

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: sklářství a keramiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1971/72

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Said El Chakih o

odbor 04 - 1 - 04 Zaměření na sklářské stroje a zařízení

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

Název tématu: Rekonstrukce rotačního viskozimetru.

Pokyny pro vypracování:

Rotační viskozimetr, který se nachází na katedře KSK nevyhovuje pro měření. Chybí termostat pro udržování konstantní teploty měřené kapaliny, chybí zkrutný element, nelze měnit plynule otáčky.

Úkolem Vaší diplomní práce je navrhnout novou konstrukci rotačního viskozimetru s plynulou změnou otáček měřícího válce.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I. STUDENTSKÁ 8

195/72
S
+

Rozsah grafických laboratorních prací: cca 40 stran textu, doložených příslušnými výpočty a výkresovou dokumentací.

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury: Závěrečná výzkumná zpráva o vlastnostech jíílů a kaolinů (VŠCHT a ČSAV Praha)

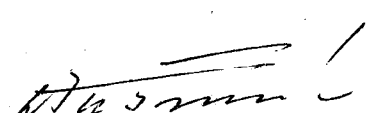
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan C I B U L K A VŠST Liberec

Konzultanti: Ing. Jiří Přibyl, VŠST Liberec

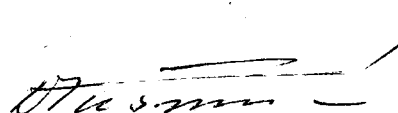
Datum zahájení diplomové práce: 18. 10. 1971

Datum odevzdání diplomové práce: 7. 7. 1972

L. S.


Prof. Ing. Dr. F. Kotšmíd
vedoucí katedry




Prof. Ing. Dr. F. Kotšmíd
děkan

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP12-147/72	List č.1

D I P L O M O V Á P R Á C E

DP 12 - 147/72

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
Fakulta: strojní
Katedra: Sklářství a keramiky

SAID EL CHAKI

Rekonstrukce rotačního viskosimetru
pro měření viskosity keramických jíílů

Vedoucí dílomové práce: ing. J. Cibulka
Konzultanti: ing. J. Příbyl - VŠST Liberec

V Liberci dne 7. července 1972

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 3

O B S A H		strana
1) Úvod		7
2) Viskosita		8
a) newtonské kapaliny		8
b) nenewtonské kapaliny		10
3) Teorie rotačního koaxiálního viskosimetru		14
4) Teoretické základy reometrie		17
5) Měření viskosity na rotačním viskosimetru		21
6) Faktory ovlivňující výsledky při měření		23
a) vliv šířky mezery mezi válci		23
b) vliv rozměrů měřícího válce		25
c) vliv koncového efektu		25
d) vliv tření v přístroji		26
e) vliv excentricity válců na měření		26
f) zahřívání kapaliny při vyšších rychlos- tech otáčení		27
g) vliv tuhosti torsního elementu		28
h) vylézání suspence z mezery mezi válci		28
7) Návrh viskosimetru		30
registrace natočení a otáčky		31
určení rozsahu otáček		34
výpočty		40
8) Postup při cejchování viskosimetru		44
9) Příprava nenewtonských kapalin při měření		44
10) Závěr		45

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP12-147/72	List č. 4

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1) Závěrečná výzkumná zpráva o vlastnostech jílu
a kaolinu (VŠCHT a ČSAV Praha)

2) A. Němec: Části strojů II.
Převody

3) Černoch: Strojně technická příručka I

4) Z. Horák: Praktická fyzika

5) A. Bolek: Části strojů II

6) K. Zehnula: Měření neelektrických veličin
Snímače III

7) J. Ulbrecht, P. Mitschka: Chemické inženýrství
nenewtonských kapalin

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DPl 2-147/72	List č.5

SYMBOLY POUŽITÝCH VELIČIN A JEJICH ROZMĚRY			
A	teplotní koeficient		
a	osová vzdálenost	cm - mm	
b	tloušťka ozubení kola	mm	
D	rychlostní gradient	sec ⁻¹	
D _s	střední průměr pružiny	mm	
d	průřez drátové pružiny	mm	
d ₁ , d ₂	průměr řemenice	mm	
e	smyková deformace		
f	koeficient tření		
f _v	rychlostní součinitel		
G	hmota	g	
h	pracovní výška vnitřního válce	mm	
j	moment setrvačnosti	gcm ²	
k _f	korekční faktor		
K	konstanta viskosimetru		
l _p	délka řemene	mm	
m	modul	mm	
M _k	krouticí moment	dyn cm	
N	výkon motoru	W	
n	počet otáček za minutu	ot/min	
P	obvodová síla	kp	
R	vnitřní poloměr vnějšího válce	mm	
r	vnější poloměr vnitřního válce	mm	
t	čas	sec	
T	přírůstek teploty	°C	

t_r	rozteč	mm
v	obvodová rychlost	cm/sec
x, y	délky	mm
γ_L	tvarový součinitel	
Z	počet zubů	
	tečné napětí	dyn cm ⁻²
f	napětí mezi toku	dyn cm ⁻²
dov	dovolené napětí pružiny	kp cm ⁻²
	dynamická viskozita	P = g/cm.sec, CP
	úhlová rychlost	rad/sec
	tepelná vodivost	kp/m.h.deg, W/m.deg
	úhel natočení v obloukové míře	
w	Wahlův korekční součinitel	
	úhel záběru	
	jmenovité ohybové napětí	
	mez únavy v ohybu	kp/mm ²
	mez pevnosti v tahu	kp/mm ²
	bezpečnost	

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12/147/72	List č. 7

1)

Ú V O D

Na katedře sklářství a keramiky je k dispozici nepoužívaný rotační viskosimetr pro měření viskozity nenewtonovských kapalin.

Úkolem této diplomové práce je návrh na rekonstrukci tohoto viskosimetru. Základním požadavkem při měření viskozity nenewtonovských kapalin je možnost plynulé změny otáček hnacího válce v potřebném rozsahu. Na viskosimetr musí jít připojit aparatura pro elektrické snímání s mechanickým zapisovačem měřených hodnot. Pro udržování konstantní teploty měřené kapaliny musí být viskosimetr opatřen zařízením pro připojení Höpplerova termostatu. Při rekonstrukci má být využito pokud možno součástí stávajícího viskosimetru.

Viskosimetr bude upraven podle obdobného přístroje, který je v provozu na pracovišti Společné laboratoře Československé akademie věd a katedry silikátů na VŠCHT v Praze. Při úpravě budu vycházet ze zkušeností, které získali pracovníci tohoto pracoviště při používání tohoto viskosimetru při výzkumu reologických vlastností kaolinů.

Upravený viskosimetr bude sloužit k měření viskozity keramických kalů pro výzkumné úkoly katedry sklářství a keramiky na VŠST v Liberci.

2)

V I S K O S I T A

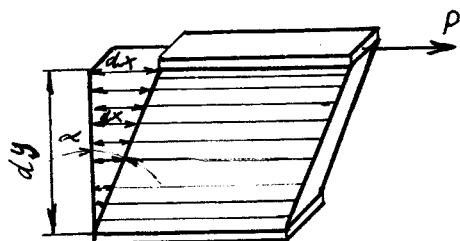
Při působení vnějších sil na hmotné těleso dochází k jeho deformaci.

U hmot elastických se jedná o deformaci vratnou, u hmot plastických o nevratnou, trvalou.

a) Newtonske kapaliny

Všimneme si blíže deformace smykové, při níž se jednotlivé laminární vrstvy hmoty vlivem působící síly po sobě posouvají.

Složka napětí, způsobující smykovou deformaci je t.zv. tečné napětí, které označujeme τ dyn cm^{-2}



$$e = \tan \alpha$$

(obr.č. 1)

Smyková deformace e je definována: $e = dx/dy$

Mezi dvěma rovnoběžnými destičkami, vzdálenými od sebe o dy , dolní pevnou a horní pohyblivou (viz obr. 1) se nalézá deformovaný systém. Horní destička je určitou silou P tažena s dolní destičkou. Za dobu t se horní destička posune o délku dx ; rychlost jejího posuvu je dx/dt . Rychlost proudění v jednotlivých laminárních vrstvách se lineárně mění, ve vrstvě u pevné destičky je nulová, u pohyblivé maximální. Rozdíl rychlosti ve dvou stejně od sebe vzdálených

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 9

vrstvách bude však při stejné tažné síle tím větší, čím budou destičky k sobě blíže. Abychom mohli srovnávat proudění ve vrstvách různě silných, zavádíme t.zv. rychlostní gradient (spád) $D = dv/dy$, t.j. přírůstek rychlosti ve vrstvách vzdálených od sebe o jednotku délky ($y = 1 \text{ cm}$).

$$D = dv/dy = de/dt \quad (\text{sec}^{-1})$$

Tvar $D = de/dt$ vyjadřuje časovou změnu relativní deformace $de = dx/dy$ (deformačního gradientu) a můžeme tedy D nazývat i rychlostí relativní deformace. V této podobě se tedy D také nejčastěji používá k praktickým výpočtům. Při reologických výpočtech musíme vždy dosazovat relativní deformaci a nikoliv deformaci absolutní, abychom mohli navzájem srovnávat deformace dosažené na různých přístrojích.

Rychlostní gradient D je u většiny kapalin přímo úměrný působícímu tečnému napětí τ

$$\tau = \eta \cdot D$$

Rovnice se nazývá Newtonovým zákonem viskosity, a kapaliny, které se řídí tímto zákonem, se nazývají newtonské. To však platí pouze v laminární oblasti proudění, neboť při turbulentním proudění roste odpor a tedy i tečné napětí rychleji v důsledku tvorby vírů.

Koeficient úměrnosti η v Newtonově viskosním zákonu se nazývá dynamická viskozita nebo pouze viskozita. Je to látková konstanta, jejíž hodnota úzce souvisí s molekulární strukturou kapaliny. Dynamická viskozita

je mírou konsistence kapaliny, jejího odporu vůči vzájemnému posouvání, vůči toku.

Jednotkou viskozity je poise $P / g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1} /$, $CP = 0,01P$

b) Nenewtonské kapaliny

Kapaliny, u nichž nelze závislost $\tau = f(D)$ vyjádřit rovnicí, se nazývají nenewtonské.

Funkční závislost mezi tečným napětím a smykovou rychlostí deformace není tedy u tohoto typu kapalin lineární a lze ji psát obecně $\tau = f(D)$

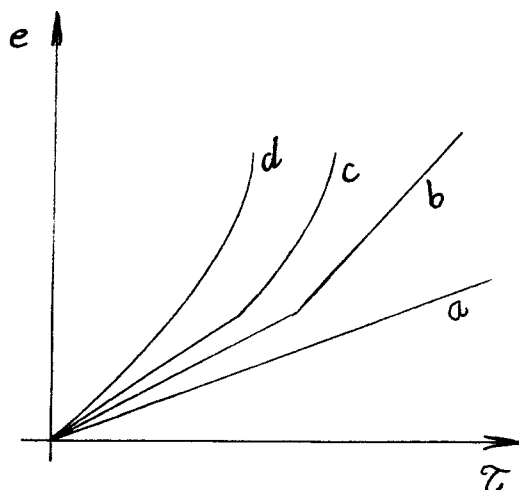
Zatímco poměr tečného napětí newtonských kapalin ke smykové deformaci je konstantním látkovým parametrem, charakterisujícím danou kapalinu, je tentýž poměr pro nenewtonské kapaliny veličinou proměnnou.

Její okamžitá hodnota se mění podle použitého napětí a nemůže tudíž v žádném případě sloužit pro fyzikální hodnocení konsistence nenewtonských kapalin. Pro tento poměr se užívá názvu zdánlivá viskozita.

My budeme v dalším textu používat pro jednoduchost pouze názvu viskozita.

Závislost viskozity na tečném napětí znázorňujeme graficky.

Hmoty schopné jen vratné deformace znázorňujeme jen v souřadnicích deformace - napětí ($e - \tau$)



(obr.č. 2)

Přímka a na obr. 2 ukazuje dokonale pružné těleso, u něhož existuje lineární závislost mezi napětím a deformací. Stejný průběh jako a má v souřadnicích $e - \tau$ též newtonská kapalina. Lomená přímka b ukazuje ideální pružně-viskosní nebo pružně plastickou hmotu. (Binghamovu), křivka c reálnou pružně viskosní hmotu, zakřivená část představuje tečení, které probíhá nenewtonsky v důsledku toho, že kapalina obsahuje pevnou fázi nebo má strukturu. Křivka d představuje tečení zcela nenewtonských kapalin.

Nevratnou, trvalou deformaci (tečení) vyjadřujeme v souřadnicích rychlostního gradientu - napětí ($D - \tau$).

Základní typy deformací tečením ukazuje obr. 3.

Newtonská kapalina na obr. 3a má přímou závislost mezi napětím a deformací a je znázorněna přímkou.

U Binghamské plastické hmoty ideální (obr. 3b) nastane newtonský tok až po dosažení určitého napětí τ

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 12

zvaného statická mez toku. Je to napětí, při kterém nastane plastická deformace (tečení). U kapaliny se strukturní viskositou (nenewtonské) rychlost deformace obecně s napětím nelineárně stoupá (event. klesá), tedy klesá (stoupá) viskositá a hmota mícháním řídne (houstne). Viskosita se v každém bodě křivky mění. Je to způsobeno vnitřní strukturou hmoty, která se deformací rozrušuje. U křivky na obr. 3c (obecná Binghamova plastická hmota) s nenewtonským token začíná tok u statické meze toku, viskositá se mění (klesá) až do bodu C, kde se stává konstantní. Prodloužením přímkové části křivky do osy napětí dostaneme dynamickou (Binghamovu) mez toku.

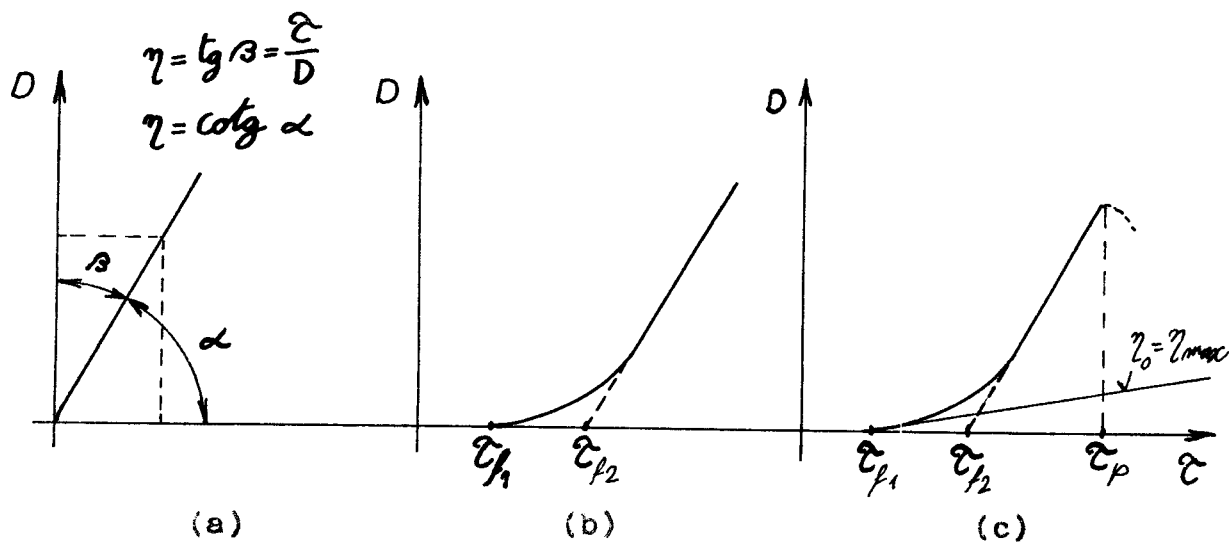
U tixotropní hmoty (obr. 3d) zvyšováním rychlosti deformace (mícháním) se vnitřní struktura hmoty rozrušuje a viskositá klesá (zředování). Při snižování rychlosti/deformace se struktura obnovuje a viskositá stoupá (tuhnutí), mluvíme zde o t.zv. strukturní viskozitě. Vzniká hysteresní smyčka, jejíž plocha je úměrná rozsahu tixotropní struktury hmoty. Vzestupná větev smyčky probíhá při vyšších napětích než větev sestupná. Směr průběhu celé smyčky je proti směru otáčení hodinových ručiček.

Opakem tixotropní hmoty je dilatentní hmota (obr. 3e).

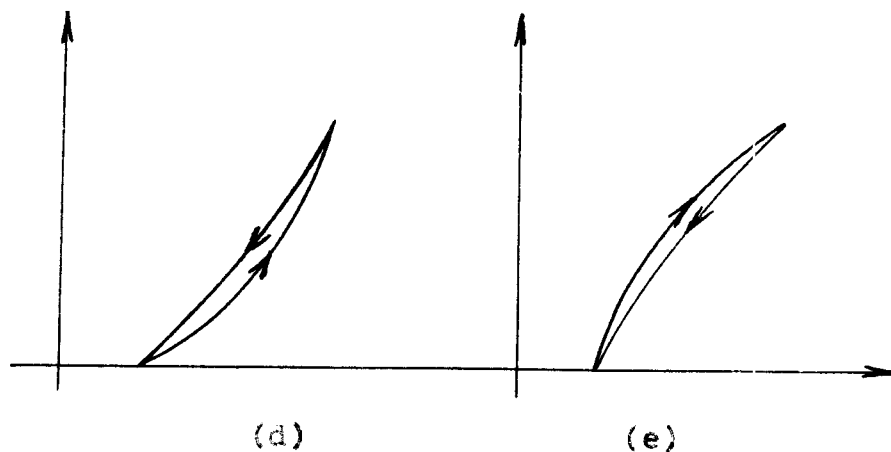
Keramické licí kaly, jak plyne z uvedených závěrů, patří svým charakterem mezi hmoty tixotropní.

Znalost viskosity keramických licích kalů je nezbytná při dodržení správné technologie lití

keramických výrobků.



τ_{f1} = statická mez toku
 τ_{f2} = dynamická mez toku
 τ_p = mez pevnosti



tixotropní

dilatantní

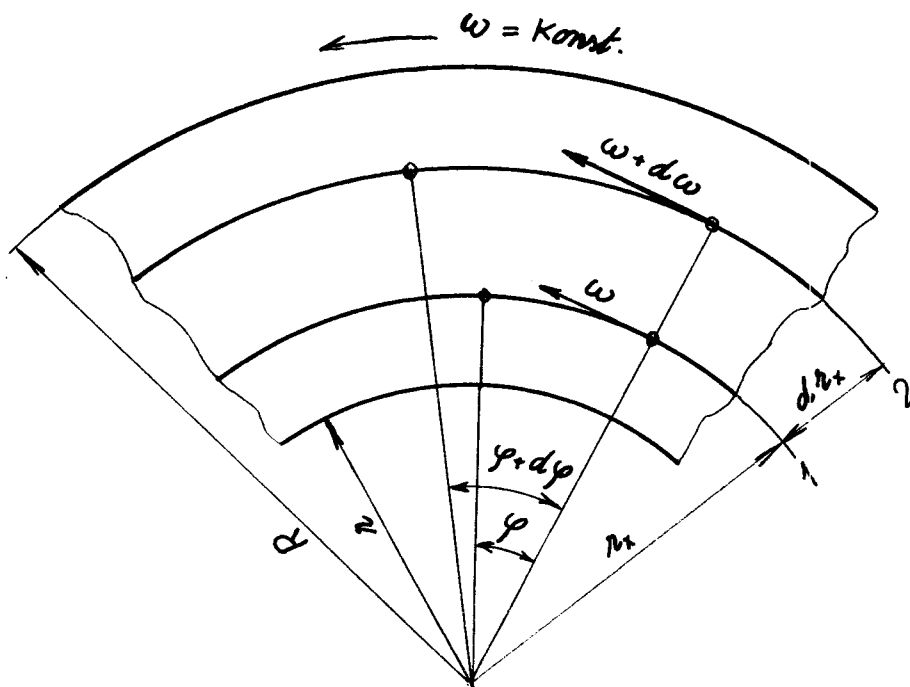
(obr.č. 3)

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 4

3) TEORIE ROTAČNÍHO KOAXIÁLNÍHO VISKOSIMETRU

Smykovou deformaci kapaliny v rotačním viskosimetru si můžeme představit jako natočení dvou tenkých nekonečných válcových vrstev (1, 2) kapaliny ve směru otáčení ω hnaného vnějšího válce vlivem jejího vnitřního tření.

Odvození vztahu pro určení viskosity:



(obr.č. 4)

Vlivem vnitřního tření dochází ke skluzu vrstev 1 a 2. Z toho pak plyne, že úhlové rychlosti vrstev 1 a 2 jsou rozdílné.

Vyjádříme si rychlostní gradient: $D = dv/dr_x =$

$$= r_x \cdot d\omega / dr_x \quad \text{a tečné napětí } \tau = P/2 \cdot r_x \cdot h =$$

$$= M_k / 2\pi r_x \cdot h$$

Takto vyjádřené D a τ dosadíme do rovnice $\tau = \eta \cdot D$

P - obvodová síla na poloměru r_x /kp/

h - výška smáčeného povrchu měřicích válců

$$\tau = \eta \cdot D$$

$$\frac{M_k}{2\pi r_x \cdot h} = \eta \frac{r_x d\omega}{dr_x}$$

$$\int_0^\omega d\omega = \frac{M_k}{2\pi h \cdot \eta} \cdot \int_2^R \frac{1}{r_x^3} dr_x$$

$$\text{PRO } r_x = 2 \Rightarrow \omega = 0$$

$$r_x = R \Rightarrow \omega = \omega$$

$$\omega = \frac{M_k}{2\pi \cdot h \cdot \eta} \left[-\frac{1}{2r_x^2} \right]_2^R = \frac{M_k}{4\pi \cdot h \cdot \eta} \cdot \frac{R^2 - 2^2}{R^2 \cdot 2^2}$$

$$\boxed{\eta = \frac{M_k}{4\pi \cdot h \cdot \omega} \cdot \frac{R^2 - 2^2}{R^2 \cdot 2^2}}$$

Margulesova rovnice

Margulesovou rovnicí můžeme vyjádřit vztah pro kroutící moment

$$M_K = 4\pi \cdot h \cdot \eta \cdot \omega \frac{R^2 - r^2}{R^2 \cdot r^2}$$

a vztah pro rychlostní gradient

$$D = \frac{\partial}{\partial r} = \frac{M_K}{2\pi \cdot h \cdot r^2} \cdot \frac{4\pi h \cdot \omega \cdot R^2 \cdot r^2}{M_K (R^2 - r^2)} =$$

$$= \frac{2\omega (R^2 - r^2)}{r^2 (R - r^2)} = \frac{2\omega \cdot R^2}{R^2 - r^2}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \Rightarrow \text{po dosazení do rovnice D}$$

$$D = \frac{4\pi \cdot n}{60 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)}$$

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 17

4) TEORETICKÉ ZÁKLADY REOMETRIE

Úkolem reometrie je experimentální určení funkční závislosti mezi tečným napětím τ a rychlostním gradientem D pro danou kapalinu. Tečné napětí τ a rychlostní gradient D nejsou veličiny přímo měřitelné a proto se snažíme sestrojit tokovou křivku pomocí některé tokové rovnice, např. Binghamovy, mocninové, relaxační.

Pro měření viskosity neneutonských kapalin budou vhodné jen takové viskosimetry, kde geometrie toku je jednoznačně definována a pro níž můžeme určit hodnotu D a pak k ní odpovídající hodnotu τ .

Nebudou vhodné takové viskosimetry, u nichž není zaručena laminárnost proudění.

Předpokladem pro vhodnost použitého viskosimetru pro měření viskosity neneutonských kapalin je:

- zaručený laminární tok
- možnost přímého čtení nebo vypočítání τ a D při určitých podmínkách toku.

Přechod z laminární do turbulentní oblasti proudění však nezávisí pouze na hodnotě Reynoldsova čísla, nýbrž také na hodnotě indexu toku, který charakterizuje rychlostní profil proudění.

Tuto závislost znovu podrobně prověřovali D. W. Dodge a A. B. Metzner a našli pro různé hodnoty indexu toku tyto kritické hodnoty Re_{cr} :

n_t	1	0,38	0,2
Re	2100	3100	5000

Laminární proudění je definováno v oblasti hodnoty $Re \geq 2100$. Většina nenewtonských kapalin má vysokou hodnotu koeficientu konsistence, což snižuje hodnotu Re .

Z předchozího plyne, že čím nižší je hodnota indexu toku n_t , tím vyšší je hodnota kritického Re .

Naopak, čím je hodnota indexu toku vyšší, tím nižší je hodnota kritického Re . To znamená, že turbulentní proudění nelze dosáhnout ani vyššími hodnotami rychlostí. Turbulence je tedy u nenewtonských kapalin poměrně vzácný jev a proto se jím nebudeme blíže zabývat. U nenewtonských kapalin je proto nutno brát v úvahu mez toku τ_f .

$$\tau - \tau_f = \eta \cdot \frac{dv}{dx} = \eta \cdot D$$

Použitím Binghamovy rovnice toku odvodili Reiner a Rivlinová stejným způsobem jako u newtonských kapalin:

$$D = \frac{\tau - \tau_f}{\eta} = \frac{\tau}{\eta} - \frac{\tau_f}{\eta}$$

$$D = \frac{r_x \cdot d\omega}{dr_x}$$

$$\frac{r_x \cdot d\omega}{dr_x} = \frac{M_K}{2\pi \cdot h \cdot r_x^2 \cdot \eta} - \frac{\tau_f}{\eta}$$

$$PRO \quad r_x = r \Rightarrow \omega = 0$$

$$r_x = R \Rightarrow \omega = \omega$$

$$d\omega = \frac{M_K \cdot dr_x}{2\pi \cdot h \cdot \eta \cdot r_x^2} - \frac{\tau_f \cdot dr_x}{\eta \cdot r_x}$$

$$\int_0^{\omega} d\omega = \int_r^R \frac{M_K dr_x}{2\pi \cdot h \cdot \eta \cdot r_x^3} - \frac{\tau_f \cdot dr_x}{\eta \cdot r_x}$$

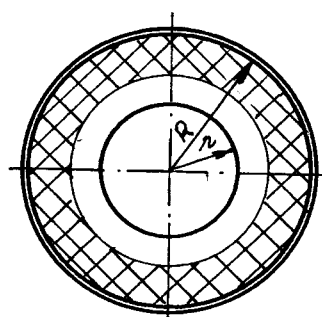
$$\omega = \frac{M_K (R^2 - r_x^2)}{4\pi \cdot h \cdot \eta \cdot R^2 \cdot r_x^2} - \frac{\tau_f}{\eta} \ln \frac{R}{r_x}$$

U newtonských kapalin se vytvoří u vnějšího (otáčejícího se) válce nerozrušená, vcelku se pohybující vrstva, která je jím unášena, zatím co u povrchu vnitřního válce je již rozrušena (laminární proudění) - vzniká t.zv. zátkový tok.

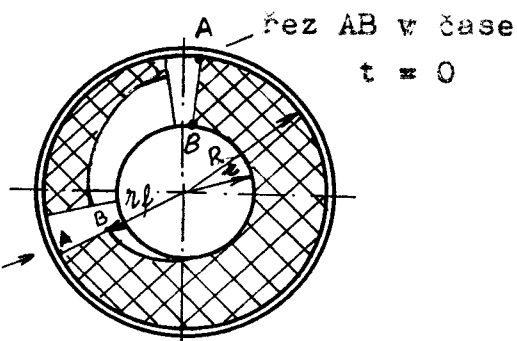
Tloušťka nerozrušené vrstvy se s rychlostí otáčení stále snižuje, až po dosažení určité rychlosti otáčení je celá vrstva v mezeře mezi válci rozrušena. Tečení začíná vždy u vnitřního válce, kde vzniká větší napětí než u válce vnějšího, v důsledku menší velikosti plochy vnitřního válce.

a) Nerozrušená pevná vrstva pohybující se jako celek

b) Průběh rozrušení pevné vrstvy



řez AB po době t



(obr.č. 5)

Tečení suspence v rotačním viskosimetru

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List 20

Jsou-li τ_R a τ_r napětí při vnějším R a vnitřním r válci, τ_f napětí na mezi toku a ω rychlost otáčení (rad/sec), lze odvodit pro různé případy několik vztahů:

- 1) napětí při vnitřním válci $\tau_r < \tau_f$ hmota v mezeře mezi válci vůbec neteče, ω je rovna 0.
- 2) mez toku $\tau_R < \tau_f < \tau_r$ nastane tečení jen je-li r menší než kritická hodnota r_f (poloměr pro $\tau = \tau_f$)

$$r_f = \sqrt{\frac{M_R}{2\pi \cdot h \cdot \tau_f}}$$

- 3) je-li napětí $\tau_R > \tau_f$ je ω v celé mezeře větší než 0. Vrstva hmoty v celé šíři mezery je rozrušena a proudí laminárně. Pro ω lze odvodit:

$$\omega = \frac{\tau_r (R^2 - r^2)}{2\eta \cdot R^2} - \frac{\tau_f}{\eta} \ln \frac{R}{r}$$

$$2 \ln \frac{R}{r} = \ln \frac{R^2}{r^2}$$

$$\omega = \frac{1}{2\eta} \left[\tau_r \frac{R^2 - r^2}{R^2} - \tau_f \ln \frac{R^2}{r^2} \right]$$

$$D = \frac{2\omega}{1 - \frac{r^2}{R^2}} + \frac{\tau_f}{\eta} \left[\frac{2 \ln \frac{R}{r}}{1 - \frac{r^2}{R^2}} - 1 \right] = D_0 + K$$

Je-li na př. $D_0 = 100 \text{ sec}^{-1}$, a $\frac{\tau_f}{\eta} = 100$ zanedbáváme korekce k při poměru poloměru válců $r/R = 0,96$.

Vzniklá chyba je pak 5%.

Při $r/R = 0,8$ je chyba 24%.

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č.21

5) MĚŘENÍ VISKOSITY NA KOAXIÁLNÍM ROTAČNÍM VISKOSIM.

Viskositu keramických licích kalů lze měřit několika způsoby.

Pro náš případ jsme v souladu s požadavky zadání zvolili rotační viskosimetr s koaxiálními válci.

Tento viskosimetr umožňuje přesná měření viskosity v absolutních jednotkách ve velmi širokém rozsahu rychlostních gradientů, takže je možno sestavit úplnou reologickou křivku v souřadnicích rychlostního gradientu - napětí $D - \tau$.

Na rotačním koaxiálním viskosimetru lze po vhodné úpravě měřit též pružné deformace suspenzí.

Opatříme-li osu měřicího válce brzdou, lze válec po natočení o určitý úhel fixovat v určité poloze.

Na rotačním viskosimetru měříme obvykle tak, že snímáme na stupnici výchylku vnitřního válce, která je úměrná tečnému napětí pro daný počet otáček vnějšího válce. Snímání výchylky na vnitřním válci je výhodnější, neboť při stejné síle dostáváme větší hodnoty napětí a tím i výchylky, neboť plocha vnitřního válce je menší.

Viskosimetr je opatřen zařízením pro spojitou lineární změnu otáček vnějšího válce. Měřicí část lze rychle a snadno rozebrat i vyčistit, což umožňuje rychlá další měření.

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		Dp12-147/72	List č.22

Při měření na tomto viskosimetru lze měřit viskozitu při ustálené nebo proměnlivé hodnotě rychlostního gradientu.

Při ustálené hodnotě rychlostního gradientu odečítáme odpovídající výchylku teprve poté, když dojde k odpovídající změně struktury měřené kapaliny.

Při proměnlivé hodnotě rychlostního gradientu (od nuly do určitého maxima) nedojde pro nedostatek času k vytvoření odpovídající struktury. Pro snazší zaznamenání hodnot rychlostního gradientu a výchylky je lépe zaznamenávat přímo závislost $D - \dot{\gamma}$ průběžně (na př. mechanickým zapisovačem).

Z výše uvedených důvodů plyne, že hodnoty viskozity jsou v obou případech vzhledem k strukturní viskozitě těchto látek různé.

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č23

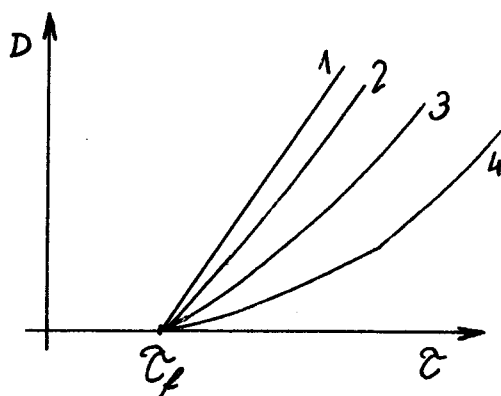
6) FAKTORY, OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDKY PŘI MĚŘENÍ
NA ROTAČNÍM VISKOSIMETRU

a) Vliv šířky mezery mezi válci:

Vnitřní válec má menší průměr než vnější a síla tedy působí na menší ploše (plášť válce). Napětí na různých průměrech v mezeře mezi válci je tedy různé. Napěťové pole v mezeře není tedy homogenní. Průměrné napětí v mezeře bereme jako poloviční hodnotu součtu napětí při vnitřním a vnějším válci. Aby rozdíly v napětí v mezeře mezi válci byly co nejmenší a napěťové pole co nejvíce homogenní, musí být mezera mezi válci co nejmenší. Tím se odstraňuje zátkový tok u neneutonských kapalin, kdy se část kapaliny při otáčení vnějšího válce pohybuje s ním jako celek zatím co zbytek kapaliny v mezeře při vnitřním válci proudí laminárně.

Rozrušení zátkové (pevné) vrstvy začíná vždy v místech nejvyššího napětí. Při zvýšení počtu otáček se šíří postupně směrem k vnějšímu válci až při určité rychlosti otáček ω_f zátková vrstva zmizí a kapalina v celé mezeře bude proudit laminárně. Čím je mezera širší, tím víc se uplatňuje zátkový tok.

Obr. č. 6 ukazuje vliv šíře mezery mezi válci.



(obr.č. 6)

1 - teoretická přímka

2 - $R - r = 1,5 \text{ mm}$

3 - $R - r = 6,0 \text{ mm}$

4 - $R - r = 16,3 \text{ mm}$

Korekce na absolutní hodnoty

Pro případ, že struktura měřené hodnoty je zcela rozšířena, takže proudění probíhá v celé šíři mezery, platí vztah:

$$\omega = \frac{\tau_r (R^2 - r^2)}{2\eta \cdot R^2} - \frac{\tau_f}{2\eta} \ln \frac{R^2}{r^2}$$

Při mezi toku rychlost otáčení vrstvy je rovna 0
dostaneme $\omega = 0$.

τ_r naměřená hodnota meze toku na vnitřním poloměru
válce při $\omega = 0$

τ_f je skutečná hodnota.

$$\tau_f = \frac{R^2 - r^2}{R^2 \ln \frac{R^2}{r^2}} \tau_r =$$

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List 25

$$= \frac{1 - \frac{R^2}{2}}{2,3 \log \frac{R^2}{r^2}} \quad \tau_f = K_f \cdot \tau_{f2}$$

k_f je korekční faktor

je-li $(R-r)/R$ malý, můžeme nahradit

$$k_f = r/R$$

τ_{f2} je vlastně dynamická viskozita a dostaneme ji extrapolací křivky do osy napětí - viz obr.3b, 3e.

b) Vliv rozměrů měřicího válce

Citlivost měření dosáhneme zvětšením plochy válce, čímž vzroste tření na plochu vnitřního válce.

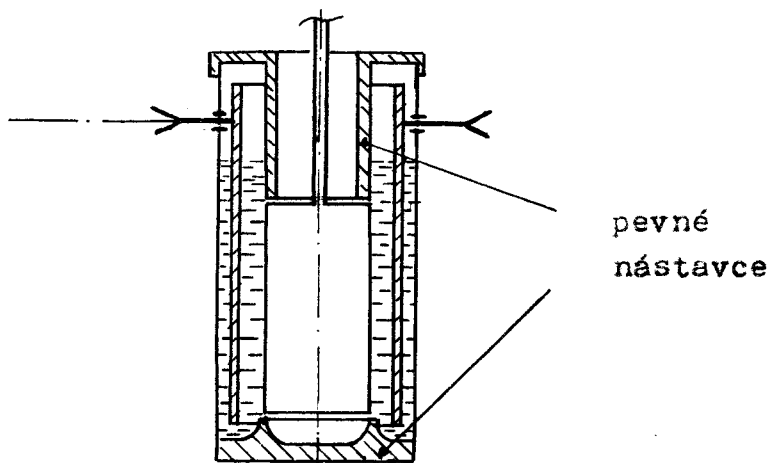
Toto lze dosáhnout:

1) zvětšením průměru válce, což je nevýhodné, protože roste moment setrvačnosti v závislosti na hmotě $J = \frac{G \cdot r^2}{2}$ i korekce na vliv koncového efektu bude větší.

2) zvětšením výšky válce: až do 300 mm
v našem případě: průměr vnitřního válce =
= 29,5 mm, výška válce = 150 mm

c) Vliv koncového efektu

Vlivem koncového efektu se napětí zvětšuje a dostaneme i vyšší hodnoty viskozity. V našem případě jej odstraníme pomocí nepohyblivého nástavce, tvořícího horní a dolní prodloužení délky válce. Nástavce jsou od čel válce odděleny mezerou, širokou několik desetin mm podle obr. 7.



(obr.č. 7)

d) Vliv tření v přístroji

Vlivem mechanického tření v přístroji dostaneme nižší viskozitu. Při výpočtu hodnoty napětí τ je nutno odečíst τ_{tr} od naměřené hodnoty napětí τ :

$$\tau - \tau_f - \tau_{tr} = \eta \cdot D$$

Vnitřní válec je zavěšen na tenkém torsním drátě, který současně slouží jako měřič napětí, takže zde nedochází k žádnému tření. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost přesné centrace vnitřního válce.

e) Vliv excentricity válců na měření

Experimentálně zjišťoval vliv excentricity válců na přesnost měření Gouette a potvrdili ji Dreu a Gurney. Zvětšení excentricity válců vede ke snížení tors-

ního momentu a projevuje se hlavně u úzkých mezer mezi válci. Je-li mezera asi 0,5 mm je chyba 2%, při větších mezerách vliv excentricity válců klesá.

f) Zahřívání kapaliny při vyšších rychlostech otáčení

Při vyšších rychlostech deformace D nastává vlivem zvýšeného tření zahřívání měřené kapaliny a její viskositá klesá. K dodržení konstantní teploty měřené kapaliny pak musí být použit termostat.

Zvýšení teploty kapaliny při vyšších otáčkách bylo změřeno pomocí termočlánků na povrchu vnitřního a vnějšího válce. Výpočet odvodili Weltmanová a Kuhns:

$$\Delta T = \eta \cdot D (R - r)^2 / 2 \lambda$$

$$\Delta T = \eta \cdot D (R - r)^2 / 8 J \lambda$$

T = rovnoměrný přírůstek teploty v celé šíři mezery mezi válci $[^{\circ}\text{C}]$

λ = tepelná vodivost $[\text{kp/m.h.deg}, \text{W/m.deg}]$

J = tepelný ekvivalent práce (Jouleho ekvivalent)

Z toho je vidět, že výše teploty v mezeře je přímo úměrná čtverci šířky mezery. Čím je mezera mezi válci užší, tím je zvýšení teploty menší. Předpokládáme-li závislost viskosity na teplotě lineární, platí vztah:

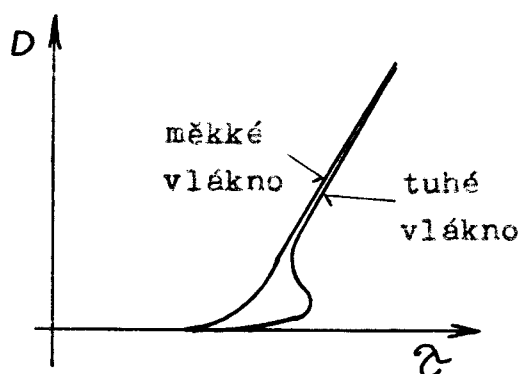
$$\eta = \eta_0 (1 - A \Delta T)$$

A = teplotní koeficient viskosity ve velmi malém rozsahu teplot, řádově asi 1°C .

η_0 = počáteční viskositá

g) Vliv tuhosti torsního elementu

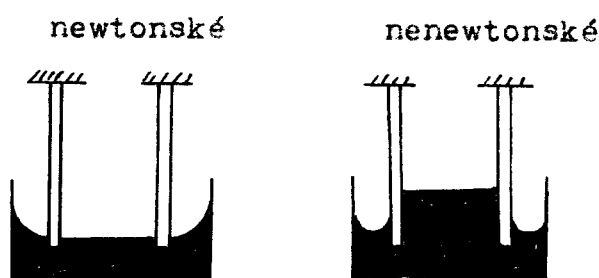
Tuhost torsního elementu použitého k měření napětí, vznikajícího na vnitřním válci při deformaci zkoumané kapaliny má vliv na tvar křivek. Tuhé vlákno dává velkou počáteční výchylku.



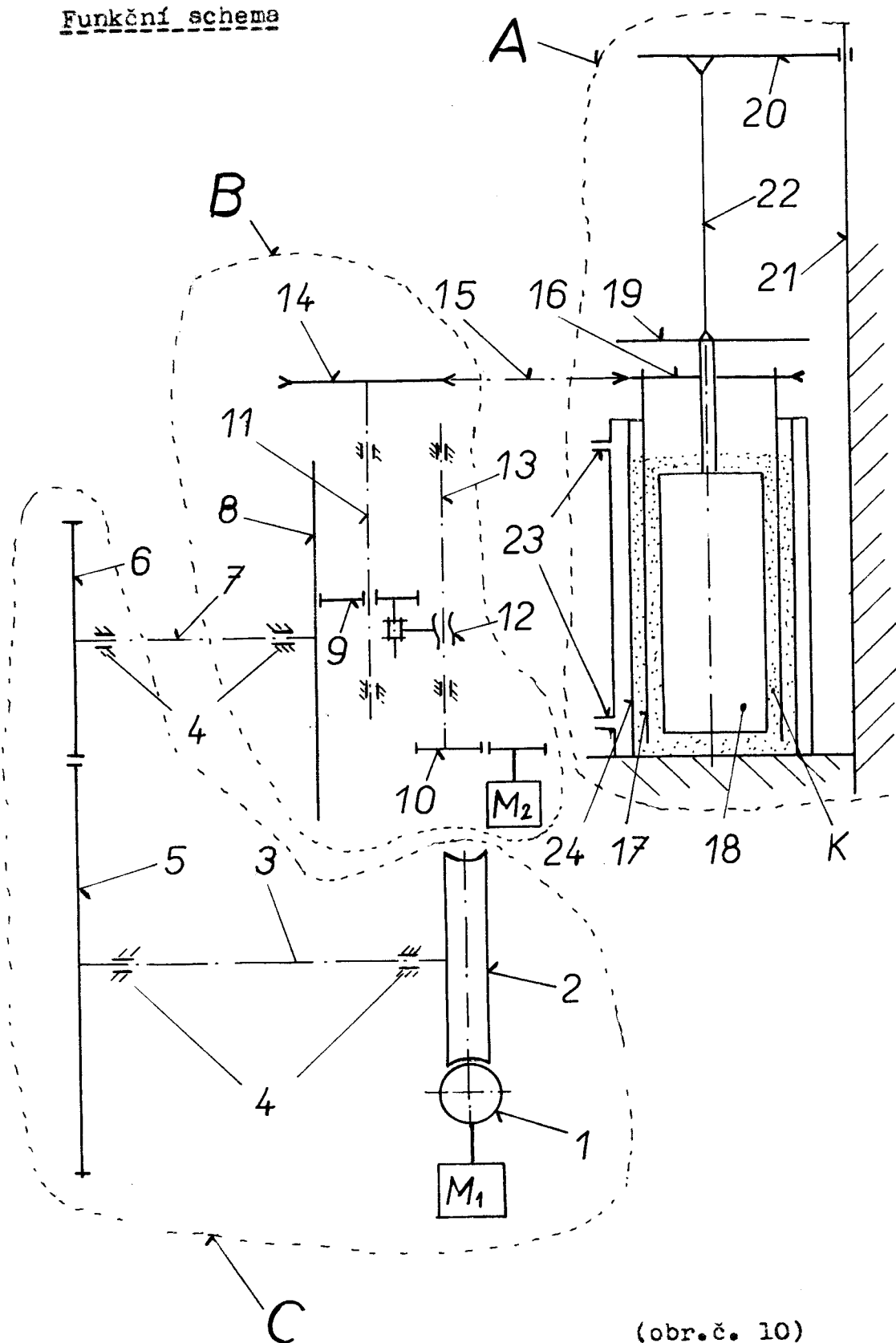
(obr.č. 8)

h) Vylézání suspenze z mezery mezi válci

U nenewtonských suspenzí (břeček až kaší) jevících ve větší míře t.zv. zátkový tok, dochází při otáčení válců k vylézání hmoty z mezery mezi válci. Projevuje se klouzáním hmoty na povrchu stěn měřících válců, takže u stěn nastává nežádoucí pohyb (tečení) hmoty. K tomuto jevu nedochází u kapalin newtonských, neboť tyto mají při rotaci vždy konkávní profil.



(obr.č. 9)

Funkční schéma

(obr.č. 10)

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 30

7) N Á V R H V I S K O S I M E T R U

Při návrhu vycházíme z požadavku, aby bylo v maximální míře možno využít součástí stávajícího přístroje.

Unášený válec (vnitřní) bude potopený do kapaliny celý. Výhodou této úpravy je, že nemusíme přesně odměřovat množství měřené kapaliny.

Funkční schema viskosimetru - viz obr. 10

Navržený rotační viskosimetr je tvořen vlastním měřicím zařízením (A), mechanismem pro zajištění plynulé změny otáček (B) a hnacím motorem se soustavou výměnných převodů (C).

Měřicí aparatura pro snímání kroutícího momentu a otáček se zapisovačem ani Höpplerův termostát nejsou na schématu zakresleny.

Motorem M_1 přes šnekový převod 1, 2 a čelní ozubený převod 5, 6 je poháněn třecí kotouč 8, který tvoří s kolečkem 9 pohybujícím se po něm radiálním směrem třecí převod. Axiální pohyb kolečka 9 je docílen vedením matice 12 vratným šroubem 13. Vratný šroub 13 je poháněn přes převod vlastním elektrickým motorem M_2 s plynulou změnou otáček, tak, že se rozsah rychlosti axiálního pohybu kolečka 9 dá měnit. Hřídel 11 kolečka 9 je opatřen řemenicí 14, která pohání řemenicí 16 vnější válec 17 měřicí části (A).

Rotace vnějšího válce 17 se přenáší vnitřním třením kapaliny (k) na vnitřní válec 18. Ten je zevěšen na

rámu 20 pomocí torsního drátu 22. Zkroucení drátu odečítáme na měřicím kotouči opatřeném úhlovou stupnicí 19. Rameno 20 je upevněno posuvně na stojanu 21. Okolo vnějšího válce je mezera tvořená pláštěm 24 a vývody 23ab pro připojení Höplerova termostatu.

Registrace natočení a otáčky

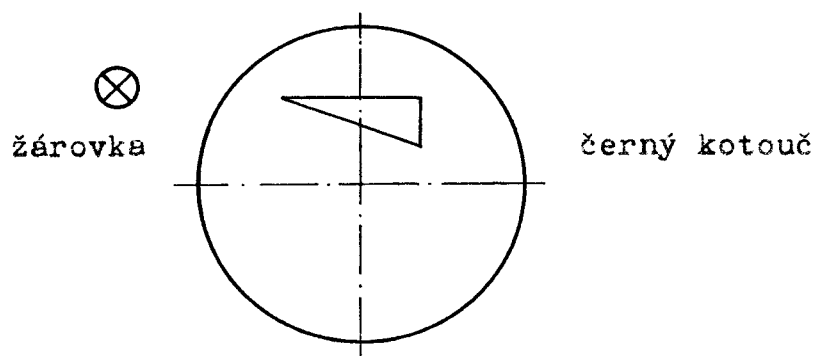
a) Registrace natočení (výchylka)

Výchylka se dá registrovat dvěma způsoby:

- 1) Nad kruhový ukazovatel upnout černý kotouč (papírový) s clonou, která podle úhlu natočení zacílí fotonku a tím změni velikost světelného toku dopadajícího na ni. Tím se bude měnit její výstupní napětí, které bude lineárně závislé na tvaru, velikosti a umístění štěrbin (clony) vyříznuté v černém kotouči. Výstup fotonky lze zapojit dvěma způsoby:

I. Na výstup fotonky připojit registrační přístroj přímo

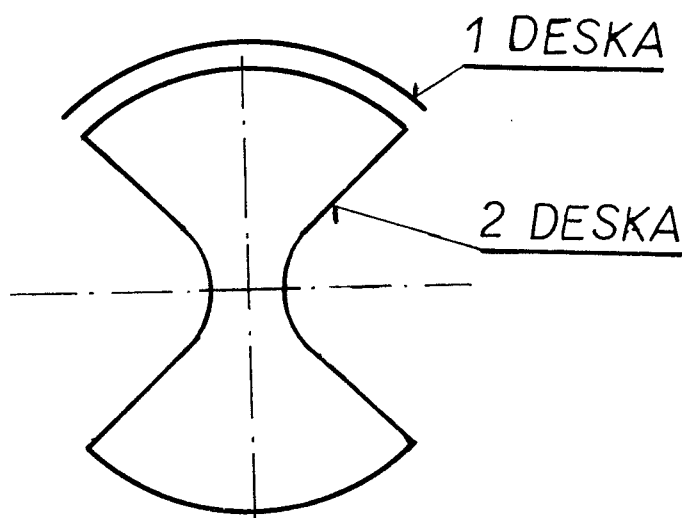
II. Registrační přístroj připojit na fotodiodu přes zesilovač tvořený jedním nebo více transistory (podle schematu) - obr. č. 11.



(obr.č. 11)

2) Měření úhlu natočení kapacitním systémem snímacím - překrývacím.

Snímání je založeno na principu překrývání dvou lehkých kovových desek, které mění dielektrický vzduch nebo hmotu s vysokou dielektrickou konstantou. Tato hmota by byla nalepena na jedné z desek. Podle velikosti úhlu natočení se desky překryjí a změní se jejich kapacita. Tuto změnu lze měřit a registrovat jako změnu náboje a je možno ji ocejchovat v jednotkách úhlu natočení.



(obr. č. 12)

b) Registrace otáček

Registrace otáček je možno provést několika způsoby:

- 1) fotoelektricky
- 2) mechanicky
- 3) indukčně

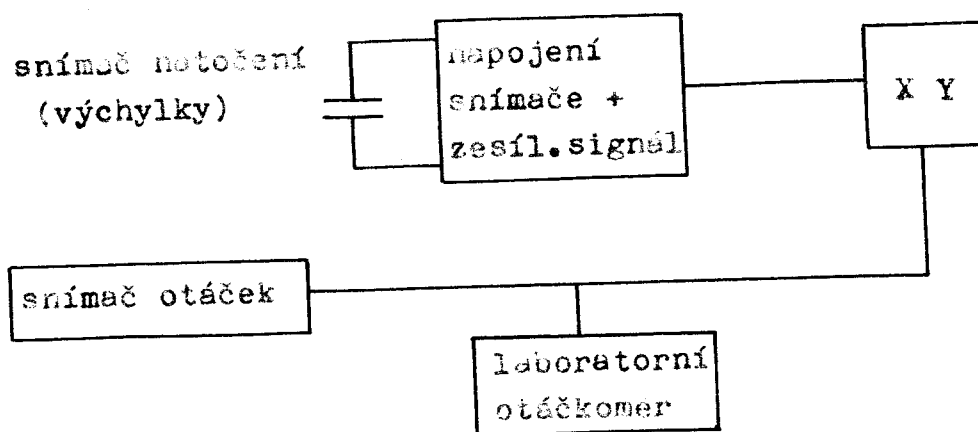
VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 33

Po zvážení technických parametrů, zvolil jsem indukční měření. Navrhuji použít elektrický dálkový otáčkoměr laboratorní typ Mul 10, rozsah 0 - 400, 0 - 800 ot/min s přesností 1,5 %. Výrobce Metra Blansko.

Rozhodující údaj, který je potřeba získat je závislost $D - \varphi$. Z tohoto důvodu je nutno použít souřadnicový zapisovač (XY), kde na osu Y dáme otáčky a na osu X přivedeme signál měřiče výchylky (natočení).

Typ zapisovače: Bak (ČSSR) nebo Endim (NDR) nebo jiný vhodný typ.

Schema zapojení:



(obr.č. 13)

Měřicí část stávajícího viskosimetru, nebudeme ji tedy měnit.

Hlavní rozměry:

vnitřní průměr vnějšího válce	$D = 34,5 \text{ mm}$
vnější průměr vnitřního válce	$d = 29,5 \text{ mm}$
výška měřicího válce	$h = 150 \text{ mm}$
mezera mezi válci je	$2,5 \text{ mm}$

Přibližné určení rozsahu otáček vnějšího válce

Abychom zjistili přibližný rozsah otáček vnějšího válce vzhledem k rozumné hodnotě výchylky φ měřicího kotouče, provedeme oceňování torsního elementu závažím.

Postup:

Vnitřní válec zavěšený na pružinovém drátu zkru-
cujeme závažím, které je upevněno pevně na rameni vnitř-
ního válce ve vzdálenosti 3 cm od osy otáčení na niti,
takže vyvozuje určitý, přesně zjistitelný kroutící mo-
ment, kterému odpovídá určitá hodnota konstanty visko-
simetru K , podle vztahu:

$$M_k = K \cdot \varphi \quad / \text{dyn} \cdot \text{cm} /$$

Nitě se závažími jsou vedeny přes kladky uchycené
na krytu řemenice - viz obr. 10.

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklárství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 35

Čejchovací tabulka:

zatížení		odlehčení		střední hodnota			
$P [p]$	φ_1°	$P [p]$	φ_2°	$\bar{\varphi} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$	$\varphi_{\text{obh. míře}}$	$M_K [p \cdot \text{cm}]$	K
100	35	100	40	37,5	0,65	300	$45,2 \cdot 10^4$
200	65	200	85	75,-	1,31	600	$45,0 \cdot 10^4$
300	90	300	105	97,5	1,69	900	$52,3 \cdot 10^4$
400	127	400	140	133,5	2,33	1200	$50,5 \cdot 10^4$
500	180	500	180	180,-	3,14	1560	$46,8 \cdot 10^4$

$$K_{\text{str}} = 48 \cdot 10^4$$

Při použití jiného torsního drátu dostaneme jiné hodnoty K .

Z. Horák - Praktická fyzika (str. 315)

Viskositá keramických kalů se pohybuje podle Budnikova v rozmezí 10 - 30 P. Vypočítáme tedy pro tento rozsah viskosity potřebný rozsah otáček viskosimetru. Neuvažujeme-li mez toku τ_f :

$$\omega = \frac{M_K}{4\pi \cdot h \cdot \eta} \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2 \cdot r^2}$$

$$\omega_{\min} = \frac{K \cdot \varphi_{\min}}{4\pi \cdot h \cdot \eta_{\min}} \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2 \cdot r^2} =$$

$$= \frac{48 \cdot 10^4 \cdot 0,65}{4\pi \cdot 15 \cdot 10} \cdot \frac{17,25^2 - 14,75^2}{17,25^3 - 14,75^3} = 20,6 \text{ [rad/sec]}$$

$$n_{\min} = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 20,6}{\pi} = 197 \text{ [ot/min]}$$

$$\omega_{max} = \frac{K \cdot I_{max}}{4\pi \cdot \eta_{max} \cdot h} \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2 \cdot r^2} =$$

$$= \frac{48 \cdot 10^4 \cdot 3,14}{4 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 30} \cdot 0,125 = 33,2 \text{ [rad/sec]}$$

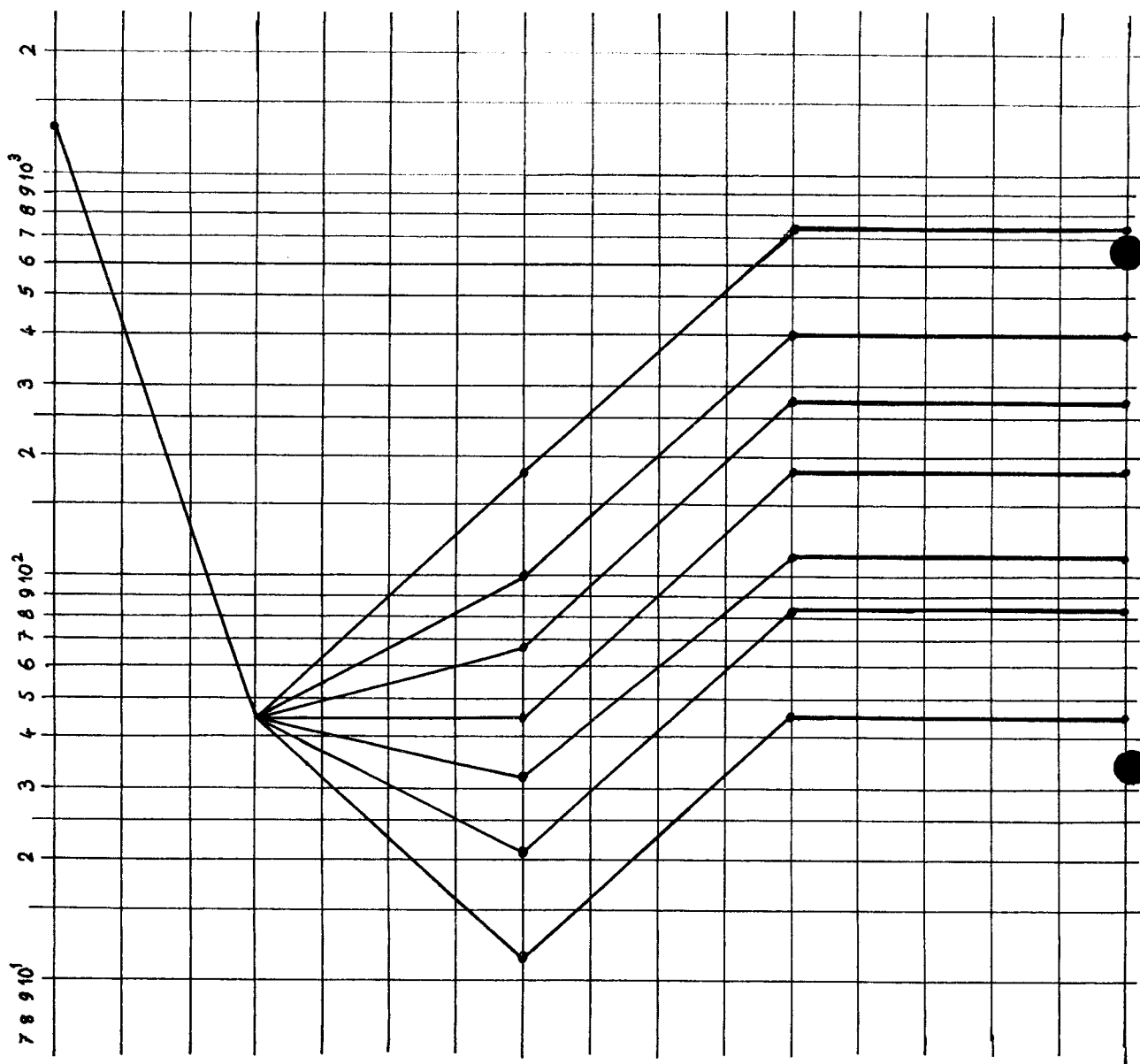
$$n_{max} = \frac{30 \cdot 33,2}{3,14} = 318 \text{ [ot/min]}$$

Z toho plyne, že potřebujeme poměr mezi maximálními a minimálními otáčkami

$$\frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{300}{200} = 1,5$$

Při použití stávajících výměnných kol dosáhneme poměru maximálních a minimálních otáček asi 12,5 : 1. To znamená, že tento poměr pro naše účely plně vyhovuje. Při použití motoru o $n = 1360$ ot/min snížíme otáčky šnekovým a třecím převodem, abychom dostali požadovaný rozsah otáček.

Diagram rozdělení otáček viz obr. 14.

Diagram rozdělení otáček

(obr.č. 14)

VŠST Liberec

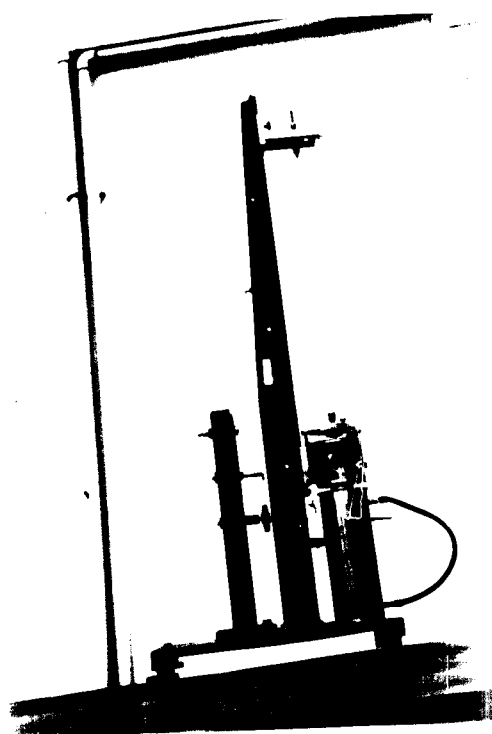
Fakulta strojní

ROTAČNÍ VISKOSIMETR

Katedra: Sklářství a keramiky

DP 12-147/72

List č. 38



VŠST Liberec

Fakulta strojní

ROTAČNÍ VISKOSIMETR

Katedra: Sklářství a keramiky

DP12-147/72

List č. 39



V ý p o č t y

Kontrola motoru :

Vycházíme z kroutícího momentu na vnitřním válci.

$$M_{kl6} = M_{kmax} = K \cdot \varphi_{max} = 48 \cdot 10^4 \cdot 3,14 = 153 \cdot 10^4 \text{ dyn cm}$$

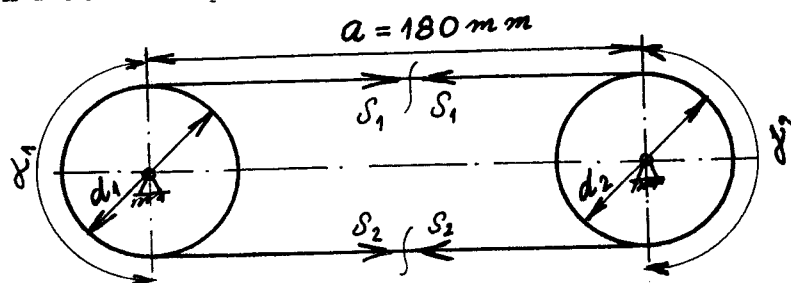
$$153 \cdot 10^4 \text{ dyn cm} = 15,3 \text{ N cm} = 1,56 \text{ kp cm}$$

$$N = \frac{M_{kmax} \cdot n_{max}}{71620 \cdot 1,36} = \frac{1,56 \cdot 318}{71620 \cdot 1,36} = 0,51 \cdot 10^{-2} \text{ kW}$$

$$N = 5,1 \text{ W}$$

Navržený motor má výkon $N = 16 \text{ W}$, což je větší než požadovaný výkon.

Návrh řemenového převodu :



$$\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ$$

(obr. č. 15)

$$P = \frac{M_k}{R_{re} \cdot z} = \frac{1,56}{3,2} = 0,487 \text{ kp}$$

$$\bar{\alpha}_{obl.} = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi = 3,14$$

$$S_1 = P \cdot \frac{m}{m-1} = 0,487 \cdot \frac{2,24}{1,24} = 0,84 \text{ kp}$$

$$S_2 = P \cdot \frac{1}{m-1} = 0,487 \cdot \frac{1}{1,24} = 0,392 \text{ kp}$$

součinitel tření $f = 0,3$

$$m = e^{\bar{\alpha} \cdot f} = e^{3,14 \cdot 0,3} = 2,24$$

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = 0,636 \text{ kp}$$

Střední délka řemene

pro úhel $\alpha < 140^\circ$ vypočítáme podle vzorce

$$l_p = \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_2) + 2 \cdot a \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi(\pi - \alpha)}{180} \cdot \frac{d_1 - d_2}{2}$$

a pro 140°

$$l_p = 2 \cdot a + \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{d_1 + d_2}{4 \cdot a}$$

pro náš případ $\alpha = 180^\circ$ 140°

$$l_p = 2 \cdot 180 + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{64 + 64}{2} = 465 \text{ mm}$$

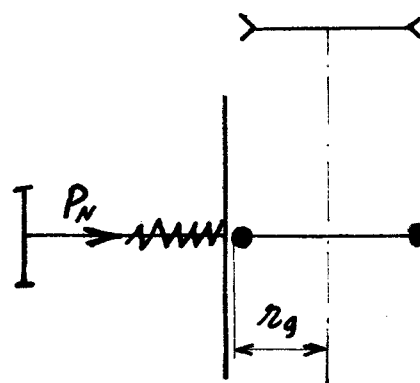
Návrh pro stlačenou pružinu:

$$M_{k16} = M_{k14} = M_9 = 1,56 \text{ kp cm}$$

P_N = síla stlačení pružiny

f = koeficient tření = 0,3

$$M_{k9} = P_N \cdot f \cdot r_9$$



$$P_N = \frac{M_{k9}}{r \cdot f} = \frac{1,56}{1,5 \cdot 0,3} = 3,46 \text{ kp}$$

průměr pružinového drátu:

$$d_p = \sqrt{\frac{8 \cdot P_N \cdot d_s \cdot \rho_e}{\pi \cdot \tau_{dov} \cdot k}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 3,46 \cdot 23 \cdot 1,1}{\pi \cdot 6 \cdot 30}} = 1,11 \text{ mm}$$

zvolíme $\phi d = 1,6 \text{ mm}$

Kontrola ozubených kol:

Kontrolu provádíme na nejmenších kolech

$$m = 2 \text{ mm}$$

$$t_r = \dots m = 6,28 \text{ mm}$$

$$z = 16 \text{ zubů}$$

$$d = m \cdot z = 32 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ mm}$$

materiál : 11 421.00

$$\sigma_{pt} = 47 \text{ kp mm}^{-2}$$

$$\sigma_m \leq \frac{\sigma_{co}}{\mu} \quad \mu \text{ bezpečnost} = 1,25$$

$$\sigma_{co} = 0,4 \cdot \sigma_{pt} = 18,8 \text{ kp mm}^{-2}$$

$$\frac{\sigma_{co}}{\mu} = 15 \text{ kp mm}^{-2}$$

$$\sigma_n = 12 \text{ kp mm}^{-2}$$

$$P_{max} = f_v \cdot y_L \cdot n \cdot b \cdot t_r = 35 \text{ kp}$$

$$f_v = \frac{3}{3 + v} = 1 \quad v = \text{obvodová rychlost m/sec}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,032 \cdot 45}{60} = 0,075 \text{ m s}^{-1}$$

$$y_L = 0,154 - \frac{0,921}{z} = 0,093$$

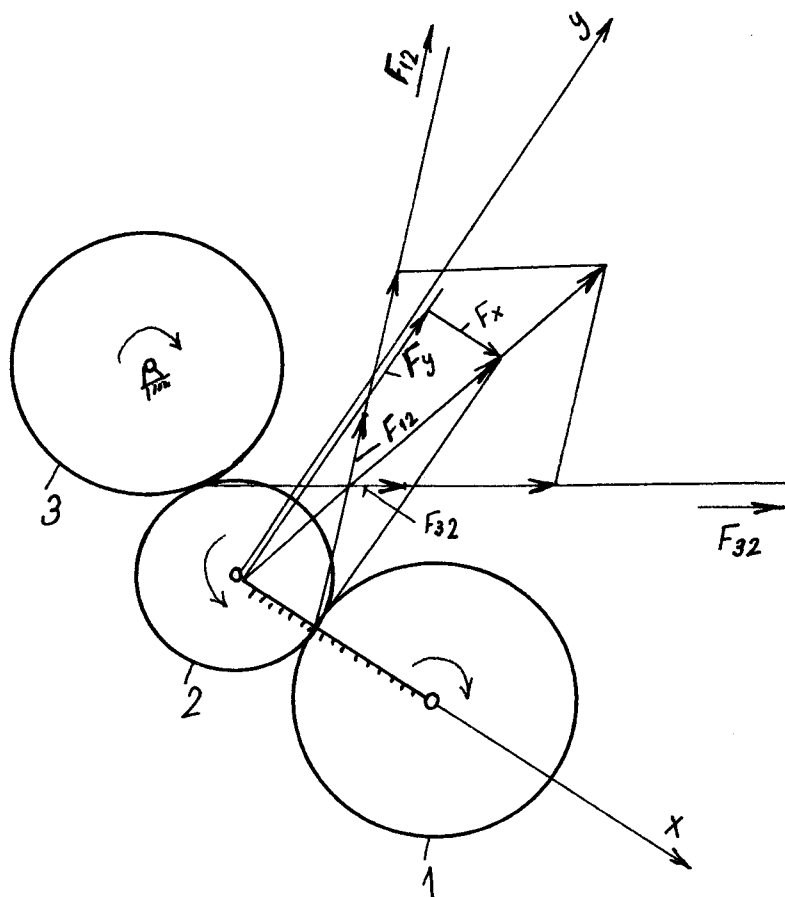
$$M_k = 97400 \cdot \frac{N}{n} = 97400 \cdot \frac{16}{45} = 35 \text{ kp cm}$$

$$P_N = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot \cos \alpha} = 25 \text{ kp}$$

$$P_N < P_{max} \quad \text{ozubení kola nám vyhovuje}$$

Kontrola stálosti záběru:

kontrolu provádíme na ozubení kola č. 2

měřítko: 1 mm = 1 kp

(obr.č. 16)

$$F_{21} = F_{12} = \frac{M_{K1}}{r_1 \cos \alpha} = 30,6 \text{ kp}$$

$$F_{32} = F_{23} = \frac{M_{K2}}{r_2 \cos \alpha} = 27,3 \text{ kp}$$

$$M_{K1} = 97400 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 97400 \frac{26}{50 \cdot 1000} = 50,6 [\text{kp} \cdot \text{cm}]$$

$$M_{K2} = \frac{1}{i} M_{K1} = \frac{12,5}{18,5} \cdot 50,6 = 33,6 [\text{kp} \cdot \text{cm}]$$

$$F_x = 12 \text{ kp}$$

$$F_y = 44 \text{ kp}$$

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 44

8) POSTUP PŘI CEJCHOVÁNÍ VISKOSIMETRU

Cejchování provedeme při konstantní hodnotě rychlostního gradientu. K cejchování použijeme kapaliny o známé viskozitě (např. glicerinu - 8,5 P). Výchylku odečteme když se měřicí kotouč zcela ustálí. Cejchování provedeme stupňovitě pro celý rozsah otáček.

Dostaneme závislost $f(n)$ a z této závislosti určíme konstantu viskosimetru K .

M je úměrné n , a $M = K \cdot n$.

9) PŘÍPRAVA NENEWTONSKÝCH KAPALIN K MĚŘENÍ

Suspense se rozmíchá 5 - 15 min (podle své povahy a hustoty) na elektrické míchačce asi při 1300 ot/min. Pak se ihned přelije do měřicí nádoby a nechá se zestruturovat přímo mezi válci přístroje. Měření pak provedeme po uplynutí určité doby, nutné k vytvoření struktury.

Kdybychom totiž nenechali strukturu vytvořit přímo v přístroji, potom ponořením válců přístroje do suspense dojde k porušení její struktury právě v těch místech, kde budeme vlastnosti suspense měřit.

U suspensí, které časem sedimentují nelze ovšem čekat na úplné vytvoření struktury, ale je nutné najít vhodný kompromis.

VŠST Liberec	ROTAČNÍ VISKOSIMETR	Katedra: Sklářství a keramiky	
Fakulta strojní		DP 12-147/72	List č. 45

10)

Z Á V Ě R

Vzhledem k některým potížím při výrobě (vratný šroub) a značnému rozsahu práce, nebylo možno uvést viskosimetr do takového stavu, aby na něm mohla být prováděna měření.

Po zhotovení viskosimetru bude nutno provést jeho ocejchování a vyzkoušet vhodnou zapisovací aparaturu.

Avšak vzhledem k tomu, že obdobný viskosimetr je používán ve Společné laboratoři VŠCHT a ČSAV na VŠCHT v Praze, dá se předpokládat, že mnou navržená úprava viskosimetru bude po odzkoušení vyhovovat při měření viskosity keramických licích kalů.

1	kolík 2h6 x 20	tyč	11500						84
1	hřídel 25 x 70	ČSN 42651012	11340.0						83
1	plech 8x52x1000	ČSN 42530121	10340						82
1	řemen		kůže						81
1	pero 3x3x20	ČSN 022562							80
1	pero 3x3x16	ČSN 022562							79
1	poj.kroužek 8	ČSN 022930							78
1	podložka 5,3	ČSN 021702							77
1	šnek	výkovek	11421.0						76
1	podložka 3x100x	ČSN 42530121							75
1	podložka 3x65x75	plech ČSN 42530121							74
4	šroub M6 x 15	ČSN 021101							73
4	podložka 6,4	ČSN 021702							72
1	epojka 3x25x70	plech ČSN 42530121	10340						71
1	motor								70
2	ozub. kola	výkovek	11421.0						69
1	šroub M4 x 8	ČSN 021146							68
1	deska 20x25x30	odlitek	423223						67
1	deska 20x40x50	odlitek	423223						66
3	podložka 32x8	plech ČSN 42530121							65
3	stav.šroub 15x65	tyč ČSN 42651012	11340.0						64
1	stojan								63
1	třecí válec		dřevo						62
1	válec 32x42x230	odlitek	423223						61
1	svářenec		11500						60
1	svářenec		11500						59

SAIDELCHAKI

ROTAČNÍ
VISKOSIMETR

DP-12-147/72-0000

1	víko 35x95x12	odlitek						58
1	bubínek 69x75	odlitek						57
2	pouzdro 45x55x10	odlitek	423223					56
2	ložisko 6009	ČSN 024633						55
1	víko 20x95x15	odlitek						54
1	svěcenec 25x30x140		11340					53
1	plech 10x50x85	ČSN 425310.21	10340					52
1	mátice M3	ČSN 021401						51
2	plech 5x10x80	ČSN 425310.21	10340					50
1	plech 15x65x65	ČSN 425310.11	10340					49
1	svěcenec		10340					48
30	šroub M5 x 5	ČSN 021131						47
1	šroub M4 x 10		11600					46
1	závit 6 20 x 60		11600					45
24	šroub M3 x 5	ČSN 021145						44
2	mátice M4 x 12		11600					43
2	pouzdro 8x20x18		423223				DP 12-147/72-0011	42
2	mátice M8 x 13		11600					41
1	šroub M3 x 5		11600					40
2	mátice M 35		11500					39
1	kotouč 95x25		11500					38
2	pouzdro 35x50x70		423182					37
1	řemenice 45x70x12 odlitek		422415					36
2	špiček		10340					35
2	pouzdro 8x30x20 odlitek		423223				DP 12-147/72-0007	34
1	kroužek 22 x30	ČSN 622200	pryz					33
1	svěcenec		11500				DP 12-147/72-0006	32
1	kolík 5 x 13		11500				DP 12-147/72-0013	31
1	pružina 6,2x4x10	ČSN 026003	13250					30

SAIDEL CHAKI

ROTAČNÍ
VISKOSIMETR

DP-12-147/72-0000

1	šroub M6 x 10		11321				DP12-147/72-0006	29
1	šroub M6 x 13		11321					28
2	matic M6	ČSN 021401						27
6	šroub M4 x 10	ČSN 021131						26
2	pouzdro 8x20x12	odlitek	423182					25
2	závit M4 x 45							24
1	tyč ø 20x135		423223				DP12-147/72-0008	23
2	víko 5 x 45	odlitek						22
1	hrdel ø 15x145	426510.12	11600				DP12-147/72-0009	21
2	matice M6	ČSN 021401						20
1	řemenice 5x70x12	odlitek						19
2	pouzdro 7x15x12	odlitek	423182					18
1	svářenec		11500				DP12-147/72-0003	17
1	svářenec		11500				DP12-147/72-0004	16
1	svářenec		11500				DP12-147/72-0005	15
1	pružina ø 1,6x23x25	ČSN 026003	13250					14
1	ozub. kola	výkovek	11421.0					13
1	kroužek 18x35x18	odlitek					DP12-147/72-0012	12
1	šroub M3 x 4	ČSN 021131						11
1	ozub. kola	výkovek	11421.0					10
2	šroub M4 x 8		11500					9
4	pouzdro 10x14x7	odlitek	423182					8
1	tyč 10 x 95	ČSN 426510.12	11340					7
1	šnek. kolo	odlitek	423145					6
10	šroub M6 x 20	ČSN 021101						5
10	podložka ø 8,5	ČSN 021702.11	11423					4
1	plech 12x240x44	ČSN 425310.11	10340				DP12-147/72-0001	3
1	ozub. kola	výkovek	11421.0					2

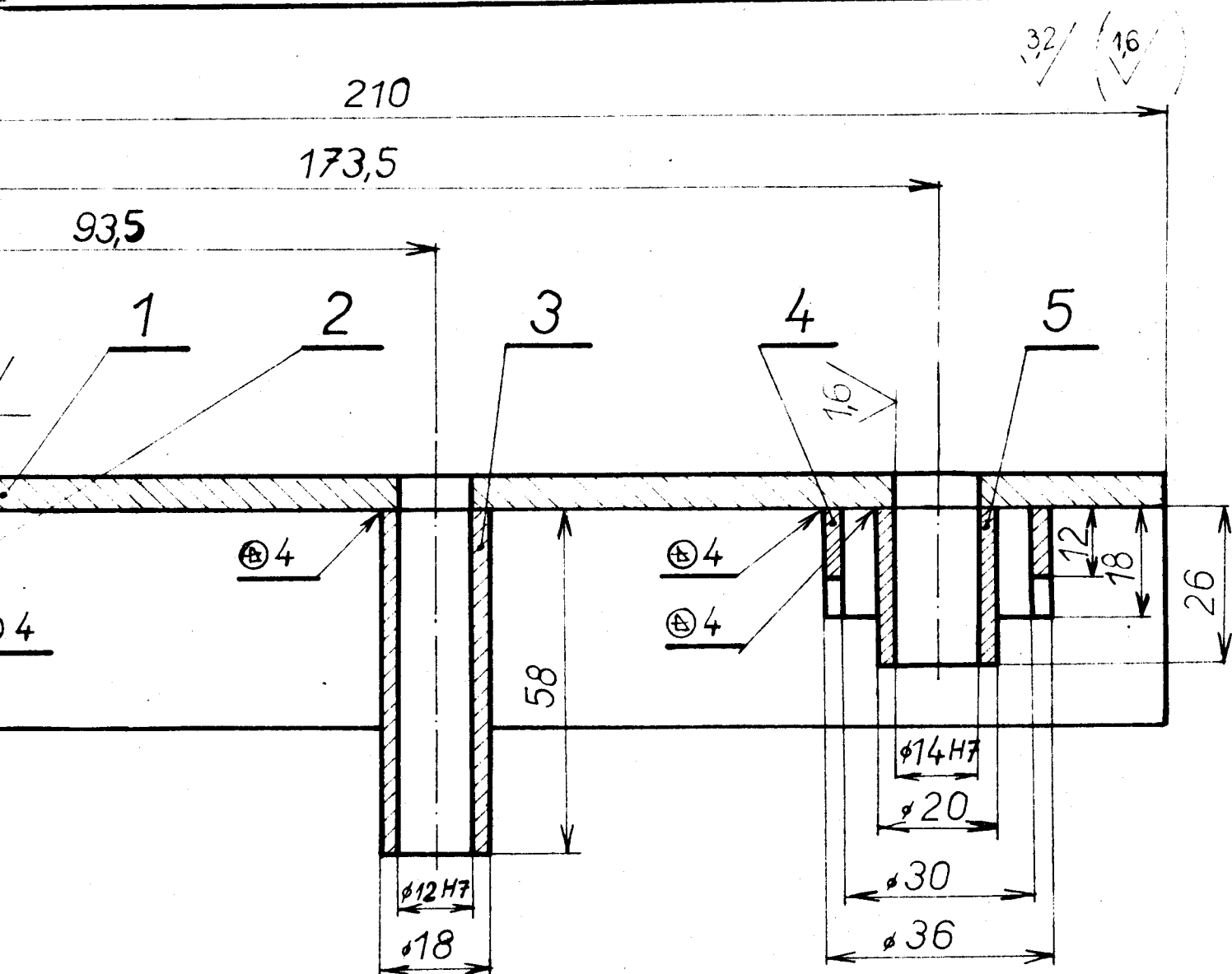
1 motor N 16 W

1

SAID EL CHAKI

ROTAČNÍ
VISKOSIMETR

DP-12-147/72-0000



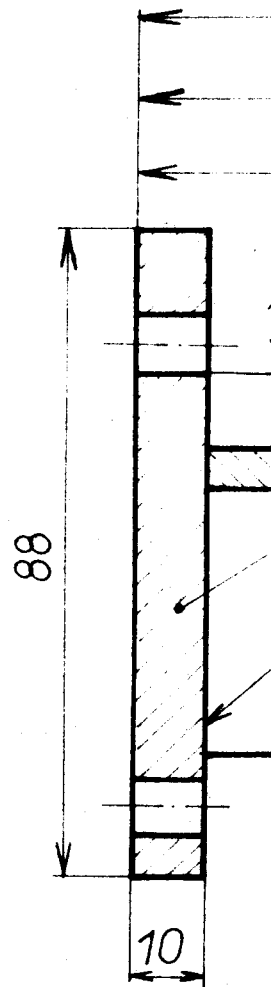
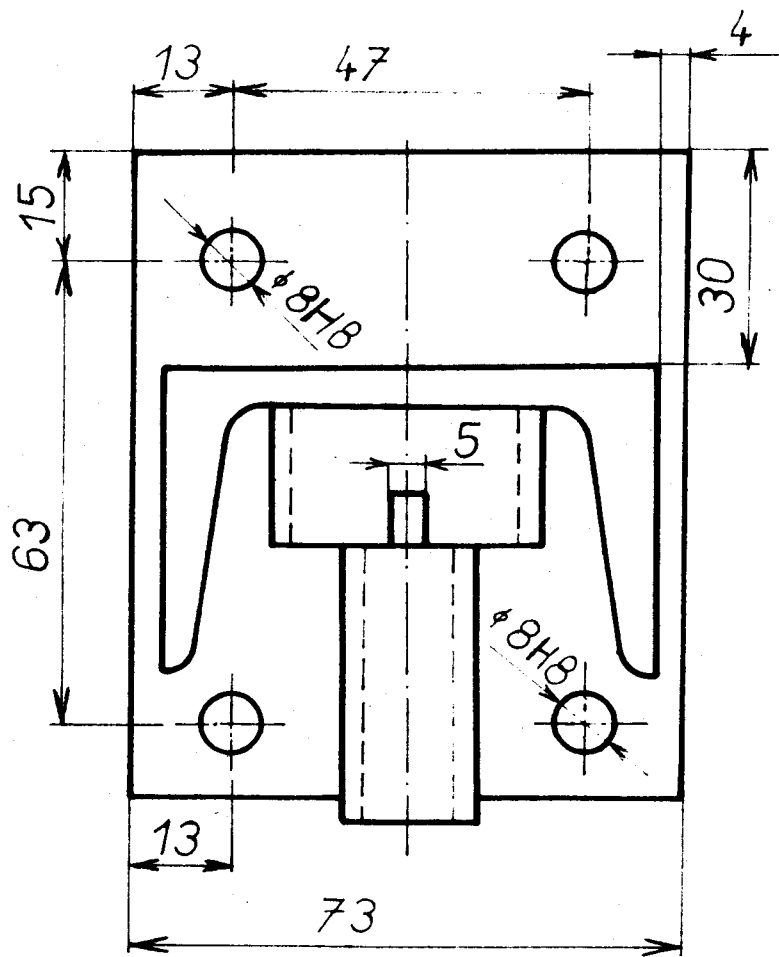
1	TRUBKA 38 x 20	ČSN 42 5715	11 353.1						5
1	TRUBKA 22 x 30	ČSN 42 5715	11 353.1						4
1	TRUBKA 22 x 60	ČSN 42 5715	11 353.1						3
1	PLECH 10 x 75 x 90	ČSN 42 5310.11	10 340						2
1	TYČ U 6 1/2 x 200	ČSN 42 0076	10 373.0						1

29.6.972 SAID EL CHAKI

1:1

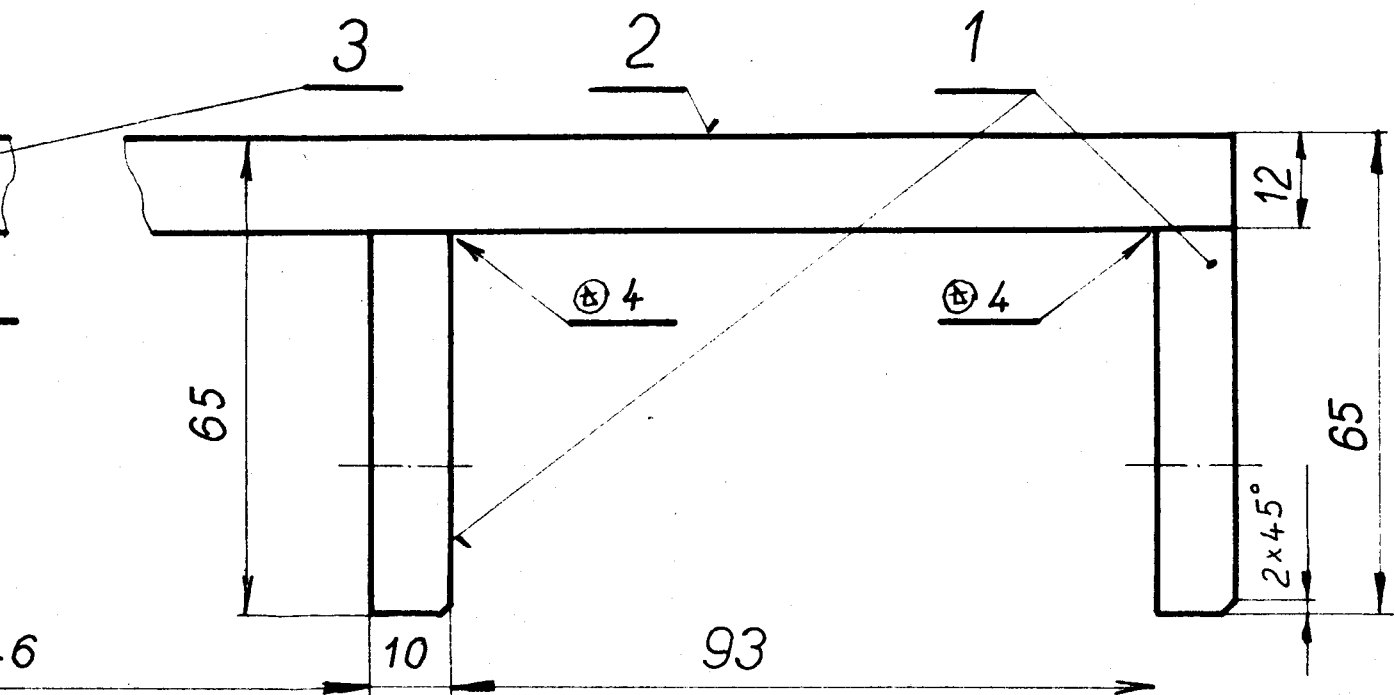
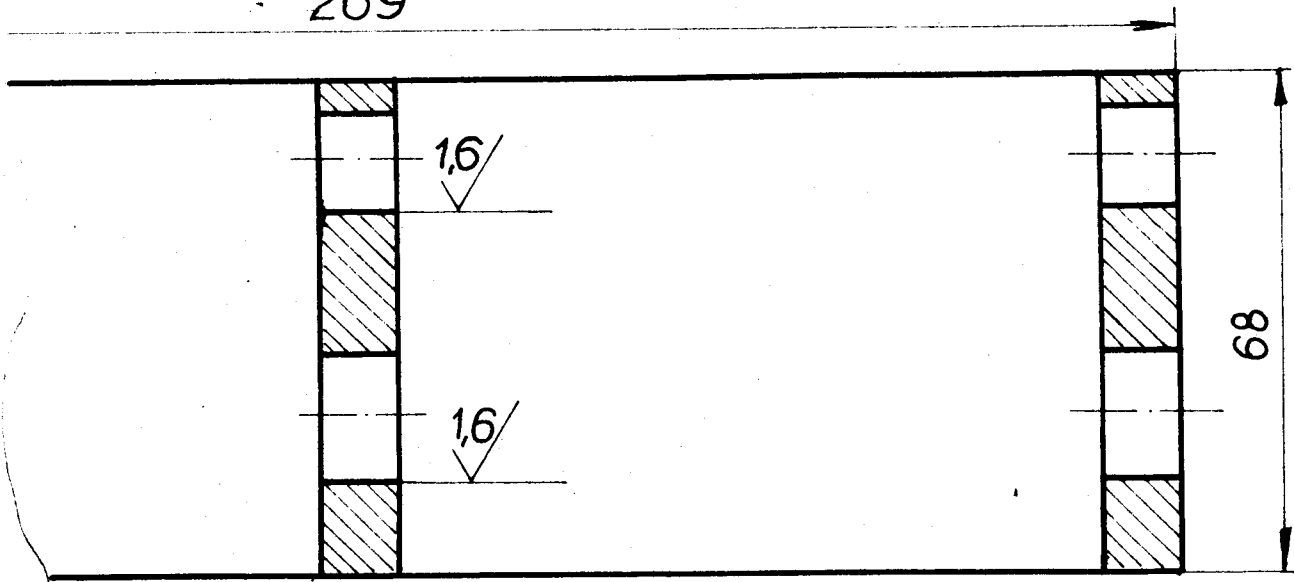
SVARENEC

DP-12-147/72-0002



269

32/16



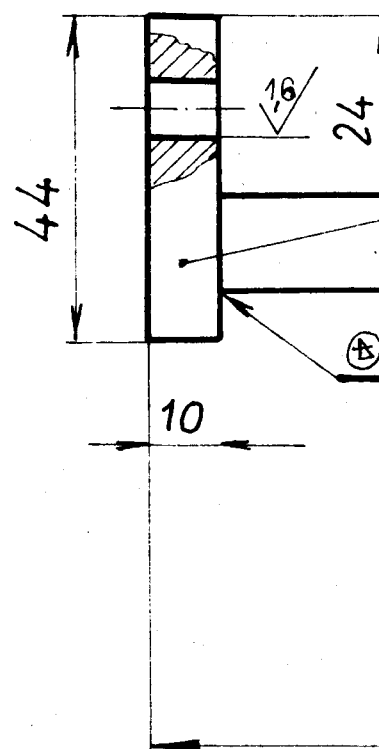
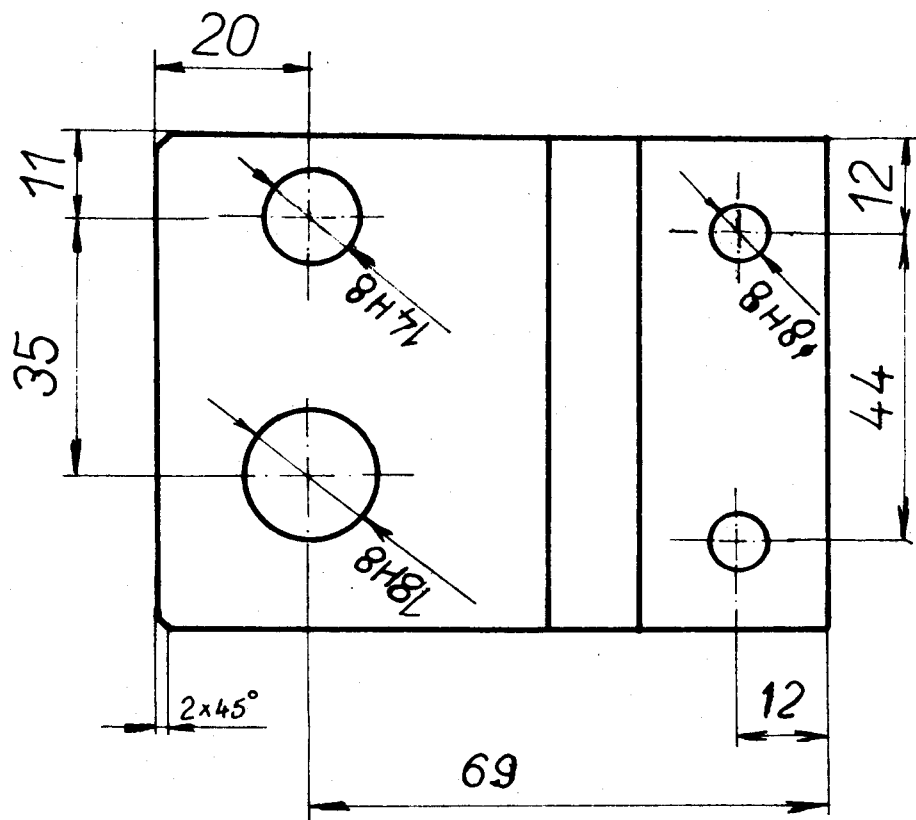
1	PLECH 10x47x70	ČSN 425310.11	10 340								3
1	PLECH 12x70x265	ČSN 425310.11	10 340								2
2	PLECH 10x60x70	ČSN 425310.11	10 340								1

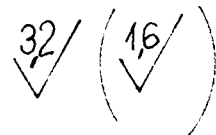
29.6.972 SAID EL CHAKI

1:1

SVARENEC

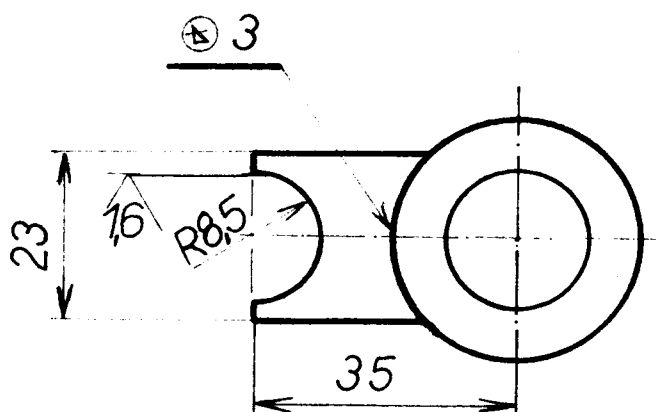
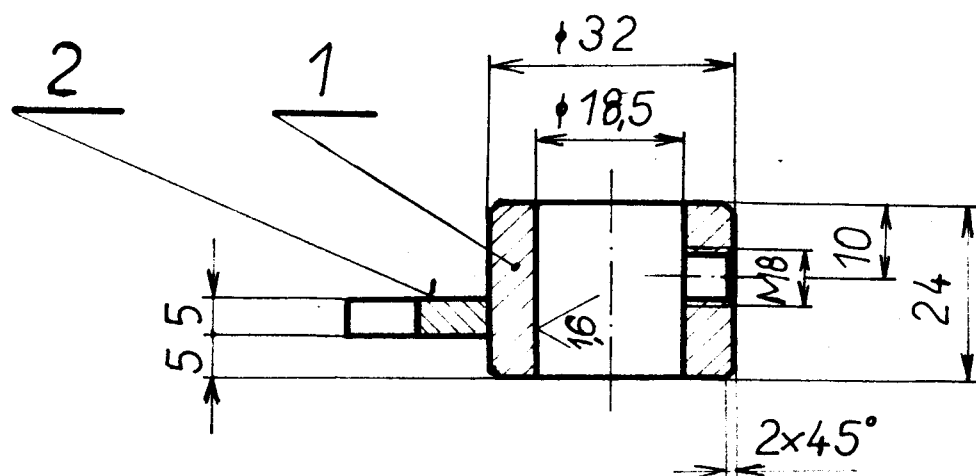
DP-12-147/72-0003





DP-12-147/72-0004

32/ (16/)



1	PLECH 6 30 25	CSN 4253 10 11	10 340							2
1	POUZRO 34 27	ODLITEK	11500							1

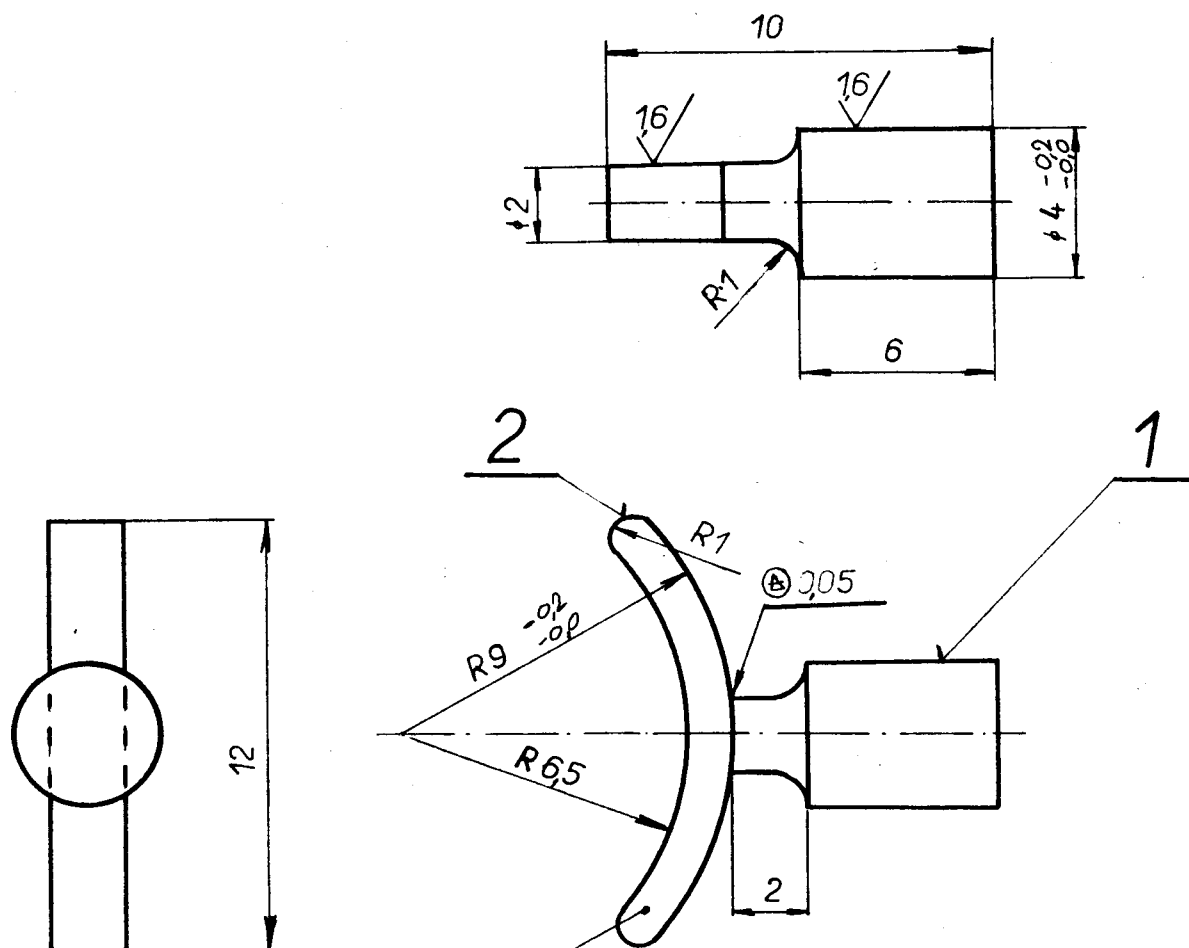
29 6 972 SAID EL CHAKI

1:1

SVÁŘENEC

DP-12-147/72-0005

1,6/



LÍCOVAT S POSICÍ Č. 23

1	TYČ $\varnothing 3 \times 20$		11321						2
1	TYČ $\varnothing 6 \times 10$		11321						1

2-7-972

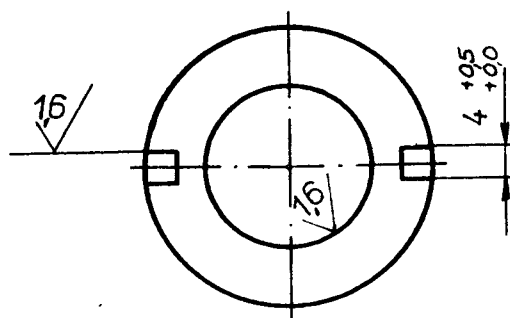
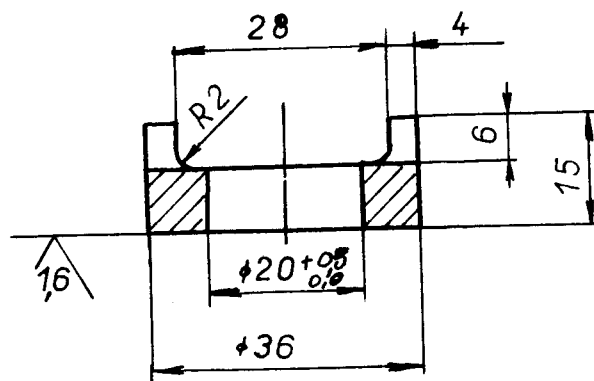
SAID EL CHAKI

5:1

KOLÍK

DP-12-147/72-0013

(1,6/) 3,2/

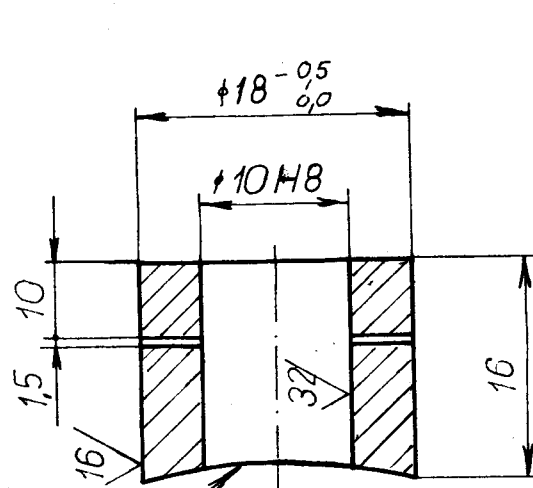


2-7-972

SAID EL CHAKI

1:1

POUZDRO DP-12-147/72-0012



16/ (32/ 16/)

VYPROUSIT PO MONTÁŽI S POZICÍ Č. 23

30-6-972

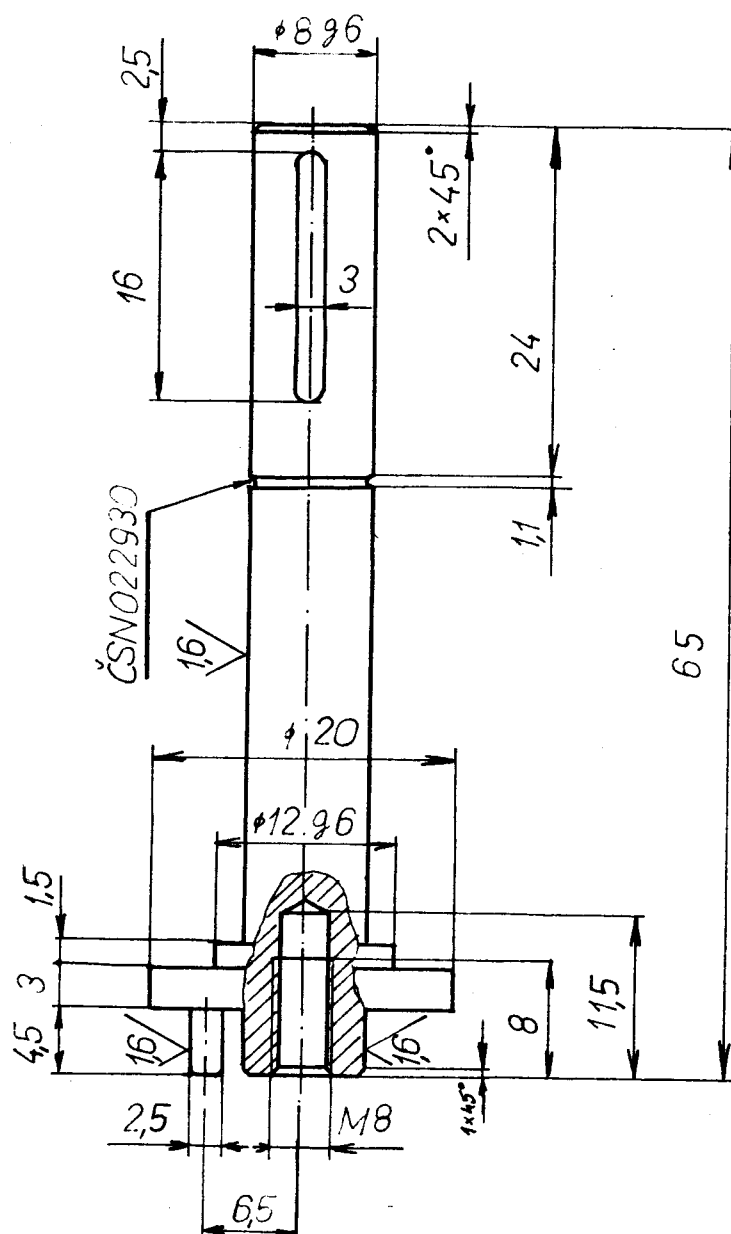
SAID EL CHAKI

2:1

POUZDRO

DP-12-147/72-0011

1,6/ (1,6/)

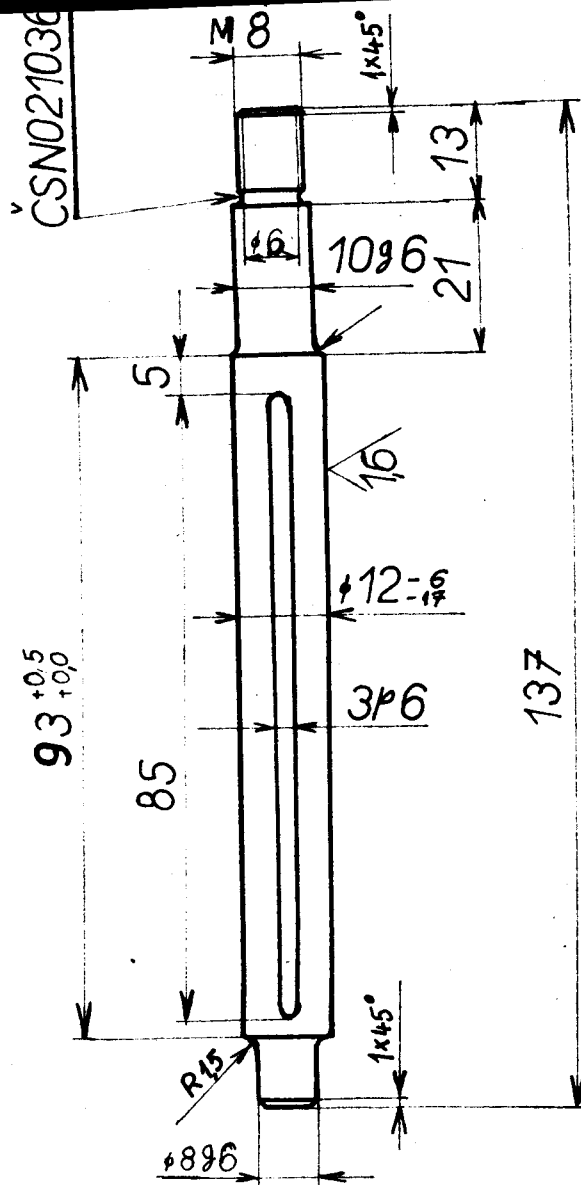


30.6.972 SAID EL CHAKI

2:1

HRÍDEL

DP-12-147/72-0010



29.6.972 SAID EL CHAKI

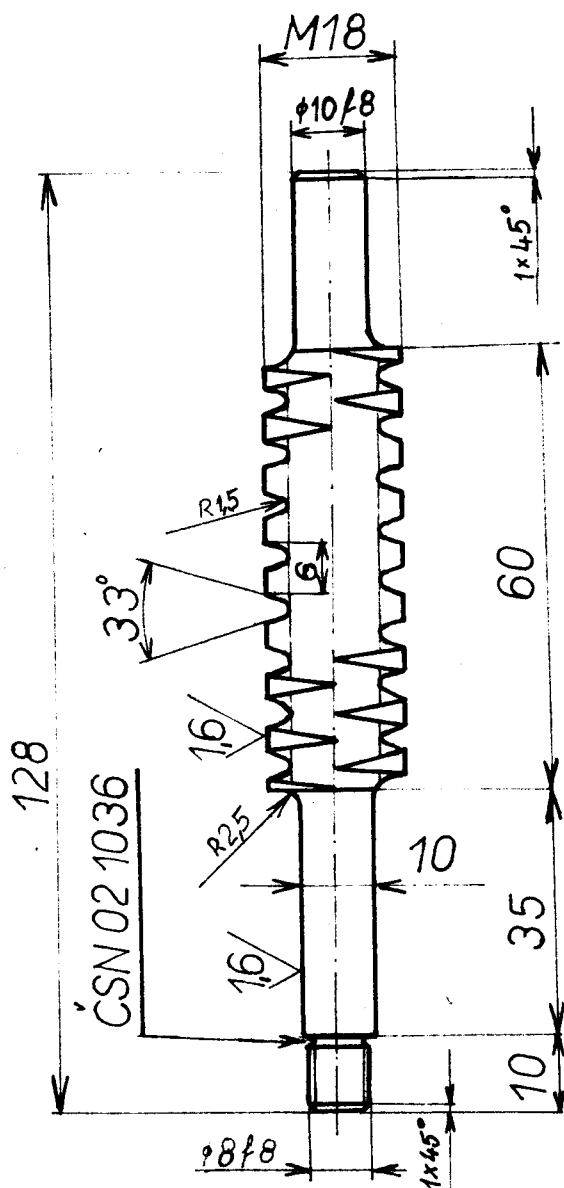
1:1

HŘÍDEL

DP-12-147/72-0009

16/

(16/)



PŘÍ ŘEZÁNÍ LEVÉHO ZAVÍTU OTOČET O 180°

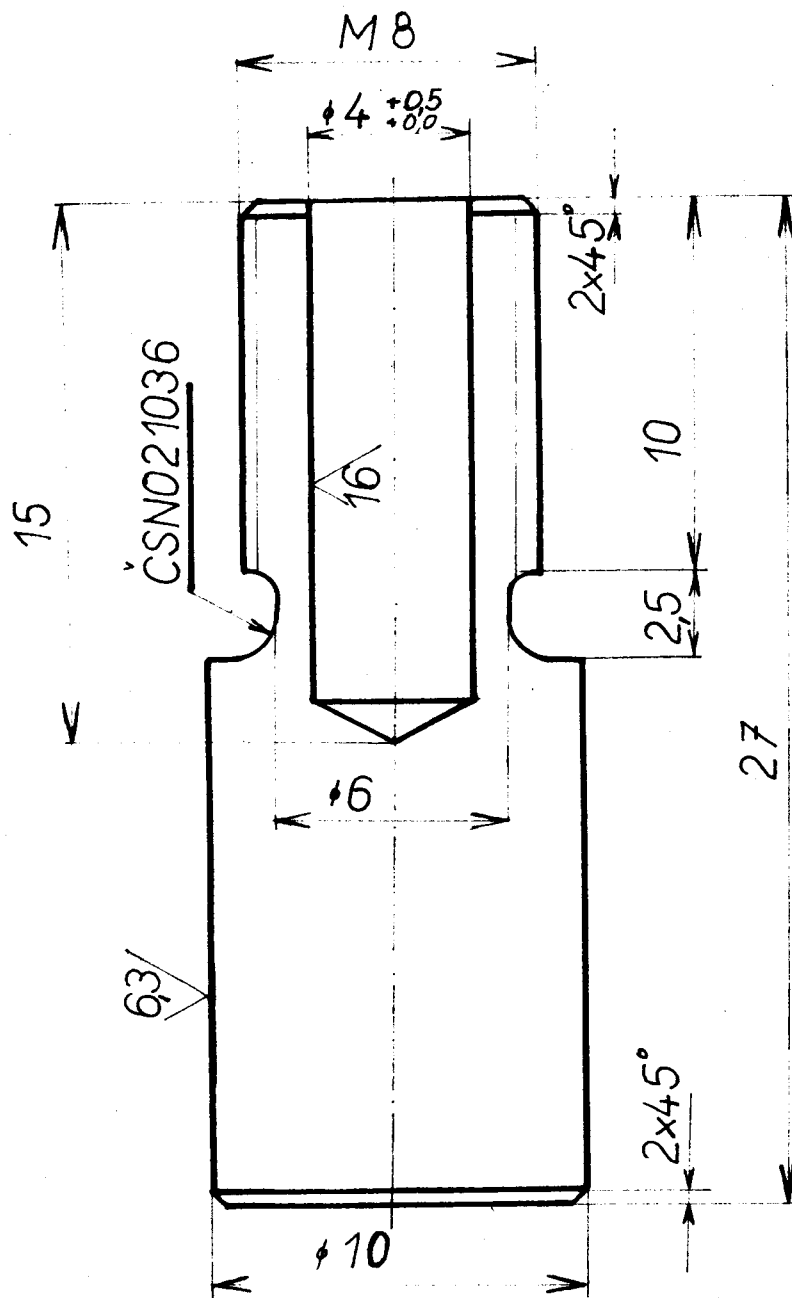
29.6.972 SAID EL CHAKI

1:1

VRATNÍ ŠROUB

DP-12-147/72-0008

($\sqrt{63}$ $\sqrt{16}$)

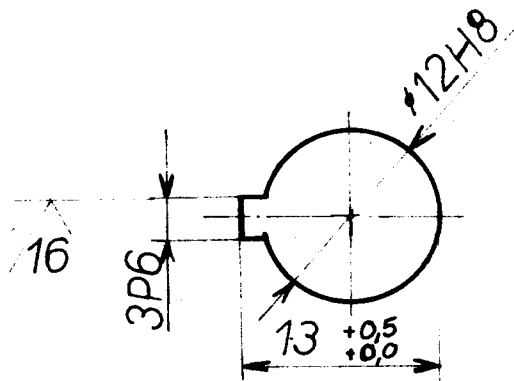
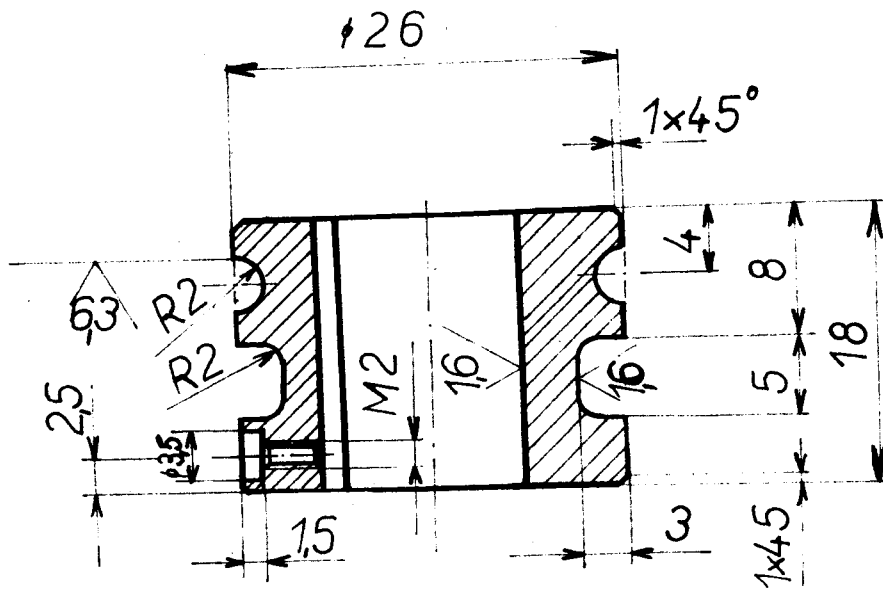


5:1

ŠROUB

DP-12-147 / 72-0006

32/ (63/16/)



2:1

POUZDRO

DP-12-147/72-0007

1	PLECH 12x70x75	ČSN 425310	10 340						3
1	DESKA 40x40x75	ČSN 029021							2
1	PLECH 12x240x445	ČSN 425310	10 340						1

27.6.972 SAID EL CHAKI

1:1

STŮL

1 DP-12-147/72-0001

236

221

75 ± 0.2

64

15

$3 \times M16$

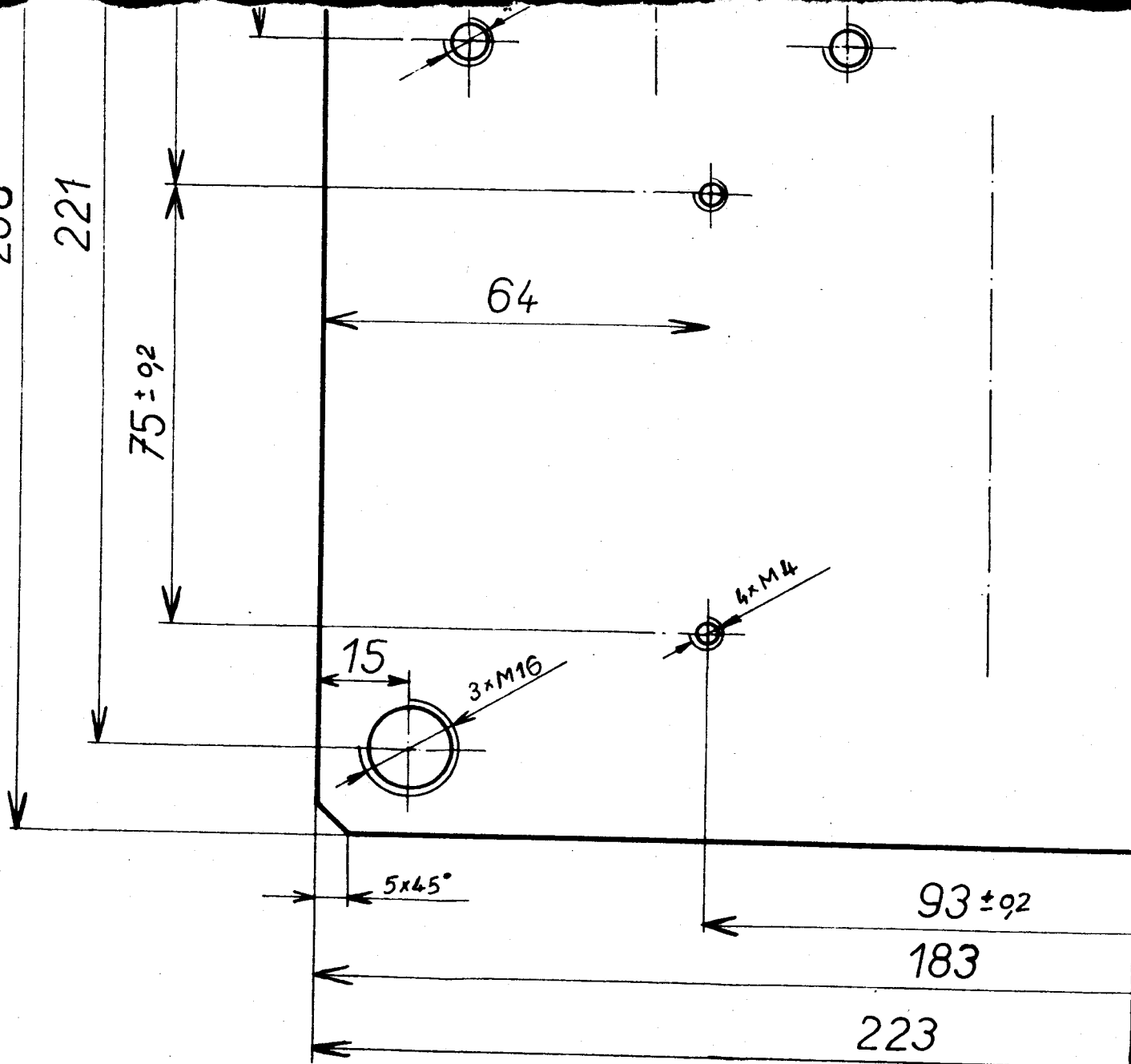
$4 \times M4$

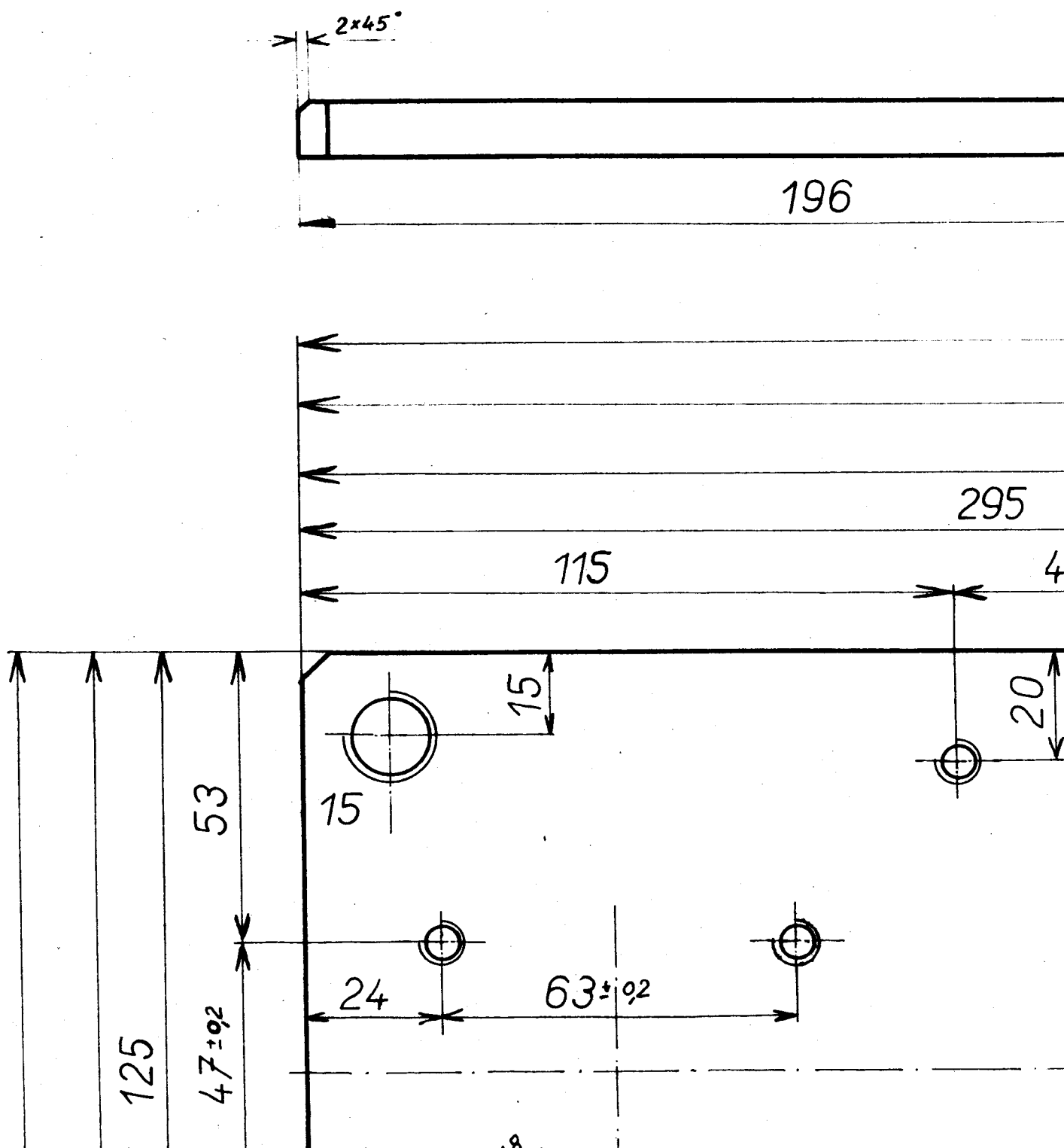
$5 \times 45^\circ$

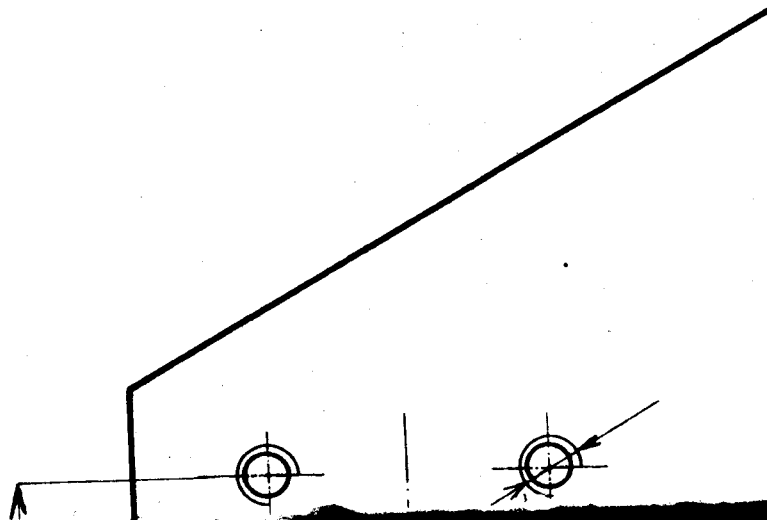
93 ± 0.2

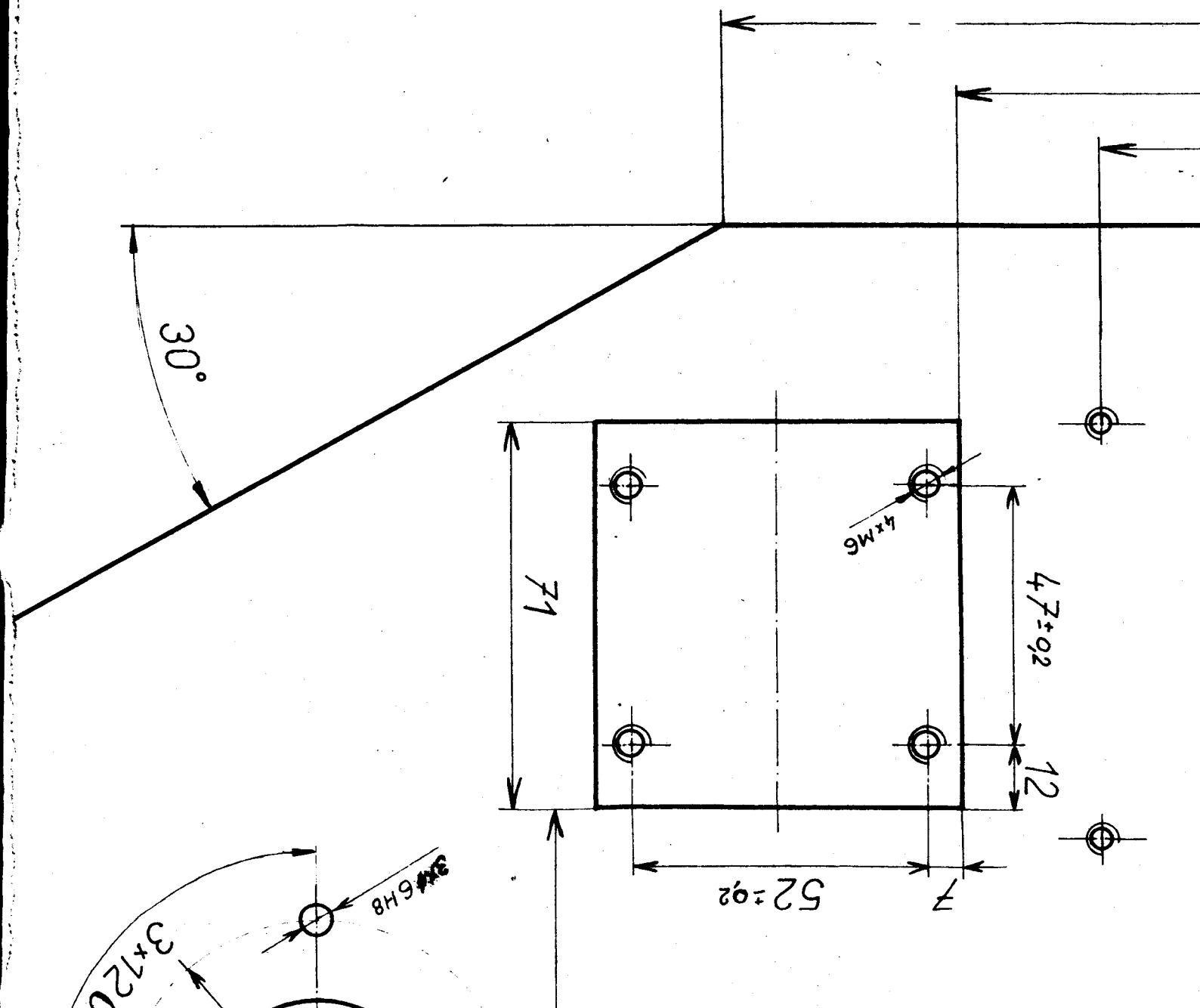
183

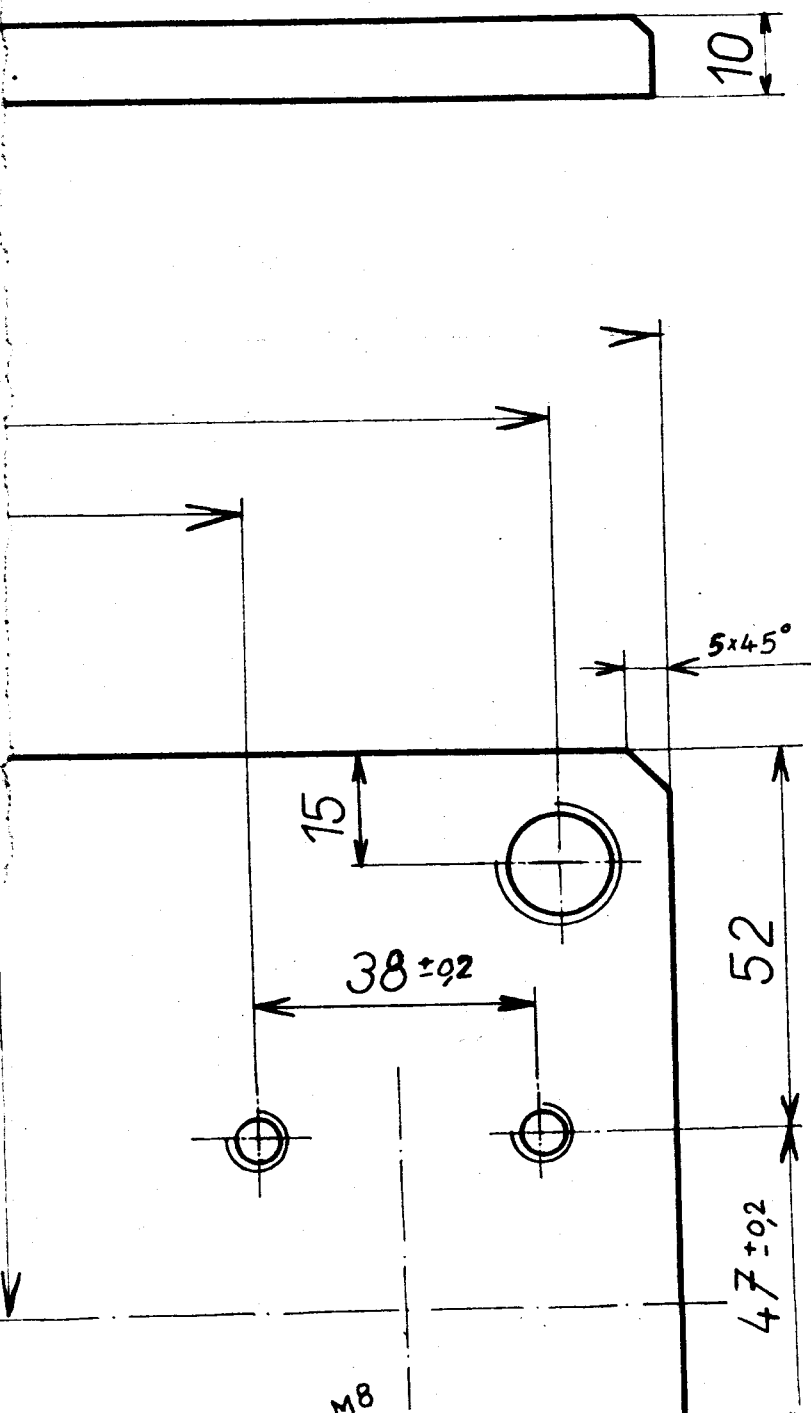
223

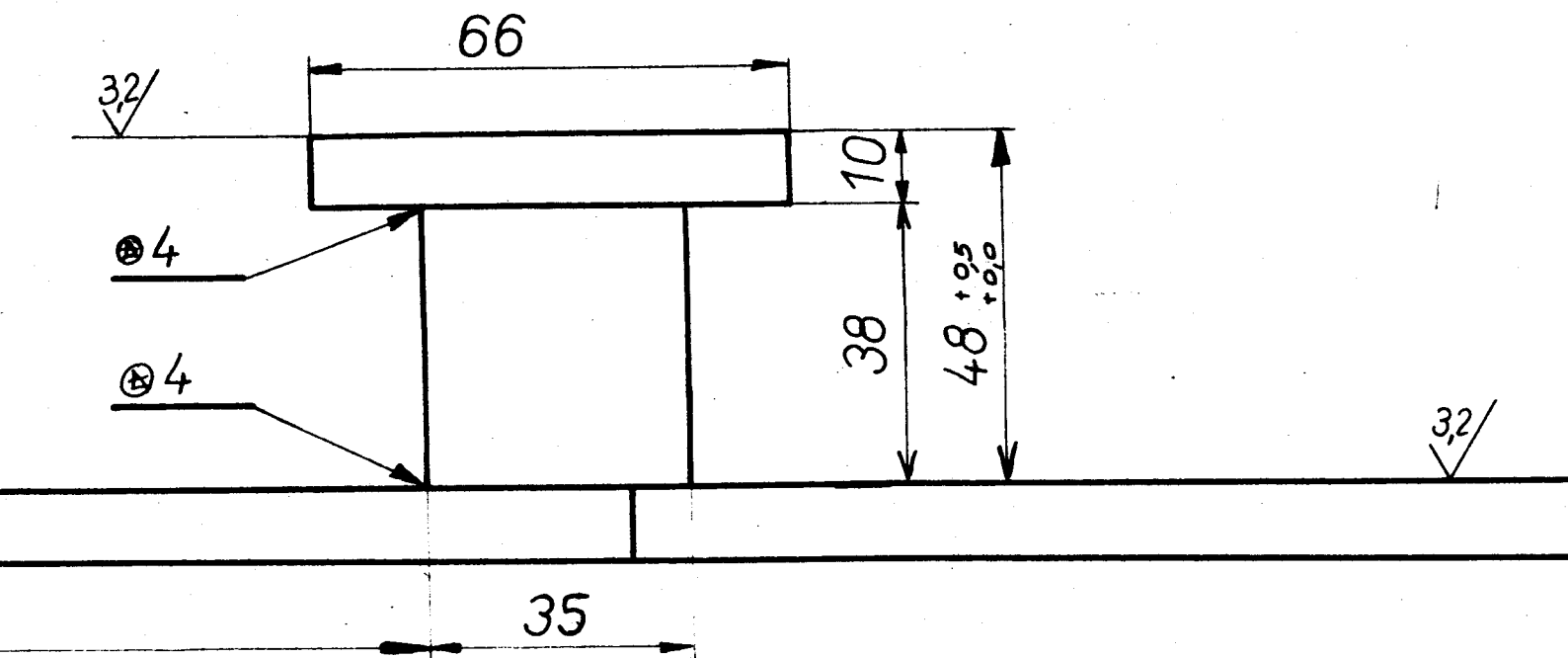












440

435

385

