

Vysoká škola: strojní a textilní Liberec Katedra: technické mechaniky
Fakulta: strojní Školní rok: 1962/63

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro Luďvíka H a l a d e j e
obor 04205 zaměření Stavba mechanismů a výrobních strojů

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 thematu: Karuselový automat pro čerpání termolahví

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte celkovou disposici čerpacího karuselu a proveďte základní pevnostní výpočty (2 výkresy A 0)

Navrhněte pneumatický event. hydraulický pohon otáčecího systému stroje. U systému vypracujte kinematické a dynamické řešení. (1 výkres A 0)

Proveďte běžný tepelný výpočet ohřívacího tunelu na termolahve, který je součástí stroje.

Nakreslete detailní výkresy součástek pro uchopení termolahve na stroji a připojení kapilár k vývěvám.

Proveďte ekonomické zhodnocení navrženého automatu.

V 83/1962 S

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy: **minimálně 12 stran formátu A4**

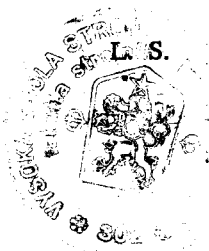
Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomní práce: **Ing. Pavel Brouček**

Konsultanti: **Ing. Fialka**

Datum zahájení diplomní práce: **24.9.1962**

Datum odevzdání diplomní práce: **3.11.1962**



v. z. Charvát

Vedoucí katedry

Maizer

Děkan

v **Liberci** dne **24.9.** 19**62**

KARUSELOVÝ AUTOMAT PRO
ČERPÁNÍ TERMOLÁHVÍ.

Z a d á n í .

Mým úkolem bylo navrhnout celkovou dispozici čerpacího karuselu na termoláhve s pohonem pneumatickým nebo hydraulickým, dále provést tepelný výpočet ohřívacího tunelu a nakreslit detailní výkresy součástí pro uchopení termoláhve na stroji a připojení kapiláry k vývěvám. Celý automat jsem měl zhodnotiti po stránce ekonomické. Požadovaná kapacita karuselu byla stanovena cca 1.600 vyčerpaných termoláhví za 8 hodin.

18.11.1962

M. Haládek

VŠST LIBEREC fakulta strojní		Datum 3.XI.1962	Str. 2
<u>Ú v o d :</u> Téma diplomové práce bylo zadáno s. Ing.J. Manou, vedoucím závodu Vsetín n.p. Osvětlovací sklo Valašské Meziříčí, po dohodě s vedoucím diplomové práce s.Ing. P. Broučkem z Vysoké školy strojní a textilní v Liberci. Důvody, které vedly k zadání tohoto tématu byly v podstatě tyto: 1. V perspektivách závodu je zavést linkovou výrobu termoláhvi, pro kterou se dosavadní způsob čerpání termoláhvi naprosto nehodí. 2. Snížení operační doby pro čerpání termoláhve. 3. Odstranění nebezpečí otravy vznikající při obsluze difuzních rtuťových vývěv. 4. Úspora pracovních sil a tím i zmenšení výrobních nákladů na 1 termoláhev. 5. Úsporu pracovního prostoru v hale. Nutno předem podotknouti, že n.p. Osvětlovací sklo, závod Vsetín mi umožnil v rámci dosažitelnosti získání maxima znalostí o této problematice, za což v první řadě vděčím vedoucímu závodu s.Ing.Manovi, který projevoval o mou práci velký zájem.			
Konstrukce mechanismů a pracovních strojů		Jméno:	

VŠST LIBEREC fakulta strojní		Datum 3.XI.1962	Str. 3
---------------------------------	--	--------------------	-----------

Z h o d n o c e n í č e r p a c í t e c h - n i k y v Č S S R a v z a h r a n i č í .

U nás v republice se termoláhve vyrábějí jedině v n.p. Osvětlovací sklo, závod Vsetín a na Slovensku Clara v Utekáči. Čerpací karusely nejsou v těchto závodech zavedeny. Byly prováděny zkoušky s karuselem belgické výroby, tento se však neosvědčil a byl z provozu vyřazen. V n.p. Tesla, Rožnov používají na vyčerpávání vzduchu z elektronek sice karusely, ale úplně odlišného provedení, daného malým množstvím čerpaného vzduchu, což umožňuje, aby každá pozice měla vlastní vývěvu, která se otáčí spolu se stolem. Čerpací karusely podobného typu, jako jsem zvolil já, se nikdy u nás-pokud je mi známo-nevyráběly, což znamená, ~~což znamená~~, že neexistuje ani žádná dokumentace. Rovněž speciální literatura není žádná v jazyce českém, ruském, anglickém nebo německém, jak mi bylo zjištěno Informační službou v Praze.

K dispozici jsem měl cestovní zprávu s.Vlasáka z n.p. Osvětlovací sklo, Valašské Meziříčí, který navštívil závod na výrobu izolačních láhví v Budapešti /Höpalack - es üvegipari Vállalat/. Na základě této cestovní zprávy ^(čerpaní) v rozsahu asi 5 listů jsem získal představu o technické úrovni termoláhví v zahraničí.

Kapacita závodu je 4500-5000 láhví za 2 směny. Před čerpáním se láhve suší v pojízdných skříňových pecích, v nichž je na šikmých stojanech umístěno najednou 100 láhví. Po naplnění stojanů se skříň uzavře, připojí se přívod plynu a láhve se vysuší hořáky umístěnými u dna pece při teplotě 200°C. Skříní je v provozu několik, zpravidla 1-2 hoří, jedna se plní a jedna vyprazdňuje. Pro čerpání používají karusely fy.Tungsram. Operační čas 1 kusu je 2,5 minuty, praktický výkon 1500 láhví za 8 hodin. Střídavě jsou v provozu 3 karusely, z nichž 2 mají starší čerpací zařízení, skládající se z olejových rotačních pump a difuzních rtuťových pump. U jednoho karuselu je

Konstrukce mechanismů a pracovních strojů		Jméno:
--	--	--------

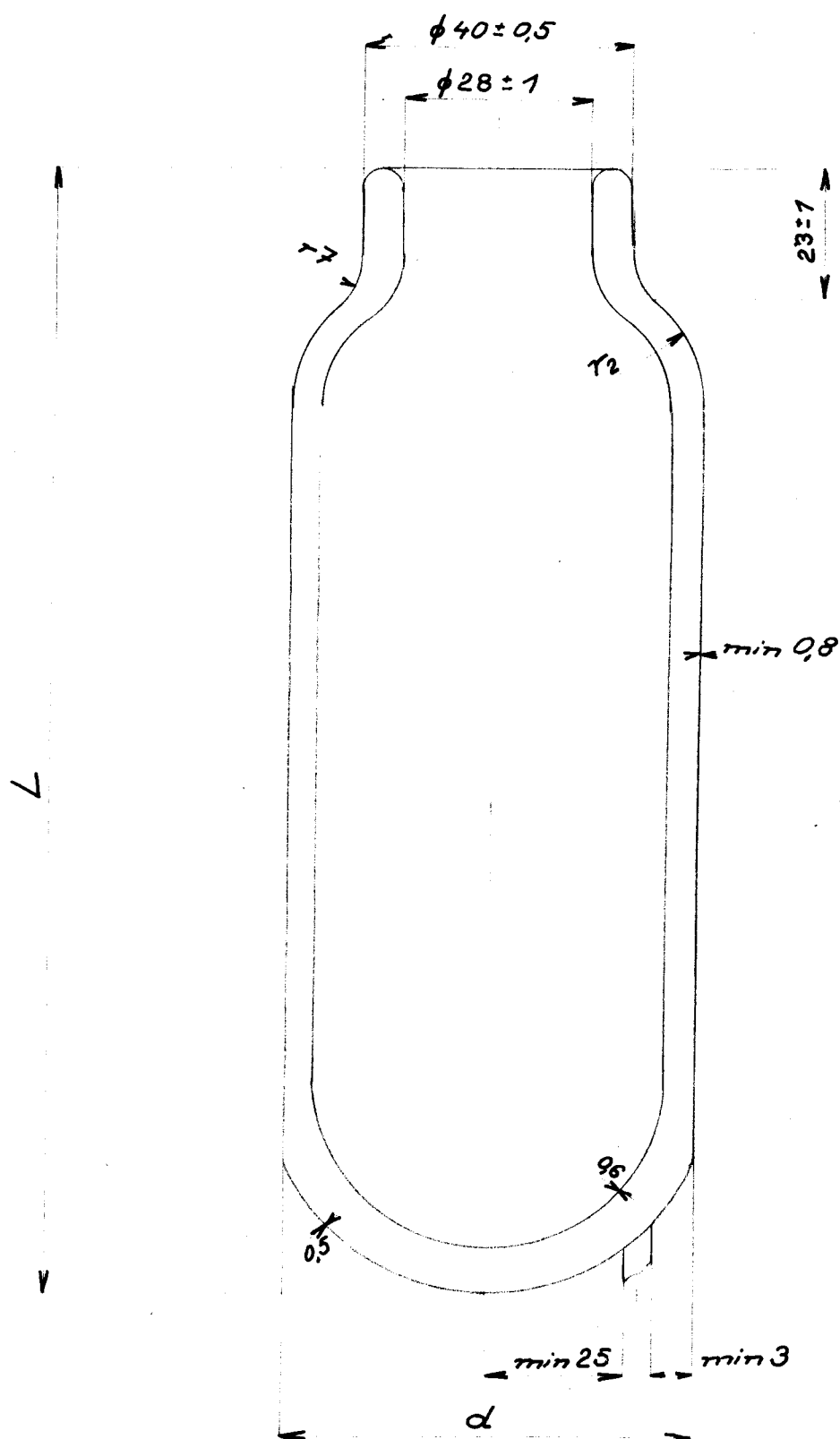
použito jako konečný stupeň vakuování olejové rotační čerpadlo BP500 o výkonu $5 \text{ m}^3/\text{hod.}$ Pro náplň používají mazací olej o viskozitě 5°Englera při teplotě 100°C , který před použitím převařují při teplotě 110°C . Při vakuování zahřívají láhve na teplotu $300^\circ - 350^\circ \text{C}$ v tunelu na karuselu. Rotační část čerpacího karuselu je utěsněna dvojnásobným labyrintem na dosedací ploše nosného kotouče, do kterého je přiváděn tlakový olej.

Při konstrukci jsem se držel těchto údajů, protože nikdo u nás nemá praktické zkušenosti z konstrukce čerpacích karuselů, jak mi bylo sděleno ve Vývojové konstrukci sklářských strojů v Praze, n.p. Povážské strojírny. Jako poháněcího zařízení karuselu byl použit čtyřčlenný pneumatický mechanismus, principiálně podobný mechanismu pohonu karuselu na navařování krků televizních buněk, který je v provozu v AVTB Valašské Meziříčí.

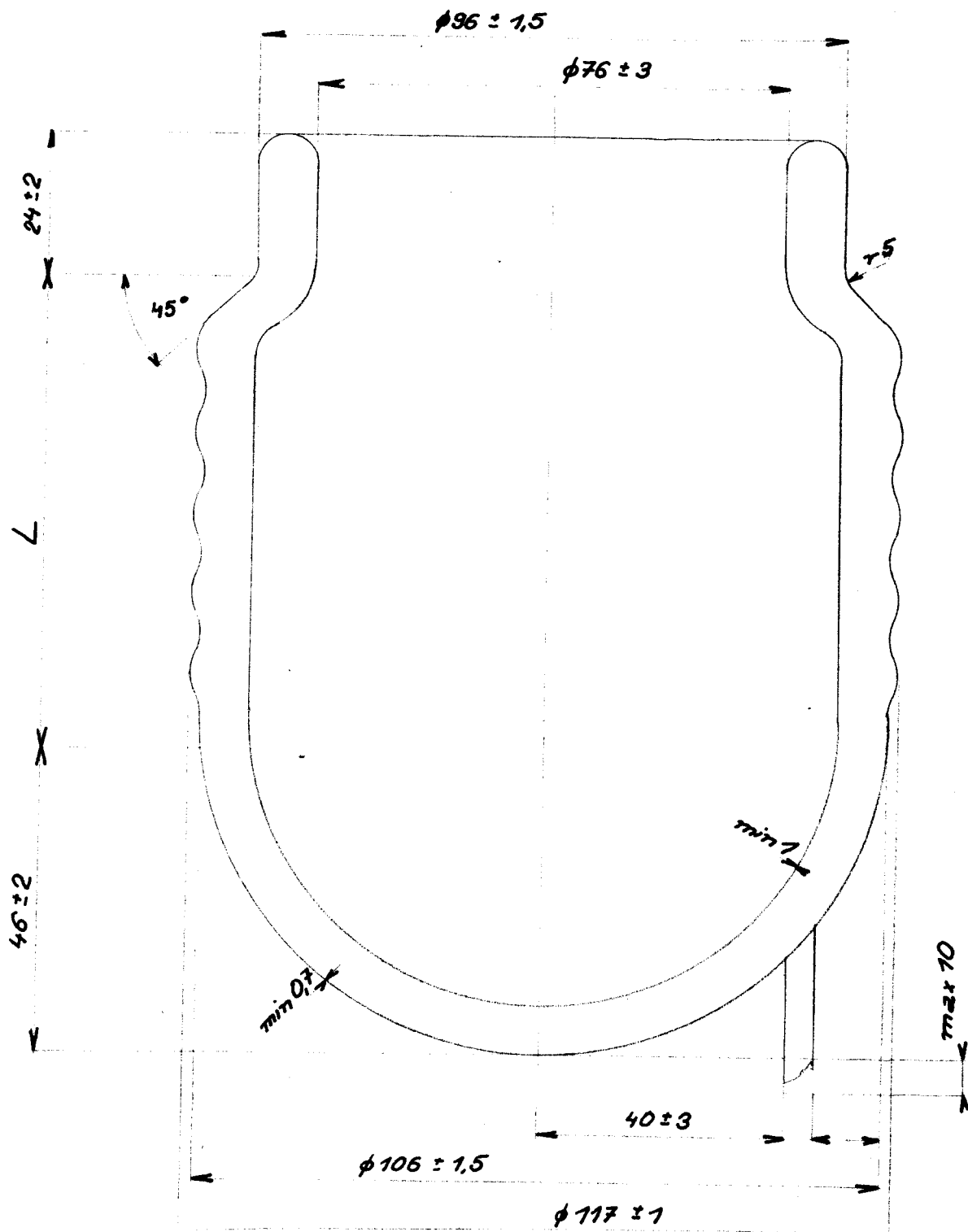
N o r m a v l o ž e k
p r o i z o l a č n í l á h v e ČSN 70 4990.

Vložkou rozumíme dvoustěnnou láhev, mezi jejíž vnější a vnitřní stěnou je prakticky vzduchprázdný prostor. Izolační láhev je skleněná vložka s příslušenstvím. K výrobě vložek se používá skla sodno-vápenatého nebo sodnohořečnatého. Vložka musí být tepelně odolná vůči náhlým změnám teploty, t.j. musí snést tepelný náraz - v rozsahu 90°C a to náhlé ochlazení i ohřátí. Kapilára je zatavený výčnělek, vyčnívající ze dna vložky. Podle druhu láhve rozeznáváme:

1. Izolační láhev nápojovou - úzkohrdlá dvoustěnná láhev /vložka/ v ochranném pouzdře určená k uchovávání obsahu v požadovaném tepelném stavu.
2. Pancéřovou izolační láhev - vložka s vnější stěnou pravidelně zvlněnou nebo jinak ve skle upravenou s příslušenstvím.
3. Izolační láhev jídlou - izolační láhev širokohrdlá v ochranném pouzdře, t.j. vložka s příslušenstvím.



NÁPOJOVÁ VLOŽKA



JÍDLOVÁ VLOŽKA

NÁPOJOVÁ VLOŽKA

<i>Jmenovitý obsah litru</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>T₂</i>	<i>síla stěny</i>	<i>Obsah skuteč. litru</i>	<i>tolerance</i>
0,25	61±1	172±5	20	min 0,6 max 2,2	0,243	±0,002 -0,003
0,50	71±1	203±5	27		0,430	
0,75	82±1	244±5	36		0,720	±0,005
1,00	82±1	280±5	36		0,855	

JÍDLOVÁ VLOŽKA

<i>Jídelní nádoby litru</i>	<i>L</i>
0,5	83±1
0,75	97±1
1	110±1

T e c h n o l o g i c k ý p o s t u p
k o n e č n é h o z p r a c o v á n í t e r m o s e k .

1. Pukání.

Po nahřátí tyče v místě opuknutí rozpukne se tyč na vnější a vnitřní láhev. Vnitřní se zasune do vnější a uloží se do bedny. Před uložením je láhev zkontrolována prohlížečkou a vadné láhve jsou vyřazeny.

2. Zátav hrdel.

Zátav se provádí na karuselu se 40 pozicemi. Karusel má oproti jednopozicovému zařízení tu výhodu, že pracovník, který tvaruje hrdlo není zaměstnán seřizováním vnitřní a vnější láhve a dosahuje tak vyššího výkonu. Pracovnice ukládá a vystřeďuje v čelistech držáku karuselu obě láhve. Posuv karuselu je ovládán pomocí ruční páky pracovníkem, který tvaruje hrdlo tvarovacím nožem, máčeným v oleji. Obsluha u jednopozicového zařízení provádí jak seřizování vnitřní a vnější láhve, tak i tvarování. U obou způsobu prochází láhev před tvarováním předeřhřátím a po tvarování chlazením.

3. Zátav den.

Předeřhřátou láhev nasadí dnář do otáčivého držáku a po postupném vyhřátí pomocí sklářských hořáků rozežře láhev v místě zatavení natolik, že pomocí kleští a regulace otáček vytvaruje dno láhve. Ihned po vytvarování nahřeje na okraji dna bodově jedno místo, pomocí čerpací trubičky vytáhne špičku, špičku urazí a na její místo nataví čerpací trubičku v délce 4-5 cm. Láhev pak odkládá na chladicí karusel.

4. Vytahování /zužování/ čerpací trubičky.

Po zatavení dna je nutné zúžit průměr čerpací trubičky, aby zátav po vyčerpání byl dokonalý. Tato operace se provádí před čerpáním nahřátím čerpací trubičky v délce 2 cm a zúžením přibližně na poloviční průměr.

5. Stříbření, vyplachování a sušení.

5. Stříbření, vyplachování a sušení.

Prohlédnuté láhve se naplní 0,25-0,50% roztokem chloridu cínatého. Roztok po opláchnutí stěn láhve se odstraní na vyplachovacím korytě stlačeným vzduchem. Láhev vypláchnutá chloridem cínatým se musí ihned vypláchnout vodou teplou 70°-80°C, aby zbytky chloridu byly řádně odstraněny a teplota láhve byla min. 60°C. U vyplachování chloridem cínatým nesmí být vypláchnuto více láhví než stačí odebrat pracovnice u vyplachování vodou, protože delším stáním ulpívá chlorid na stěnách tak silně, že ani řádný výplach ho kvantitativně neodstraní. Podmínka malého počtu láhví platí i u výplachu horkou vodou a to z důvodu rychlého poklesu teploty vody a tím i prodloužení doby při redukci stříbra. Očištěné a horké láhve se naplní amoniakálním roztokem dusičnanu stříbrného a redukčním roztokem při jedné operaci. Naplněné láhve se odkládají na stůl s otáčivými válci, aby mohla na celé ploše láhve proběhnout redukce. Konec redukce se pozná stálostí vyredukovaného stříbra. Roztok po redukci se odstraní stlačeným vzduchem a vodou. Láhve se pak okládají do sušky, kde při teplotě 190°-210°C se odstraní voda. Po sušení jsou láhve připraveny k čerpání.

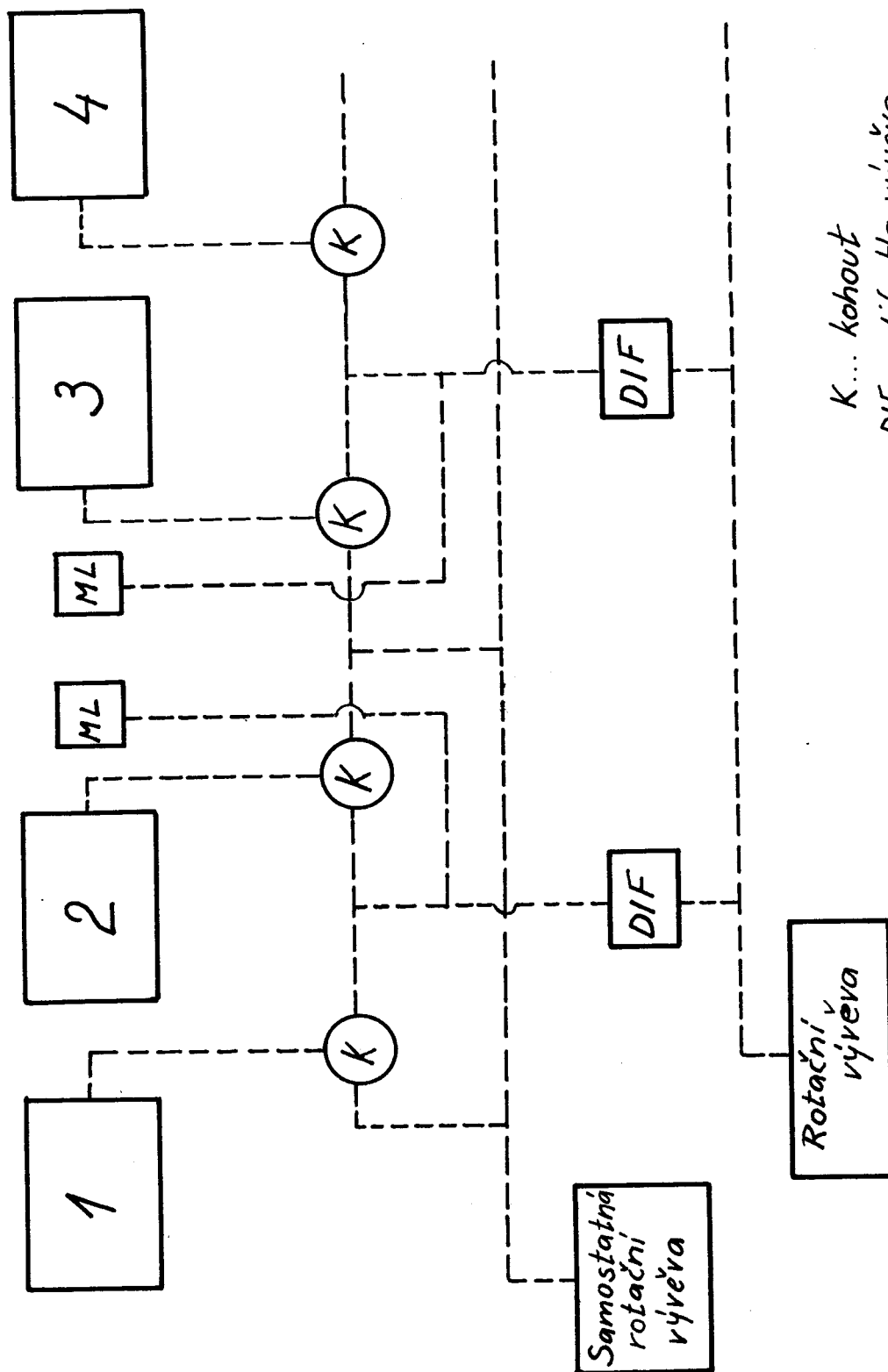
6. Čerpání - stávající technologický postup.

Je popsán podle schematu čerpací stanice. Čerpař nataví láhve ve skříní č.1, zapálí plynové hořáky na spodu skříně a otočí kohout této skříně na samostatnou rotační vývěvu. Po skončení 1.skříně se provede stejný postup ve skříní č.3 a ve skříní č.2. Těsně před skončením natavení skříně č.2 přepojí skříně č.1 a 3 na difuzní vývěvu. Po skončení natavení skříně č.2 zhasne hořáky ve skříních č.1 a 3, nataví láhve ve skříní č.4 a přepojí tuto skřín na samostatnou rotační vývěvu. Proměří vakuum ve skříních č.1 a 3 /Mac-Leod- vakuoměr/ a odtaví v těchto skříních láhve! Po odtavení láhví přepojí skříně č.1 a 3 do neutrální polohy. Zbývající skříně č.2 a 4 přepojí na difuzní vývěvy a postup dokončí jako u skříní č.1 a 3. Tím je jeden cyklus ukončen a celý postup se opakuje.

7. Zkoušení izolační schopnosti.

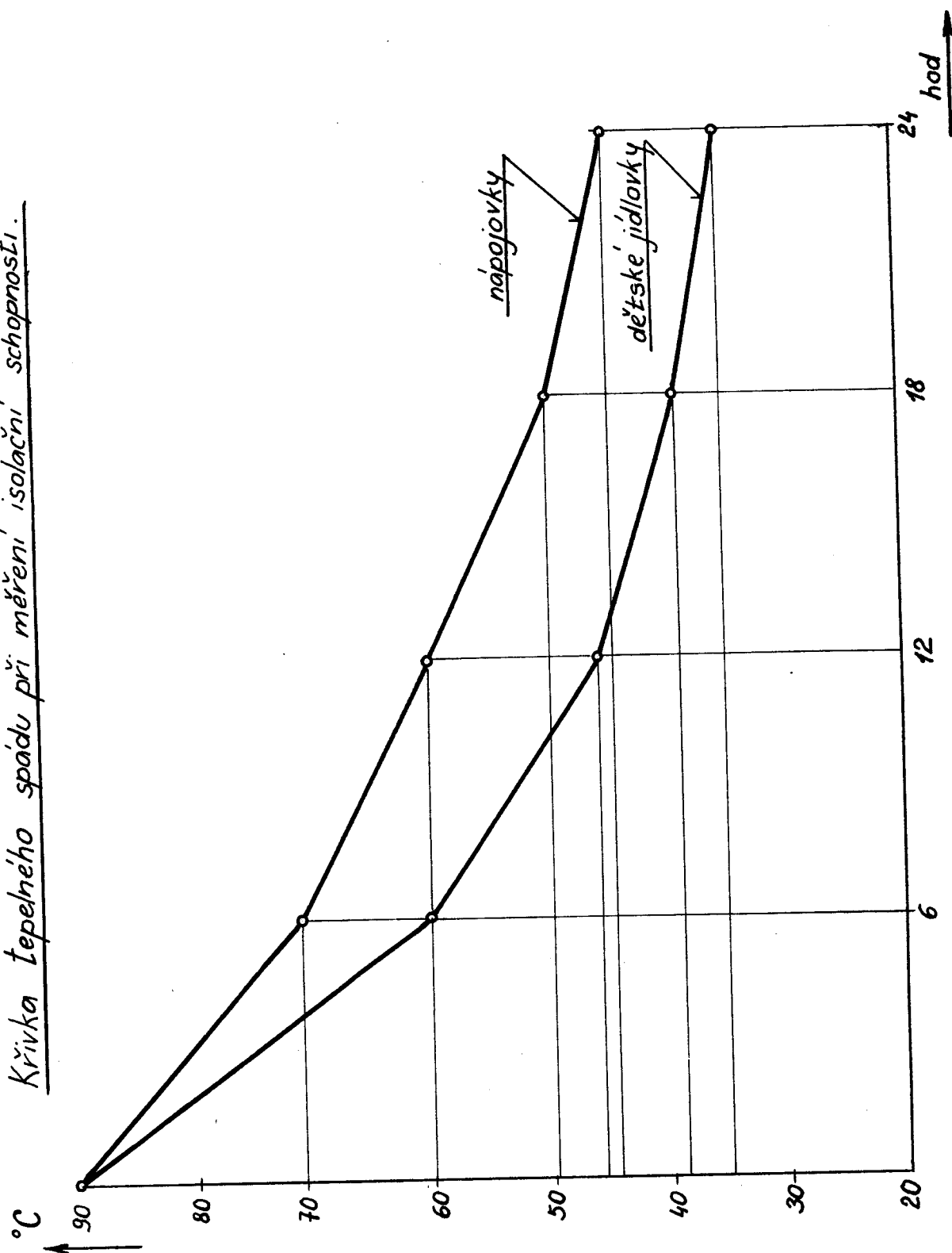
Láhve po vyčerpání jsou naplněny vodou teplou 90°C . Po 24 hod. se měří teplota a podle její výše se láhve rozdělí na dobré a zmetky. Výše teploty se řídí druhem láhve a je předepsána přejímacími podmínkami. V případě, že je zapotřebí láhve zkoušet dříve než za 24 hodin, je potřebná teplota odečtena z křivky spádu teploty s časem. Prostředí zkušebny musí mít teplotu 20°C .

Schema čerpací stanice



K... kohout
DIF... dif Hg vývěva
ML... Mac-Lead vakuoměr
1,2,3,4... čerpací stanice

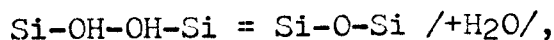
Křivka tepelného spádu při měření izolační schopnosti.



O d p l y ň o v á n í s k l a .

Množství plynu, které uvolní sklo ve vakuu závisí na složení skla, jakosti jeho povrchu a provozní teplotě. Plyny vnikají do sklovité hmoty při výrobě skla různým způsobem, například vzduch při sestavování práškovitých složek skla, jako rozkladné plyny /především H_2O , CO_2 / složek, které se přivádějí do taveniny jako hydráty, uhličitany a pod. a konečně absorpcí taveniny skla. Ačkoliv se při tavení většina těchto složek odstraní, obsahuje sklo po ztuhnutí ještě značné množství H_2O , CO_2 a O_2 a málo N_2 H_2 . Kromě těchto plynů rozptýlených v hmotě skla, obsahuje sklo i na svém povrchu značné množství vodní páry. Působením čistící vody nebo vlivem vodní páry ze vzduchu v době skladování se nachází na povrchu skla gél kyseliny křemičité. Tato gélová vrstva obsahující vodu má tloušťku okolo 50 i více molekulových vrstev. Voda, kterou tento gél váže, zhoršuje při ohřevu stěn termoláhví vakuum a musí být proto bezpodmínečně v termoláhvích buď před čerpáním, nebo při čerpání odstraněna vysokým a dostatečně dlouhým ohřevem aspoň natolik, aby při provozní teplotě nenastalo podstatnější uvolňování vodní páry. Doporučuje se to provádět na základě pokusů následujícím způsobem:

Při pomalém ohřívání skla ve vakuu se nejprve odstraní asi při $150^{\circ}C$ - $200^{\circ}C$ větší část absorbovaných plynů a vrstva H_2O , nad $300^{\circ}C$ probíhá postupné vysušování níže ležící vrstvy, při čemž se současně tvoří vazba $Si - O$ podle



takže už po několika minutách při odplyňovacích teplotách mezi $300^{\circ}C$ - $400^{\circ}C$ je další uvolňování plynů velmi nepatrné. Jen za vyšších teplot se potom začnou uvolňovat plyny rozpuštěné v samotné hmotě skla a nastává trvalé uvolňování plynů, které je vyvolané pomalým oddifundováním vody rozpuštěné ve skle a je úměrné druhé odmocnině času t podle vztahu

$$m = K_1 \sqrt{t} + K_2$$

m ----- celkové množství uvolněného plynu
 K_1 , K_2 materiálové konstanty
 t ----- čas

Zdrojem uvolňování těchto vodních par jsou rovněž povrchové vrstvy skla, jak ukazují porovnávací měření uvolňování vodních par z právě vyrobeného skla, dlouho uskladněného, nezpracovaného skla a konečně i dlouho uskladněného skla, povrch kterého byl naleptaný HF. Rychlost uvolňování vodních par je přitom tím větší, čím je vyšší teplota skla tak, že "rychlost" uvolňování plynu $\frac{dm}{d\tau}$ stoupá exponenciálně podle vztahu

$$\frac{dm}{d\tau} = C \cdot e^{-\frac{A}{T}}$$

Musí být proto grafické znázornění pro jednotlivá skla dané přímkami

$$\log \left[\frac{dm}{d\tau} \right] = -\frac{A}{T} + B$$

m ----- uvolněné množství vodní páry,

t ----- doba ohřevu

T ----- teplota ohřevu °K

A,B ----- materiálové konstanty

Uvolňování plynu se proto normálně zvyšuje s rostoucím obsahem alkálií a je o to nižší, čím víc bylo sklo při tavení v hutí vyhřáté. I předběžné vyhřátí skla na vzduchu zmenšuje uvolňování plynů, dokud teplota ohřevu ve vakuu nepřekročí podstatně předcházející teplotu vyhřátí. Tento účinek se zachová několik dní, i když sklo po předběžném ohřevu vystavíme znovu působení normálního vzduchu.

Výsledky měření ukazují jednoznačně, že pro odplynění skla nestačí teploty 100°-150°C, když chceme odstranit adsorbované plynové vrstvy a především vodní film. V praxi se proto používají odplyňovací teploty, které převážně bývají asi o 20° až 60°C nižší jako dolní chladicí teplota příslušného skla.

Všeobecně bychom vystačili na dostatečné odplynění vnitřních povrchů skla s odplyňováním asi 20-ti minutovým, protože v intervalu teploty mezi 200°- 475°C sklo za tento čas uvolní skoro všechny "volný" obsah plynu.

Množství uvolněného plynu při dokonalém
odplynění různých skel.

			přístro- jová skla	měkká skla	Olivnatá skla	Tvrdá skla
Transformační teplota	°C		480-580	400-550	410-550	515-750
Nejvyšší uvolňování	°C		320	≈250	160	350
Uvolněné množ- ství plynu	kondenso- vatelné	$\frac{\text{cm}^3}{\text{dm}^2}$	4,5	19,3	—	—
	nekondenso- vatelné	$\frac{\text{cm}^3}{\text{dm}^2}$	0,48	1,3	—	—
		$\frac{\text{cm}^3}{\text{dm}^2}$	5,98	20,6	—	—

Volba druhu a počtu vývěv.Kontrola jejich výkonu.

Stupeň vakua, které můžeme dosáhnout vývěvami je různý a záleží na druhu vývěvy. Je-li tlak plynu v odsávaném prostoru v mezích 760 mm Hg asi do 1 mm Hg označujeme dosažené vakuum jako vakuum hrubé, nebo jako vakuum střední, je-li tlak v mezích asi od 1 mm Hg do 10^{-3} mm Hg a konečně jako vysoké vakuum, je-li tlak plynu v odsávaném prostoru v mezích od 10^{-3} do 10^{-6} mm Hg, případně ještě méně.

Vakuum požadované při výrobě termosek je řádově 10^{-3} mm Hg.

Hrubé vakuum dosahujeme vysavačí, vodními vývěvami skleněnými a kovovými motorickými vývěvami suchými. Střední vakuum dosahujeme rotačními olejovými vývěvami jednostupňovými a dvojestupňovými. Vysoké vakuum difusními vývěvami rtuťovými, parafinovými a olejovými.

Pro čerpání termosek se hodí rotační olejové vývěvy. Difusní pumpy se už i v zahraničí přestávají používat, jak je vidět na příkladě maďarského závodu Höpálack -es üvegipari Vállalat v Budapešti.

Rotační olejové vývěvy patří mezi vývěvy mechanické, jejichž princip je v opakujícím se vyssávání plynu z uzavřeného prostoru do vývěvy a vytlačování plynu z vývěvy mechanickou cestou, pohybujícím se tělesem. Výkonnost olejových rotačních vývěv hodnotíme podle mezního tlaku a podle čerpací rychlosti. Mezní tlak je nejnižší tlak, kterého můžeme daným zařízením dosáhnout. Při tom musíme rozlišovat t.zv. parciální tlak zbylého plynu a parciální tlak pohonné látky.

Celkový mezní tlak je pak součet obou parciálních tlaků. Hodnoty obvykle udávané v tabulkách se vztahují na parciální tlak odsávaného plynu. Mezní tlak rotačních olejových vývěv jednostupňových je udáván obvykle v hodnotách 10^{-2} až 10^{-3} mm Hg /t.j. parciální tlak zbylého plynu/, kdežto celkový mezní tlak bývá asi $5 \cdot 10^{-2}$ mm Hg. Aby bylo dosaženo nižšího mezního tlaku, používá

se vývěv dvojstupňových, kterými se dosáhne vakuum asi 10 x vyšší, tedy řádově 10^{-3} mm Hg.

Celkový mezní tlak rotační olejové vývěvy ^{závisí ve značné míře} ~~ve zúžené míře~~ na druhu použitého oleje. Olej používaný pro rotační vývěvy nesmí obsahovat žádné složky o vysokém tlaku nasycených par /těkavé příměšiny/, dále není vhodný olej, který obsahuje nebo snadno pohlcuje vodu. Ve vakuu se vždy z takového oleje vypaří vodní páry a zabraňují dosažení vyššího vakua. Použitý olej nemá mít schopnost pohlcovat kyslík, má být co nejvíce možno netečný oproti čerpaným plynům. U vývěv s výkonem asi do 15 m³/hod. postačí chlazení vzduchem, neboť ani při trvalém provozu teplota oleje nepřekračuje 50°, max 55°C.

Čerpací rychlost rotační vývěvy je přímo závislá na objemu plynu, který se rotorem vytlačí za jednu otáčku a na počtu otáček rotoru za jednotku času. Udává se obvykle počtem m³ vzduchu čerpaného za 1 hodinu při teplotě 0°C a tlaku 760 mm Hg. Tento údaj se však nevztahuje na čerpání vzduchu z uzavřeného prostoru. Zde totiž čerpací rychlost rotační vývěvy klesá úměrně s klesajícím tlakem a při dosažení celkového mezního tlaku je rovna nule.

Na základě těchto údajů a požadavků použijí pro karusel na čerpání termoláhví tři dvoustupňových rotačních olejových vývěv typu RV II 7,5 z nichž jedna bude mít za úkol vytvářet předvakuum a zbylé 2 budou dočerpávat na požadovaný mezní tlak 10^{-3} mm Hg.

Tyto pumpy vyrábí n.p. Laboratorní přístroje, Praha II. Jsou dodávány s elektrickým motorem, spínačem a gumovým přírodním kabelem namontovanými na společné desce. Pohon vývěvy je klínovými řemeny. Jelikož použijí 3 pump zabudovaných do společného bloku bude výhodnější, aby el. instalace/kabel/ byla společná pro všechny 3 pumpy.

Technické údaje vývěvy RVII 7,5.

Čerpací výkon za normálního tlaku vzduchu: 7 m³/hod.
Elektromotor: 220/380 V, 0,4 kW, 500 ot/min na vývěvě,
náplň oleje : 4 kg, trvanlivý olej T,
rozměry : 690x 350 x 430,
váha : 52 kg,
chlazení : vzduchem.

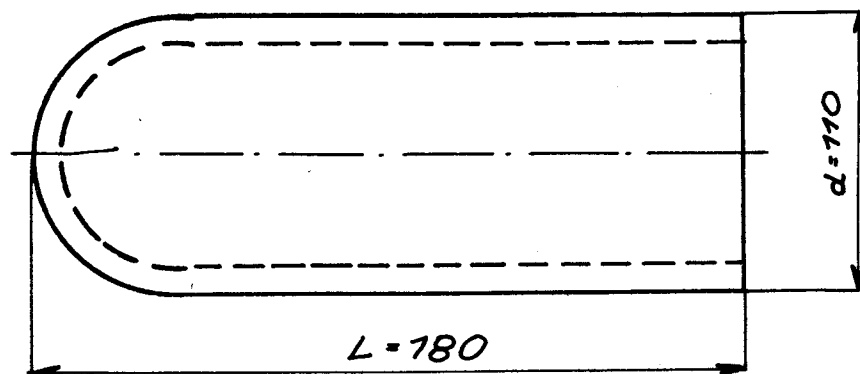
Kontrola výkonu vývěvy.

Předvakuovací vývěva čerpá na 12
posicích. Doba čerpání termoláhve na
1 posici činí 12 sec. Celý výkon před-
vakuovací vývěvy čerpá tedy obsah
1 termoláhve 12 sec. Dočerpávací vývěva
čerpá 1 termoláhev 24 sec.

Obsah vzduchu a plynů uni-
kajících ze stěn 1 termoláhve je
čerpán celým výkonem 1 vývěvy
po dobu 36 sec.

Max. množství vzduchu v 1 termoláhvi:

Vycházím z obsahu 1l jídelovky.



$$Q_1 = \pi r^2 \cdot L - 1000 = \pi \cdot 5,5^2 \cdot 18 - 1000 = \underline{700 \text{ cm}^3}$$

Množství plynu uniknuvšího ze stěn
1 termoláhve.

Z 1 dm^2 povrchu se uvolní $20,6 \text{ cm}^3$ plynu.

$F = \text{povrch termoláhve (i vnitřní)}$

$$F = 2\pi d \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 1,1 \cdot 1,8 = 12,6 \text{ dm}^2$$

$$O_2 = 20,6 \cdot 12,6 = \underline{260 \text{ cm}^3}$$

Celkové množství vzduchu a plynu,
 které je nutno odčerpát z 1 termoláhve.

$$O = O_1 + O_2 = 700 + 260 = 960 \text{ cm}^3$$

$$\underline{\underline{O = 1 \text{ dm}^3}}$$

Dané parametry vývěvy.

$V_h = 7 \text{ m}^3/\text{hod}$ výkon vývěvy

$n = 500 \text{ ot/min}$ otáčky

$O = 1 \text{ dm}^3$ obsah čerpaného prostoru

Kontroluji, zda se po době $\tau = 36 \text{ sec}$ dosáhne předepsaného vakua 10^{-3} mm Hg .
Při výpočtu činím předpoklad, že se teplota v prostoru z něhož plyn odčerpáváme nemění a že dopravní účinnost vývěvy je konstantní.

V objem nasátlý vývěvou při 1 otáčce

C poměr objemu nasátého vývěvou při 1 otáčce k obsahu čerpaného vzduchu

G váha plynu v prostoru O na počátku odsávání

P_0 tlak v prostoru na počátku odsávání

P_i tlak v prostoru O po i ot.

i počet otáček vývěvy

τ čas čerpání

T_0 teplota ve $^{\circ}\text{K}$ na poč. Odsávání

$$G = \frac{P_0 \cdot O}{R \cdot T} = \frac{P_i \cdot O}{R \cdot T} + \frac{P_i \cdot V}{R \cdot T} =$$

$$= P_i \cdot \frac{O}{R \cdot T} (1+c) = P_i \cdot \frac{O}{R \cdot T} (1+c)^2 =$$

$$= \dots = P_i \cdot \frac{O}{R \cdot T} (1+c)^i$$

Upraveno

$$(1+c)^i = \frac{G \cdot R \cdot T}{P_i \cdot O} = \frac{P_0}{P_i}$$

$$i = n \cdot \tau$$

Dáno τ a kontroluji $\frac{P_0}{P_i}$

$$V = \frac{V_h}{60 \cdot n} = \frac{7000}{60 \cdot 500} = 0,23 \text{ dm}^3/\text{ot}$$

$$c = \frac{V}{O} = \frac{0,23}{1} = 0,23$$

$$G = O \cdot 1,293 = 1,3 \text{ g}$$

$$P_0 = p_{\text{atm}} \cdot \frac{T_0}{293} = 760 \cdot \frac{573}{293} = 1485 \text{ mm Hg}$$

$$P_i = 10^{-3} \text{ mm Hg}, \quad n = 500 \text{ ot/min}$$
$$\tau = 36 \text{ sec}, \quad i = n \cdot \tau = 300$$

$$(1+c)^i = \frac{P_o}{P_i}$$

$$P_i = \frac{P_o}{(1+c)^i} = \frac{1485}{(1,23)^{300}}$$

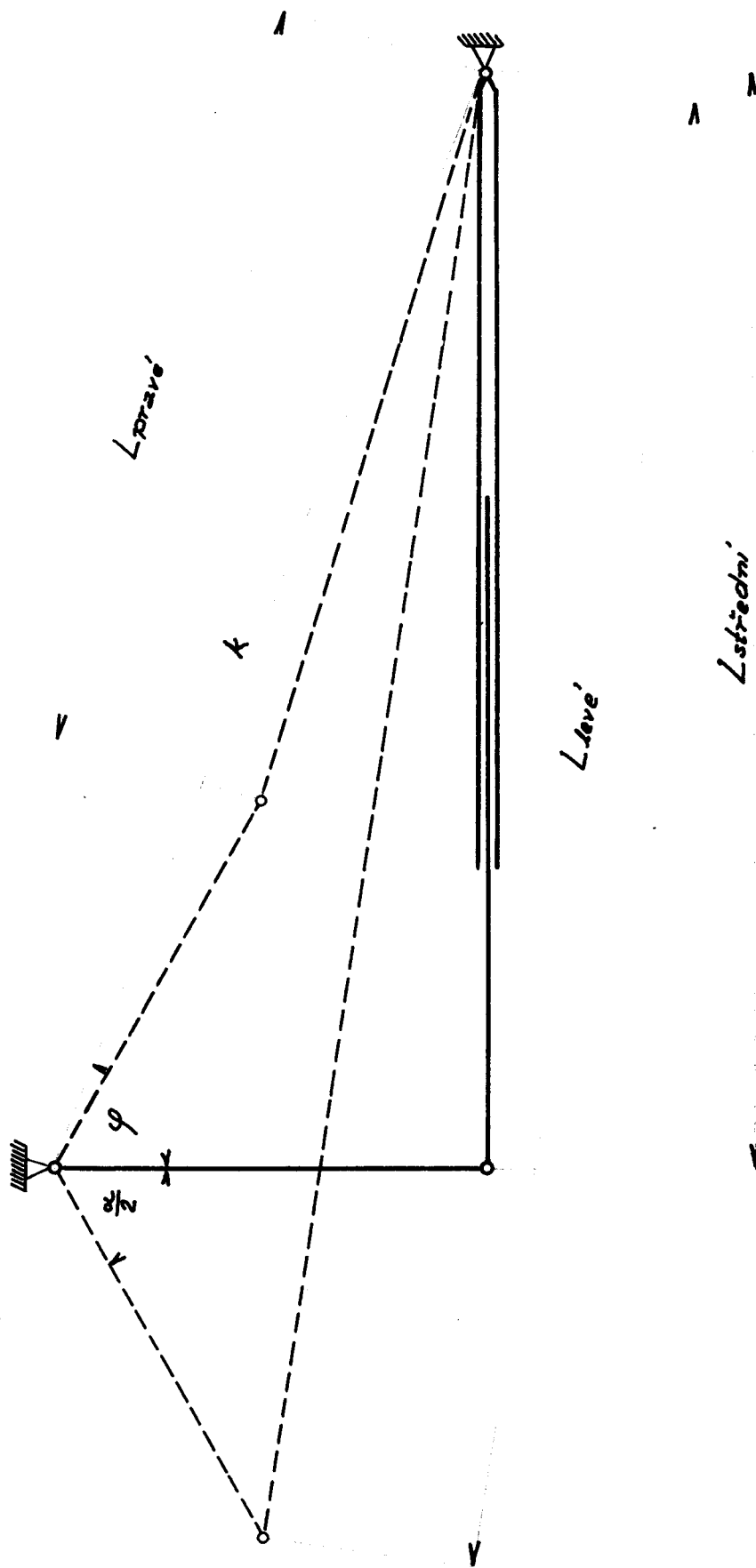
$$\log P_i = 3,6857 - 300 \cdot 0,09 = 0,6857 - 24$$

$$\underline{\underline{P_i = 1,485 \cdot 10^{-24}}}$$

Takové vakuum samozřejmě nedosáhneme, ale vidíme, že i přes značně zjednodušené předpoklady je kapacita vývěv dostatečná.

VŠST LIBEREC fakulta strojní		Datum 3.XI.1962	Str. 21
<u>NÁVRH MECHANISMU POHONU KARUSELU</u> Čerpací karusel bude 16-ti posicový, jak vyplývá ze stanovené kapacity. To znamená, že pootočení o 1 posici bude činit $22^{\circ}30'$. Jelikož zatížení otočného stolu je minimální a spočívá jen v pasivních odporech při otáčení a setrvačných silách, volím jako pohonný mechanismus stolu čtyřčlenný pneumatický mechanismus s výkyvným válcem. Pneumatický pohon je výhodný i z toho důvodu, že v závodě je k dispozici tlakový vzduch $p = 6 \text{ at}$ z vnitrozávodní rozvodné sítě.			
Konstrukce mechanismů a pracovních strojů		Jméno:	

Obecné schéma mechanismu.



Výpočet zdvihu H

$$H = L_{\text{levé}'} - L_{\text{právé}'}$$

$$L_{\text{levé}'}^2 = r^2 + k^2 - 2r \cdot k \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L_{\text{str}'}}{r} = \frac{635}{400} = 1,588 \quad \varphi = 57^\circ 50'$$

$$k = \sqrt{r^2 + L_{\text{str}'}^2} = 750 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{levé}'} &= 100 \sqrt{4^2 + 7,5^2 - 2 \cdot 4 \cdot 7,5 \cdot \cos 69^\circ 5'} = \\ &= 714 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_{\text{levé}'} = 714 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{právé}'}^2 &= k^2 + r^2 - 2r \cdot k \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) = \\ &= (7,5^2 + 4^2 - 2 \cdot 7,5 \cdot 4 \cdot \cos 46^\circ 35') \cdot 10^4 \end{aligned}$$

$$L_{\text{právé}'} = 558 \text{ mm}$$

$$H = L_{\text{levé}'} - L_{\text{právé}'} = 714 - 558 = 156$$

$$H = 156 \text{ mm}$$

P o p i s č i n n o s t i e l e k t r o - p n e u -
m a t i c k é i n s t a l a c e k a r u s e l u n a
v a k u o v á n í t e r m o l a h v í .

Elektrická instalace je napájena ss proudem. Pneumatická instalace je napájena vzduchem o tlaku 4-6 ata. Na tento tlak je redukován tlak z tlakového potrubí v závodě regulátorem tlaku s čističem RTČ.

Před uvedením karuselu do chodu je nutno otevřít uzavírací kohout pneumatické instalace K a sepnout vypínač el. instalace J. Dále je nutno přesunout ruční šoupátko R_3 do polohy pohyb. Při popisu činnosti elektro-pneumatické instalace karuselu vycházíme z levé krajní polohy kliky.

V okamžiku kdy klika dosáhne levé krajní polohy, sepne levý el. spínač S_1 a stlačí levý ventil unášecího kolíku V_{ul} . Po sepnutí levého el. spínače S_1 se uzavře proudový okruh v časovém relé Čr. Toto po nastavené době t nám uzavře proudový okruh přes cívkou v řídicím ventilu $\check{R}_v$. Tato nám vtáhne do sebe jádro, čímž nastane přesunutí pístu v řídicím ventilu $V\check{r}$ proti tlaku pružinky. Tlakový vzduch proudí přes řídicí ventil $V\check{r}$ nad pístek šoupátka S_z . Tento pístek se přestaví do dolní polohy, jelikož prostor pod pístkem má atmosferický tlak přes pravý ventil unášecího kolíku V_{up} , který je tlakem pružinky v levé krajní poloze. Tlakový vzduch proudí přes šoupátko zajišťovače polohy $\check{S}_z$ nad píst zajišťovače polohy stolu Z a tento přestaví do spodní polohy, jelikož tlakový vzduch pod pístem uniká přes $\check{S}_z$ do atmosféry. Píst zajišťovače Z přestaví pístek dolního ventilu zajišťovače polohy V_{zd} do pravé polohy a pístek horního ventilu zajišťovače polohy V_{zh} se vrátí tlakem pružinky do levé krajní polohy, čímž otevře prostor pod pístem šoupátka unášeče $\check{S}_u$ do atmosféry. Tlakovým vzduchem proudícím přes stlačený ventil V_{ul} je píst šoupátka $\check{S}_u$ přestaven do spodní polohy. Tlakový vzduch proudí přes šoupátko unášecího kolíku $\check{S}_u$ pod píst unášeče U a tento vysune

VŠST LIBEREC fakulta strojní		Datum 3.XI.1962	Str. 25
nahoru, jelikož prostor nad pístem je otevřen, přes šoupátko $\check{S}_u$ do atmosféry. Jelikož píst v Z stlačil pístek dolního ventilu zajišťovače polohy V_{zd} do pravé krajní polohy, tlakový vzduch má přes V_{zd} otevřenou cestu nad píst šoupátka krokovacího válce $\check{S}_{kv}$, který stlačí proti tlaku pružinky do spodní polohy. Vzduch pod pístkem šoupátka $\check{S}_{kv}$ odchází přes vybrání v kolíku unášeče U do atmosféry. Tlakový vzduch prochází přes šoupátko krokovacího válce $\check{S}_{kv}$ nad píst krokovacího válce KV / nad pístem se rozumí prostor, kterým prochází pístní tyč/, který tlačí směrem doprava. Prostor pod pístem KV je spojen s atmosférou přes šoupátko krokovacího válce $\check{S}_{kv}$. Rychlost pohybu pístu KV lze přestavovat regulátorem rychlosti otáčení stolu RR. Dvojí odvod vzduchu z pod pístu KV slouží k utlumení pohybu pístu. Při pohybu kliky krokovacího ústrojí do prava se unáší zároveň stůl karuselu a činnost pneumatické instalace je stejná i přesto, že spínač S_1 se rozezne a píst ventilu V_{ul} se tlakem pružinky dostane do pravé krajní polohy. Je to umožněno tím, že při sepnutí spínače S_1 klikou v levé krajní poloze se sepnou pomocné kontakty časového relé $\check{C}_r$ a i po rozeznutí spínače S_1 se proudový okruh v časovém relé $\check{C}_r$ uzavírá přes sepnutý koncový spínač S_p. Tímto je zároveň stále uzavřený proudový okruh cívky řídicího šoupátka $V_{\check{r}}$, který drží pístek šoupátka $V_{\check{r}}$ v dolní poloze. Pístek ventilku V_{ul} je v pravé krajní poloze, čímž prostor nad pístem šoupátka $\check{S}_u$ je spojen s atmosférou a píst šoupátka $\check{S}_u$ je zpevněn držen ve spodní poloze tlakem pružinky. Jakmile klika krokovacího ústrojí dosáhne pravé krajní polohy, rozezne pravý koncový vypínač, čímž rozpojí proudový okruh v $\check{C}_r$ a toto opět rozezne okruh cívky řídicího ventilu $V_{\check{r}}$, čímž se pístek v tomto ventilu přestaví tlakem pružiny do horní polohy. Klika zároveň v pravé krajní poloze přesunula pístek ventilku V_{up} do pravé krajní polohy. Tímto tlakový vzduch přechází přes ventilek V_{up} pod píst šoupátka $\check{S}_z$ a tento přesune do horní polohy. Prostor nad pístem je propojen s atmosférou přes řídicí ventil $V_{\check{r}}$. Tlakový vzduch proudí šoupátkem $\check{S}_z$			
Konstrukce mechanismů a pracovních strojů		Jméno:	

VŠST LIBEREC fakulta strojní		Datum 3.XI.1962	Str. 26
zajišťovače Z a tento přestaví do horní polohy. Vzduch nad pístem odchází přes šoupátko $\check{S}_Z$ do atmosféry. Píst zajišťovače Z přestaví píst horního ventilku zajišťovače polohy V_{zh} do pravé krajní polohy, čímž tlakový vzduch prochází přes ventilek V_{zh} pod píst šoupátka $\check{S}_U$, který přestaví do horní polohy, jelikož proti působí jen síla pružinky. Tlakový vzduch proudí skrze šoupátko $\check{S}_U$ nad píst unášече U, který přesune do dolní polohy. Prostor pod pístem unášече U je spojen s atmosférou přes šoupátko $\check{S}_U$. Jelikož pístek ventilu V_{zd} je tlakem pružinky v levé krajní poloze, je prostor nad pístem šoupátka $\check{S}_{kv}$ propojen s atmosférou a píst šoupátka $\check{S}_{kv}$ se přesune tlakem pružiny do horní polohy. Tlakový vzduch proudí přes šoupátko $\check{S}_{kv}$ pod píst krokovacího válce, který tlačí v <u>levo</u>. Prostor nad pístem je spojen s atmosférou přes šoupátko $\check{S}_{kv}$. Jakmile klika dosáhne levé krajní polohy cyklus se opakuje.			
Konstrukce mechanismů a pracovních strojů		Jméno:	

M a z á n í k a r u s e l u .

Volím mazání tlakovým mazacím přístrojem z těchto důvodů:

1. Tlakový olej bude sloužit k těsnění zábrusu.
2. Karusel bude pracovat v prašném prostředí.

Na karuselu bude provedeno tlakové mazání těchto ložisek:

1. Dvoudílného ložiska krokovací páky.
2. Spojení pístní tyče s krokovací pákou.
3. Pojížděcího kolečka krokovací páky.
4. Kývavého uložení krokovacího válce.
5. Axiální ložisko otočného stolu - zábrus, u něhož však hlavní funkcí tlakového oleje bude utěsnění.

Radiální kuličková ložiska stolu budou celá naplněna mazacím tukem.

Při výběru tlakového mazacího přístroje jsem se řídil prospektem Juranových závodů n.p.Brno. Zvolil jsem přístroj ON 12A42. Technická data tohoto přístroje jsou:

- Váha cca 2 kg
Sací výška 2 m
Sací potrubí Ø 6 mm
Výtlač.potrubí Ø 4 mm
O bez zásobníku maziva
N s regulací dvojic vývodů
12 počet vývodů
A provedení
4 pohon strojní kývavý s ruční klikou
2 pohánění hřídel zprava před osou hlavního hřídele.

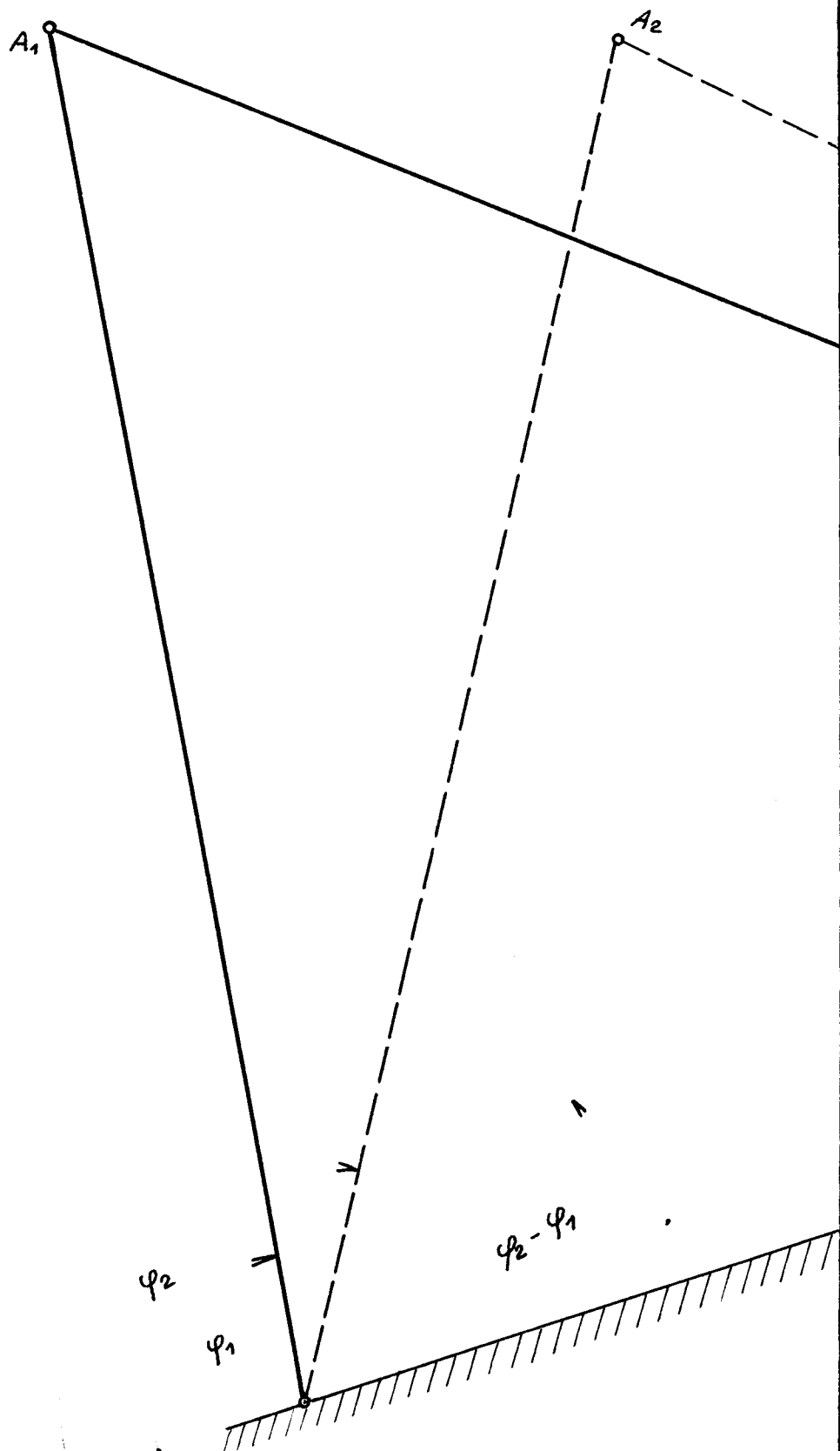
Činnost a regulace.

Otáčením hlavního hřídele strojně nebo ručně se otáčí i nakolíkovaný unašeč. Jeho ozub zapadá i do ozubu poháněcího kotouče, který je na hlavním hřídeli uložen volně otočně a unáší jej sebou. Náběhová plocha poháněcího kotouče zvedá píst a ten nasává olej. Při dalším otáčení tlačí náběhová plocha píst dolů

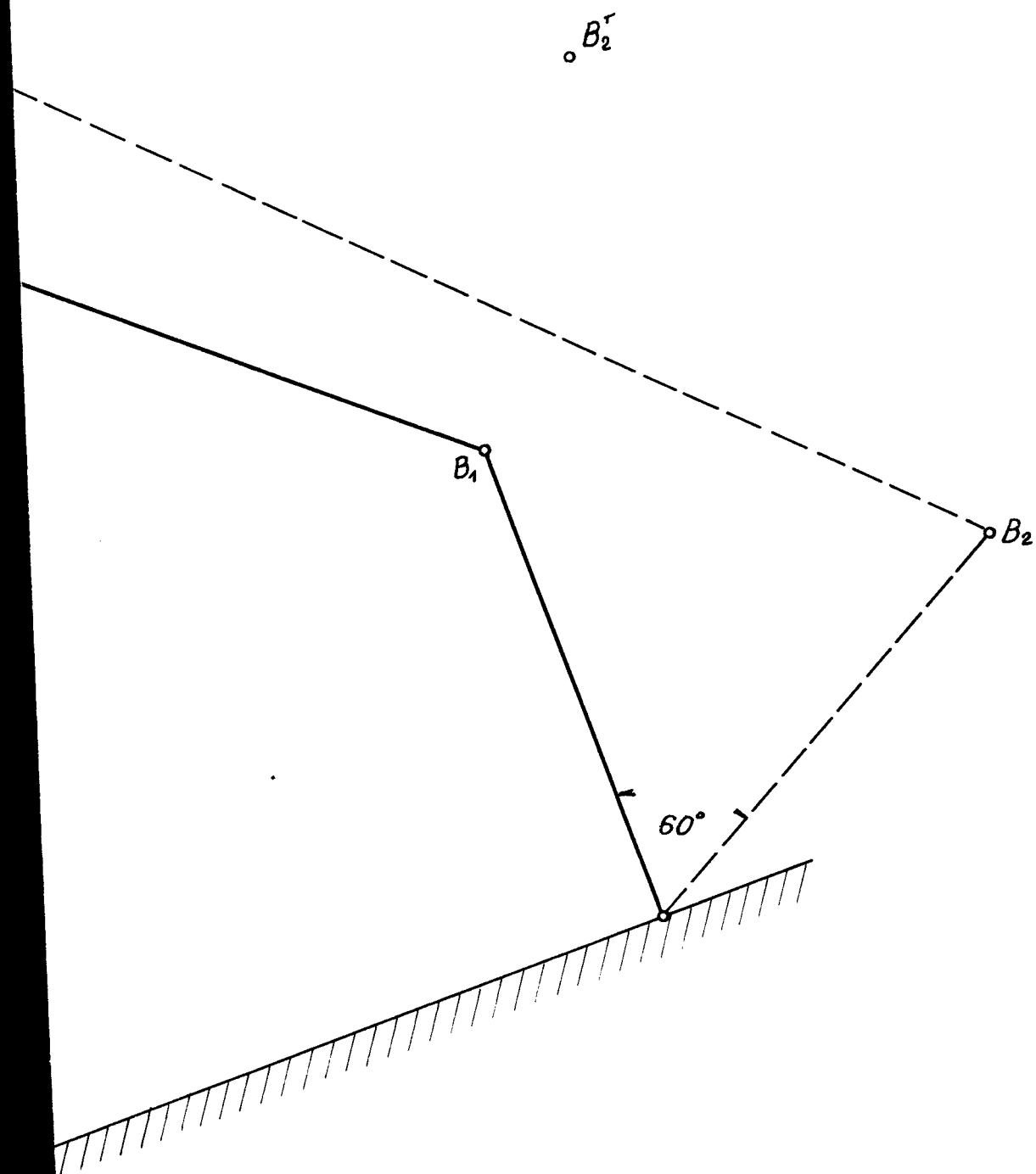
a ten vytlačuje nasátý olej do vývodky. Za jednu otáčku hlavního hřídele vykoná píst jeden pracovní zdvih. Dopravované množství oleje se dá regulovat od 0,00 až 0,115 cm³ za 1 zdvih pístu. Před regulací je nutno sejmut ruční kliku a víko.

Zašroubováním regulačního šroubu do pístu se zvětšuje a vyšroubováním zmenšuje zdvih pístu a tím i množství dodávaného oleje. Je-li regulační šroub úplně zašroubován, koná píst největší zdvih a dopravuje maximální množství oleje, t.j. 0,115 cm³. Písty i příslušné vývody jsou souhlasně očíslovány a nesmí se měnit.

Mazací přístroje se uvádějí do provozu tím způsobem, že se naplní připojovací nádrž olejem a otáčí se ruční klikou tak dlouho, až vytéká olej bez vzduchových bublin volnými otvory pro šrouby vývodek. Dále se připojí čisté mazací potrubí k přístroji a naplní se otáčením ruční kliky olejem. Když olej vytéká na konci potrubí, připojí se toto k mazaným místům a dalším otáčením ruční kliky se dopraví olej až k třecím místům. Není-li pro některý vývod použití, odreguluje se příslušný píst avšak vývod se nesmí zazátkovat. Mazací přístroj je nutno alespoň jednou za rok rozložit a vyčistit.

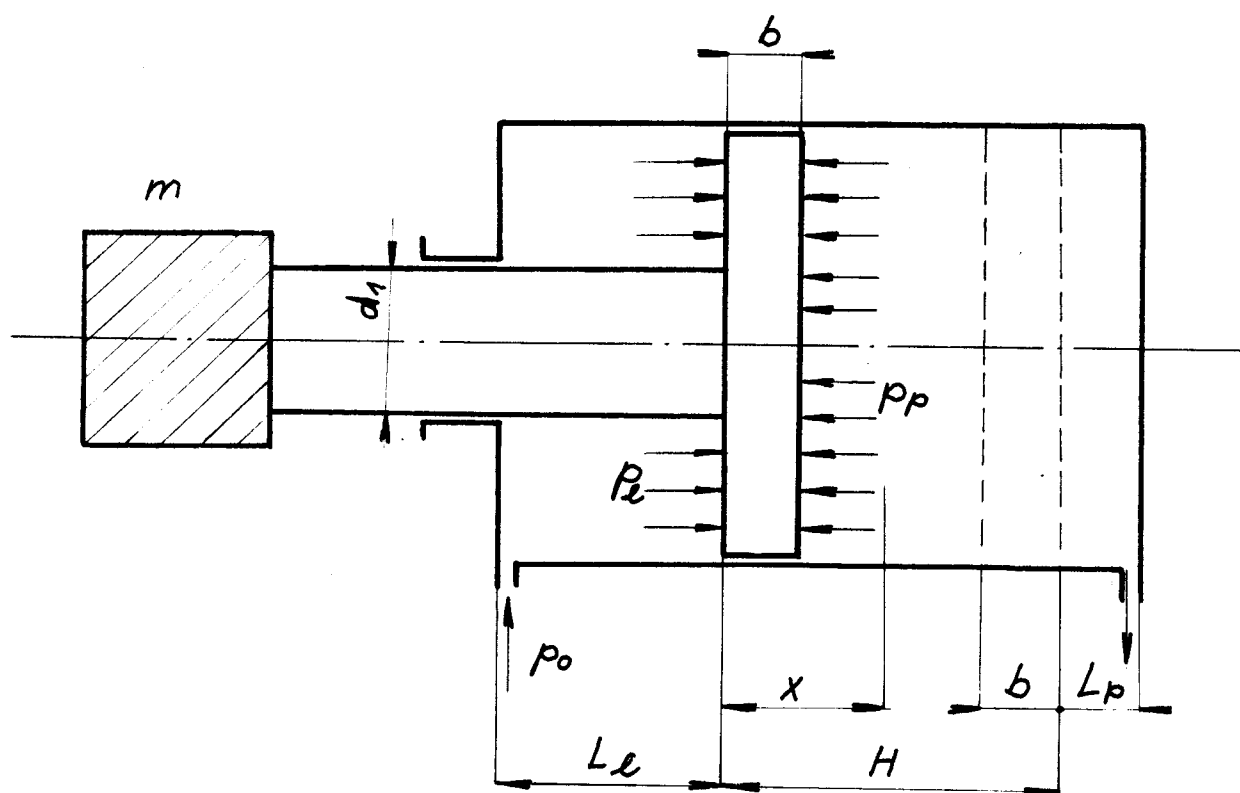


HONU TLAKOVÉHO PŘÍSTROJE



TEORETICKÝ VÝPOČET PNEUMATICKÉHO MECHANISMU

Poměry v pneumatickém válci
při nepohyblivém se pístu.



L_e, L_p ... délky určující mrtvý prostor
ve válci

$$\varphi = \frac{F_e}{F_p} = 1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2 \dots \text{poměr účinných}$$

$F_p = F$ ploch pístu

$$V_{e0} = L_e \cdot F_e = L_e \cdot \varphi \cdot F \dots \text{objem levého}$$

mrtvého prostoru

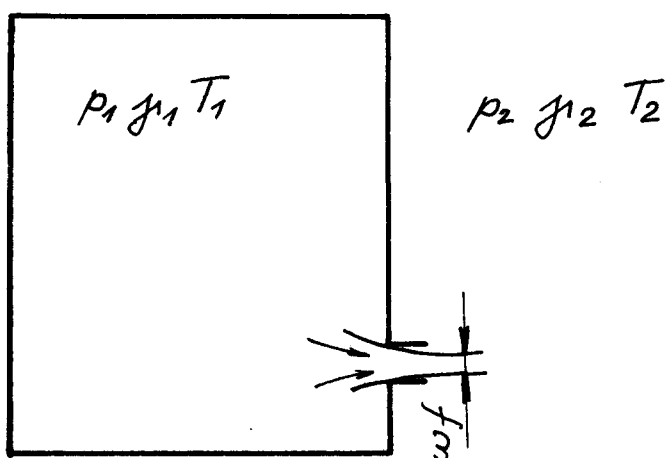
$$V_{p0} = L_p \cdot F \dots \text{objem pravého}$$

mrtvého prostoru

Okamžik počátku pohybu pístu bude odpovídat takovému rozdílu tlaků po obou stranách pístu, který přemůže vnější síly působící na píst.

Před vlastním výpočtem termomechanických poměrů ve válci nutno odvodit některé základní rovnice.

Rychlost výtoku plynů z nádoby
o konstantním objemu otvorem
staře velikosti.



Energetická rovnice pro výtok

$$\frac{c^2}{2g} + \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} + \xi \frac{c^2}{2g} = 0 \quad (1)$$

c ... rychlost vzduchu

ξ ... koeficient ztrát

$g \dots$ gravitační zrychlení
 $\gamma \dots$ měrná váha

Vypočteme c

$$c = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} \cdot \sqrt{2g \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{\gamma}} \quad (2)$$

kde $\frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \varphi_2 \dots$ rychlostní součinitel

Rychlost výtoku závisí na charakteru děje. V našem případě uvažujeme změnu stavu adiabatickou.

$$\frac{p_1}{\gamma_1^k} = \frac{p_2}{\gamma_2^k} = \frac{p}{\gamma^k}$$

$$\gamma = \gamma_1 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}}$$

kde k je poměr měrných tepel
při stálém tlaku a stálém objemu.

Dosadíme za γ do rovnice (2)
a integrujeme

$$\begin{aligned} c &= \varphi_2 \sqrt{2g \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{\gamma_1} \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{k}}} = \\ &= \varphi \sqrt{\frac{2g p_1}{\gamma_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \frac{k}{k-1}} = \\ &= \varphi \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \cdot \sqrt{g R T_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (3) \end{aligned}$$

kde $\sqrt{g R T_1} = v_{T_1}$... rychlost zvuku
ve vzduchu o teplotě T_1

Váhové množství $Q = w f \cdot \gamma_2 \cdot c$

Dosadíme za c z rovnice (3)

$$Q = \mu \cdot f \cdot p_2 \cdot v_{T_1} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (4)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$Q = \mu \cdot f \cdot p_1 \cdot v_{T_1} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (5)$$

Vidíme, že váhové množství vzduchu protékajícího otvorem je funkcí poměru $\frac{p_2}{p_1} = \varepsilon$

V rovnici (5) označíme výraz

$$\sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(\varepsilon^{\frac{2}{k}} - \varepsilon^{\frac{k+1}{k}} \right)} \text{ jako } \psi \quad (6)$$

Vidíme, že maximální množství Q odpovídá $\psi_{\max}$.

Rovnici (6) zderivuji a položíím rovnou 0. Tím vypočítám ε_{KR} ,

kteřé odpovídá $\psi_{\max}$.

$$\varepsilon_{KR} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{pro } k=1,41 \dots \varepsilon_{kr}=0,528 \quad (7)$$

Jestliže $p_1 > \varepsilon_{KR} \cdot p_2$, pak výtok je nadkritický a rychlost zůstává stejná a též ψ je stejné

$$\psi_{\max} = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (8)$$

$$c_{KR} = \varphi \cdot \sqrt{g R T_1} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k+1}} = \varphi V_{T_1} \sqrt{\frac{2k}{k+1}} \quad (9)$$

$$Q_{KR} = \mu \cdot f \cdot p_1 \sqrt{g \cdot k R T_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (10)$$

Změna stavu plynu v nádobě.

Změnu stavu plynu v nádobě a tím i ve válci při průtoku můžeme vypočítat, jestliže známe zákon změny stavu a počáteční parametry.

Váhové množství vzduchu za dobu dt vypočítáme z rovnice

$$dG = Q \cdot dt = \mu \cdot f \cdot \sqrt{g \cdot p_1 \cdot \gamma_1 \cdot \psi} \cdot dt \quad (11)$$

Jestliže uvažujeme změnu stavu jako polytropickou, pak

$$\frac{p_1}{\gamma_1^n} = \frac{p_{1,0}}{\gamma_{1,0}^n}$$

$$\gamma_1 = \gamma_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{\frac{1}{n}}; \quad d\gamma_1 = \frac{1}{n} \cdot \frac{\gamma_{1,0}}{p_{1,0}} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{\frac{1}{n}-1} dp \quad (12)$$

$$p_1 \gamma_1 = p_1 \gamma_{10} \left(\frac{p_1}{p_{10}} \right)^{\frac{1}{n}} = p_{10} \gamma_{10} \left(\frac{p_1}{p_{10}} \right)^{1 + \frac{1}{n}} \quad (13)$$

Protekle množství vzduchu otvorem, určene z rovnice (11) je rovno úbytku vzduchu v nádobě.

Jestliže G_0 a V_0 jsou počáteční váhové množství a objem v nádobě a G_1 a V_1 průběžné hodnoty při změně objemu, potom celkové množství vzduchu vyteklého za dobu dt je

$$G = G_0 - G_1 = V_0 \gamma_{10} - V_1 \gamma_1 \quad (14)$$

$$dG = -d(V_1 \gamma_1) = -V_1 d\gamma_1 - \gamma_1 dV_1$$

$$dG = -V_1 \gamma_1 \left(\frac{d\gamma_1}{\gamma_1} + \frac{dV_1}{V_1} \right) \quad (15)$$

Z rovnice (12) máme

$$\frac{d\gamma_1}{\gamma_1} = \frac{1}{n} \frac{dp_1}{p_1}$$

dosadíme

$$dG = -V_1 g_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{1}{n} \cdot \frac{dp_1}{p_1} + \frac{dV_1}{V_1} \right) \quad (16)$$

Porovnáme rovnice (11) a (16)

$$\mu f \sqrt{g p_1 g_{1,0}} \cdot \psi dt = -V_1 g_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{1}{n} \frac{dp_1}{p_1} + \frac{dV_1}{V_1} \right) \quad (17)$$

z rovnice (13)

$$\mu f \sqrt{g p_{1,0} g_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{1+\frac{1}{n}}} \psi dt =$$

$$= -V_1 g_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{1}{n} \frac{dp_1}{p_1} + \frac{dV_1}{V_1} \right)$$

$$-\frac{\mu f \psi}{V_1} \sqrt{g p_{1,0} g_{1,0} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{1+\frac{1}{n}}} dt = \frac{1}{n} \frac{dp_1}{p_1} + \frac{dV_1}{V_1}$$

$$-\frac{\mu f \psi}{V_1} \sqrt{g \frac{p_{1,0}}{g_{1,0}} \left(\frac{p_1}{p_{1,0}} \right)^{1+\frac{1}{n}}} dt - \frac{dV_1}{V_1} = \frac{1}{n} \frac{d\left(\frac{p_1}{p_{1,0}}\right)}{\frac{p_1}{p_{1,0}}} \quad (18)$$

Rovnici (18) popisující proces změny tlaku v nádobě, nelze integrovat,

jelikož jsou proměnné $\frac{p_1}{p_{10}}$, V_1 , ψ a t
a v některých případech i f . Je
nutné sestavit doplňující rovnice.

ψ určíme rovnici ⑥ nebo ⑧
což závisí na tom, při jakém
režimu probíhá děj. Jestliže
vzduch vyteka do atmosféry,
pak $p_2 = \text{konst.}$

Tímto byl dořešen výtok vzduchu
z nádoby teoreticky a je nutné
uvést, že konkrétní vypočítání
je značně složité.

Naplňování levé části válce vzduchem
při nepohybujícím se pístu.

Jelikož v počátečním okamžiku
 $\varepsilon = \frac{p_{e2}}{p_0} < \varepsilon_{KR}$ plnění levé části
válce bude probíhat zpočátku
při nadkritických poměrech.

$$Q_{KR} = \mu \cdot g_0 \cdot f \sqrt{g k R T_0} \sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

kde p_0 , g_0 a T_0 jsou parametry
vzduchu v zásobníku.

Jelikož objem je konstantní, pak
když použiji rovnici (16) vyjde

$$Q dt = dG_e = V_{e2} \cdot g_{e2} \cdot \frac{1}{n p_{e2}} \left(\frac{p_e}{p_{e2}}\right)^{\frac{1-n}{n}} dp_e$$

$$dt = \frac{V_{e2} \cdot g_{e2}}{p_{e2} \cdot n \cdot Q} \left(\frac{p_e}{p_{e2}}\right)^{\frac{n-1}{n}} dp_e \quad (19)$$

Při kritických poměrech plnění válce čas plnění levé části válce je roven

$$t = \frac{V_{ez} \cdot g_{ez}}{n p_{ez}^{\frac{1}{n}} \cdot Q_{KR}} \int_{p_{ez}}^{p_e} \frac{dp_e}{p_e^{\frac{n-1}{n}}} \\ = \frac{V_{ez} \cdot g_{ez}}{p_{ez}^{\frac{1}{n}} \cdot Q_{KR}} \left(-p_{ez}^{\frac{1}{n}} + p_e^{\frac{1}{n}} \right) \quad (20)$$

Tato rovnice platí v rozmezí od p_{ez} do p_{eKR} .

$$p_e = p_{ez} \left(1 + \frac{Q_{KR}}{g_{ez} V_{ez}} \cdot t \right)^n \quad (21)$$

Až tlak v levé části válce dosáhne kritického a píst se ještě nezačne pohybovat, další plnění už bude probíhat při podkritických podmínkách. Pak vycházím z rovnice (5)

$$Q = \mu \cdot f \cdot p_0 \sqrt{g R T_0} \cdot \sqrt{\frac{2K}{K-1}} \sqrt{\epsilon_e^{\frac{2}{K}} - \epsilon_e^{\frac{K+1}{K}}}$$

$$\text{kde } \epsilon_e = \frac{p_e}{p_0} \quad \epsilon_{lz} = \frac{p_{lz}}{p_0}$$

do rovnice (19) dosadím za Q

$$t - t_{KR} = \frac{V_{lz} \cdot \epsilon_{lz}^{\frac{n-1}{n}} \cdot p_0 \sqrt{\frac{K-1}{2K}}}{n R T_0 \mu f p_0 \sqrt{g R T_0}} \int_{\epsilon_{KR}}^{\epsilon} \frac{d\epsilon}{\epsilon^{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\epsilon^{\frac{2}{K}} - \epsilon^{\frac{K+1}{K}}}}$$

Po úpravách dostaneme konečný
vzorec

$$t - t_{KR} = \frac{V_{lz} \epsilon_{lz}^{\frac{n-1}{n}} T_0}{n \mu f \sqrt{g R T_0} \cdot T_z} \cdot \int_{\epsilon_{KR}}^{\epsilon} \frac{d\epsilon}{\epsilon^{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\epsilon^{\frac{2}{K}} - \epsilon^{\frac{K+1}{K}}}} \quad (22)$$

Vzorce (20) a (22) nám udávají
změnu tlaku v levé části v zá-
vislosti na čase až do doby,
kdy se začne pohybovat píst.

Výtok vzduchu z pravé části válce.

Podle poměru počátečního tlaku k atmosférickému může docházet k výtoku v nadkritické nebo podkritické oblasti.

Vyjdeme z rovnice (18)

$$\frac{1}{n} \frac{d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)}{\frac{p_p}{p_{pz}}} = \frac{\mu \cdot \psi \cdot f_p}{V_{pz}} \sqrt{g \frac{p_{pz}}{\gamma_{pz}} \left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{1-\frac{1}{n}}} dt \quad (23)$$

$$\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{\left(1-\frac{n-1}{2n}\right)} \cdot d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right) = \frac{-n\mu\psi f_p}{V_{pz}} \sqrt{g \frac{p_{pz}}{\gamma_{pz}}} dt$$

pro nadkritický stav

$$\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{\left(\frac{1-3n}{2n}\right)} \cdot d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right) = \frac{-n\mu\psi_{\max} f_p}{V_{pz}} \sqrt{g R T_p} dt \quad (24)$$

$$\int_{p_{pz}}^{p_p} \left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{\frac{1-3n}{2n}} \cdot d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right) = -\frac{n\mu\psi_{\max} f_p}{V_{pz}} \sqrt{g R T_p} \int_0^t dt$$

$$\frac{1}{\frac{1-3n}{2n}+1} (p_p - p_{pz})^{\left(\frac{1-3n}{2n}+1\right)} = - \frac{n \mu \psi_{\max} f_p \sqrt{g R T_p \cdot t}}{V_{pz}}$$
$$\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{\frac{1-n}{2n}} = - \frac{1-n}{2n} \frac{n \mu \psi_{\max} f_p \sqrt{g R T_p \cdot t}}{V_{pz}}$$
$$p_p = p_{pz} \cdot \left[1 + \frac{n-1}{2} \frac{\mu \psi_{\max} \cdot f_p \sqrt{g R T_p \cdot t}}{V_{pz}} \right]^{\frac{2n}{1-n}} \quad (25)$$

při podkritickém režimu výtoku
má koeficient ψ v soulase s rov-
nicí (6) tvar

$$\psi = \sqrt{\frac{2K}{k-1} \left(\varepsilon_p^{\frac{2}{k}} - \varepsilon_p^{\frac{k+1}{k}} \right)}$$

$$\varepsilon_p = \frac{p_{\text{atm}}}{p_p} \quad \text{kde } p_{\text{atm}} \text{ je tlak atmosfé-}$$

rický (převážně)

p_p je tlak v pravé části
vále.

v rovnici (18) platí, že

$$\frac{dV_p}{V_p} = 0 \quad p_{1,0} = p_{pz} \quad \eta_{1,0} = \eta_{pz}$$

$$d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right) = -\frac{\mu f n}{V_{pz}} \sqrt{\frac{2gk p_{pz}}{(k-1) \gamma_{pz}}} \left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right)^{\frac{3n-1}{2n}} \sqrt{\varepsilon_p^{\frac{2}{k}} - \varepsilon_p^{\frac{k+1}{k}}} dt$$

zavedeme výrazy

$$\varepsilon = \frac{p_{op}}{p_p} \quad \text{a} \quad \varepsilon_p = \frac{p_{op}}{p_{pz}}$$

$$d\left(\frac{p_p}{p_{pz}}\right) = d\left(\frac{p_p}{p_{op}} \cdot \frac{p_{op}}{p_{pz}}\right) = d\left(\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon}\right) = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon^2} \cdot d\varepsilon$$

$$dt = \frac{V_{pz}}{\mu \cdot f \cdot n} \sqrt{\frac{(k-1) \gamma_{pz}}{2gk p_{pz}}} \cdot \frac{d\varepsilon}{\varepsilon_z^{\frac{n-1}{2n}} \cdot \varepsilon^{\frac{n+1}{2n}} \sqrt{\varepsilon^{\frac{2}{k}} - \varepsilon^{\frac{k+1}{k}}}}$$

$$t - t_{KR} = \frac{V_{pz}}{\mu \cdot f \cdot n} \sqrt{\frac{(k-1) \gamma_{pz}}{2gk p_{pz}}} \cdot \int_{\varepsilon_{KR}}^{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{\varepsilon_z^{\frac{n-1}{2n}} \cdot \varepsilon^{\frac{n+1}{2n}} \sqrt{\varepsilon^{\frac{2}{k}} - \varepsilon^{\frac{k+1}{k}}}} \quad (26)$$

Rovnice (26) umožňuje najíti tvar $t - t_{KR}$ a sestavit graf změny $t - t_{KR}$ v závislosti na funkci ε .

Závislosti změny tlaku v pravé a levé části válce umožňují určit velikost přípravného času t_{pr} . Do jednoho grafu zakreslíme křivky změn tlaků p_e a p_p . Jelikož nám působí na píst vnější síla P ,

pak rovnice rovnováhy sil na pístu
v okamžiku počátku pohybu zní

$$P = F(\varphi p_e - p_p) \quad (27)$$

Změna tlaku vzduchu v pravé
i levé části válce za pohyb pístu.

Pro zjednodušení předpokládáme, že
tlak na vstupu do válce je konstant-
ní. V předešlém bylo dokázáno, že mo-
ment počátku pohybu pístu odpovídá
momentu, kdy tlakové síly jsou v rovno-
váze.

Nejprve stanovíme zákon změny tlaků
v každé z obou částí válce v době
pohybu pístu, předpokládaje že píst je
ve vzdálenosti x od levé krajní polohy.
Váhové množství vzduchu uzavřené
v levé části válce

$$G_e = f(V_e, p_e) = (\ell_e + x)\varphi \cdot F \cdot p_e \quad (28)$$

V pravé části válce

$$G_p = f(V_p, \gamma_p) = (l_p + H - x) F \cdot \gamma_p \quad (29)$$

Přírůstek váhového množství vzduchu

v obou částech válce zjistíme diferencováním rovnic pro přivedená množství:

$$dG_e = (l_e + x) \varphi \cdot F \cdot d\gamma_e + \varphi \cdot F \cdot \gamma_e \cdot dx \quad (30)$$

$$dG_p = (l_p + H - x) F d\gamma_p - F \gamma_p \cdot dx \quad (31)$$

Přírůstek váhového množství vzduchu

ve válci můžeme určit také vyjádřením množství vzduchu, které přiteče a odteče za dobu dt z válce.

$$dG_e = Q_e \cdot dt \quad dG_p = -Q_p dt \quad (32)$$

Vteřinová množství Q_e a Q_p závisí na

tom, jestli výtok a vtok je nadkritický nebo podkritický a mohou být určena z dříve uvedených rovnic

Porovnáním rovnic (30), (31) a (32) dostaneme

$$(l_e + x) \varphi F d\gamma_e + \varphi F \gamma_e dx = Q_e dt \quad (33)$$

$$(l_p + H - x) F d\gamma_p - F \gamma_p dx = -Q_p dt \quad (34)$$

Vyjadříme j_e a dj_e

$$j_e = j_{ez} \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad dj_e = \frac{j_{ez}}{n} \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{1}{n}-1} d \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)$$

$$\frac{dj_e}{j_e} = \frac{1}{n} \frac{p_{ez}}{p_e} d \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right) \quad (35)$$

$$\frac{dj_p}{j_p} = \frac{1}{n} \frac{p_{pz}}{p_p} d \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right) \quad (36)$$

Upravíme rovnice (33) a (34)

$$\begin{aligned} \frac{(l_e + x) \varphi \cdot F}{n} \cdot \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{1-n}{n}} \cdot d \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right) + \varphi F \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{1}{n}} dx = \\ = \frac{Q_e dt}{j_{ez}} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{(l_p + H - x) F}{n} \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right)^{\frac{1-n}{n}} \cdot d \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right) - F \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right)^{\frac{1}{n}} dx = \\ = - \frac{Q_p dt}{j_{pz}} \end{aligned} \quad (38)$$

Tyto diferenciální rovnice samy o sobě nemohou být řešeny. Je nutno použít ještě rovnice pohybu mechanismu v diferenciálním tvaru.

Tlak v obou částech válce je funkcí
2 proměnných a to x a t .

V soulase s tímto je úplný diferenciál
tlaku

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt + \frac{\partial p}{\partial x} dx \quad (39)$$

Porovnáním rovnice (39) s rovnicemi

(37) a (38) určíme $\frac{\partial p}{\partial t}$ a $\frac{\partial p}{\partial x}$

$$\left. \frac{\partial p_e}{\partial t} = \frac{n p_{ez} \cdot Q_e}{\gamma_{ez} (l_e + x) \varphi F} \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right\} \quad (40)$$

$$\frac{\partial p_e}{\partial x} = - \frac{n p_{ez}}{l_e + x} \cdot \frac{p_e}{p_{ez}}$$

$$\left. \frac{\partial p_p}{\partial t} = - \frac{n p_{pz} Q_p}{\gamma_{pz} (L_p + H - x)} \cdot \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right\} \quad (41)$$

$$\frac{\partial p_p}{\partial x} = \frac{n p_{pz}}{L_p + H - x} \cdot \frac{p_p}{p_{pz}}$$

Výrazy pro parciální derivace tlaku v pravé i levé části válce budou potřebné pro řešení obecného případu pneumatického mechanismu, majícího proměnnou hmotu, na kterou působí síly závislé na čase, poloze a rychlosti.

Brzdění pístu v krajní poloze

Může probíhat 2 způsoby a to:

- 1) Protitlakem
- 2) Škrcením na výtoku z válce

Budu se zabývat jen druhým případem, jelikož ten je použit v mnoh navrženého pneumatického mechanismu.

Pro tento případ budou platit rovnice

③7 a ③8 protože se jedná o zrychlený pohyb vlivem tlaku v levé části válce.

Počáteční vterinové množství protéké přes škrťací ventil je rovno

$$Q_{pš} = -\mu f_{š} \psi \sqrt{g \cdot p_p \cdot g_p}$$

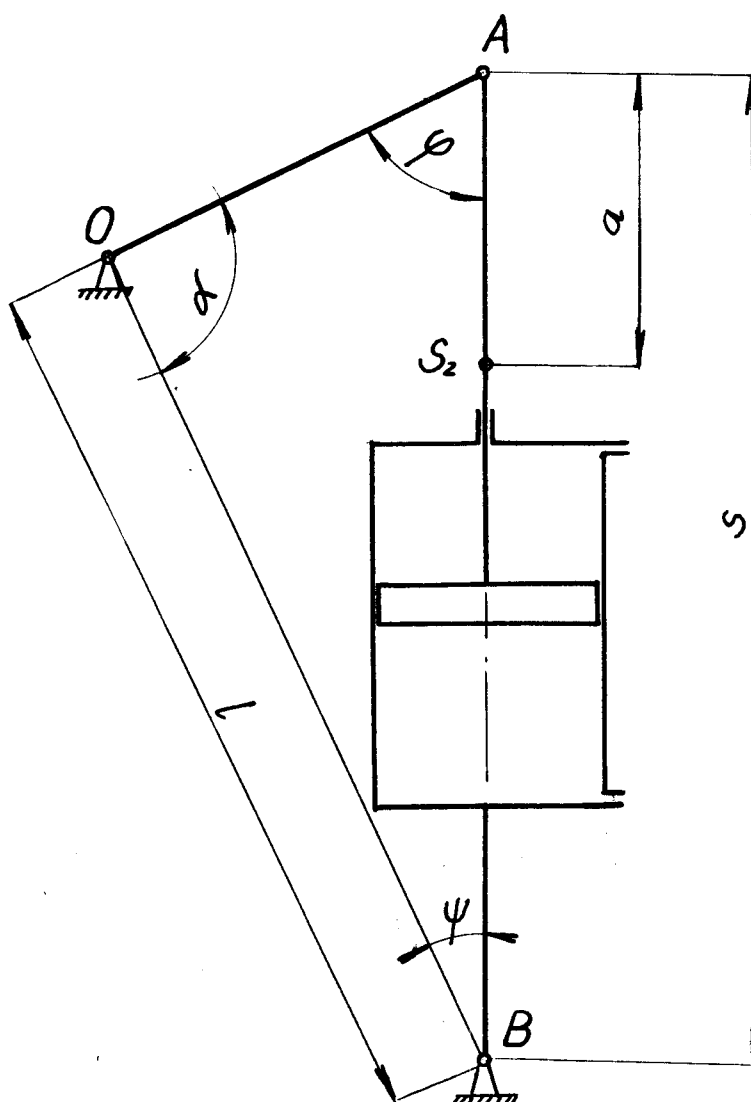
(42)

$$\psi_{\text{podkritické}}' = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p_0}{p_p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

$$\psi_{\text{nadkritické}}' = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Nejčastější je brzdění pístu při nadkritickém stavu.

Obecný výpočet kulisového pneumatického
mechanismu s proměnnou hmotou
vztaženou na píst.



Za úkol je sestavit rovnici pohybu pístu ve formě dávající možnost získat řešení při použití sil závislých na dráze, rychlosti a čase. Dále chci naznačit cestu řešení této pohybové rovnice.

Vztah rychlosti bodu A vahadla a rychlosti pístu v má vztah

$$\frac{V_A}{v} = \frac{1}{\sin \varphi}$$

$$\cos \varphi = \frac{r^2 + s^2 - l^2}{2sr} = \frac{\lambda^2 + \sigma - 1}{2\lambda\sigma} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{s - r \cdot \cos \varphi}{l} = \sigma - \lambda \cos \varphi = \\ &= \frac{1 + \sigma^2 - \lambda^2}{2\sigma} \end{aligned} \quad (44)$$

$$\lambda = \frac{r}{l} \quad \sigma = \frac{s}{l}$$

$$V_A = \frac{v}{\sin \varphi} = v \frac{2\lambda\sigma}{\sqrt{4\lambda^2 - (1 + \lambda^2 - \sigma^2)^2}} \quad (45)$$

$$v_A = L \dot{\sigma} \frac{2\lambda\sigma}{\sqrt{4\lambda^2 - (1 + \lambda^2 - \sigma^2)^2}} = L \dot{\sigma} f_1(\sigma) \quad (46)$$

Úhlovou rychlost válce i tyče $\omega_2 = \frac{d\psi}{dt}$ můžeme dostat z diferenciální rovnice (44)

$$-\sin\psi \frac{d\psi}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1 + \sigma^2 + \lambda^2}{2\sigma} \right) = \dot{\sigma} \frac{\sigma^2 - 1 + \lambda^2}{2\sigma^2} \quad (47)$$

$$\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{1 - \lambda^2 - \sigma^2}{2\sigma^2 \sin\psi} \cdot \dot{\sigma} = \frac{1 - \lambda^2 - \sigma^2}{\sigma \sqrt{4\sigma^2 - (1 + \lambda^2 - \sigma^2)^2}} \cdot \dot{\sigma} \quad (48)$$

$$\dot{\psi} = \dot{\sigma} \cdot f_2(\sigma) \quad (49)$$

Rychlost těžiště pístu a pístní tyče s_2 najdeme z rovnice

$$v_{s_2} = \sqrt{v^2 + (s-a)^2 \dot{\psi}^2} = \dot{\sigma} L \sqrt{f_1^2(\sigma) + (\sigma-a)^2 f_2^2(\sigma)}$$

$$v_{s_2} = \dot{\sigma} L f_3(\sigma) \quad \alpha = \frac{a}{L} \quad (50)$$

Tímto způsobem můžeme určit každou

rychlost určující kinetickou energii mechanismu ve funkci poměrné souřadnice $\bar{s} = \frac{s}{l}$. Při konkrétních výpočtech lze význam funkci $f_1(\bar{s})$, $f_2(\bar{s})$ a $f_3(\bar{s})$ těžko analyticky vyčíslit, proto můžeme využít metodu planu rychlosti, když vezmeme za nezávisle proměnnou souřadnici $\bar{s}$ a výsledek výpočtu znázorníme odpovídajícími grafy.

Skutečnou rychlost pístu a tím i rychlost libovolného bodu článků mechanismu můžeme určit integrováním pohybové rovnice v diferenciální formě, např. Lagrangeovy rovnice II. stupně.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial v} \right) - \frac{\partial E}{\partial s} = Q$$

(51)

kde $E = \frac{mv^2}{2}$... kinetická energie proměnné hmoty m
 s a v ... přemístění a rychlost pístu
v daném případě

$v = l \cdot \dot{\sigma}$, $s = l \cdot \sigma$
pohybová rovnice pro diferencování
ma' tvar

$$l m \ddot{\sigma} + l \frac{\dot{\sigma}}{2} \frac{dm}{dt} = Q \quad (52)$$

$$m \frac{d\dot{\sigma}}{dt} + \frac{\dot{\sigma}}{2} \frac{dm}{dt} = \frac{Q}{l} \quad (53)$$

* Redukovaná hmota m přivedená k posuvnému pohybu s rychlostí v v pevném vedení pístu je vyjádřena rovnici

$$m = m_n \left(\frac{V_{s2}}{V} \right)^2 + (J_n + J_3) \left(\frac{\dot{\psi}}{V} \right)^2 + m_A \left(\frac{V_A}{V} \right)^2$$

Jestliže zaměníme vztahy rychlostí výrazy dříve nalezenými dostaneme

$$m = m_n f_3^2(\sigma) + \frac{J_n + J_3}{l^2} f_2^2(\sigma) + m_A f_1^2(\sigma) = m(\sigma)$$

Rovnici (53) lze napsat i v této podobě

$$d(m \dot{\sigma}) - \frac{1}{2} \dot{\sigma} dm = \frac{Q dt}{l} \quad (54)$$

Jelikož na počátku pohybu v úvrati
je $\sigma_0 = 0$, $m = m_0$ a $Q = f(t, \sigma) = Q_0$

$$\text{dostáváme } m\ddot{\sigma} - \frac{1}{2}\int \ddot{\sigma} dm = \frac{1}{l}\int Q dt \quad (55)$$

Avšak tuto diferenciální rovnici nemůžeme využít, protože integrály nemohou být vypočítány, jestliže $Q = f(t, \sigma)$ a $m = m(\sigma)$. Důsledkem toho je nutno použít metodu číselného integrování, rozdělit dobu pohybu na intervaly Δt a vypočítat pro konec každého z nich veličiny, které nás zajímají a závisí na počátečních podmínkách

$$t = 0, \quad \dot{\sigma} = 0, \quad m = m_0, \quad \sigma = \sigma_0, \quad Q = Q_0$$

Nyní z rovnice (53) po nahrazení proměnlivých veličin vztahem konečně malých přírůstků funkci dostaneme

pro $t = 0$

$$m_0 \ddot{\sigma}_0 = \frac{Q_0}{l}$$

$$\ddot{\sigma}_0 = \frac{Q_0}{m_0 l}$$

pro $t = \Delta t$

$$m_1 \frac{\Delta_1 \dot{\sigma}}{\Delta t} + \frac{\dot{\sigma}_1}{2} \frac{\Delta_1 m}{\Delta t} = \frac{Q_1}{l}$$

$$t_2 = 2\Delta t$$

$$m_2 \cdot \frac{\Delta_2 \dot{\sigma}}{\Delta t} + \frac{\dot{\sigma}_2}{2} \frac{\Delta_2 m}{\Delta t} = \frac{Q_2}{l} \quad \text{atd}$$

(56)

Když sečteme v intervalu Δt všechny funkce, které se mění lineárně, můžeme pro doplnění rovnic (56) napsat

$$m_1 = m_0 + \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \Delta_1 \sigma$$

$$m_2 = m_1 + \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \Delta_2 \sigma \quad \text{atd}$$

$$Q_1 = Q_0 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_0 \Delta_1 \sigma + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_0 \Delta t$$

$$Q_2 = Q_1 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_1 \Delta_2 \sigma + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_1 \Delta t \quad \text{atd}$$

$$\Delta_1 \dot{\sigma} = \dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_0$$

$$\Delta_2 \dot{\sigma} = \dot{\sigma}_2 - \dot{\sigma}_1 \quad \text{atd}$$

$$\dot{\sigma}_1 = \dot{\sigma}_0 + \Delta_1 \dot{\sigma}$$

$$\dot{\sigma}_2 = \dot{\sigma}_1 + \Delta_2 \dot{\sigma} \quad \text{atd}$$

$$\dot{\sigma}_1 = \frac{\Delta_1 \dot{\sigma}}{\Delta t}$$

$$\dot{\sigma}_2 = \frac{\Delta_2 \dot{\sigma}}{\Delta t} \quad \text{atd}$$

Tyto rovnice dosadím do rovnic (56) a po úpravách obdržím

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \Delta_1^2 \sigma + \left[m_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_0 \frac{\Delta^2 t}{l} \right] \Delta_1 \sigma = \\ & = m_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t + \frac{Q_0}{l} \Delta^2 t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_0 \frac{\Delta^3 t}{l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \Delta_2^2 \sigma + \left[m_1 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_1 \frac{\Delta^2 t}{l} \right] \Delta_2 \sigma = \\ & = m_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t + \frac{Q_1}{l} \Delta^2 t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_1 \frac{\Delta^3 t}{l} \quad (57) \end{aligned}$$

Jestliže je síla Q ještě i funkcí rychlosti $Q = f(\sigma, \dot{\sigma}, t)$ potom rovnice (57) mají tvar

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \Delta_1^2 \sigma + \left[m_0 - \frac{\Delta t}{l} \left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{\sigma}} \right)_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_0 \frac{\Delta^2 t}{l} \right] \Delta_1 \sigma = \left[m_0 - \frac{\Delta t}{l} \left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{\sigma}} \right)_0 \right] \dot{\sigma}_0 \Delta t + \\ & + \frac{Q_0}{l} \Delta^2 t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_0 \Delta^3 t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \Delta_2^2 \sigma + \left[m_1 - \frac{\Delta t}{l} \left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{\sigma}} \right)_1 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_1 \frac{\Delta^2 t}{l} \right] \Delta_2 \sigma = \left[m_1 - \frac{\Delta t}{l} \left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{\sigma}} \right)_1 \right] \dot{\sigma}_1 \Delta t + \\ & + \frac{Q_1}{l} \Delta^2 t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_1 \Delta^3 t \end{aligned} \quad (58)$$

Jestliže stanovíme předběžně analyticky nebo graficky tvary funkcí $Q = f(\sigma, t)$ a $m = m(\sigma)$ není těžké najít postupně také velikost koeficientů při hledaných přírůstcích $\Delta_1 \sigma$, $\Delta_2 \sigma$ atd, t.j. velikost parciálních derivací funkcí Q a m pro začátek každého intervalu.

Při dostatečně malých intervalech Δt jsou některé sčítance malé druhého řádu a můžeme je zanedbat, jestliže $\frac{\partial m}{\partial \sigma}$ a $\frac{\partial Q}{\partial t}$ jsou nepatrné.

V takovém případě se rovnice pro přírůstky dráhy přemístění pístu stávají

lineárními

$$\Delta_1 \sigma = \frac{m_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t + \frac{Q_0}{L} \Delta^2 t}{m_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma}\right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma}\right)_0 \frac{\Delta^2 t}{L}}$$

$$\dot{\sigma}_1 = \frac{m_0 \dot{\sigma}_0 + \frac{Q_0}{L} t}{m_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma}\right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma}\right)_0 \frac{\Delta^2 t}{L}} \quad (59)$$

Analogické výrazy obdržíme pro případ, že síla Q je funkcí souřadnice, rychlosti a času. Přesnější výrazy dostaneme z rovnice (57) nebo (58) když řešíme kvadratickou rovnici vzhledem k $\Delta \sigma$.

Z rovnice (58) pro $Q = f(\sigma, \dot{\sigma})$ dostáváme

$$\Delta_1 \sigma = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4a_1 c_1}}{2a_1}, \quad \Delta_2 \sigma = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4a_2 c_2}}{2a_2} \quad (60)$$

kde

$$a_1 = \frac{3 \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma}\right)_0}{2 \left[m_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma}\right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma}\right)_0 \frac{\Delta^2 t}{L} \right]}$$

$$a_2 = \frac{3 \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1}{2 \left[m_1 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_1 \frac{\Delta^2 t}{L} \right]}$$

$$c_1 = \frac{m_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t + \frac{Q_0 \Delta^2 t}{L} + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_0 \frac{\Delta^2 t}{L}}{m_0 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_0 \dot{\sigma}_0 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_0 \frac{\Delta^2 t}{L}}$$

$$c_2 = \frac{m_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t + \frac{Q \Delta^2 t}{L} + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_1 \frac{\Delta^2 t}{L}}{m_1 - \left(\frac{\partial m}{\partial \sigma} \right)_1 \dot{\sigma}_1 \Delta t - \left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right)_1 \frac{\Delta^2 t}{L}}$$

Velikost parciálních derivací přivedené síly Q podle σ a t můžeme určit ze vzdušného režimu v komorách válce,

$$Q = F(\varphi \cdot p_L - p_P) - T$$

(61)

kde T je vnější odpor, který může být stálý nebo funkcí s a t .

$p_L, p_P \dots$ tlaky v obou částech válce
Malý konečný přírůstek síly Q může

být vyjádřen přírůstký proměnných
t.j.

$$\Delta Q = \varphi F \Delta p_e - F \Delta p_p - \Delta T \quad (62)$$

nebo

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \Delta \sigma + \frac{\partial Q}{\partial t} \Delta t \quad (63)$$

$$\Delta p_e = \frac{\partial p_e}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial p_e}{\partial t} \Delta t = \frac{\partial p_e}{\partial \sigma} \Delta \sigma + \frac{\partial p_e}{\partial t} \Delta t \quad (64)$$

$$\Delta p_p = \frac{\partial p_p}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial p_p}{\partial t} \Delta t = \frac{\partial p_p}{\partial \sigma} \Delta \sigma + \frac{\partial p_p}{\partial t} \Delta t \quad (65)$$

kde $x = \sigma \cdot l$

Provedeme-li dosazení Δp_e a Δp_p
do rovnice (62) a porovnáme výsledek
s rovnici (63) dostaneme

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial \sigma} &= F \left(\varphi \frac{\partial p_e}{\partial \sigma} - \frac{\partial p_p}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial T}{\partial \sigma} \\ \frac{\partial Q}{\partial t} &= F \left(\varphi \frac{\partial p_e}{\partial t} - \frac{\partial p_p}{\partial t} \right) - \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned} \right\} (66)$$

Parciální derivace tlaku podle σ a t

se určí z rovnic (40) a (41), máme-li na zřeteli, že pro kulisový mechanismus platí

$$s + a = L + x, \quad \sigma \cdot L = L - a + x$$

$$dx = l d\sigma$$

$$\frac{\partial p_e}{\partial t} = \frac{n \cdot Q_e \cdot p_{ez}}{g_{ez}(l_e + x) \varphi \cdot F} \left(\frac{p_e}{p_{ez}} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\frac{\partial p_e}{\partial \sigma} = - \frac{n \cdot l \cdot p_{ez}}{l_e + x} \frac{p_e}{p_{ez}}$$

$$\frac{\partial p_p}{\partial t} = - \frac{n \cdot Q_p \cdot p_{pz}}{g_{pz}(l_p + H - x) F} \left(\frac{p_p}{p_{pz}} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\frac{\partial p_p}{\partial \sigma} = \frac{n \cdot l \cdot p_{pz}}{l_p + H - x} \frac{p_p}{p_{pz}}$$

(67)

Nalezené výrazy pro parciální derivace přivedené síly dovolují provést číselné

integrování rovnic (59) při čemž je nutné mít na zřeteli, že

$$\Delta_1 p_e = \left(\frac{\partial p_e}{\partial \sigma} \right)_0 \Delta_1 \sigma + \left(\frac{\partial p_e}{\partial t} \right)_0 \Delta t$$

$$\Delta_2 p_e = \left(\frac{\partial p_e}{\partial \sigma} \right)_1 \Delta_2 \sigma + \left(\frac{\partial p_e}{\partial t} \right)_1 \Delta t \quad \text{atd}$$

$$p_{e1} = p_{e2} + \Delta_1 p_e$$

$$p_{e2} = p_{e1} + \Delta_2 p_e \quad \text{atd}$$

(68)

(69)

Analogické výrazy je možno napsat pro tlaky v pravé části válce a jeho přírůstek.

Tato metoda určení zákona pohybu mechanismu s proměnnou hmotou, dovolující určit dobu chodu mechanismu, je vesměs složitá při číselných výpočtech. Řešení je výhodné provádět na elektronických počítačích strojích.

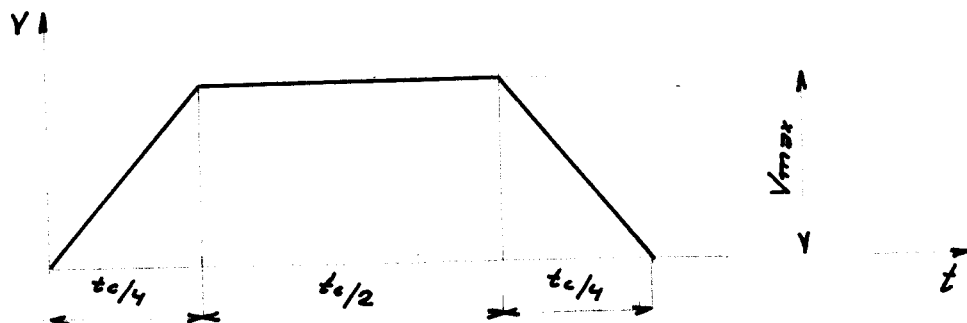
KONTROLA PNEUMATICKÉHO MECHANISMU.

Jelikož číselný výpočet pneumatického kulísového mechanismu dle teorie je značně složitý a vzhledem k tomu, že vstupní parametry vzduchu není možno zajistit, tento neprovádím a omezím se na zjištění dosažitelného zrychlení stolu. Pro pohon karuselu není rychlost otáčení stolu určena ani technologickými ani funkčními vlastnostmi karuselu, nýbrž záleží jen na tom, aby nedocházelo k abnormálně velkému zrychlení stolu, což by při zpomalování mělo snad za následek lámání kapilár termolahví.

Zdvih pistu $H = 150 \text{ mm}$

Doba chodu $t_c = 0,5 \text{ sec}$

Za předpokladu, že zrychlování a zpomalování by činilo vždy $\frac{1}{4} t_c$ a dělo by se rovnoměrně, plán rychlosti by vypadal takto:



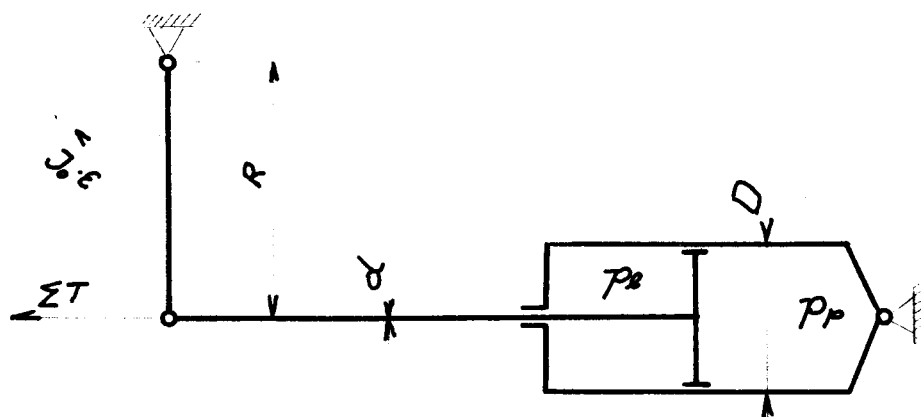
$$H = \frac{t_c}{2} \cdot v_{max} + 2 \cdot \frac{t_c}{4} \cdot \frac{v_{max}}{2} = \frac{3}{4} v_{max} \cdot t_c$$

$$v_{max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{H}{t_c} = \frac{4 \cdot 0,15}{3 \cdot \frac{1}{120}} = 24 \text{ m/min}$$

$$a = \frac{4 \cdot v_{max}}{t_c} = \frac{0,4 \cdot 4 \cdot 2}{1} = 3,2 \text{ m/sec}^2$$

Tato doba chodu odpovídá vcelku dobám chodu pneumatického mechanismu karuselu pro navazování krků televizních baněk v AVTB ve Valašském Meziříčí.

Kontrola zrychlení pístu.



Rovnice rovnováhy pístu (pohybová).

$$\frac{J_0 \cdot \epsilon}{R} + \sum_{n=1}^{\infty} T_n = P$$

$$P = \frac{\pi D^2}{4} (\varphi \cdot p_e - p_p)$$

$$\varphi = \frac{D^2 - d^2}{D^2} = 0,91$$

$\sum T_n$ = součet pasivních odporů stolu

J_0 = moment setrvačnosti stolu

ϵ = zrychlení stolu

p_e = tlak na levou stranu pístu

p_p = tlak na pravou stranu pístu

D = průměr válce = 100 mm

d = průměr pístnice = 30 mm

Při výpočtu ε zanedbáváme:

1. Pasivní odpory kromě T_1 , což je tření v zábruse stolu.
2. Setrvačné síly soupáči pneumatického mechanismu a pístu.
3. Sílu potřebnou pro pohon centrálního tlakového mazacího přístroje.

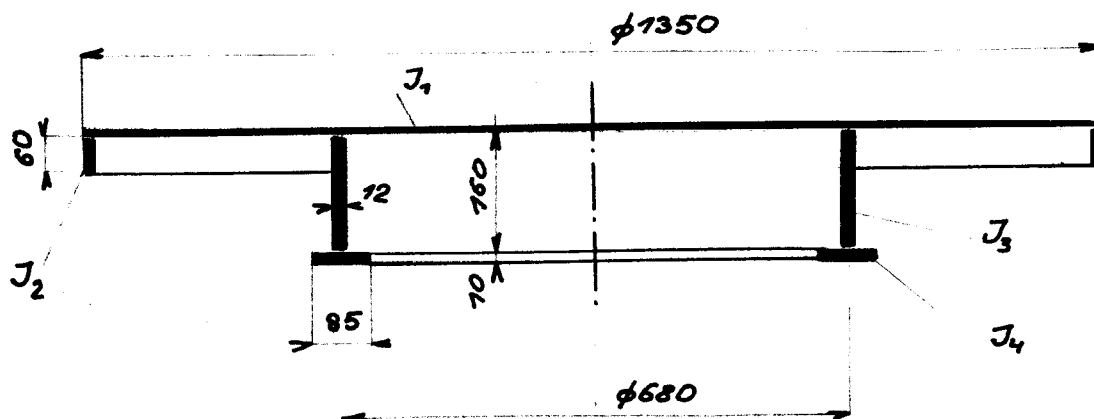
Jelikož výkyv kliky pneumatického mechanismu činí jen $17^{\circ}15'$ od střední polohy, která je kolmá na pístnici, zanedbáváme změnu R .

Dále pro zjednodušení uvážuji

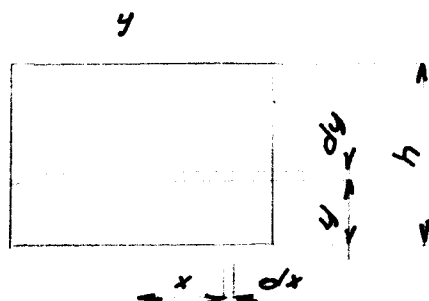
$$p_e = 4 \text{ ata}$$

$$p_p = p_{atm} = 1 \text{ ata}$$

Výpočet momentu setrvačnosti stolu.

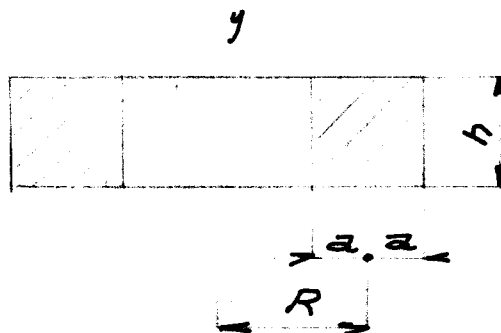


1. Odvození vzorce pro J válce



$$\begin{aligned} J_y &= \int x^2 dm = \\ &= \mu \cdot \int_0^{2\pi} dy \int_0^h dy \int_0^r x^3 dx = \\ &= \mu \cdot 2\pi \cdot \frac{r^4}{4} \cdot h = \frac{\pi}{2} \mu \cdot h \cdot r^4 \end{aligned}$$

2. Pro prstenec je odvození podobné



$$J_y = 4\pi \mu \cdot h \cdot R \cdot a (R^2 + a^2)$$

$$J_1 = \mu \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 0,06 \cdot 6,75^4 = 15,7 \text{ kg dm s}^2$$

$$J_2 = 4\pi \mu \cdot 0,6 \cdot 6,71 \cdot 0,04 (6,71^2 + 0,04^2) = 7,4 \text{ kg dm s}^2$$

$$J_3 = 4\pi \mu \cdot 1,6 \cdot 3,4 \cdot 0,06 \cdot (3,4^2 + 0,06^2) = 4,13 \text{ kg dm s}^2$$

$$J_4 = 4\pi \mu \cdot 0,7 \cdot 3,4 \cdot 0,425 \cdot (3,4^2 + 0,425^2) = 1,84 \text{ kg dm s}^2$$

$$J_0 = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 = 29,07 \text{ kg dm s}^2$$

$$\underline{J_0 = 29,07 \text{ kg dm s}^2}$$

$$\underline{G_{celkové} = 101 \text{ kg}}$$

Do momentu setrvačnosti stolu

nejsou zahrnuty a.) Termoláhve

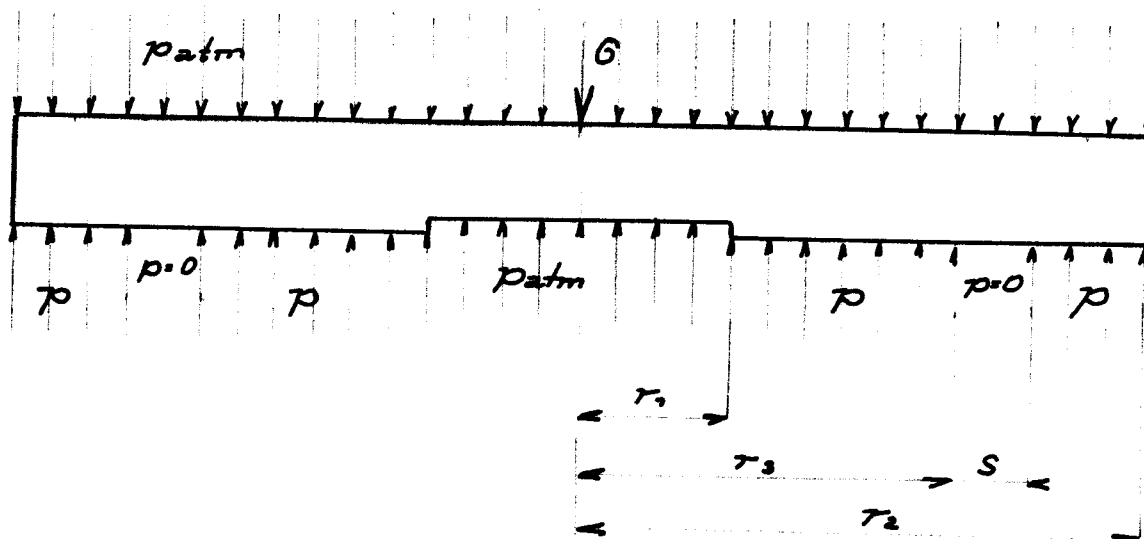
b.) Upínací a podpírací
ústrojí

c.) Žebra

d.) Potrubí

Všechny tyto složky by však moment setrvačnosti jen velmi málo ovlivnily.

Výpočet třecího odporu v
zábruse karuselu.



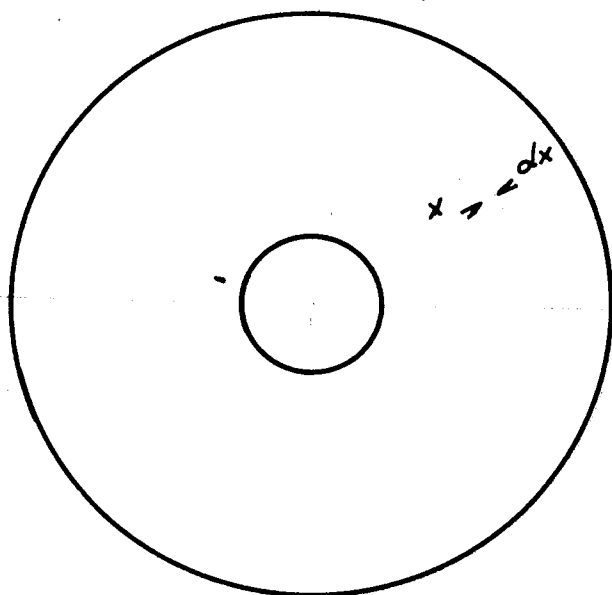
$$\underline{p = p_G + p_{red}}$$

$$p_{red} = p_{atm} \cdot \frac{2\pi \left(r_2 + \frac{S}{2}\right) \cdot S}{\pi (r_2^2 - r_1^2)} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{9,8 + 1}{15^2 - 6,75^2} =$$

$$= 0,12 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_G = \frac{G}{\pi (r_2^2 - r_1^2)} = \frac{100}{\pi \cdot (15^2 - 6,75^2)} = 0,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$\underline{p = 0,3 \text{ kg/cm}^2}$$



$$r_1 = 67,5$$

$$r_2 = 150$$

$$r_3 = 98$$

$$s = 20$$

$$f = 0,1$$

$$dN = p \cdot dF = 2\pi p dx \cdot x$$

$$dT = f \cdot dN = 2\pi p f dx \cdot x = f \cdot p \cdot dF$$

$$M = \int_{r_1}^{r_2} x \cdot dT = 2\pi p \cdot f \cdot \int_{r_1}^{r_2} x^2 dx = \frac{2}{3} \pi \cdot p \cdot f (r_2^2 - r_1^2) =$$

$$= \frac{2}{3} \pi \cdot 0,3 \cdot 0,1 \cdot (15^2 - 6,75^2) = 192 \text{ kg dm}$$

$$T_1 = \frac{M}{R} = \frac{192}{4} = 48 \text{ kg}$$

$$\underline{T_1 = 48 \text{ kg}}$$

$$P = \frac{\pi D^2}{4} (\varphi \cdot p_e - p_p) = \frac{\pi D^2}{4} (\varphi \cdot 4 - 1) = 207 \text{ kg}$$

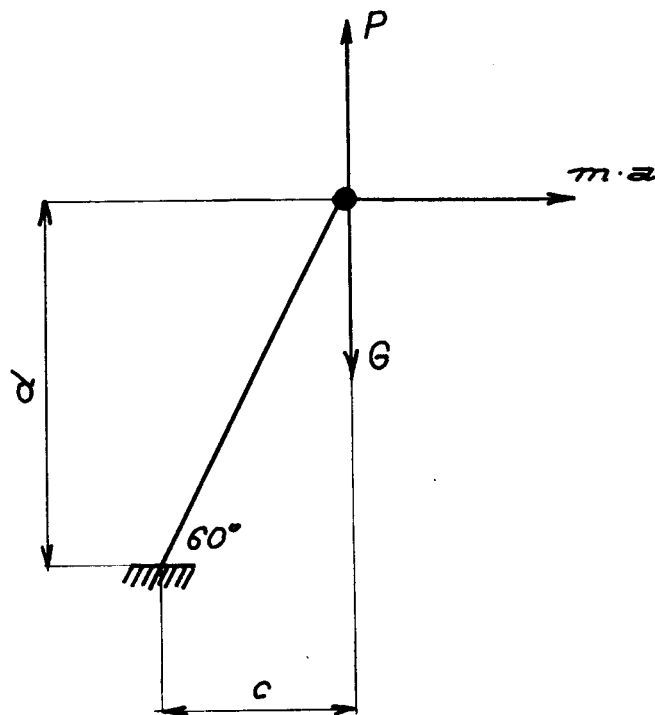
$$J_0 \cdot \varepsilon = R(P - T_1)$$

$$\varepsilon = \frac{R \cdot (P - T_1)}{J_0} = \frac{0,4 \cdot (207 - 48)}{2,907} = 21,9 \frac{1}{\text{sec}^2}$$

$$a = R \cdot \varepsilon = 0,4 \cdot 21,9 = \underline{\underline{8,75 \text{ m/sec}^2}}$$

I ze značně zjednodušeného výpočtu je vidět, že mechanismus je tlakově dostatečně dimenzován. Zrychlení nebude ve skutečnosti dosahovat takových hodnot, jelikož na pravou stranu pístu bude působit tlak větší než atmosférický. Mechanismus bude seřízen na žádané kinematické veličiny škrtkovými ventily při zkušebním provozu, jak se to běžně u pneumatických mechanismů provádí.

VÝPOČET PRUŽINY PODPĚRY TERMOLÁHVE



$$P \cdot c = m \cdot a \cdot d + G \cdot c$$

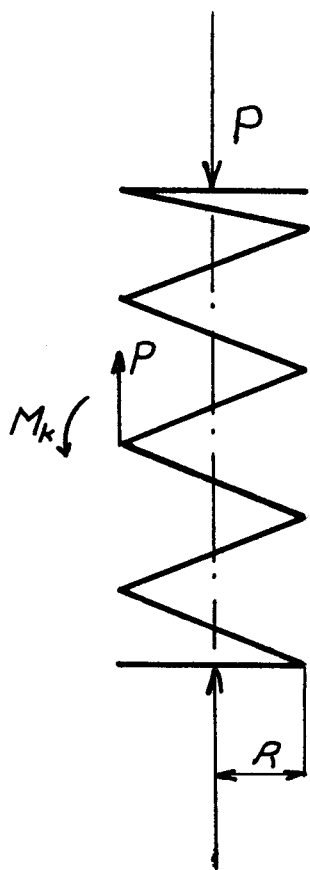
$$d = 2c$$

$$P = 2ma + G$$

$$G = 40 \text{ dkg}, \quad m \cdot a = 5 \text{ dkg}$$

$$\underline{P = 50 \text{ dkg}}$$

Volím tlačnou pružinu, která po zatížení silou P má délku 50 mm.

Řešení na základě defor. práce.

$$l_2 = 50 \text{ mm}$$

$$l_1 = ?$$

$$n = 15$$

$$d = 0,8 \text{ mm}$$

$$R = 6,5 \text{ mm}$$

$$G = 8 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{mat } 14260$$

$$L = \frac{M_k^2 \cdot 2\pi \cdot R \cdot n}{2 \cdot G \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^4} = \frac{1}{2} P \cdot (l_1 - l_2)$$

$$l_1 - l_2 = \frac{2P^2 \cdot R^2 \cdot 2\pi \cdot R \cdot n}{P \cdot 2G \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^4} = \frac{64 P \cdot R^3 \cdot n}{G \cdot d^4} =$$
$$= \frac{64 \cdot 0,5 \cdot 0,65^3 \cdot 15}{8 \cdot 10^5 \cdot 0,08^4} = 3,9$$

$$l_1 = l_2 + 3,9 = 53,9 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{16 P \cdot R}{\pi \cdot d^3} = 3200 \text{ kg/cm}^2$$

Předpětí pružiny.

Minimální

$$P_{min} = \frac{G \cdot d^4}{64 R^3 \cdot \pi} \cdot (l_1 - l_{3max}) =$$

$$= \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,08^4}{64 \cdot 0,65^3 \cdot 15} (8,9 - 8) = \underline{0,112 \text{ kg}}$$

Maximální

$$P_{max} = \frac{G \cdot d^4}{64 R^3 \cdot \pi} \cdot (l_1 - l_{3min}) =$$

$$= \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,08^4}{64 \cdot 0,65^3 \cdot 15} (8,9 - 5,5) = \underline{0,4 \text{ kg}}$$

Délky l_3 jsou brány z konstrukčního výkresu.

Předpětí pružin je nutno seřadit při zkušebním provozu karuselu.

TEPELNÝ REŽIM V OHŘÍVACÍM TUNELU

Volím elektrickou průběžnou ohřívací pec pro výkon 300 termoláhví za hodinu, ohřátých na 300°C . Doba ohřevu 1 termoláhve $\tau = 10 \cdot 12 \text{ sec} = 120 \text{ sec} = 2 \text{ min}$.

Vycházím z toho, že vždy 10 posic bude uvnitř tunelu.

Maximální váha 1 termoláhve je 0,5 kg. Hodinový výkon pece v kg $G = 150 \text{ kg}$. Hodinový výkon pece v kcal $= Q_n$.

$$Q_n = G \cdot c (t_2 - t_1) = 150 \cdot 0,2 (300 - 20) = \\ = \underline{8400 \text{ kcal/hod}}$$

$$c_{\text{skla}} = 0,2 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

Tunel bude vyhříván elektrickým teplem.

Výpočet teploty v peci.

Plocha povrchu 1l termoláhvě = 12 dm^2

Střední teplota povrchu $t_s = 150^\circ\text{C}$

Souč. přestupu tepla $\alpha = 15 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{\text{peci}} - t_s)$$

$$t_{\text{peci}} - 150 = \frac{Q}{\alpha \cdot F \cdot \tau} = \frac{28}{15 \cdot 0,12 \cdot \frac{1}{30}} = 468^\circ\text{C}$$

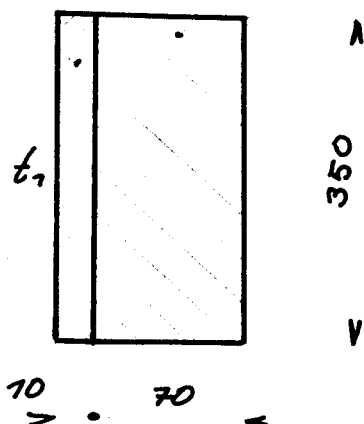
$$t_{\text{peci}} = 468 + 150 = \underline{618^\circ\text{C}}$$

Ve skutečnosti nebude muset být teplota v peci tak velká, protože povrch termoláhvě se ohřeje velmi rychle na žádanou teplotu. Na prohřátí celé stěny tak dále nezáleží, protože plyny odstraňujeme jen ze slabé povrchové vrstvy. Nebezpečí prasknutí nehrozí, jelikož ohřívací teplota je poměrně nízká.

Tepelné ztráty.Ztráta tepla stěnamaž Q_1

asbest

magnetit



Možno zanedbat
plechový plášť
pece.

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_p = 620^\circ\text{C}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{asbest}} = 0,7 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$$

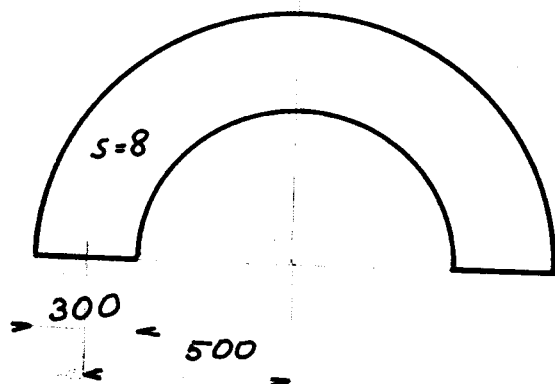
$$\lambda_{\text{magn.}} = 0,07 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2}} = 0,7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$$F_1 = 0,35 \cdot \pi \cdot (0,65 + 0,35) = 1,7 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = F_1 \cdot k_1 (t_p - t_1) = 1,7 \cdot 0,7 (620 - 20) =$$
$$= 463 \text{ kcal/hod}$$

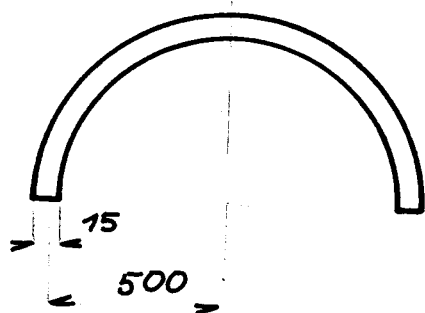
$$Q_1 = 463 \text{ kcal/hod}$$

Ztráta tepla vedením dna Q_2 

$$F_2 = \pi \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,47 \text{ m}^2$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{0,008}{0,77}} = 2,65 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = F_2 \cdot k_2 \cdot 600 = 0,47 \cdot 2,65 \cdot 600 = \underline{750 \text{ kcal/hod}}$$

Ztráta tepla sáláním otvorem ve dnu Q_3 

$$F_4 = 0,0235 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \text{souc. zúž.} = 0,8$$

$$T_p = 893^\circ\text{K}$$

$$T_v = 293^\circ\text{K}$$

$$Q_3 = 4,96 \cdot \varphi \cdot F_4 \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_v}{100} \right)^4 \right] =$$

$$= 4,96 \cdot 0,8 \cdot 0,0235 \cdot [8,93^4 - 2,93^4] = 590$$

$$\underline{Q_3 = 590 \text{ kcal/hod}}$$

Ztráta tepla klenbou pece Q_4

$s_4 = 20 \text{ mm}$, izolace asbestová

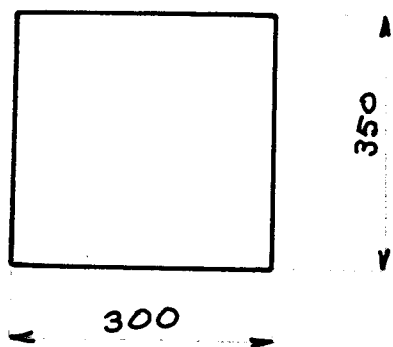
$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{0,02}{0,77}} = 2,2 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$$

$$F_4 = F_2 = 0,47 \text{ m}^2$$

$$Q_4 = 0,47 \cdot 2,2 \cdot 600 = 620 \text{ kcal/hod}$$

$$\underline{Q_4 = 620 \text{ kcal/hod}}$$

Ztráta tepla sáláním přerušované
otvíráními čely pece Q_5



$$F_5 = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,35 = 0,21 \text{ m}^2$$

$$\varphi = 0,8$$

$$\tau = 300 \cdot 7 \text{ sec} = 0,0835 \text{ hod}$$

$$Q_5 = 4,96 \cdot 0,8 \cdot 0,21 \cdot 0,0835 \cdot 6330 = 442$$

$$\underline{Q_5 = 442 \text{ kcal/hod}}$$

Ztráta tepla vedením asbestovými
závěsy čel pece Q_6 .

$$F_6 = F_5 = 0,21 \text{ m}^2$$

Pro malou tloušťku závěsu zanedbáváme $\frac{s}{\lambda}$

$$k = \frac{\alpha}{2} = 4 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

$$Q_6 = 0,21 \cdot 4 \cdot 600 = \underline{505 \text{ kcal/hod}}$$

Celková hodinová ztráta tepla.

$$Q_z = \sum_{n=1}^{n=6} Q_n = 3370 \text{ kcal/hod}$$

$$\underline{Q_z = 3370 \text{ kcal/hod}}$$

Celková hodinová spotřeba tepla

$$Q = Q_h + Q_z = 8400 + 3370 = 11770 \text{ kcal/hod}$$

$$\underline{\underline{Q = 11770 \text{ kcal/hod}}}$$

Výpočet hodinového příkonu pece.

U elektrických pecí nutno přihlížet k záloze výkonu pece, vyjádřené součinitelem $K_1 = 1,2$; dále se počítá se součinitelem uvažujícím pokles napětí v síti o cca 10%. Pak $K_2 = 0,9^2 = 0,81$

$$P = \frac{Q \cdot K_1}{860 \cdot K_2} = \frac{11700 \cdot 1,2}{860 \cdot 0,81} = 20,3 \text{ kW}$$

$$\underline{\underline{P = 20,3 \text{ kW}}}$$

Výpočet topných odporů.

- E Napětí na koncích topného odporu
N Příkon topného odporu při prac. t.
 C_z Měrné povrchové zatížení top. odporu
R Celkový odpor
f Průřez topného odporu
d Průměr topného odporu
l Délka odporu
 ρ Měrný odpor

$$N = E \cdot J \quad J = \frac{E}{R} \quad R = \frac{E^2}{N}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{f} = \rho \cdot \frac{l}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4 \rho l}{\pi d^2}$$

$$\text{pak } \frac{E^2}{N} = \frac{4 \rho \cdot l}{\pi d^2}$$

V této rovnici jsou 2 neznámé l, d .
Použiji měrného povrchového zatížení.

$$N = c_2 \cdot \pi \cdot d \cdot l$$

$$l = \frac{N}{c_2 \cdot \pi \cdot d}$$

$$\frac{E^2}{N} = \frac{4 \rho N}{c_2 \cdot \pi^2 \cdot d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho N^2}{\pi^2 \cdot c_2 \cdot E^2}}$$

Jako materiál odporu volím antoxyd
o složení 27% Cr, 38,5% Ni, zbytek Fe.

$$\rho = 1,28 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \text{ při } 900^\circ\text{C}$$

$$E = 220 \text{ V}$$

$$N = 20300 \text{ W}$$

$$c_2 = 6 \text{ W/cm}^2 \text{ s ohledem na nízkou}$$

pracovní teplotu

Vzorec upravíme tak, abychom
 ρ a c_z mohli dosazovat v zadaných
jednotkách

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho \cdot p^2}{10 \pi^2 \cdot c_z \cdot E^2}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 7,28 \cdot 20300^2}{10 \cdot \pi^2 \cdot 6 \cdot 220^2}} =$$
$$= 4,78 \text{ mm}$$

d volím 5 mm

$$l = \frac{E^2 \cdot \pi d^2}{4 \rho \cdot N} = \frac{220^2 \cdot \pi \cdot 5^2}{4 \cdot 7,28 \cdot 10^{-2} \cdot 20300} = 3320 \text{ mm}$$

$l = 3,3 \text{ m}$

Tyto hodnoty jsou ovšem jen
teoretické a pro správný režim
v peci musí být odzkoušeny.

E K O N O M I C K Ý R O Z B O R .

N á k l a d y n a v y č e r p á n í l t e r m o -
l á h v e p ř i s t á v a j í c í m z p ů s o b u
č e r p á n í .

Mzdy: Počet vyčerpaných termolahví za 1 měsíc 120 000 ks.
 Norma 1 pracovníka za 1 hodinu 50 ks.
 Nutný měsíční počet normohodin $\frac{120\ 000}{50}$ 2.400 hod.
 Sazba za 1 normohodinu 7,70 Kčs
 Mzdové náklady za 1 měsíc $2\ 400 \times 7,70$ 18 500 Kčs

Mzdové náklady na vyčerpání 1 termoláhve:

$$\frac{18\ 500}{120\ 000} \cdot \underline{\underline{0,1545\ Kčs}}$$

Energie: Spotřeba 4 000 m³ plynu à 0,25 Kčs 1.000 Kčs

Energetické náklady na 1 termoláhev :

$$\frac{1\ 000}{120\ 000} \cdot 0,0085\ Kčs$$

Celkové náklady na vyčerpání 1 termoláhve:

$$0,1545 + 0,0085 = \underline{\underline{0,1630\ Kčs.}}$$

Náklady na vyčerpání 1 termoláhvve při použití čerpacího karuselu.

Kapacita 1 karuselu při dvousměnném provozu za 1 den:

$$\begin{aligned} \text{za 1 den} & 300 \times 15,2 = 4.560 \text{ ks} \\ \text{za 1 měs.} & 4560 \times 26 = 120.000 \text{ ks} \end{aligned}$$

Mzdy: Kvalit.třídu počítám stejnou, ačkoliv bude ji možno snížit. Počet hodin $26 \times 16 = 416$
Mzdové náklady za 1 měsíc $= 416 \times 7,70 = 3\,200 \text{ Kčs}$
Mzdové náklady na vyčerpání 1 termoláhvve:

$$\frac{3\,200}{120\,000} = \underline{\underline{0,0266 \text{ Kčs}}}$$

Energie:

Náklady na elektrickou energii za 1 měsíc:

$$416 \times 20,3 \times 0,15 = 1\,260 \text{ Kčs}$$

Náklady za elektrickou energii na 1 termoláhev:

$$\frac{1\,260}{120\,000} = 0,0105 \text{ Kčs}$$

Celkové náklady na vyčerpání 1 termoláhvve:

$$0,0266 + 0,0105 = \underline{\underline{0,0371 \text{ Kčs}}}$$

Z Á V Ě R .
=====

Úspora nákladů na vyčerpání 1 termoláhvě:

$$0,1630 - 0,0371 = 0,1259 \text{ Kčs}$$

Celková roční výroba termoláhví = $120\,000 \times 12 = 1\,440\,000$ ks

Celková roční úspora při čerpání termoláhví čerpacím
karuselem

$$1\,440\,000 \times 0,1259 = 181\,000 \text{ Kčs.}$$

=====

Další úspora vznikne uvolněním 200 m^2 pracovního prostoru
v hale.

Z uvedeného rozboru je zřejmé, že čerpací karusel splňuje
všechny podmínky, které byly na něj kladeny.

Ludvík Janda

O B S A H D I P L O M O V É P R Á C E .

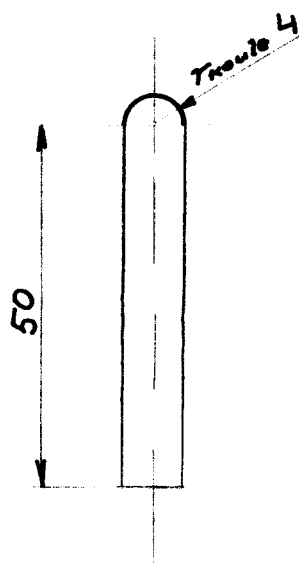
1. Část popisná a výpočtová.

	strana
Zařízení	1
Úvod	2
Zhodnocení čerpací techniky v ČSSR a v zahrani.	3
Normy vložek pro izolační láhve ČSN 70 4990	5
Technologický postup konečného zpracování termosek	9
Odplyňování skla	12
Volba druhu a počtu vývěv	14
Kontrola výkonu vývěv	16
Návrh mechanismu pohonu karuselu	21
Popis činnosti elektro-pneumatické instalace	24
Mazání karuselu	27
Konstrukce náhonu tlakového přístroje	29
Teoretický výpočet pneumatického mechanismu	30
Kontrola pneumatického mechanismu	67
Výpočet pružiny podpěry termoláhve	76
Tepelný režim v ohřívacím tunelu	79
Ekonomický rozbor	88
Obsah	91

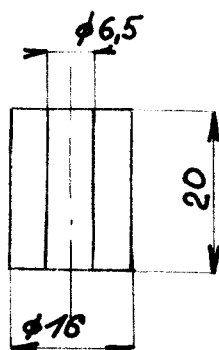
2. Část výkresová.

5 výkresů formátu	A ₀
1 výkres "	A ₁
7 výkresů "	A ₄
2 rozpisky "	A ₄

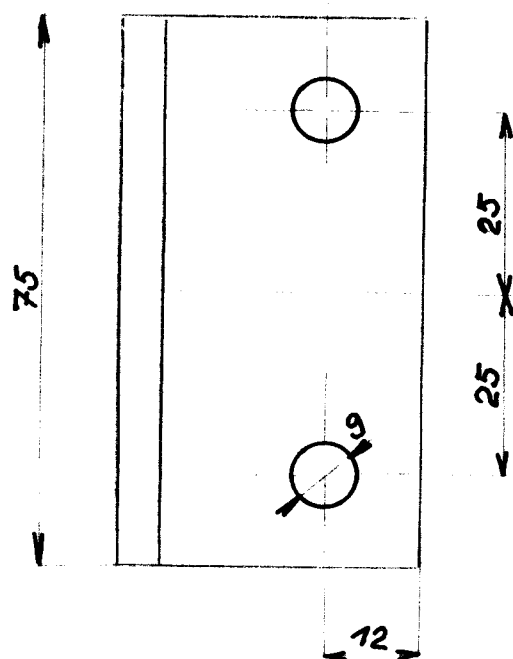
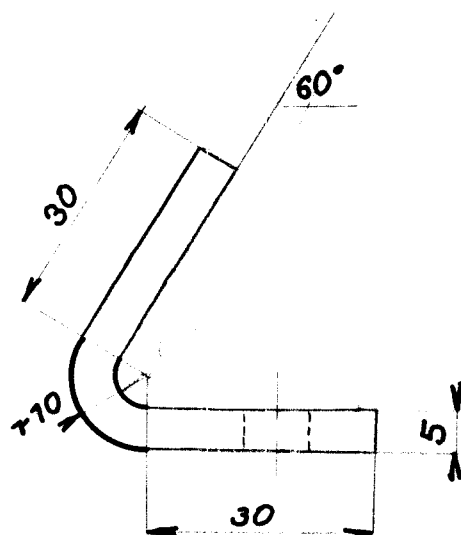
Celkový rozsah diplomové práce 188 formátů A₄.



16	Rukojeť			11370					9
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Trída Odpr.	Č. váha	Hr.váha	Číslo vykresu	Pos
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil	<u>Haladej</u>	Čís. sním.	Datum Podpis Index změny			x x x x		
1:1	Přezkoušel								
	Norm. ref.								
	Výn. provedení	Schválil	Č. transp.						
		Dne							
VŠST Liberec Spec. sklár. strojů		Typ Název	Skupina	Stary výkres			Nový výkres		
		KČA							
				Počet listů					

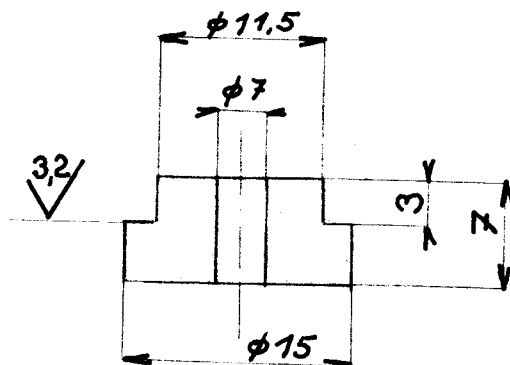


16	Ucpávka			guma					3
Podet kusů	Název - Rozměr	Podstav	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.
Por. číslo	Celková váha kg								
Měřítko	K. H. Halačej		Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Předlohuš								x
	Norm. ref.								x
	Vyr. projednal	Schválil	Č. transp.						x
		Dne							x
VŠST Liberec		typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Spec. sklár. strojů		Název		KČA					
				Počet listů					

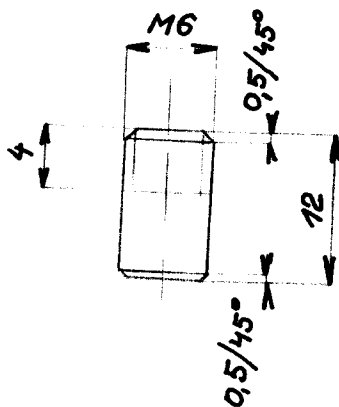


16	Přip. plech			11370					5
Počet kusů	Název - Rozměr	Pojistkový	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Ode.	Č. váha	H.váha	Číslo výrobku	
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kres. št.	Hlasdek	Čís. sním.						
1:1	Prostředek								
	Mat. ref.								
	Výkresový	Stř. št.	Č. transp.						
		Dro							
VŠST Liberec		Typ	Skupina	Stav výkres					
Spec. skauř. strojů		Název	KČA						
				Počet listů					
				List					

12,5 (3,2)

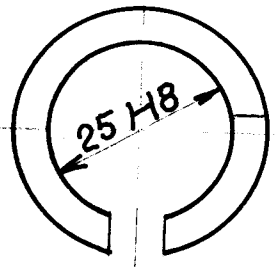
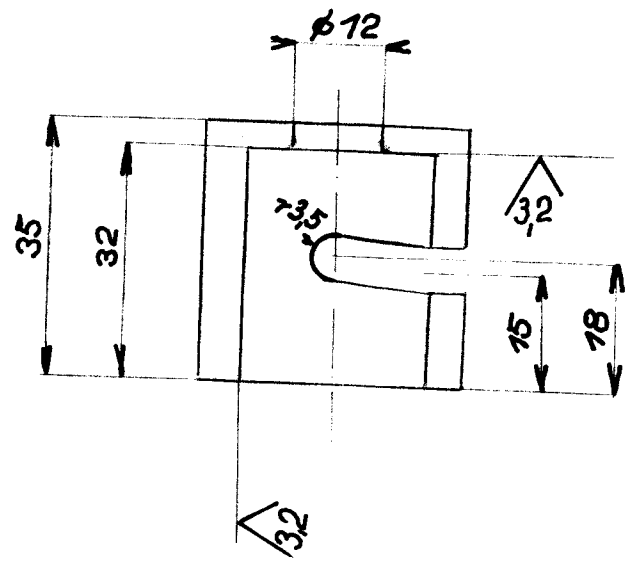
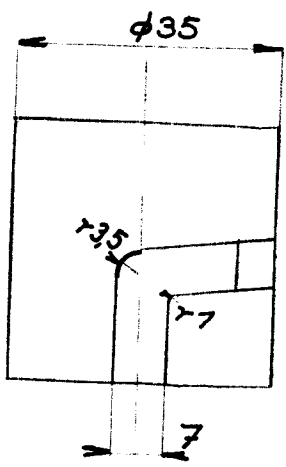


16 Stlač. vložka				11370					6
Číslo kresla	Název - Rozměr	Stupeň zprac.	Míst. koncový	Míst. výchozí	Třída Ost.	Č. vřta	Hr.vřta	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Velikost	Kresla	Halocej		Čís. sním.					
2:1	Prostředí			Č. transp.					
	Norm. cel.								
	Výs. provedení I								
VŠST Liberec		Typ	Skupina	Číslo výkresu		Hr. výkresu			
Spec. stroj. strojů		KČA							
				Počet listů	List				



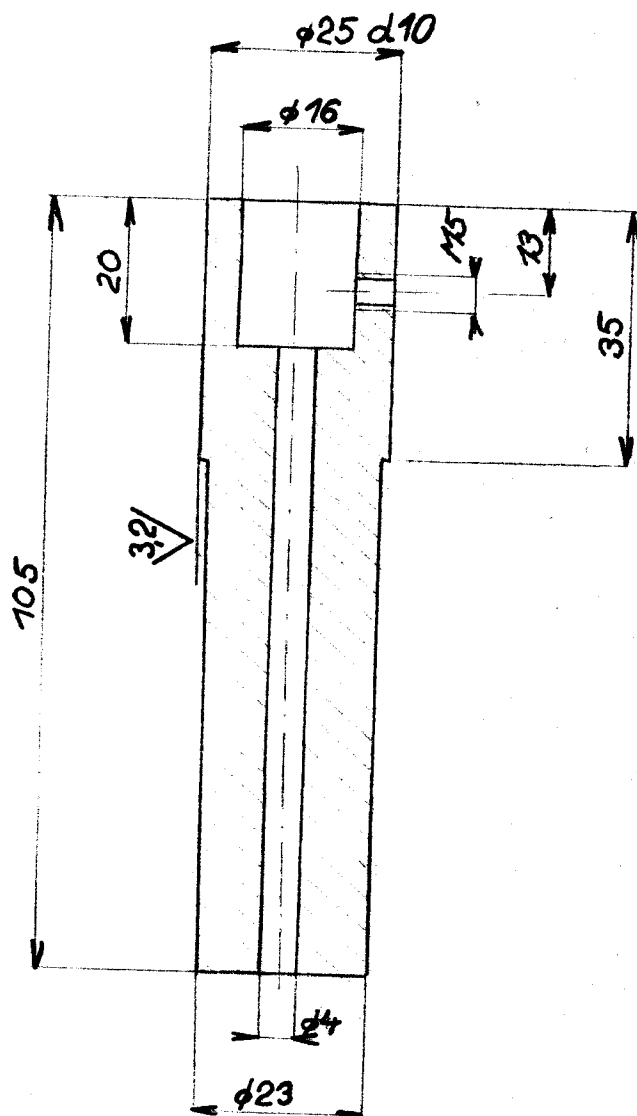
16 Vodicí kolíček				11370						8	
Poznávk	Název - Rozměr	Skupina	Mst. kosení	Mst. výchozí	Trída Odh.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.		
Měřítko	Prostředek	Holedek		Čís. měřítka	Celková č. váha kg						
2:1	Prostředek			Čís. měřítka							
	Norm. měř.			Čís. měřítka							
	Výr. provedení			Čís. měřítka							
VŠST Liberec		Skupina		Skupina		Skupina		Skupina		Skupina	
Spec. sklár. strojů		KČA		KČA		KČA		KČA		KČA	
Počet listů		List		Počet listů		List		Počet listů		List	

12,5 (3,2)



16	Vičko			11370					4
Počet kusů	Název - Rozměr	Podstavec	Mat. konečný	Mat. výchozí	Ing. č.	G. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	1:1	Haladej	Čís. anlím.	Změna	Datum	Podpis	Podpis	Podpis	Podpis
		Prac. poušel							
		Norm. ref.							
		Vyr. projednal	Schválil	Č. transp.					
			Dne						
VŠST Liberec		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Spec. sklář. strojů		KČA							
				Počet listů		Lid			

125 (32)



16		Těleso držáku		11370						1	
Počet kusů	Název - Rozměr	Podstavec	Mat. konečný	Mat. výchozí	Mat. výchozí	Č. váha	Hrv. váha	Číslo výkresu	Měs.		
Rozměr				Celková č. váha kg							
Měřítko	K	I	Háček	Čís. anlím.							
1:1	I	číslo									
	Název ref.										
	Vyr. provedení	Schválil	Č. transp.								
		Line									
VŠST Liberec		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres					
Spec. skloř. strojů		KČA									
				Počet listů		List					

21	16	Obal		asbest	
20	16	Objímka		11370	
19	16	Podpírací tyč		"	
18	16	Stavěcí matice M6		"	
17	16	Opěrka		11370	
16	16	Podpírací tyč		"	
15	16	Pružina		14260	
14	16	Stavěcí šroub M24		11370	
13	16	Vičko		"	
12	16	Těleso podpěry		"	
11	64	Žebro		"	
10	16	Připevňovací plech		"	
9	16	Rukojeť		"	
8	16	Vodící kolíček		"	
7	96	Šroub M8 x 20 s maticí		"	
6	16	Stlačovací vložka		11370	
5	16	Připevňovací plech		"	
4	16	Vičko		"	
3	16	Ucpávka		guma	
2	16	Trubka $\phi 8 \times 1$		11350.2	
1	16	Těleso držáku		11370	

28	16	Podpěra			
27	16	Upínací ústrojí			
26	1	Ohřívací tunel			
25	1	Rám ohřívacího tunelu			
24	1	Otočný stůl			
23	1	Rad. kul. ložisko	6015		
22	1	Nádrž - II -	6017		
21	1	Nádrž na olej			
20	1	Potrubí k dokonč. vývězím			
19	1	Potrubí k předvak. vývěvě			
18	1	Patka			
17	4	Pojízďecí kolečko			
16	6	Stavěcí šroub			
15	1	Náhon mazacího přístroje			
14	1	Mazací přístroj	ON 12 A 42		
13	1	Otočná deska zábrusu			
12	1	Pevná deska zábrusu			
11	1	Přípojkové těleso			
10	1	Zajišťovač polohy			
9	2	Ventil			
8	1	Osa stolu			
7	1	Elmag. ventil			
6	1	Šoupátková skříň			
5	1	Regulátor			
4	1	Krokovací páka			
3	1	Pístní tyč			
2	1	Krokovací válec			
1	1	Rám karuselu			