

Přijímač záření byl navržen na základě materiálně, technicky a časově zvládnutelných podmínek.

Protože celkový výkon infračerveného záření zachycený v časové jednotce jakýmkoliv detektorem je velmi malý, je nutné navrhnout přijímač tak aby dopadající záření vyvolalo co největší efekt na termočláňkovém spoji. Aby přístroj měl co nejmenší časovou konstantu, je nutno volit termoelektrický spoj co nejmenší.

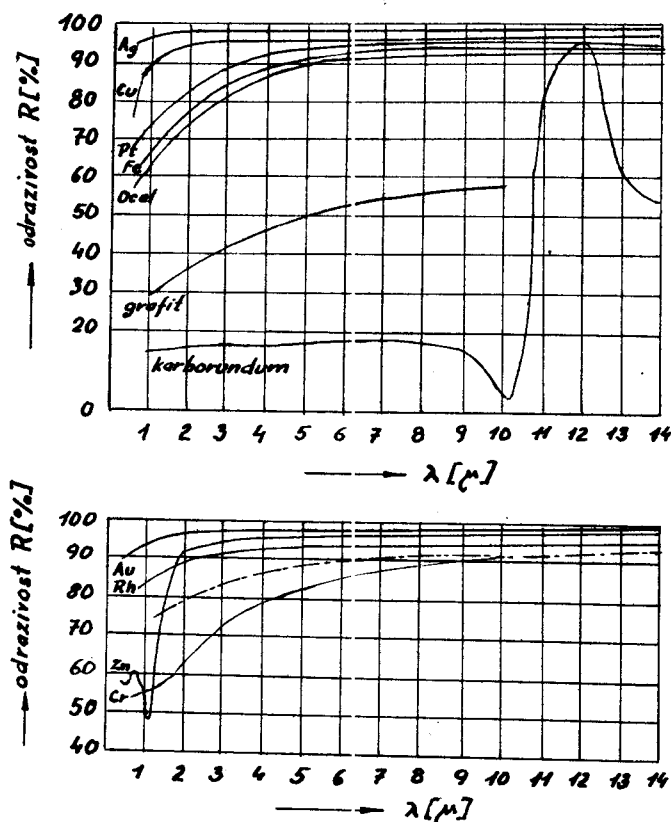
Vyvolání co největšího efektu na termočláňkovém spoji bylo možné provést dvěma způsoby:

- 1 použitím optické soustavy
- 2 použitím zrcadla.

Použití optické soustavy bylo z technických důvodů nerealizovatelné. Proto byl použit daleko jednodušší způsob koncentrace záření rotačním paraboloidem. Tento soustřeďuje do ohniska, kde je umístěn přijímací terčík všechny

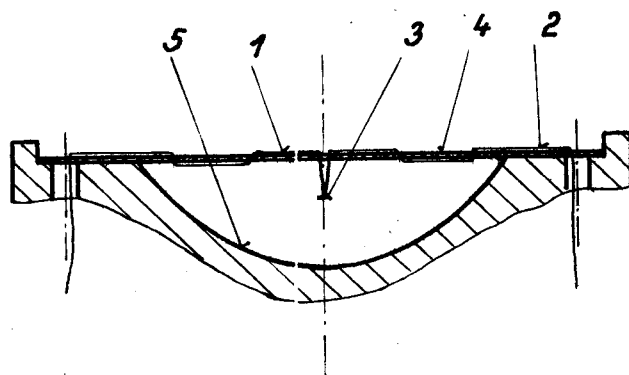
paprsky jdoucí rovnoběžně s osou paraboloidu.

Plocha rotačního paraboloidu byla pozlacena, protože jedině zlato nemění vlastnosti svého povrchu při velmi dobré reflexi i v infračervené oblasti. Jiné kovy, jako např. železo, měď, stříbro, jak je patrné z obr. 17 ač mají rovněž velmi dobrou reflexi v této oblasti, podléhají atmosférickým vlivům a tím se snižuje jejich reflexe.



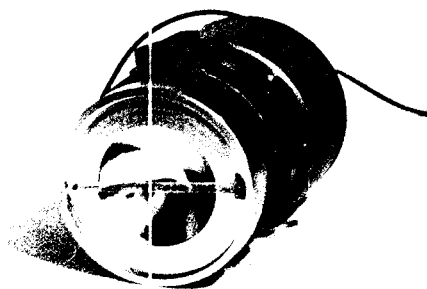
Obr. 17. Spektrální odrazivost některých kovů
v infračerveném oboru.

Termoelektrický článek byl vyroben z Cu-Ko, přičemž dostupný o drátu Cu byl 0,06 mm a Ko 0,12 mm. Tyto dráty byly svařeny na tupo kondenzátorovým výbojem. Aby se zvětšila přijímací ploška, byla na tento spoj připájena fólie o rozměru 1 x 1 mm z Cu. Tato fólie má tloušťku 0,06 mm. Mědi bylo použito z důvodů velké tepelné vodivosti, tím se také zmenší časová konstanta tepelného přijímače. Přijímací terčík byl z jedné strany začerněn anilinovou černí. Umístění článku do ohniska zrcadla bylo provedeno pomocí slídového proužku šířky 3mm a tl. 0,1 mm, jak je patrné z obr.18. Zde značí: 1 - Cu drát, 2 - Ko drát, 3 - Cu fólie, 4 - slídový proužek a 5 - zrcadlo.



Obr. 18. Umístění termoelektrického článku.

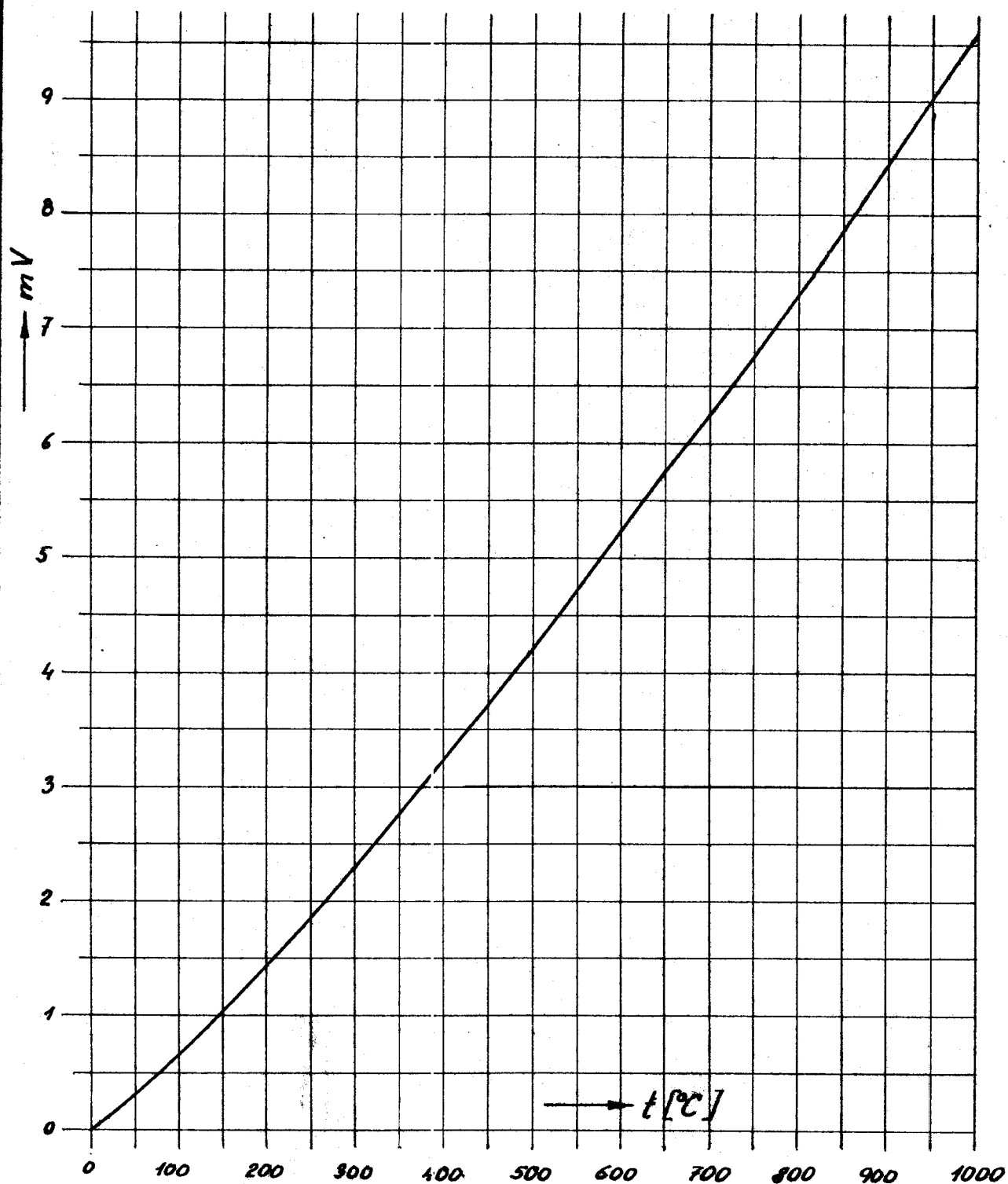
Celý přístroj je vyroben z mosazi pro lepší odvod tepla. Vlastní těleso zrcadla rotačního paraboloidu může být chlazeno vzduchem nebo vodou z důvodů, které jsou blíže popsány v 2. Na obr. 19 je celkový pohled na termoelektrický přijímač záření. V příloze je výkresová dokumentace přijímače záření.



Obr. 19. Termoelektrický přijímač záření.

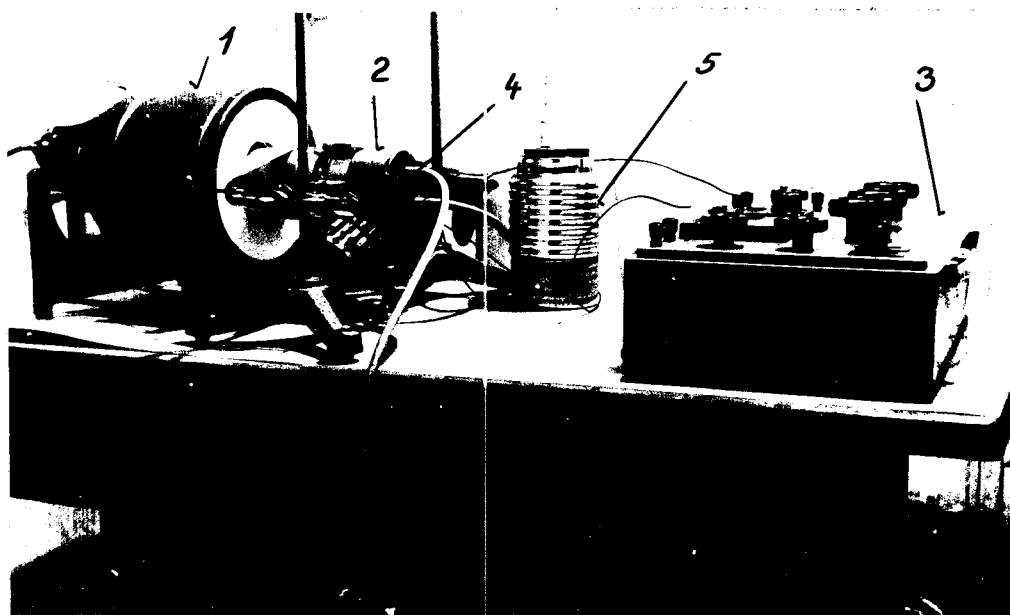
7.1 Cejchování přístroje na černé těleso.

Při cejchování termoelektrického přijímače byla teplota dutiny černého tělesa měřena termoelektrodami PtRh -Pt, jehož cejchovní křivka je na obr. 20. Přístroj byl ocejchován v rozmezí teplot 50 až 1000 °C.



Obr.20. Čechovní křivka PtRh - Pt. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Cejchování přístroje na černé těleso je zobrazeno na obr. 21. Zde značí 1 - černé těleso, 2 - termočlánkový přijímač záření, 3 - kompenzátor QTK, 4 - termočlánkový přepínač, 5 - nádoba s tajícím ledem pro srovnávací konce termočlánku.



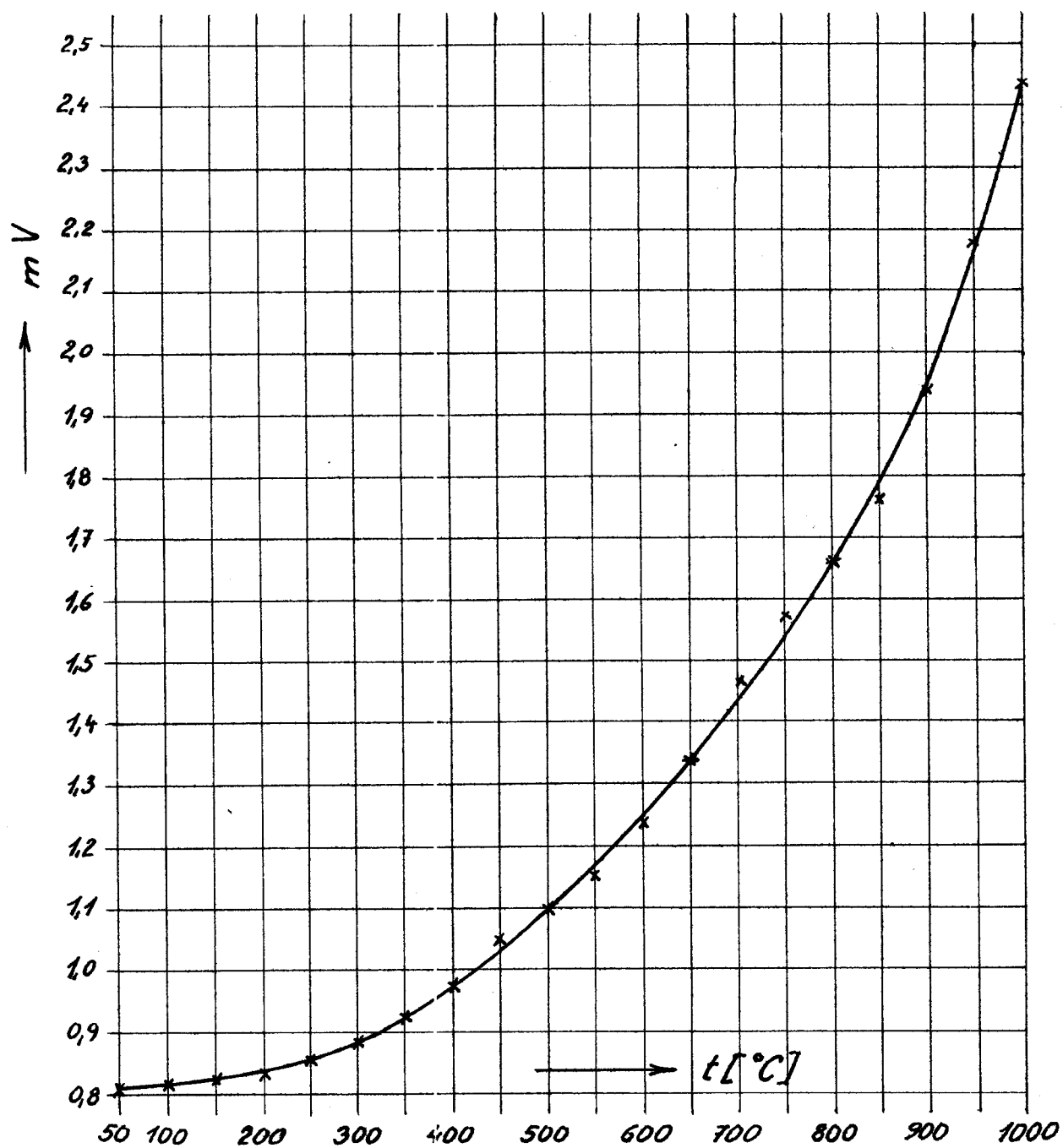
Obr. 21. Cejchování přístroje na černé těleso.

Naměřené hodnoty jsou v tabulce 2, graf je vynesena na obr. 22.

°C	mV	°C	mV
50	0,812	550	1,161
100	0,818	600	1,238
150	0,829	650	1,345
200	0,836	700	1,468
250	0,849	750	1,572
300	0,880	800	1,657
350	0,924	850	1,768
400	0,977	900	1,944
450	1,049	950	2,179
500	1,091	1000	2,436

Tabulka č.2

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na černém tělese.

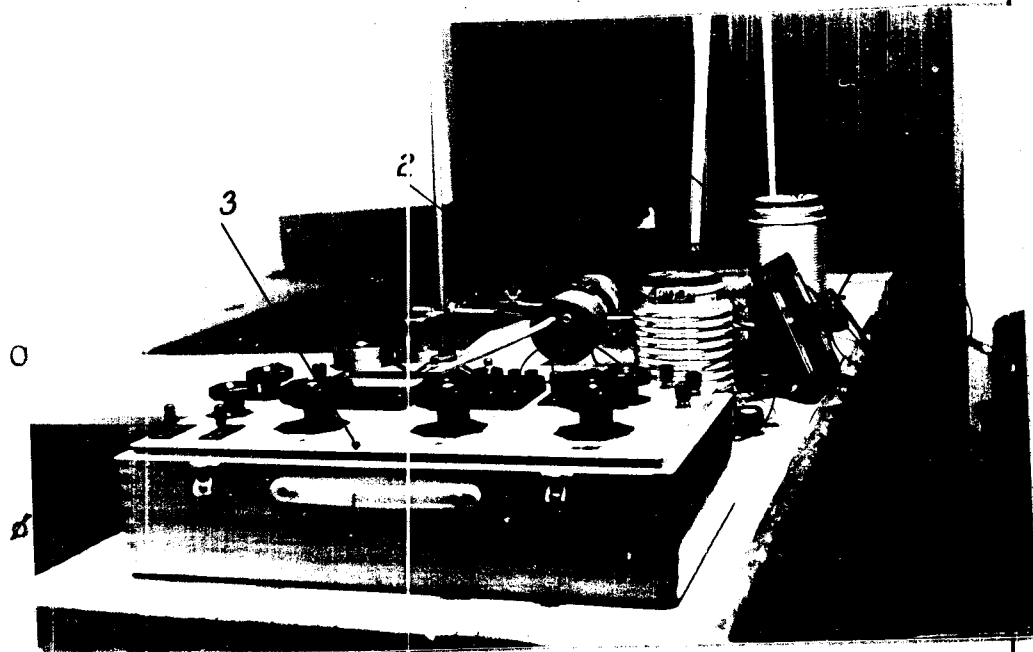


Obr. 22. Cejchovní křivka termočlánkového přijímače záření

na černé těleso. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

7.2 Cejchování přístroje na vyhřívacou desku.

Při měření bylo použito ocelové desky o rozměrech 200 x 250 mm, jejíž povrch byl začerněn. Teplota desky byla měřena termočlánkem PtRh - Pt. Celkový pohled na cejchování je patrný z obrázku 23. Zde značí 1 - vyhřívaná deska, 2 - termoelektrický přijímač záření, 3 - kompenzátor QTK, 4 - termočlánekový přepínač, 5 - nádoba s tajícím ledem pro srovnávací konce termočlánku.

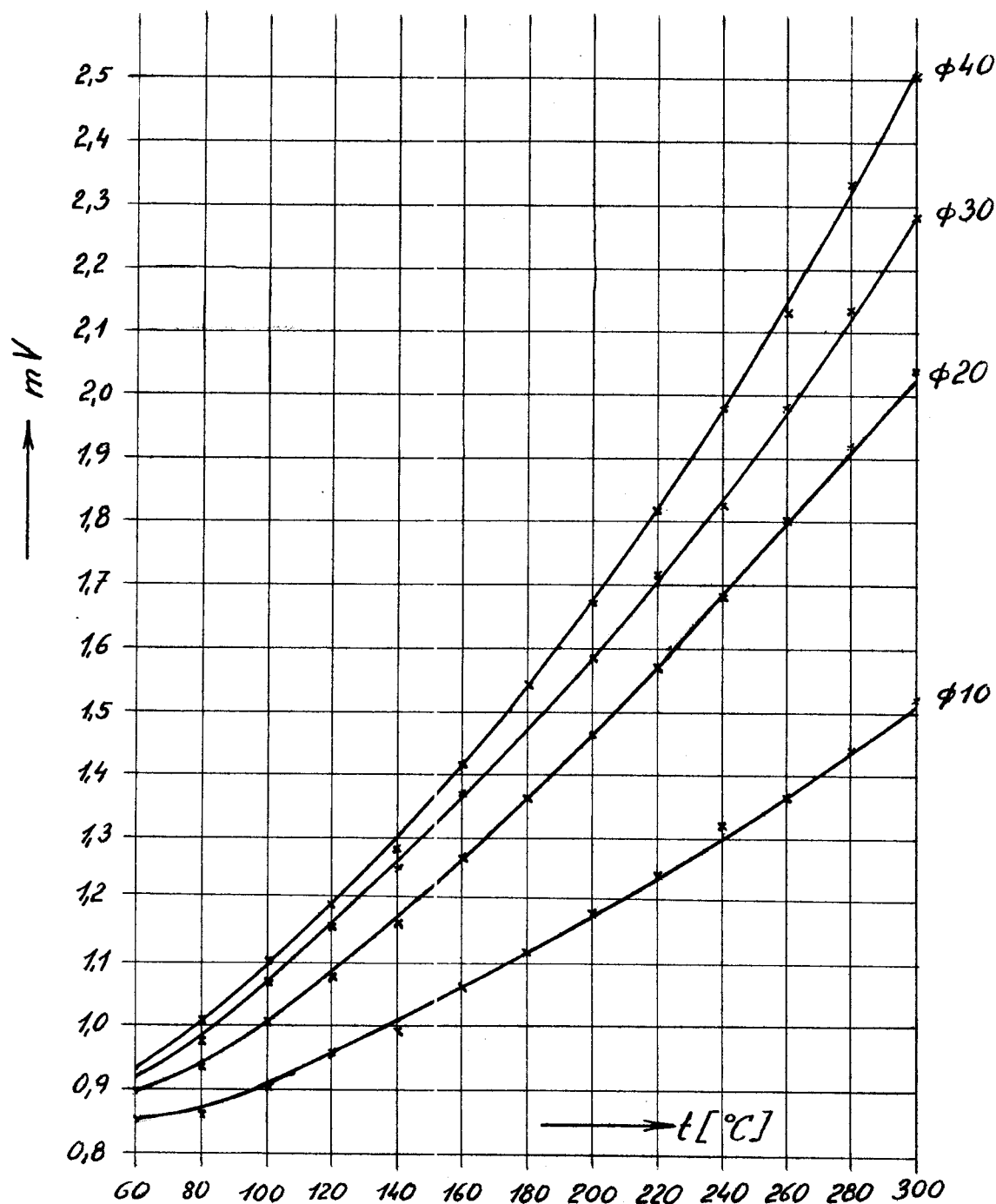


záření na plochu zrcadla. Cejchování bylo provedeno v rozmezí teplot 60 až 300 °C. Vzdálenosti vyhřívané desky od přijímače byly voleny od 100 do 1000 mm. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách 3 až 12 pro jednotlivé vzdálenosti. Jednotlivé grafy pro měřený rozsah vzdáleností jsou na obr. 24 až 33. Na obr. 35 je vynesena graf závislosti naměřených hodnot na vzdálenosti pro jednotlivé teploty.

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,849	0,894	0,19	0,929
80	0,864	0,941	0,980	1,000
100	0,920	1,007	1,070	1,100
120	0,960	1,084	1,160	1,200
140	0,996	1,168	1,258	1,280
160	1,062	1,272	1,374	1,440
180	1,120	1,371	1,482	1,546
200	1,173	1,465	1,589	1,675
220	1,240	1,572	1,702	1,820
240	1,324	1,683	1,825	1,970
260	1,368	1,802	1,980	2,132
280	1,440	1,921	2,139	2,342
300	1,530	2,046	2,285	2,504

Tabulka č.3

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívající desku. Vzdálenost 100 mm.

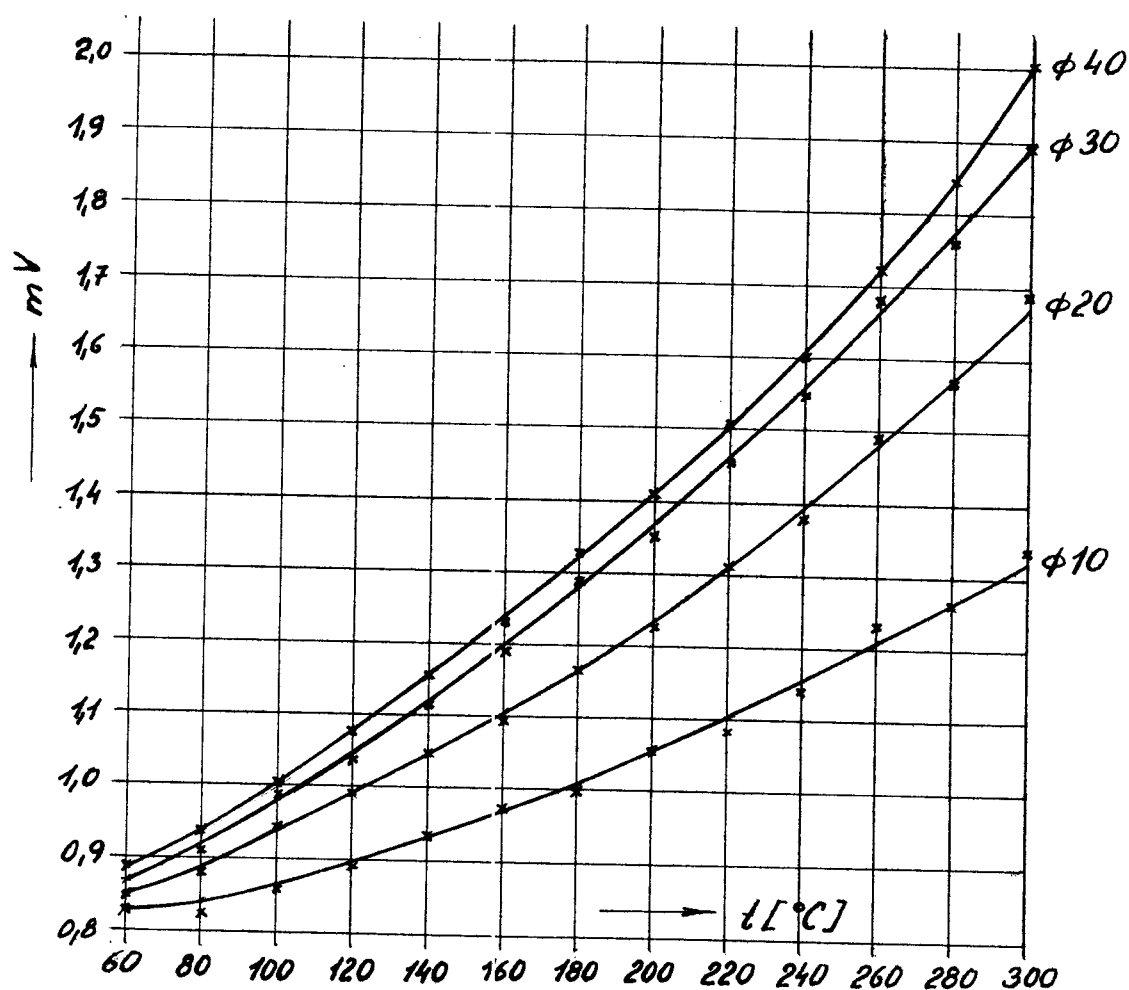


Obr. 24. Čechovně křivky termočlánkového přijímače
záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 100 mm.

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,828	0,848	0,871	0,888
80	0,828	0,883	0,911	0,939
100	0,861	0,948	0,997	1,000
120	0,894	0,990	1,042	1,076
140	0,938	1,052	1,116	1,159
160	0,974	1,093	1,192	1,235
180	0,998	1,170	1,290	1,326
200	1,049	1,228	1,355	1,412
220	1,086	1,313	1,455	1,507
240	1,138	1,382	1,543	1,600
260	1,236	1,492	1,680	1,722
280	1,262	1,570	1,757	1,844
300	1,304	1,692	1,898	2,006

Tabulka č.4

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 200 mm.

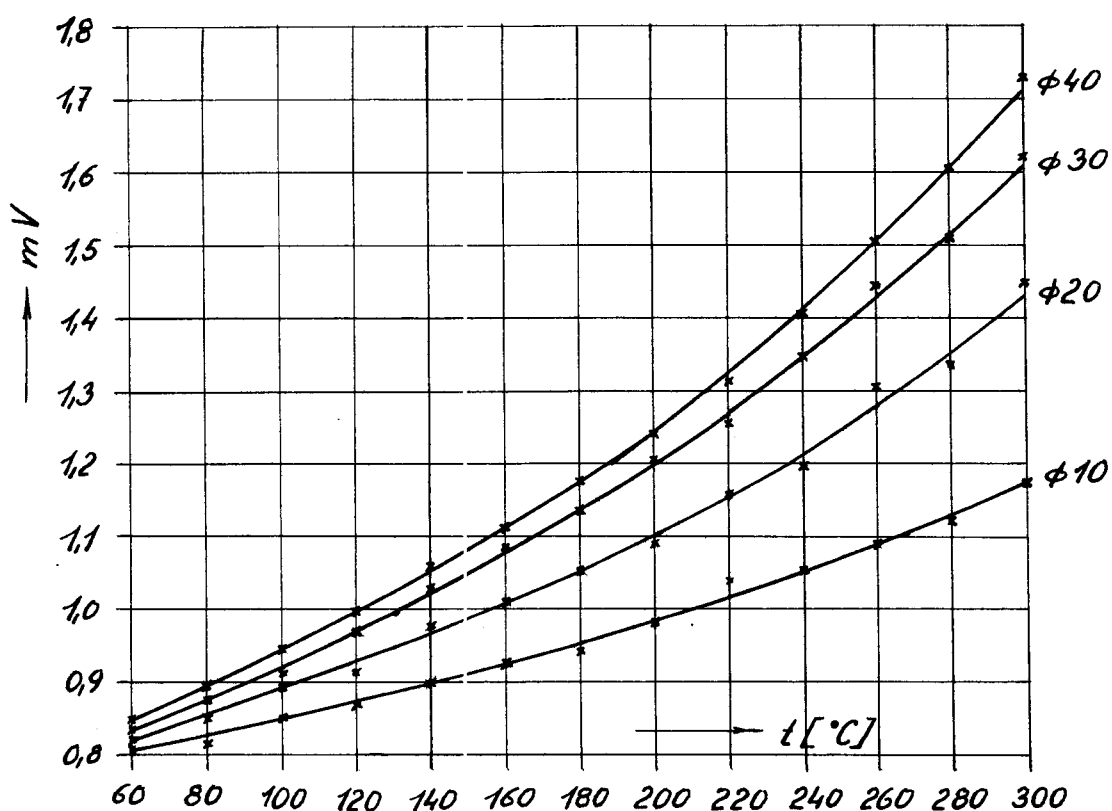


Obr. 25. Čejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 200 mm. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,807	0,818	0,832	0,848
80	0,812	0,858	0,876	0,899
100	0,859	0,897	0,916	0,944
120	0,866	0,914	0,964	0,990
140	0,900	0,987	1,028	1,059
160	0,926	1,006	1,085	1,110
180	0,939	1,050	1,132	1,177
200	0,980	1,089	1,208	1,239
220	1,042	1,162	1,258	1,314
240	1,046	1,197	1,346	1,403
260	1,093	1,307	1,442	1,507
280	1,122	1,331	1,515	1,601
300	1,168	1,450	1,624	1,730

Tabulka č.5

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 300 mm.

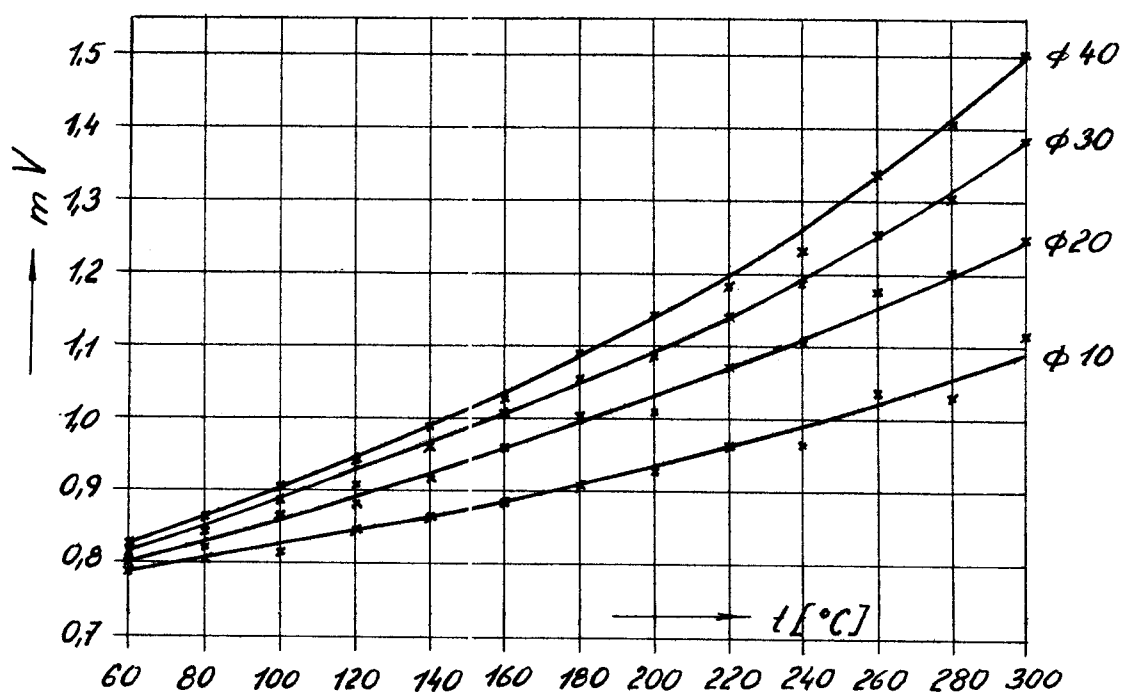


Obr. 26. Čechovné křivky termočlánekového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 300 mm. Teplota srovnávacího konce 0°C .

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,788	0,803	0,813	0,828
80	0,806	0,823	0,846	0,866
100	0,816	0,869	0,891	0,904
120	0,843	0,874	0,909	0,939
140	0,864	0,917	0,969	0,992
160	0,887	0,958	1,008	1,027
180	0,909	1,002	1,056	1,091
200	0,922	1,009	1,098	1,148
220	0,963	1,073	1,139	1,185
240	0,967	1,103	1,188	1,235
260	1,040	1,182	1,260	1,350
280	1,034	1,204	1,308	1,408
300	1,121	1,256	1,390	1,505

Tabulka č.6

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 400 mm.

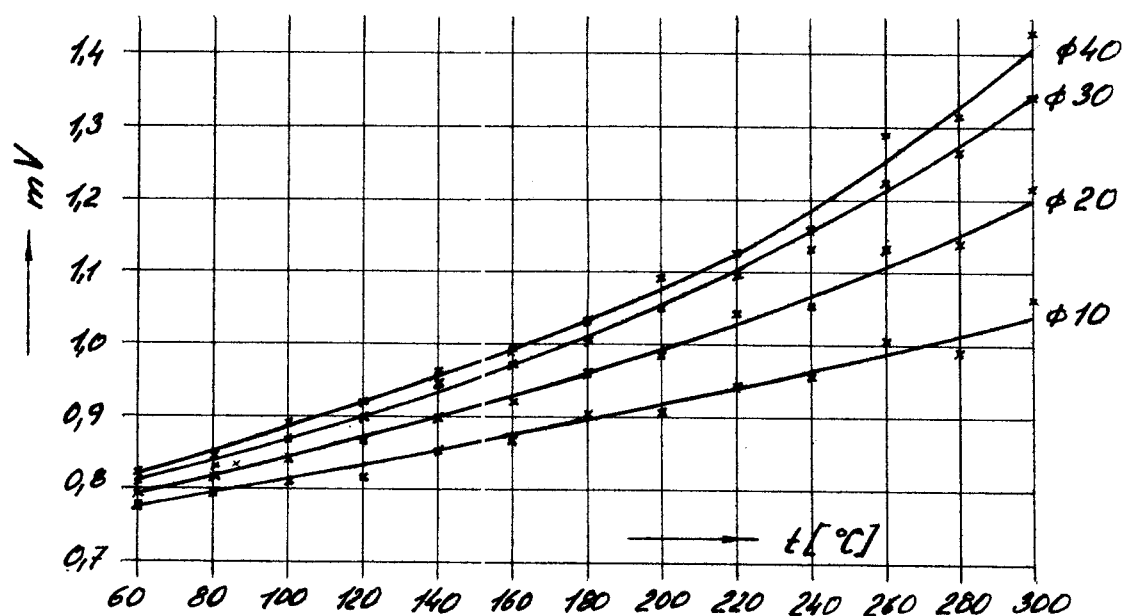


Obr. 27. Cejchovní křivky termočlánekového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 400 mm. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Teplota °C	Glona			
	10	20	30	40
60	0,774	0,793	0,812	0,819
80	0,799	0,820	0,827	0,842
100	0,811	0,852	0,876	0,890
120	0,814	0,867	0,860	0,913
140	0,854	0,900	0,949	0,968
160	0,867	0,922	0,974	0,997
180	0,904	0,964	1,007	1,030
200	0,907	0,985	1,048	1,094
220	0,942	1,042	1,098	1,122
240	0,956	1,050	1,130	1,155
260	1,005	1,130	1,224	1,290
280	1,018	1,140	1,267	1,314
300	1,060	1,216	1,355	1,433

Tabulka č.7

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 500 mm.

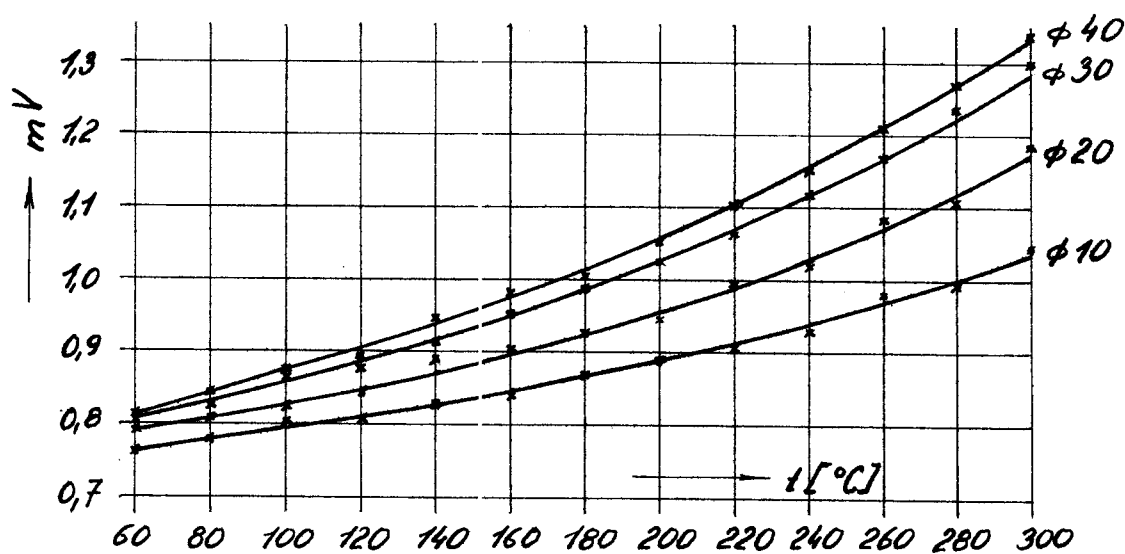


Obr. 28. Čechovné křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 500 mm. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,766	0,791	0,807	0,810
80	0,782	0,798	0,829	0,839
100	0,806	0,836	0,864	0,874
120	0,810	0,841	0,873	0,890
140	0,831	0,888	0,917	0,948
160	0,840	0,902	0,952	0,980
180	0,869	0,925	0,984	1,004
200	0,887	0,940	1,022	1,049
220	0,905	0,996	1,065	1,108
240	0,931	1,017	1,118	1,148
260	0,987	1,083	1,171	1,209
280	0,994	1,104	1,238	1,258
300	1,048	1,187	1,300	1,340

Tabulka č.8

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 600 mm.

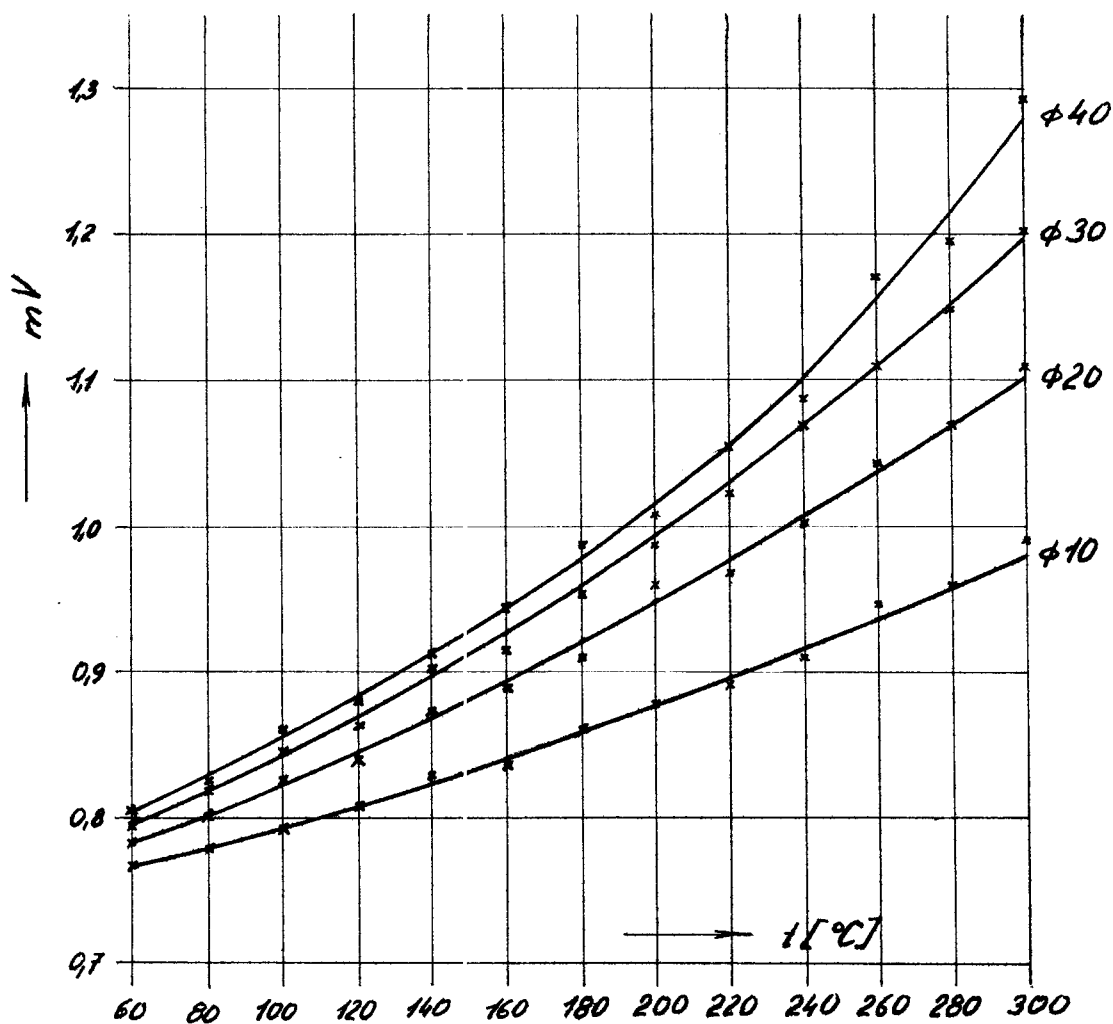


Obr. 29. Čejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 600 mm. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,765	0,782	0,797	0,801
80	0,784	0,803	0,812	0,822
100	0,788	0,825	0,842	0,856
120	0,809	0,839	0,861	0,877
140	0,829	0,873	0,901	0,914
160	0,834	0,888	0,914	0,945
180	0,866	0,908	0,956	0,989
200	0,874	0,961	0,984	1,007
220	0,891	0,968	1,028	1,053
240	0,911	1,003	1,067	1,086
260	0,948	1,043	1,112	1,170
280	0,963	1,069	1,149	1,196
300	0,992	1,111	1,201	1,294

Tabulka č.9

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 700 mm.

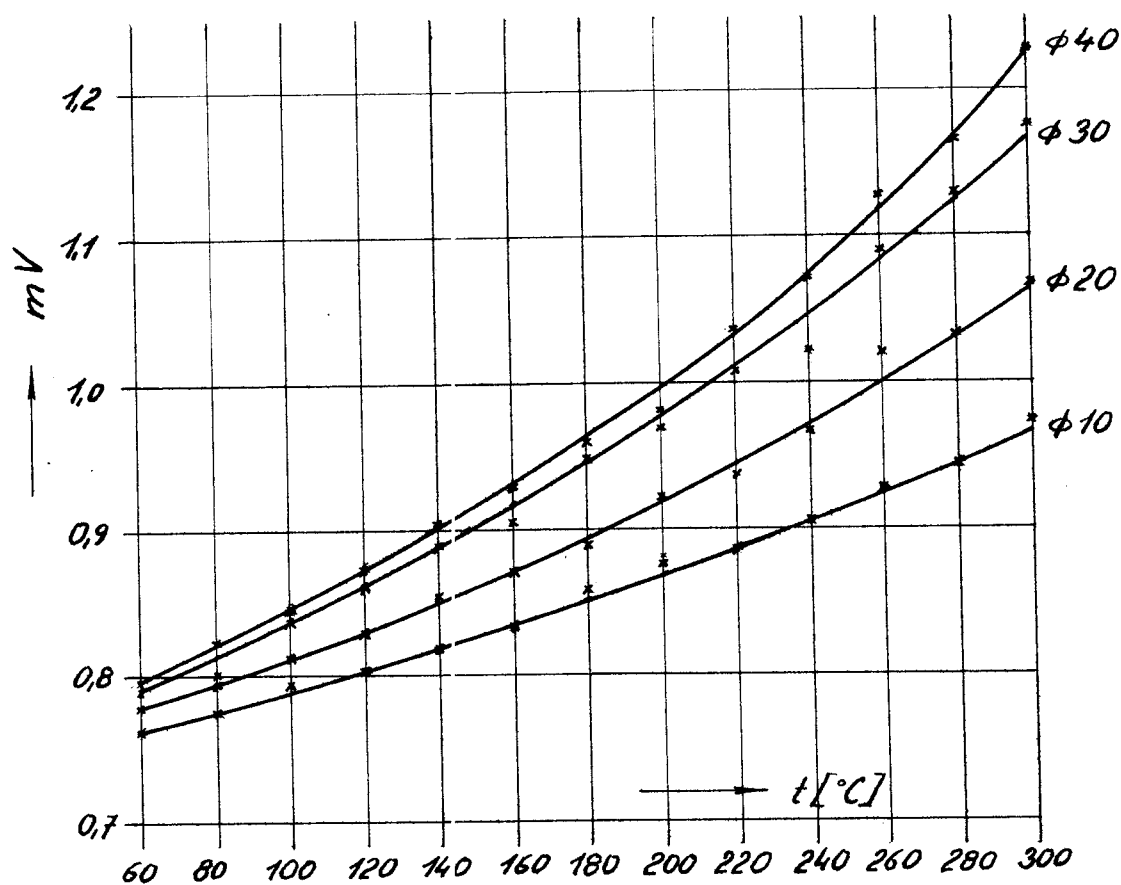


Obr. 30. Ejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 700 mm. Teplota srovnávacího konce 0°C .

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,763	0,781	0,794	0,797
80	0,775	0,794	0,800	0,825
100	0,794	0,814	0,844	0,861
120	0,806	0,828	0,858	0,872
140	0,821	0,857	0,891	0,904
160	0,830	0,874	0,906	0,928
180	0,862	0,887	0,949	0,960
200	0,877	0,923	0,969	0,986
220	0,884	0,937	1,010	1,038
240	0,904	0,968	1,023	1,082
260	0,929	1,021	1,092	1,128
280	0,944	1,034	1,130	1,166
300	0,975	1,068	1,176	1,225

Tabulka č.10

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívající desku. Vzdálenost: 800 mm.

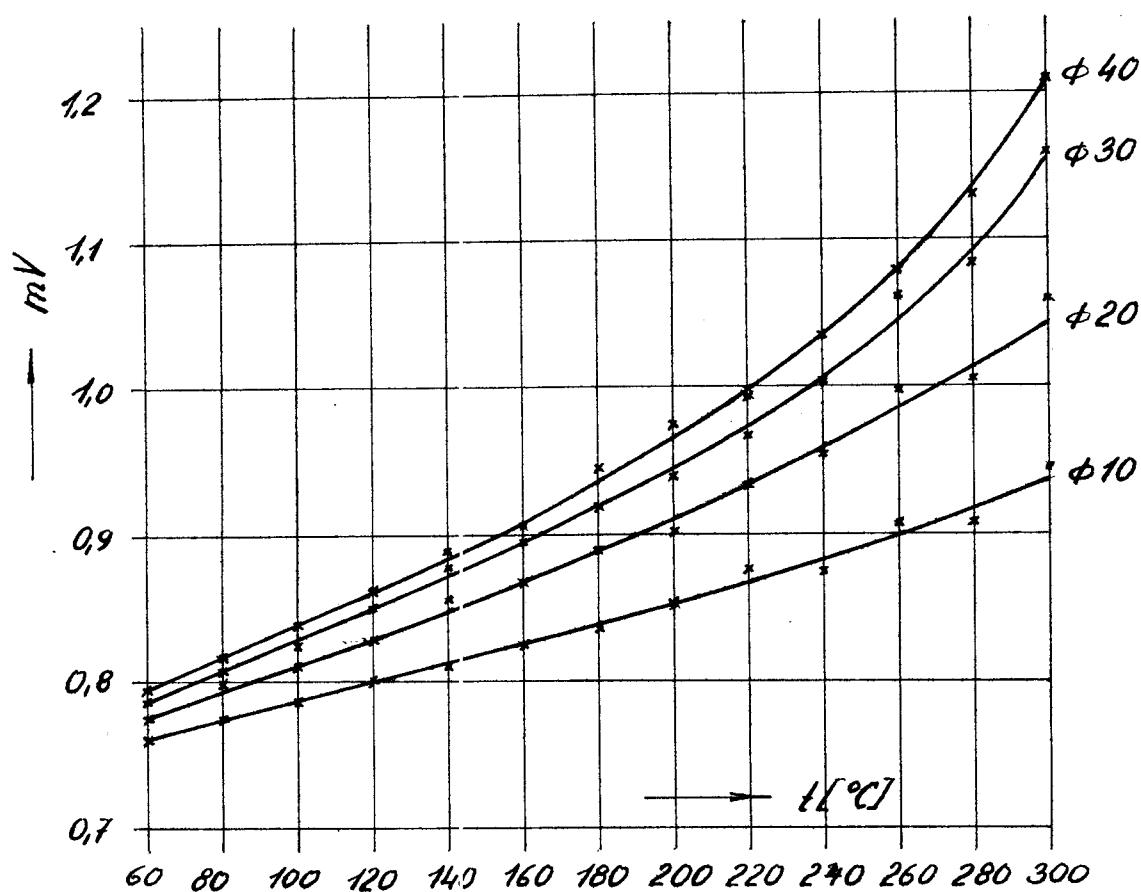


Obr. 31. Čejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 800 mm. Teplota srovnávacího konce 0°C .

Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,762	0,776	0,789	0,792
80	0,778	0,800	0,809	0,814
100	0,785	0,813	0,826	0,837
120	0,804	0,828	0,826	0,836
140	0,819	0,859	0,881	0,888
160	0,826	0,865	0,896	0,904
180	0,836	0,892	0,918	0,947
200	0,852	0,899	0,940	0,974
220	0,878	0,936	0,967	0,992
240	0,874	0,956	1,004	1,036
260	0,908	0,998	1,064	1,081
280	0,910	1,003	1,085	1,127
300	0,941	1,065	1,164	1,207

Tabulka č.11

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhříva-
nou desku. Vzdálenost 900 mm.

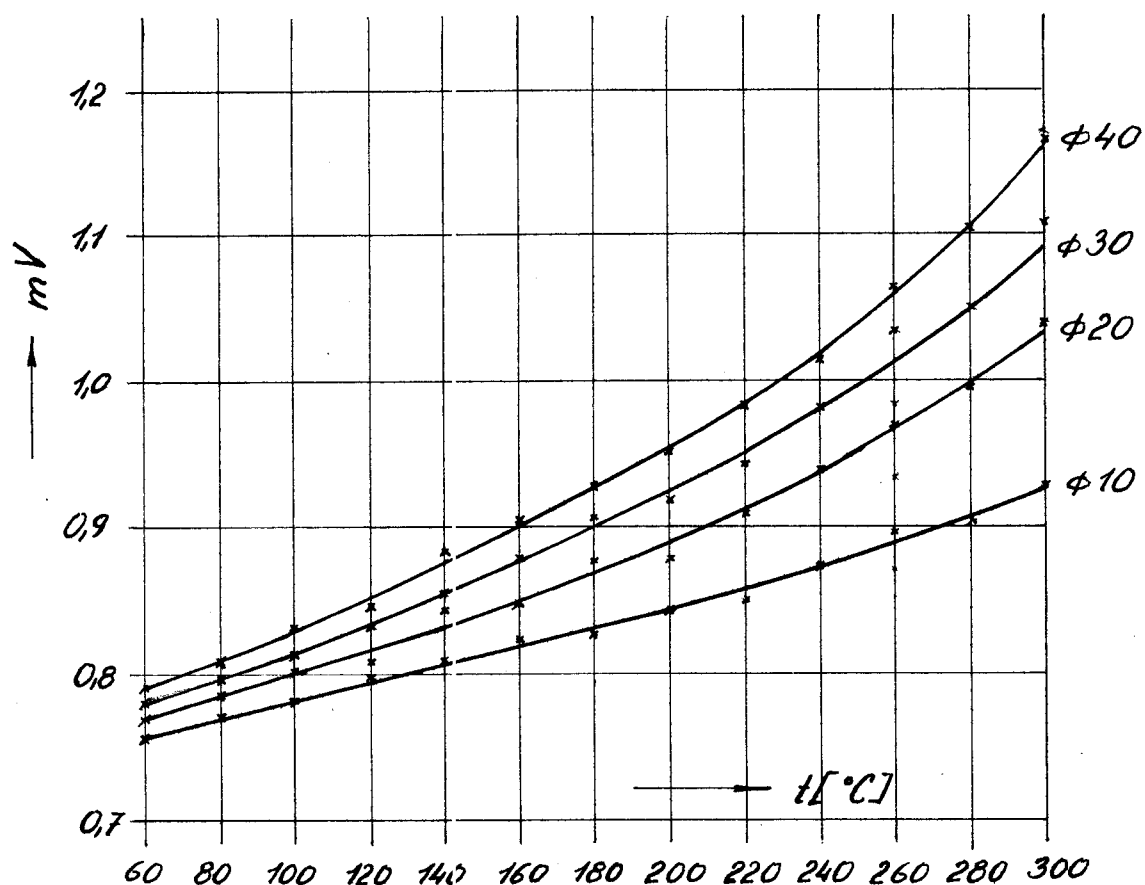


Obr. 32. Čechovrší křivky termočlánkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 900 mm. Teplota srovnávacího konce 0°C .

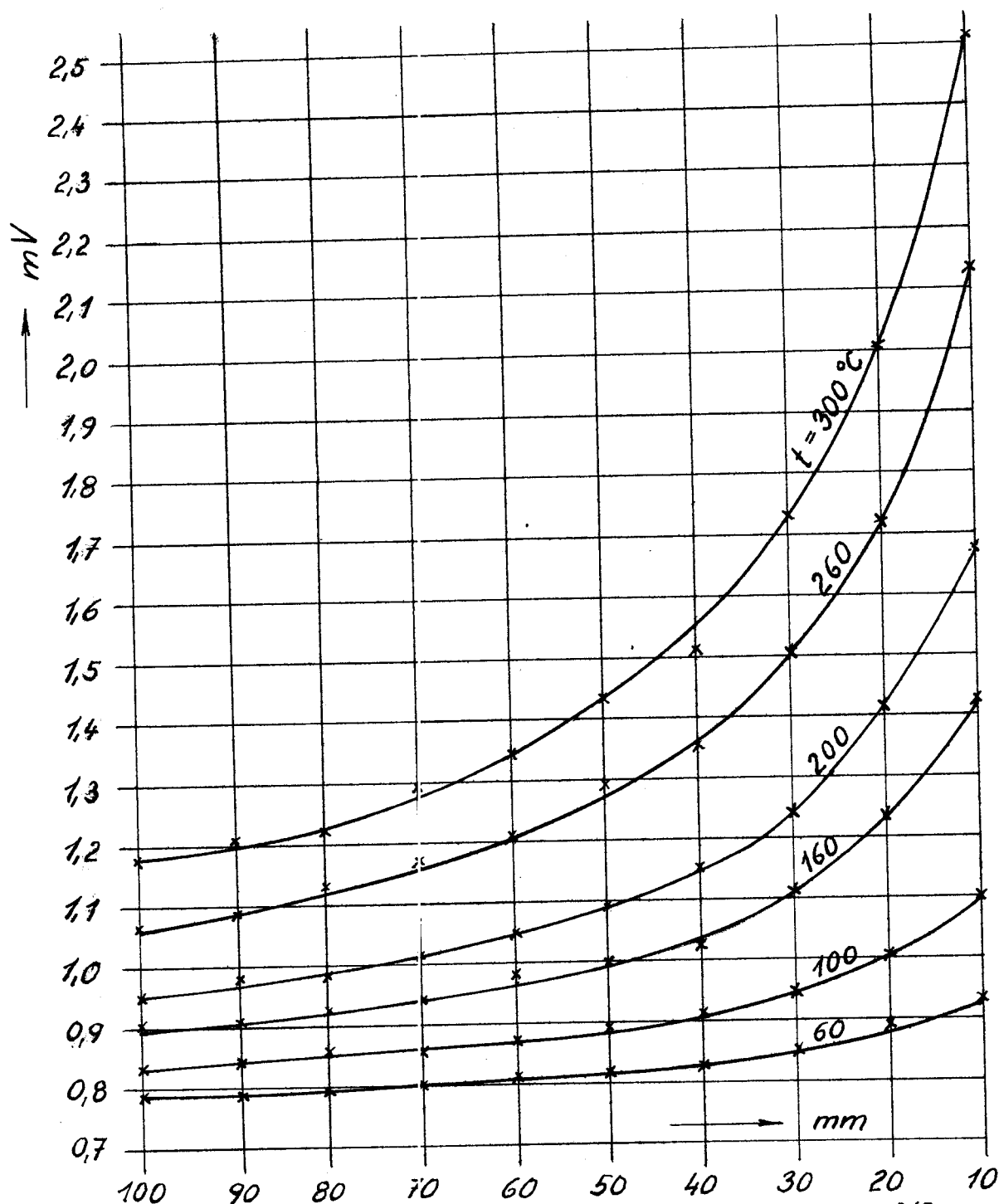
Teplota °C	Clona			
	10	20	30	40
60	0,759	0,772	0,786	0,791
80	0,771	0,786	0,798	0,808
100	0,783	0,804	0,814	0,833
120	0,799	0,809	0,832	0,845
140	0,809	0,840	0,853	0,881
160	0,824	0,849	0,879	0,905
180	0,827	0,877	0,907	0,927
200	0,845	0,880	0,920	0,951
220	0,849	0,908	0,942	0,983
240	0,872	0,934	0,983	1,014
260	0,898	0,970	1,036	1,065
280	0,904	0,995	1,051	1,105
300	0,929	1,042	1,113	1,164

Tabulka č.12

Naměřené hodnoty v mV při cejchování na vyhřívanou desku. Vzdálenost 1000 mm.



Obr. 33. Čejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku při vzdálenosti 1000mm. Teplota srovnávacího konce 0°C .



Obr. 34. Graf závislosti naměřených hodnot na vzdálenosti. Teplota srovnávacího konce 0 °C.

Z á v ě r .

V této práci bylo podáno konstrukční řešení černého tělesa, které slouží jakožto zdroj přesně definovaného množství vyzařované energie v závislosti na teplotě. Tím bylo získáno zařízení pro cejchování tepelných přijímačů, jejichž přijímací terčík nepřesáhne průměru 10 mm, což je naprostá většina přijímačů používaných pro bezdotykové měření teploty.

Dále bylo podáno konstrukční řešení jednoduchého termočláňkového přijímače záření, jehož cejchovní křivky při cejchování na černé těleso a na vyhřívanou desku.

Cejchovní křivka získaná při cejchování na černé těleso slouží k porovnání s cejchovnicími křivkami jiných detektorů při stejných podmínkách měření.

Cejchování přístroje na vyhřívanou desku bylo provedeno z důvodů zjištění citlivosti přístroje při různých vzdálenostech a clonách od vyhřívané desky. Jak je patrné z cejchovních křivek, je velkou výhodou tohoto přístroje, že není zapotřebí zesilovacího členu a že výstupní signál

i pro nejmenší clonu a největší vzdálenost je dosti velký, aby mohl být tento přístroj přímo zapojen na samočinný kompenzátor.

Při praktickém použití bude vždy nutné tento přístroj oceňchovat na měřený předmět v závislosti na vzdálenosti.

P ř e h l e d d ů l e ž i t ý c h o z n a č e n í .

λ	vlnová délka	$[\mu]$
α	poměrná pohltivost záření $0 < \alpha < 1$	
H_e	intenzita vyzařování	$[W m^{-2}]$
H	monochromatické vyzařování	$[W m^{-3}]$
c_1	první konstanta Planckova zákona $c_1 = 3,7413 \pm 0,0002 \cdot 10^{-16}$	$[W m^2]$
c_2	druhá konstanta Planckova zákona $c_2 = 1,43880 \pm 0,00007 \cdot 10^{-2}$	$[m \text{ } ^\circ K]$
T	absolutní teplota	$[^\circ K]$
b	konstanta $b = 2,89782 \cdot 10^{-3}$	$[m \text{ } ^\circ K]$
	Stefan - Boltzmanova konstanta $= 5,6687 \pm 0,001 \cdot 10^{-8}$	$[W m^{-2} \text{ } ^\circ K^{-4}]$
ϵ_r	poměrná sálavost	
C	tepelná kapacita	$[J \text{ } ^\circ K^{-1}]$
ϕ	zářivý tok	$[W]$
J	intenzita monochromatického záření	$[W m^{-3}]$
U	napětí	$[V]$
α_A, α_B	součinitelé termoelektrického napětí	$[mV \text{ } ^\circ C^{-1}]$

S e z n a m p o u ž í t é l i t e r a t u r y .

- 1 Materiály VÚ zušlechťovacího, Dvůr
Králové, transmisní spektra celofánu
neobarveného a obarveného.
- 2 Materiály ČSAV, Ústav pro výzkum stro-
jů, zpráva č. 76/59.
- 3 Inž. A. Vaško: Infračervené záření
a jeho užití, SNTL Praha 1963.
- 4 Z. Horák - F. Krupka - V. Šindelář:
Technická fyzika, SNTL Praha 1960.
- 5 Gröber /Erk/ Grigull: Grundgesetze der
Wärmeübertragung, Springer - Verlag
Berlin 1955.
- 6 Inž. L. Mikyška: Termoelektrické články,
SNTL Praha 1964.
- 7 Inž. M. Kyncl C.Sc.: Bezdotykové měření
teplot textilních tkanin, závěrečná
zpráva fakultního úkolu LF - 1
Liberec 1965.

S e z n a m o b r á z k ů

Čís. obr.	Název
1	Závislost intenzity záření J na vlnové délce
2	Realizace absolutně černého tělesa
3	Černé těleso
4	Transmisní křivka neobarveného celofánu
5	Transmisní křivka obarveného celofánu gibanonschwarz F2B
6	Transmisní křivka obarveného celofánu sulfogenovou černí BWLE EXTRA
7	Transmisní křivka obarveného celofánu anilinovou černí
8	Schema zapojení bolometru
9	Termistorový bolometr v můstkovém zapojení
10	Golayův pneumatický detektor
11	Rozdělení relativní spektrální citlivosti na vlnové délce
12	Odporový fotoelektrický článek PbS fy. British Thomson - Houston
13	Termoelektrický článek
14	Termoelektrické napětí hlavních termoelektrických článků v závislosti na teplotě měrného konce
15	Termoelektrický článek v uspořádání pro měření teplot
16	Vakuový termoelektrický článek

Čís.obr.	Název
17	Spektrální odrazivost některých kovů v infračerveném oboru
18	Umístění termoelektrického článku
19	Termoelektrický přijímač záření
20	Cejchovní křivka PtRh - Pt
21	Cejchování přístroje na černé těleso
22	Cejchovní křivka termočláňkového přijímače záření na černé těleso
23	Cejchování přístroje na vyhřívanou desku Cejchovní křivky termočláňkového přijímače záření na vyhřívanou desku :
24	při vzdálenosti 100 mm
25	při vzdálenosti 200 mm
26	při vzdálenosti 300 mm
27	při vzdálenosti 400 mm
28	při vzdálenosti 500 mm
29	při vzdálenosti 600 mm
30	při vzdálenosti 700 mm
31	při vzdálenosti 800 mm
32	při vzdálenosti 900 mm
33	při vzdálenosti 1000 mm
34	Graf závislosti naměřených hodnot na vzdálenosti

S e z n a m t a b u l e k

Čís.tab.

Název

1 Přehled detektorů

2 Naměřené hodnoty v mV při cejchování na
černém těleseNaměřené hodnoty v mV při cejchování
na vyhřívanou desku:

3 Vzdálenost 100 mm

4 Vzdálenost 200 mm

5 Vzdálenost 300 mm

6 Vzdálenost 400 mm

7 Vzdálenost 500 mm

8 Vzdálenost 600 mm

9 Vzdálenost 700 mm

10 Vzdálenost 800 mm

11 Vzdálenost 900 mm

12 Vzdálenost 1000 mm

S e z n a m p ř í l o h .

Čís. výkresu	Název
1C 000	Černé těleso
1C 001	Stojan
3C 004	Čelo pření
3C 005	Čelo zadní
3C 006	Přidržovač
4C 028	Svorník
4C 029	Svorník
4C 030	Zářič
4C 031	Zářič
4C 032	Distanční trubka
4C 033	Clona
4C 034	Distanční trubka
4C 035	Clona
4C 036	Pouzdro
4C 037	Clona
4C 038	Uzávěr
4C 039	Clona
3B 007	Přijímač záření
3B 008	Pouzdro
3B 009	Paraboloid
4B 040	Víko

VŠST
LIBEREC

Bezdotykové měření teploty.

DP Str. 71

5. LISTOPADU 1966

Richter Gerd

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně.

Richter Gerd
.....
Richter Gerd

O b s a h .

	Str.
1.0 Úvod	1
2.0 Vznik infračerveného záření a jeho zdroje	3
3.0 Fyzikální podstata měření teploty infračerveného záření	5
4.0 Černé těleso	10
4.1 Všeobecné směrnice pro konstrukci	11
4.2 Vlastní konstrukce černého tělesa	12
5.0 Přehled detektorů záření	16
5.1 Bolometr kovový	17
5.2 Bolometr polovodičový	19
5.3 Golayův pneumatický detektor	20
5.4 Fotoodpory	22
5.5 Termoelektrické články všeobecně	23
5.5.1 Termoelektrické články pro měření teplot	25
5.5.2 Zhotovení měrného konce	27
5.6 Termoelektrické články pro měření záření	28
6.0 Tepelně dynamický problém	29
7.0 Konstrukce jednostupňového termoelektrického přijímače záření	32
7.1 Cejchování přístroje na černé těleso	35
7.2 Cejchování přístroje na vyhřívanou desku	40

	Str.
Závěr	63
Přehled důležitých označení	65
Seznam použité literatury	66
Seznam obrázků	67
Seznam tabulek	69
Seznam příloh	70

7

8

9

1

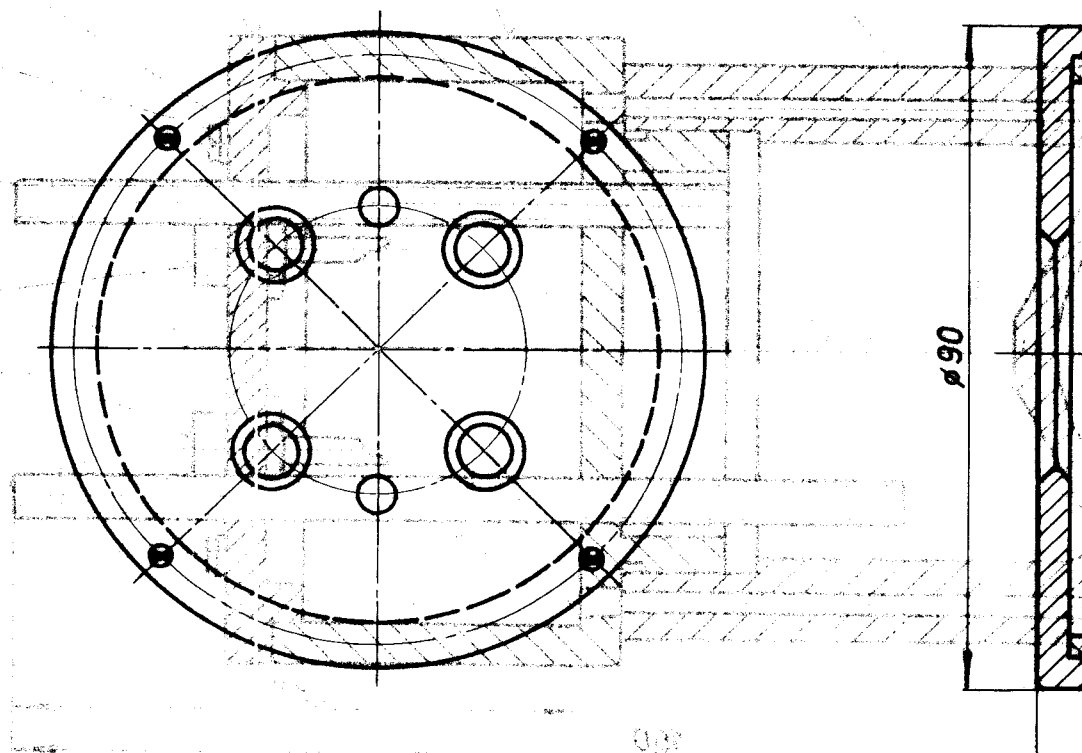
4

8

5

2

6



48 038

48 038

38 008

38 008

48 038

48 038

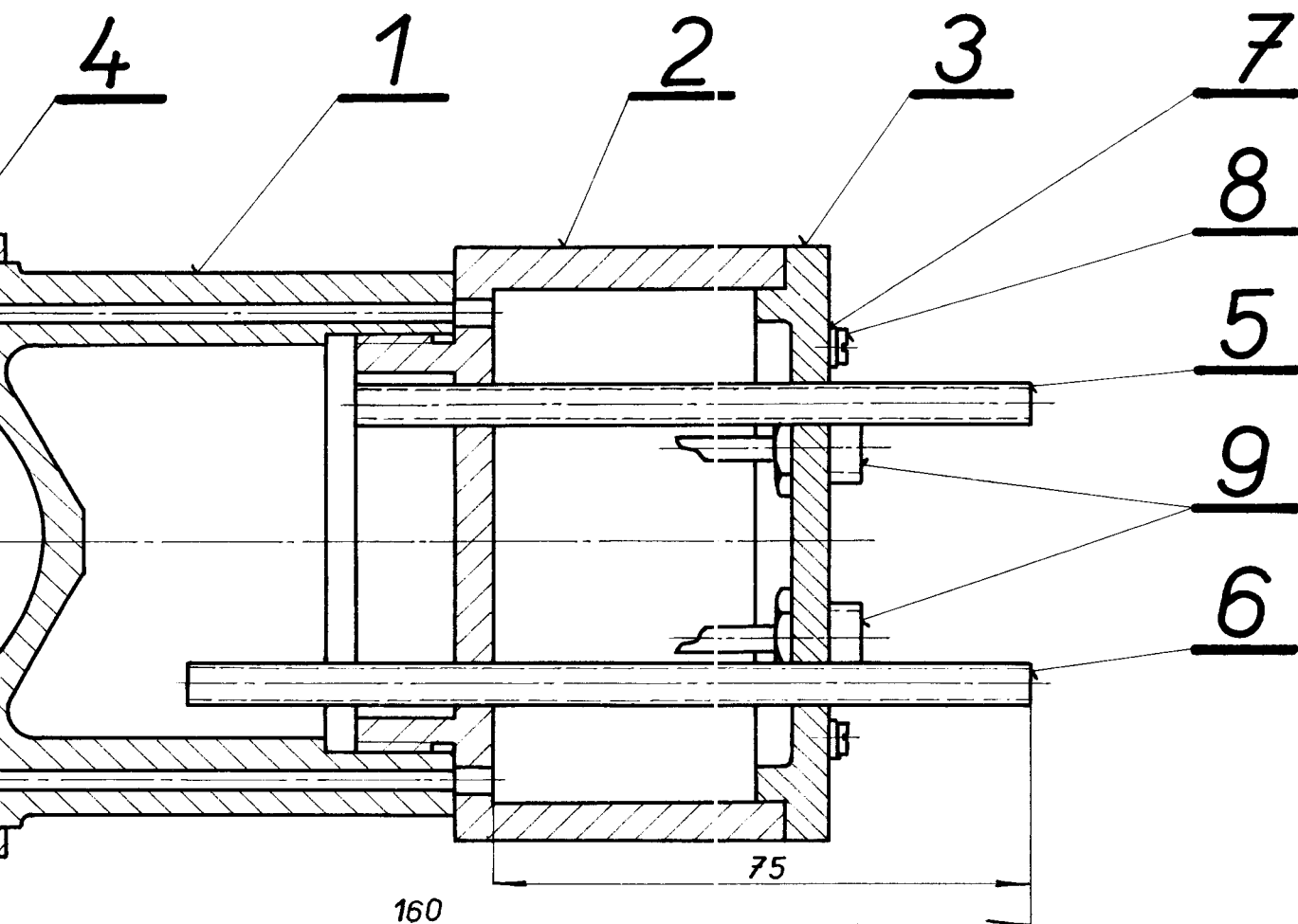
38 008

38 008

3B 007

PRILIMAC
ZAREVI

Y 221
LIBREC

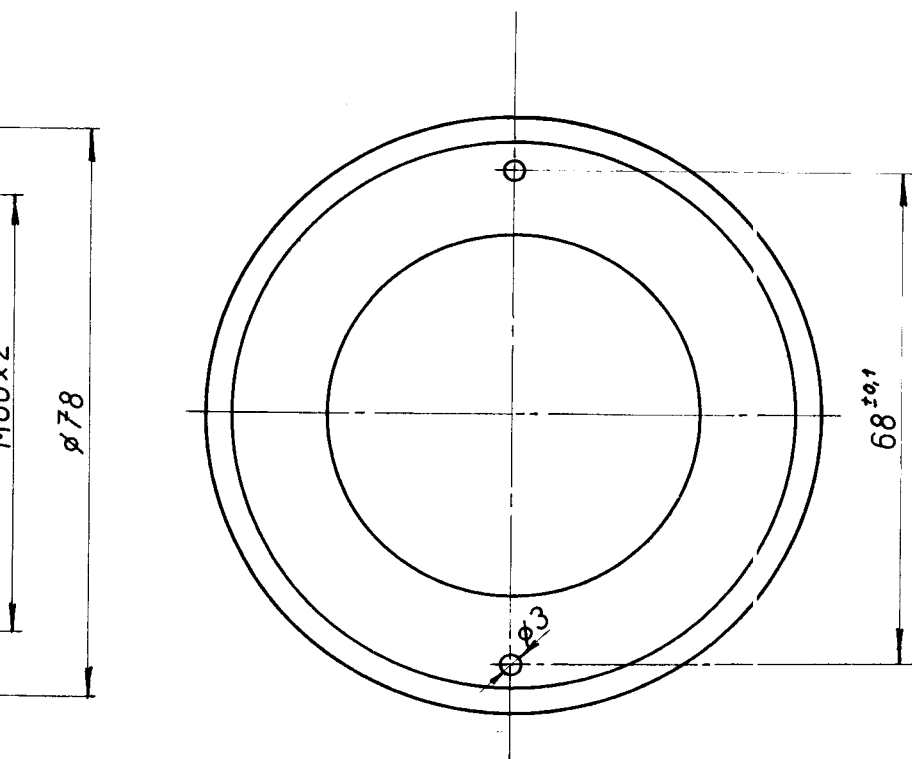


4	ZDÍRKA	ČSN							9
8	ŠROUB M3x10	ČSN 021131							8
4	PODLOŽKA 32	ČSN 021701							7
1	TRUBKA Ø6x1x120	ČSN 428712	42 3200						6
1	TRUBKA Ø6x1x95	ČSN 428712	42 3200						5
1	GLONA Ø90x18	ČSN						4B 039	4
1	VÍKO Ø90x12	ČSN 425310	11 340		1		06	4B 038	3
1	POUZDRO Ø90x62	ČSN 428511	42 3222				3,35	3B 008	2
1	PARABOLOID Ø90x77	ČSN 428511	42 3222				4,2	3B 009	1

Pos.	Číslo výkresu	Hr.váha	Č.váha	Třída Odp.	Mat. výchozí	Mat. konečný	Polotovary	Název - Rozměr	Podpis
------	---------------	---------	--------	------------	--------------	--------------	------------	----------------	--------

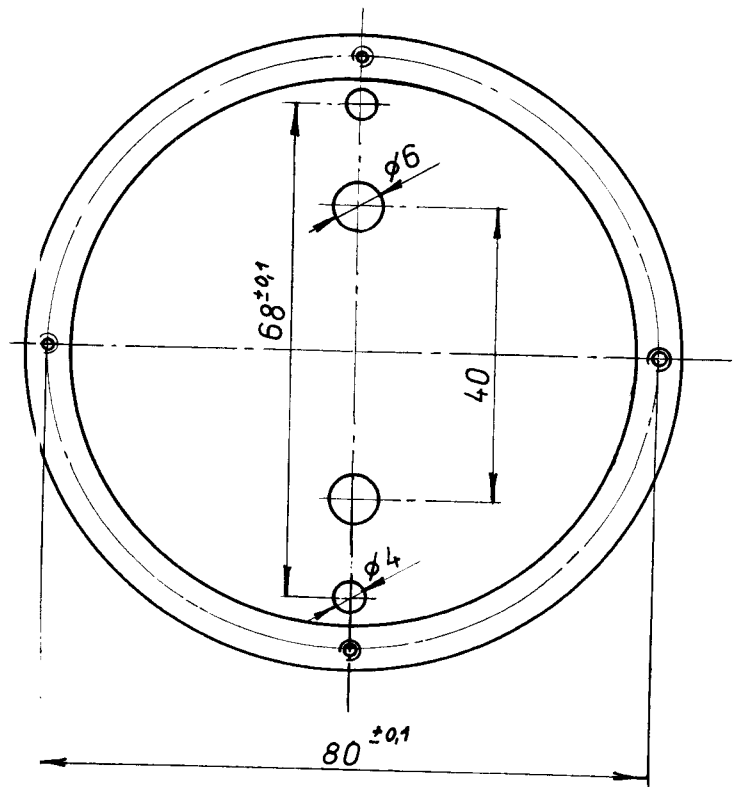
Celková č. váha kg				Změna						Datum		Podpis		Index změny	

VŠST LIBEREC		Typ B Název		Skupina		Starý výkres		Nový výkres	
		PŘÍJMAČ ZARENÍ							
								3B 007	
								Počet listů	
								List	

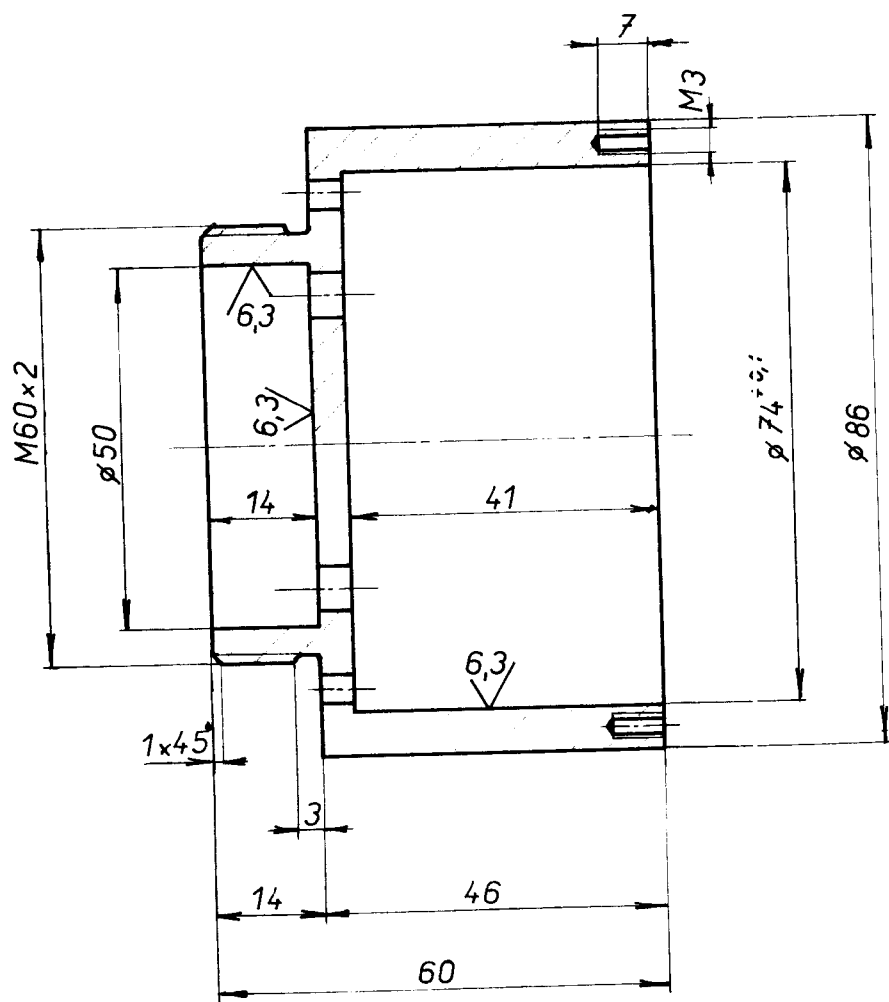


———— ZLACENO

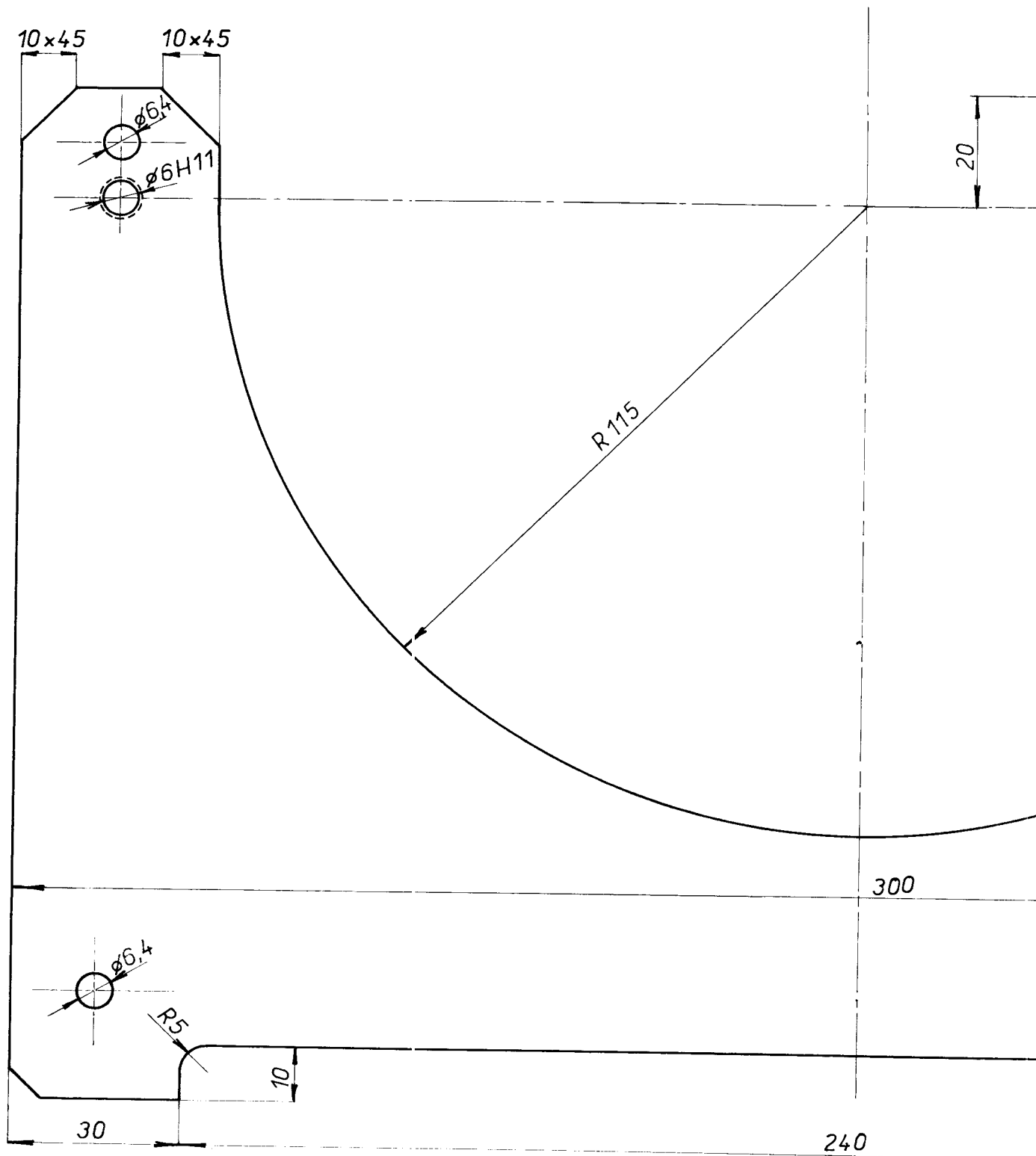
1	TYČ Ø90x77	ČSN 428511	42 3222				4,2	3B 007	1
Posled. číslo	Stupeň - Rozměr	Podstavka	Mat. končiny	Mat. výchozí	Tržba Cena	Č. váha	H.váha	Číslo výkresu	Pos.
Podpis				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil <i>G. Křiváček</i>		Č. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Projekční								
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						
		Eng							
Typ B		Skupina		Stav v kres		Nový výkres			
Název		PARABOLOID		3B 009					
VŠST LIBEREC				Počet listů					
				List					



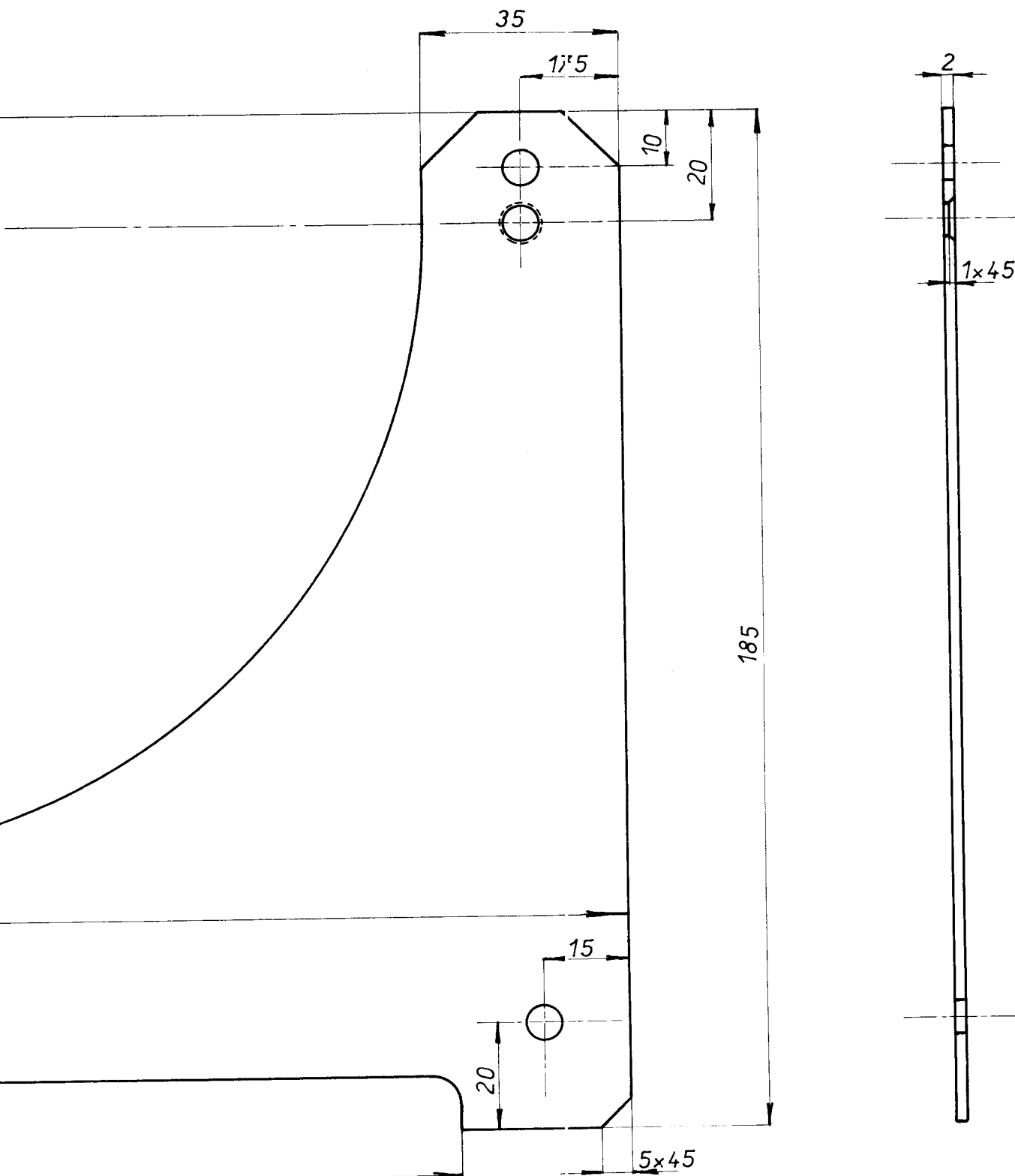
3,2/ (6,3/)



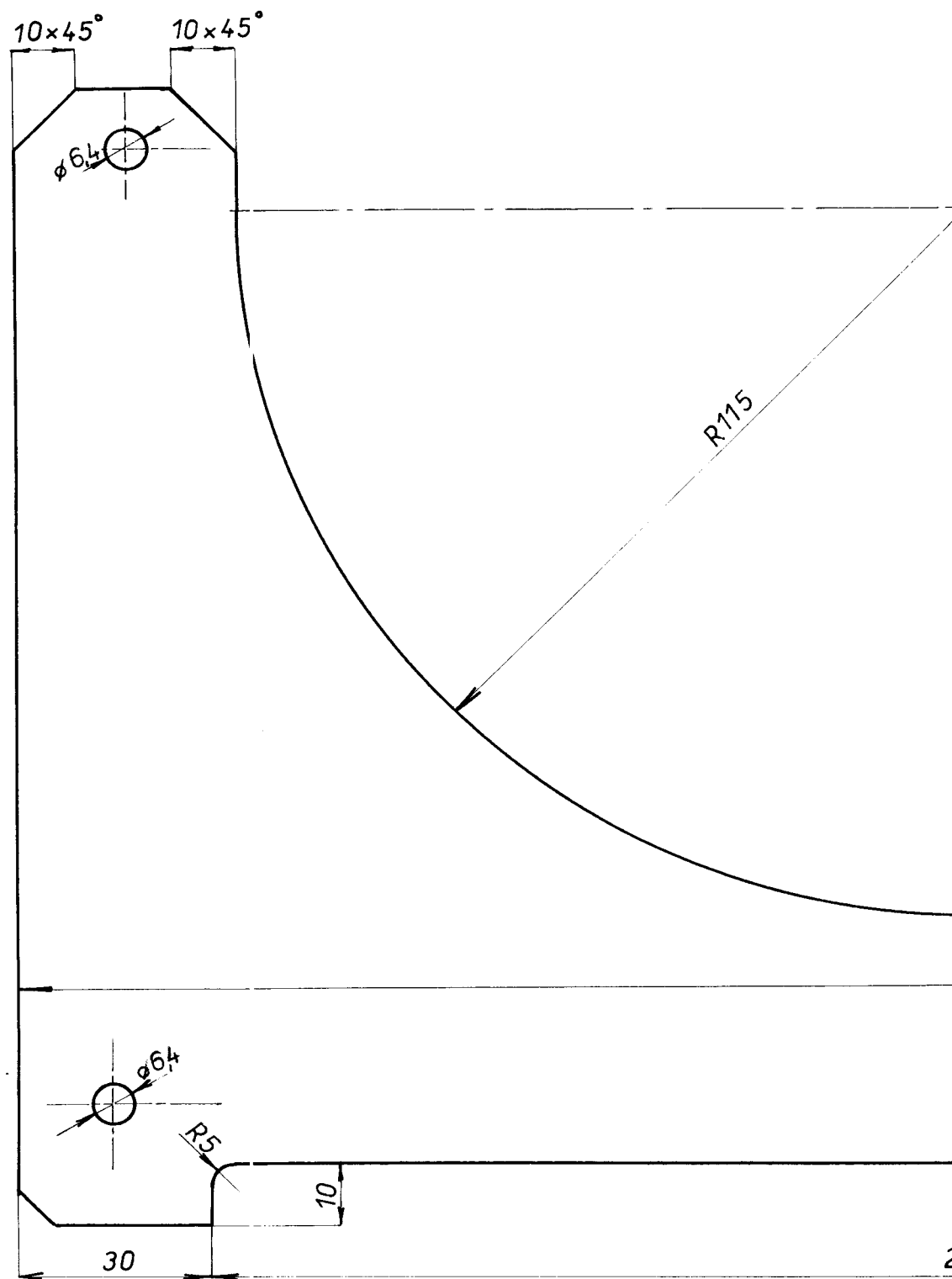
1	TYČ Ø90x62	ČSN 428511	42 3222			3,35	3B 007	2
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	Tržba Odu.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu
Poznámka				Celková č. váha kg				
Měřítko	Kreslil	<i>J. Křiváček</i>	Čís. sním.	Změna		Datum	Podpis	Index změny
1:1	Prozkoušel		Č. transp.					
	Norm. ref.							
	Výr. předn.	Schválil						
		Dne						
Typ B		Skupina		Starý výkres		Nový výkres		
VŠST LIBEREC		Název		3B 008				
		POUZDRO		Počet listů				
				List				

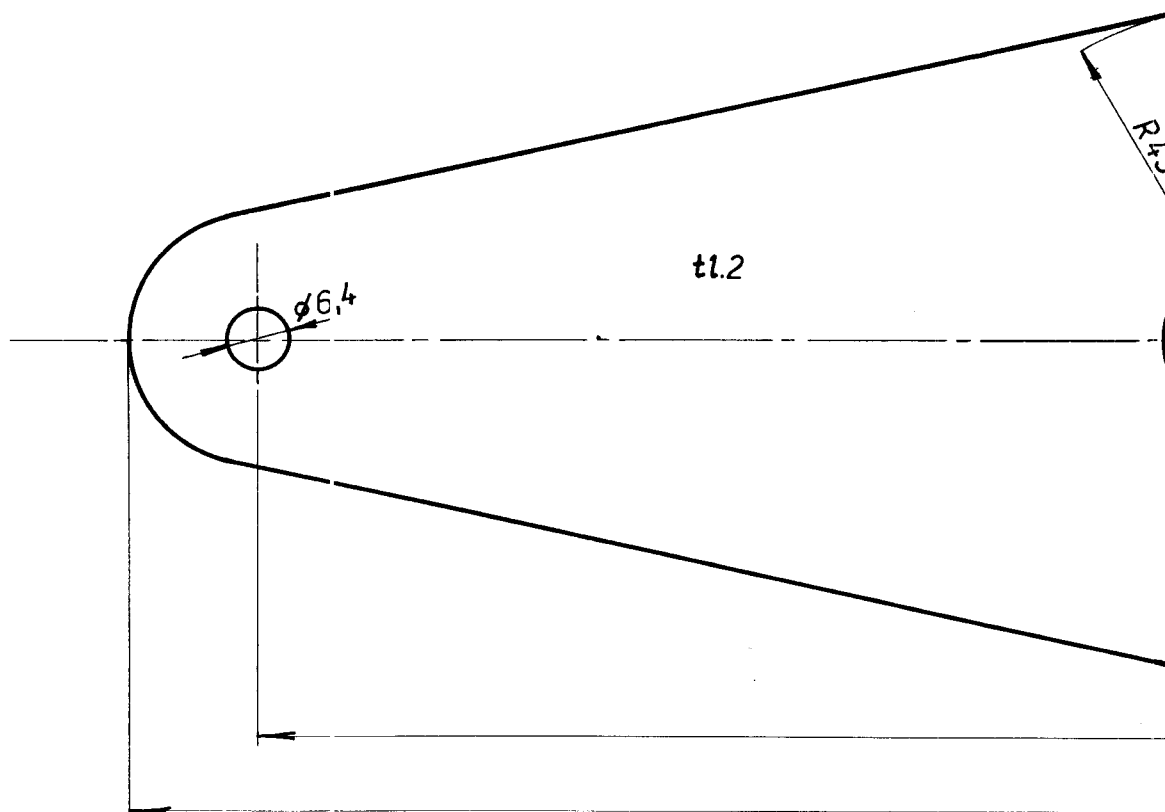


63

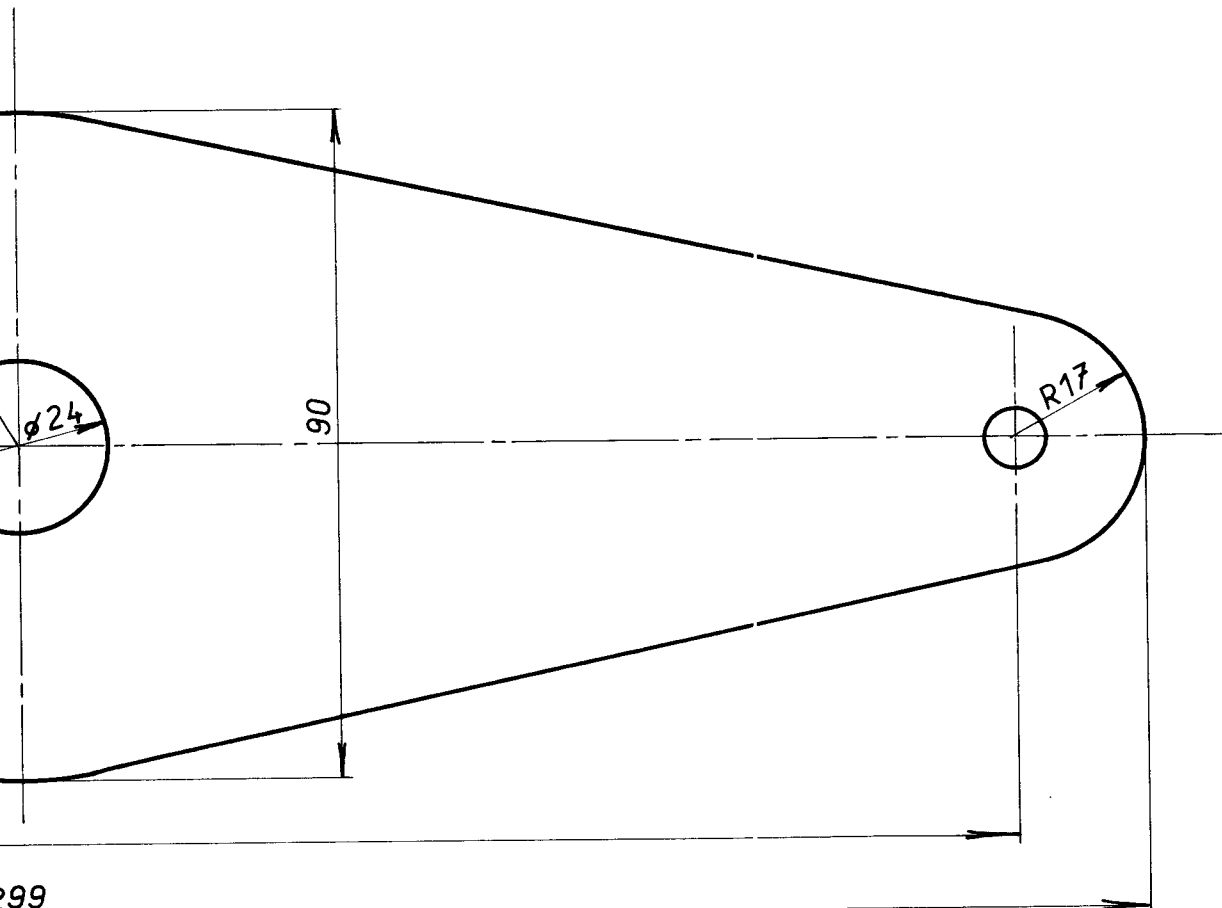


1	PLEC 305x190x2	ČSN 42 5301	10 340	1	0,925	1C 001	1		
Číslo kresla	Název - Rozměr	Podstavce	Mat. konečný	Mat. výchozí	Hlída Odp.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko 1:1	Kreslil	<i>G. Růžek</i>	Čs. sním.	Změna		Datum	Podpis	Index zří- něny	x x x x x
	Přezkoušel		Č. transp.						
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Dne						
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
ČELO PŘEDNÍ		3C 004		Počet listů		List			

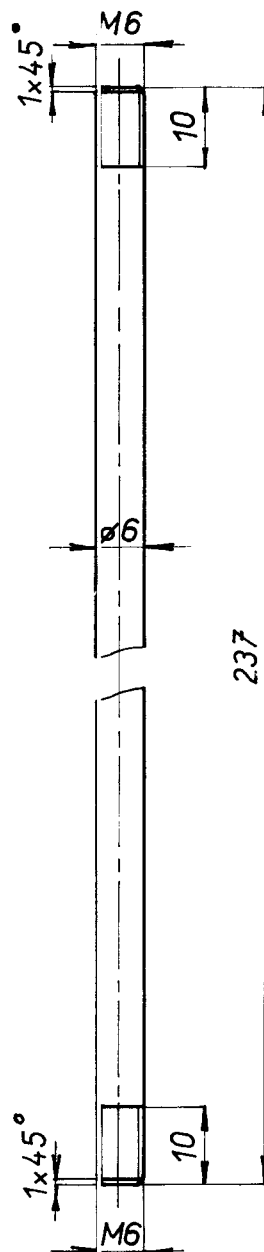




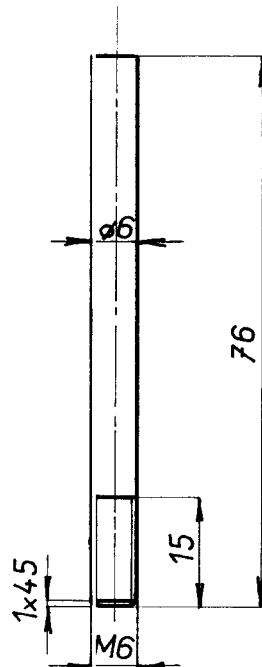
6,3/



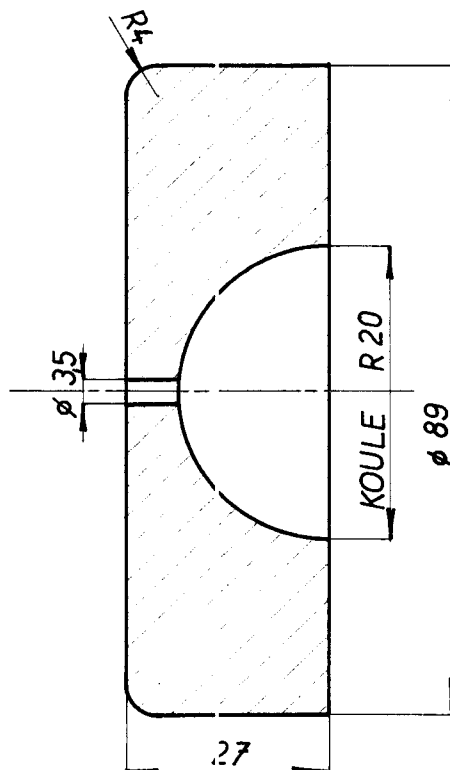
1	PLECH 305x95x2	ČSN 42 5301	10 340		1		0 453	1C 000	13
Počet kusů	Název - Rozměr	Podtovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	Množ. (Dop.)	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<i>J. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum		
1:1	Přezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. předn.	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Název	Skupina	Starý výkres		Nový výkres		
		PŘIDRŽOVAČ			3C006				
		Počet listů					List		



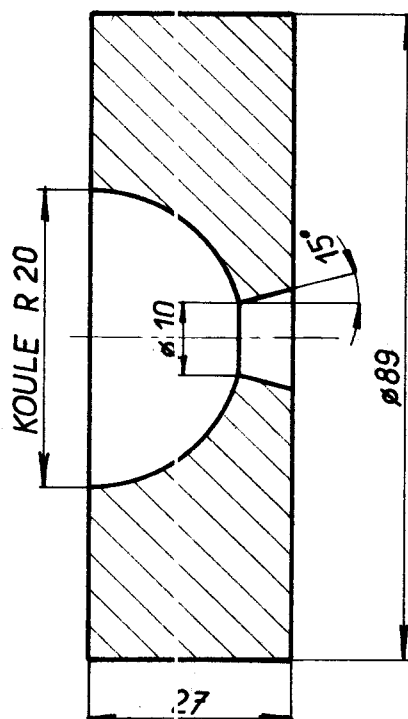
4	TYČ Ø6x240	11N42 6510	11341		1		0053	4C 028	4	
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Tit. Odp.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.	
Poznámka				Celková č. váha kg						
Měřítka	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny	x
1:1	Přezkoušel									x
	Norm. ref.									x
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.							x
		Dne							x	
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres				
		Název		4C 028			List			
		SVORNÍK		Počet listů						



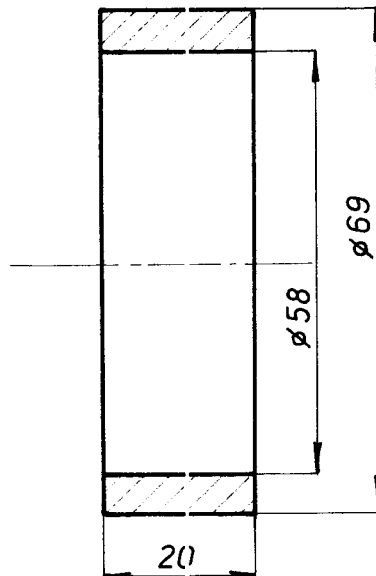
2	TYČ Ø6x78	IIN 42 6510	11341		1		0017	1C029	5	
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odb.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.	
Poznámka				Celková h. váha kg						
Měřítko 1:1	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změno			Datum	Podpis	Index změny	x
	Prozkoušel									x
	Norm. ref.									x
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.							x
		Dne							x	
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres				
		Název	SVORNÍK		4C029					
				Počet listů						list



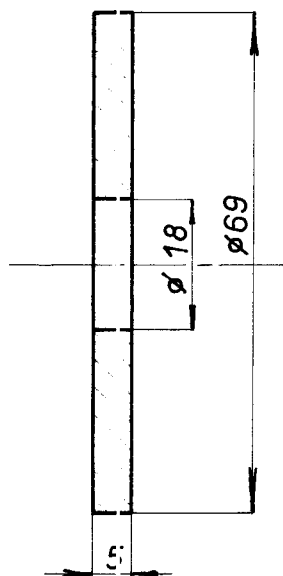
1	ZÁŘIČ		72 6109					1C 000	3
Počet kusů	Název - Rozměr	Podotovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odr.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Přezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Název		ZÁŘIČ			4C 030				
Počet listů				List					



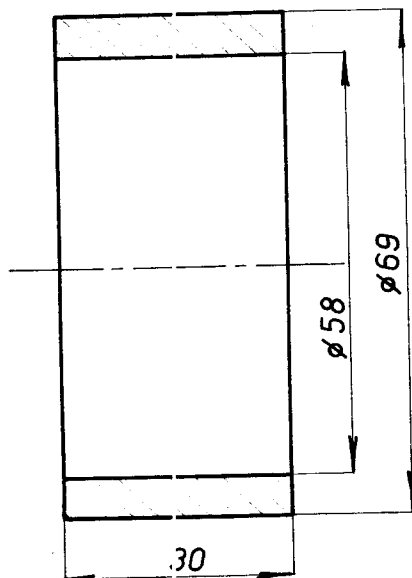
1	ZÁŘIČ		72 6109					1C 000	4	
Počet kusů	Název - Rozměr	Podstavec	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.	
Poznámka			Celková č. váha kg							
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum			Index změn
1:1	Přezkoušel		Č. transp.							
	Norm. ref.									
	Výr. projedn.	Schválil								
		Dne								
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres				
Název		ZÁŘIČ			4C 031					
Počet listů				List						



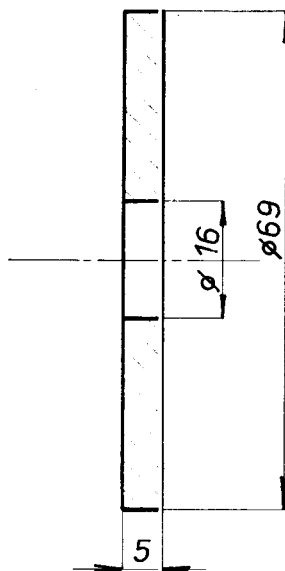
1	DIST. TRUBKA		72 6109					1C 000	5
Počet listů	Název - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	Trída Odo.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko 1:1	Kreslil	<i>G. Richter</i>		Čís. sním.	Změna	Datum	Podpis	Index změny	X X X X
	Prozkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						
		Dre							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Název DISTANČNÍ TRUBKA		4C 032							
		Počet listů List							



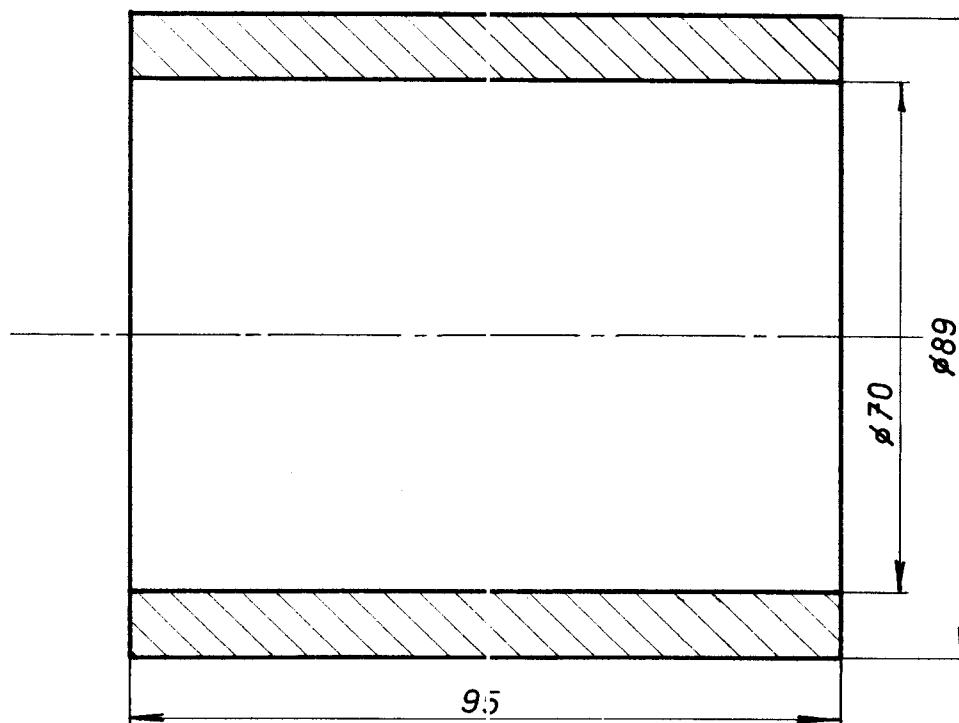
1	CLONA		72 6109					10000	6
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odo.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka					Celková č. váha kg				
Měřítko	Kreslil	<i>J. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Prezkoušel								x
	Norm. ref.								x
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						x
		Dne							x
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Název		CLONA		4C033					
				Počet listů					
				List					



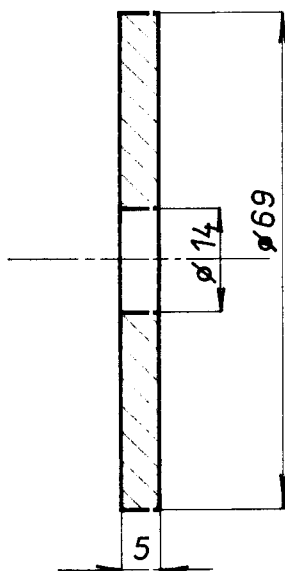
2	DIST. TRUBKA		726109				10 000	9	
Počet kusů	Název - Rozměr	Podotovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko 1:1	Kreslil	<i>G. Koller</i>	Čís. sním.	Změna		Datum		Podpis	Index změny
	Přezkoušel		Č. transp.						
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil							
		Dne							
Typ		Skupina		Starý výkres		Nový výkres			
VŠST LIBEREC		Název DISTANČNÍ TRUBKA		4C 034					
				Počet listů		List			



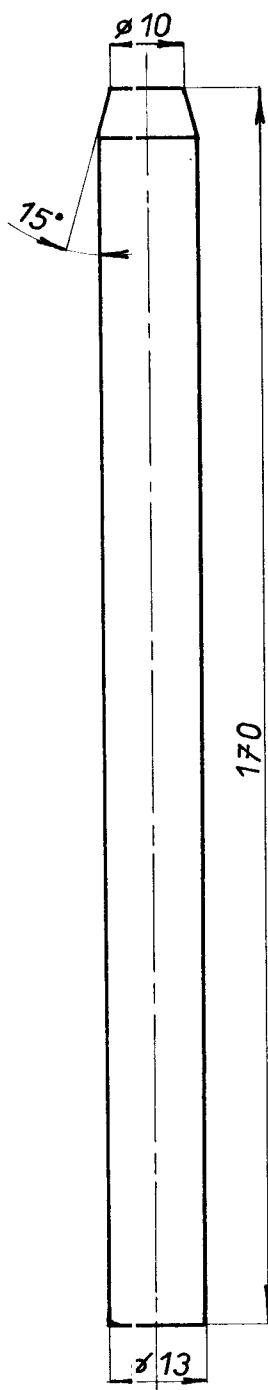
1	CLONA		72 6109					1C 000	8
Počet listů	Název - Rozměr	Podstavec	Mat. konečný	Mat. výchozí	Trída Odb.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Prezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. provedn.	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
		Název	CLONA		4C 035				
				Počet listů	List				



1	POUZDRO		72 6109					1C 000	10
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovar	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odo.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změn
1:1	Prozkoušel		Č. transp.						
	Norm. ref.								
	Výr. předn.	Schválil							
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Název		POUZDRO			4C 036				
				Počet listů		List			

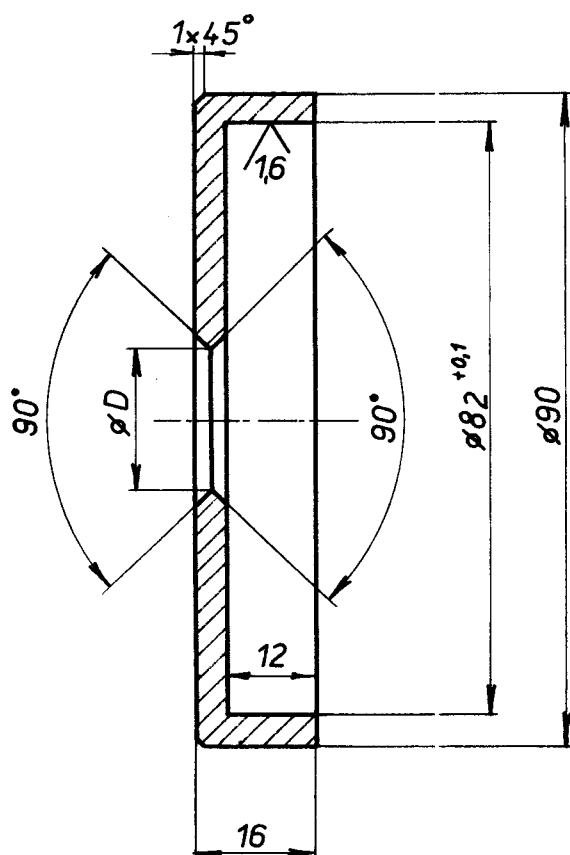


1	CLONA		72 610:3					1C 000	11
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka					Celková č. váha kg				
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum		
1:1	Prezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Název		CLONA		4C 037					
Počet listů				List					



1	UZÁVĚR		72 6109					1C 000	12
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka					Celková č. váha kg				
Měřítko	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Přezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres			Nový výkres		
Název		UZÁVĚR			4C 038			Počet listů	
								List	

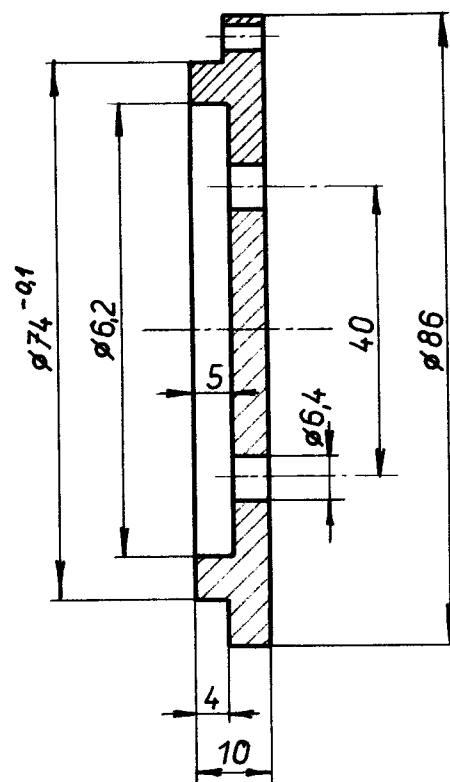
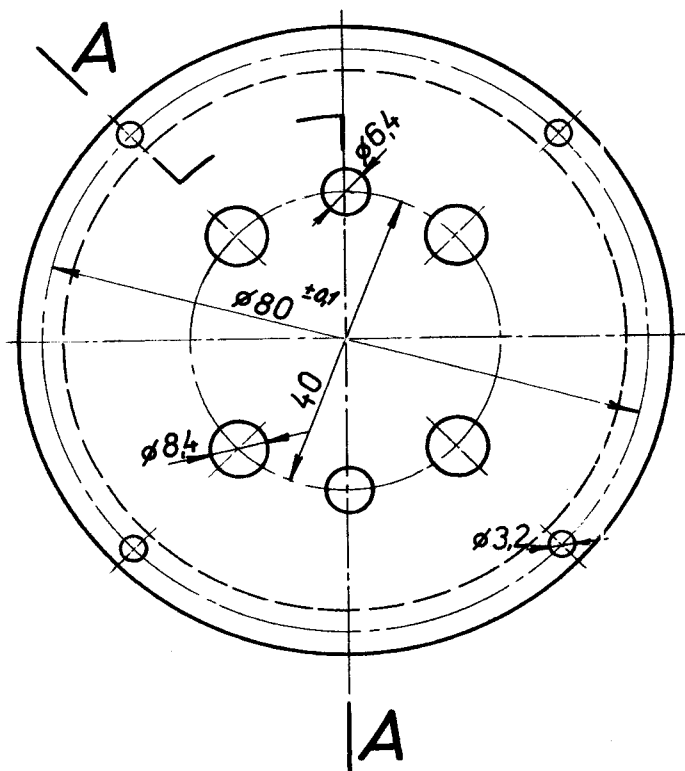
3,2 (1,6)



Č	D
1	10
2	20
3	30
4	40

1	TYČ Ø90x18							3B 007	4
Podst. kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka					Celková č. váha kg				
Měřítko 1:1	Kreslil	<i>G. Richter</i>	Čís. sním.	Změna		Datum	Podpis	Index změny	x
	Přezkoušel		Č. transp.						x
	Norm. ref.								x
	Výr. projedn.	Schválil Dne							x
VŠST LIBEREC		Typ B Název CLONA	Skupina	Starý výkres	Nový výkres		4B039		
				Počet listů			List		

ŘEZ A-A



1	TYČ Ø90×12	ČSN 42 5510	11 340		1	0,6	3B 007	3	
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<i>J. Richter</i>	Čís. sním.	Změna		Datum	Podpis	Index změny	x
1:1	Přezkoušel								x
	Norm. ref.								x
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.						x
	Dne								x
Typ B		Skupina	Starý výkres		Nový výkres				
VŠST LIBEREC		Název VÍKO	Počet listů		4B 040				
					Úst				